

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT

LUT Energiajärjestelmät

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Diplomityö

**SÄHKÖAUTOJEN LATAUSTEHOJEN VAIKUTUKSET
PALVELURAKENNUKSIEN SÄHKÖLIITTYMIIN**

Marko Tojkander

Työn tarkastajat: Apulaisprof. Jukka Lassila
DI Ville Tikka

Työn ohjaaja: Ins. (ylempi AMK) Ossi Leppisaari

17.06.2022

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Marko Tojkander

Sähköautojen lataustehojen vaikutukset palvelurakennuksien sähköliittymiin

Diplomityö

2022

94 sivua, 38 kuvaa, 4 taulukkoa ja 2 liitettä

Työn tarkastajat: Apulaisprof. Jukka Lassila

DI Ville Tikka

Työn ohjaaja: Ins. (ylempi AMK) Ossi Leppisaari

Hakusanat: sähköauton lataus, latauslaite, kiinteistöliittymä, tuntikeskiteho

Kiinteistön omistajilla on lisääntyvän sähköautokannan vuoksi tarve ja lain puolesta velvoite hankkia pysäköintipaikoille latauspisteitä. Työn tavoitteena on määrittää palvelurakennuksille soveltuvimmat latausjärjestelmäratkaisut, huomioiden latauskuorman vaikutukset kiinteistöliittymän tehokapasiteettiin. Työ aloitetaan selvittämällä kiinteistön omistajaa koskevat säädösten velvoitteet, eri latausratkaisujen investointi- ja ylläpitokustannuksien tekijät, sekä määrittämällä näiden perusteella latauspisteen käytölle hinnoittelutekijät. Sähköliittymien taustakuormat kootaan yhteen ja luodaan löydöksistä tilastollinen yhteenveto vapaan tehokapasiteetin kuvaamiseksi. Sähköautojen lataustehoon vaikuttavat tekijät määritetään, muodostetaan laskentaa varten lähtötiedoista jakaumat ja mallinnetaan tilastollisesti lataustapahtumien kerrostumisen selvittämiseksi. Lopuksi kiinteistöjen taustakuormat ja mallinnuksessa saadut lataustehot yhdistetään sähköliittymän kuormittumisen selvittämiseksi. Tutkimuksessa saatujen tuloksien perusteella tilastollisesta tarkastelutavasta ja latausjärjestelmän dynaamisella kuormanhallinnan avulla on mahdollista saavuttaa merkittäviä materiaali ja kustannussäästöjä.

ABSTRACT

Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT
LUT School of Energy Systems
Electrical Engineering

Marko Tojkander

The effect of electric car charging power on the electricity network connection point in public buildings

Master's Thesis

2022

94 pages, 38 figures, 4 tables and 2 appendixes

Examiners: Assoc. Prof. Jukka Lassila

M.Sc. (Tech.) Ville Tikka

Supervisor: M. Eng. Ossi Leppisaari

Keywords: EV charging, recharger, charging power, electricity network, AMR

The number of electric cars is increasing every year. The property owner needs to add EV charging devices onto the parking areas due to the increasing need and regulations. In this thesis work, the effects of the charging load are investigated in real estate electricity network and adequacy is assessed. The work begins with an explanation of the obligations imposed by national law in Chapter 2. The operators and service providers around the charging infrastructure, the investment and maintenance costs, and the factors related to the pricing of charging are studied in Chapter 3. In Chapter 4 the electrical loads in existing buildings electricity network are examined at the time before adding charging systems, then researching free power capacity of the sites and creating a statistical summary of these findings. Chapter 5 defines the factors that affect the charging power of electric cars and then charging periods are simulated to determining maximum electric power for each hour. Chapter 6 combines the load of the sites and results of charging power to determine the total power of the mains connection point. The study found benefits when sizing needed power by statistical analysis or when using power management system in recharging.

ALKUSANAT

Haluan kiittää työnantajaani Lahden Tilakeskusta ja Lahden kaupunkia mahdollisuudesta tehdä diplomityö hyvin mielenkiintoisesta ja ajankohtaisesta aiheesta. Tehtävänä on ollut kerätä ja täydentää niin teknisiä kuin taloudellisiakin lähtötietoja sähköautojen latausjärjestelmistä ja niiden liittämistä kiinteistöverkkoon tulevia tarvemäärityksiä ja hankintoja varten.

Isot kiitokset työn ohjausryhmälle Lahden Tilakeskuksen kiinteistöpäällikkö Ossi Leppisaarelle, sekä LUT:n apulaisprofessori Jukka Lassilalle ja DI Ville Tikalle työn ohjauksesta ja sen aikana käydyistä keskusteluista.

Erityiset kiitokset perheelleni tuesta ja kannustuksesta.

Lahdessa 17.6.2022

Marko Tojkander

SISÄLLYSLUETTELO

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET	7
1 JOHDANTO	9
1.1 Työn tavoite ja rajaus.....	9
1.2 Työn tausta.....	11
1.3 Tutkimusmenetelmät.....	12
2 KANSALLISET SÄÄDÖKSET	14
2.1 Mittalaitelaki 707/2011	14
2.2 Sähköturvallisuuslaki 1135/2016.....	15
2.3 Laki liikenteessä käytettävien vaihtoehtoisten polttoaineiden jakelusta 478/2017	15
2.4 Laki 733/2020, velvollisuus hankkia latauspisteitä ja latausvalmiuksia	15
2.4.1 Latauspistevalmius	16
2.4.2 Latauspiste.....	16
2.4.3 Uuden rakennuksen varustaminen latausjärjestelmällä.....	19
2.4.4 Laajamittaisesti korjattavan rakennuksen varustaminen latausjärjestelmällä.....	20
2.4.5 Olemassa olevan rakennuksen varustaminen latausjärjestelmällä	20
2.4.6 Julkinen latauspiste	20
2.4.7 Yhteenveto kunnan velvollisuuksista hankkia latauspisteitä toimitilakiinteistöihin.....	21
3 VAIHTOEHTOJEN TARKASTELU	22
3.1 Palvelujen tarjoajat.....	23
3.2 Investointi- ja ylläpitokustannukset	25
3.3 Latausjärjestelmien investointituet	29
3.4 Latauksen hinnoittelu.....	30
4 LAHDEN TILAKESKUKSEN TOIMITILAKIINTEISTÖT	34
4.1 Kiinteistöjen taustakuormat, nykytilanne	34
4.1.1 Päiväkodit.....	37
4.1.2 Koulut.....	41
4.1.3 Muut toimitilarakennukset	45
4.1.4 Yhteenveto eri kiinteistöryhmien taustakuormista.....	47

5	SÄHKÖAUTOJEN LATAUS	48
5.1	Sähköautojen osuus autokannasta, ennusteet tulevista lukumääristä	48
5.2	Käyttäjryhmien ajosuoritteet.....	51
5.3	Lataustapahtumien mallintaminen	54
5.3.1	Latauksien ajoittuminen	56
5.3.2	Lataustapahtuman energiamäärä	57
5.3.3	Latausteho ja -aika	61
5.3.4	Mallinnustyökalu.....	64
5.3.5	Case 1: Latausjärjestelmä ilman kuormanhallintaa.....	65
5.3.6	Case 2: Latausenergian jakaminen oletetulle pysäköintiajalle.....	69
5.3.7	Case 3: Maksimitohon rajaus	71
5.3.8	Mallinnuksen muuttujat.....	74
6	LATAUKSIEN VAIKUTUS KIINTEISTÖVERKON KUORMITUKSEEN ...	77
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	83
8	YHTEENVETO.....	88
	LÄHDELUETTELO	89

LIITTEET

LIITE I: Latausjärjestelmän mallinnetut lataustehot ilman kuormanhallintaa

LIITE II: Kuva Excel-mallinnustyökalusta

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

muuttujat

e_k	ajoneuvon ominaiskulutus
E_{vajaus}	akun energiavaje
g_1	vinouskerroin
g_2	huipukkuuskerroin
H	hankintameno
i	laskentakorkokanta, tuottovaatimus
k_{tasaus}	tasauskerroin
n	lukumäärä, pitoaika vuosina
$P_{\text{kuormitusv.}}$	sähköliittymän kuormitusvara
P_{lataus}	latauspisteen teho
$P_{\text{liittymä}}$	sähköliittymän päätöteho
$P_{\text{taustak.}}$	kiinteistön taustakuormien teho
$P_{\text{turvaj.}}$	kiinteistön turvajärjestelmille varattu teho
$P_{\text{vinok.}}$	vinokuormalle varattu teho
S_t	vuotuinen nettotuotto
$S_{\text{työmatka}}$	kodin ja työpaikan välinen matka
t_{lataus}	latausaika
η_{lataus}	latauksen hyötysuhde

lyhenteet

4G	neljännen sukupolven langaton tiedonsiirtoteknologia
AMR	automaattisesti etäluettava sähköenergiamittari (<i>Automatic Meter Reading</i>)
DLM	dynaaminen kuormanhallinta (<i>Dynamic Load Management</i>)
GPRS	GSM-verkossa toimiva tiedonsiirtopalvelu (<i>General Packet Radio Service</i>)
HLT	Liikenne- ja viestintävirasto Traficom:n henkilöliikennetutkimus
OCPP	sähköautojen latauspisteiden ja niiden hallintajärjestelmän välisen kommunikaatioväylän tiedonsiirtoprotokolla (<i>Open Charge Point Protocol</i>)

