



Vaasan yliopisto  
UNIVERSITY OF VAASA

Joonatan Mäkinen

# **Sähköajoneuvojen latauksen verkostovaikutukset Seiverkot Oy:n pienjänniteverkossa**

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö  
Sähkötekniikan diplomityö  
Energia- ja informaatiotekniikka

Vaasa 2022

---

**VAASAN YLIOPISTO****Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö**

<b>Tekijä:</b>	Joonatan Mäkinen
<b>Tutkielman nimi:</b>	Sähköajoneuvojen latauksen verkostovaikutukset Seiverkot Oy:n pienjänniteverkossa
<b>Tutkinto:</b>	Diplomi-insinööri
<b>Oppiaine:</b>	Sähkötekniikka
<b>Työn valvoja</b>	Kimmo Kauhaniemi
<b>Työn ohjaaja:</b>	Marja Lotta Syrjälä
<b>Tarkastaja</b>	Hannu Laaksonen
<b>Valmistumisvuosi:</b>	2022
<b>Sivumäärä:</b>	109

---

**TIIVISTELMÄ:**

Suomessa liikennesektori on merkittävä päästöjen aiheuttaja. Päästöjen vähentämiseksi Suomen ajoneuvokanta on voimakkaasti sähköistymässä. Valtioneuvoston asettamien tavoitteiden saavuttamiseksi sähköajoneuvojen määrän olisi vuonna 2030 oltava noin kymmenkertainen vuoden 2021 määrään verrattuna. Tätä tavoitetta tuetaan Suomen sekä EU:n määrittelemillä sääntelyillä ja tukitoimilla. Sähköajoneuvojen yleistymisen vaatii merkittävän määrän lisää latauspisteitä. Valtio on asettanut tavoitteeksi, että jokaisella sähköajoneuvolla olisi latauspaikka, jossa sitä voitaisiin ladata yön yli. Näiden tekijöiden summana onkin todennäköistä, että lähes jokaisen ajoneuvon omistajan pysäköintipaikan läheisyydessä on latauspiste ja lataustapahtumat tulevat painottumaan tällaisiin kotilatauspisteisiin. Tämä aiheuttaa haasteita sähköverkolle ja erityisesti pienjänniteverkkoon.

Sähköverkkoyhtiö Seiverkot Oy on tiedostanut tilanteen ja antanut toimeksiannon tälle diplomitöille. Työn tavoitteena on selvittää lisääntyvän latausinfrastruktuurin vaikutuksia Seiverkot Oy:n pienjänniteverkkoon ja määrittää latauspisteiden nykyhetken maksimimäärä verkon eri osissa. Lisäksi tavoitteena on löytää ongelmakohtia verkon siirtokyvyyssä ja saada taustatietoa yhtiön verkostosuunnittelun tueksi. Seiverkot Oy on erityisen kiinnostunut sähköajoneuvojen latauksen aiheuttamista haasteista jakelumuuntajakapasiteettiin ja johtimien mitoittamiseen liittyen. Selvitystyön tukemiseen käytetään työhön kuuluvan kyselytutkimuksen tulosten lisäksi nykyistä ja suunnitteilla olevaa aiheeseen liittyvää sääntelyä ja tukitoimia. Lisäksi hyödynnetään liikenteen sähköistymiseen ja latausasemiin liittyviä tilastoja sekä perehdytään latausasemien ominaisuuksiin.

Tapaustutkimus toteutettiin Trimble NIS verkkotietojärjestelmällä. Tarkastelua varten valittiin kuusi kappaletta erityyppisiä Seiverkot Oy:n pienjänniteverkon muuntopiirejä. Näissä muuntopiireissä tutkittiin nykyhetken kuormitusta ja kuormitettavuutta latauspisteiden määrän kannalta sekä selvitettiin ensimmäisenä siirtokapasiteettia rajoittavat tekijät.

Jokaisessa muuntopiirissä ensimmäisenä tehokapasiteettia rajoittava tekijä oli jakelumuuntajan kuormitettavuus. Verkon laajuudessa tarkastelussa haasteita oli erityisesti kokoluokilta 315 kVA ja alle. Verkon muut komponentit olivat pääsääntöisesti mitoitettu merkittävästi jakelumuuntajia suuremmalle tehokapasiteetille. Lopuksi annettiin ohjeita Seiverkot Oy:n suunnittelutiimin tueksi.

---

**AVAINSANAT:** Sähköajoneuvo, latausteho, pienjänniteverkko, kapasiteettitarkastelu

---

**University of Vaasa**

**School of Technology and Innovations**

**Author:** Joonatan Mäkinen

**Title of the Thesis:** Impacts of electric vehicle charging on Seiverkot Oy's low voltage network

**Degree:** Master of Science

**Specialization:** Electrical Engineering

**Supervisor:** Kimmo Kauhaniemi

**Instructor:** Marja Lotta Syrjälä

**Evaluator:** Hannu Laaksonen

**Year:** 2022      **Pages:** 109

---

**ABSTRACT:**

In Finland, the transport sector is a major polluter. In order to reduce emissions, Finland's vehicle fleet is electrifying rapidly. In order to achieve the targets set by the Government, the number of electric vehicles in 2030 should be about ten times higher than in 2021. This goal is supported by regulations and subsidies defined by Finland and the EU. The proliferation of electric vehicles requires a significant number of additional charging points. The government has set a goal for every electric vehicle to have a charging station where it could be charged overnight. The sum of these factors makes it likely that there will be a charging point in the vicinity of almost every vehicle owner's parking space and charging operations will focus on such home charging points. This causes challenges for the electricity grid and especially for the low voltage grid.

Distribution system operator Seiverkot Oy has been aware of the situation and has given an assignment for this master thesis. The aim of the work is to find out the effects of the increasing charging infrastructure on Seiverkot Oy's low-voltage network and to determine the current maximum number of charging points in different parts of the network. In addition, the goal is to find problem areas in network power capacity and gain background information to support the company's network design. Seiverkot Oy is particularly interested in the challenges with distribution transformer capacity and the sizing of conductors caused by the charging of electric vehicles in connection. In addition to the results of the survey, the current and planned regulations and subsidies related to the topic will be used to support the study. In addition, statistics related to the electrification of traffic and charging stations are utilized and the characteristics of charging stations are examined.

The case study was conducted using the Trimble network information system. Six different types of Seiverkot Oy's low-voltage network circuits were selected for review. In these circuits, the current load and load capacity in terms of the number of charging points were studied, and the factors limiting the transmission capacity were first investigated.

The first factor limiting the power capacity in each circuit was the load capacity of the distribution transformer. In the network-wide analysis, there were challenges especially in size classes 315 kVA and below. The other components of the network were generally dimensioned for significantly higher power capacity than distribution transformers. Finally, instructions were given to support Seiverkot Oy's design team.

---

**KEYWORDS:** Electrical vehicle, charging power, low-voltage network, capacity analysis

**Sisälllys**

1	Johdanto	9
1.1	Työn tausta	9
1.2	Työn tavoite	9
1.3	Työn rakenne	10
1.4	Seiverkot Oy	11
2	Sähköajoneuvot ja niiden lataus	12
2.1	Sähköajoneuvojen lataustavat	14
2.2	Sähköajoneuvojen latauspisteet	19
2.3	Kuormanhallinta	23
2.4	Säätely ja tukitoimet	25
3	Keskeisimmät verkostovaikutukset	32
3.1	Jakelumuuntajakapasiteetti	34
3.2	Jännitteen laatu	35
3.3	Johtimien mitoitus	37
4	Kyselytutkimuksen esittely ja skenaarioiden määrittäminen	40
4.1	Kysely ja kyselyn tulokset	40
4.2	Seiverkot Oy:n verkkoalueen erityispiirteet	46
5	Tapaustutkimuksen lähtökohdat	48
5.1	Seiverkot Oy:n jakeluverkko	49
5.2	Trimble NIS verkkotietojärjestelmä	51
5.3	Jakelumuuntajien kuormitus	53
5.4	Tarkasteltavat muuntopiirit	54
6	Tapaustutkimuksen tulokset	56
6.1	Muuntopiiri M1	56
6.2	Muuntopiiri M2	61
6.3	Muuntopiiri M3	66
6.4	Muuntopiiri M4	71
6.5	Muuntopiiri M5	75

6.6	Muuntopiiri M6	79
6.7	Kapasiteettitarkastelun johtopäätökset	81
7	Johtopäätökset	86
7.1	Latauspisteiden määrä ja ominaisuudet	86
7.2	Latauspisteisiin liittyvä sääntely ja tukitoimet	87
7.3	Kyselytutkimus	88
7.4	Ohjeet suunnitteluun	89
8	Yhteenveto	93
	Lähteet	94
	Liite 1. Rakennusten latauspistevalvoitteet (733/2020)	99
	Liite 2. Kysely paikallisliikennöitsijälle	100
	Liite 3. Seiverkot Oy:n PJ-verkossa käytettyjen liittymisjohtimien kuormitettavuudet	109

## Kuvat

Kuva 1. Seiverkot Oy:n verkkoalue (Seiverkot Oy, 2021)	11
Kuva 2. Sähköajoneuvojen maailmanlaajuisen määrän kehitys (milj. kpl) (IEA, 2021, s.7; EV-Volume, 2022)	13
Kuva 3. Sähköajoneuvojen määrän kehitys Manner-Suomessa (Traficom, 2022)	14
Kuva 4. Lataustavan 1 mukainen lataustapahtuma (Sesko, 2019)	15
Kuva 5. Lataustavan 2 mukainen lataustapahtuma (Sesko, 2019)	16
Kuva 6. Lataustavan 3 mukainen lataustapahtuma (Sesko, 2019)	17
Kuva 7. Lataustavan 4 mukainen lataustapahtuma (Sesko, 2019)	18
Kuva 8. Julkisissa latauspisteissä käytetyt direktiivin 2014/94/EU mukaiset sekä lataustavan 2 ja 3 mukainen latauspistoke Type 2, vasen, ja lataustavan 4 mukainen latauspistoke CCS 2, oikea (Muokattu lähteestä Sesko, 2019)	18
Kuva 9. Sähköautojen määrä jaettuna julkisten Type 2 liittimellä varustettujen latauspisteiden määrällä Suomessa (Sähköinen liikenne ry, 2021; Sähköautoilijat ry, 2021; Sähköinen liikenne ry, 2020)	20
Kuva 10. Maakohtainen kuvaaja Virran toimittamien latausasemien käyttöasteesta (%) vuonna 2020 (Virta, 2021b)	21
Kuva 11. Muuntajan pätötehoikäyrä kuormanhallinnan kanssa ja ilman (Ferdowski jamuut, 2010, s.32)	24
Kuva 12. Kuormanhallinnan vähentämä pätötehon käyttö ajoneuvosta verkkoon tekniikalla ja ilman sitä. (Ferdowski ja muut, 2010, s.33).	25
Kuva 13. TEN-T tieverkko (Väylävirasto, 2020)	27
Kuva 14. Puistomuuntamo (Sari Katila, henkilökohtainen keskustelu, 12.4.2022)	34
Kuva 15. PJ-johdinten mitoitus (Muokattu lähteestä Lakervi ja Partanen, 2008)	39
Kuva 16. PJ-johdinten taloudellinen käyttöalue (Muokattu lähteestä Lakervi ja Partanen, 2008)	39
Kuva 17. Enintään 22 kW lataustavan 3 mukaisten latauspisteiden myynti teholuokittain vuonna 2021 (Muokattu lähteestä STK, 2022)	44
Kuva 18. Lataustapojen 2 ja 3 mukaisten latausasemien myyntiosuudet teholuokittain vuonna 2021 (Muokattu lähteestä STK, 2022)	45

Kuva 19. Sähköautojen rekisteröintimäärät Seinäjoella (Traficom, 2022)	47
Kuva 20. Jakelumuuntajien kuormitus	54
Kuva 21. Muuntajan M1 kuormitus	57
Kuva 22. Muuntopiirin M1 johtolähtöjen kuormitustarkastelu	58
Kuva 23. Käyttöpaikkojen mahdollisuus lisätä huipputehoa muuntopiirissä M1	59
Kuva 24. Jakelumuuntajan M1 vapaan kapasiteetin mahdollistamat latauspisteet	60
Kuva 25. Jakelumuuntajan M2 kuormitus	62
Kuva 26. Muuntopiirin M2 johtolähtöjen kuormitustarkastelu	64
Kuva 27. M2 muuntopiirin käyttöpaikkojen mahdollisuus latauspisteisiin huipputehon aikana	65
Kuva 28. Lisättävien latauspisteiden maksimimäärä ensimmäisen rajoittavan tekijän perusteella muuntopiirissä M2	66
Kuva 29. Muuntajan M3 kuormitus	67
Kuva 30. Muuntopiirin M3 johtolähtöjen kuormitustarkastelu	69
Kuva 31. Käyttöpaikkojen mahdollisuus lisätä huipputehoa muuntopiirissä M3	70
Kuva 32. Jakelumuuntajan kapasiteetin mahdollistamat latauspisteet muuntopiirissä M3	71
Kuva 33. Muuntajan M4 kuormitus	72
Kuva 34. Muuntopiirin M4 johtolähtöjen kuormitustarkastelu	73
Kuva 35. Käyttöpaikkojen mahdollisuus lisätä huipputehoa muuntopiirissä M4	74
Kuva 36. Jakelumuuntajan kapasiteetin mahdollistamat latauspisteet muuntopiirissä M4	75
Kuva 37. Muuntajan M5 kuormitus	76
Kuva 38. Muuntopiirin M5 johtimien kuormitettavuudet	77
Kuva 39. Käyttöpaikkojen määrä, joille tilaa saada latauspiste huipputehon aikana muuntopiirissä M5	78
Kuva 40. Jakelumuuntajan kapasiteetin mahdollistamat latauspisteet muuntopiirissä M5	79
Kuva 41. Muuntopiirin M6 liittymän tehokuvaaja	80

## Taulukot

Taulukko 1. Julkisten latauspisteiden määrän kehitys (Muokattu lähteistä Sähköinen liikenne ry, 2022; Sähköautoilijat ry, 2022)	22
Taulukko 2. Puhtaiden ajoneuvojen päästörajat hankintajaksoittain (Muokattu lähteestä EU/2019/1161)	31
Taulukko 3. Sallittu vaihejännitteen tehollisarvon vaihteluväli	35
Taulukko 4. Johtolähtöjen tiedot	62
Taulukko 5. Liikkeen latauspistetilanne	81
Taulukko 6. Liittymäkokojen ja muuntopiirien mahdollistamat latauspistemäärät	84

## Lyhenteet ja Merkinnät

Ara	Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus
CCS 2	Combined charging system, latauspistoketyyppi
Chademo	Charge de move, latauspistoketyyppi
$\cos \phi$	Tehokerroin
$I$	Virta
$I_p$	Virran pätökomponentti
$I_q$	Virran loiskomponentti
KJ	Keskijännite
$P$	Pätöteho
$P_h$	Tehohäviö
$P_{lat}$	latausteho
PJ	Pienjännite
$Q$	Loisteho
Q1, Q2, Q3, Q4	Vuoden 1., 2., 3. tai 4. neljännes
$R$	Resistanssi
SAIDI	System average interruption duration index (Sähkönjakelun keskeytysten keskimääräinen kesto)
SAIFI	System average interruption frequency index (Sähkönjakelun keskeytysten keskimääräinen lukumäärä vuodessa asiakasta kohden)
Trafi	Liikenteen turvallisuusvirasto
$U$	Pääjännite
$U_h$	Jännitteenalenema
$U_{h\%}$	Suhteellinen jännitteenalenema
$X$	Reaktanssi

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn tausta

Ajoneuvokannassa on käynnissä nopea sähköistyminen, joka koskettaa erityisesti henkilöautoluokkaa (Traficom, 2021). Sähköistymisen suurimpana tausta-ajurina on saada liikenteen päästöjä vähennettyä, jotta ilmastonmuutosta voitaisiin hillitä. Suomen valtioneuvosto onkin asettanut sähköautojen tavoitemääräksi 700 000 sähköautoa vuoteen 2030 mennessä. Sähköajoneuvon yleistymisen yhtenä perusedellytyksenä on riittävät latausmahdollisuudet. Nykyisten sekä suunnitteilla olevien latauspisteiden tarvitsema sähköenergia aiheuttaa tarpeen sähköverkon kapasiteetin tarkastelulle. (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2021)

Tulevien vuosien ajoneuvokannan sähköistymisnopeus ja latauspisteiden määrä, käyttö ja ominaisuudet ovat epäselviä. Tämä aiheuttaa sähköverkkoyhtiöille epävarmuutta, sillä lataustapahtumien aiheuttamaa sähköverkon lisäkuormitusta ei pystytä tarkasti määrittämään. Esimerkiksi vielä vuonna 2017 valtioneuvoston asettama tavoite vuoden 2030 sähköautomääräksi oli nykyisen 700 000 kpl sijasta 250 000 kpl (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2017; Liikenne ja viestintäministeriö, 2021). Epävarmuutta aiheuttaa myös Suomessa maansisäiset liikenteen sähköistymisvauhdin erot. Sähköistyminen on ollut nopeinta suurten kaupunkikeskusten yhteydessä, kuten pääkaupunkiseudulla (Traficom, 2021). Tämä on aiheuttanut tarpeen tutkia aluekohtaisesti liikenteen sähköistymistä.

## 1.2 Työn tavoite

Diplomityön tavoitteena on selvittää Seiverkot Oy:n sähköverkon riittävyttä sähköajoneuvojen latauksen voimakkaaseen kasvuun. Lataustapahtumien määrä sekä latausteho tulevat molemmat nousemaan merkittävästi. Toimeksiannossa on määritetty tutkittavaksi alueeksi 400 V pienjänniteverkko (PJ-verkko), sillä tämä verkon osa on tunnistettu sähköön kulutuksen nousulle kriittisimmäksi verkon osaksi. PJ-verkon alueella tutkittaviksi

ominaisuuksiksi on valittu jakelumuuntajien kapasiteetti sekä johtimien mitoitus. Lisäksi tarkastelun kohteeksi valittiin käyttöpaikkojen tai liittymien sähköjärjestelmän vapaa kapasiteetti, jotta saataisiin selville mahdollinen tulevaisuuden tarve liittymäkoon nostoille.

Diplomityöstä saatavaa tietoa voidaan käyttää hyväksi verkostosuunnittelussa, jossa tavoitteena on päästä ennakoimaan mahdollisimman aikaisin tulevaisuuden sähkön käytön muutoksia. Mitä aiemmin muuttuvat kulutustrendit huomataan ja tunnistetaan, sitä enemmän kustannuksia säästyy.

### **1.3 Työn rakenne**

Diplomityö sisältää kirjallisuustutkimuksen, jossa selvitetään latauspisteiden nykyistä sekä tulevaisuuden tilannetta ja tausta-ajureita. Kirjallisuusosuuden lisäksi diplomityö sisältää kyselytutkimuksen, jotta Seiverkot Oy:n verkkoalueen sähköajoneuvoista sekä niiden nykyisistä ja tulevista lataustapahtumista saataisiin lisää tietoa. Kirjallisuusosuutta ja kyselytutkimusta hyödynnetään diplomityön tapaustutkimuksessa. Siinä tehtiin tarkemmat laskelmat valikoituihin kohteisiin nojautuen kyselyn ja kirjallisuusselvityksen pohjalta laadittuihin skenaarioihin.

Kirjallisuustutkimuksessa perehdytään sähköajoneuvojen lataustapoihin sekä latauspisteisiin liittyvään sääntelyyn ja tukitoimiin. Lisäksi tutkimuksessa perehdyttiin keskeisimpiin latauspisteiden aiheuttamiin verkostovaikutuksiin. Kyselytutkimuksen osuudessa käydään läpi kyselytutkimuksen tulokset sekä perehdyttiin Seiverkot Oy:n verkkoalueen ajoneuvokannan erityispiirteisiin. Tapaustutkimuksessa ensimmäiseksi esitellään Seiverkot Oy:n jakeluverkko sekä yhtiön verkkotietojärjestelmä, jota hyödynnetään tapaustutkimuksessa. Seuraavaksi perustellaan tutkimukseen sisältyvät muuntopiirit. Tapaustutkimuksen tulokset luvussa esitellään tutkittavat muuntopiirit ja tutkitaan niiden kapasiteettia suhteessa skenaarioihin. Osuuden lopuksi tehdään tilanteesta johtopäätökset ja annetaan ohjenuoria yhtiön suunnittelun tarkasteltavaksi.

## 1.4 Seiverkot Oy

Seiverkot Oy on Seinäjoen kaupungissa kuvan 1 mukaisella alueella toimiva sähköverkkoyhtiö. Suurin osa verkosta sijaitsee rakennetulla alueella, mutta muutama KJ-linja (keskijännite) sijaitsee täysin maaseutumaisessa ympäristössä. Yhtiö kuuluu Seinäjoen Energia konserniin, joka on kokonaan Seinäjoen kaupungin omistama. Seiverkot Oy:n 400 V PJ-verkon pituus on 808 km ja 20 kV KJ-verkon pituus on 296 km. Lisäksi 110 kV suurjänniteverkkoa yhtiö omistaa 8,6 km kilometriä sekä 6 kappaletta sähköasemia. Seiverkot Oy:n sähköverkon häiriöherkkyys on erittäin pieni. Seiverkot Oy:n sähköverkossa vuonna 2021 SAIDI on 3 min ja SAIFI 1 kpl. SAIDilla tarkoitetaan keskimääräistä sähkönjakelukeskeytysten kestoasiakasta kohden vuodessa. SAIFilla puolestaan tarkoitetaan keskimääräistä keskeytysten lukumäärää asiakasta kohden vuodessa. Häiriöherkkyden vähyden taustalla on säännölliset kunnossapito-ohjelman mukaiset toimenpiteet sekä verkon korkea kaapelointiaste, joka on PJ-verkossa 92 prosenttia ja KJ-verkossa 67 prosenttia.

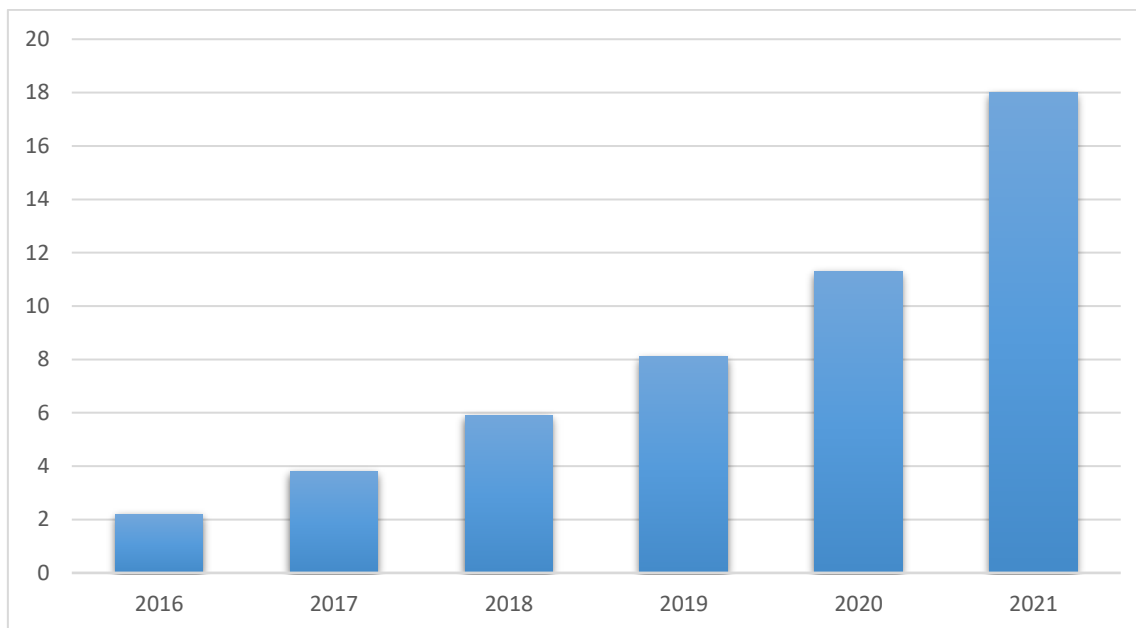


**Kuva 1.** Seiverkot Oy:n verkkoalue (Seiverkot Oy, 2021)

## 2 Sähköajoneuvot ja niiden lataus

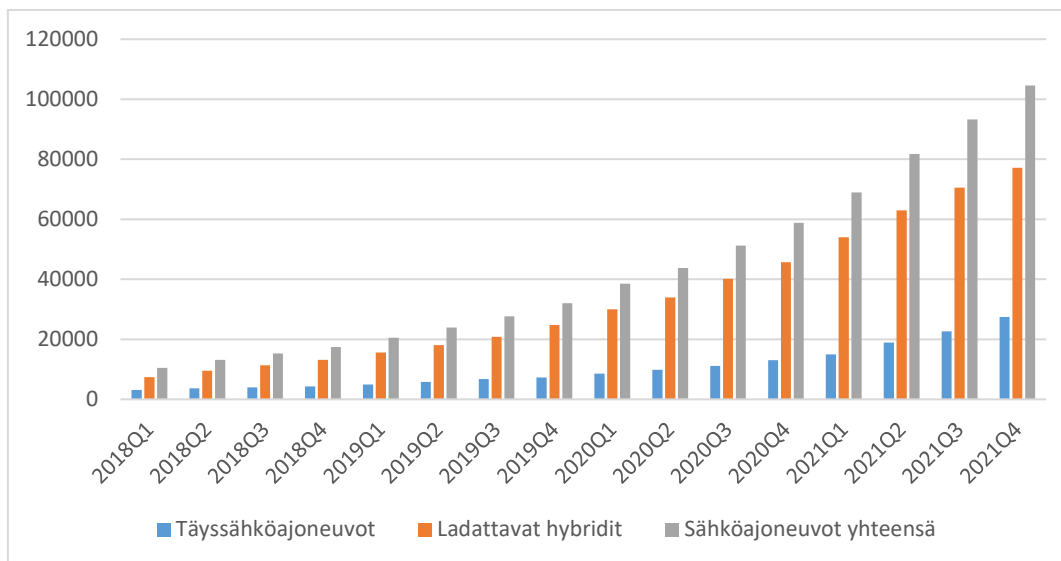
Sähköajoneuvoihin lasketaan kuuluvaksi ajoneuvot, joiden voimanlähteenä on vähintään yksi sähkömoottori. Toinen kriteeri on ominaisuus ladata energiaa liikkumiseen ulkopuolisesta sähkölähteestä. Tässä työssä sähköajoneuvoihin luetaan kuuluvaksi pelkästään akkukäyttöiset sähköajoneuvot. Sähköajoneuvot jaetaan yleisesti vielä kahteen alaluokkaan, täyssähköajoneuvoihin sekä lataushybrideihin. Täyssähköajoneuvolla tarkoitetaan ajoneuvoa, joka käyttää pelkästään vähintään yhtä sähkömoottoria liikkumiseen tarvittavan energian tuottamiseen. Lisäksi täyssähköajoneuvossa sähkömoottorien tarvitsema energia tulee akuston kautta suoraan verkosta tai muusta ulkoisesta lähteestä. Lataushybridissä puolestaan sähkömoottorin ja akustoon ladatun sähköenergian rinnalla on esimerkiksi polttomoottori tuottamassa liikkumiseen tarvittavaa energiaa (SESKO, 2021a; Biomeri Oy, 2009)

Sähköajoneuvojen määrä kasvaa maailmanlaajuisesti nopeaa tahtia. Kuvasta 2 nähdään maailman sähköautomäärän lähes tuplaantuneen 2018–2020 aikavälinä. Määrän kasvuvauhti on vain kasvanut viimeisten vuosien aikana. Esimerkiksi aikavälinä 2019–2021 sähköajoneuvojen määrä yli kaksinkertaistui. On arvioitu, että sähköajoneuvojen kokonaisuus nousee jopa 230 miljoonaan ajoneuvoon vuoteen 2030 mennessä. (IEA, 2021, s.7; EV-Volume, 2022)



**Kuva 2.** Sähköajoneuvojen maailmanlaajuisen määrän kehitys (milj. kpl) (IEA, 2021, s.7; EV-Volume, 2022)

Suomessa sähköajoneuvojen määrä on kasvanut nopeammin kuin maailmanlaajuisesti. Kuvasta 3 voidaan havaita sähköajoneuvojen määrän tuplaantuneen vuodessa ja kolmessa kuukaudessa maailmanlaajuisen noin kahden vuoden sijaan, kun tarkastellaan aikaväliä 2018 alusta alkaen. Valtioneuvosto tavoittelee sähköajoneuvojen määräksi 700 000 kappaletta vuoteen 2030 mennessä (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2019). Nykyisellä 40 000 kappaleen vuosimäärän nousulla sähköajoneuvoja tulisi olemaan vuoden 2030 lopussa noin 450 000 kappaletta. Sähköajoneuvojen määrä kasvuvauhti on ollut jatkuvassa nousussa ja saman jatkuessa 700 000 kappaleen tavoite on mahdollista saavuttaa (Traficom, 2021).

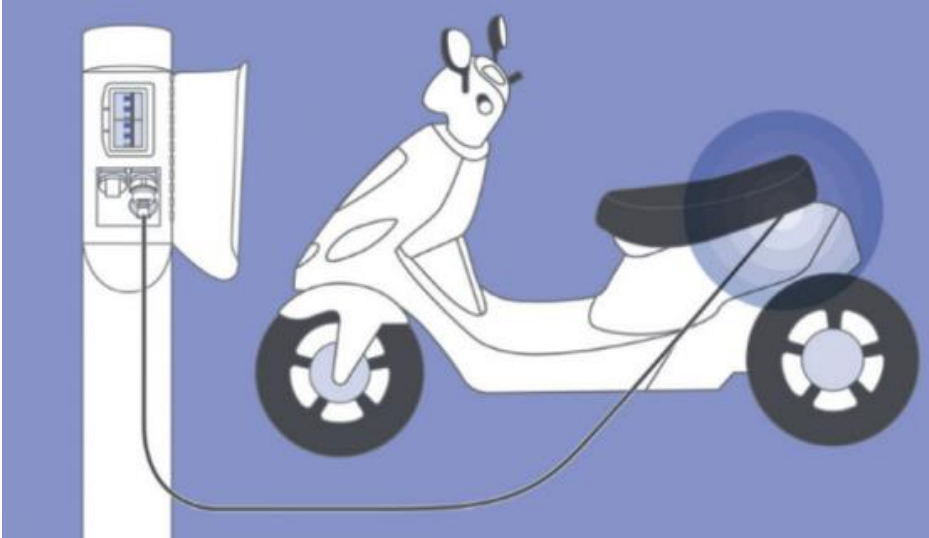


**Kuva 3.** Sähköajoneuvojen määrän kehitys Manner-Suomessa (Traficom, 2022)

## 2.1 Sähköajoneuvojen lataustavat

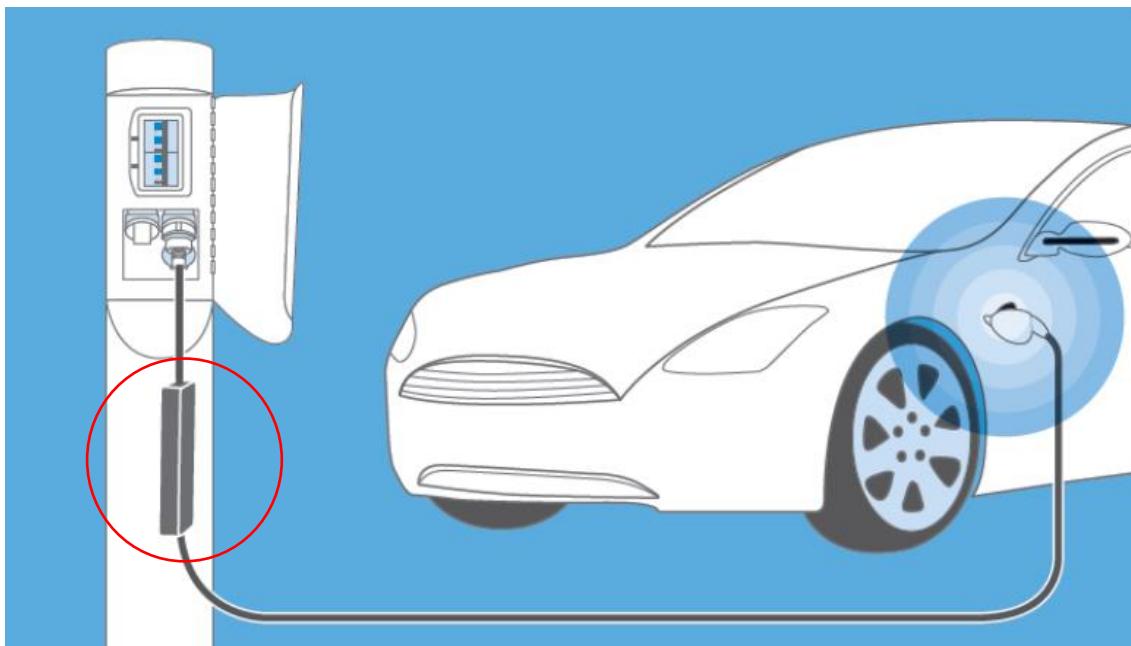
Sähköajoneuvojen lataustapoja ja -tekniikoita on useita ja tässä luvussa käydään läpi nykyhetkellä Suomessa käytössä olevat. Ne jaetaan lataustapoihin 1, 2, 3 ja 4. Lataustapoja erottavat tekniset ominaisuudet, kuten latausteho, latauksen ohjaustapa sekä tapahtuuko lataus tasa- vai vaihtovirralla. Lataustavat on määritetty SFS-EN 61851-1 standardissa. Jokaisessa lataustavassa lataus on suunniteltava omaksi virtapiirikseen ja sille on oltava omat ylivirta- sekä vikavirtasuojat. Suositeltavaa olisi käyttää ainoastaan lataustapoja 3 ja 4 turvallisuuden vuoksi. (Sesko, 2021a; ST-käsikirja, 2019)

Lataustavassa 1, toiselta nimeltään Mode 1, lataaminen tapahtuu vaihtosähköllä korkeintaan 16 A virralla. Yksivaiheisella latauksella maksimijännite on 250 V ja kolmivaiheisella latauksella 480 V. Lataustapaa käytetään pääsääntöisesti kevyiden ajoneuvojen, kuten sähkömopojen lataukseen. Lataus suoritetaan erillisellä latauskaapelilla, joka kiinnitetään kuvan 4 mukaisesti 1-vaiheiseen sukopistorasiaan tai 3-vaiheiseen pistorasiaan. Lataustapaa 1 ei suositella käytettäväksi ja sen käyttö on kielletty turvallisuussyistä esimerkiksi Yhdysvalloissa (Virta, 2021a). (ST-käsikirja, 2019; Sesko, 2021b)



**Kuva 4.** Lataustavan 1 mukainen lataustapahtuma (Sesko, 2019)

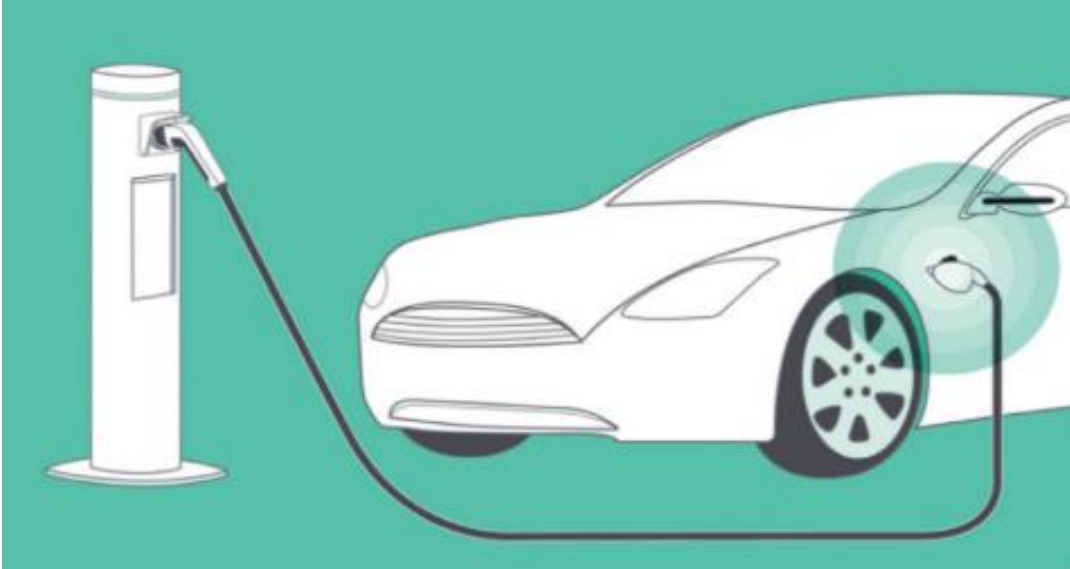
Lataustapa 2, toiselta nimeltään Mode 2, on alun perin tarkoitettu vain tilapäiseen käyttöön. Tässä lataustavassa lataus tapahtuu lataustavan 1 mukaisesti 1- tai 3-vaiheisena vaihtosähköllä joko sukopistorasiasta tai 3-vaiheisesta pistorasiasta. Erona lataustapojen välillä on lataustapahtuman ohjaus. Lataustavan 2 mukaisessa johtimessa on kuvan 5 mukainen suoja- ja ohjauslaite, joka esimerkiksi vian ilmetessä katkaisee latauksen. (Sesko, 2021a) Lataustavassa 2 maksimi latausvirta on 32 A ja maksimi latausjännite 1-vaiheisena on 250 V. 3-vaiheisena maksimi latausjännite on 480 V. Maksimilataustehoksi muodostuu näin 8 kW ja 27 kW. Yleisimmin latausteho lataustavalla 2 on joko yksivaiheisena 1,8 tai 3,7 kW ja kolmivaiheisena 11 tai 22 kW. (Sesko, 2021b; ST-käsikirja, 2019)



**Kuva 5.** Lataustavan 2 mukainen lataustapahtuma (Sesko, 2019)

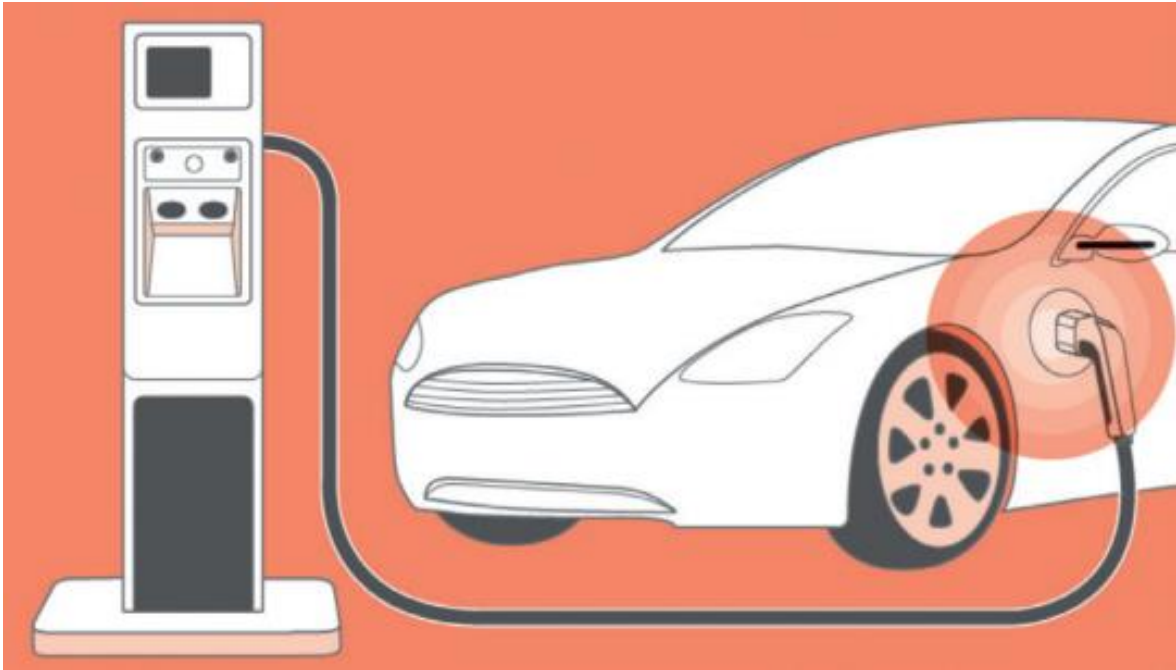
Suosittelut latausvirrat lataustavalle 1 ja 2 on pienempi kuin standardin mahdollistama. Suositus on tehty turvallisuusnäkökohtien vuoksi. Tavallisia 16 A sulakkeella varustettuja sukopistorasioita ei ole mitoitettu kestäväksi pitempiä aikaista 16 A kuormitusta. Tällöin vaarana olisi pistorasian lämpeneminen, jolloin tulipalon mahdollisuus suurenee. Ongelma on ratkaistu rajoittamalla latausvirta 8 A. Markkinoille on tullut uusia sukopistorasioita, jotka kestävät pitkäaikaisen 16 A kuormitusvirran. Tällaisissa pistorasioissa asiasta on ilmoitettu erillisellä merkinnällä. (ST-käsikirja, 2019)

Lataustapa 3, toiselta nimeltään Mode 3, on suositelluin vaihtovirtaa käyttävä lataustapa. (Sesko, 2021a) Tässä lataus tapahtuu sähköajoneuvon oman latausjärjestelmän kautta, minkä tiedonsiirtoväylän avulla on mahdollista tunnistaa latauspistokkeen oikea kytkeminen sekä ohjata lataustehoa. Lataustavassa 3 maksimijännite on sama kuin lataustavassa 2, mutta maksimivirta on 63 A. Tällöin maksimilatausteho on 43 kW. Lataustavan 3 mukaisessa latauksessa käytetään standardin SFS-EN62196-2 mukaisia pistoketyyppejä Type 2 (kuvassa 8), joka on esitettyä kuvassa 6. (ST-käsikirja, 2019)

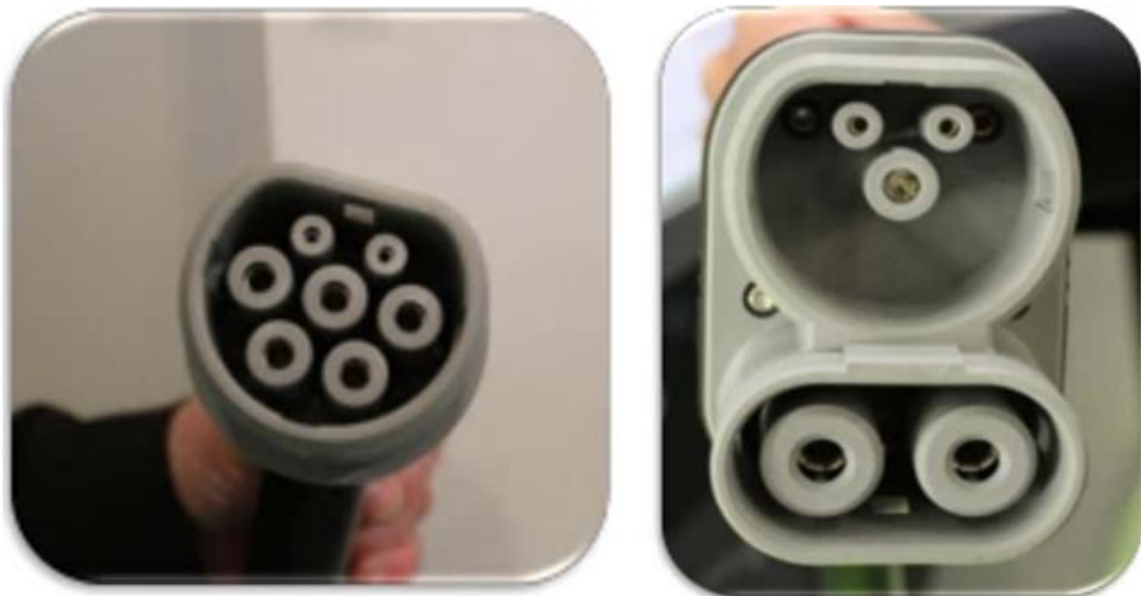


**Kuva 6.** Lataustavan 3 mukainen lataustapahtuma (Sesko, 2019)

Lataustavasta 4, toiselta nimeltään Mode 4, käytetään lisäksi nimiä pikalataus tai DC-lataus. Lataustapahtuma 4 on suoja- sekä tiedonsiirto-ominaisuuksien kanssa samanlainen lataustapahtuman 3 kanssa. Eroavaisuutena on latauksen suorittaminen tasasähköllä ulkopuolista laturia käyttäen sekä kuvan 7 mukaisesti latausaseman kiinteä latauskaapeli. Maksimilatausteho lataustavan 4 mukaisissa pisteissä on 50–350 kW. Suomessa sähköautot eivät vielä tue 350 kW lataustavan 4 mukaista latausta. Suurin lataustavan 4 mukainen sähköauton latausteho on 270 kW, mutta tekninen kehitys on ollut nopeaa lataustehon nousun osalta (Sesko, 2021a). Lataustavan 4 mukaisessa latausjärjestelmässä käytetään yleisimmin kuvan 8 mukaista CCS 2 latauspistoketta, jota käytetään vain lataustavan 4 mukaisessa tasasähkölatauksessa. Muita lataustapoja merkittävästi suurempi latausteho on tehnyt lataustavan 4 mukaisista latureista tyypillisimpiä esimerkiksi huoltoasemilla. Tällöin ajoneuvoon saadaan lyhyessä ajassa ladattua suuri määrä sähköenergiaa. (ST-käsikirja, 2019).



**Kuva 7.** Lataustavan 4 mukainen lataustapahtuma (Sesko, 2019)

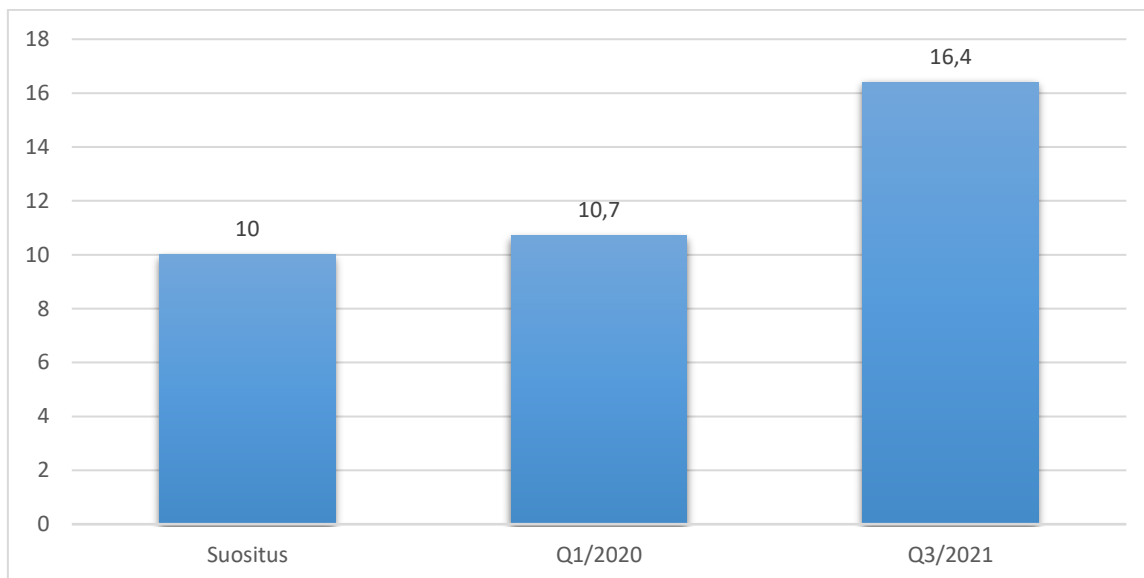


**Kuva 8.** Julkisissa latauspisteissä käytetyt direktiivin 2014/94/EU mukaiset sekä lataustavan 2 ja 3 mukainen latauspistoke Type 2, vasen, ja lataustavan 4 mukainen latauspistoke CCS 2, oikea (Muokattu lähteestä Sesko, 2019)

## 2.2 Sähköajoneuvojen latauspisteet

Sähköajoneuvojen latauspisteet jaotellaan julkisiin, puolijulkisiin sekä yksityisiin latauspisteisiin. Julkisella latauspisteellä tarkoitetaan vapaasti kaikkien käytössä olevaa latauspistettä. Tällaisia ovat esimerkiksi valtion rakennusten pysäköintialueilla olevat latauspisteet. Puolijulkisella puolestaan tarkoitetaan latauspisteitä, jotka ovat yksityisellä alueella, mutta silti vapaasti käytettävissä. Tällaisia latauspisteitä ovat esimerkiksi huoltoaseman omistama latauspiste. Arvion mukaan vuonna 2019 latauspisteistä 12 prosenttia oli julkisia tai puolijulkisia (Virta, 2021b). Julkisista ja puolijulkisista latauspisteistä käytetään yleisesti julkiset latauspisteet yhteisnimitystä ja tässä työssä nimitys sisältää molemmat tyypit. Yksityisellä latauspisteellä puolestaan tarkoitetaan rajoitetun käytön latauspistettä kuten kotilatauspistettä. Yksityislatauspiste on ainoastaan omistajan valtuuttaman käyttäjäryhmän käytössä. Suurin osa latauskerroista tapahtuu kotilatauspisteissä (Virta, 2021b). (Motiva, 2015)

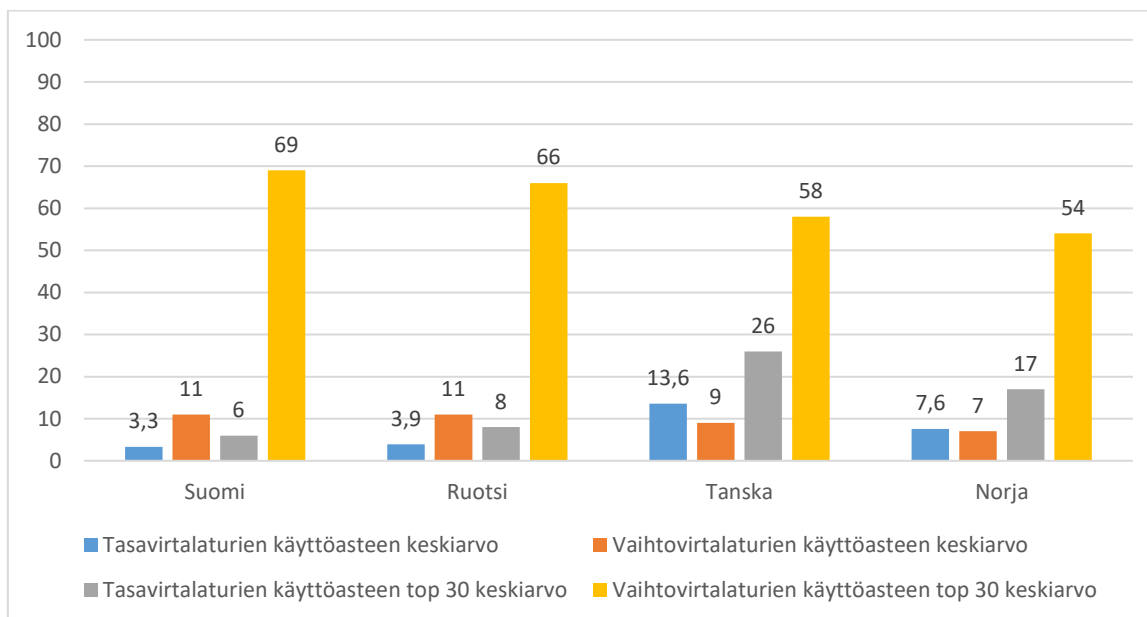
Direktiivissä 2014/94/EU (2014) on annettu suositus maakohtaisesta julkisten latauspisteiden määrästä. Niitä suositellaan olevan yksi jokaista kymmentä sähköautoa kohden. Suomessa sähköautojen julkisia latauspisteitä on rakennettu vuoden 2021 aikana noin 1800 kappaletta lisää (Kokonaismäärä noin 7000 kappaletta). Jos mittaria käytetään direktiivin suositusta suhteellisesta määrästä sähköautoa kohden, on latauspisteiden suhteellinen määrä pienentynyt nopeasti. Vuoden 2020 alusta suhdeluku on heikentynyt kuvan 9 mukaisesti 10,7:stä 16,4:ään. (Sähköinen liikenne ry, 2021; Sähköinen liikenne ry, 2020)



**Kuva 9.** Sähköautojen määrä jaettuna julkisten Type 2 liittimellä varustettujen latauspisteiden määrällä Suomessa (Sähköinen liikenne ry, 2021; Sähköautoilijat ry, 2021; Sähköinen liikenne ry, 2020)

Sähköajoneuvojen latausmahdollisuudet vaikuttavat suuresti sähköajoneuvojen ostopäätökseen. Taloustutkimuksen (henkilökohtainen keskustelu, 21.12.2021) tekemän kyselyn sekä tähän diplomityöhön kuuluvan tutkimuksen mukaan (kyselytutkimus, jonka tulokset esitellään aluvuossa 3.1) sähköautojen hankinnan suurimpia esteitä ovat latausmahdollisuuksien vähyys sekä latauspisteiden kustannukset. Valtio on tunnistanut haasteen ja tukee latauspisteiden rakentamista. Tukiohjelmat esitellään jäljempänä diplomityön aluvuossa 2.4.

Sähköajoneuvojen latausratkaisuja tarjoava Virta on kerännyt toimittamistaan latauspisteistä käyttötietoja. Niiden perusteella kuvan 10 mukaisesti Suomessa latauspisteiden käyttöaste vaihtelee merkittävästi keskiarvon ollessa tasavirtalatauspisteillä 3,3 prosenttia ja vaihtovirtalatauspisteillä 11 prosenttia. Käyttöasteeseen vaikuttavat sähköajoneuvojen määrä, latauspisteiden sijainti sekä tekniikka. Vähiten käytössä olevat latauspisteet ovat harvaan asutuilla alueilla olevat julkiset latauspisteet. Asutusalueiden latauspisteissä käyttöaste vaihtelee 30 ja 70 prosentin välillä. Eniten puolestaan käytetään lentokenttien pysäköintipaikkojen latauspisteitä, joiden käyttöaste vaihtelee 50 ja 95 prosentin välillä. (Virta, 2021b)



**Kuva 10.** Maakohtainen kuvaaja Virran toimittamien latausasemien käyttöasteesta (%) vuonna 2020 (Virta, 2021b)

Suomessa julkisissa latauspisteissä käytetään lataustavan 3 tai 4 mukaista latausta. Latausteho vaihtelee pääsääntöisesti 11 ja 150 kW välillä. Suuntauksena on kuitenkin ollut lataustehon nousu. Tämä huomataan yli 100 kW latauspisteiden määrän suhteellisen kasvun suuruutena, mikä ylittää moninkertaisesti latauspisteiden kokonaismäärän suhteellisen kasvuvauhdin taulukon 1 mukaisesti. Nykyään rakennettavissa latauspisteissä latausteho on lähes poikkeuksetta vähintään 22 kW ja suurimmillaan 350 kW. (Sähköautoilijat ry, 2022)

**Taulukko 1.** Julkisten latauspisteiden määrän kehitys (Muokattu lähteistä Sähköinen liikenne ry, 2022; Sähköautoilijat ry, 2022)

Latauspaikat		Max 22 kW		Lataustapa 4, alle 100 kW				Lataustapa 4 vähintään 100 kW	
		Type2		CHAdeMO		CCS		CCS ja Tesla supercharger	
		Asemat	Pisteet	Asemat	Pisteet	Asemat	Pisteet	Asemat	Pisteet
Yhteensä 12/2021	1623	1598	5820	380	465	348	489	94	278
Yhteensä 12/2020	1302	1266	4493	264	331	261	333	27	90
Kasvu-%	25	26	30	44	40	33	47	348	309

Kotilatauspisteissä ajoneuvon lataus tapahtuu yleensä lataustavan 2 tai 3 mukaisesti. Latausteho on pienimmillään 1,8 kW. Maksimi lataustehoa rajoittaa yleensä jokin kolmesta tekijästä: latauspisteen maksimiteho, latauskaapelin maksimiteho ja ajoneuvon sisäisen laturin maksimiteho. Nämä kolme tekijää rajoittavat maksimilataustehoa lataustavasta riippumatta. (Sesko, 2021c)

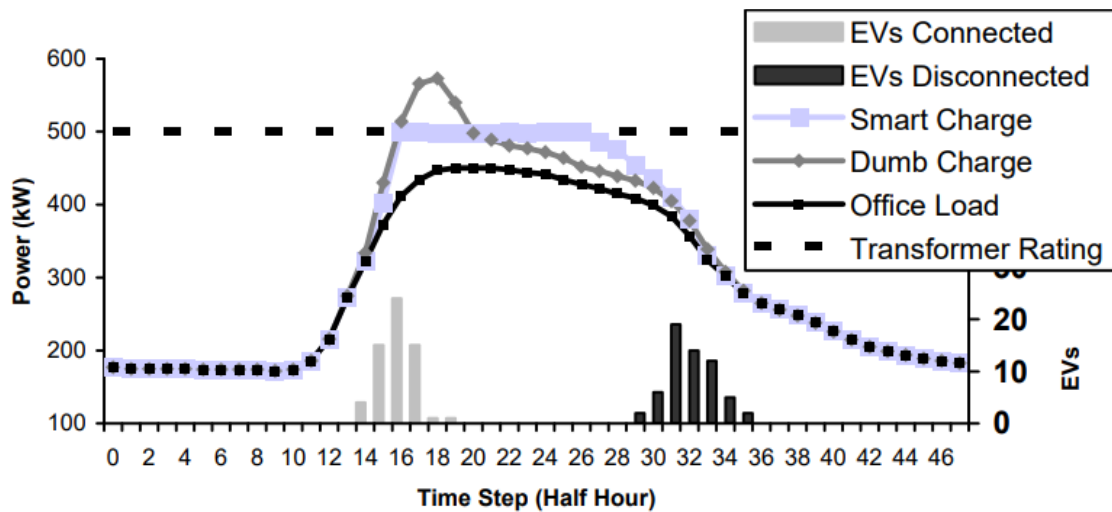
Sähköajoneuvojen maksimi lataustehot ovat kasvaneet jatkuvasti. Kasvua on vauhdittanut täyssähköajoneuvojen määrän suhteellisen kasvunopeuden kasvuvauhti, joka on merkittävästi suurempi kuin lataushybrideillä. Esimerkiksi käytössä olevissa lataushybrideissä merkittävää osaa pystyy lataamaan vain yksivaiheisella 16 A latauksella, jolloin maksimilataustehoksi muodostuu noin 3,7 kW. Suurin kotilatausteho on yleensä 11 tai 22 kW, joita lähes kaikki vähintään henkilöauton kokoiset täyssähköajoneuvot tukevat. Vuonna 2021 lataustavan 3 mukaisia kotilatauslaitteita myytiin yhteensä noin 20 000 kpl. (Sähköinen liikenne ry, 2022; Sesko, 2021c)

## 2.3 Kuormanhallinta

Kuormanhallinnalla tarkoitetaan valvonta- ja ohjausjärjestelmää, jolla on kyky säätää, käynnistää sekä sammuttaa määrättyjä laitteita. Latauspisteissä kuormanhallinnalla säädetään lataustehoa sekä latauksen jaksotusta. Kuormanhallinnasta on monia eri tasoisia ratkaisuja. Yksinkertaisimmillaan esimerkiksi taloyhtiössä lataustapahtuman käynnistyessä sammuu toisen ajoneuvon lataus. Älykkäämmissä vaihtoehdoissa sähköautojen latauslaitteiden tehoa säädetään lähes portaattomasti, siten etteivät määritetyt kuormitusrajat ylity. Portaattomalla tehonsäätömahdollisuudella varustettua järjestelmää kutsutaan dynaamiseksi kuormanhallinnaksi. (St-käsikirja, 2019)

Latauspisteiden kuormanhallinta on kriittinen osa sähköajoneuvojen latausmahdollisuuksien yleistymisprosessia. Kuormanhallinta mahdollistaa samankokoisella sähköjärjestelmällä enemmän ja latausteholtaan suurempia latauspisteitä verrattuna järjestelmään ilman kuormanhallintaa. Näin se vähentää latauspisteiden haltijan sekä Sähköverkko-yhtiön investointikustannuksia. Säästöä syntyy, kun verkon komponentteja voidaan mitoittaa pienemmän siirtotarpeen mukaan verrattuna tilanteeseen ilman kuormanhallintaa. Muutaman latauspisteen järjestelmissä hyödyt eivät ole vielä merkittäviä. Mitä suuremmaksi latauspisteiden määrä nousee, sitä enemmän kuormanhallinnan kannattavuus nousee. (St-käsikirja, 2019)

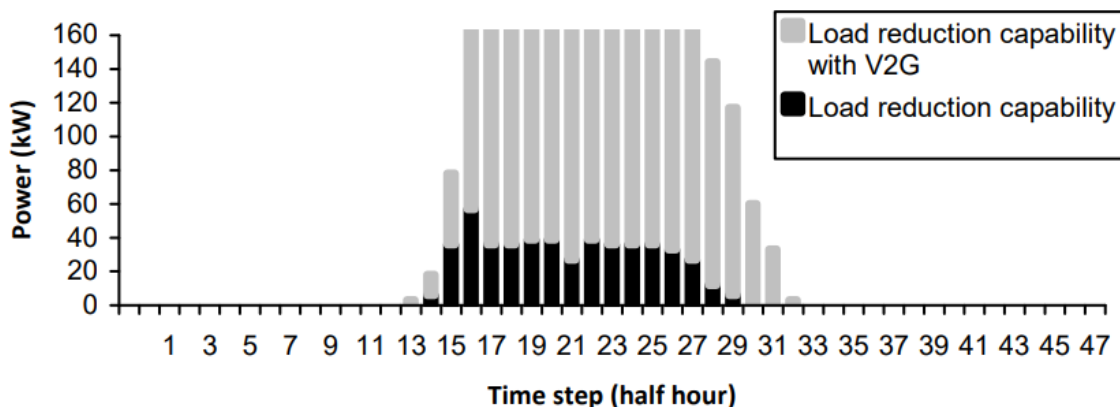
Parhaimmillaan kuormanhallinnan avulla voidaan välttää sähköverkon laajennusinvestointi. Kuvassa 11 on esitetty muuntajan pätötehokuorma kuormanhallinnan kanssa ja ilman. Harmaa pätötehoa kuvaava käyrä nousee yli mustalla katkoviivalla merkityn muuntajan nimellistehorajan, jolloin muuntaja ylikuormittuu. Ongelma ratkaistaan tutkimuksessa kuormanhallinnan avulla, jolloin vaaleanvioletti pätötehon kuvaaja asettuu alle muuntajan nimellistehon. Kuormanhallinta ei vähennä sähköenergian kulutusta, vaan leikkaa tehohuippua. Sähköverkko-yhtiön kannalta latauksen kuormanhallinnan suurin etu tulee huipputehoa pienentävänä vaikutuksena. (Ferdowsi ja muut, 2010, s.32)



**Kuva 11.** Muuntajan pätehtekäyrä kuormanhallinnan kanssa ja ilman (Ferdowsi ja muut, 2010, s.32)

Kuormanhallinnan vaikutusta on mahdollista tehostaa ottamalla käyttöön ajoneuvosta verkkoon tekniikka (V2G), jolloin huippukulutuksen aikana sähköajoneuvon akusta siirryy sähköenergiaa verkkoon. Ferdowsin ja muiden tutkimuksessa kuormanhallinnan vaikutusta tasaava vaikutus nousi merkittävästi kuvan 12 mukaisesti. Musta palkki tarkoittaa kuorman hallinnan vaikutusta ilman V2G tekniikkaa ja harmaa palkki kyseisen tekniikan kanssa. (Ferdowsi ja muut, 2010, s.32)

V2G tekniikka vaatii kuitenkin toimiakseen keskitetyn ohjauksen. Tällaisella järjestelmällä olisi käännteentekevä vaikutus verkon tasapainoon ja lisäksi se käytännössä poistaisi verkkoyhtiöiltä latausinfraan muuten vaatimat tehokapasiteetin nostoinvestoinnit. Siirtojärjestelmän operaattori kontrolloi Suomessa joustomarkkinoita, johon V2G tekniikka myös kuuluisi. Verkkoyhtiöt puolestaan tarjoisivat tiedonsiirtoväylän ohjauksen käyttöön. Keskitystä ohjauksesta hyötyvät jokainen osapuoli. Joustomarkkinat saavat erittäin merkittävän ja nopean uuden joustolähteen, verkkoyhtiöt välttyvät investoinneilta ja sähköajoneuvojen omistajat saavat pienettyä sähkölaskuaan ja jopa uuden ansaintamallin joustopalvelujen tarjoajina. (Markkula ja muut, 2021)



**Kuva 12.** Kuormanhallinnan vähentämä pätötehon käyttö ajoneuvosta verkkoon teknillä ja ilman sitä. (Ferdowsi ja muut, 2010, s.33).

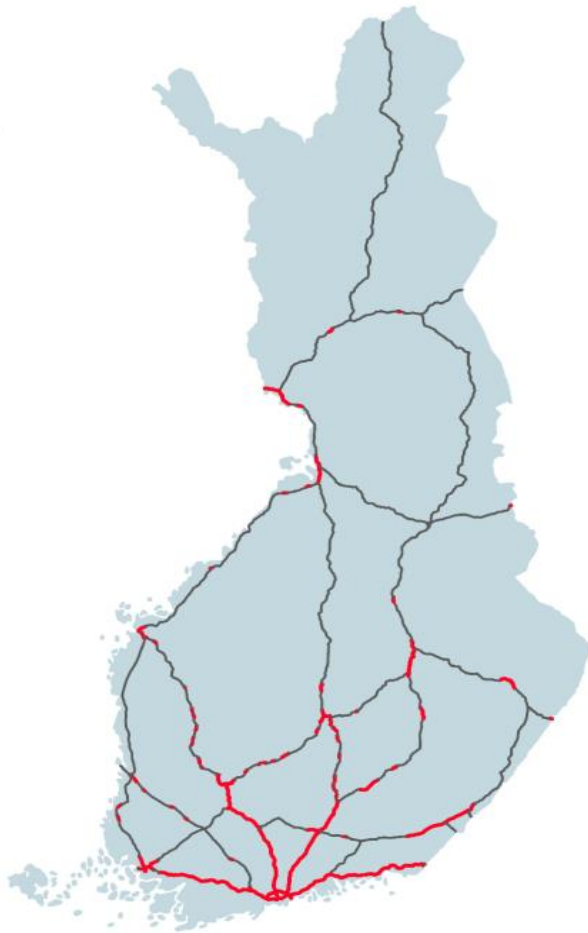
## 2.4 Sääntely ja tukitoimet

Suomen ja EU:n Suomelle asettamien ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi on kotimaan liikennesektorille asetettu merkittäviä päästövähennysmääräyksiä ja -tavoitteita. Vuonna 2030 liikenteen päästöjen on oltava vähintään 50 prosenttia pienemmät verrattuna vuoden 2005 päästöihin. Vuoteen 2045 mennessä kotimaan liikennesektori ei saisi enää tuottaa kasvihuonepäästöjä. On lisäksi mahdollista, että EU:n uusien päästövähennystavoitteiden vuoksi Suomessa tiukennetaan omia tavoitteita. Tässä aluvussa keskitytään esittelemään lainsäädännön aluetta, jolla pyritään suoraan lisäämään sähköajoneuvojen ja erityisesti latauspisteiden määrää Suomessa. (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2021)

Sähköajoneuvojen määrää on pyritty kasvattamaan lukuisin eri keinoin. Sähköajoneuvojen hankintakustannuksia on laskettu hankintatuilla, työsuhdeautojen verotusarvon alentamisella sekä sähköajoneuvojen autoveron poistolla. Näillä keinoilla sähköautoja pitäisi valtioneuvoston tavoitteen mukaisesti olla 700 000 kappaletta vuoteen 2030 mennessä. Lisäksi sähköajoneuvojen lisäämiseen käytettyjä epäsuoria keinoja ovat muun muassa vanhan ajoneuvon romutuspalkkio ostettaessa uutta autoa, fossiilisten

polttoaineiden hinnan nosto sekä autovalmistajien päästörajoitukset. (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2021)

Sähköajoneuvojen latauspisteiden puute on yksi suurimmista esteistä niiden yleistymiselle (Taloustutkimus, 2021). Sähköajoneuvojen tavoitemäärien saavuttamiseksi latauspisteiden määrää on pyritty kasvattamaan kannustimien ja velvoitteiden avulla, sillä ilman julkista tukea kattavaa latausverkostoa ei syntyisi (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2021). Valtioneuvoston asettaman tavoitteen mukaan Suomessa olisi oltava vuonna 2030 yksi pikalatauspiste jokaista 100 autoa kohden sekä jokaisella sähköautolla mahdollisuus yön yli tapahtuvaan lataukseen (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2021). Lisäksi Euroopan unioni on määrännyt rakennettavaksi vuoteen 2030 mennessä kuvassa 13 punaisella merkityn TEN-T verkon varrelle latausasemia vähintään 60 km välein (E erityiskertomus 05/2021, Sähköautojen latausinfrastruktuuri EU:ssa on liian hajanaista).



**Kuva 13.** TEN–T tieverkko (Väylävirasto, 2020)

Rakennuksien omistajille ja tekijöille on asetettu velvoite suunnitella ja asentaa normaalitehoinen ajoneuvon latauspiste tai latauspistevalmius määrättyihin osuuksiin pysäköintipaikoista, kun rakennetaan uutta rakennusta tai korjataan laajamittaisesti vanhaa. Laki pätee rakennuksiin, joissa käytetään energiaa sisäilman ylläpitoon. Lisäksi laki koskee asuinrakennusten käyttöön tarkoitettuja pysäköintitaloja, vaikka niiden sisäilman ylläpitoon ei käytettäisi energiaa. (Laki rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latauspistevalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmillä 733/2020).