RFID	etäluettava tunnistin (<i>Radio Frequency Identification</i>)
SoC	akuston varaustila (<i>State-of-charge</i>)
WLTP	kevyiden ajoneuvojen testausmenettely (<i>Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure</i>)

1 JOHDANTO

1.1 Työn tavoite ja rajaus

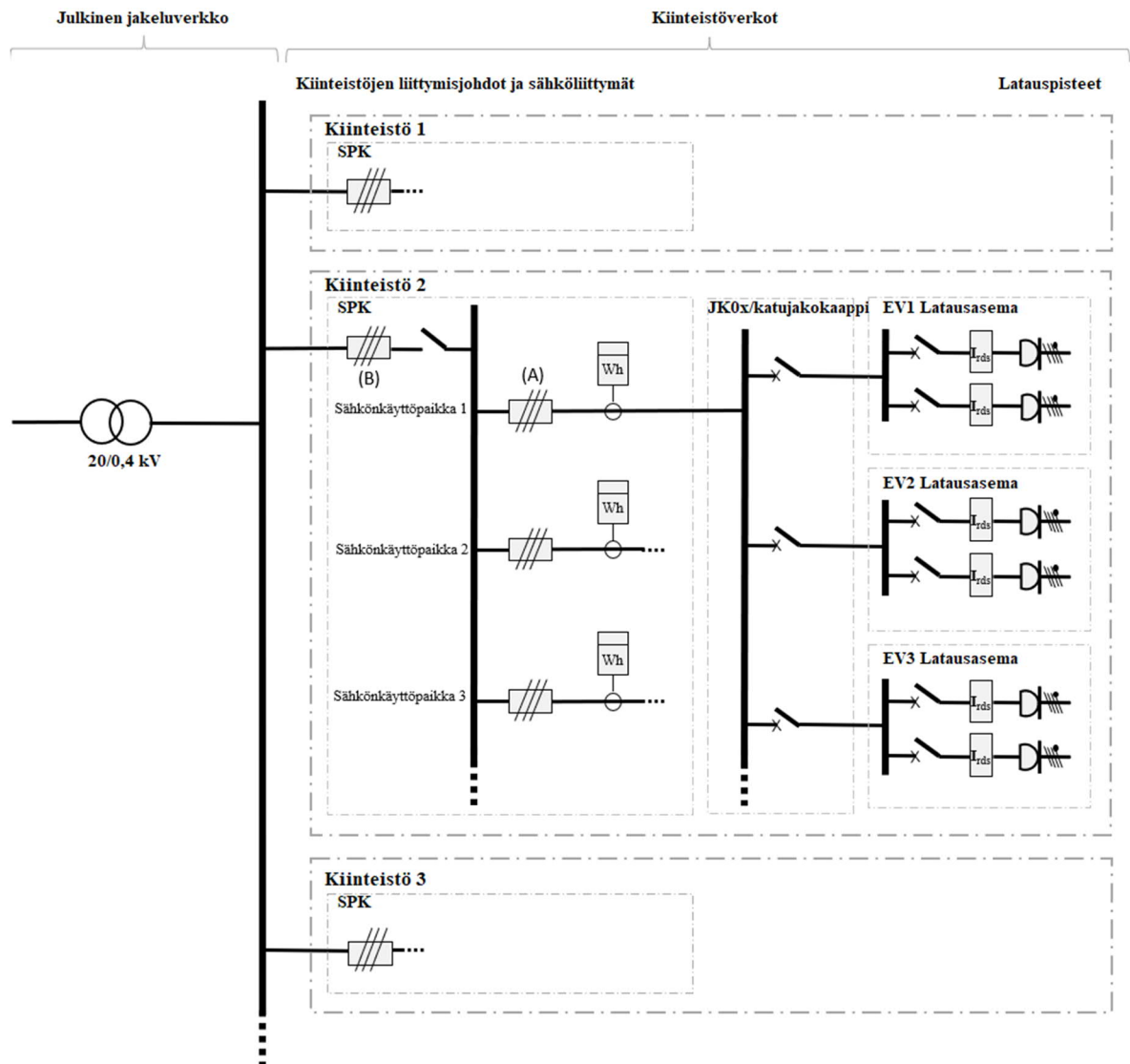
Tutkimuksen kohteena on Lahden Tilakeskuksen hallinnoimat Lahden kaupungin omistamat toimitilakiinteistöt. Kiinteistöt koostuvat pääosin koulu- ja päiväkotirakennuksista, mutta näiden lisäksi rakennuskannassa on myös erilaisia kulttuurin ja liikuntatoimen rakennuksia, kokoontumis- ja toimistorakennuksia. Näihin rakennuksiin lisätään sähköajoneuvojen latauspisteitä tulevien tarpeiden ja säädöksen mukaisesti. Latausjärjestelmien lisäys vähentää palvelurakennuksien sähköliittymissä varalla olevaa tehoreserviä. Tuleeko latausjärjestelmien lisäämisen yhteydessä rakennuksen liittymätehon kokoa jopa suurentaa. Millaisia kustannuksia kaupungin monille toimitilarakennuksille kokonaisuutena tuottaa.

Työn tavoitteena on määrittää toimitilarakennuksille soveltuvimmat latausjärjestelmäratkaisut kiinteistön omistajan asettamat rajaukset huomioiden. Työ keskittyy olemassa oleviin kiinteistöjen sähkövoimaverkkojen kuormitusten tilastolliseen kuvaamiseen, latauspisteiden lisäämisen aiheuttaman muutoksen arviointiin, sähkönkäyttöpaikkojen ja -liittymien tehon ja energian kulutuksen tarkasteluihin. Työssä syvennyttään latausjärjestelmien toteutusratkaisuihin ja kartoitetaan käyttökelpoiset kuormanhallinnan toteutusvaihtoehdot. Samalla arvioidaan latausjärjestelmien kuormanhallinnan mahdollisia hyötyjä ja taloudellista kannattavuutta. Toisistaan paljonkin poikkeaville rakennuksille haetaan sopivia toteutusvaihtoehtoja tutustuen ensin latauspalvelujen tarjoajiin, käytön hinnoittelumekanismiin ja mahdollisesti saataviin investointitukiin. Tutkimusongelmaa tarkastellaan latausinfraan investoivan kiinteistön omistajan näkökulmasta. Tutkimuskysymyksiä ovat:

1. Millaisia tehokapasiteetteja sähkönkäyttöpaikoilla keskimäärin on vapaana ennen latauspisteiden lisäämistä?
2. Millaisia kuormitustehojen kerrostumia lataustapahtumat tuottavat kiinteistöverkolle?
3. Mikä on latausjärjestelmän älykkään ohjauksen merkitys ja vaikutus muodostuviin huipputehoihin?

Latauspisteiden tiedonsiirtoon liittyvät aiheet, sekä sähkön jakeluverkon kuormitukset rajataan tutkimuksen ulkopuolelle ja niitä ei käsitellä tässä työssä. Tässä työssä tarkastellaan kuormitusten muutoksia ainoastaan kiinteistöverkon puolelta kiinteistöjen näkökulmasta

kuvan 1.1 rajaamalta alueelta. Tämän työn rajauksesta huolimatta latausinfraan vaikutuksia julkisen jakeluverkon puolelle ei voida kuitenkaan jättää huomioimatta. Jakeluverkon teknistaloudellisissa mitoituksissa käytetään yleisesti asiakkaiden ajallisten risteilyjen myötä tasoituskertoimia. Mahdollinen ylikuormittuminen tulee tarkastella muilla resursseilla vielä erikseen.



Kuva 1.1. Diplomityössä tarkasteltu kiinteistöverkkokokonaisuus, periaatekuva tehtäväasettelusta. Sähköteho siirtyy liittymisjohdosta sähköpääkeskuksen kautta aina myöhemmin lisättävälle jakokeskukselle ja ajoneuvojen latauspisteille saakka. Tutkimuksessa tarvittavia lähtötietoja ovat tarkasteltavan kiinteistön liittymäkoko, sekä sähköliittymän tehokuvaaja ja käyttöpaikkojen AMR-mittausten tuntikeskithehot toteutuneesta kulutuksesta useamman vuoden ajalta. Tutkimustyössä mallinnetaan latauspisteiden muodostama kuormitus ja arvioidaan latauksien vaikutukset käyttöpaikan (A), sekä liittymän (B) tehoihin.