Normaalitehoinen latauspiste määritetään direktiivistä (2014/94/EU), jonka mukaisesti normaalitehoisella latauspisteellä tarkoitetaan ensisijaisesti ajoneuvojen lataukseen käytettävää lataustehoaltaan 3,7–22 kW latauspistettä. Latauspistevalmiudella

tarkoitetaan putkituksien asennusta, mihin voidaan sijoittaa latausasemiin tarvittavat sähkönsyöttökaapelit ja pysäköintipaikkaan voidaan asentaa näin myöhemmin latauspiste. Laajamittaisella korjauksella puolestaan tarkoitetaan remonttia, johon pitää hakea rakennuslupa. Lakia on sovellettu hankkeisiin, jotka ovat pantu vireille 10.3.2021 jälkeen. Lisäksi lakia ei sovelleta kohteisiin, joissa on alle 5 pysäköintipaikkaa, tai pysäköintialue on tarkoitettu mikroyrityksen käyttöön. (733/2020)

Määrätyn päivämäärän jälkeen aloitetuissa uudisrakennushankkeissa sekä laajamittaisissa korjaushankkeissa on huolehdittava, että reunaehtojen täytyessä otetaan huomioon velvoite latauspisteistä ja latauspistevalmiuksista liite numero 2 mukaisesti. Lisäksi yksi latauspiste on oltava asennettuna kaikissa muissa lain piiriin kuuluvissa rakennuksissa paitsi asuinrakennuksissa vuoden 2024 loppuun mennessä. (733/2020)

Asuinrakennushankkeessa, jossa pysäköintipaikkoja on vähintään 5 kpl, on jokaiseen pysäköintipaikkaan asennettava latauspistevalmius. Muissa uudisrakennushankkeissa latauspistevalmius on asennettava vähintään 50 prosenttiin pysäköintipaikoista, jos pysäköintipaikkojen kokonaismäärä on 11–30 kappaletta. Yli 30 pysäköintipaikan paikoissa on latauspistevalmius asennettava vähintään 20 prosenttiin paikoissa, mutta latauspisteellisten paikkojen kokonaismäärä on oltava kuitenkin vähintään 15 kappaletta. Muissa kuin asuinrakennushankkeissa on lisäksi velvoite asentaa normaalitehoisia latauspisteitä, jos pysäköintipaikkoja on yli 10 kappaletta. Vaihtoehtoisesti voidaan asentaa yksi suuritehoinen latauspiste. Suuritehoisella tarkoitetaan latausteholtaan yli 22 kW latauspistettä (2014/94/EU). (733/2020)

Rakennushankkeisiin on mahdollista hakea tukea. Asuinrakennuksien latauspiste- ja latauspistevalmiushankkeisiin tukea myöntää ARA (Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus) ja sitä voivat hakea asuinrakennuksen omistavat yhteisöt, kuten taloyhtiöt tai niiden omistamat pysäköintiyhtiöt. Tukea on mahdollista saada 35 prosenttia toteutuneista kokonaiskustannuksista, mutta korkeintaan 90 000 euroa. Latauspistekohtainen maksimi yksikkötuki on 4 000 euroa. Tukea on lisäksi mahdollista hakea, vaikka 5 kappaleen pysäköintipaikkamäärä ei täytyisikään. Tällöin latauspiste tai latauspistevalmius tulee asentaa jokaiseen pysäköintipaikkaan (Ara, 2021a). (Ara, 2020)

Avustuksen saamiseksi hankkeen on täytettävä tietyt tekniset reunaehdot. Latauspistevalmiushankkeissa on varauduttava 11 kW 3-vaiheiseen lataukseen. Tällä tavoitellaan investoinnin hyödyllisyyttä tulevaisuudessa. Latauslaitteinvestoinnissa ehtona on vähintään 11 kW lataustehoa tukeva ja Type 2 pistoketta käyttävän latauslaitteen asentaminen. Lisäksi latauslaitteiden suositellaan tukevan kuormanhallintaa. (Ara, 2021a)

Aran myöntämää tukea on mahdollista saada myös muiden toimijoiden kuin asuinrakennuksen omistavien yhteisöjen. Tällaisia tahoja ovat muun muassa yritykset, kunnat, säätiöt ja seurakunnat. Teknisiltä ehdoiltaan tuki on samankaltainen taloyhtiöille suunnatun tuen kanssa. Tuen suuruus on 750 euroa latauslaitetta kohden, ja avustusta voi saada enintään kymmeneen laitteeseen vuodessa. Tukea ei saa asuin- eikä vieraskäyttöön tarkoitettuihin pysäköintipaikkoihin. Rakennuksille asetetut velvoitteet ovat esitettynä kootusti liitteessä 1. (Ara, 2021a; Ara, 2021b)

Edellisessä kappaleessa mainitun tuen lisäksi Suomessa Energiavirasto myöntää tukea julkisille latauspisteille. Tuen myöntäminen harkitaan tapauskohtaisesti, mutta hankkeen latauspisteiden on jokaisen yhtäaikaisella latauksella kyettävä lataamaan ajoneuvoa yli 22 kW latausteolla. (Valtioneuvoston asetus sähköisen liikenteen ja biokaasun liikennekäytön infrastruktuurituesta vuosina 2018–2021, 27.6.2018/498)

Toinen merkittävä velvoite sähköajoneuvojen tai latauksen saralla on direktiivi 2019/1161 (direktiivi EU/2019/1161, puhtaiden ja energiatehokkaiden tieliikenteen moottoriajoneuvojen edistämiseksi annetun direktiivin 2009/33/EY muuttamisesta). Direktiivin pohjalta on Suomessa säädetty laki ajoneuvo- ja palveluhankintojen ympäristö- ja energiatehokkuus vaatimuksista (740/2021). Laissa on kaksi hankintakautta, joista ensimmäinen alkoi 2.8.2021 ja päättyy 31.12.2025 ja toinen, päästörajoiltaan edellistä tiukempi, alkaa 1.1.2026 ja päättyy 31.12.2030. Ajanjakson aikana on lain 740/2021 mukaisen julkisten ajoneuvo- ja liikennehankintojen sisällettävä määrättyt osuudet puhtaita ajoneuvoja. Kaupungeissa, kuten Seinäjoella, puhtaita henkilöautoja ja kevyitä hyötyajoneuvoja on oltava 50 prosenttia kaikista lain 740/2021 mukaisista hankintajaksojen aikana hankituista ja vastaavasti kuorma-autoista puhtaita on oltava vähintään 15 prosenttia. Lisäksi laissa on määritelty erikseen puhtaiden M3-luokan linja-autojen määräosuus kaikista hankinnoista. Ensimmäisen hankintajakson aikana puhtaita on oltava vähintään 41 prosenttia kaikista kyseisen luokan hankinnoista ja toisen jakson aikana vähintään 59 prosenttia. (740/2021)

Ympäristöystävällisiin ajoneuvoihin luetaan kuuluvaksi direktiivin 2014/94/EU mukaiset puhtaat ajoneuvot, joiden päästörajat ovat ajoneuvoluokakohtaisesti esitelty taulukossa 2. Päästörajat tiukentuvat hankintakauden vaihtuessa, jolloin kilometrikohtainen päästöraja tippuu nolnaan. Taulukossa M1-luokka tarkoittaa henkilöautoja, M2-luokka enintään 5 tonnin linja-autoja ja N1-luokka pakettiautoja. Raskaammilla ajoneuvoilla kuten kuorma-autoilla ja yli 5 tonnin linja-autoilla puhtaan ajoneuvon vaatimuksena olisi direktiivissä 94/2014/EU määritetty vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttö tai polttomoottorin CO<sub>2</sub> päästöraja alle 1 g/km. Vaihtoehtoisiksi polttoaineiksi luetaan sähkö, vety sekä soveltuvin osin biopolttoaineet. (740/2021)

**Taulukko 2.** Puhtaiden ajoneuvojen päästörajat hankintajaksoittain (Muokattu lähteestä EU/2019/1161)

Ajoneuvoluokat	31.12.2025 saakka	1.1.2026 alkaen
	CO <sub>2</sub> g/km	CO <sub>2</sub> g/km
M <sub>1</sub>	50	0
M <sub>2</sub>	50	0
M <sub>3</sub>	50	0

Suomessa kotimaan liikenteen nykyisiä päästövähennystavoitteita mahdollisesti tiukennetaan tulevaisuudessa. Valtioneuvosto on asettanut tavoitteekseen selvittää nykyisen hallituskauden aikana eri mahdollisuudet velvoittaa huoltoasemaketjut tarjoamaan laatusmahdollisuuksia. Kyseisen veloitteen tukiohjelmassa olisi kuitenkin lainsäädännöllisiä ongelmia, jotka pitäisi ratkaista ennen veloitteen mahdollista voimaantuloa. (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2021, s.19–20)

### 3 Keskeisimmät verkostovaikutukset

Sähkömarkkinalaki vaatii sähköverkkoyhtiöitä toimittamaan standardin SFS-EN 50160 mukaista sähköä (588/2013). Laadun on oltava hyvää, mikä tarkoittaa luotettavaa sekä ominaisuuksiltaan vaatimuksien mukaista sähkön siirtoa. Sähköajoneuvojen latauksen tuoma tehonkulutuksen lisäys on muodostanut verkkoyhtiöille tarpeen tarkastella sähköverkon siirtokykyä. Sähkömarkkinalaissa on määritetty sähköverkkoyhtiöille korvausvelvollisuus, jos se ei ennustettavissa olevien syiden vuoksi pysty toimittamaan standardien mukaista sähköä (588/2013).

Tämän diplomityön kaltaisia tutkimuksia liikenteen sähköistymisen vaikutuksista on tehty myös aiemmin. Suomessa lähes vastaava tutkimus on tehty JE-siirron (Nykyinen Alva Sähköverkko) ja Tampereen sähköverkon alueilla. Molemmille alueille määritettiin toisistaan eroavia liikenteen sähköistymisskenaarioita ja tutkittiin niiden verkostovaikutuksia. JE-siirron sähköverkon alueen tutkimus on vertailukelpoisempi diplomityön kanssa, sillä sen liikenteen sähköistymisskenaariot ovat laajempia ja antavat näin Tampereen sähköverkon alueesta toteutettua tutkimusta paremman kuvan. (Rautiainen ja muut, 2013)

JE-verkon alueella lataustapahtumien merkittävin verkostovaikutus oli jakelumuuntajien kuormittuminen. Kuormittumisen todettiin olevan suurinta kylmän sään aikana, jolloin rakennusten lämmitystarve on suurin. Hyvänä puolena kylmässä ilmassa on ulkotiloissa olevan muuntajan sallittu pieni ylikuormittuminen. Tällöin kylmän ilman jäähdyttävä vaikutus kompensoi pienestä ylikuormittumisesta aiheutuvan lämpenemän. Tekijät nostivat esille verkostovaikutuksien minimoimisessa kuormanhallinnan tärkeyden. Kuormanhallinnan avulla olisi mahdollista pienentää maksimitehokulutushuippua. Tämä ratkaisisi merkittävän osan tutkimuksessa ilmenneistä jakelumuuntajien ylikuormittumisongelmista. Tutkimuksessa esille nostettiin vielä johtimien ylikuormittuminen ja standardin määrittelemän jänniterajan alitus. Molempia näistä esiintyi kuitenkin vain muutamissa tapauksissa ja vain rajuimmassa liikenteen sähköistymisskenaarioissa. (Rautiainen ja muut, 2013)

Muualla Euroopassa vastaavanlaisia tutkimuksia on tehty esimerkiksi Saksassa. Held ja muut (2019) tutkimuksessaan valitsivat 12 eri ominaispiirteistä ja topologista jakelumuuntajalähtöä. Lähdöt olivat jaettu ominaispiirteiltään maaseutumaisiin, kaupunkimaisiin ja niiden välimuotoihin. Lähdöille simulointia varten oli tehty kolme skenaariota. Skenaarioissa toisistaan erosivat latausta edeltävä akun varaustaso ja akun lopullinen varaustaso. Tutkimuksen mukaan verkostovaikutukset eivät ole riippuvaisia verkon topologiasta. Tässä tutkimuksessa nostettiin verkostovaikutuksista esille jakelumuuntajien ylikuormittuminen sekä erityisesti liiallinen jännitteenalenema. Lisäksi tutkimuksessa korostettiin kuormanhallinnan merkitystä lataustapahtumien verkostovaikutuksien pienentämiseen. (Held & muut, 2019)

Norjassa liikenteen sähköistyminen on edennyt vauhdikkaammin kuin Suomessa. Tammiukuussa 2020 täyssähköajoneuvoja tai ladattavia hybrideitä oli 375 000 kappaletta. Wangness ja Halse (2021) ovat hyödyntäneet tilanteen ja tutkineet mahdollisten skenaarioiden sijasta jo toteutunutta tilannetta. Tutkimuksessa tarkasteltiin erityisesti sähköverkkoyhtiöille aiheutuneita kustannuksia. Tuloksien mukaan liikenteen sähköistymisen kustannukset vaihtelevat melko suuresti sähköverkkoyhtiö kohtaisesti. Mitä enemmän verkkoyhtiöllä on asiakkaita sekä sähköajoneuvoja alueella, sitä pienemmät suhteelliset kustannukset ovat liikenteen sähköistymisestä olleet. Tutkimuksessa löytyi lisäksi viitteitä, että suhteelliset kustannukset ovat suuremmat maaseudulla kuin kaupungissa pienemmän siirtokapasiteetin vuoksi. (Wangness & Halse, 2021)

Diplomityöhön tarkasteltaviksi verkostovaikutuksiksi on valittu muuntajakapasiteetin sekä johtimien ja muiden komponenttien mitoitusriittävyydet. Sähköverkkoyhtiölle aiheutuu merkittävästi lisäkustannuksia tilanteista, joissa muuntajan tai johtimien kapasiteetit eivät riitä. Tällöin ainoa vaihtoehto on vaihtaa suuremman nimellistehon muuntaja sekä johtimet vastaamaan suurentunutta sähkön jakelutarvetta.

Latausasemat aiheuttavat lisäksi muita verkostovaikutuksia, jotka ovat rajattu Seiverkot Oy:n toimesta selvitysosuuden ulkopuolelle. Tällaisia ovat esimerkiksi latausasemien ta-sasuuntaajien aiheuttamat epäharmoniset ja harmoniset yliaallot (Lakervi & Partanen, 2008). Muita selvitysosuuden ulkopuolella jätettyjä ovat vaiheiden epäsymmetrinen kuormituksesta aiheutuvat ongelmat sekä jännitteen laatuun liittyvät haasteet.

### 3.1 Jakelumuuntajakapasiteetti

Jakelumuuntajalla tarkoitetaan muuntajaa, joka muuntaa KJ-verkon jännitteen PJ-verkon jännitetasoon. Suomessa KJ-verkon yleisin käytössä oleva jännite on 20 kV ja PJ-verkon 400 V. Jakelumuuntajat ovat joko kuvan 14 mukaisesti pylväs- tai puistomuuntamoita. Puistomuuntamot ovat yleisempiä kaupunkimaisella alueella ja niiden määrä lisääntyy maakaapeloinnin myötä. Pylväsmuuntamot sijaitsevat yleensä maaseudulla ilmajohto-verkoissa. (Lakervi & Partanen, 2008)



**Kuva 14.** Puistomuuntamo (Sari Katila, henkilökohtainen keskustelu, 12.4.2022)

Muuntajia voidaan kuormittaa jonkin verran yli nimellisen, mutta tästä aiheutuva lämpeneminen pienentää muuntaja elinikää. Muuntajat nimelliskuorma mitoitetaan + 20 celsiusasteen lämpötilan mukaan. Tämän vuoksi erityisesti pylväsmuuntajia on mahdollista ylikuormittaa merkittävästi talvisin, jolloin lämpötila on reilusti mitoitettua tilanetta kylmempi ja muuntajan ulkoinen jäähtytys näin tehokasta. Noin 30 % nimelliskuormaa suurempaa kuormitusta pidetään maksimaalisena ylityksenä. (Elovaara ja Haarla, 2011)

### 3.2 Jännitteen laatu

Jännitteen laadun ongelmat jaetaan pääsääntöisesti kahteen eri ryhmään, jännitetason muutoksiin sekä jännitteen sinimuodossa tapahtuviin vaihteluihin. Jännitetason muutoksia voivat aiheuttaa esimerkiksi kuormituksen tai tuotannon lisääntyminen (Lakervi ja Partanen, 2008). Sinimuodossa tapahtuvia muutoksia kutsutaan jännitehäiriöiksi. Tässä diplomityössä keskitytään jännitetason muutoksiin ja erityisesti latauslaitteiden vaikutuksesta jännitteenalenemaan.

Jännitetasolle on määritetty standardissa SFS-EN 50160 taulukon 3 mukaiset raja-arvot. Standardin mukainen pienjakeluverkon vaihejännite  $U_n$  on Suomessa 230 V. Vaihejännitteen 10 minuutin keskiarvo saa vaihdella 95 prosenttia ajasta 207 ja 253 voltin välillä ja 100 prosenttia ajasta vaihtelun on pysyttävä 195,5 ja 253 voltin välillä. (SFS-EN 50160, 2010)

**Taulukko 3.** Sallittu vaihejännitteen tehollisarvon vaihteluväli

	Min (V)	Max (V)	+/- %
95 % ajasta	207	253	+10/-10
100 % ajasta	195,5	253	+10/-15

Jännitteen alenema on suurimmillaan johdon loppupäässä. Tämän vuoksi jännitteenalenema saadaan selvitettyä, kun vähennetään johdon alku- ja loppupäiden jännitteen itseisarvot toisistaan. On tärkeää pitää jännite mahdollisimman lähellä asiakkaan liittymispisteessä 230 V tavoitearvoa. Käyttäjälle alhainen jännite saattaa aiheuttaa toimintahäiriöitä laitteisiin. (Lakervi ja Partanen, 2008)

Johdon jännitteenaleneman likiarvo voidaan myös määrittää laskennallisesti. Jos johdon kuormitus ei ole suuri, voidaan absoluuttiseen jännitteenalenemaan käyttää kaavaa

$$U_h = I(R\cos\varphi + X\sin\varphi) = I_p R + I_q X \quad (1)$$

jossa  $U_h$  tarkoittaa jännitteenalenemaa,  $I$  virtaa,  $R$  resistanssia,  $\cos\varphi$  tehokerrointa,  $X$  reaktanssia,  $I_p$  virran pätökomponenttia ja  $I_q$  virran loiskomponenttia. Suhteellisen jännitteenaleneman määrittämiseen käytetään kaavaa

$$U_{h\%} = 100 * \frac{\sqrt{3}(I_p R + I_q X)}{U} = 100 * \frac{P}{U^2} * (R + X \tan\varphi) \quad (2)$$

jossa  $U_{h\%}$  tarkoittaa suhteellista jännitteenalenemaa,  $U$  pääjännitettä ja  $P$  pätötehoa. Jos kuormitusta on suuri määrä, johdon alku- ja loppupään jännitteen kulma eroaa liikaa ja kaavat 2 ja 3 muuttuvat liian epätarkoiksi. Karkeasti voidaan yleistään kaavojen 2 ja 3 pätevän riittävällä tarkkuudella normaaleissa kulutustilanteissa. (Lakervi ja Partanen, 2008)

Jännitteenaleneman lisäksi herkkyys jännitteenalenemaan on tärkeä tieto. Tätä kutsutaan jännitejoustoksi. Jännitejousto voidaan määrittää pätötehon suhteen kaavan

$$\frac{dU_{h\%}}{dP} = \frac{R}{U^2} \quad (3)$$

mukaisesti. Loistehon suhteen jännitejousto voidaan puolestaan määrittää kaavan

$$\frac{dU_{h\%}}{dQ} = \frac{X}{U^2} \quad (4)$$

perusteella, jossa  $Q$  tarkoittaa loistehoa. Näin jännitejouston yksiköksi tulee %/VA. (Lakervi ja Partanen, 2008)

Jännitejouston suuruutta kuvaa hyvin myös liittymispisteiden 1-vaiheinen oikosulkuvirta. Jännitteenaleneman sekä jännitejouston tilannetta voidaan parantaa pienentämällä muuntajan ja johtolähdön impedanssia. Johtimen impedanssia voidaan pienentää linjaa lyhentämällä tai vaihtamalla johto suuremman poikkipinta-alan tai paremmin johtavan materiaalin johtimeen. (Lakervi ja Partanen, 2008)

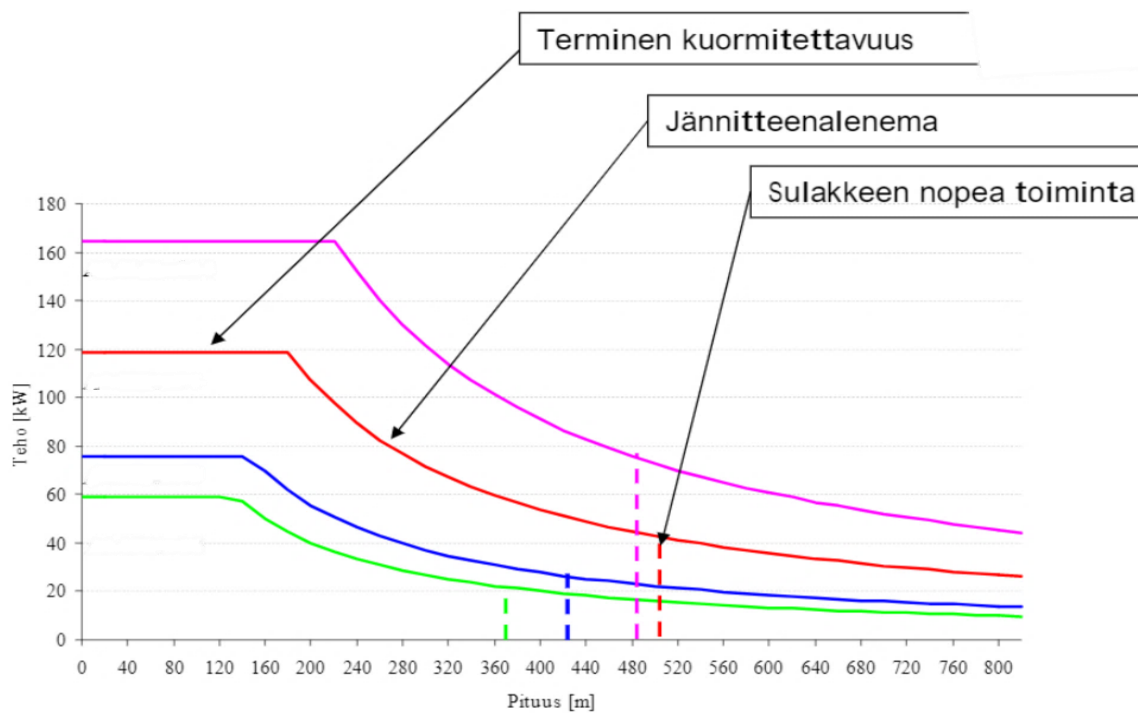
### 3.3 Johtimien mitoitus

PJ-verkon johdinten valintaa ohjaavat kaksi perustekijää. Johtimen kuormitettavuus on oltava riittävä kuormitusvirtaan sekä asennus- sekä käyttöolosuhteisiin nähden. Toinen mitoitusohjaava tekijä on johtimen kustannukset. Ne rajoittavat johtimen materiaali- valintaa sekä poikkipinta-alaa. Liian pienelle kuormitusvirralle olosuhteisiin nähden mitoitettu johdin lämpenee yli suositusten. Tällöin riskinä on jopa tulipalo. Hyvän siirtokyvyn johdin parantaa liittymien 1-vaiheista oikosulkuvirtaa ja vähentää siirrosta aiheutuvaa häviötä. Sähköajoneuvojen latauksen lisääntyminen voi aiheuttaa merkittävän lisäyksen sähkön siirtotarpeeseen. Tämän vuoksi olisi tärkeää johdinta vaihdettaessa ottaa huomioon uuden johtimen mitoituksen kapasiteettivara. (Lakervi ja Partanen, 2008)

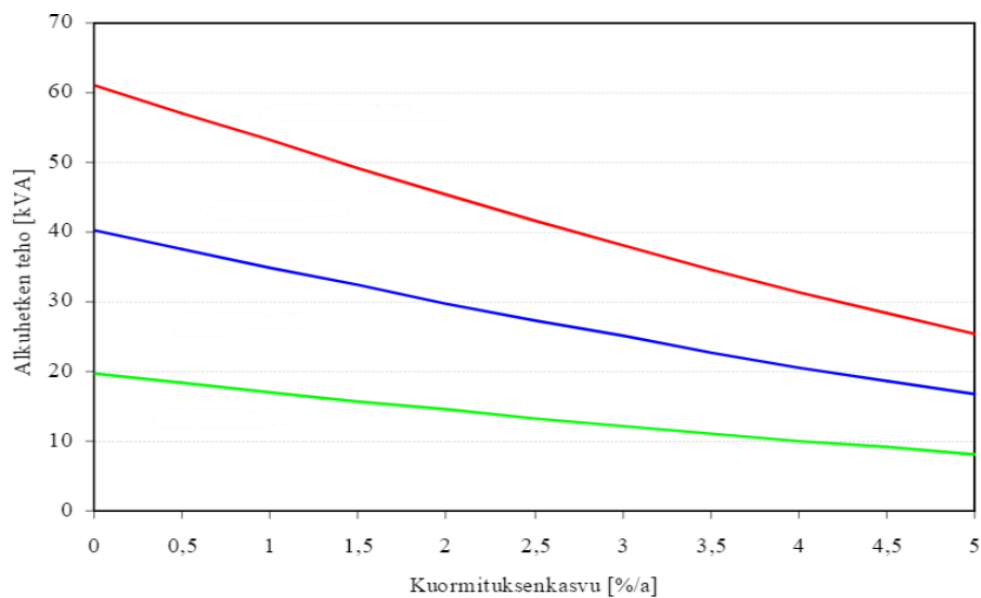
Teknistaloudellisten tekijöiden perusteella voidaan määrittää kuvan 15 mukainen kuvaaja, josta voidaan siirrettävän tehon ja johtimen pituuden avulla valita optimaalinen vaihtoehto. Kuvassa 15 viivojen vaakasuorat osuudet kuvaavat johtimen termistä kuormitettavuutta. Viivan tasaisen osuuden jälkeen johtimen pituuden kasvaessa alkava pudotus johtuu liian suuresta jännitteenalenemasta. Tällöin saman tehon siirtämiseen tarvitaan suuremman kuormitettavuuden johdin. Pystysuora katkoviiva kuvaa puolestaan

rajaa, joka on kyseisen johtimen maksimipituus. Muutoin syötön nopean poiskytkennän vaatimus ei täyty. Tämä aiheutuu liian pieneksi muuttuvasta yksivaiheisesta oikosulkuvirrasta. (Lakervi ja Partanen, 2008)

Johtimen mitoituksessa voidaan ottaa huomioon myös arvioitu johtimen siirtotarpeen nousu. Tällöin alkuperäisen siirtotarpeen sekä arvioidun prosentuaalisen siirtotarpeen nousun avulla voidaan valita optimaalisin vaihtoehto kuvan 16 kaltaisesta kuvaajasta. (Lakervi ja Partanen, 2008)



**Kuva 15.** PJ-johtimen mitoitus (Muokattu lähteestä Lakervi ja Partanen, 2008)



**Kuva 16.** PJ-johtimen taloudellinen käyttöalue (Muokattu lähteestä Lakervi ja Partanen, 2008)

## 4 Kyselytutkimuksen esittely ja skenaarioiden määrittäminen

Liikenteen sähköistymisnopeus ja -taso ovat haasteellisia määrittää yksiselitteisesti. Tämän vuoksi diplomityöhön on päätetty sisällyttää selvitysosuutta tukeva kyselytutkimus, joka on lähetetty valituille Seiverkot Oy:n verkkoalueella toimiville sekä latausasemapaikavalmistajille tarjoaville tahoille. Kyselyn tavoitteena on saada mahdollisimman todenmukainen ja laaja käsitys liikenteen sähköistymisen nykyisestä tilasta ja tulevaisuuden suunnitelmista. Tulevaisuuden ajankohdaksi määritettiin vuosi 2025. Kauempi ajankohta olisi tehnyt työn toimeksiantajan ohjeistuksen mukaan todenperäisyydestä liian hataran. Kyselytutkimuksessa ei ole rajattu ulos KJ-verkon asiakkaita. Tämä johtuu tavoitteesta saada mahdollisimman laaja kuva liikenteen sähköistymisestä.

### 4.1 Kysely ja kyselyn tulokset

Kyselytutkimukseen valikoitiin yhteensä 40 mahdollisimman laajasti eri toiminta-alueilla toimivaa tahoa. Tutkimuksen kannalta riittävän laajoja vastauksia saatiin 27 kappaletta. Näiden perusteella toiminta-alueiksi valittiin julkiset toimijat, latausliiketoiminta-alueen toimijat (latauspalvelujen tarjoajat ja latauslaitteiden valmistajat sekä latausasemien asentajat), liikennöitsijät, vähittäiskaupan toimijat, autoliikkeet, rakennusyhtiöt sekä taloyhtiöiden isännöitsijät. Lähes jokaiselle toimijalle räätälöitiin oma kyselylomake, jotta olisi välttytty epäolennaisilta kysymyksiltä. Liitteessä 2 on esimerkkinä kyselylomake, joka on tehty liikennöitsijää varten.

Sähköajoneuvoja, jotka tässä tutkimuksessa luetaan tutkimukseen kuuluvaksi, on kyselyn tekohetkellä erittäin vähän kyselyyn vastanneilla käytössä. Tämä nousee esille jokaisen kategorian vastauksista. Vastanneista kolmella oli sähköautoja, mutta yksittäisen tahon omistuksessa oli korkeintaan kaksi sähköautoa.

Autoliikkeillä tilanne on myytyjen autojen suhteen erilainen. Yksi autoliike arvioi myyvänsä vuonna 2021 noin 1350 kappaletta sähköautoja, mikä olisi noin kymmenen prosenttia liikkeen kokonaismyynnistä. Muut autoliikkeet eivät suostuneet kommentoimaan nykyistä myyntimäärää. Vaikka sähköautoja on jo myyty, vastanneista taloyhtiöistä vain yhdellä oli yksi yhteiskäyttöauto. Lisäksi taloyhtiöiden asukkailla oli ainoastaan yksittäisiä sähköautoja omistuksessaan. Tämä antaa viitteitä, että sähköautot keskittyvät omakotitaloissa asuville yksityishenkilöille.

Sähköisiä raskaan liikenteen ajoneuvoja ei ole nykyhetkellä yhtään ja suunnitteilla ei ole juurikaan lisätä niiden määrää. Seinäjoen alueen toimijat luottavat kaasu- ja biodieselmääräisten raskaan liikenteen ajoneuvojen olevan sähkökäyttöistä järkevämpi ratkaisu. Tämän vuoksi tässä alaluvussa käytetään ajoneuvo-termin sijaan autoa. Auto-termi sisältää tässä alaluvussa henkilöautot ja pakettiautot.

Kyselyn perusteella sähköautojen määrä tulee nousemaan Seiverkot Oy:n verkkoalueella vuodelle 2025. Vastaukset kuitenkin ennakoivat erittäin maltillista kasvuvauhtia suhteutettuna valtioneuvoston asettamiin tavoitteisiin. Ainoastaan liikennöitsijöillä on suunnitteilla lisätä merkittävästi sähköautojensa määrää. Esimerkiksi eräs toimija, jolla nykyhetkellä ei ole yhtään sähköautoa, arvioi autoistaan olevan 50 prosenttia sähköautoja vuonna 2025 ja sähköautoista 50 prosenttia olisi lataushybrideitä ja 50 prosenttia täyssähköautoja.

Julkisten toimijoiden sähköautomäärä tulee nousemaan todennäköisesti vuoden 2025 loppuun mennessä enemmän kuin vastauksen 5 kappaletta. Vuonna 2021 voimaantullut laki velvoittaa julkisia toimijoita hankkimaan vaihtoehtoisilla käyttövoimilla liikkuvia autoja. Laki on esitelty alaluvussa 2.4.

Autoliikkeiden sähköautojen myyntiennusteet vuodelle 2025 poikkeavat kyselyn muusta linjasta merkittävästi. Liikkeet ennakoivat myyvänsä 15, 40 ja 80 prosenttia kaikista autoista sähköautoja. 80 prosentin osuus myydyistä autoista tarkoittaisi kyseisen liikkeen

tapauksessa noin 20 000 myytyä sähköautoa. Liike, joka ennakoi myyvänsä 15 prosenttia sähköautoja, uskoo polttonennoautojen tulevan vallitsevaksi käyttövoimaksi Seinäjoen alueella. Tämän vuoksi kyseinen liike on panostanut sähköajoneuvojen myyntiin muita liikkeitä vähemmän.

Latauspisteitä on nykyhetkellä vaihtelevasti kyselyyn vastanneilla tahoilla. Osa tahoista on panostanut merkittävästi latausmahdollisuuden tarjoamiseen tai suunnittelee laajaa investointia latauspisteiden hankkimiseksi. Vain neljällä vastanneista on verkkoyhtiön kannalta erittäin merkittävä latauskentän tai -kenttien yhteislatausteho. Merkittävän raja on tässä tilanteessa vähintään 200 kW latauskentän latausteho. Nämä kolme kuuluvat autoliikkeesiin, latausliiketoiminta-alueella tai vähittäiskaupan alalla toimiviin. Toisessa ääripäässä toimijoilla ei ole yhtään latauspistettä eikä myöskään suunnitelmia niiden lisäämiseksi. Tämän ääripään tahot ovat pääsääntöisesti taloyhtiöitä ja julkisen puolen toimijoita. Maaliskuussa 2021 on alaluvussa 2.4 esittelyn mukaisesti tullut voimaan laki, joka velvoittaa tiettyjen ehtojen täytyessä asentamaan latauspisteitä tai latauspistevalmiuksia. Laki päätisi tilanteissa, joissa rakennetaan uutta tai tehdään riittävän laaja peruskorjaus. Tämä ja latauspisteiden kysyntä on jo muuttanut osan toimijoiden kantaa latauspisteiden rakentamisen puolelle. Mitä lähemmäs vuosi 2025 tulee, sitä useampi todennäköisesti muuttaa vastaavalla tavalla kantaansa.

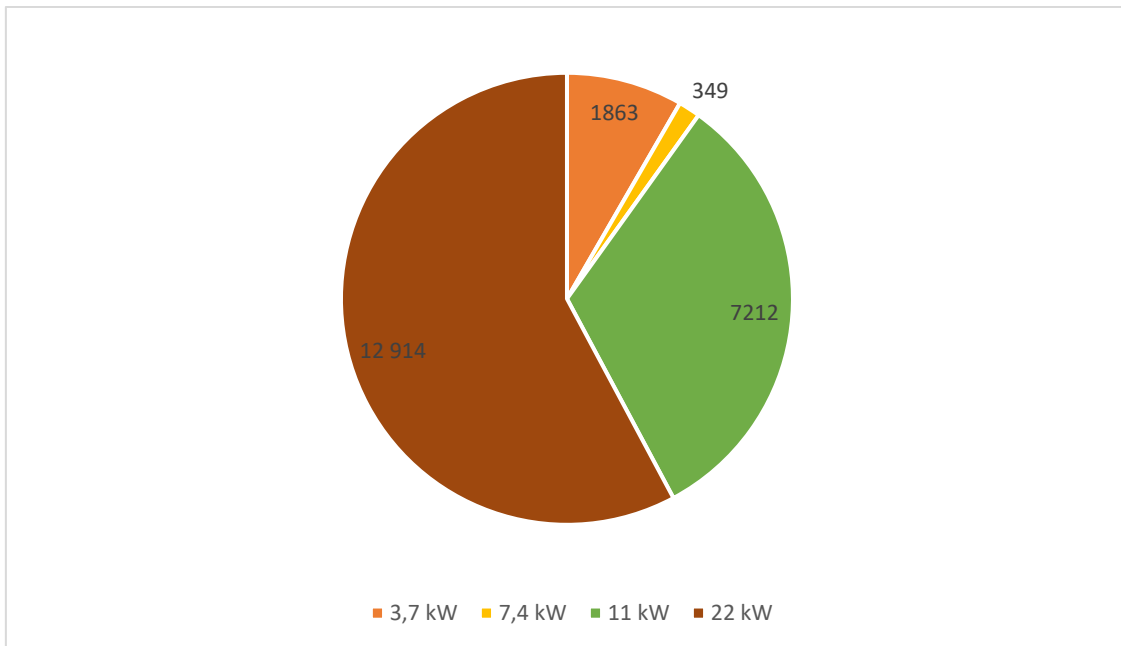
Vuonna 2025 tilanne latauspisteiden suhteen on vastauksien mukaan muuttunut. Latauspisteitä on moninkertainen määrä sekä pisteiden maksimi lataustehot ovat kasvaneet vuoteen 2021 verrattuna. Vastauksien perusteella vuonna 2025 on muodostunut yleinen standarditaso, jonka mukaisesti jokaisen liikkeen pysäköintialueella on tuolloin vähintään kahdesta neljään kappaletta 22 kW latauspisteitä. Osa tahoista kuitenkin panostaa merkittävästi tätä tasoa enemmän latauspisteisiin. Kyselyn perusteella latauspisteiden määrään ja teknisiin ominaisuuksiin vaikuttavat tahon varallisuus, pysäköintipaikkojen käyttäjien tarve sekä varallisuus, latauspisteiden kustannukset, tuet ja velvoitteet.

Kaupanalalan suurimmat toimijat sekä osa polttoaineliiketoiminnassa mukana olevista pa-nostavat merkittävästi tätä tasoa enemmän latauspisteisiin. Esimerkiksi suurimpien toi-mijoiden vähittäiskaupoissa tulee vuonna 2025 olemaan 22 kW latauspisteiden lisäksi keskimäärin 4 kappaletta maksimiteholtaan 50 kW latauspistettä. Latauskentän huippu-teho olisi vähintään 100 kW ja suuremmissa kaupoissa 200–400 kW. Polttoaineliiketo-i-minnassa mukana olevien sekä tahojen, joissa asiakkaat viettävät lyhyen ajan, suunnitel-missa ovat vielä 50 kW suuremmat latauspistekohtaiset maksimilataustehot. Muuta-malla toimijalla on suunnitelmissa lisätä latauskenttäkohtaisesti 2–4 kpl maksimi lataus-teholtaan 150–350 kW latauspisteitä. Lisäksi eräällä liikennöitsijällä, jonka ajoneuvoista merkittävä osa on henkilöautoja, on tarkoitus asentuttaa 50–100 kappaletta maksimi latausteholtaan 50 kW latauspisteitä Seinäjoen alueelle.

Seiverkot Oy:n verkkoalueella taloyhtiöiden latauspistesuunnitelmissa korostuu lataus-pistevalmiuksien tekeminen tulevien remonttien yhteydessä. Tämä johtuu pääasiassa lain tuoman veloitteen noudattamisesta. Rakennusyrityksiltä kysyttäessä on uudisra-kennuksien osalta samankaltainen tilanne kuin taloyhtiöillä. Arvion mukaan alle 10 pro-sentilla pysäköintiruuduista olisi latauspiste vuonna 2025. Eräissä uudiskohteessa han-kittiin latauspisteitä varten uusi sähköliittymä, joka mahdollistaisi 1,2 kW lataustehon jo-kaiselle pysäköintiruudulle. Liittymää hankittaessa rakennusyhtiö sopi Seiverkot Oy:n kanssa liittymän koon nosto-optiosta. Kokoa olisi mahdollista nostaa portaittain aina ti-lanteeseen, jossa jokaisessa pysäköintiruudussa olisi mahdollista ladata yhtä aikaa noin 5,8 kW teholla. Kuormanhallinta tulisi käyttöön jokaisessa uudessa kohteessa.

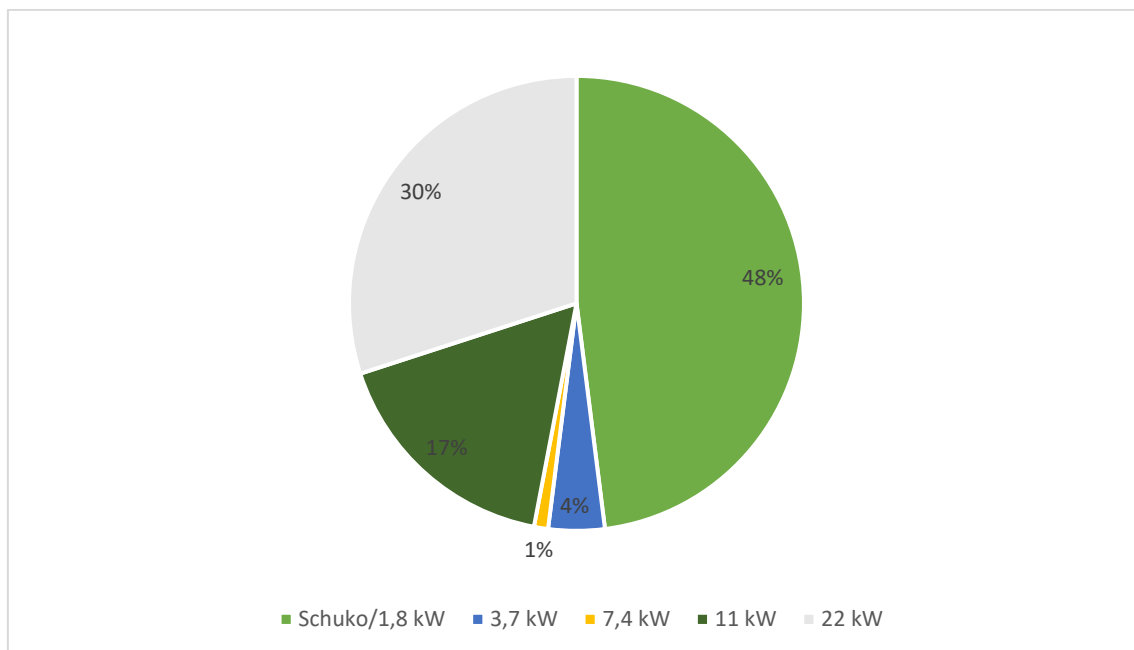
Yksityisissä kotilatauspisteissä eräs Suomen laajuudessa merkittävä toimija odottaa 50 prosenttia vuotuista kasvua asennettuihin kotilatauspisteisiin. Kasvu kohdistuisi erityi-sesti lataustavan 3 mukaisiin latauspisteisiin, joiden yleisin maksimilatausteho olisi vas-tauksen sekä valtakunnallisen tilaston mukaan (kuva 17) 22 kW. Tätä suuntausta tukee myös sähköasennusyritysten kommentit kotilatauspisteiden asentamisesta. Lataustehol-taan 22 kW oleva latauspiste vaatisi kuitenkin vähintään 3x35 A pääsulakekoon ja useissa taloissa on käytössä 3x25 A pääsulakekoko. Ratkaisuna tähän olisi dynaaminen

kuormanhallintajärjestelmä, joka muuttaa lataustehoa liittymän muun kulutuksen mukaan. Tällöin liittymän kokonaiskulutus pysyisi pääsulakekoon mahdollistamissa rajoissa. Toimija arvio jokaisen uuden kotilatauspisteen sisältävän edellä mainitun dynaamisen kuormanhallinnan vuonna 2025.



**Kuva 17.** Enintään 22 kW lataustavan 3 mukaisten latauspisteiden myynti teholuokittain vuonna 2021 (Muokattu lähteestä STK, 2022)

Vaikka suurin osa vastauksista ennakoivat latauspisteiden lataustehojen kasvua, eivät arviot ole vielä täysin siirtyneet todellisuuteen. Kuvassa 18 on esitetty valtakunnan laajuisesta tilastosta tehty kaavio. Siitä voidaan huomata, että vielä yli puolet lataustapojen 2 ja 3 mukaisista latauspisteistä on maksimilatausteholtaan enintään 3,7 kW. Eräs vastannut taho kertoi tilanteen syyksi kustannukset. Latausteholtaan enintään 3,7 kW latauspisteen voi yleensä asentaa suoraan auton lämmitystolpan tilalle. Tällöin ei tarvittaisi latauslaitteen lisäksi muita investointeja.



**Kuva 18.** Lataustapojen 2 ja 3 mukaisten latausasemien myyntiosuudet teholuokittain vuonna 2021 (Muokattu lähteestä STK, 2022)

Vastauksien perusteella sähköautojen ja latauspisteiden hankinnassa on vielä monia haasteita, jotka hidastavat liikenteen sähköistymistä. Kolme aihepiiriä nousi kuitenkin erityisesti esille. Useita tahoja mietityttää autojen ja latauspisteiden kustannukset, tekniset rajoitteet sekä epävarmuus tulevaisuudesta. Kyselyyn vastanneista kaupallisista tahoista monet kokevat latauspisteen olevan hyötyyn nähden kallis investointi, joka ei maksa itsensä elinkaarensa aikana takaisin. Lisäksi kustannuksissa mietityttää niiden tasavertainen jakautuminen eri asianosaisten välillä.

Latauspisteiden ja sähköautojen suhteen epävarmuutta aiheuttaa erityisesti autojen tulevaisuuden vallitseva käyttövoima sekä tekninen kehitys. Useimmat tahot eivät halua investoida, jos investoinnin kohde esimerkiksi ei täyttäisi toimintamatkavaatimuksia, muuttuisi erittäin nopeasti vanhentuneeksi tai jopa vääräksi tekniikaksi. Jotkin tahot ovat esimerkiksi hankkineet kaasukäyttöisiä ajoneuvoja, siirtyneet biodieseliin tai siirtäneet hankintojaan epävarmuuden ja teknisten rajoitteiden vuoksi. Muutamasta vastauksesta selvisi, että tarvittaisiin lainsäädännön tuoma pakko, että kyseiset tahot tekisivät latauspiste tai sähköajoneuvoinvestointeja. Autoteollisuuden tuotantorajoitteet ovat myös

hidastaneet sähköautojen määrän nousua vuoden 2021 aikana. Eräs autoliike kertoi vastauksessaan suosituimmilla malleilla olevan jopa vuoden toimitusaika, ja ihmiset ovat tämän vuoksi päätyneet muihin käyttövoimiin autoa ostaessa.

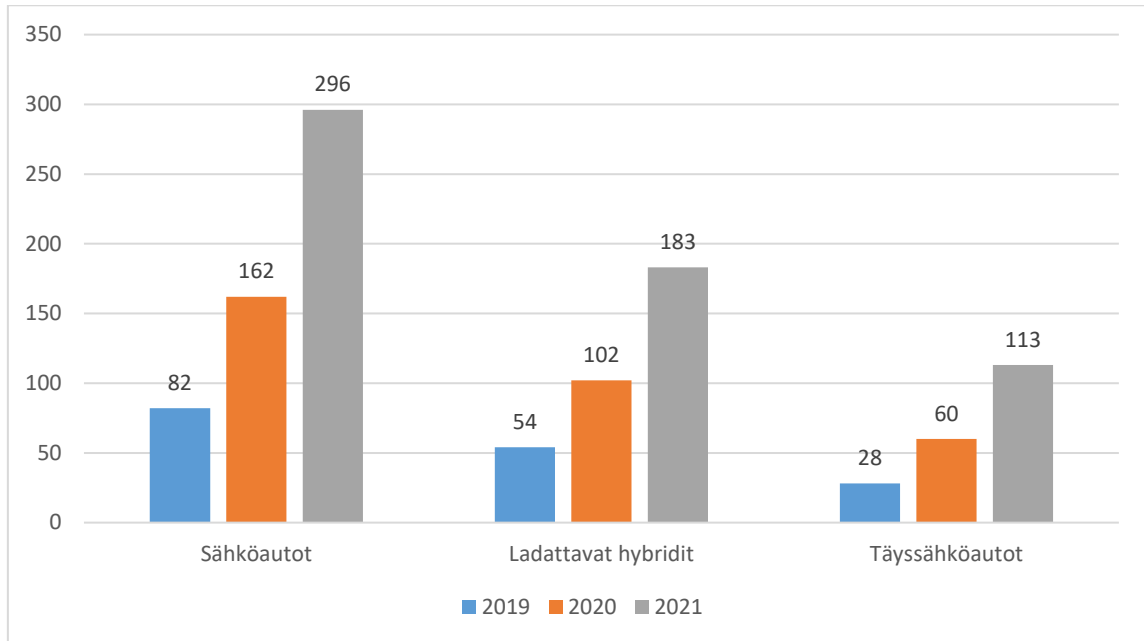
## 4.2 Seiverkot Oy:n verkkoalueen erityispiirteet

Seiverkot Oy:n verkkoalueella voidaan yleistää olevan valtakunnan tasoon nähden keskimääräisesti sähköajoneuvoja. Seinäjoella on keskimäärin 70 ihmistä jokaista sähköautoa kohden, ja koko Suomen laajuinen luku on puolestaan 55 ihmistä sähköajoneuvoa kohden (Traficom, 2022). Lukujen voidaan kuitenkin olettaa olevan samat, sillä Seinäjoen luku pitää sisällään Seinäjoen maaseutumaiset osat, joita ei juurikaan kuulu Seiverkot Oy:n verkkoalueeseen.

Kuvassa 19 näkyy Seinäjoella rekisteröityjen sähköautojen vuosittaiset määrät. Määrät ovat kasvaneet merkittävästi joka vuosi ja kehitys näyttää jatkuvan ja ainakin määräkoh- taisen kasvun nopeus tulee kyselyn vastauksien perusteella kasvamaan räjähdysmäisesti tulevien vuosien aikana.

Ladattavia hybrideitä on vuonna 2021 myyty 62 prosenttia enemmän kuin täyssähköau- toja. Kehitys kuitenkin kääntyy todennäköisesti pian suuntaan, jossa täyssähköautoja myydään jatkuvasti lataushybrideitä enemmän ja ero myyntimäärissä kasvaa jatkuvasti. Tätä kehitystä on kuitenkin hankala ennakoida ja ennusteet vaihtelevat lähes samoista myyntimääristä aina lataushybridien täyteen syrjäyttämiseen.

Kyselyn vastauksien perusteella latauspisteiden ja sähköajoneuvojen määrän kasvu ta- pahtuu pääasiassa yksityisten toimesta. Tätä ennakoi autoliikkeiden, sähköasennusyri- tysten ja latausliiketoiminta-alueella toimivien vastaukset.



**Kuva 19.** Sähköautojen rekisteröintimäärät Seinäjoella (Traficom, 2022)

## 5 Tapaustutkimuksen lähtökohdat

Diplomityön tapaustutkimuksen tarkoitus on tarkastella koko PJ-verkkoa sekä valita muuntopiirejä tarkempaa tarkastelua varten. Tarkastelu toteutetaan Trimble NIS verkko-tietojärjestelmän avulla. Lisäksi PJ-verkon laajuisesti tarkastellaan jakelumuuntajien kuormitustasoa. Yksittäiset muuntopiirit valitaan yhteistyössä muiden työntekijöiden kanssa. Tavoitteena on löytää muuntopiirit, joissa nouseva kuormitus aiheuttaisi ensimmäisenä ja mahdollisimman paljon erilaisia verkostovaikutuksia.

Muuntopiireistä tutkitaan kahta kokonaisuutta. Ensimmäinen on niiden myyty kuormitustaso. Jos muuntopiirin jokainen liittymä käyttää tehoa pääsulakkeensa mahdollistaman määrän, kuinka paljon PJ-verkon komponentit tällöin ylikuormittuisivat ja mitä vaikutuksia tällä on. Toisena tarkastelun kohteena on PJ-verkon kapasiteetin selvitys. Tavoitteena tässä on saada selville nykyhetken sähköverkon sallima suurin mahdollinen sähköautoistumistaso. Toisin sanottuna tavoitteena on tutkia, kuinka suureen osuuteen käyttöpaikoista olisi PJ-verkon siirtokyvyn kannalta mahdollista hankkia latauspiste. Latauspisteiden lataustehona käytetään kahta skenaariota.

Ensimmäisen skenaarion määrittämisessä hyödynnetään Simolinin ja muiden (2021) tekemää tutkimusta. Kohteena tutkimuksessa oli ostoskeskusten Redin ja Triplan latauskentät. Tutkimuksessa mallinnettiin latauspisteistä kerätyn datan perusteella latauskentän latauspistekohtaista lataustehoa. Tutkimuksen eri skenaarioissa käytössä oleva latauspiste lataa keskimäärin noin 1,5–3,0 kW teholla. Diplomityöhön valittiin tämän perusteella ensimmäiseksi skenaarioksi 3,0 kW latausteho.

Toisen skenaarion määrittämisessä hyödynnettiin Heldin ja muiden (2019) tekemään tutkimusta. Siinä oli esitelty sähköautokannan tyyppijakaumaan perustuva keskimääräinen lataustehon määrittäminen kaavan

$$P_{lat} = \frac{a * 11,5 \text{ kW} + b * 3,6 \text{ kW}}{100} \quad (5)$$

mukaisesti. Kaavassa  $P_{lat}$  tarkoittaa lataustehoa,  $a$  täyssähköautojen prosenttiosuutta kaikista sähköautoista ja  $b$  lataushybridien prosenttiosuutta kaikista sähköautoista. Molempia ajatellaan olevan 50 % ja lataustehoksi muodostuu näin 7,55 kW. Latausteho lisätään käyttöpaikan toiseksi korkeimman huipputehon päälle ja kaikkien käyttöpaikkojen huipputehonkäytön oletetaan tapahtuvan samaan aikaan.

Selvityksen lopullisena tavoitteena on antaa tietoa PJ-verkon nykytilasta sekä kyvystä vastata tulevaisuuden tehon käytön muutoksiin. Lisäksi tavoitteena on löytää PJ-verkon heikot verkonosat, jotka rajoittavat ensimmäisenä siirtokapasiteettia. Nykyhetkellä komponenttien uusintatarpeesta ei ole tarkkaa kuvaa ja tällä diplomityöllä halutaan tarkempaa tietoa ja ohjenuoria verkostosuunnittelun tueksi, jotta vuosittaiset investoinnit osataan kohdentaa oikein. Uhkakuvana tulevaisuudessa on tilanne, jossa useassa paikassa olisi välitön tarve siirtokapasiteetin lisäykselle. Tällöin henkilöstö-, aika- sekä raharesursit loppuisivat kesken.

## 5.1 Seiverkot Oy:n jakeluverkko

Jakeluverkon tehtävänä on jakaa sähkö loppukäyttäjille. Jakeluverkko saa sähkönsä päämuuntajien tai jakeluverkkoon liitettyjen generaattorien kautta. Jakeluverkon muodostavat sähköasemat, joissa muunnetaan jännitetaso 110 kV:sta 20 kV:iin, 20 kV KJ-verkko, jakelumuuntamot, joissa jännitetaso muunnetaan 20 kV:sta 0,4 kV:iin sekä viimeisenä ja suoraan asiakkaan liittymään menevä 0,4 kV PJ-verkko. PJ-verkon perusrakenteen mukaisesti jakelumuuntamolta lähtee runkojohtimet kohti jakokaappeja, josta on johtolähdöt liittymille. Jakelumuuntamo koostuu puolestaan KJ-kiskostosta, muuntajasta, PJ-lähdöistä sekä joissain tapauksissa apujännitejärjestelmästä (Lakervi ja Partanen, 2008; Elovaara ja Haarla, 2011). Seiverkot Oy:n toiminta-alue alkaa pääsääntöisesti sähköasemilta.

Sähkö pyritään siirtämään mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella käyttöpaikoille. Tämä tarkoittaa häviöiden minimoimista huomioiden kuitenkin siitä syntyvät kustannukset. Häviöiden minimointi tapahtuu sähköverkossa pienentämällä verkon impedanssia sekä

siirtämällä sähkö mahdollisimman suurella jännitteellä, jolloin saman tehon siirtämiseksi riittää pienempi virta. Kaavasta,

$$P_h = RI^2 \quad (6)$$

jossa  $P_h$  tarkoittaa häviötehoa, voidaan huomata häviöiden kasvavan virran neliöön verrannollisesti. (Elovaara ja Haarla, 2011)

Jakeluverkon kustannustehokkaat siirtoetäisyydet tehoaluittain ovat esitetty taulukossa 4. 110 kV verkossa optimaalinen siirtoetäisyys on noin 100 km ja siirrettävän tehon suuruusluokka kymmenissä megawateissa. 20 kV KJ-verkossa siirtoetäisyys on noin 20–30 km ja siirrettävän tehon suuruusluokka muutamia megawatteja. 0,4 kV PJ-verkossa siirtoetäisyys on alle kilometrin. (Lakervi ja Partanen, 2008)

Seiverkot Oy:n sähköverkossa jakelumuuntajan koko vaihtelee tapauskohtaisesti 16–1600 kVA välillä. Tähän vaikuttavat käyttöpaikkojen määrä, käyttöpaikkojen tehontarve sekä käyttöpaikkojen tyypit, kuten asuinrakennus tai teollisuuden toimija. Runkojohtimena on käytetty yleensä AX185 -tai AX240 -kaapelia, joiden maksimikuormitettavuus on maahan asennettuna 330 ja 375 A. Jakokaapilta johtolähtöihin laitetaan yleensä liittymäkohtaisesti AX25 -kaapeli, jonka kuormitettavuus on 87 A.

PJ-verkon suojauksen tavoitteena on estää ylikuormitukset sekä ehkäistä sähkötapaturmien syntyä. PJ-verkon suojaus toteutetaan toimintavarmoilta varokkeilla, jotka ovat kustannuksiltaan edullisin suojausvaihtoehto. Jakelumuuntamolla, osassa jakokaapeista ja liittymillä on oma selektiivinen varokesuojauksensa. Varokkeen pitää kestää suurin kuormitusvirta, mutta sen on toimittava pienimmällä oikosulkuvirralla. Jos edeltävä ehto ei täyty, johtimen varrelle lisätään välivarokkeita. Selektiivisyydellä tarkoitetaan sitä, että vikapaikkaa lähimpänä oleva suojaus toimii ensimmäisenä. Tällöin suojauksen toiminta on nopeinta ja sähkökatko koskee vain mahdollisimman pientä aluetta. (Lakervi ja Partanen, 2008) Liittymien päävarokkeiden yleisimmät koot ovat 3x25 ja 3x35 A.

KJ- ja PJ-verkot rakennetaan rengas- tai säteittäisverkoksi. Rengasverkosta käytetään joissain tilanteissa myös nimitystä silmukkaverkko. Rengas- ja säteittäisverkon selvin erottava tekijä on vähintään yhden varasyöttöyhteyden sijaitseminen rengasverkossa, kun säteittäisverkossa varasyöttöyhteyksiä ei ole. Varasyöttöyhteys antaa verkolle paremman käyttövarmuuden. Rengasverkossa jännitteenalenema sekä energiahäviöt ovat pienempiä kuin säteittäisessä verkossa. Lisäksi rengasverkkoon on säteittäisverkkoa helpompi lisätä hajautettua tuotantoa, sillä säteittäisverkko on yleensä rakennettu vain yksisuuntaista siirtoa varten. Rengasverkossa on kuitenkin tarve monimutkaisemmalle suojauskelle. Tämä ja muutoinkin suurempi komponenttien tarve tekevät siitä säteittäisverkkoa kalliimman rakentaa. Rengasverkko tulee sitä kannattavammaksi vaihtoehdoksi, mitä enemmän ja tiheämmin käyttöpaikkoja on verkon alueella. Tällöin vähentyneillä keskeytyskustannuksilla voidaan kompensoida investointikustannuksia. Yleensä kaupunkimainen verkko on rakennettu rengasmuotoiseksi ja maaseutumainen verkko säteittäiseksi. (Elovaara ja Haarla, 2011; Lakervi ja Partanen, 2008)

Seiverkot Oy:n jakeluverkosta suurin osa on rakennettu rengasverkoksi, mutta erotinasemien avulla verkkoa käytetään lähes poikkeuksetta säteittäisenä. Yleensä varasyöttöyhteyksiä käytetään vikatilanteessa, jotta sähkön jakelun keskeytyksen vaikutukset jäisivät mahdollisimman pieniksi. Verkkoa kehitetään jatkuvasti etäkäytettävämpään suuntaan, jolloin toiminta vikatilanteissa on nopeampaa verrattuna manuaaliseen verkon käyttöön. Jos muuntopiiriä syötettäisiin useammasta paikasta, se aiheuttaa turvallisuusriskin. Riskinä on erityisesti vikatilanteessa verkon syötön katkaisuun liittyvä tekijä. Verkkoon voi jäädä tällöin jännite, vaikka yksi syötöistä olisi katkaistu.

## **5.2 Trimble NIS verkkotietojärjestelmä**

Trimble NIS on verkkotietojärjestelmä, joka yhdistää saman järjestelmän alle verkostolaskennan, verkon suunnittelun, omaisuuden- ja verkkoinvestointien hallinnan sekä kunnossapidon suunnittelun. Järjestelmä muodostuu verkkomallista, jota kutsutaan myös verkon digitaaliseksi kaksoseksi. Kaksonen mahdollistaa verkon kokonaisvaltaisen

hallinnan perustuen verkkotietojen, paikkatietojen sekä sähkötekniisten tietojen yhdistämiseen. Trimble NIS on käytössä Seiverkot Oy:llä. Järjestelmää voivat hyödyntää sähköverkkoyhtiöiden lisäksi esimerkiksi vesi- ja kaukolämpöverkkoyhtiöt. (Trimble, 2022)

Verkostolaskenta -sovellus mahdollistaa jo rakennetun verkon tilan ja mitoituksen tarkistamisen. Verkostolaskennan laskentatyyppit ovat tehojaon-, oikosulku-, maasulku- sekä luotettavuuslaskennat. Tehojakolaskennalla sekä oiko- ja maasulkulaskennalla voidaan tarkistaa, ovatko verkon komponentit mitoitettu oikein kyseiseen tilanteeseen nähden. Tehojakolaskennassa tarkastellaan normaaleja kuormituksia ja oiko- ja maasulkulaskennassa nimiensä mukaisia vikatilanteita. (Trimble, 2022)

Verkon suunnittelu ja rakentaminen -sovellus mahdollistaa luotettavuuspohjaisen verkstoanalyysin, sujuvoittaa verkon rakennustyötä sekä optimoi rakentamisen kustannuksia ja virheitä. Analyysin avulla voidaan havaita sähköverkon heikot ja alimitoitettut osat. Sovellus mahdollistaa lisäksi esimerkiksi verkon kuormitusvaihtelujen simuloinnin. Tätä voidaan hyödyntää yksittäisen käyttöpaikan tarkastelusta laajamittaisen projektin hyödyntämiseen. Verkkoa rakennettaessa järjestelmällä voidaan hallita verkon rakentamisen materiaaleja, toimenpiteitä ja kustannuksia. Rakennetun verkon tiedot on mahdollista päivittää välittömästi järjestelmään, jolloin verkon käyttöönotto nopeutuu. (Trimble, 2022)

Omaisuuuden hallinta -sovellus antaa käyttäjälle mahdollisuuden omistamansa sähköverkon analysointiin. Sähköverkkoyhtiöille erittäin tärkeänä ominaisuutena järjestelmällä pystyy laskemaan verkon nykyarvon, jota tarvitaan Energiaviraston vuosittaista raportointia varten. Lisäksi sovelluksella voidaan selvittää verkon jälleenhankintakustannukset. Nämä kaksi tietoa helpottavat pitkän aikavälin investointipäätöksien tekemistä. Sovellus selvittää nykyarvon ja jälleenhankintakustannukset verkon tilan, kunnon, komponenttien määrän, sijainnin ja iän perusteella. (Trimble, 2022)

Verkkoinvestointien hallinta -sovellus mahdollistaa investointien keskitettyyn seuraamiseen. Tiedot investointien etenemisestä päivittyvät automaattisesti järjestelmään ja mahdollistavat näin reaaliaikaisen seurannan. Työkalua voidaan hyödyntää tutkittaessa investointien vaikutusta verkon nyky- ja jälleenhankinta-arvoihin. Tätä ominaisuutta voidaan hyödyntää ennen investointivaihtoehdon valintaa, jolloin saadaan lisää tietoa päätöksenteon tueksi. (Trimble, 2022)

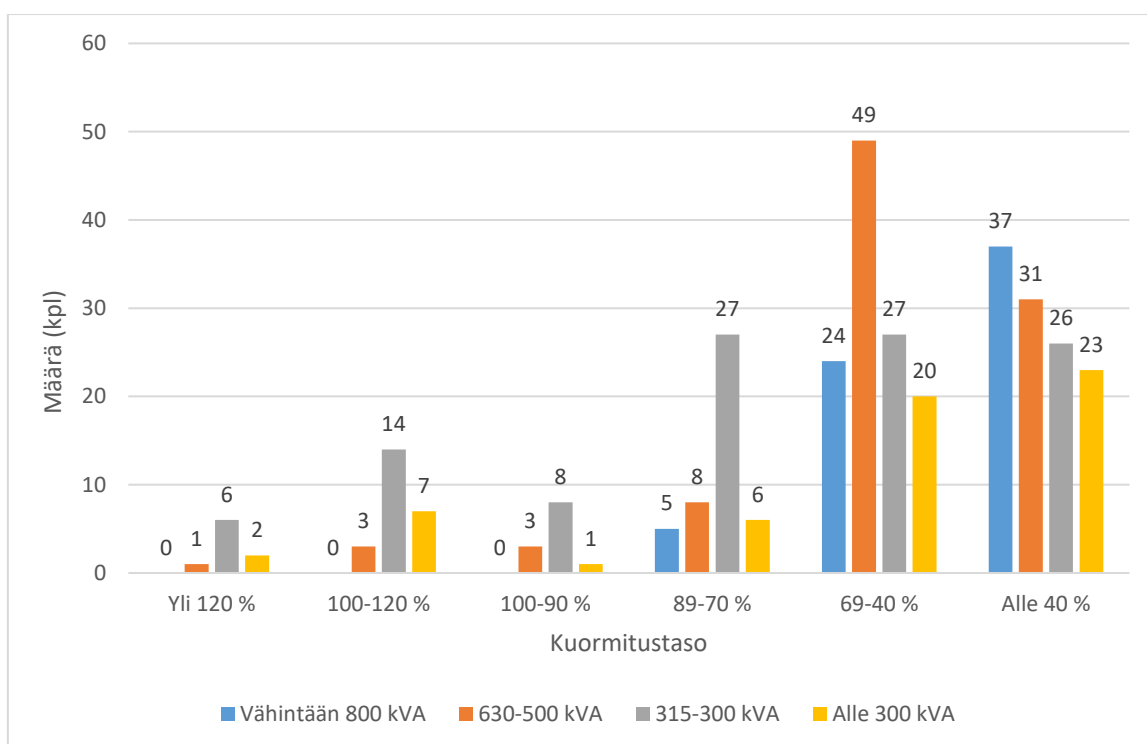
Kunnossapito -sovelluksen avulla verkon kunnossapitotyöt ja tarkastukset voidaan tarkasti suunnitella verkkoyhtiön resurssien rajoissa. Sovellusta voidaan hyödyntää myös esimerkiksi verkon suunnittelutyössä sen raportointityökalua käyttämällä. Sovellus helpottaa myös maastossa tapahtuvaa kunnossapidon dokumentointityötä, joka on mahdollista tehdä sovelluksen avulla suoraan työmaalta käsin esimerkiksi mobiililaitteen avulla. (Trimble, 2022)

### **5.3 Jakelumuuntajien kuormitus**

Jakelumuuntamot ovat diplomityön aiheen muissa tutkimuksissa nousseet yhdeksi merkittävimmäksi sähköverkon pullonkaulaksi. Muuntajakapasiteetti alkaa yleensä ensimmäisenä tekijänä rajoittamaan kulutettavissa olevan tehon määrää. Tämän vuoksi jakelumuuntajien kuormitustilanteesta tässä alaluvussa on suoritettu koko PJ-verkon kattava tarkastelu. Jakelumuuntamoiden kuormitustilanteen perusteella voidaan yleensä karkeasti arvioida, kuinka paljon kuormitusta voidaan vielä keskimäärin lisätä muuntopiirillä.

Seiverkot Oy:n verkon alueella on 361 kappaletta jakelumuuntamoita. Niiden yleisimmät muuntajakoot ovat 100, 200, 315, 500 ja 800 kVA. Suurin osa, 64 %, muuntamoista on puistomuuntamoita. Muuntajia on uusittu kulutuksen ja käyttöpaikkojen määrän nousun myötä. Lisäksi verkon maakaapeloinnin yhteydessä pylväsmuuntamot ovat vaihdettu puistomuuntajiksi.

Kuormitustarkastelussa selvisi jakelumuuntajista noin 10 % olevan ylikuormitettuja. Ylikuormitetut muuntajat ovat kuvan 20 mukaisesti kokoluokaltaan 100–500 kVA. Ongelmat kuitenkin kasautuvat kuvan erityisesti 315 kVA kokoluokan muuntajille, jotka muodostavat yksistään 60 % ylikuormitetuista muuntajista. Tyypiltään ylikuormitettuja muuntopiirejä erottuu kahdenlaisia. Ensimmäinen tyyppi on uudehko asuinalue, jossa jakeluverkon muut komponentit mahdollistaisivat paljon nykyistä muuntaja kokoa suuremman muuntajan ja tilanne ratkeaisi näin muuntajan vaihdolla. Toinen tyyppi on 70- tai 80-luvuilla rakennettu verkko, jossa muuntajan lisäksi muutkin komponentit voivat rajoittaa käyttöpaikan tehonkulutusta.



**Kuva 20.** Jakelumuuntajien kuormitus

## 5.4 Tarkasteltavat muuntopiirit

Tarkempaa tarkastelua varten valittiin kuusi kappaletta muuntopiirejä. Valinnassa käytettiin kolmea pääkriteeriä: verkon vahvuutta, asiakas- ja asustustyyppiä sekä verkon ikää. Verkon vahvuuden tarkastelussa pyrittiin löytämään työn kannalta oleellimmat

muuntopiirit, joissa siirtokyvyn rajoitteet tulisivat ensimmäisenä esille. Tarkastelun kohteena olivat muuntajien kuormitukset, runko- ja liittymisjohtimet sekä niihin liittyvät varokesuojaukset. Kaapelien kuormitettavuudet sekä niille tyypilliset varokekoot ovat ilmoitettu liitteessä 3. Käyttöpaikkojen huipputehoa tarkasteltaessa otetaan huomioon tarkastelujakson toiseksi korkein huipputeho. Tällä toimintatavalla pyritään saamaan todemmukaisemmat arvot. Seiverkot Oy on käyttänyt omakotitaloalueiden liittymisjohtona vähintään 16 mm<sup>2</sup> kokoista kaapelia. Tämä mahdollistaa 63 A päävarokekoonliittymälle. Suurin Seiverkot Oy:n verkkoalueella käytetty omakotitalon päävaroke on 63 A, joten liittymiskaapelin kuormitettavuus ei muodostu ongelmaksi omakotitaloalueilla.

Verkon ikä voi vaikuttaa merkittävästi verkon vahvuuteen ja siitä heijastuu rakennusajan suunnitteluperiaatteet. Esimerkiksi 70- ja 80-luvulla mitoitettu ja rakennettu verkko on useimmiten siirtokapasiteetiltaan merkittävästi pienempi kuin vastaavassa paikassa olevan myöhemmin mitoitettu verkko. Tämän vuoksi siirtokapasiteetti loppuu suurella todennäköisyydellä ensimmäisenä kyseisistä muuntopiireistä. Valinnoissa verkon ikä huomioitiin valitsemalla kaksi muuntopiiriä 70- ja 80-lukujen taitteesta ja muutoin laajasti lähes koko ikäskaalalta. Uusimmat muuntopiirit jätettiin pois mittausdatan puutteen sekä käyttöpaikkojen muutoksien vuoksi.