1.2 Työn tausta

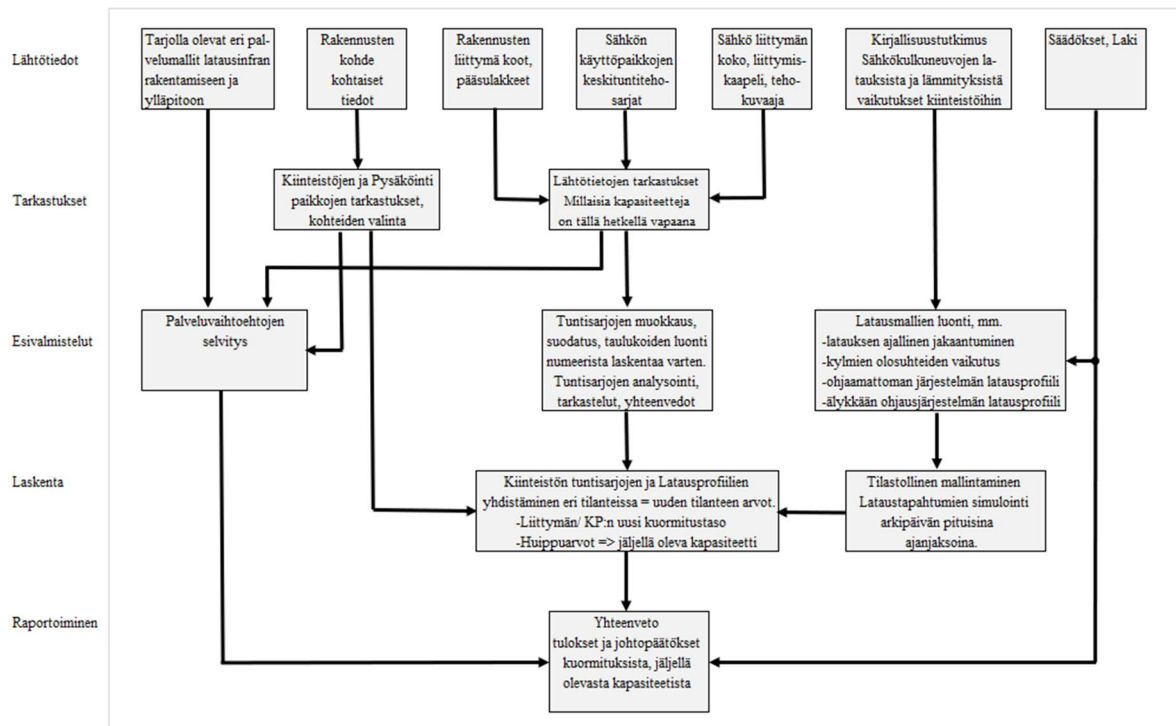
Sähkö- ja ladattavien hybridautojen määrä on kasvanut Suomessa viime vuosien aikana. Fossiilisten polttoaineiden kallistuminen ja valtion tarjoama sähköautojen hankintatuki rohkaisee kuljettajia vaihtamaan sähköisiä voimalinjoja hyödyntäviin kulkuneuvoihin. Tarjolla on jo rutkasti malleja usealta eri autonvalmistajalta. Kasvava sähköautojen käyttäjäkunta luo paineita myös kiinteistöjen omistajille ja haltijoille hankkia latausjärjestelmiä pysäköintipaikoille. Valtaosa sähköajoneuvojen latauksista tapahtuu kotioiloissa ja vain pieniltä osin työpaikoilla tai julkisissa latauspisteissä (Motiva 2015).

Osalle olemassa olevia rakennuksia on laissa 733/2020 asetettu velvollisuus varustaa pysäköintialueelle sähköajoneuvojen latauspisteitä. Laissa on myös velvoitteita rakennuttajalle. Uudisrakennukset ja laajat korjausrakennuskohteet tulee varustaa sähköajoneuvojen latauspisteillä tai latauspistevalmiudella. Sähköautojen latauspisteet voidaan toteuttaa kiinteistöjen yhteyteen monin eri tavoin. Toteutuksessa voidaan esimerkiksi pyrkiä kustannustehokkuuteen vähimmäisvaatimuksin vaihtamalla osaan auton lämmitysrasioiden tilalle latauslaitteita. Tästä huolimatta latausjärjestelmät saattavat aiheuttaa merkittävää kuormitusta kiinteistöjen sähkönjakelussa. Eri vuosikymmeninä rakennettujen julkisten toimitilojen sähköliittymissä ei ole varauduttu sähkö- ja hybridautojen lataamisen aiheuttamiin huipputehojen kasvuun arkipäivisin ajankohtina, jolloin sähkönkulutus on palvelurakennuksissa jo muutoinkin suurinta.

Oletuksena on, ettei kaikissa Lahden kaupungin omistamien palvelurakennuksien sähköliittymissä ole kuormitusvaraa kattavalle sähköautojen latausjärjestelmille ilman dynaamista kuorman hallintaa. Oletuksena on sähkön käyttökustannusten kasvu kiinteistön omistajalle, joko kalliimman latausjärjestelmän investointi kustannuksesta tai liittymätehon kasvuksesta ja suuremmasta tehomaksusta johtuen. Jokaisella kiinteistöllä on omat käyttäjäryhmänsä ja rajoitteensa. Tarvittavien investointien suuruus riippuu kohteeseen soveltuvista toteutustavoista. Suuren kiinteistömäärän omistajaa kiinnostaa kohteisiin lisättävien latauspisteiden kokonaiskustannukset ja investointien takaisinmaksuajat. Investointeihin sitoutuvan pääoman kasvaessa tarve latauspisteiden tehon ja lukumäärän luotettavalle määrittämiselle kasvaa.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimustyö aloitetaan kuvan 1.2 mukaisesti työkaavion yläreunasta lähtötietojen kokoamisella. Kerätyn aineiston totuuden mukaisuus tarkastetaan ja valmistellaan laskentaa varten. Lopuksi tuloksista laaditaan yhteenveto.



Kuva 1.2. Työkaavio tutkimusprosessin etenemisestä.

Työ alkaa kirjallisuustutkimuksella, selvittäen rakennuksilta edellytetyt latauspisteitä koskevat säädökset, lain ja asetusten vaatimukset. Muita tarvittavia lähtötietoja ovat sähköliittymien mitoitusohjeet, sähköliittymiä ja latauslaitteita koskevat sähkötekniset standardit. Julkisille, sekä työpaikkojen latauspisteille myönnettävien investointitukien ja latauksen käytön hinnoittelumekanismien avulla on mahdollista arvioida vaihtoehtoisten laiteinvestointien taloudellisia kannattavuuksia. Tutkimuksessa perehdytään valmistajilta ja palveluntarjoajilta saatavilla olevaan aineistoon sähköauton latauksesta yleisellä tasolla. Työn taustatietona käytetään erilaisia uutisartikkeleita ja selvityksiä sähköautojen ennustetusta kasvusta tulevina vuosina.

Tutkimusongelmassa selvitetään olemassa olevia mittaustietoja hyödyntäen sähköliittymien kuormitusvara, sekä arvioidaan rakennuksittain nykyisten liittymien riittävyys ja muodostuva investointi tarve. Kaupungin 49 eri toimitilarakennuksesta selvitetään sähköliittymien nykyiset pääsulakkeiden koot ja verrataan niiden nimellistehoja kohteista mitattuihin huippuarvoihin pyrkien määrittämään jäljellä oleva tehoreservi. Sähkön käyttöpaikkojen tuntikeskiarvoiset kulutustiedot saadaan Lahti Energia Oy:n ja LE Sähköverkko Oy:n ylläpitämässä OmaWatti-palvelusta. Sähköliittymien tehokuvaaja, liittymänkoko ja liittymiskaapelin tiedot pyydetään jakeluverkon haltijalta. Muutamista lähtötietojen perusteella valituista kohteista tarkastetaan vaihevirtojen huippuarvot erillismittauksin tammi-helmikuun 2022 aikana. Lisäksi apuna käytetään joihinkin sähköpääkeskuksiin jo kiinteästi asennettuja virran huippuarvoilmaisimia ja verkkoanalysointilaitteita. Saatujen lähtötietojen perusteella muodostetaan kuvaus jäljellä olevasta tehokapasiteetista niin yksittäisen kohteen tasolla kuin tilastollisesti useampien kohteiden osalta.

Kiinteistöissä olevien pysäköintipaikkojen lukumäärän ja ladattavien autojen arvioidun suhteellisen osuuden avulla määritetään latauspisteiden lukumäärät pysäköintipaikoille. Latausjärjestelmien muodostama tehontarve määritetään työssä kehitettävien simulointimallien avulla. Lataustapahtumia mallinnetaan eri asetelmilla ja saatuja tilastollisia lataustehojen arvoja verrataan käyttöpaikoissa vapaana oleviin tehokapasiteetteihin. Vertailujen perusteella saadaan kuvaus mahdollisesta käyttöpaikan ja sähköliittymän ylikuormittuvuudesta eri latausasetelmien kokoonpanoilla. Vertailut tehdään myös kuormanhallinnan omaavan kuin ilman kuormanhallintaa olevan latausjärjestelmän välillä. Kuormanhallinnalla tarkoitetaan järjestelmää, jolla hallitaan latausjärjestelmän ottamaa tehoa, joko rajoittamalla autojen ottamaa latausvirtaa tai jaksottamalla latausta (ST-käsikirja 41, 2019). Muodostuvasta tilastollisesta aineistosta laaditaan yhteenveto. Saatujen tietojen avulla kyetään arvioimaan rakennettavien latauspisteiden kokonaismäärät, investointi- ja käyttökustannusten suuruudet selvitystyön aikana täsmennyvillä toteutusvaihtoehdoilla.

2 KANSALLISET SÄÄDÖKSET

Tähän lukuun on koottu toimitilakiinteistöjä ja sähkökulkuneuvojen latausinfraa koskevat oleellimmat säädökset tulkintoineen keväällä 2022. Säädöksiin kirjatut vaatimukset osaltaan rajaavat latauspisteiltä ja latauspistevalmiudelta edellytetyjä ominaisuuksia, vähimmäisvaatimukset linjaavat pysäköintipaikoille tehtäviä valintoja.

EU:ssa on hyväksytty yhteinen tavoite vähentää päästöjä vähintään 55 prosenttia vuoteen 2030 mennessä vuoteen 1990 verrattuna, sekä yhteinen pitkän aikavälin tavoite saavuttaa ilmastoneutraalisuus vuoteen 2050 mennessä (EU, 2022). Vuonna 2019 Suomen liikenteen päästöistä henkilöautojen osuus oli noin puolet VTT:n LIPASTO-laskentajärjestelmän mukaan (Liikennefakta, 2021). Päästövähennystoimenpiteet pyritään kohdistamaan erityisesti tieliikenteeseen, jossa päästövähennyspotentiaali on suurin. Sähköisen voimalinjan omaavat ajoneuvot ovat tärkeässä osassa siirtyessä asteittain puhtaaseen energiaan. Sähköautot yhdistettynä uusiutuvista energialähteistä tuotetun sähkön kanssa tuottavat vähemmän päästöjä ilmakehään tuottaen paremman ilmanlaadun varsinkin kaupunkien keskusta-alueille. Latauspisteiden asentaminen pysäköintialueille ja ennakoiva varautuminen latauspistevalmiudella ovat tehokas tapa edistää sähköisen liikkuvuuden laajempaa käyttöönottoa lähitulevaisuudessa.

2.1 Mittalaitelaki 707/2011

Sähköautojen latausvalmiuden rakentamisessa ja lataustapahtumien aikana on huomioitava mittauslaitelaisissa säädetyt vaatimukset sähköenergian mittauksen luotettavuudesta, jos mitattuja kulutustietoja aiotaan käyttää laskutuksen perusteena (2 §). Rakennuttaja ja laskutuksen laatija vastaavat, että asennettu mittalaite täyttää mittauslaitelain mukaisesti siltä edellytetyt vaatimukset (8 §). Jos mitattua tulosta hyödynnetään laskutuksessa, niin sitä hyödyntävä taho vastaa siitä, että käytössä on käyttötarkoitukseen soveltuva vaatimustenmukainen mittauslaite, että sen käyttöä valvotaan ja sen luotettavuus varmennetaan tarvittaessa säännöllisesti (13 §). Mittalaitteiden vaatimuksista on säädetty valtioneuvoston asetuksessa 1431/2016. Asetuksessa otetaan mittauslaitedirektiiviin 2014/32/EU kirjattuja vaatimuksia kansalliseen lainsäädäntöön ja määritellään eri tilanteissa sähkömittareilta edellytetyt tarkkuusluokat. Mittauslaitedirektiivin liitteessä V on lueteltu sähköenergiamittareissa (MI-003) käytettävät mittayksiköt, tarkkuuksien indeksiluokat,

niiden raja-arvot ja suurimmat sallitut mittausvirheet, sekä vaatimukset sähkömagneettisten ja johtuvien häiriöiden siedolle.

2.2 Sähköturvallisuuslaki 1135/2016

Sähköauton latauspistettä ja latauspistevalmiutta suunniteltaessa on kiinnitettävä huomiota sähköturvallisuuslain vaatimuksiin. Asennettavan sähkölaitteen tai -laitteisto täytyy täyttää sähköturvallisuuslain vaatimukset ja että sähkötyöt tekee pätevä henkilö. Sähkölaitteisto ei myöskään saa aiheuttaa sähköisesti tai sähkömagneettisesti ympärilleen liiallisesti häiriöitä. On myös varmistettava, että sähköpääkeskuksen kapasiteetti on riittävä (HE 23/2020vp). Latausvalmiudessa on otettava huomioon myös muut sähkönsyöttöjärjestelmän tekniset laitteistot ja niiden tuleva toiminnallisuus, että latauspisteitä syöttävässä keskuksessa on riittävästi laajennusvaraa sähköteknisesti ja tarvittavien tilavarausten osalta.

2.3 Laki liikenteessä käytettävien vaihtoehtoisten polttoaineiden jakelusta 478/2017

Jakeluinfrailla on pantu osaltaan täytäntöön annettu direktiivi 2014/94/EU (jakeluinfradirektiivi). Lailla varmistetaan julkisten lataus- ja tankkauspisteiden olevan yhteisten teknisten eritelmien mukaisia. Jakeluinfralaki ei sisällä velvoitteita kunnille rakentaa julkisia latauspisteitä. Latauspisteitä koskevat tekniset eritelmät on annettu jakeluinfradirektiivin liite II:ssa. Tähän liitteeseen viitataan myöhemmin kansallisesti asetetuissa säädöksissä.

2.4 Laki 733/2020, velvollisuus hankkia latauspisteitä ja latausvalmiuksia

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi 2018/844/EU (EPBD) on osa Euroopan komission puhtaan energian pakettia. EPBD 2018 -direktiivi asettaa velvoitteita sähköautojen latauspisteiden ja latauspistevalmiuksien rakentamiseen asuinkiinteistöissä ja muissa kiinteistöissä (Direktiivi 2018/844). Suomessa direktiivi on saatettu osaksi kansallista lainsäätöä. Kiinteistön omistajan ja rakennuttajan on huomioitava sähköautojen latauksia koskevat lakien ja asetusten velvoitteet. Rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latausvalmiuksilla on asetettu kiinteistöjä koskeva laki 733/2020 (ns. ”latauspiste- ja automaatiolaki”). Tätä lakia sovelletaan vain sellaisiin kiinteistörakennelmiin, joissa energiaa käytetään sisäilmaston ylläpitämiseen. Lakia kuitenkin sovelletaan tietyin osin myös pysäköintitaloihin, vaikka olisivat lämmittämättömiä ja ulkoilmaan avoimia. Laissa säädetään EPBD 2018 direktiivin mukaisesti rakennuksen

omistajan ja rakennuttajan velvollisuudet hankkia sähköajoneuvojen latauspisteitä ja latauspistevalmiuksia.

2.4.1 Latauspistevalmius

Laissa 733/2020 latauspistevalmiudella tarkoitetaan putkitusta tai muuta johtotietä, johon voidaan myöhemmin asentaa tarvittavat sähkön syötön ja tiedonsiirron kaapeloinnit sähköautojen latauspisteitä varten. Latauspistevalmius osaltaan edistää sähköautojen käyttöönottoa, kun tarvittavien latauspisteiden asentaminen jatkossa helpottuu tehtyjä varauksia hyödyntäen. Tehtyjen varauksien jälkeen latauspisteiden lisäämisen kustannukset jäävät vähäisemmäksi, kun merkittävimmät maanrakennustyöt ja kulkureitit sähkökeskukselle on jo olemassa. Rakennuttaja voi itse valita kohteeseen soveltuvamman ratkaisun, joko putkituksen vai kaapeloinnin, kumpi on rakennettavassa kohteessa tarkoituksenmukaisempi. Putkituksen etuna kaapelointiin verrattuna on se, että jälkikäteen tehtävät aina mahdolliset kaapelointien muutostyöt helpottuvat (ST 51.92, 2022). Esimerkiksi ajan myötä lataustarpeen tai -teknologian muuttuessa kaapeleiden vaihtaminen samoja olemassa olevia johtoreittejä pitkin on mahdollista vähäisin kaivuukustannuksin. Mahdollisten tiedonsiirto- ja ohjauskaapelointien kanssa tämä tarkoittaa käytännössä vähintään 100 mm halkaisijaltaan olevia sopivan lujuusluokan omaavia maanalaisia putkivetoja latauspaikoille.

2.4.2 Latauspiste

Sähköautojen latauspistevalmiutta ja latauspisteitä koskevat vaatimukset on esitetty 733/2020 lain 9. pykälässä. Liikkumis- ja toimimisesteisen henkilön on kyettävä käyttämään lain mukaista latauspistettä. Vähintään yhden kaikkien käytössä olevan latauspisteen tulisi olla asennettuna pysäköintipaikkaan, joka olisi vähintään 3,6 metriä leveä ja vähintään 5,0 metriä pitkä. Pysäköintipaikkaa ei kuitenkaan merkittäisi liikkumisesteisen henkilön tunnuksella. Rakennettavat latauspisteet jaetaan kahteen eri teholuokkaan: normaalitehoisiin ja suuritehoisiin. Pykälän yhdeksän mukaisesti latauspistevalmius on asennettava siten, että jokaiseen pysäköintipaikkaan voitaisiin myöhemmässä vaiheessa asentaa direktiivin 2014/94/EU (ns. jakeluinfradirektiivin) liitteen II teknisten eritelmien mukainen normaalitehoinen tai suuritehoinen latauspiste (Laki 733/2020).

Latauspisteissä hyväksytyjä pistokytöntyyppisiä on esitelty kuvassa 2.1.