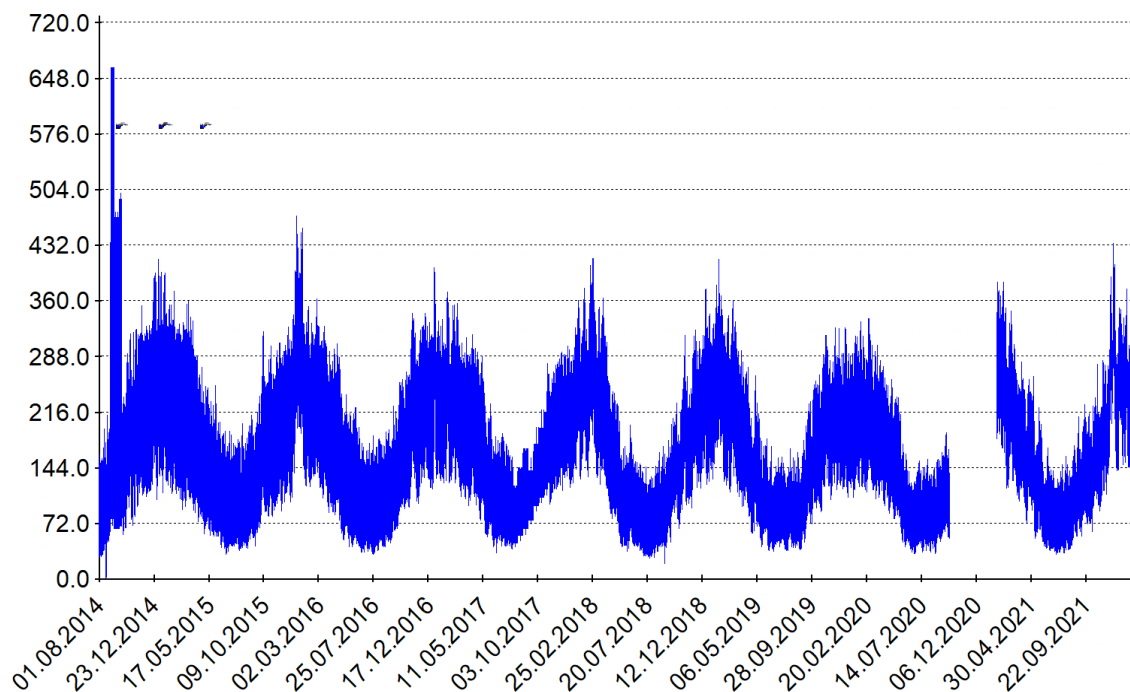
Muuntopiirien valinnassa asiakas- ja käyttöpaikkatyyppejä pyrittiin saamaan monipuolisesti tarkasteltaviin muuntopiireihin. Vaihtelevuutta haettiin vallitsevalla asuntotyypillä, rakennuksien vallitsevalla käyttötarkoituksella sekä lämmitysmuodolla. Asuntotyypeistä mukaan otettiin omakotitalo- ja rivitalo-painotteinen sekä kerrostalopainotteinen alue. Lisäksi valittiin muuntopiirit, joissa toisessa on vähittäistavarakauppa ja toisessa eräs muu liike. Lämmitysmuodoista mukaan otettiin sähkölämmitteinen ja kaukolämmitteinen muuntopiiri erilaisten sähkönkulutustarpeiden vuoksi. Kaukolämmitteisellä muuntopiirillä vuodenajan kulutusvaihtelut ovat kuvaa 21 ja 25 verrattaessa merkittävästi sähkölämmitteistä muuntopiiriä pienemmät. Muuntopiirien nimitykset ovat tietosuojasyistä vaihdettu numerointiin M1–M6.

## 6 Tapaustutkimuksen tulokset

### 6.1 Muuntopiiri M1

Ensimmäisenä muuntopiirinä tarkastelun kohteeksi valittiin M1. Alue on pääosin sähkölämmitteistä omakotitaloaluetta, jossa jakokaappeja on 15 kappaletta ja liittymiä yhteensä 73 kappaletta. Verkko on rakennettu alueelle pääasiassa 70 -luvun lopulla. Jakelumuuntajan koko on 500 kVA, ja runkojohtimena muuntamon ja jakokaappien välillä on käytetty 120 ja 70 mm<sup>2</sup> kaapeleita. Lisäksi jakelumuuntamolta on yksi varasyöttöyhteys viereiseen muuntopiiriin 185 mm<sup>2</sup> kaapelilla. Liittymien päävarokkeista 66 kappaletta on 25 A kokoisia ja loput 7 kappaletta 35 A kokoisia.

Muuntajan viimeisimmän vuoden tehohuippu oli kuvan 21 mukaisesti noin 430 kVA, joka vastaa noin 86 prosentin kuormitusta nimellisestä. Kuvassa 21 pystyakselilla on näennäistehon määrä ja vaaka-akselilla mittausajankohta. Kuvassa näkyy selvästi lämpötilan vaikutus sähkönkulutukseen, talvella lämmityksen tarve nostaa merkittävästi sähkönkulutusta. Vuonna 2014 oli noin 650 kVA kuormitushuippu, jolloin muuntajan kuormitus oli 140 prosenttia nimellisestä. Tämä johtui todennäköisesti muuntajan varasyöttöyhteyden käytöstä. Muutoin muuntajan kuormitus on pysynyt alle nimellisen.

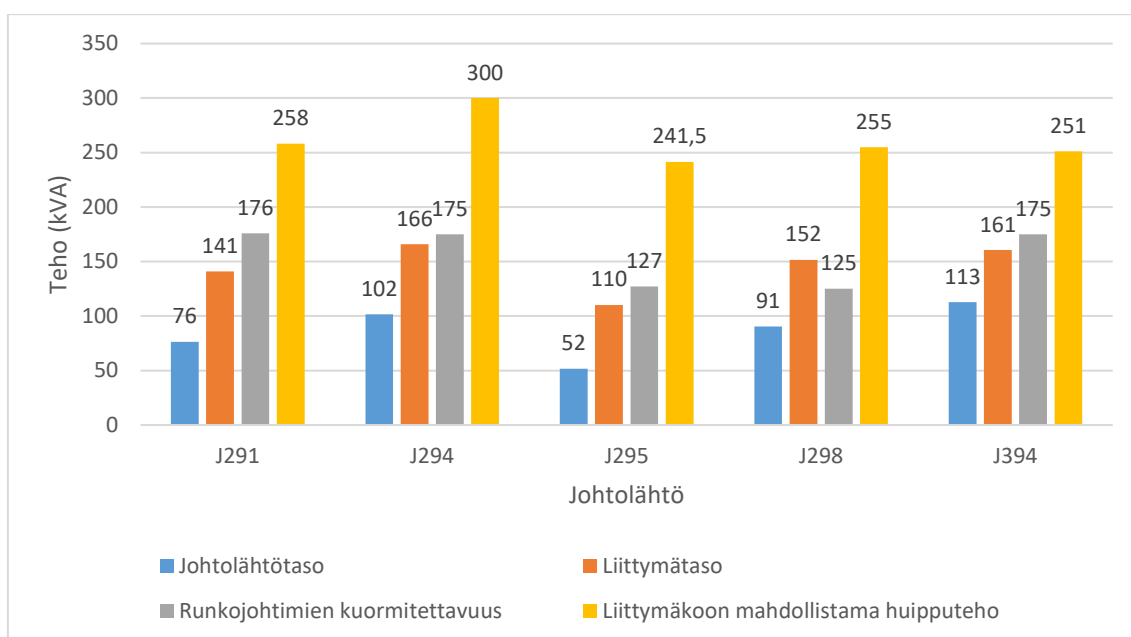


**Kuva 21.** Muuntajan M1 kuormitus

Jakelumuuntajalla on yhteensä kuusi johtolähtöä: kaksi kappaletta 70 mm<sup>2</sup>, 3 kappaletta 120 mm<sup>2</sup> ja yksi kappale 185 mm<sup>2</sup> runkojohtimia. Suurin 185 mm<sup>2</sup> toimii varasyöttöjohtimena toiseen muuntopiiriin. Muuntopiirin omat 70 ja 120 mm<sup>2</sup> runkojohtimet ovat kuormitettavuudeltaan 185 ja 255 A, joka PJ-verkon jännitteellä tarkoittaa noin 125 ja 175 kW tehokapasiteettia. Käytössä olevien johtolähtöjen yhteenlaskettu kuormitettavuus on 1135 A ja tehonsiirtokyky PJ-verkossa noin 780 kVA, joka on merkittävästi muuntajan nimellistä kuormitettavuutta suurempi.

Muuntopiirin maksimitehonkulutus asiakkaiden liittymäkokojen perusteella on noin 1300 kVA. Muuntopiirin kapasiteetti on siis jakelumuuntajaan nähden myyty 2,6 kertaisesti. Verkkoa ei ole kuitenkaan järkeä mitoittaa päävarokekokojen mukaan, sillä tällöin verkko olisi kuvan 21 kulutuksen perusteella reilusti ylimitoitettu. Verkko olisi siten talvikauden huipputehonkin aikana mitoitettu noin kolme kertaa suuremmalle tehonkäytölle.

Kuva 22 havainnoi johtolähtöjen nykyistä kuormitustilannetta suhteessa kuormitettavuuteen. Vasemmalta alkaen ensimmäinen palkki kertoo kyseisen johtolähdön runkojohtimen mitatun huipputehon. Toinen palkki kertoo johtolähdön liittymien yhteenlasketun huipputehon. Seuraava palkki kuvaa kyseisen johtolähdön runkojohtimen kuormitettavuutta ja viimeinen pylväs kuvaa muuntopiirien liittymäkokojen mahdollistamaa yhteishuipputehoa.



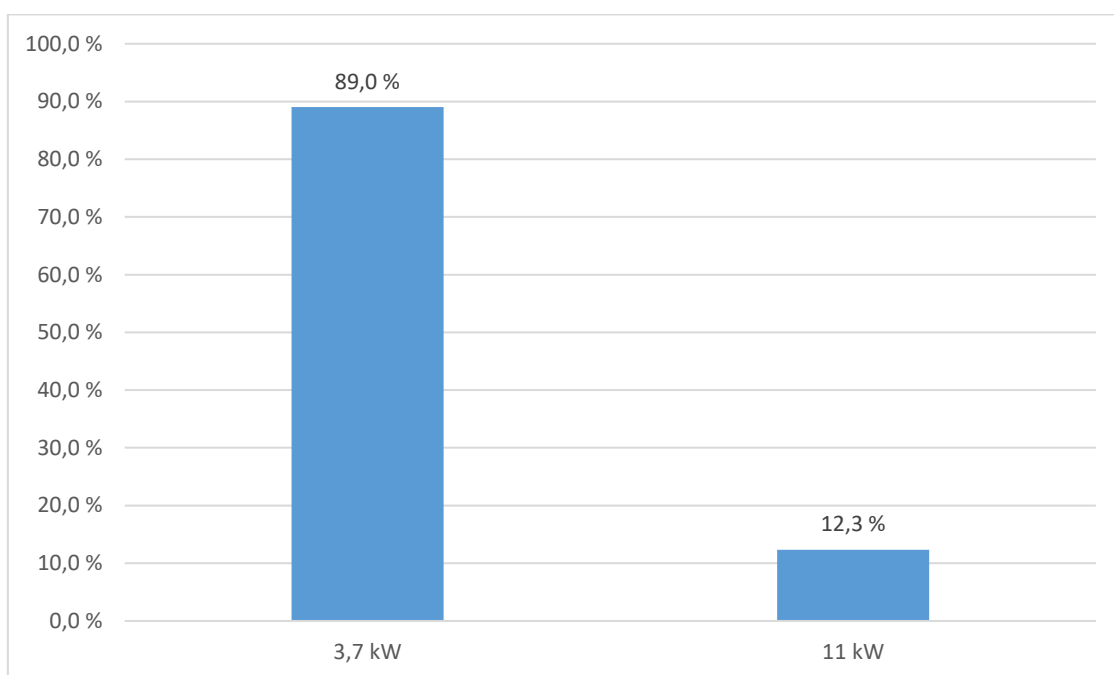
**Kuva 22.** Muuntopiirin M1 johtolähtöjen kuormitustarkastelu

Liittymillä huipputehot eivät kohdennu samalle ajankohdalle. Kuvasta 22 tämä havaitaan runkojohtimen kuormituksen ja liittymätason eroilla. Kun lasketaan johtolähdön kaikkien liittymien huipputehot yhteen, saadaan jopa kaksinkertainen lukema johtolähdön kokonaishuipputehoon verrattuna. Kaikilla johtolähdöillä huipputehot osuvat kuitenkin jo samaan ajankohtaan.

Runkojohtimien ja päävarokkeiden kuormitettavuudet eivät ole toistaiseksi ylittyneet. Kuvasta 21 voidaan huomata, että ainoastaan johtolähdöllä J298 tämä olisi ollut mahdollista, jos liittymien huipputehot olisivat osuneet samalle ajankohdalle. Päävarokkeiden kuormitettavuus on johtolähtötasolla merkittävästi suurempaa johtimien ja

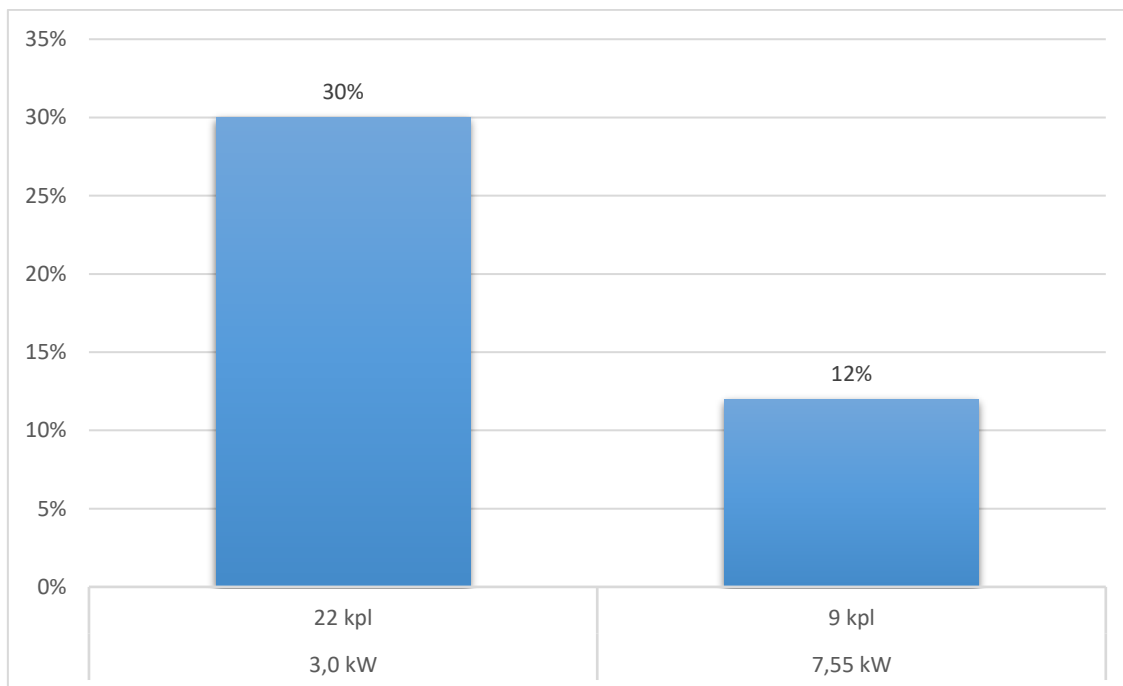
jakelumuuntajan kuormitettavuuteen. Tämän vuoksi kokonaistilanteen kannalta päävarokkeet eivät kokonaisuudessaan rajoita huipputehon nousua.

Liittymätasolla päävarokkeet rajaavat kulutusta. Kuvassa 23 on esitettyä osuudet käyttöpaikoista, jotka pystyvät lisäämään huipputehonsa päälle 3,7 ja 11 kW latauspisteen ilman päävarokkeen toimimista. Lataustehot ovat alaluvussa 4.1 esitetysti yleisimmin Suomessa käytössä olevat. 3,7 kW latauspisteen pystyisi lisäämään 89 % muuntopiirin käyttöpaikoista, mutta 11 kW latauspiste mahtuisi enää noin 12 % käyttöpaikoista.



**Kuva 23.** Käyttöpaikkojen mahdollisuus lisätä huipputehoa muuntopiirissä M1

Muuntopiiritasolla huipputehon aikana jakelumuuntajan vapaana oleva kapasiteetti mahdollistaisi kuvan 24 mukaisesti latauspisteitä muuntopiirille. 3,0 kW skenaariossa latauspisteitä mahtuisi 22 kappaletta, joka on noin 30 % kaikista käyttöpaikoista. 7,55 kW skenaariossa latauspisteitä mahtuisi enää noin 12 % käyttöpaikoista, joka tarkoittaa 9 kappaletta latauspisteitä.



**Kuva 24.** Jakelumuuntajan M1 vapaan kapasiteetin mahdollistamat latauspisteet

Runkojohtimien ja liittymien välissä tehosiirtokykyä voi rajoittaa vielä jakokaappien kuormitettavuus. Tässä muuntopiirissä kaikkien jakokaappien kuormitettavuus on 400 A ja yhteen jakokaappiin on kytketty liittymien päävarokkeita suoraan tai välillisesti muiden jakokaappien kautta yhteensä 435 A verran. Kuitenkin tässä johtolähdössä runkojohtimen kuormitettavuus on pienempi kuin jakokaapin kuormitettavuus, jolloin jakokaapin kuormitettavuus ei nykytilanteessa rajoita kuormitettavuutta.

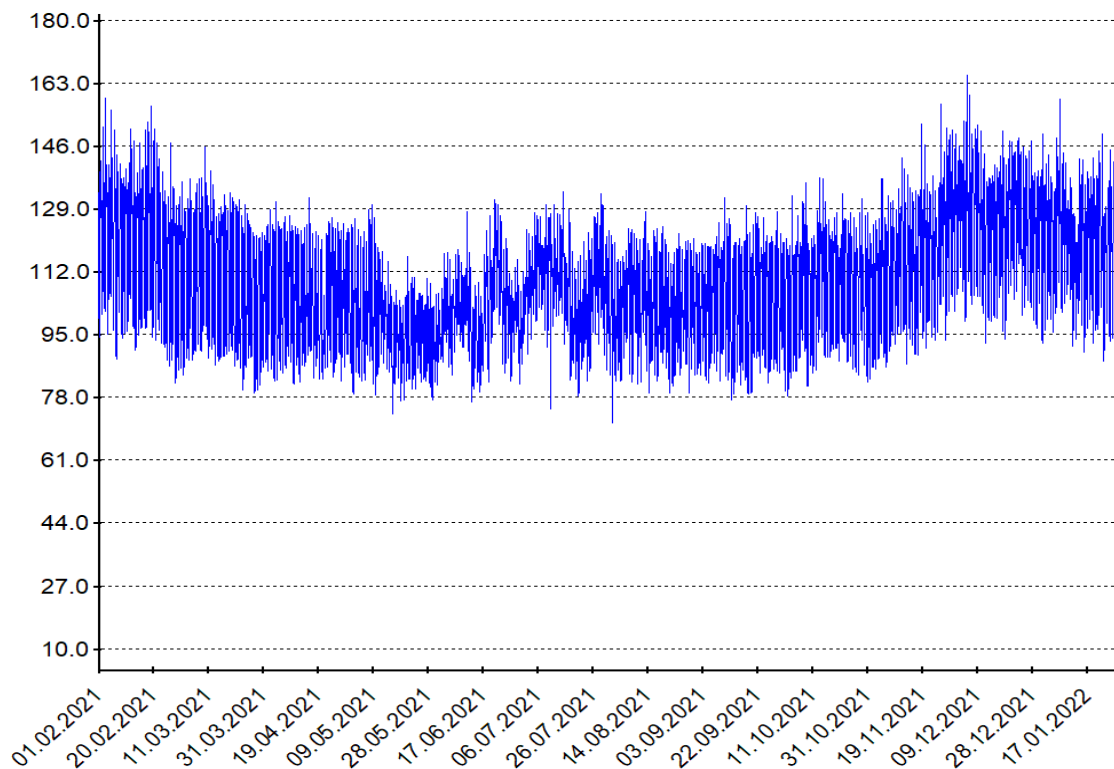
Muuntopiirin M1 sähköautojen latauksen aiheuttamaa lisäkulutusta rajoittaa ensimmäisenä jakelumuuntajan kapasiteetti. Muuntopiirin jakorajoja ei pysty verkon nykyisellä rakenteella muokkaamaan, joten ratkaisuksi jää muuntajan vaihto kapasiteetiltaan suurempaan sekä muuntopiirin jakorajojen muutostyöt. Muuntopiirin muuntaja on kuitenkin tyypiltään pylväsmuuntaja. Kyseinen muuntajatyypin on reilusti hankalampaa vaihtaa verrattuna puistomuuntajaan. Tämän vuoksi pylväsmuuntamo saneerataan yleensä puistomuuntamoksi muuntajan vaihdon yhteydessä.

## 6.2 Muuntopiiri M2

Toiseksi tarkasteltavaksi muuntopiiriksi valittiin M2. Alue on pääosin omakoti- ja rivitalo painotteista asuinalueita. Muuntopiirin erikoisuutena on vuorokauden ympäri auki oleva vähittäistavarakauppa. Kyseisellä kaupalla ei vielä ole latauspisteitä, mutta yhtiöllä on suunnitelmissa lisätä kahdeksan latauspistettä vuoden 2025 loppuun mennessä. Latauskentän yhteislatausteho olisi vähintään 100 ja enintään 200 kW. Lämmitysmuodoltaan alue on moninaista. Alueella on ainakin sähkölämmitteisiä sekä kaukolämmitteisiä käyttöpaikkoja.

Liittymiä muuntopiirillä on yhteensä 17 kappaletta, joista neljässä on useampia käyttöpaikkoja. Yhteensä niitä on 64 kappaletta. Käyttöpaikoista 26 kappaletta on yksivaiheisella ja loput kolmivaiheisella sähköistyksellä varustettuja. Muuntopiiri on rakennettu 20–40 vuotta sitten. Jakelumuuntamon muuntajan koko on 500 kVA. Johtolähtöjä muuntamolta on yhteensä 7 kappaletta, joista viisi on käytössä. Muut johtolähdöt ovat käyttöä odottavia, käytöstä poistuneita tai varasyöttöjohtimia.

Jakelumuuntajan kuormitus on kuvassa 25 esitetyn mukaisesti melko tasaista. Kuormitushuippu on ollut joulukuun alussa 2021, jolloin muuntajan kuorma oli noin 33 % nimellisestä. Huipputehon käyrää tasoittaa M1 alueeseen verrattuna alueen kaukolämmitys sekä vähittäistavarakauppa, jonka tehon tarve on tasaisesti 60 ja 100 kVA välillä. Ainoastaan kesällä suuren jäähdytystarpeen aikana kaupan tehontarve nousi enimmillään 115 kVA. Jos kaupan suunnitelma latauskentästä toteutuu, nousee tehontarve 160–300 kVA välille.



**Kuva 25.** Jakelumuuntajan M2 kuormitus

Taulukossa 4 on esitetty muuntopiirin M2 johtolähtöjen runkojohtimien poikkipinta-alat, kuormitettavuudet sekä Tehokapasiteetti PJ-verkossa. Runkojohtimien kuormitettavuuk-  
sien summa on 1258 A ja yhteistehonsiirtokapasiteetti 865 kVA.

**Taulukko 4.** Johtolähtöjen tiedot

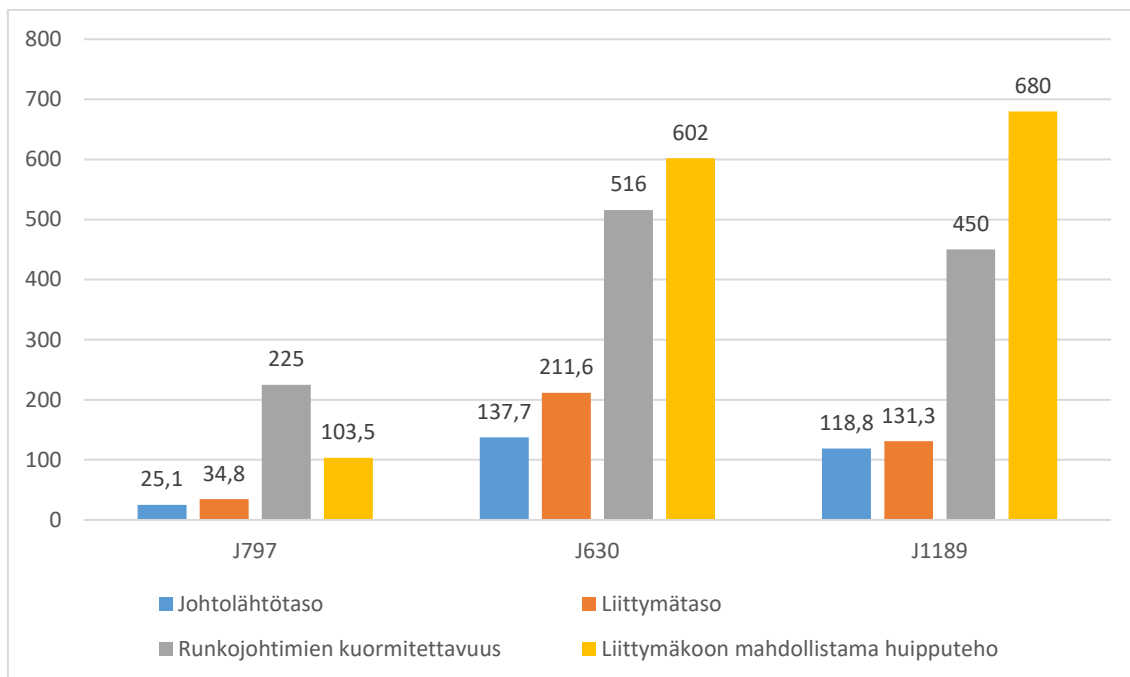
Runkojohtimen poikki- pinta-ala	Johdinkoon kuormitetta- vuus (A)	Johtimen tehokapasiteetti PJ-verkossa (kVA)
2x240 mm <sup>2</sup>	750	516
185 mm <sup>2</sup>	330	227
25 mm <sup>2</sup>	100	69
16 mm <sup>2</sup>	78	53

Kuormitettavuudeltaan suurin 2x240 mm<sup>2</sup> runkojohdin syöttää muuntopiirin J630 osaa, jossa myös vähittäiskauppa sijaitsee. J630 osan huipputeho vastaa noin 85 % koko muuntopiirin huipputehosta. Tämän vuoksi johtolähdön J630 tarkastelun lisäksi tarkastellaan erikseen sen osaa J1189, jossa vähittäiskauppa sijaitsee. Osan J1189 runkokaapeli on 3x185 mm<sup>2</sup>, jonka kuormitettavuus on 990 A.

J797 johtolähtö, jolla on 185 mm<sup>2</sup> runkokaapeli, syöttää puolestaan merkittävästi pienempää aluetta, jossa huipputeho on merkittävästi pienempi kuin J630 johtolähtö. J797 johtolähdön erikoisuutena muihin johtolähtöihin verrattuna ovat sen käyttöpaikat. Käyttöpaikoista noin 93 % on käytössä 1-vaiheinen päävarokekooltaan 35 A sähköistys. Muuntopiirin maksimitehonkulutus liittymien päävarokekoon perusteella on noin 600 kVA. Jakelumuuntajan kokoon nähden muuntopiiri on myyty noin 1,9 kertaisesti.

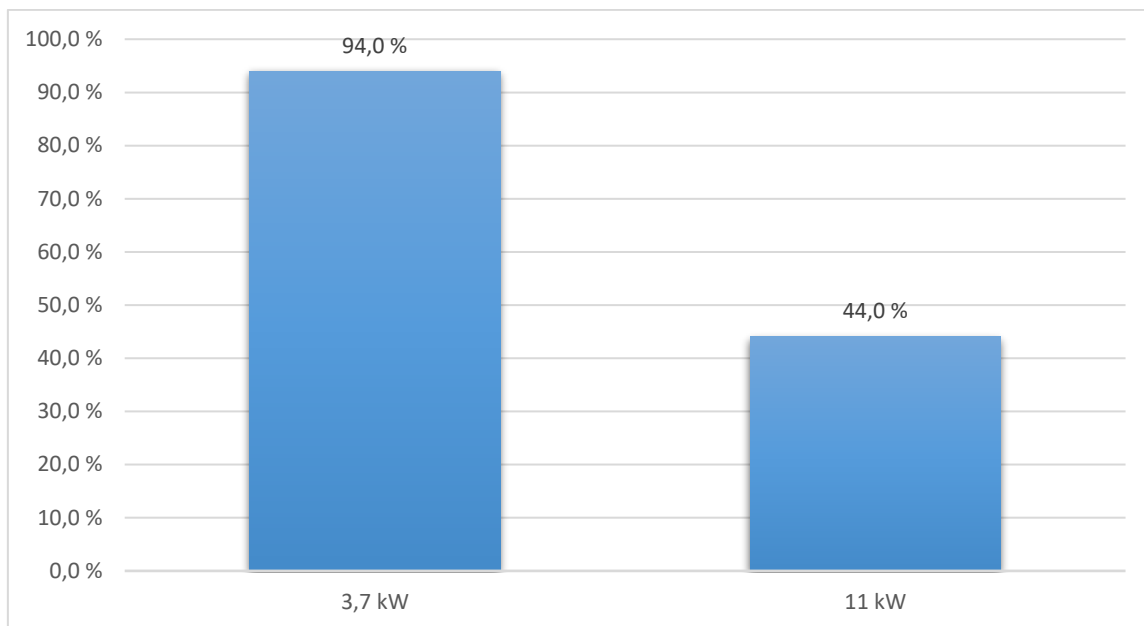
Kuvassa 26 on esitetty muuntopiirin M2 kuormitustilannetta suhteessa muuntopiirin muuhun kuormitettavuuteen. Palkit tarkoittavat samaa kuin 5.3 kohdan kuvassa 26. Johtolähdön ja liittymien yhteenlaskettu huipputeho eroavat toisistaan vähemmän kuin M1 muuntopiirillä. Suurimmillaankin M2 muuntopiirissä liittymien yhteenlaskettu huipputeho on noin 50 % suurempi kuin kyseisen johtolähdön huipputeho. Tasaisuus johtuu M2 muuntopiiriin asiakkaiden kulutuskäyttäytymisestä. Vähittäiskauppa kuluttaa melko tasaisesti sähköä ollessaan vuorokauden ympäri auki. Lisäksi noin kolmannes käyttöpaikoista on yksivaiheisia 35 A varokkeella varustettuja.

Johtolähtöjen runkojohtimien kuormitus ei ole missään vaiheessa ylittänyt kuormitettavuutta. Kuvasta 26 voidaan huomata, että kuormitus on ollut aina alle puolet kaapelin kuormitettavuudesta. J797 johtolähdön runkojohtimen kuormitettavuuden ja kuormituksen välillä on poikkeuksellisen suuri ero. Tämä johtuu osin johtolähdön 1-vaiheisista käyttöpaikoista, joilla huipputeho jää merkittävästi matalammaksi verrattuna 3-vaiheisiin käyttöpaikkoihin. Lisäksi johtolähdöllä on toiseen muuntopiiriin yksi varasyöttöyhteys, jolloin ylimääräinen kapasiteetti voi tulla käyttöön.



**Kuva 26.** Muuntopiirin M2 johtolähtöjen kuormitustarkastelu

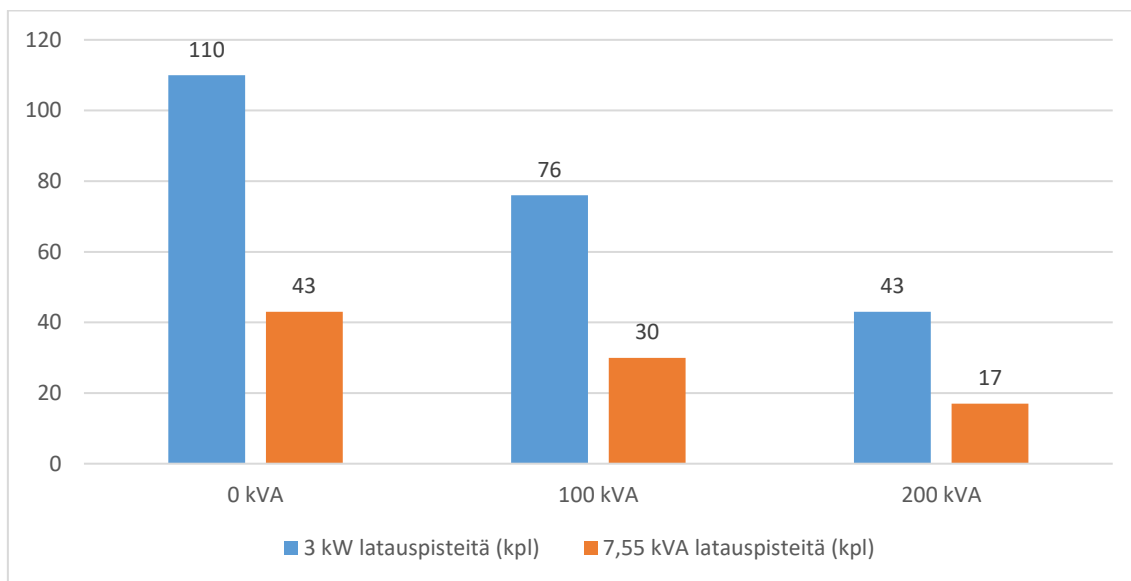
Liittymätasolla liittymien koot rajaavat huipputehon nousua muuntopiirin M1 tavoin. Kuvassa 27 on esitetty käyttöpaikkojen osuudet, joilla on mahdollisuus lisätä huipputehon päälle latauspisteen tarvitsema teho. Tilanteen voidaan havaita olevan samankaltainen kuin M1:ssä. 83 % käyttöpaikoista pystyisi lisäämään huipputehoaan 3,7 kW verran. Vastaavasti osuus tippuu merkittävästi, kun tarkastellaan huipputehoon lisättävän 11 kW latauspisteitä. Tällöin enää 33 % käyttöpaikoista pystyy ottamaan latauspisteen huipputehonsa päälle.



**Kuva 27.** M2 muuntopiirin käyttöpaikkojen mahdollisuus latauspisteisiin huipputehon aikana

Muuntopiiritasolla latauspisteitä pystytään lisäämään kuvan 28 mukaisesti. Kuvassa on esitetty lisättävät latauspisteet kolmessa eri tilanteessa ennen kuin jakelumuuntajan kapasiteetti ylittyy. Tilanteet eroavat vähittäiskaupan latauskentän tilanteen perusteella. Ensimmäisessä tilanteessa vähittäiskauppaan ei tule latauskenttää ollenkaan. Tällöin 3,0 kW skenaariossa voidaan muuntopiirille lisätä latauspisteitä 110 kappaletta ja 7,55 kW skenaariossa latauspisteitä 43 kappaletta. Käyttöpaikoista 170 ja 70 % (1,7 ja 0,7 latauspistettä käyttöpaikkaa kohden) saisi tällöin yhden latauspisteen.

Toisessa tilanteessa vähittäiskaupalle tulisi 100 kW latauskenttä. Tällöin 3,0 ja 7,55 kW skenaariolla latauspisteiden määrät tippuisivat 76 ja 30 kappaleeseen. Käyttöpaikkatasolla latauspisteitä tulisi käyttöpaikkaa kohden 1,2 ja 0,5 (120 ja 50 % käyttöpaikoista) kappaletta. Kolmannessa tilanteessa vähittäiskaupalle tulisi kokonaislatausteholtaan 200 kW latauskenttä. Tällöin muuntopiirillä mahtuisi lisäksi 43 ja 17 kappaletta 3,7 ja 7,55 kW skenaarion mukaista latauspistettä. Käyttöpaikoista 68 ja 27 % saisi tällöin yhden latauspisteen.