Kuva 2.1. Ylhäällä vasemmalla on Type 2 pistorasia ja oikealla sen vastakappale pistotulppa. Keskellä ovat ajoneuvon puolen vastaavat Type 2 pistokytkimen osat, vasemmalla latausjohdon pistoke ja oikealla kojevastake. Alhaalla vasemmalla on CCS 2:n pikalatauspistoke ja oikealla CCS 2 Combo ajoneuvovastake. (Mennekes, 2018; Phoenix contact, 2022)

Latauspiste on liitäntäpiste, jossa sähköauto liitetään kiinteään sähköasennukseen. Liitäntäpiste voi olla pistorasia tai pistoke. Latauspaikalla tai latauslaitteessa voi olla useampi sähköauton latauspiste. (Sesko, 2021b)

Normaalitehoinen latauspiste

Normaalitehoisella latauspisteellä tarkoitetaan direktiivissä 2014/94/EU esitetyn mukaisesti latauspistettä, jolla kyetään toteuttamaan sähkönsiirtoa sähköverkon ja -auton välillä enintään 22 kilowatin teholla. Normaalitehoisen latauspisteen pistokkeen ja pistokytkimen on asetetun lain velvoitteen mukaan oltava standardissa SFS-EN 62196-2 kuvailluilla tyypin 2 (Type 2) sähköautopistorasioilla tai ajoneuvon liittimillä (ajoneuvopistoke), joka

tunnistetaan myös Mennekes-pistokkeen nimellä pistokytkimen alun perin suunnitelleen yrityksen mukaan. Käytännön asennuksissa normaalitehoisen latauspisteen tehomitoitukset johtavat pienimmillään 1×16 A:n virralla 3,7 kW:n ja suurimmillaan 3×32 A:n virralla 22 kW:n tehoisen lataustehon.

Latauspisteen Type 2 -pistokytkin voi olla joko rasiamallinen sähköajoneuvon pistorasia tai kiinteän latauskaapelin päässä olevassa latausjohdon ajoneuvopistoke. EU:n alueella lähes kaikissa uusissa myydyissä autoissa on Type 2-pistoke, kun vain harvassa on enää Type 1-pistoke. Myös maahan tuoduissa käytetyissä ja vanhemmassa autokannassa on käytössä jonkin verran Type 1-pistokkeita. Tämän vuoksi latauspisteiden toteutuksissa rasiamallinen Type 2 latauspiste kiinteällä rasialla on suositeltavampi kuin kaapelillinen latauspiste, koska näistä voidaan ladata erillisen adapterin välityksellä myös vanhempia Type 1:n omaavia ajoneuvoja.

Standardi SFS-EN 61851-1 määrittelee sähkökulkuneuvojen lataustavat neljään eri luokkaan, joista kolme tapaa soveltuu autojen lataukseen. Suomessa suositellaan käytettäväksi ainoastaan lataustapa 3 ja 4 (ST-käsikirja 41). Lataustapa 3 (Mode 3) vastaa parhaiten laissa 733/2020 tarkoitettua normaalitehoista latauspistettä. Laissa tarkoitettu normaalitehoisen latauspiste poikkeaa kuitenkin lataustapa 3:sta. Laki rajoittaa niin lataustehoalueen kuin asennuksissa käytettävän pistokkeen tyyppin, sillä ainoastaan Type 2 latauspistoke sallitaan. Laki rajaa normaalitehoisen latauspisteen maksimitehon 22 kW:iin, kun standardin lataustapa 3 sallii jopa 43 kW lataustehon.

Suuritehoisen latauspiste

Laissa 733/2020 suuritehoisella latauspisteellä tarkoitetaan latauspistettä, jolla kyetään normaalitehoista latauspistettä suurempaan sähkön siirtoon, eli toteuttamaan sähkönsiirtoa sähköverkon ja -auton välillä yli 22 kilowatin tehoilla. Suuritehoisesta latauspisteestä on saatavilla joko vaihtovirtaa tai tasavirtaa, kummallekin on oma pistokkeensa. Lain hyväksymää Type 2 Mennekes latauspistoketta voidaan käyttää aina 3×63 A vaihtovirtaan ja 43 kW:n lataustehoon saakka, tämän suurempiin tehoihin Type 2 latauspistoketta ei voi käyttää (Sesko, 2021a). Tämän tehoinen vaihtovirtalataus on vielä standardin lataustapa 3 mukainen. Toinen lain sallima suuritehoisen latauspistoke (latausjohdon ajoneuvopistoke) on tarkoitettu tasavirtalatauksiin ja näin ollen vastaten standardin lataustapaa 4 (Mode 4). Suuritehoiset latauspisteet on varustettava yhteen toimivuuden varmistamiseksi standardissa

EN 62196-3 kuvailuilla yhdistettyjen latausjärjestelmien Combo 2 -liittimillä. Pistoketyypistä käytetään nimitystä CCS 2 (rakenne FF). Markkinoilla on toinenkin standardin mukainen tasavirtapikalatauspistoke CHAdeMO (rakenne AA), mutta tämä ei lain 733/2020 perusteella ole kelvoinen suuriteholatauspisteen pistokkeeksi.

Hidas lataus

Suko- (Schuko) kotitalouspistorasia tai lämpötolpan pistorasia (SFS 5610) eivät ole lain 733/2020 vaatimukset täyttäviä latauspisteitä. Myöskään virrankestoltaan vahvistettu 16 A:n supersuko-pistorasia ja standardin SFS-EN 60309-2 mukaisia teollisuuspistorasioita ei voi käyttää lain määrittelemissä latauspisteissä. Velvoite edellyttää lataustapaa 2 (Mode 2) tehokkaampien joko lataustapojen 3 tai 4 käyttöä.

2.4.3 Uuden rakennuksen varustaminen latausjärjestelmällä

Lain viidennessä pykälässä säädetään uuden toimitilarakennuksen (muu kuin asuinrakennus) velvoitteista, joissa on enemmän kuin kymmenen pysäköintipaikkaa. Pysäköintialueelle on asennettava yksi suuritehoinen latauspiste tai vaihtoehtoisesti vähintään yhden normaalitehoisen latauspisteen, kun pysäköintipaikkoja on 11—50 ja vähintään kaksi normaalitehoista latauspistettä, kun pysäköintipaikkoja on 51—100, sekä vähintään kolme normaalitehoista latauspistettä, kun pysäköintipaikkoja on yli 100 (Laki 733/2020). Näistä vähintään yhden latauspisteen tulee olla liikuntaesteisten henkilöiden käytettävissä, eli asennettava vähintään 3,6 m × 5,0 m kokoisen pysäköintipaikan yhteyteen. Latauspisteiden tulisi olla edellä esitellyn mukaisia, joko Type 2 pistorasiolla tai CCS 2 lataus pistokkeella varustettuna.

Viidennessä pykälässä säädetään uudisrakennukselle lisäksi latauspistevalmiuden asentamisesta, joka mahdollistaa myöhemmässä vaiheessa normaalitehoisen tai suuritehoisen latauspisteen asentamisen vähintään puoleen pysäköintipaikoista silloin, kun rakennuksen yhteyteen on tulossa 11—30 pysäköintipaikkaa. Jos pysäköintipaikkoja on yli 30, niin silloin on latauspistevalmius varustettava vähintään 20 prosenttiin pysäköintipaikoista. Tällöin latauspistevalmiuksia pitää olla kuitenkin vähintään 15. Jos pysäköintipaikkaan asennetaan latauspiste latauspistevalmiuden sijasta, niin täyttää se pysäköintipaikan latauspistevalmiutta koskevan vaatimuksen. Latauspisteiden ja

latauspistevalmiuden asentamisen vaatimus koskee rakennuksen pysäköintipaikkoja, jotka sijaitsevat rakennuksen sisäpuolella tai muualla saman kiinteistön alueella. Sen sijaan vaatimus ei koske pysäköintipaikkoja, jotka rakennetaan viereisen kadun varteen tai toisen kiinteistön tontille.

2.4.4 Laajamittaisesti korjattavan rakennuksen varustaminen latausjärjestelmällä

Kuudennessa pykälässä säädetään vastaavasti laajamittaisesti korjattavan rakennuksen varustamisesta sähköautojen latauspisteillä tai latauspistevalmiudella. Laajamittaisella korjauksella tarkoitetaan pääosin peruskorjattavia rakennuksia, jonka korjausrakentamiseen on haettava maankäyttö- ja rakennuslain 125 §:n mukainen rakennuslupa ja arvioidut korjauskustannukset ovat 25 % rakennuksen arvosta. Asennettavien latauspisteiden ja latauspistevalmiuksien määrät ja velvoitteet ovat pääosin samat kuin edellä käsitellyillä uudisrakennuksillakin. Rakennuttajalle tai omistajalle ei kuitenkaan tule asentamisvelvoitetta, jos tarvittavat korjaukset eivät ulotu pysäköintipaikoille tai pysäköintipaikkojen sähköjärjestelmiin.

2.4.5 Olemassa olevan rakennuksen varustaminen latausjärjestelmällä

Seitsemännessä pykälässä säädetään olemassa olevien rakennuksien velvollisuudesta hankkia sähköautojen latauspisteitä. Pykälässä säädetään rakennuksen omistajan velvollisuudesta huolehtia, että käytössä olevassa toimitilarakennuksessa, jossa on enemmän kuin 20 pysäköintipaikkaa on hankittava vähintään yksi latauspiste 31 päivään joulukuuta 2024 mennessä. Jos rakennus ei ole käytössä tai rakennuksen purku on suunnitteilla, niin silloin ei velvollisuutta latauspisteen asentamiselle ole.

2.4.6 Julkinen latauspiste

Edellä käsiteltyjen rakennuksien tapauksissa latauspiste voi olla myös laissa 478/2017 (ns. jakeluinfralaki) tarkoitettu julkinen latauspiste. Velvoite voidaan siis täyttää myös julkisella latauspisteellä. Julkisella latauspisteellä tarkoitetaan sähköauton latauspistettä, johon kaikilla käyttäjillä on syrjimätön pääsy. Julkista latauspistettä voidaan tarjota kaupallisesti tai kaupallisen toiminnan yhteydessä ja lisäksi toiminnan harjoittaja on määritellyt sen

julkiseksi latauspisteeksi. Vastaavanlaisia julkisia latauspisteitä on olemassa kauppojen tai kauppakeskusten pysäköintipaikoilla. Jos taas latauspisteen käyttö on rajattu vain yksityiseen tai lupaan perustuvaan käyttöön esimerkiksi asuinkiinteistöllä tai työpaikalla, niin tuolloin ei latauspistettä katsota julkiseksi (HE 23/2020vp).

2.4.7 Yhteenveto kunnan velvollisuuksista hankkia latauspisteitä toimitilakiinteistöihin

Jakeluinfralaki ei sisällä velvoitteita kunnille rakentaa julkisia latauspisteitä.

Rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latausvalmiuksilla on asetettu kiinteistöjä koskeva laki 733/2020. Laki 733/2020 asettaa olemassa oleville lämmitetyille rakennuksille velvollisuuden hankkia latauspisteitä, jos rakennuksen yhteydessä on enemmän kuin 20 pysäköintipaikkaa. Tällöin asennettava vähintään yksi latauspiste viimeistään 31 päivänä joulukuuta 2024 mennessä. Latauspisteen on oltava joko edellä esitetyn mukaisia normaalitehoisia tai suuritehoisia latauspisteitä. Olemassa olevalle ei ole velvoitteita latausvalmiuden rakentamisesta. Jos pysäköintialueelle asennetaan latauspiste, niin on hyödyllistä harkita latausvalmiuksien lisäämistä muillekin pysäköintipaikoille samalla kertaa.

Laki 733/2020 asettaa uusille ja peruskorjattaville toimitilakohteille, joilla on yli 10 pysäköintipaikkaa, velvoitteen asennuttaa yksi suuritehoinen latauspiste tai vaihtoehtoisesti:

- 1) vähintään yksi normaalitehoinen latauspiste, jos pysäköintipaikkoja on 11–50;
- 2) vähintään kaksi normaalitehoista latauspistettä, jos pysäköintipaikkoja on 51–100;
- 3) vähintään kolme normaalitehoista latauspistettä, jos pysäköintipaikkoja on yli 100.

Lisäksi on velvoite hankkia latausvalmius pysäköintipaikalle, jossa ei ole latauspistettä ja jossa on enemmän kuin 10 pysäköintipaikkaa:

- 1) vähintään 50 %:iin pysäköintipaikoista, jos pysäköintipaikkoja on 11–30;
- 2) 20 %:iin pysäköintipaikoista, jos pysäköintipaikkoja on enemmän kuin 30, mutta oltava kuitenkin vähintään 15 kpl.

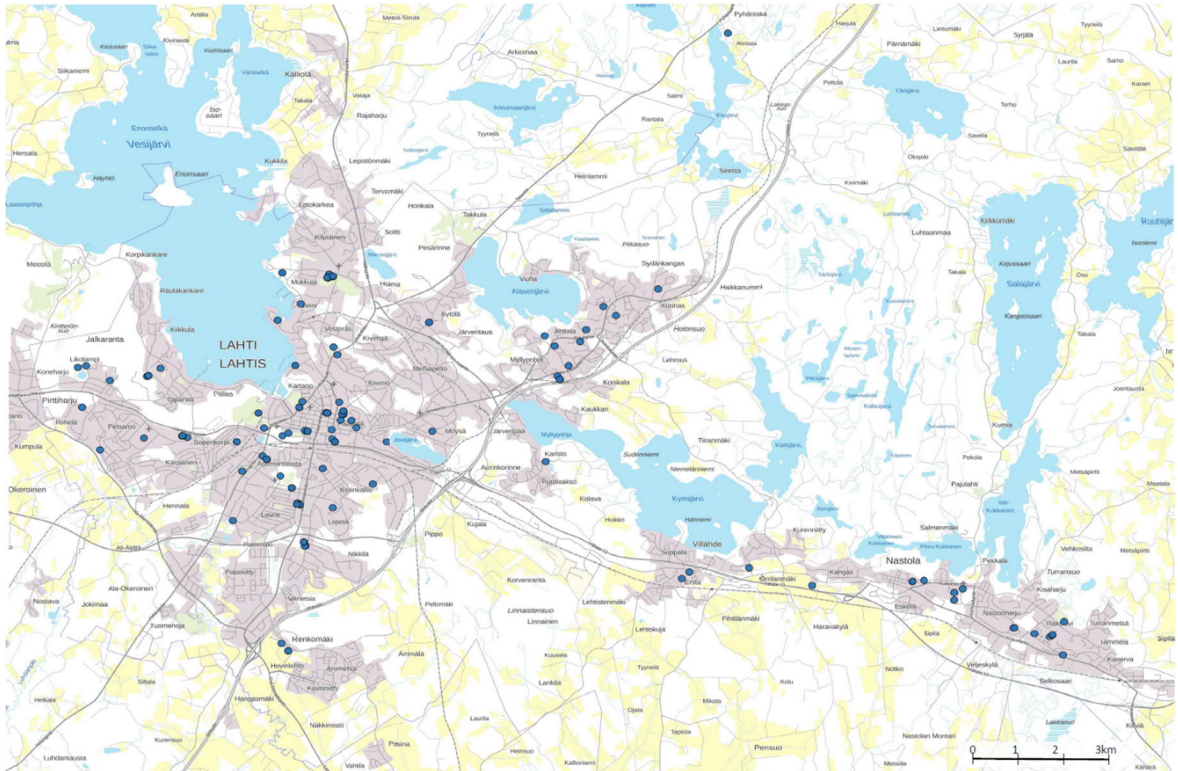
3 VAIHTOEHTOJEN TARKASTELU

Tässä luvussa esitellään sähköautojen latausjärjestelmien toteutusvaihtoehtoja ja kaupallisessa toiminnassa mukana olevia markkinatoimijoita. Lisäksi tarkastellaan latauspisteiden sijoittumisia Lahden alueella. Latauspisteiden sijoittelussa ja niiden tarjoamien lataustehojen määrittelyissä on huomioitava autoilijoiden tarpeet ja tottumukset, jotka ohjaavat käytäntöjä latauspaikoilla. Sähköautoilijat pyrkivät lataamaan autonsa pääasiassa kotona yön aikana ja päivällä työpaikan pysäköintialueella. Autoalan tiedotuskeskuksen toteuttaman tutkimuksen perusteella lähes kaikille kotilataus ja auton lataaminen työpaikalla riittää kompensoimaan päivittäisien matkojen energiatarpeen. Lataaminen kaupan toimipaikoissa on ollut vielä luonteeltaan satunnaista lataustapahtumien jäädessä vain muutama kertaan kuukaudessa. Julkisten pysäköintilaitosten ja huoltoasemien latauspisteitä käytetään vielä toistaiseksi harvoin useiden eri maksujärjestelmien, niiden monimutkaisuuden ja lataussähkön kirjavien hinnoittelun vuoksi. (Autoalan TK, 2020) Pysäköinnin yhteydessä autoilija tekee latauspäätöksen. Siihen vaikuttaa akun varaustaso suhteessa tarvittaviin päivän ajomatkoihin, latauksessa syntyvä kustannus, sekä latausajan pituus, joka näissä molemmissa kohteissa koetaan riittävän pitkiksi ja lataustapahtuma hyödylliseksi. Muita satunnaisemmin käytettäviä latauspaikkoja ovat terveydenhuollon, kulttuurirakennusten ja kirjastojen, koulujen, liikuntahallien ja urheilupuistojen parkkipaikoille, sekä liityntäpysäköintialueille sijoitetut julkiset latauspisteet.

Latauspisteiden lisäämisen vaihtoehdot sähköverkkoon liittymän osalta:

- A) rakennuksen nykyisen sähkönkäyttöpaikan yhteyteen, jos tehokapasiteettia on jäljellä.
- B) pysäköintipaikalle otetaan oma laskutettava käyttöpaikka lähellä olevasta liittymästä.
- C) useamman kiinteistön latauspisteiden kokoaminen yhteen paikkaan omalle sähköliittymälle, jos rakennuksen liittymässä ei ole kapasiteettia jäljellä ja kohteiden pysäköintipaikat ovat riittävän lähellä toisiaan (etäisyys < 300 m). Lain 733/2020 vähimmäisvaatimus tulee kuitenkin toteutua kohteittain.

Latauspisteiden alueelliset keskittymät on hyvä kartoittaa, sillä lähekkäin sijaitsevat julkiset latauspaikat saattavat vähentää toistensa käyttäjämääriä ja vähentää latauspisteen kannattavuutta. Lahden Tilakeskuksen suurempien kiinteistöjen sijainnit ovat nähtävissä kuvan 3.1 karttapohjalta.



Kuva 3.1. Lahden Tilakeskuksen kiinteistöjen sijainnit kartalla. Maanmittauslaitoksen kartta-palvelun kuvaa on muokattu lisäämällä kiinteistöjen sijainnit kuvaan (MML, 2022).