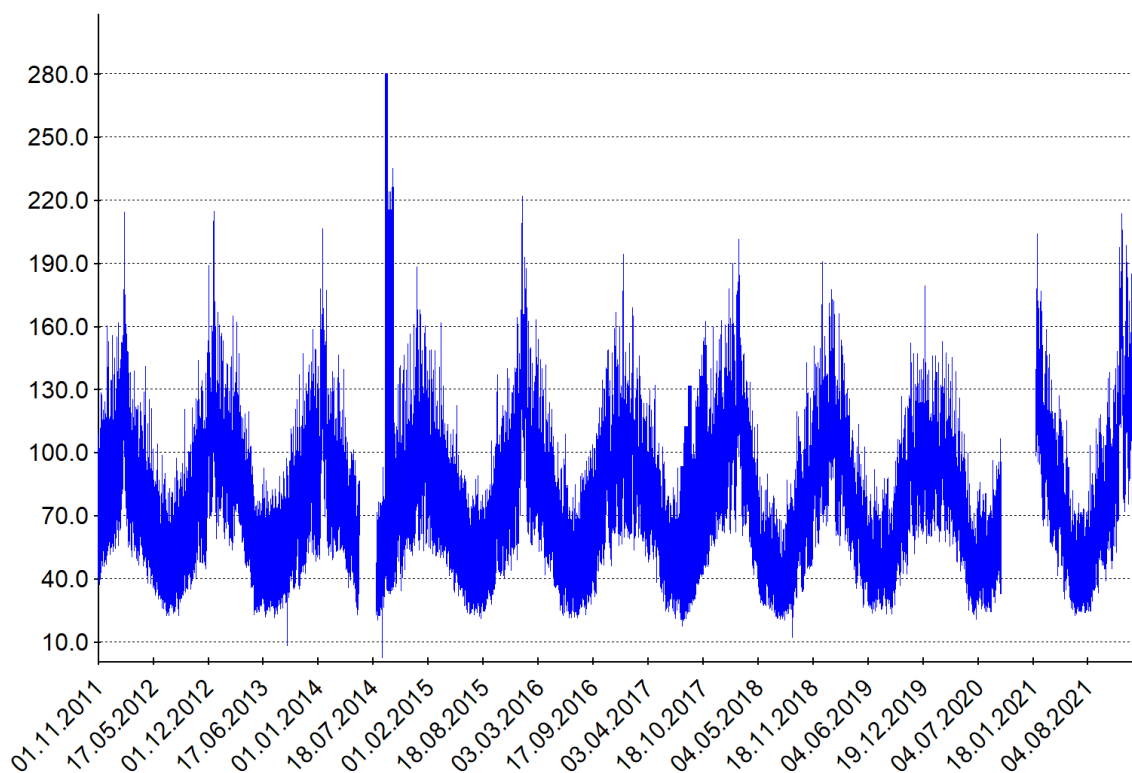
**Kuva 28.** Lisättävien latauspisteiden maksimimäärä ensimmäisen rajoittavan tekijän perusteella muuntopiirissä M2

Muuntopiirillä M2 vapaata sähkösiirtokapasiteettia on merkittävästi käytettävissä. Lataustapahtumia rajoittaa ensimmäiseksi jakelumuuntajan kapasiteetti. Tilanne heikenee hieman, jos vähittäiskaupalle tulee 200 kW latauspiste. Mutta tilanne on silti parempi verrattuna esimerkiksi M1 muuntopiiriin.

### 6.3 Muuntopiiri M3

Seuraavaksi tarkasteltavaksi muuntopiiriksi valittiin M3. Muuntopiiri on hyvin homogeeninen omakotitaloalue, jonka sähköverkko on pääosin 70-luvun lopulta. Liittymiä on 56 kappaletta, joista jokaisella on liittymätyyppinään 3x25 A. Muuntopiirillä ei ole kaukolämpöverkkoa, joten alueella on joko sähkölämmitys tai käyttöpaikkakohtainen polttamiseen perustuva lämmitys. Jakokaappeja muuntopiirissä on yhteensä 13 kappaletta, joiden kiskojen mitoitusvirta on 630 tai 400 A. Jakelumuuntajan kapasiteetti on 200 kVA ja muuntamolla on yhteensä neljä johtolähtöä. Kaksi lähdistä on varustettu 25 mm<sup>2</sup> kaapelilla ja kumpikin niistä syöttää vain yhtä käyttöpaikkaa. Kaksi muuta johtolähtöä syöttävät kummatkin yli 20 käyttöpaikkaa.

Kuvasta 29 voidaan nähdä muuntajan kuormitettavuuden ylittyneen useasti mittaushistorian aikana. Suurin huipputeho on kuitenkin todennäköisesti muuntopiirin M1 muuntamon tapaan aiheutunut varasyöttönä toimimisesta. Tällöin kuormitus nousi noin 280 kVA. Muutoin kuormitettavuuden ylitykset ovat olleet tätä pienempiä esimerkiksi viimeisimmän vuoden suurin huipputeho oli noin 214 kVA. Kuvasta 29 voidaan lisäksi huomata voimakas sähkönkulutuksen vaihtelu, joka on sähkölämmitteiselle alueelle tyypillisen siddonnaista lämmityksen tarpeeseen. Muuntopiirin maksimitehonkulutus liittymäkokojen perusteella on noin 966 kVA. Muuntopiiri on myyty jakelumuuntajan 200 kVA kokoon nähden 4,8 kertaisesti.

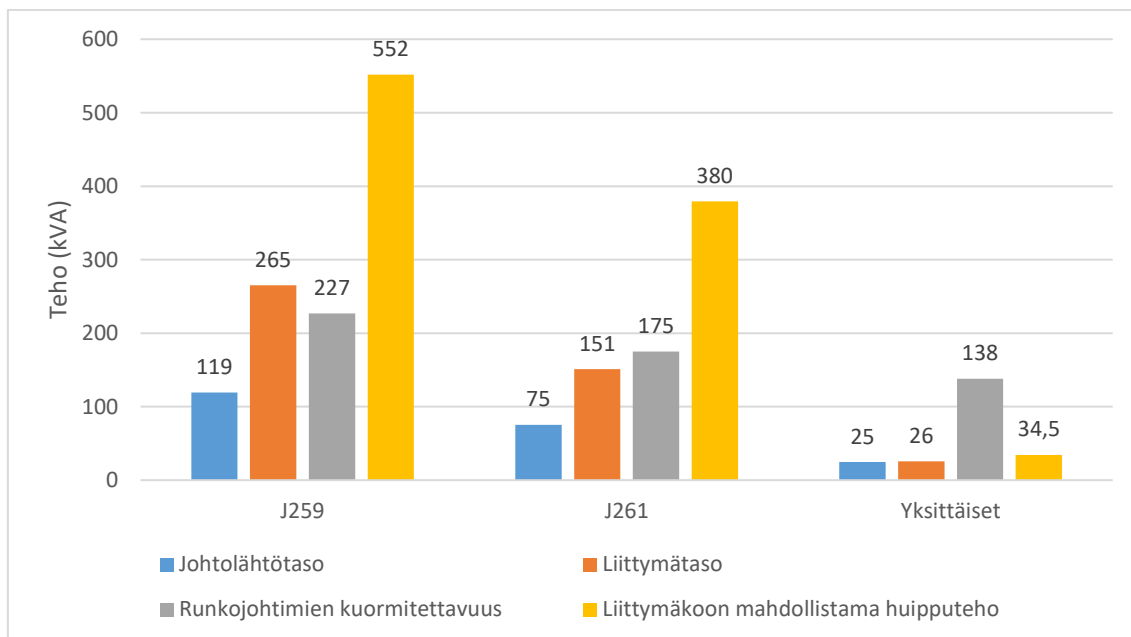


**Kuva 29.** Muuntajan M3 kuormitus

Jakelumuuntamon johtolähdöt J259 ja J261 ovat 185 ja 120 mm<sup>2</sup> runkojohtimilla varustettuja. Ne ovat tehokapasiteetiltaan 227 ja 175 kVA. Johtolähdöllä J259 on 32 käyttöpaikkaa ja J261:llä 22 käyttöpaikkaa. Jakelumuuntamolta lähtee myös kaksi 25 mm<sup>2</sup> johtimella varustettua johtolähtöä, jotka syöttävät kumpikin vain yhtä käyttöpaikkaa. Näiden johtimien tehokapasiteetti on noin 69 kW. Muuntopiirillä ei nykyhetkellä ole varasyöttöyhteyksiä. Yhteensä kaikkien johtolähtöjen tehokapasiteetti on 540 kVA, joka on jakelumuuntajan kokoa merkittävästi suurempi.

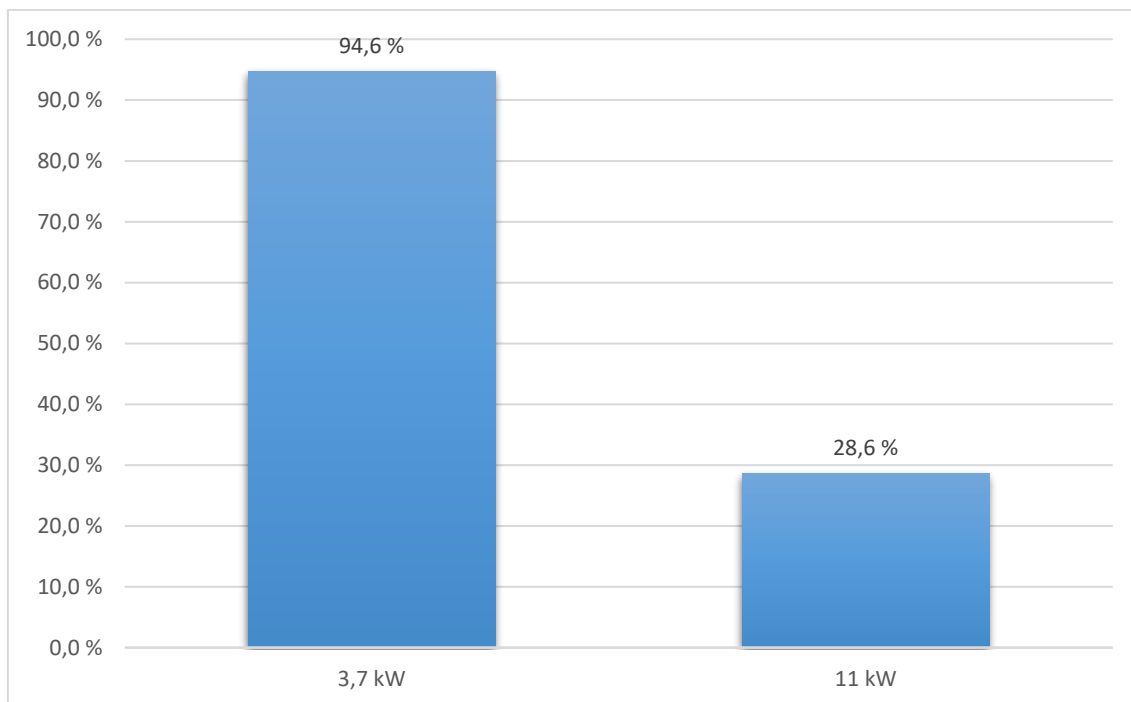
Kuvassa 30 on esitettyinä johtolähtöjen runkojohtimien kuormitettavuudet ja kuormitukset muuntopiiriin M1 tapaan. Kuormituksissa ilmenee sama ilmiö kuin aiemmissa muuntopiireissä. Liittymätasolla huipputehon tarpeet limittyvät toistensa väliin tehokkaasti. Tämä näkyy kuvassa liittymien tehohuipun ja johtolähtötason tehohuipun suuruuserona.

Kuvasta 30 voidaan huomata, etteivät johtolähtöjen runkojohtimien kuormitettavuudet ole toistaiseksi ylittyneet. Runkojohtimilla on kuitenkin merkittävästi vähemmän vapaata kapasiteettia verrattuna M2 muuntopiiriin. Huipputehojen osuessa samaan aikaan J259 lähdöllä johtimen tehokapasiteetti olisi voinut ylittyäkin ilman latauspisteiden vaikutustakin. Kuvasta 30 ilmenee myös muuntopiirin ylimyminen johtimien kuormitettavuuden kannalta. Liittymäkokojen summaa verrattaessa runkojohtimien kuormitettavuuteen huomataan liittymäkokojen summan olevan hieman yli kaksi kertaa suurempi runkojohtimien kuormitettavuuteen nähden J259 ja J261 johtolähdöillä.



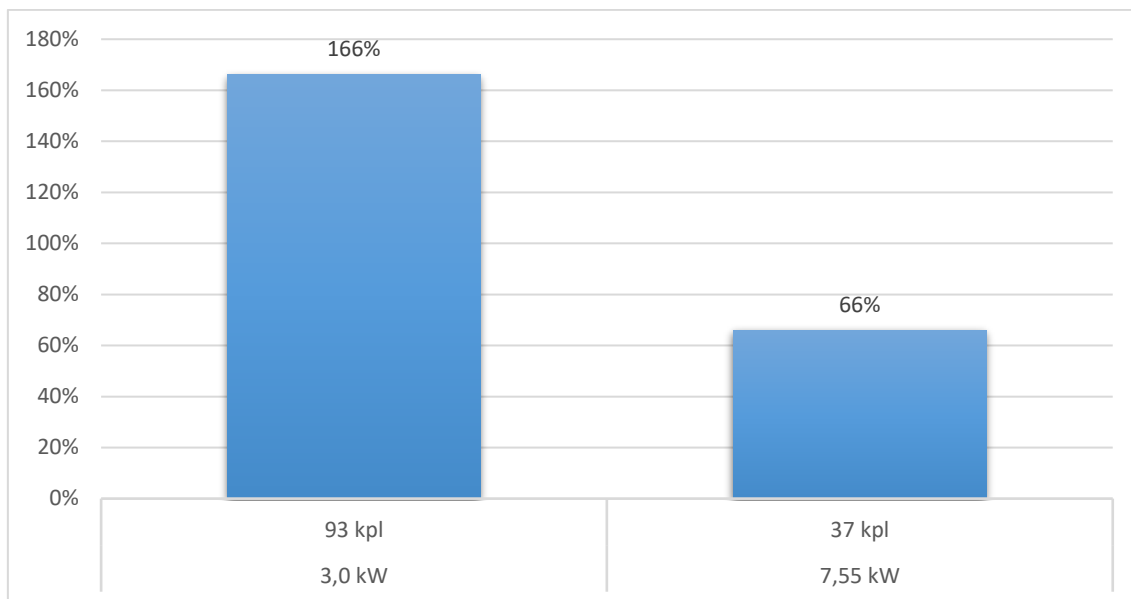
**Kuva 30.** Muuntopiirin M3 johtolähtöjen kuormitustarkastelu

Liittymätasolla päävarokkeet rajaavat kulutusta. Kuvasta 31 ilmenee kuinka suuri osuus käyttöpaikoista pystyisi lisäämään lataustehon huipputehonsa päälle. Tilanne on vastaava kuin muissa muuntopiireissä. Lähes joka käyttöpaikka voisi lisätä 3,7 kW latauspisteen nykyisen huipputehon päälle, mutta alle kolmanneksella käyttöpaikoista olisi mahdollisuus lisätä 11 kW latauspisteen latausteho.



**Kuva 31.** Käyttöpaikkojen mahdollisuus lisätä huipputehoa muuntopiirissä M3

Muuntopiiritasolla ei nykyhetkellä ole vapaata kapasiteettia huipputehon aikana käytettävissä. Tämän vuoksi tässä kohtaa tarkastellaan tilannetta, jossa muuntamon kokoluokka nostetaan 200 kVA:sta 500 kVA:han. Tällöin vapaata kapasiteettia olisi noin 280 kVA tarkasteltavana ajankohtana. Muuntamon koon noston myötä muuntopiirille mahtuu kuvan 32 mukaisesti 93 kpl 3,0 kW skenaarion ja 37 kpl 7,55 kW skenaarion mukaista latauspistettä. Tämä tarkoittaisi 1,66 tai 0,66 (166 ja 66 % prosenttia käyttöpaikoista) latauspistettä käyttöpaikkaa kohden. Ongelmaksi tässä tilanteessa kuitenkin nousisi todennäköisesti johtimien kuormitettavuudet erityisesti J259 johtolähdöllä. Lisäksi muuntamolla pitäisi vaihtaa tällöin myös PJ-keskus nimellisvirraltaan suurempaan. Tällä hetkellä sen nimellisvirta on 400 A, joka PJ-verkossa tarkoittaa noin 276 kVA tehoa.



**Kuva 32.** Jakelumuuntajan kapasiteetin mahdollistamat latauspisteet muuntopiirissä M3

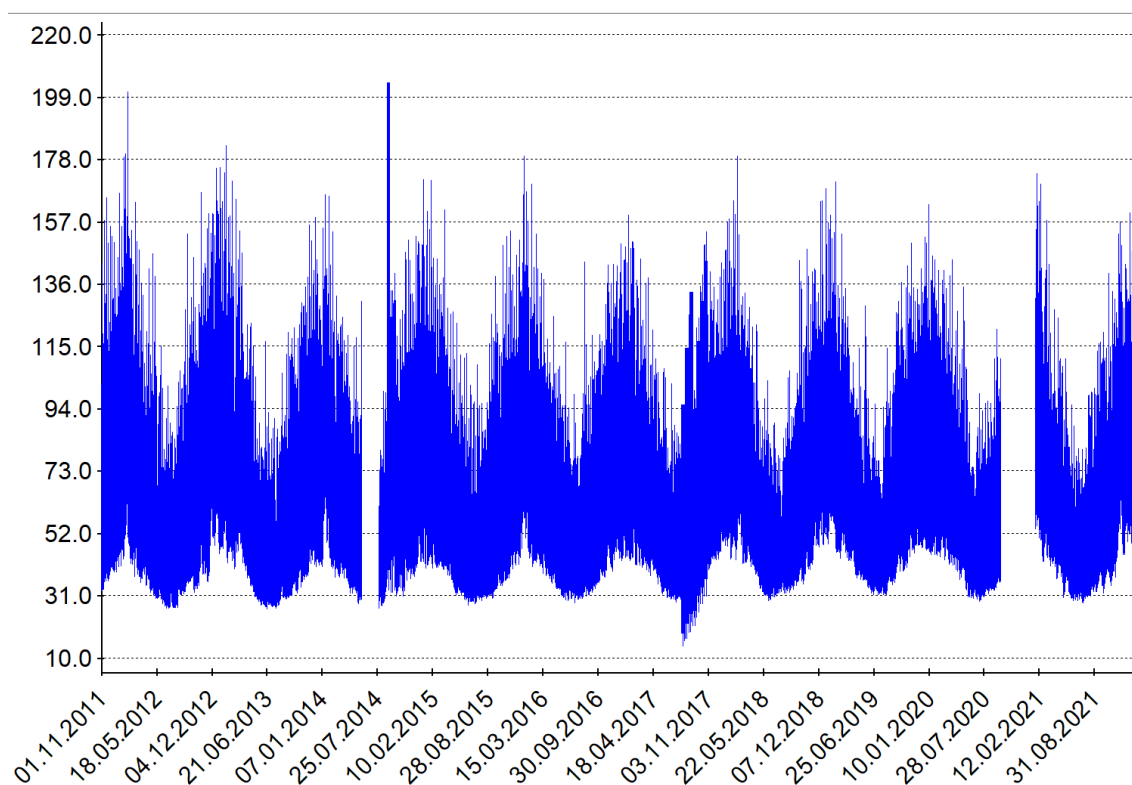
Muuntopiirissä M3 ensimmäisenä huipputehon nostoa rajoittaa jakelumuuntajan korkea kuormitustaso. Muuntajaa vaihtamalla tilanne helpottaa merkittävästi. Tämän jälkeen alkavat muuntamon PJ-keskus ja runkojohdinten kuormitettavuudet rajoittamaan huipputehon nostoa. Muuntajan vaihdossa on kuitenkin vastaava tilanne verrattuna muuntopiiriin M1 muuntajaan. Muuntamo on tyypiltään pylväsmuuntamo, mikä nostaa vaihtokustannuksia reilusti.

#### 6.4 Muuntopiiri M4

Neljänneksi käsiteltäväksi muuntopiiriksi valittiin M4. Muuntopiiri on omakotitalopainotteinen alue, jonka päälämmitysmuotona on kaukolämpö. Muuntopiirin sähköverkko on rakennettu vuonna 2004. Käyttöpaikkoja alueella on yhteensä 60 kappaletta ja liittymiä 44 kappaletta. Liittymistä 41 kappaletta on 3x25 A kokoisia, kaksi kappaletta 3x63 A kokoisia ja yksi kappale 3x125 A kokoinen. Jakokaappeja muuntopiirillä on yhteensä 8 kappaletta, joita muuntamon johtolähtöjen 5 runkojohdinta syöttävät. Runkojohtimista kaksi kappaletta on 95 mm<sup>2</sup> kokoisia, kaksi kappaletta 185 mm<sup>2</sup> kokoisia ja yksi kappale

240 mm<sup>2</sup> kokoinen. Varasyöttöyhteyksiä muuntopiirillä ei ole. Muuntaja on puolestaan kooltaan 500 kVA.

Kuvasta 33 ilmenee muuntajan M4 kuormitus. Kuormitus ei ole kertaakaan mittausdatan aikana ylittänyt 50 % muuntajan nimellisestä tehosta. Viimeisen vuoden aikana suurin huipputeho on ollut 173 kVA ja koko mittausdatan aikana 204 kVA. Kuvasta M4 huomataan selkeästi lämmitysmuodon vaikutus sähkönkulutukseen. Esimerkiksi muuntopiirissä M1 kesä- ja talvipäivän huipputehojen erot saattavat olla jopa 200–300 kVA, kun taas M4 piirissä ero on suurimmillaankin noin 100 kVA.

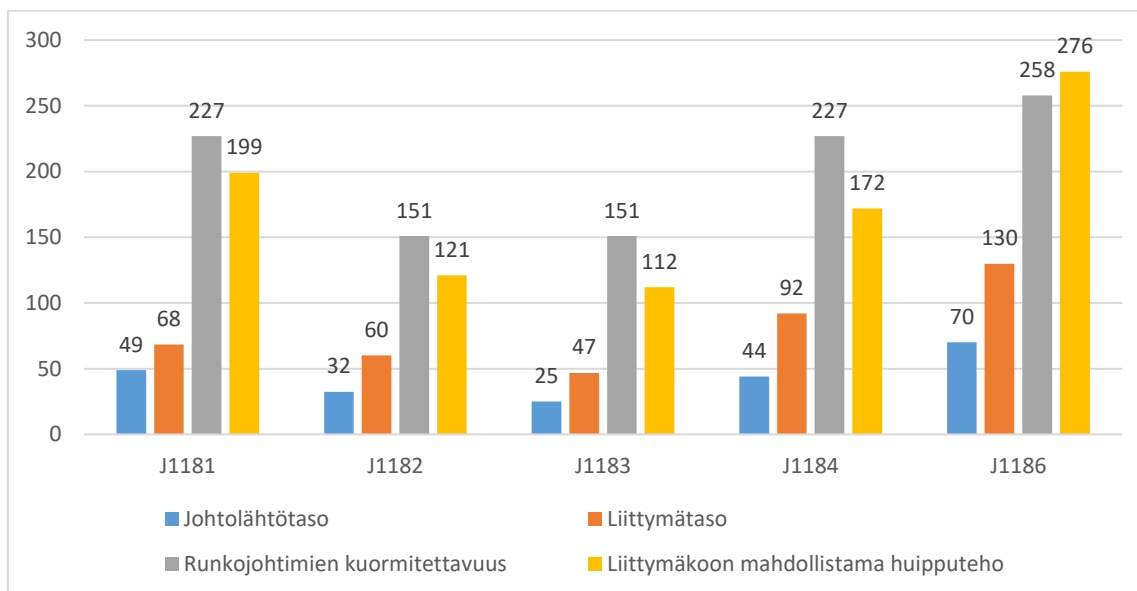


**Kuva 33.** Muuntajan M4 kuormitus

Muuntopiirin liittymäkoot mahdollistavat yhteensä noin 880 kVA huipputehon. Tämä tarkoittaa, että muuntopiiri on noin 1,8 kertaaisesti myyty yli. Luku on kuitenkin merkittävästi pienempi kuin suurimmalla osalla muuntopiireistä. Esimerkiksi muuntopiirillä M1, jossa muuntajan koko on sama 500 kVA, muuntopiiri on myyty yli 2,6 kertaaisesti.

Muuntopiirin johtolähdöt ovat kuvassa 34 esitetysti J1181, J1182, J1183, J1184 sekä J1186. Johtolähtöjä J1181 ja J1184 syöttää 185 mm<sup>2</sup> runkojohtimet, J1182 ja J1183 95 mm<sup>2</sup> runkojohtimet ja J1186 240 mm<sup>2</sup> runkojohdin. Runkojohtimien tehokapasiteetit ovat esitetty kuvassa 34 harmaina pylväinä. Niiden yhteistehokapasiteetti on 1014 kVA. Kuvasta 34 voidaan huomata muissakin muuntopiireissä todettu ilmiö, jossa muuntopiirin käyttöpaikkojen tehohuiput osuvat eri ajankohdilla pienentäen huipputehoa

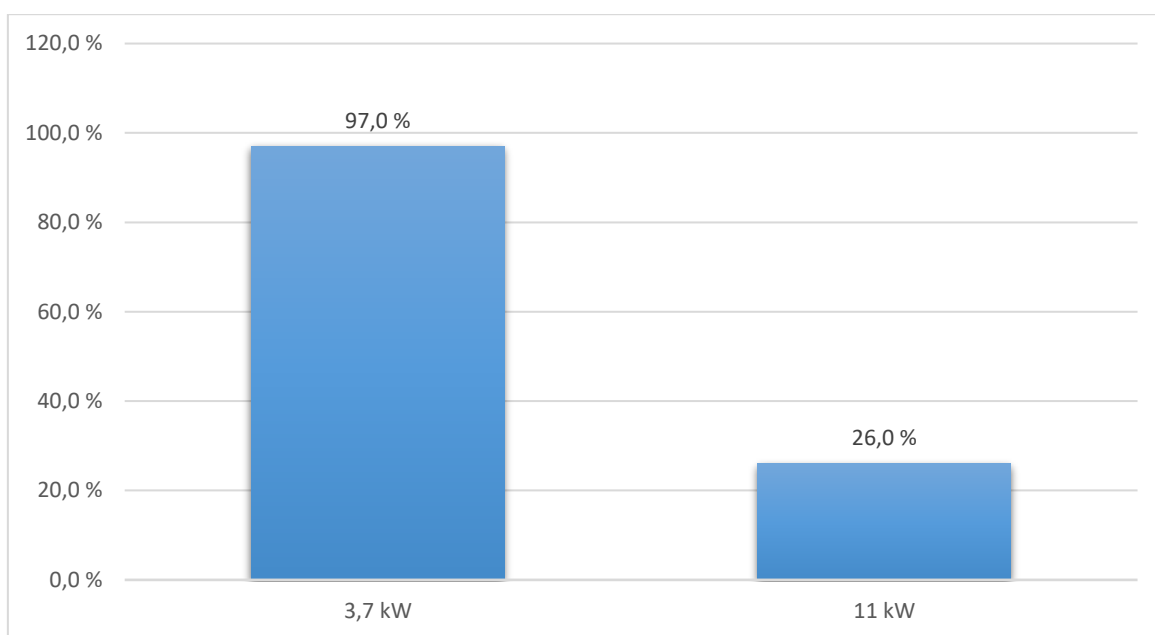
Muuntopiriin M4 runkojohtimet ovat mitoitettu merkittävästi nykyistä suuremmille huipputehoille. Kuvasta 34 huomataan johtolähtöjen kuormitustarkastelussa, etteivät runkojohtimien tehokapasiteetit ole ylittyneet. Jokaisen johtolähdön runkojohtimen huipputeho voitaisiin vähintään kolminkertaistaa ja tehokapasiteetti ei silti ylittyisi. Runkojohtimien tehokapasiteetti riittäisi myös tilanteessa, jossa neljä johtolähtöä viidestä käyttäisi liittymäkonsa mahdollistaman tehon. Ainoastaan J186 liittymillä olisi mahdollisuus nostaa yhteishuipputehon yli runkojohtimen tehokapasiteetin.



**Kuva 34.** Muuntopiirin M4 johtolähtöjen kuormitustarkastelu

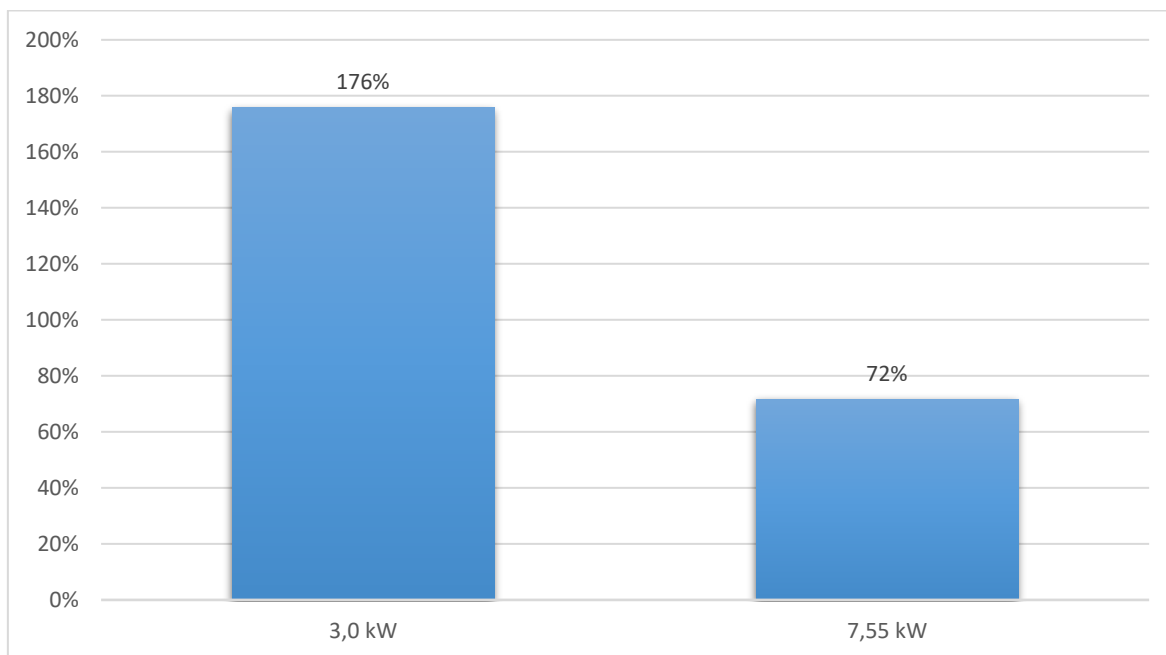
Kuvassa 35 on esitetty käyttöpaikkojen osuudet, jotka pystyvät lisäämään huipputehonsa päälle 3,7 ja 11 kW latauspisteen. Kuvasta voidaan huomata, että liittymätasolla

liittymien koot kuitenkin rajaavat huipputehon nousua. Tilanne on samantyyppinen kuin muissa muuntopiireissä. 3,7 kW latauspisteen pystyy lisäämään lähes jokainen käyttöpaikka, mutta 11 kW latauspisteen merkittävästi 3,7 kW latauspistettä pienempi joukko. 3,7 kW latauspisteen lataustehon pystyy lisäämään huipputehonsa päällä 60 käyttöpaikkaa 62:sta. 11 kW latauspisteen lataustehon pystyy puolestaan enää 16 käyttöpaikkaa 60:stä lisäämään huipputehonsa päälle.



**Kuva 35.** Käyttöpaikkojen mahdollisuus lisätä huipputehoa muuntopiirissä M4

Kuvassa 36 on esitetty nykytilanteessa lisättävien latauspisteiden määrä skenaarioittain. Muuntopiiritasolla nykytilanteessa vapaata kapasiteettia on noin 326 kVA, kun tarkastellaan tilannetta viimeisen vuoden huipputehon perusteella. Muuntopiirille mahtuu tässä tilanteessa 109 kappaletta (176 % käyttöpaikoista) 3 kW skenaarion mukaista latauspistettä. Tämä tarkoittaisi, että jokainen usean käyttöpaikan liittymät pystyisivät hankkimaan yhden käyttöpaikkakohtaisen latauspisteen ja yhden käyttöpaikan liittymät hankkimaan kaksi omaa latauspisteen. 7,55 kW lataustehon skenaarioissa latauspisteitä mahtuisi muuntopiirille 43 kappaletta (72 % käyttöpaikoista). Tämä tarkoittaisi tilannetta, jossa vain yksi liittymä jäisi ilman latauspistettä



**Kuva 36.** Jakelumuuntajan kapasiteetin mahdollistamat latauspisteet muuntopiirissä M4

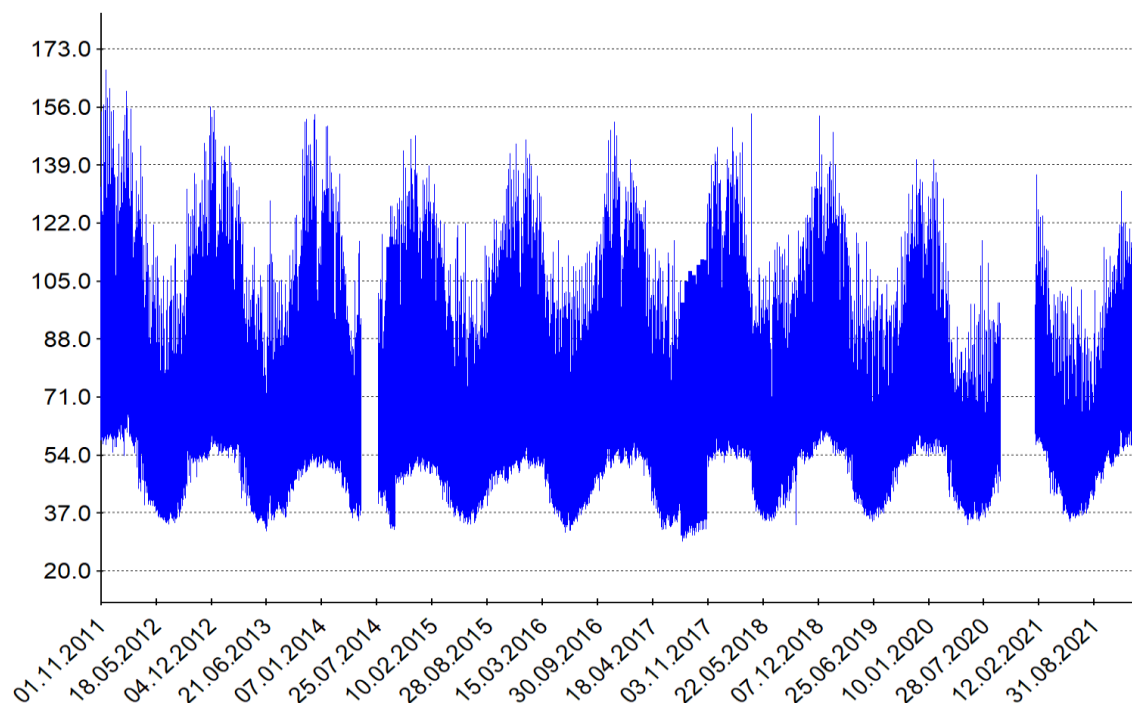
Muuntopiirissä M4 verkko on mitoitettu paljon esimerkiksi M1 muuntopiiriä vahvemmaksi. M4:ssä ensimmäisenä latauspisteiden määrää rajoittaa muuntajan kapasiteetti. Muuntajan kapasiteettia on kuitenkin merkittävästi vapaana, joka mahdollistaa kuvan 36 mukaisen latauspistemäärän. Jakelumuuntajan jälkeen seuraavaksi latauspisteiden määrää rajoittaisivat johtolähtöjen runkojohtimet, jotka kuitenkin pystyisivät tehokapasiteettiinsa puolesta nostamaan huipputehoa vähintään kolmikertaiseksi nykyisestä. Jos muuntopiirissä tarvitaan lisää tehokapasiteettia, ainoat vaihtoehdot ovat komponenttien vaihto tai verkon topologiset muutostyöt. Jakorajoja ei voi muuttaa verkon muuntopiirin nykyisellä rakenteella.

## 6.5 Muuntopiiri M5

Viidenneksi tarkasteltavaksi muuntopiiriksi valittiin M5. Muuntopiiri on kerrostalopainotteinen alue, jolla ei ole yhtä ainoaa lämmitysmuotoa. Alueella on kaukolämpöverkko, mutta kaikki rakennukset eivät ole siihen liittyneet. Muuntopiirin sähköverkko on rakennettu 90-luvulla. Käyttöpaikkoja alueen kuudessa liittymässä on yhteensä 152 kappaletta.

Jakokaappeja on alueella yhteensä 2 kappaletta, joista toinen syöttää kolmea ja toinen yhtä liittymää. Johtolähtöjä muuntajalla on yhteensä 6 kappaletta, joista yksi kappale syöttää liikenteen valvontaan liittyvää laitteistoa ja yksi ulkovalaistusta. Loput neljä kappaletta puolestaan syöttävät rakennuksia ja käyttöpaikkoja ja on niistä jokaisen alueella vähintään 30 kappaletta.

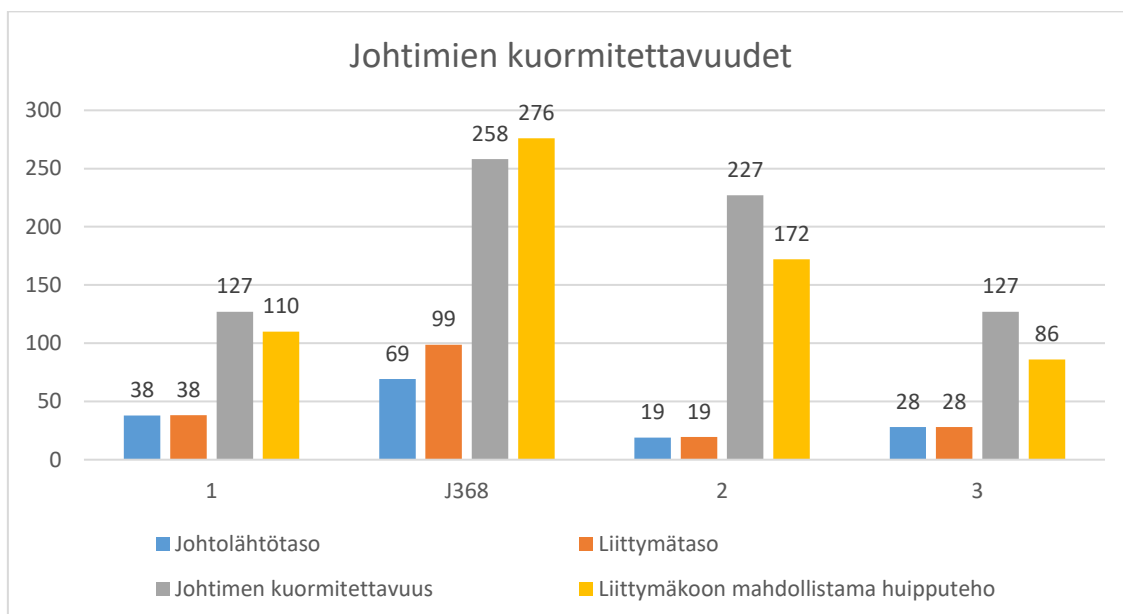
Muuntajan koko on 500 kVA. Kuvasta 37 voidaan huomata muuntajan kuormitettavuuden olevan alhaisella tasolla. Kuormitus ei ole kertaakaan mittausdatan aikana ylittänyt 50 prosenttia muuntajan nimelliskuormituksesta. Mittausdatan aikana suurin huipputeho on ollut 167 kVA ja viimeisen vuoden aikana 136 kVA. Kuvasta 37 ilmenee, että vuodenajan suhteen tehonkäytön vaihtelu on merkittävästi pienempää verrattuna esimerkiksi M1 muuntopiiriin. Tästä voidaan päätellä, että vähintään osa rakennusten tarvitsemasta lämpöenergiasta tuotetaan muulla kuin sähkölämmityksellä. Muuntopiirien liittymien maksimi kuormitus on liittymäkokojen perusteella 644 kVA. Jakelumuuntajan kapasiteettiin nähden muuntopiiri on ylimyöty 1,3 kertaisesti.



**Kuva 37.** Muuntajan M5 kuormitus

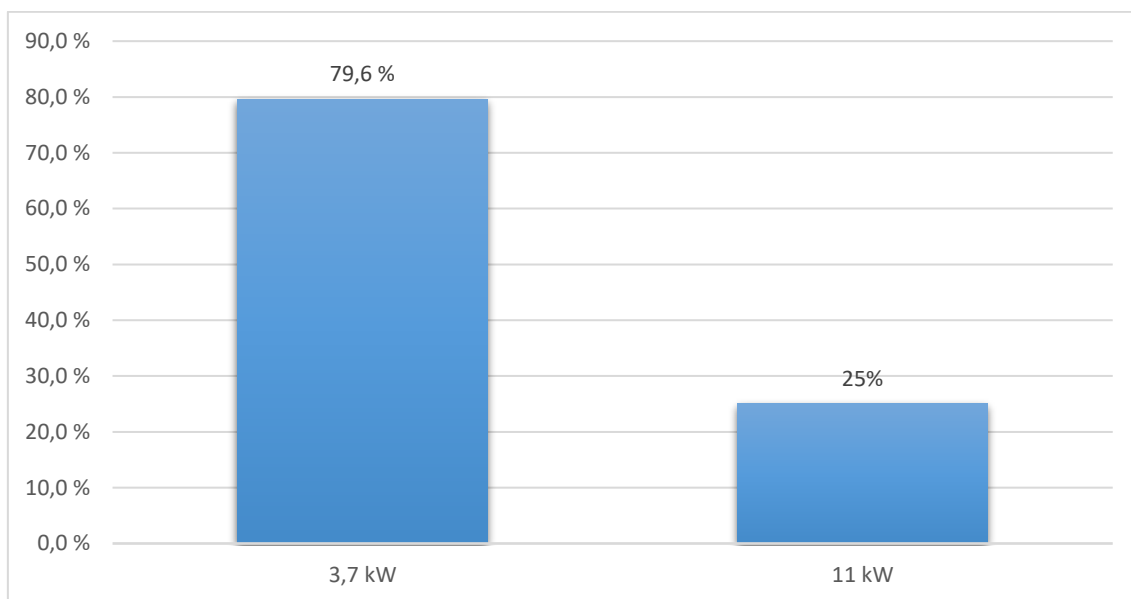
Muuntamon johtolähdöt J368 ja 1 ovat varustettu 240 mm<sup>2</sup> runkojohtimella, joiden tehokapasiteetti on noin 258 kVA. Johtolähtö 1 syöttää ainoastaan yhtä liittymää, mutta runkojohdin muuttuu jakokaapilla 70 mm<sup>2</sup> johtimeksi. Tällöin tehokapasiteetti rajoittuu 127 kVA:iin. J368 johtolähtö syöttää ainoana lähtönä useampaa liittymää, yhteensä kolmea kappaletta. Johtolähdöt 2 ja 3 ovat puolestaan varustettu 185 ja 70 mm<sup>2</sup> runkojohtimilla, joiden tehokapasiteetit ovat 227 ja 127 kVA. Molemmat johtolähdöt syöttävät yhtä liittymää.

Kuvassa 38 on esitetty muuntopiirin johtolähtöjen kuormitukset sekä runkojohtimien tehokapasiteetit. Kuvasta voidaan havaita, että johtimet ovat mitoitettu merkittävästi yli todellisen tehonkäytön. Jokainen tarkasteltu johdin pystyisi tehokapasiteettinsa puolesta siirtämään vähintään kolminkertaisen määrän nykytilanteeseen verrattuna. Muista käsitellyistä muuntopiireistä poiketen muuntopiirin M5 tarkastelussa käsiteltiin kolmea liittymää yksinään. Tämä aiheuttaa muille paitsi lähdölle J368 kuvassa 38 tilanteen, jossa johtolähdön runkojohtimen kuormitettavuus ja liittymän huipputeho tarkoittavat samaa asiaa. Kuvasta 38 huomataan runkojohtimen riittävän kolmesta lähdöstä neljästä.



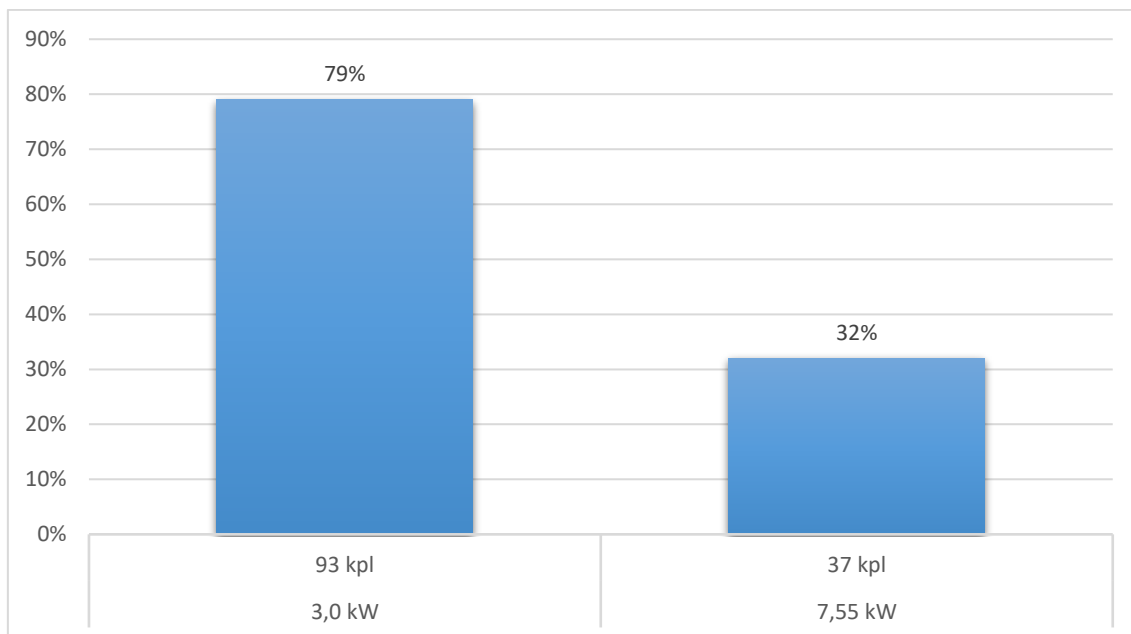
**Kuva 38.** Muuntopiirin M5 johtimien kuormitettavuudet

Liittymätasolla liittymäkoot kuitenkin rajoittavat huipputehon nousua. Kuvassa 39 on esitetty osuudet käyttöpaikoista, jotka pystyisivät hankkimaan latauspisteen ja käyttämään sitä samanaikaisesti ilman liittymäkoon mahdollistaman tehorajan ylittymistä. Noin 80 % käyttöpaikoista pystyisi lisäämään 3,7 kW latauspisteen lataustehon ilman rajatehon ylittämistä. 11 kW latauspisteellä vastaava luku on 25 %. Luvut ovat muutoin linjassa muiden muuntopiirien kanssa, mutta 3,7 kW latauspisteitä voidaan lisätä muita muuntopiirejä pienemmälle osuudella käyttöpaikoista.



**Kuva 39.** Käyttöpaikkojen määrä, joille tilaa saada latauspiste huipputehon aikana muuntopiirissä M5

Muuntopiiritasolla ensimmäisenä latauspisteiden määrää rajoittaa jakelumuuntajakapasiteetti. Viimeisen vuoden huipputehon perusteella vapaata kapasiteettia muuntajalla on noin 364 kVA. Tämä mahdollistaa kuvan 40 mukaiset latauspistemäärät skenaarioittain. Ensimmäisessä 3,0 kW skenaariossa latauspisteitä mahtuisi 93 kappaletta muuntopiirille ja toisessa 7,55 kW 37 kappaletta. Määrät tarkoittavat, että latauspisteen saisi 79 % ja 32 % käyttöpaikoista tai vastaavasti 0,79 ja 0,32 latauspistettä käyttöpaikkaa kohden.



**Kuva 40.** Jakelumuuntajan kapasiteetin mahdollistamat latauspisteet muuntopiirissä M5

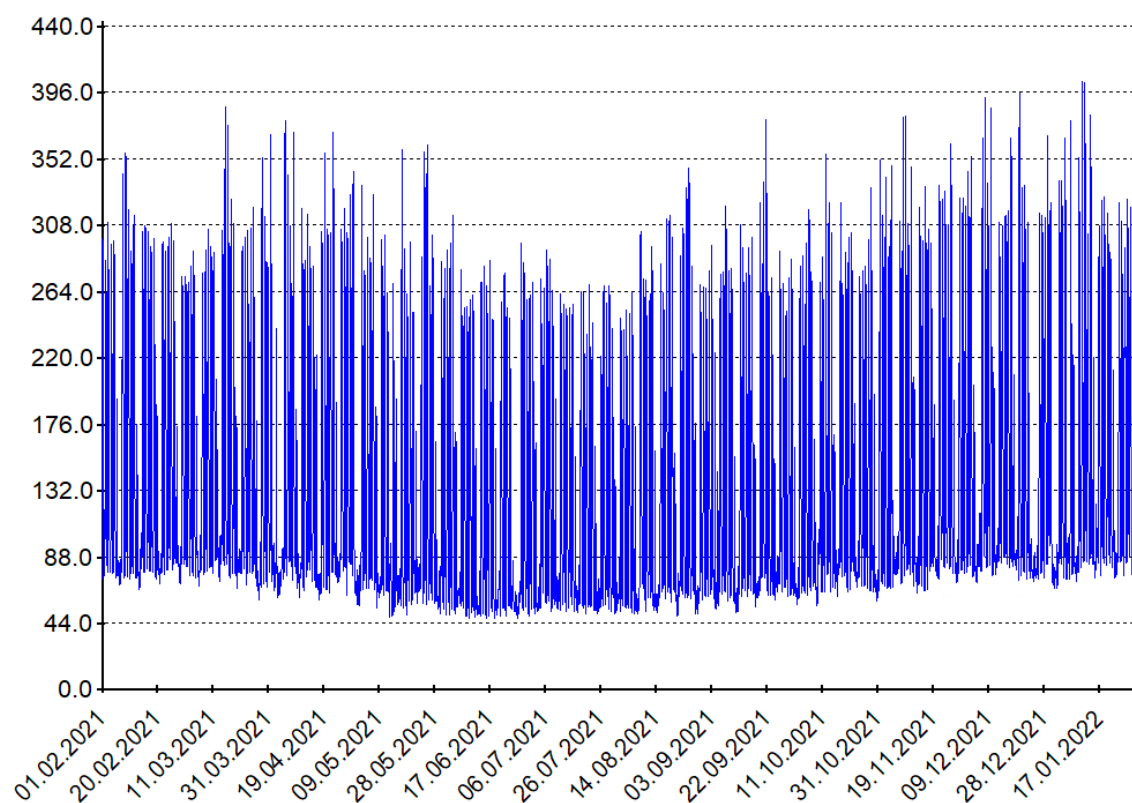
Muuntopiiri M5 eroaa muista tarkasteltavista muuntopiireistä kerrostalopainotteisella rakennuskannallaan. Alueella on 6 liittymää, joissa on yhteensä 152 käyttöpaiikkaa. Muuntopiiristä voidaan huomata, että kerrostalojen sähköjärjestelmät mitoitetaan yleensä merkittävästi yli todellisen tarpeen. Tämän vuoksi latauspisteiden kannalta tilanne on hyvä ja todennäköisesti ensimmäisenä latauspisteiden määrää rajoittaa jakelumuuntajan kapasiteetin sijasta kiinteistön sähköpääkeskus. Toinen tilannetta helpottava asia on liittymän pysäköintipaikkojen määrä, joka kyselytutkimuksen perusteella on 0,7–1,0 kappaletta käyttöpaiikkaa kohden. Tämä tarkoittaa, ettei jokainen käyttöpaiikka voikaan hankkia latauspistettä.

## 6.6 Muuntopiiri M6

Kuudenneksi muuntopiiriksi valittiin muuntopiiri M6. Muuntamo syöttää ainoastaan yhtä suurta kaupallisella alalla toimivaa liittymää. Diplomityöhön tämä sisällytettiin kyselytutkimuksen tuloksien vuoksi. Toimijalla on jo aiemmin ollut latauspisteitä ja heillä on tarkka suunnitelma latauspisteiden lisäämisestä, mikä on tällä hetkellä toteutuksen alla. Liittymän koko on tällä hetkellä 3x1000 A, joka mahdollistaa 690 kVA huipputehon

ja jakelumuuntajan koko on 800 kVA. Runkojohdinten, jotka toimivat samalla liittymisjohtimena, koko on  $4 \times 185 \text{ mm}^2$ . Tällöin niiden tehokapasiteetti on 908 kVA. Muuntamon PJ-keskuksen tehokapasiteetti on puolestaan noin 1100 kVA, joten jakelumuuntamon koko rajoittaa verkon komponenteista ensimmäisenä kuormitusten nousua.

Kuvasta 41 on esitettyä muuntopiirin ainoan liittymän kuormitus. Kuvasta huomataan tehontarpeen olevan merkittävästi suurempi liikkeen aukioloaikoina. Liittymän tarkastelujakson huipputeho on 403 kVA. Tällöin vapaata kapasiteettia muuntajalla on 385 kVA.



**Kuva 41.** Muuntopiirin M6 liittymän tehokuvaaja

Liittymällä oli latauspisteitä ennen investointihanketta taulukon 5 mukaisesti. Taulukossa on myös esitelty hankkeen jälkeinen latauspistetilanne. Latauspisteiden yhteislatausteho on ennen hanketta ollut noin 440 kW ja osassa latauspisteissä on ollut yksinkertainen kuormanhallinta ratkaisu, joka on hieman laskenut latauskentän lataustehoa. Hankkeessa lisätään 8 latauspisteen latausalue, jonka latauspisteiden yhteislatausteho on 450

kW. Tämän lisäksi liike lisää lataustapojen 2 ja 3 mukaisia latauspisteitä. Hankkeen jälkeen latauskentän latausteho nousee noin 1100 kW, joka on noin 660 kW enemmän kuin ennen hanketta. Hankkeen myötä jokaisessa latauspisteessä on kuormanhallinta. Tämän avulla voidaan mahdollisesti sähköjärjestelmästä johtuvien rajoitteiden vuoksi rajata tarvittaessa lataustehoa.

**Taulukko 5.** Liikkeen latauspistetilanne

Latauspisteet ennen hanketta		Latauspisteet hankkeen jälkeen	
Latauspisteiden määrä (kpl)	Latausteho (kW)	Latauspisteiden määrä (kpl)	Latausteho (kW)
10	3,7	30	3,7
35	11	50	11
1	22	8	Yhteensä 450 kW

Hankkeen teoreettisen 660 kW huipputehon nousun myötä sähköjärjestelmään on tehtävä muutoksia. Muuntaja on vaihdettava kooltaan suurempaan, latauskentälle on tehtävä omat johtolähdöt muuntamolta ja liittymäkoko on nostettava. Muutoin hanke on toteuttamiskelpoinen.

## 6.7 Kapasiteettitarkastelun johtopäätökset

Kapasiteettitarkastelu tehtiin yhteensä kuudelle ennalta valitulle muuntopiirille. Jokaisessa muuntopiirissä tehokapasiteettia rajoitti ensimmäisenä jakelumuuntajan kapasiteetti. Erityisen huomioitavaa oli 315 kVA ja alle kokoisten muuntajien nykytilanteen kuormitustaso. Muut verkon komponentit ovat mitoitettu merkittävästi suuremmalle tehokapasiteetille. Johtimien tehokapasiteetin tarkastelussa huomattiin johtolähdön johtimista kuormittuneimman olevan lähes poikkeuksetta ensimmäinen runkojohdin. Tämän vuoksi tarkasteluun tuli mukaan lähes jokaisessa tilanteessa johtolähtöjen

ensimmäiset runkojohtimet. Muita muuntopiirien tilanteisiin vaikuttavia tekijöitä olivat verkon ikä, asumistyyppi sekä lämmitysmuoto.

Tarkasteluun valittiin muuntopiirin laajuiseksi skenaarioiksi 3,0 kW ja 7,55 kW suuruisten latauspisteiden lisääminen. Todennäköisesti lataustapahtumat limittyvät eri ajankohtiin ja muuntopiirillä latauspisteiden yhteislataustehon perusteella laskettu latausteho on pistettä kohden alle 3,0 kW. Tulevaisuudessa lataustehot kuitenkin nousevat entistä nopeampien latausaikojen tavoittelun ja valtion tukipolitiikan innoittamana.

Muuntopiirin suhteelliseen kuormitustasoon vaikutti merkittävästi kyseisen alueen verkon ikä. 70 -luvulla ja 80 -luvun alussa rakennetut verkot ovat pääosin mitoitettu merkittävästi pienemmälle tehokapasiteetille kuin mitä nykyaikana alueelle mitoitettaisiin. 70- ja 80 -lukujen muuntopiirien suurin ongelma tehokapasiteetin suhteen on pääsääntöisesti runkojohtimien tehokapasiteetti, sillä muut jakeluverkon komponentit ovat yleensä merkittävästi maakaapeleita helpompia ja halvempia vaihtaa. Tämän vuoksi johtimet ovat muuntajia ongelmallisempia, vaikka muuntajat ovat suhteessa merkittävästi kuormittuneempia.

70- ja 80 -luvuilla johtolähtöjen runkojohtimina on käytetty useissa kohteissa 70 ja 120 mm<sup>2</sup> johdinta, jonka tehokapasiteetti on merkittävästi alempi kuin nykyisin vastaavissa paikoissa käytetyn 185 mm<sup>2</sup> johtimen tehokapasiteetti. 90 -luvulla ja myöhemmin rakennetuissa muuntopiireissä johtimien tehokapasiteetti on useimmiten vähintään kaksinkertainen verrattuna liittymien yhteenlaskettuun huipputehoon, kun vanhoissa muuntopiireissä liittymien yhteenlaskettujen huipputehojen summa ylittää paikoin johtimien tehokapasiteetin. Ongelmaa helpottaa se, että 70- ja 80 -luvun johtimet ovat jo lähellä käyttökänsä päätä. Ne heijastavat oman aikakautensa suunnitteluperiaatteita ja ovat nykyhetkeen asti täyttäneet tehtävänsä. Nykyisin niitä korvataan jatkuvasti uusilla johtimilla. Johtimien uusintaa sijoitetaan mahdollisuuksien mukaan muun infrarakentamisen kanssa samoihin kaivantoihin, jolloin kustannukset jakaantuvat useamman toimijan kanssa.

Johtimista suhteessa kuormittuneimmat ovat pääsääntöisesti muuntamon johtolähtöjen ensimmäiset johtimet. Poikkeuksia tähän löytyy, sillä joissain tilanteissa johdinten poikkipinta-aloja pudotetaan suhteessa liian paljon jakokaapin jälkeen, jolloin suhteellinen kuormitus nousee. Vastaavasti yksi tilanne tuli esille, jossa johdin vaihtuikin äkisti poikkipinnaltaan suurempaan johtimeen. Tällainen ei taloudellisesti ole järkevää, sillä se ei lisää tehonsiirtokapasiteettia kokonaisuudessaan.

Toinen muuntopiirien kuormitukseen vaikuttava tekijä on alueen lämmitysmuoto. Pääsääntöisesti sähkölämmitysalueilla verkon kuormitus on suhteessa suurempaa kuin muiden lämmitysmuotojen alueilla. Lisäksi muuntajien kuormituskuvaajista huomataan sähkölämmitysalueilla vuodenaikojen kulutusvaihtelujen olevan erittäin suurta. Tilanne on tulevaisuudessa muuttumassa haastavammaksi verkkoyhtiön kannalta, sillä latauspisteiden tulon lisäksi lämmitysmuotoja vaihdetaan kiihtyvään tahtiin sähkölämmitteiseksi. Yleensä juuri öljylämmitys vaihdetaan lämpöpumpppohjaiseen ratkaisuun.

Kolmas muuntopiirin kuormittuneisuutta indikoiva tekijä on muuntajan koko. Keskimääräisesti muuntajan suhteellinen kuormitus on sitä suurempaa, mitä pienempi muuntamon muuntaja on kooltaan. Ongelmat painottuvat erityisesti enintään 315 kVA:n muuntajan kokoluokkaan. Verkkoyhtiön kannalta tilannetta helpottaa muuntajien vaihdettavuus. Samaan puistomuuntamoon voidaan vaihtaa enintään 1000 kVA asti oleva muuntaja. Tällöin ei erinäisiä muita muutostöitä, kuten kaivantoja tarvitse toteuttaa. Seiverkot Oy:n muuntamoissa osassa on kuitenkin muiden komponenttien mitoitus sellaista, että muuntajan maksimikoko on pienempi kuin 1000 kVA.

Neljäs suhteelliseen kuormittuneisuuteen vaikuttava tekijä on muuntopiirin rakennustyyppi. Liikekiinteistöihin on pääsääntöisesti varattu riittävä tehonsiirtokapasiteetti, mutta asuntoalueilla tilanne vaihtelee. Tutkituista muuntopiireistä viisi kappaletta kuudesta oli ”ylimyytyjä” ja jokainen viidestä muuntopiiristä oli asuinalue. Ylimyydyllä tarkoitetaan tilannetta, jossa myytyjen liittymien yhteistehokapasiteetti ylittää

muuntopiirin jakelukapasiteetin. Ylimyydyt muuntopiirit olivat 1,3–4,8 kertaisesti tehokapasiteettiinsa nähden ylimyytyjä. Vähiten ylimyyty oli kerrostalopainotteinen muuntopiiri. Tämä johtuu kerrostalojen sähköjärjestelmien suunnitteluperiaatteista. Sähköjärjestelmä mitoitetaan merkittävästi todellista suuremmalle tehon käytölle.

Latauspisteitä muuntopiireille mahtuu erittäin vaihtelevasti. Tässä kohtaa on huomiotava, että lataustehot oletetaan tulevan huipputehonkäytön päälle. Tilanne on siis pääsääntöisesti tämän tutkimuksen lukuja parempi. Liittymätasolla liittymien varokekoot mahdollistaisivat noin 90 prosentille käyttöpaikoista lataustavan 2 mukaisen 3,7 kW latauksen. Muuntopiiritasolla 3,0 kW skenaariolla latauspisteitä mahtuisi kapasiteetin puolesta lähes myös lähes jokaiseen käyttöpaikkaan. Tässä vaihtelevuus on kuitenkin erittäin suurta. Muuntopiirissä M1 latauspisteitä mahtuisi 0,3 kappaletta asuntoa kohden, mutta muuntopiirissä M4 puolestaan 1,76 kappaletta. Liittymätason 3,7 kW ja muuntopiiritason 3,0 kW skenaarioiden tuloksista huomataan Suomen autojen esilämmitykseen varautumisen vaikutukset. Liittymätasolla 11 kW latauspisteiden määrä olisi merkittävästi 3,7 kW latauspisteiden määrää pienempi. Muuntopiiristä riippuen 11 kW latauspisteitä mahtuisi 12–44 prosenttiin käyttöpaikoista. 7,55 kW skenaariossa käyttöpaikoista puolestaan 12–72 % voisi hankkia latauspisteen, jos oletetaan niiden lataavan samanaikaisesti. Taulukossa 6 on esitettyä kootusti liittymäkokojen ja muuntopiirien mahdollistamat latauspistemäärät eri muuntopiireissä.

**Taulukko 6** Liittymäkokojen ja muuntopiirien mahdollistamat latauspistemäärät

	3,7 kW (%)	11 kW (%)	3,0 kW (%)	7,55 kW (%)
M1	89	12	30	12
M2	94	44	67–172	27–67
M3	95	29	166	66
M4	97	26	176	72
M5	80	25	79	32

Viimeisenä muuntopiirinä tutkittiin erään yhtiön yksin muodostamaa muuntopiiriä. Kyseinen muuntopiiri valittiin tarkasteluun kyselytutkimuksessa saadun tiedon perusteella. Yhtiöllä on merkittäviä suunnitelmia latauspisteiden lisäämiseksi ja suunnitelmat ovat alaluvussa 5.8 annettujen ehtojen myötä toteutettavissa.

Kapasiteettitarkastelussa huomioitiin lisäksi liittymäkohtainen yksivaiheinen oikosulkuvirta sekä liittymien jännitteenalenema. Kummankaan osalta ei kuitenkaan löydetty standardien vastaisia tilanteita, joten näihin liittyviä tuloksia ei nähty tarpeelliseksi esittää tässä diplomityössä.

## 7 Johtopäätökset

Diplomityön Kirjallisuusosuuudessa tarkasteltiin sähköautojen langallisia lataustapoja ja niiden määrää, ominaisuuksia sekä niihin liittyvää säädäntöä ja tukipolitiikkaa. Lisäksi kirjallisuusosuuteen sisällytettiin vielä katsaus ajoneuvojen latauksen aiheuttamiin yleisimpiin verkostovaikutuksiin. Ennen tapaustutkimusta sisällytettiin kyselytutkimus, jolla selvitettiin Seiverkot Oy:n toimijoiden tilannetta ja suunnitelmia sähköisen liikenteen osalta. Kirjallisuusosuuden ja kyselytutkimuksen myötä siirryttiin työn verkkoyhtiötä hyödyttävään vaiheeseen eli kapasiteettitarkasteluun.

### 7.1 Latauspisteiden määrä ja ominaisuudet

Julkisten ja yksityisten latauspisteiden määrä jatkaa voimakasta kasvuaan painottuen enimmäis määrää enemmän lataustapojen 3 ja 4 osuuden nousuun sekä kokonaisuudessaan lataustavasta riippumatta lataustehon nousuun. Tätä kehitystä ajaa turvallisuusnäkökohdat, lyhyempi latausaika sekä tekninen kehitys. Esimerkiksi erään merkittävän latauspistevalmistajan mukaan 2025 lataustavan 3 mukaisia latauspisteitä myydään jo lataustavan 2 mukaisia latauspisteitä enemmän. Lataustehojen osalta lähitulevaisuudessa yleistyy tilanne, jossa kotilatauspisteet ovat latausteholtaan 22 kW. Julkiset latauspisteet ovat tällöin todennäköisesti joko 22 kW lataustavan 3 mukaisia tai 50–350 kW lataustavan mukaisia latauspisteitä. Haasteena on kuitenkin latauspisteiden määrän riittävyys, sillä sähköautojen määrä kasvaa suhteessa latauspisteiden määrää vauhdikkaammin.

Latauspisteiden ominaisuuksissa kuormanhallinta tulee kasvattamaan merkitystään ja kuormanhallinnan sovellutukset tulevat monipuolistumaan. Tällä hetkellä markkinoilla on tarjolla kotitalouksille latauspisteitä, jotka säätelevät lataustehoa annetun rajan ja kotitalouden muun tehonkäytön perusteella. Latauskentille kuormanhallinta puolestaan antaa mahdollisuuden ladata suurella latausteholla, jos latauspisteitä on pieni määrä latauskentällä käytössä.

Tulevaisuudessa kuormanhallinta mahdollistaa kotitalouksille esimerkiksi latauksen vain aurinkopaneeleilla tuotetun sähkön ollessa tarjolla ja jopa uuden ansaintamallin kaksisuuntaisen latauksen myötä. Latauskentille kuormanhallinnan kehitys tuo mahdollisuuden joustavampaan lataustehojen säätöön esimerkiksi latauskentän eri alueiden välillä. Verkkoyhtiön kannalta mielenkiintoinen vaihtoehto on tilanne, jossa verkkoyhtiöllä olisi mahdollisuus säätää latauspisteiden lataustehoa laajassa mittakaavassa. Tämä vaihtoehto on vielä erittäin keskeneräinen teknisen kehityksen ja ihmisten hyväksymisen osalla. Menetelmällä on kuitenkin valtava potentiaali, joka oikein toteutettuna vähentää merkittävästi tehokapasiteetin noston tarvetta.

Vaikka kuormanhallinta tulee tasapainottamaan latauksien tehohuippuja, tehokapasiteettia tarvitaan silti nykyistä enemmän. Kotitaloudet tulevat todennäköisemmin valitsemaan entistä suuremman liittymäkoon esimerkiksi 3x25 A liittymän tilalta halutaankin 3x35 A, 3x50 A tai jopa 3x63 A. Tätä kehitystä on kuitenkin hankala tarkasti ennakoida ja parhaimpina varautumiskeinoina voidaan pitää muuntajien kuormitustarkastelua sekä riittävää komponenttien, erityisesti johtimien, mitoitus.

## **7.2 Latauspisteisiin liittyvä sääntely ja tukitoimet**

Latauspisteisiin liittyvällä sääntelyllä ja tukitoimilla pyritään nopeuttamaan ja lisäämään liikenteen sähköistymistä. Latauspisteisiin liittyvästä sääntelystä päättävät suomen lainsäädäntöelimet sekä Euroopan unioni. Konkreettisenä tavoitteena on saada jokaiselle sähköautolle mahdollisuus yön yli tapahtuvaan lataukseen. Toisena tavoitteena latauspisteiden määrän lisäksi on julkisten latauspisteiden verkoston laajuus. Merkittävä haaste määrään liittyen onkin niiden epätasainen jakautuminen. Tämä johtuu latausliiketoiminnan kannattavuudesta harvaan asutuilla alueilla. Tällöin latauspisteen käyttöaste voi jäädä niin matalalle, että latauspiste tuottaa tappiota omistajalleen.

Suomessa rakennuksien omistajia veloitetaan liitteen 1 mukaisesti hankkimaan latauspisteitä ja latauspistevalmiuksia. Uusimpana muutoksena on tiettyjen ehtojen täyttyessä muuhun käyttöön kuin asumistarkoituksessa olevan rakennuksen latauspistepakko vuoden 2024 loppuun mennessä. Uusia asuinkäyttöön tarkoitettuja rakennuksia sekä vanhoja laajamittaisen korjauksen yhteydessä veloitetaan hankkimaan latauspistevalmiudet liitteen 1 mukaisesti. Laki on tullut voimaan maaliskuussa 2021 ja sen odotetaan lisäävän merkittävästi latauspisteiden määrää.

Rakennuksien omistajia kuitenkin tuetaan latauspisteinvestoinneissa tiettyjen ehtojen täyttyessä. Ehdot ovat jatkuvasti kiristyneet ja esimerkiksi viimeisimmässä muutoksessa valittiin tuen ehdoksi latauspisteiden minimilataustehoksi 11 kW. Aiemmin 3,7 kW on riittänyt ja 11 kW latauspistekohtaisen tehon hankkeisiin on ollut mahdollista hakea normaalia suurempaa tukea.

### **7.3 Kyselytutkimus**

Kyselytutkimuksessa saatiin 27 kappaletta vastauksia eri alojen toimijoilta. Kokonaisuudessaan vastauksista selvisi, ettei nykyhetkellä liikenteen sähköistyminen ole juurikaan edennyt vastanneilla, mutta tulevaisuuden suunnitelmat vaihtelivat merkittävästi. Osa toimijoista ei hanki latauspisteitä tai sähköajoneuvoja kuin pakon edessä, joka on tulossa julkisille toimijoille ja yleisen mielipiteen myötä eettisenä säädöksenä muuallekin. Toinen osa vastaajista kuitenkin suunnittelee panostavansa erittäin merkittävästi sähköajoneuvoihin ja jopa korvaavan niillä täysin polttomoottorikäyttöiset autot.

Sähköautoja myytiin kuitenkin merkittävä määrä jo vuonna 2021. Lisäksi ennusteet sähköautojen myynnistä povaavat räjähdysmäistä kasvua. Tämän perusteella sähköajoneuvojen määrän lisääntymisen veturina toimivat yksityiset kotitaloudet. Kysely kuitenkin paljasti usean tahon olevan tietämätön nykyisestä lainsäädännöstä. On hyvinkin mahdollista, että sähköautojen ja latauspisteiden suosio nousee räjähdysmäisesti Seiverkot

Oy:n verkko alueella. Yleensä tämän kaltaiset ilmiöt nousevat suurissa kaupungeissa ensimmäisenä ja myöhemmin siirtyvät pienempiin paikkoihin.

Kyselyssä tiedusteltiin myös latauspisteiden ja sähköajoneuvojen huonoja puolia. Vastauksista esille nousivat erityisesti hankintahinta, tekniikan vanheneminen, toimintamatka, latauspisteiden vähyyt sekä latausaika. Osa ajoneuvojen käyttövoimaan perehtyneistä tahoista vastasi myös kaasun-, vedyn- sekä biodieselin olevan akustoa parempi vaihtoehto.