Osa pysäköintipaikoista sijaitsevat varsin lähelläkin muutaman sadan metrin päässä toisiansa, jolloin on myös mahdollista keskittää tarvittava kokonaismäärä latauspisteitä vain yhteen paikkaan. Läheisyys lisää vaihtoehtoja toteuttaa latausjärjestelmät ja luo mahdollisuuden säästää kustannuksissa. Latausjärjestelmien määrittelyissä on huomioitava myös tuleva kapasiteetin lisääntymisnopeus, joka tulisi olla suhteutettuna sähköautojen kasvavaan määrään.

3.1 Palvelujen tarjoajat

Toimivan latausjärjestelmän hankintaan ja ylläpitoon kuuluvia toimijoita ovat:

- Latausoperaattorit
- Lataustietopalvelut
- Latausjärjestelmien toimittajat
- Latauslaitteiden valmistajat
- Latausjärjestelmien asennus-, huolto- ja kunnossapitoyritykset
- Investointiyritykset ja rahoituslaitokset
- Latausjärjestelmien omistajat
- Energiayhtiöt

Latausoperaattorin avulla yksittäiset latauspisteet yhdistetään yhtenäiseksi verkostoksi autoilijoiden käyttöön. Lahden alueella toimii useampikin eri latausoperaattori, niin alueellisesti paikallisia, kuin kansainvälisiäkin toimijoita (TMF, 2022). Latausoperaattori voi tarjota latauspalveluitaan, sekä yksityisille, että julkisille latauslaitteille. Latauspalveluista on saatavissa esimerkiksi sovelluksen vika- ja ongelmatilanteissa ympärivuorokautista asiakastukea. Latausoperaattori tarjoaa ja ylläpitää lataustietopalvelun tietojärjestelmää, johon latauslaitteiden omistajat voivat latauspisteensä liittää ja sen avulla voivat tarjota julkisia latauspisteitään kaikille operaattorin asiakkaille. Latausoperaattori voi myös käyttää jonkin toisen yrityksen tarjoamaa lataustietopalvelua taustatoimintojensa toteuttamiseen. Esimerkiksi monet latausoperaattorit käyttävät heille erikseen räätälöityä Virran (Liikennevirta Oy) tarjoamaa hallintajärjestelmää ja tämän myötä autojen lataajat voivat hyödyntää näiden kaikkien latausoperaattoreiden hallinnoimia Virta-latauspalvelun julkisia latauspisteitä.

Pilvipohjaisen taustajärjestelmän kautta voidaan latausjärjestelmän energianhallinta toteuttaa etänä mahdollistaen ajan myötä alati kehittyvien kuormanhallinta- ja seurantatoimintojen käytön. Lataustietopalvelu voi palvelun tarjoajasta riippuen sisältää käyttäjäryhmien tunnistamisen, eri tavoin toteutetut ajoitus- ja kuormanhallintatoiminnot, sekä käyttäjien lataushistorian ja lataustapahtumien laskutustietojen tallennuksen. Lataustietopalveluja tarjoavat toimijat voidaankin luokitella omaksi ryhmäkseen, jonka tehtävänä on luoda ja kehittää latauspalveluihin ohjelmistoja.

Sähköautojen latausjärjestelmät voidaan varustaa OCPP-standardia hyödyntävillä laitteilla. Tällöin latausjärjestelmän ohjausta ja seuranta operoidaan taustajärjestelmän avulla hyödyntäen latauslaitteiden ja latausoperaattorin välistä avointa OCPP-tiedonsiirtoprotokollaa. OCPP-protokolla on Euroopassa yleisin protokolla sähköajoneuvojen latauslaitteen ja palvelimen välisen tiedonsiirron toteutuksissa. Protokolla määrittelee etätoimintojen hyödyntämisen raamit, lataustapahtuman kommunikoinnin sanomat palvelimen ja latauspisteiden välillä. Sen avulla eri palveluntarjoajat voivat käyttää erilaisia latauslaitteistoja eivätkä ole sidottuja vain yhteen laitetoimittajaan. Eri valmistajien OCPP-standardin mukaiset laitteet ovat yhdistettävissä samaan taustajärjestelmään. OCPP-protokolla antaa myös latauslaitteen omistajalle latausjärjestelmän puolesta mahdollisuuden kilpailuttaa ja vaihtaa palveluntarjoajan. Latausasemat voidaan yhdistää taustajärjestelmiin

laitetoimittajasta riippuen, joko kiinteän tietoliikennekaapeloinnin (CAT6) tai mobiiliverkon 4G/GPRS-yhteyden välityksellä. Lisäksi pysäköintipaikoilla latauspisteiden tietojen koonti voi tapahtua alueellisesti langattomalla WLAN-yhteydellä. (ST-käsikirja 41, 2019; OCA, 2022; Plugit, 2022.)

Latausjärjestelmien toimittajat ovat useimmiten keskittyneet edustamaan vain yhden operaattorin ja tietopalveluyrityksen kehittämiä teknologioita toimien samalla toimittamiensa latauslaitteiden ja ohjelmistopalveluiden jälleenmyyjinä. Yleisesti latausjärjestelmiä ilmoitetaan toimitettavan kolmella eri hankintamallilla. Hankintatapana voi olla kertakauppa, jolloin laitteet ostetaan asennuksineen ja tämän jälkeen kustannuksia tuottavat ainoastaan valittujen lisäpalveluiden kk-maksut. Toinen tilaajien suosima hankintatapa on latausjärjestelmän pitkäaikainen vuokrauspalvelu eli leasing, jolloin kuukausittaisilla maksusuoritteilla saa latauslaitteen, latausvalmiuksien rakentamisen, laitteiston ylläpidon, sekä valitut lisäpalvelut. Leasing-sopimuksen kesto on neuvoteltavissa ja voi olla esimerkiksi 60 kuukauden pituinen. Kolmas yleisesti käytetty hankintatapa on puitesopimus, jossa sovitaan yhden tai useamman toimittajan kanssa tietyn ajan kuluessa tehtävistä laitteiden ja palveluiden hinnoista, määrästä tai muista hankinnan ehdoista. Puitesopimus on yleisimmin julkisen toimijan käyttämä julkisen kilpailutuksen hankintamenettely, jossa hankintayksikkö voi tilata kilpailutuksen voittaneelta toimittajalta laitteita ja palvelua kilpailutetulla hinnalla sopimuksessa sovittuna ajanjaksona. Puitesopimuksen ajallinen pituus voi olla esimerkiksi neljä vuotta. Osa latausjärjestelmätoimittajista suosivat ja ovat erikoistuneet tiettyihin hankintamalleihin muita enemmän. Tämä on hyvä huomioida hankintaprosessia suunnitellessa ja tarjouspyyntöä laadittaessa.

Latauspisteiden toimintakunnon voi varmistaa toimittajilta ostettavilla lisäpalveluilla, vaikka laitteet itsessään eivät juurikaan vaadi huoltotoimenpiteitä. Ylläpitopalveluilla on saatavissa laajennettua asiakastukea, laitteille toiminnan seuranta ja kunnossapitoa, sekä jatkettua takuu-aikaa.

3.2 Investointi- ja ylläpitokustannukset

Suurempien riskien ja taloudellisesti heikomman kannattavuuden vuoksi latausoperaattorit eivät useinkaan näe hyödylliseksi itse omistaa latauspisteitä, vaan niiden rakennuttamisesta ja omistuksesta vastaavat pääsääntöisesti investointiyrityksiin ja kiinteistöyhtiöihin

verrattavissa olevat toimijat. Näillä toimijoilla on parempi paikallistuntemus ja edellytykset arvioida, sekä hallita investointiin liittyviä riskejä. Heillä on lähtökohtaisesti täsmällisempää tietoa millaisia ylläpitokustannuksia latauspiste kohteessaan voi aiheuttaa ja mitä tuottoja voidaan odottaa. Investoiva taho pyrkii välttämään hankkeen aikana kohdattavat yllättävät saneeraustarpeet esikartoittamalla nykyinen verkkorakenteen tila ja mahdolliset pullonkaulat hyvin ennen aloituspäätöstä.

Useimmiten latausjärjestelmän suunnitteluvaiheessa kustannukset jaetaan taulukon 3.1 mukaisesti investointikustannuksiin, sekä käytön aikaisiin kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin.

Taulukko 3.1. Koonti eri tehoisten latauspisteiden ja kuormanhallintatasojen aiheuttamista kustannuksista (alv. 0 %).