Kyselytutkimus vei merkittävän osan diplomityöhön varatusta ajasta, sillä kyselyt piti räätälöidä jokaiselle toimialaryhmälle erikseen. Lisäksi kyselyyn vastaaminen oli heikolla tasolla ja lukuisia muistutuskiirroksia jouduttiin tekemään 27 vastaajan eteen. Vastauksien laatu vaihteli suuresti, mutta jonkinlainen kokonaiskuva onnistuttiin tilanteesta saamaan. Kokonaisuudessaan kyselytutkimuksesta saatu hyöty ei kuitenkaan vastannut siihen käytettyä aikaa ja jälkikäteen ajateltuna tieto olisi kannattanut hankkia toisin tai jättää kyseinen vaihe kokonaan pois.

## **7.4 Ohjeet suunnitteluun**

Tämä alaluku on tarkoitettu yhtiön suunnittelutiimin tarkasteltavaksi. Nämä asiat ovat työssä nousseet esille. Ohjeet ja ilmiöt aloitetaan jakelumuuntajan päästä ja siirrytään järjestyksessä kohti käyttöpaikkoja. Viimeisenä ovat yleiset ohjeet. Uutena muuttujana suunnitteluun on maailmanpoliittisen tilanteen myötä tullut komponenttien pula sekä hinnannousu. Asia voi muuttua parempaan tai huonompaan suuntaan erittäin nopeasti, joten tarkkoja yleispäteviä ohjeita ei asian perusteella kukaan pysty tekemään.

Jakelumuuntajien kapasiteetti on suurimpana rajoitteena tehokapasiteetin nousulle. Erityisesti ylikuormitus painottuu enintään 315 kVA kokoluokan muuntajiin. Tilanteen perusteella ehdotetaan käytettävän vähintään yhtä kokoluokkaa suurempaa muuntajaa. Muuntajat ovat kuitenkin vaihdettavuudeltaan melko helppoja, joten samanlaista

varmuutta kuin esimerkiksi maanalaisten komponenttien kanssa ei tarvitse käyttää. Muuntajaa pystyy vaihtamaan suurempaan ilman merkittäviä lisätoita 800 kVA:han asti.

Muuntamon muiden komponenttien mitoitukseen kannattaa myös kiinnittää huomiota varsinkin, jos muuntajan kokoa nostetaan. Esimerkiksi PJ-kiskon mitoitusvirta voi tällöin jäädä liian pieneksi. Tulevaisuudessa mahdollinen ratkaisukeino voisi olla myös akuston hankinta. Akustolla voitaisiin pienentää muuntamon kuormitusta huipputehon aikana ja tällä tavoin mahdollisesti välttyttäisiin muuntajan vaihdolta. Akusto tarjoaisi tällöin myös varavoiman lähteen esimerkiksi tietoliikenneverkon asemalle.

Muuntajien osalta esille nousi säännöllisen kuormitustarkastelun suuri tarve. Tämä olisi erittäin tärkeää, sillä liittymien tehontarve nousee tällä hetkellä myös muiden kuin latauspisteiden vuoksi. Syynä ovat esimerkiksi lämmitysmuodon vaihtuminen öljykattilasta lämpöpumppupohjaiseen ratkaisuun. Tarkastelua ei säännöllisesti ole aiemmin tehty. Tulevaisuuden kauhukuvana on tilanne, jossa suuri määrä muuntajia on yhtiön huomaamatta ylikuormituksessa. Tällöin yhtiön vuosibudjetti ei riitä tilanteen korjaamiseksi. Nykytilanne on melko hyvä vielä, mutta muuntajien kuormitustasot ovat joissain tapauksissa ylittyneet merkittävästikin kenenkään huomaamatta. Kuormitustarkastelu olisi hyvä myös pitää ajatuksissa muitten komponenttien osalta. Tulevaisuudessa tällainen tarkastelu olisi todennäköisesti järkevää automatisoida.

Johtimien tehokapasiteetti on pääsääntöisesti toisena jakelumuuntajien jälkeen rajoittamassa maksimitehokapasiteettia. Johdinten osalta tilanne on vaihdettavuudeltaan täsmälleen vastakohtainen muuntajan vaihtoon verrattuna, ainakin maakaapeleiden osalta. Tämän vuoksi Seiverkoilla uusitaankin maakaapeleita tilanteissa, joissa samaa kaivantoa voivat esimerkiksi kaukolämpö- tai tietoliikenneinfra hyödyntää. Kaapeleiden uusinta voidaan näissä tilanteissa tehdä, vaikka kaapelin vaihto ei sillä hetkellä välttämätöntä olisikaan. Tällaisissa tilanteissa voisi olla järkevää harkita ylimääräisen putkituksen laittoa, vaikka alueella ei olisi lähitulevaisuudessa näköpiirissä sille tarvetta.

Runkojohtimet ovat suhteellisesti suurimmassa kuormituksessa kaikista PJ-verkon johtimista. Poikkeuksia tilanteeseen kuitenkin löytyy. Tarkastelussa löytyi tilanne, jossa johtimien tehokapasiteetti pienenee liian paljon suhteessa kyseisen alueen tehontarpeeseen. Runkojohtimista suhteellisesti kuormittuneimmat ovat 70- ja 80 -luvulla asennetut poikkipinnaltaan 70 ja 120 mm<sup>2</sup> johtimet. Nykyään niitä ei kuitenkaan enää käytetä runkojohtimena, pienimpänä runkojohtimena käytetäänkin pääsääntöisesti poikkipinnaltaan 185 mm<sup>2</sup> johdinta.

Jakokaapit rajoittavat puolestaan harvoin tehokapasiteettia. Joissain tilanteissa on silti mahdollista, että jakokaapin nimellisvirran taso voisi teoriassa rajoittaa tehokapasiteettia. Liittymiskaapelit puolestaan ovat mitoitettu siten, että niiden tehokapasiteetti ei rajoita tehontarpeen nousua. Esimerkiksi tavalliselle omakotitalolle pienin käytetty liittymiskaapeli on poikkipinnaltaan 16 mm<sup>2</sup>. Tämä mahdollistaa 78 A kuormituksen. Omakotitaloilla suurin käytetty liittymäkoko on 63 A. Tilanne voi olla kuitenkin erilainen asiakkailla, joilla liittymänkoko on 63 A merkittävästi suurempi. Yhtään tällaista tapausta ei silti tullut esille tarkastelun aikana.

Liittymäkoon osalta nouseva tehontarve aiheuttaa muutostarpeita. Erityisesti käynnissä oleva kehitys kohti 3,7 kW suurempaa lataustehoa aiheuttaa tarpeen liittymäkoon nostolle. Tulevaisuudessa onkin hyvin mahdollista, että liittymäkoot uusilla omakotitaloilla nousevat 3x25 A ja 3x35 A kohti 3x50 A ja 3x63 A. Lisäksi jo olemassa olevia liittymiä nostetaan kokoluokkaa tai -luokkia suuremmiksi. Kyselyn perusteella 22 kW kotilatauspisteiden osuus nousee vauhdilla ja tällöin pienin käytännöllinen liittymäkoko on 3x50 A. On myös mahdollista, että tulevaisuudessa halutaan enenevässä määrin omakotitaloille vielä 3x63 A:ta suurempia sulakekokoja, jos liikenteen sähköistyminen etenee paljon enakoitua nopeammin ja laajemmin.

Diplomityön aikana kuormanhallinta on osoittanut tärkeytensä, mutta sen tulevaisuuden kehitysmahdollisuudet lisäävät sen potentiaalia merkittävästi. Suomessa

joustoreurssien hallinnoija voi tarttua tilaisuuteen ja aloittaa ajoneuvojen akkujen hyödyntämisen joustoreurssina. Tällaisessa tilanteessa verkkoyhtiöitä voidaan mahdollisesti tarvita ohjausdatan välittäjänä.

PJ-verkon suunnitteluun olisi hyvä luoda pitkän aikavälin yhteisiä suunnitteluperiaatteita. Investoinnit ovat kalliita ja niiden käyttöiät ovat pitkiä, lisäksi osalla komponenteista on erittäin suuri vaihtotyö. Nouseva kuormitus aiheuttaa tarpeen yhteisille mitoitusperiaatteille. Ratkaistava olisi kuinka paljon komponentteja ylimitoitetaan. Ylimitoittaminen tuo lisää kustannuksia, mutta alimitoitettun verkon tehokapasiteetin nosto voi olla merkittävästi kalliimpaa. Eri komponentteja todennäköisesti kannattaa ylimitoittaa suhteessa niiden vaihdettavuuteen.

Työn aikana nousi esille yksi eriäviä kommentteja saanut asia, varasyöttöyhteyksiin varautuminen. Mielenpitoita oli sekä puolesta että vastaan. Toisaalta varautuminen aiheuttaa lisäkustannuksia investoidessa, mutta keskeytyskustannuksien kautta tilanne voi tasaantua. Hyvänä puolena ylimääräisessä kapasiteetissa olisi myös huoltotöiden vaikutuksen pienentyminen.

Suunnitteluperiaatteita tulisi myös tarkastella uudestaan tietyn aikavälein. Tällä hetkellä latausinfrastruktuurin tilanne muuttuu erittäin kovalla vauhdilla ja tulevaisuuden vauhtia on hankala ennustaa etukäteen. Tämän vuoksi tilanne saattaa olla esimerkiksi viiden vuoden päästä hyvinkin erilainen nykyiseen verrattuna.

Tehokapasiteetin noston lisäksi olisi hyvä miettiä myös muita keinoja. Tällaisia ovat esimerkiksi muuntopiirien jakorajojen muuttaminen. Menetelmässä galvaanisesti yhteydessä olevien muuntopiirien rajoilla olevia liittymiä siirrettäisiin toiseen muuntopiiriin. Tällöin ongelmatilanne saataisiin ratkaistua ilman kallista investointia.

## 8 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli tarkastella lisääntyvän latausinfrastruktuurin vaikutuksia Seiverkot Oy:n PJ-verkossa ja löytää tarkastelun perusteella ohjeita yhtiön verkostosuunnittelun tueksi. Työhön sisällytettiin Kirjallisuustutkimus sekä kyselytutkimus, joista ammennettiin pohja tapaustutkimukseen sekä suunnitteluohjeistuksen kehittämiseen. Kapasiteettitarkastelussa tavoitteena oli löytää verkon osat, joiden suhteellinen tehokapasiteetti on pienin. Lisäksi tavoitteena oli löytää PJ-verkon kantokyvyn rajat latauspisteiden määrässä.

Seiverkot Oy:n PJ-verkko kestää kaksijakoisesti tehontarpeen nousun. 3,0 kW skenaariolla ja 3,7 kW lataustehossa lähes jokainen käyttöpaikka voisi samanaikaisesti ladata autoaan huippukuormituksen aikana. 7,55 kW skenaariolla ja 11 kW lataustehossa muuntopiirille mahtuva määrä on jo huomattavasti pienempi. Jokaisen muuntopiirin tehokapasiteettia rajoittaa jakelumuuntajan kapasiteetti. Muiden komponenttien tehokapasiteetti on pääsääntöisesti merkittävästi jakelumuuntajan kapasiteettia suurempia.

Diplomityötä tehdessä on useaan otteeseen tullut selväksi latausinfra määrän epävarmuus. Niiden määrällä on erittäin monta ajuria ja yhdistettynä vuoden 2022 maailman poliittiseen tilanteeseen tulevaisuutta ei voida tarkasti ennustaa. Epävarmuutta voi pienentää tarkastelemalla omia suunnitteluperiaatteitaan ja lisäksi aihepiiriin teknistä kehitystä, joka voi tuoda merkittäviä uusia mahdollisuuksia.

## Lähteet

- Ara. (2020. 19. elokuuta). *Avustus sähköautojen latausinfraan rakentamiseen*. noudettu 10.1.2022 osoitteesta <https://www.ara.fi/latausinfra-avustus>
- Ara. (2021a. 29. syyskuuta). *Ennakkotietoa sähköautojen latausinfra-avustuksesta vuonna 2022*. Noudettu 10.1.2022 osoitteesta
- Ara. (2021b. 29. syyskuuta). *Sähköautojen latauspisteavustus työpaikoille*. Noudettu 12.1.2022 osoitteesta [https://www.ara.fi/fi-FI/Lainat\\_ja\\_avustukset/Tyopaikkojen\\_latauspisteavustus](https://www.ara.fi/fi-FI/Lainat_ja_avustukset/Tyopaikkojen_latauspisteavustus)
- Biomeri Oy. (2009. 6. elokuuta). *Sähköajoneuvot Suomessa – selvitys*. Noudettu 10.12.2021 osoitteesta [https://www.motiva.fi/files/2263/Sahkoajoneuvot\\_Suomessa\\_-\\_selvitys.pdf](https://www.motiva.fi/files/2263/Sahkoajoneuvot_Suomessa_-_selvitys.pdf)
- Elovaara, J. & Haarla, L. (2011). *Sähköverkot 1*. Otatieto Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/94/EU. Annettu 22 päivänä loka-kuuta 2014, vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta. Direktiivi vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2019/1161/EU. Annettu 20 päivänä kesäkuuta 2019, puhtaiden ja energiatehokkaiden tieliikenteen moottoriajoneuvojen edistämisestä annetun direktiivin 2009/33/EY muuttamisesta.
- Euroopan tilintarkastustuomioistuim, Erityiskertomus 05/2021, Sähköautojen latausinfrastruktuuri EU:ssa on liian hajanaista. Noudettu 12.1.2022 osoitteesta <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/electrical-recharging-5-2021/fi/>
- EV-Volume, (2022). *Global EV Sales for 2021*. Noudettu 22.2.2022 osoitteesta <https://www.ev-volumes.com/country/total-world-plug-in-vehicle-volumes/>
- Ferdowsi, M., Grau Unda, I., Karfapoulos, E., Papadopoulos, P., Skarvelis-Kazakos, S., Cipcigan, L., Raab, A. F., Dimeas, A., Abbasi, E. & Strunz, K. (2010, 18. lokakuuta). *Mobile energy resources in grids of electricity*. *Researchgate*. Noudettu 4.1.2022 osoitteesta [https://www.researchgate.net/publication/274192158\\_CONTROLS\\_AND\\_EV\\_AGGREGATION\\_FOR\\_VIRTUAL\\_POWER\\_PLANTS](https://www.researchgate.net/publication/274192158_CONTROLS_AND_EV_AGGREGATION_FOR_VIRTUAL_POWER_PLANTS)

- Held, L., März, A., Krohn, D., Wirth, J., Zimmerlin, M., Suriyah, M. R., Leibfried, T., Jochem, P. & Fichtner, W. (2019. 10. joulukuuta). The influence of electric vehicle charging on low voltage grids with characteristics typical for germany. *World electric vehicle journal*, 10(4), 88. <https://doi.org/10.3390/wevj10040088>
- IEA. (2021. 20. huhtikuuta). *Global EV Outlook 2021*. Noudettu 15.12 osoitteesta <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ed5f4484-f556-4110-8c5c-4ede8bcba637/GlobalEVO Outlook2021.pdf>
- Lakervi, E. & Partanen, J. (2008). *Sähköjakelutekniikka*. Otatieto
- Laki ajoneuvo- ja liikennepalveluhankintojen ympäristö- ja energiatehokkuusvaatimuksesta 740/2021. Noudettu 12.1.2022 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2021/20210740>
- Laki rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latauspistevalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmillä 733/2020. Noudettu 10.1.2022 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2020/20200733>
- Liikenne- ja viestintäministeriö. (2017. 31. tammikuuta). *Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030* Noudettu 30.11.2021 osoitteesta <https://valtioneuvosto.fi/documents/1410877/3506436/Valtioneuvoston+selonteko+kansallisesta+energia-+ja+ilmastostrategiasta+vuoteen+2030.pdf>
- Liikenne- ja viestintäministeriö. (2021. 22. kesäkuuta). *Fossiilittoman liikenteen tiekartta 2021*. Noudettu 5.1.2022 osoitteesta [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163258/LVM\\_2021\\_15.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163258/LVM_2021_15.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Markkula, J., Tikka, V. & Järventausta, P. (2021). Local versus centralized control of flexible loads in power grid. *Cired 2021 conference*. <https://doi.org/10.1049/icp.2021.1842>
- Motiva. (2015). *Kiinteistöjen latauspaikat -esiselvitys*. Noudettu 4.1.2022 osoitteesta [https://www.motiva.fi/files/10869/Kiinteistöjen\\_latauspaikat\\_esiselvitys.pdf](https://www.motiva.fi/files/10869/Kiinteistöjen_latauspaikat_esiselvitys.pdf)

- Rautiainen, A., Mutanen, A., Repo, S., Järventausta, P., Tammi, A., Ryymin, R., Helin, J., Unkuri, A. & Pekkinen, M. (2020). Case studies on impacts of plug-in vehicle charging load on the planning of urban electricity distribution networks. *Eighth International Conference and Exhibition on Ecological Vehicles and Renewable Energies*. <https://doi.org/10.1109/EVER.2013.6521542>
- Seiverkot Oy. (2021). Jakelualue. Noudettu 17.11.2021 osoitteesta <https://seiverkot.fi/jakelualue/>
- Sesko. (2019. 8. tammikuuta). Sähköautojen latausjärjestelmiä koskeva standardointi. Noudettu 30.11 osoitteesta [https://www.sesko.fi/files/1051/Sahkoautojen\\_latausjarjestelmat\\_perusesitys\\_2018dec.pdf](https://www.sesko.fi/files/1051/Sahkoautojen_latausjarjestelmat_perusesitys_2018dec.pdf)
- Sesko. (2021a. 8. huhtikuuta). *Sähköautosanasto*. Noudettu 30.11 osoitteesta [https://www.sesko.fi/standardit/standardoinnin\\_aihealueita/sahkoautot\\_ja\\_latausjarjestelmat/sahkoautosanasto](https://www.sesko.fi/standardit/standardoinnin_aihealueita/sahkoautot_ja_latausjarjestelmat/sahkoautosanasto)
- Sesko. (2021b. 17. helmikuuta). *Sähköajoneuvojen lataussuositus*. Noudettu 30.11.2021 osoitteesta [https://www.sesko.fi/files/1210/SESKO\\_lataussuositus\\_2021-02-17.pdf](https://www.sesko.fi/files/1210/SESKO_lataussuositus_2021-02-17.pdf)
- Sesko. (2021c). *Usein kysytyä*. Noudettu 4.1.2022 osoitteesta [https://www.sesko.fi/sesko-akatemia/usein\\_kysytyt\\_kysymykset/ostin\\_3-vaihelaturin\\_mutta\\_hybridiautoni\\_lataa\\_vain\\_yhdella\\_vaiheella\\_missa\\_vika.2050.news](https://www.sesko.fi/sesko-akatemia/usein_kysytyt_kysymykset/ostin_3-vaihelaturin_mutta_hybridiautoni_lataa_vain_yhdella_vaiheella_missa_vika.2050.news)
- SFS-EN 50160. (2010). *Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet*.
- Simolin, T., Rauma, K., Viri, K., Mäkinen, J., Rautiainen, A. & Järventausta, P. (2021). Charging powers of the electric vehicle fleet: Evolution and implications at commercial charging sites. *Applied Energy*  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117651>
- STK, (2022, 3. helmikuuta). *Kiinteistöihin myytiin 32 000 latauslaitetta 2021*. Noudettu 14.2.2022 osoitteesta <https://www.stkliitto.fi/ajankohtaista/kiinteistoihin-32000-latauslaitetta-2021>
- ST-käsikirja 41. (2019). *Sähköautot ja latausjärjestelmät*. Sähkötieto RY

- Sähköautoilijat ry. (2021. 26. lokakuuta). Latauskartta.fi. Noudettu 21.12.2021 osoitteesta <https://latauskartta.fi>
- Sähköinen liikenne ry. (2020. 11. toukokuuta). *Sähköisen liikenteen tilannekatsaus Q1/2020*. Noudettu 22.12.2021 osoitteesta <https://emobility.teknologiateollisuus.fi/sites/emobility/files/inline-files/S%C3%A4hk%C3%B6inen%20liikenne%20tilannekatsaus%202020%20Q1%202020%2005%2011%20jaettava.pdf>
- Sähköinen liikenne ry. (2021. 26. lokakuuta). *Sähköisen liikenteen tilannekatsaus Q3/2021*. Noudettu 22.12.2021 osoitteesta <https://emobility.teknologiateollisuus.fi/sites/emobility/files/inline-files/2021%20Q3%20Sa%CC%88hko%CC%88inen%20liikenne%20tilannekatsaus%202021%2010%2026%20jaettava.pdf>
- Sähköinen liikenne ry. (2022. 3. helmikuuta). *Sähköisen liikenteen tilannekatsaus Q4/2021*. Noudettu 7.2.2022 osoitteesta <https://emobility.teknologiateollisuus.fi/sites/emobility/files/inline-files/2021%20Q4%20Sa%CC%88hko%CC%88inen%20liikenne%20tilannekatsaus%202022%2002%2003%20%20jaettava.pdf>
- Sähkömarkkinalaki 588/2013. Noudettu 24.1.2022 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588>
- Taloustutkimus Oy. (2021. 30 marraskuuta). eMobility tutkimusraportti.
- Traficom. (2016). *Henkilöliikennetutkimus*. Noudettu 7.2.2022 osoitteesta <https://www.traficom.fi/fi/hlt?active=0&limit=20&offset=0>
- Traficom. (2021. 8. lokakuuta). Liikennekäytössä olevat ajoneuvot neljännesvuosittain 2008–2021. Noudettu 14.12.2021 osoitteesta [https://trafi2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/TraFi/TraFi\\_\\_Liikennekaytossa\\_olevat\\_ajoneuvot/040\\_kanta\\_tau\\_104.px/](https://trafi2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/TraFi/TraFi__Liikennekaytossa_olevat_ajoneuvot/040_kanta_tau_104.px/)
- Trimble, (2022). *Trimble NIS sähköverkoille*. Noudettu 24.2.2022 osoitteesta <https://upa.trimble.com/fi/tuotteet/trimble-nis-sahkoverkoille>

- Valtioneuvoston asetus sähköisen liikenteen ja biokaasun liikennekäytön infrastruktuurituesta vuosina 2018–2021, 27.6.2018/498. Noudettu 13.1.2021 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2018/20180498>
- Virta. (2021a. 1. kesäkuuta). *Electric vehicle charging modes*. Noudettu 15.12.2021 osoitteesta <https://www.virta.global/blog/ev-charging-modes>
- Virta. (2021b. 30. heinäkuuta). *Here's how EV drivers charge their cars across Europe*. Noudettu 22.12.2021 osoitteesta <https://www.virta.global/blog/how-are-we-charging-a-deep-dive-into-the-ev-charging-station-utilization-rates>
- Väylävirasto. (2020). *TEN-tieverkon turvallisuus Suomessa 2019*. Noudettu 11.1.2022 osoitteesta [https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj\\_2020-06\\_ten-tieverkon\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj_2020-06_ten-tieverkon_web.pdf)
- Wangness, P. B. & Halse, A. H. (2020). The impact of electric vehicle density on local grid costs: empirical evidence from Norway. *The Energy journal*, Vol 42. <https://doi.org/10.5547/01956574.42.5.pwan>

## Liitteet

### Liite 1. Rakennusten latauspistevalvoitteet (733/2020)

Rakennustyyppi	P-paikkojen määrä: alle 5 kpl	5–10 kpl	11–20 kpl	20–30 kpl	31–50 kpl	51–100 kpl	yli 100 kpl
Asuinrakennus, uudiskohde	Ei velvoitteita	100 % p-paikoista valmius	100 % p-paikoista valmius	100 % p-paikoista valmius	100 % p-paikoista valmius	100 % p-paikoista valmius	100 % p-paikoista valmius
Asuinrakennus, laajamittainen korjaus	Ei velvoitteita	100 % p-paikoista valmius	100 % p-paikoista valmius	100 % p-paikoista valmius	100 % p-paikoista valmius	100 % p-paikoista valmius	100 % p-paikoista valmius
Muu rakennus, uudiskohde	Ei velvoitteita	Ei velvoitteita	50 % p-paikoista valmius ja 1 latauspiste	50 % p-paikoista valmius ja 1 latauspiste	20 % tai väh. 15 kpl p-paikoista valmius ja 1 latauspiste	20 % tai väh. 15 kpl p-paikoista valmius ja 2 latauspistettä	20 % tai väh. 15 kpl p-paikoista valmius ja 3 latauspistettä
Muu rakennus, laajamittainen korjaus	Ei velvoitteita	Ei velvoitteita	50 % p-paikoista valmius ja 1 latauspiste	50 % p-paikoista valmius ja 1 latauspiste	20 % tai väh. 15 kpl p-paikoista valmius ja 1 latauspiste	20 % tai väh. 15 kpl p-paikoista valmius ja 2 latauspistettä	20 % tai väh. 15 kpl p-paikoista valmius ja 3 latauspistettä
Muu rakennus	Ei velvoitteita	Ei velvoitteita	Ei velvoitteita	1 latauspiste viimeistään 31.12.2024	1 latauspiste viimeistään 31.12.2024	1 latauspiste viimeistään 31.12.2024	1 latauspiste viimeistään 31.12.2024

## Liite 2. Kysely paikallisliikennöitsijälle

Kyselyssä sähköajoneuvoiksi ei lasketa sähköavusteisia kulkuneuvoja kuten polkupyöriä eikä ajoneuvoja, joiden maksimi latausteho on alle 1000 W. Tällaisia ajoneuvoja ovat esimerkiksi useimmat sähkömopot sekä sähköpotkulaudat.

### Nykyinen tilanne

Voitte siirtyä suoraan tulevaisuusosioon, jos teillä ei ole tällä hetkellä yhtään sähköajoneuvoa, latauspaikkaa tai valmiita putkituksia latauspaikoille.

Kuinka monta sähköajoneuvoa yrityksellänne on tällä hetkellä?

Tyyppi	lukumäärä (kpl)	Osuus kaikista ajoneuvoista (%)
Täyssähköajoneuvo		
Ladattava hybridi		

Mitkä ovat sähköajoneuvojenne ajoneuvoluokat ja luokkakohtaiset määrät?

Ajoneuvoluokka	Täyssähköisten määrä (kpl)	Hybridien määrä (kpl)	Osuus ajoneuvo-luokan koko ajoneuvomäärästä (%)
M1-luokka – henkilö-auto			
M2-luokka - linja-auto (enintään 5 tn)			
M3-luokka - linja-auto (yli 5 tn)			
N1-luokka – paketti-auto (enintään 3,5 tn)			
N2-luokka - kuorma-auto (yli 3,5 tn ja alle 12 tn)			
N3-luokka - kuorma-auto			
Maastoajoneuvot (M1G, N1G, M2G, N2G tai M3G)			
Muu, mikä?			

Mitkä ovat sähköajoneuvojenne maksimi lataustehot?

Latausteho	ajoneuvojen määrä (kpl)
Enintään 4 kW	
Yli 4 kW ja enintään 7 kW	
Yli 7 kW ja enintään 11 kW	
Yli 11 kW ja enintään 22 kW	
Yli 22 kW ja enintään 50 kW	
Yli 50 kW ja enintään 100 kW	
Yli 100 kW ja enintään 150 kW	
yli 150 kW	

Jos teillä on yli 150 kW lataustehoon pystyviä ajoneuvoja, mitkä ovat niiden maksimi lataustehot?

–

Kuinka monta sähköajoneuvojen latauspaikkaa teillä on ja mitkä ovat niiden maksimi lataustehot?

Latausteho	Latauspisteiden tyypit	Latauspisteiden määrä (kpl)
Nykyisin vaihtelee 3 ja 350 kW välillä	Schuko, Type 2, CHAdeMo, CCS, kiskolataus	
Enintään 4 kW		
Yli 4 kW ja enintään 7 kW		
yli 7 kW ja enintään 11 kW		
yli 11 kW ja enintään 22 kW		
Yli 22 kW ja enintään 50 kW		
Yli 50 kW ja enintään 100 kW		
Yli 100 kW ja enintään 150 kW		
yli 150 kW		
Latauspaikkojen määrä yhteensä		

Jos teillä on yli 150 kW lataustehoon pystyviä latauspisteitä, mitkä ovat niiden maksimi lataustehot?

–

Onko yli yhden latauspisteen latausasemiin sovellettu dynaamista kuormanhallintaa? Esimerkkitilanteessa kahden latauspaikan asemalta voi ladata yhden latauspisteen ollessa käytössä 150 kW teholla ja molempien latauspisteiden ollessa käytössä 75 kW teholla.

–

Mitkä ovat ajoneuvoluokkienne keskimääräiset ajokilometrit vuodessa?

–

Mikä olisi todennäköisin lataushetki sähköajoneuvollenne ja kuinka pitkään ajoneuvo saisi keskimäärin olla yhtäjaksoisesti latauksessa?

Ajoneuvon yleisin lataus ajankohta	Keskeytymättömän latausajan pituus (tunteina)
00-06:00	
06-10:00	
10-14:00	
14-18:00	
18-22:00	
22-24:00	

Mitkä ovat ajoneuvoluokkienne keskimääräiset sähköenergian kulutukset 100 km kohden. (Esimerkkinä sähköhenkilöautolla kulutus on yleensä noin 20 kWh/100 km ja 16 tn sähkökuorma-autolla jakelukäytössä kesäaikana noin 75 kWh/100 km)

–

Onko lainsäädäntö vaikuttanut sähköajoneuvo- tai latauspistehankintoihin? Jos on vaikuttanut, voisitteko kertoa miten?

–

Huomioitteko jotenkin yhteistyökumppaneidenne ajoneuvojen käyttövoimaa. Jos huomioitte, voittekö kertoa miten?

–

Mikä on ollut mielestänne suurin hidaste liikenteen vaihtoehtoisten käyttövoimien yleistykselle ja erityisesti liikenteen sähköistymiselle?

–

### Tulevaisuus – kysymykset koskevat vuotta 2025

Toivoisin teidän vastaavan parhaan arvionne mukaan ja ottavan huomioon sähköajoneuvojen nopean lisääntymistahdin. Esimerkiksi vielä 2018 valtio tavoitteli 250 000 sähköauton kokonaismäärää vuodelle 2030, mutta myöhemmin tavoite on nostettu 700 000 sähköautoon. Voitte myös antaa aikavälin, jossa kyseinen arvo tulee todennäköisesti olevan. Lisäksi mahdollista olisi antaa jokin muu tarkasteluajankohta kuin 2025, jolloin arvio on toteutuisi.

Kuinka monta sähköajoneuvoa arvioisitte yrityksellänne olevan vuonna 2025?

Tyyppi	lukumäärä (kpl)	Osuus kaikista ajoneuvoista (%)
Täyssähköajoneuvo		
Ladattava hybridi		

Mitkä olisivat sähköajoneuvojenne ajoneuvoluokat vuonna 2025 ja mitkä luokkakohtaiset määrät?

Ajoneuvoluokka	Täyssähköisten määrä (kpl)	Hybridien määrä (kpl)	Osuus ajoneuvoluokan koko ajoneuvomäärästä (%)
M1-luokka – henkilöauto			
M2-luokka - linja-auto (enintään 5 tn)			
M3-luokka - linja-auto (yli 5 tn)			
N1-luokka – paketti-auto (enintään 3,5 tn)			
N2-luokka - kuorma-auto (yli 3,5 tn ja alle 12 tn)			
N3-luokka - kuorma-auto			
Maastoajoneuvot (M1G, N1G, M2G, N2G tai M3G)			
Muu, mikä?			

Mitkä olisivat vuonna 2025 sähköajoneuvojenne maksimi lataustehot ja määrät tehoalu-  
eittain?

Maksimi latausteho	ajoneuvojen määrä (kpl)
Enintään 4 kW	
Yli 4 kW ja enintään 7 kW	
Yli 7 kW ja enintään 11 kW	
Yli 11 kW ja enintään 22 kW	
Yli 22 kW ja enintään 50 kW	
Yli 50 kW ja enintään 100 kW	
Yli 100 kW ja enintään 150 kW	
yli 150 kW ja enintään 225 kW	
Yli 225 kW ja enintään 300 kW	
Yli 300 kW	

Jos teillä olisi vuonna 2025 yli 300 kW lataustehoon pystyviä ajoneuvoja, mitkä olisivat  
kyseisten ajoneuvojen maksimi lataustehot?

–

Kuinka monta sähköajoneuvojen latauspistettä teillä olisi vuonna 2025 ja mitkä olisivat niiden maksimi lataustehot?

Maksimi latausteho	Latauspisteiden tyypit	Latauspisteiden määrä (kpl)
Nykyisin vaihtelee 3 ja 350 kW välillä	Schuko, Type 2, CHA-deMo, CCS, kiskolataus, induktiolataus	
Enintään 4 kW		
Yli 4 kW ja enintään 7 kW		
Yli 7 kW ja enintään 11 kW		
Yli 11 kW ja enintään 22 kW		
Yli 22 kW ja enintään 50 kW		
Yli 50 kW ja enintään 100 kW		
Yli 100 kW ja enintään 150 kW		
yli 150 kW ja enintään 225 kW		
Yli 225 kW ja enintään 300 kW		
Yli 300 kW		

Jos teillä olisi vuonna 2025 yli 300 kW lataustehoon pystyviä latauspisteitä, mitkä olisivat niiden maksimi lataustehot?

–

Pystyisittekö arvioimaan kuinka suuressa osassa teidän latausasemissanne olisi dynaaminen kuormanhallinta vuonna 2025?

–

Mitkä olisivat vuonna 2025 sähköajoneuvoluokkienne keskimääräiset ajokilometrit vuodessa?

–

Mikä olisi vuonna 2025 todennäköisin lataushetki sähköajoneuvollenne ja kuinka pitkään ajoneuvo saisi keskimäärin olla yhtäjaksoisesti latauksessa?

Ajoneuvon yleisin lataus ajankohta	Keskeytymättömän latausajan pituus (tunteina)
00-06:00	
06-10:00	
10-14:00	
14-18:00	
18-22:00	
22-24:00	

Miten huomioisitte vuonna 2025 yhteistyökumppaneiden käyttämät ajoneuvot? Velvoittaisitteko esimerkiksi heidän ajoneuvokannan sisältävän tietyn määrän vaihtoehtoisia käyttövoimia käyttäviä ajoneuvoja?

–

Näettekö yrityksenne käyttävän muita vaihtoehtoisia käyttövoimia vuonna 2025?

–

Miten edellisessä osiossa mainitsemienne liikenteen sähköistymisen hidasteiden pitäisi helpottua, että polttomoottoreista siirryttäisiin uusien ajoneuvojen osalta käyttämään pelkästään sähköajoneuvoja?

–

Direktiivin vaatimusten mukaan julkisten linja-autojen (M3) hankinnoista ensimmäisen hankinta-ajanjakson (2021–2025) aikana 41 prosenttia ajoneuvoista tulee olla puhtaita ja toisen hankinta-ajanjakson (2026–2030) aikana 59 prosenttia. Miten tämä on vaikuttanut toimintaanne ja miten varaudutte tähän tulevaisuuden vaatimukseen?

–

**Liite 3. Seiverkot Oy:n PJ-verkossa käytettyjen liittymisjohtimien kuormitettavuudet**

Johtimen poikki-pinta-ala (mm <sup>2</sup> )	Kuluttajan päävaroke (I <sub>n</sub> )	Jakokaapin varoke (I <sub>n</sub> )	Kuormitettavuus (A)
300	315	500	430
240	315	400	375
185	250	315	330
150	250	315	280
120	200	250	255
95	160	200	220
70	160	200	185
50	100 (125)	125 (160)	150
35	80 (100)	100 (125)	125
25	63 (80)	80 (100)	100
16	50 (63)	63 (80)	78