		A	B	C	D	E	
		Suko 1,8 - 3,7 kW AC Taso 0	Type 2 3,7 - 11 kW AC Taso 1	Type 2 3,7 - 11 kW AC Taso 2	Type 2 22 kW AC Taso 2	2 x CCS 50 kW DC Taso 1	
Investointi- kustannukset	Latauslaitteen hankintahinta	300 - 700	900 - 1100	1300 - 1600	1300 - 1800	15000 - 40000	€/kpl
	Latausaseman perustaminen	200 - 1500	300 - 2000	400 - 2400	500 - 2500	1500 - 6000	€/kpl
	Uusi sähköliittymä	0	0	0	0 - 6500	4000 - 10000	€/kpl
Kiinteät kustannukset	Sähkön teho- ja perusmaksut	80 - 100	100 - 150	100 - 150	250	500	€/a
	Lataus- ja ylläpitopalvelut	0	50 - 100	200 - 400	200 - 400		€/a
Muuttuvat kustannukset	Sähköenergian kustannukset	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	€/kWh

Yhden latauspisteen arvonlisäveroton investointikustannus vaihtelee n. 500 € hitaan latauksen (lataustapa 2) ja lähes 60000 € hintaisen oman DC-virtalähteen sisältävän tehollatauksen (lataustapa 4) välillä. Yksittäisen 3,7–11 kW Type 2-latauspistorasiolla varustetun latauslaitteen hinta ulkoseinälle asennettuna on noin 1500–2000 € (alv. 0 %). Tässä on hyvä huomioida, että lain 733/2020 vaatimukset eivät kelpuuta tilapäiseen latauskäyttöön tarkoitettuja suko-pistorasioita, vaan vähimmäisvaatimuksissa huomioidaan ainoastaan liitintyyppisiä Type 2 ja CCS 2 (Combo 2) omaavat latauspisteet. Kun vähimmäisvaatimus liitintyyppien osalta on täyttynyt, niin tämän jälkeen joissakin tapauksissa on mahdollista ja kustannustehokasta vaihtaa osaan ajoneuvojen esilämmitykseen tarkoitettujen piharasioiden tilalle latauskäyttöön soveltuvat rasiat. Nämä latausrasiat voivat olla kalustettuina myös hitaan latauksen suko-pistorasioilla. Lämmityspistoketolppien päivittämiseen on saatavilla useita vaihtoehtoja pelkän tolpan sisäkalustuksen uusimisesta aina koko tolpan sähköjen uusimiseen (Garo, 2022). Monesti auton lämmitykseen tehty kaapelointi ei kuitenkaan ole riittävä useampien sähköautojen

samanaikaiseen lataamiseen. Lämmitystolppien muuttaminen latauspisteeksi saattaa väliaikaisesti alkuvaiheessa onnistuakin, mutta jää nopeasti riittämättömäksi valtaosan autoista vaihtuessa sähköverkosta ladattaviksi. Lähtökohtaisesti n. 10 % autopaidoista voidaan muuttaa lämmitystolppajakelun avulla sähköautojen latauspisteiksi, jopa ilman älykästä latausjärjestelmää (ST-käsikirja 41, 2019). Osuuden arvioiminen tulee kuitenkin tehdä aina kohdekohtaisesti.

Asennetuille latauspisteille myönnetään 2–3 vuoden takuuajoja. Normaalina kontaktipintojen kulumista ja vaikutuksia niiden lämpenemään käytön aikana on valvottava. Latauslaitteiden pistorasioille ja vikavirtasuojille suositellaan laadittavaksi kirjallinen kunnossapito-ohjelma (Sesko, 2021a). Latauskäytössä olevat suko-kotitalouspistorasiat on syytä vaihtaa 16 A:n supersuko-pistorasioihin tai standardin SFS-EN 60309-2 mukaisia teollisuuspistorasioihin. Käyttäjät voivat kytkeä suko-pistorasioihin hyvin eri tehoisia latauslaitteita. Latausjohdon suojalaiteyksikön maksimivirta on useimmiten rajattu 8 A tasolle, mutta saatavilla on myös 8–16 A virralle säädettäviä latausjohtoja. Käytännössä virtapiirin maksimitehoa rajoittaa latauslaitteen johdonsuojakatkaisin, jonka valinnalla voidaan vaikuttaa myös pitkäaikaisen tehosiirron tuottamiin lämpenemiin ja latauslaitteen käyttöikäen. Useita tunteja kestävän latauksen aikana käytössä kuluneet ja likaantuvat, lämpösykleissä muotonsa ja joustavuutensa menettävät liitäntäpinnat lämpenevät latausmäärien kertyessä yhä enemmän. Huonokuntoisessa pistorasiassa virran kasvattaminen parilla ampeerilla saattaa jo heikentää sähköturvallisuutta. Liitoksen ylimenovastuksen kasvaessa liittimen lämpöteho on verrannollinen virran neliöön. Vakuutusyhtiöillä voi olla vakuutusehdoissa vaatimuksia latauspisteen kalustuksesta. Norjassa suko-pistorasioiden käyttöä ei enää suositella käytettäväksi sähköautojen latauksissa (NAF, 2022).

Taulukon 3.1 investointi- ja palvelukustannukset on koottu järjestelmien toimittajien kanssa käytyjen keskustelujen pohjalta. Kustannustasot edustavat saatuja budjettihintoja. Sähköliittymään ja sähkökustannuksien kustannukset on saatu energiayhtiöiltä. DC-virtalähteen tehontarve edellyttää lähes aina oman sähköliittymänsä. D-sarakkeen osalta tarpeeseen vaikuttaa latauspisteiden lukumäärä. Sarakkeiden A–C osalta oletetaan jo käytössä olevan kiinteistöliittymän vapaa kapasiteetti keskimäärin riittävän myös sähköautojen latauksiin. Tehomaksun suuruus määräytyy edellisen 12 kuukauden aikana

mitatun suurimman tuntikeskitehon mukaan. Latauslaitetta voidaan olettaa käytettävän täydellä nimellistehoaan vastaavalla tavalla useita kertoja vuodessa, jolloin veroton tehomaksun osuus on aina kiinteä 0,70 €/kWh kuukaudessa. Sähköenergian arvonlisäveroton kustannus on noin 0,1 €/kWh. Kustannuksen suuruus on hiukan Lahden kaupungin viime vuosina maksamaa keskimääräistä hintatasoa korkeampi. Vuonna 2020 hinnan keskiarvo oli 0,10 €/kWh ja vuonna 2021 hintana oli 0,09 €/kWh. Taulukon sähköenergian kustannukset sisältävät energian hinnan ja sähkön siirron sähköveroineen. Sarake A edustaa edullisinta vaihtoehtoa, jossa latausasema asennetaan seinäpinnalle tai olemassa olevan lämmitystolpan tilalle. Sarakkeen A tapauksessa tulee lisäksi järjestää sähkön kulutusmittauksen luenta pari kertaa vuodessa laskutuksia varten. Latausjärjestelmiä toimittavilta tahoilta saatavia lataus- ja ylläpitopalveluita sisältöineen on esitelty lyhyesti luvussa 3.1.

Latausjärjestelmän kuormanhallinta on luokiteltu kahteen tai kolmeen eri tasoon (eParking, 2021a). Luokituksen 0-taso ei täysin täytä kuormanhallinnan käsitettä valvonnan ja ohjauksen osalta. (ST-käsikirja 41, 2019.) Kuormanhallinnan 0-tasolla latauslaitteen teho ei säädy muun latausverkon kanssa, vaan rajoittaa itsenäisesti sähköverkosta ottaman tehon ko. laitteelle asetetun maksimiarvoon. Itsenäisen latausjärjestelmän järjestelmä ei tarvitse latausoperaattoria tai latauspalveluntarjoajaa ohjaamaan latausjärjestelmän toimintoja, eikä edellytä latausasemilta OCPP-tukea tiedonsiirtoon ulkopuolisen toimijan kanssa. Sarakkeen A kustannukset edustavat latauslaitteita, jossa on 0-tason kuormanhallinta. Sen sähkönsyötön mitoituksessa on selvitettävä muun kiinteistön sähkönkulutus huippukulutuksen ajankohtina ja lataukseen varattava kapasiteetti jaetaan latausjärjestelmän sisällä latauslaitteiden kesken asetettujen kriteerien mukaisesti. Kuormanhallinnan 0-tason latauslaite on hankintakustannuksiltaan edullisempi, mutta heikomman palvelukykyensä vuoksi esimerkiksi sähkön kulutusmittauksen luenta tulee erikseen järjestää pari kertaa vuodessa käyttäjien laskutuksia varten. 1-tason kuormanhallinta mittaa latausjärjestelmän kokonaissähkötehoa ja ohjaa latauspisteiden tehonottoa siten, ettei järjestelmälle asetettua enimmäisarvoa ylitetä. Osa latausjärjestelmien toimittajista ovat nimenneet ohjaustavan staattiseksi kuormanhallinnaksi. 2-tason kuormanhallinnassa sähköpääkeskukseen lisätty virranmittaus tarkkailee koko kiinteistön tai sähkönkäyttöpaikan kokonaiskuormaa ja ohjaa latausjärjestelmän sähköverkosta ottamaa sähkötehoa estäen ylemmän verkonosan ylikuormittumisen. Sääötäpää kutsutaan dynaamiseksi- (DLM), mutta myös adaptiiviseksi kuormanhallinnaksi.

Latausjärjestelmä voidaan pitää aivan omana itsenäisenä järjestelmänään tai tarvittaessa liittää osaksi kiinteistöautomaatiota. 1- ja 2-tason latausjärjestelmän kuormanhallinta voidaan toteuttaa taustajärjestelmän etäyhteyden välityksellä. Tällöin järjestelmien toimittajat kutsuvat toteutusvaihtoehtoa älykkääksi latausjärjestelmäksi. Taustajärjestelmä mahdollistaa latausjärjestelmän kehittyneempien ohjaustapojen avulla monipuolisemman latauslaitteiden käytön, tehokkaamman energianhallinnan ja seurannan, sekä suoran käyttäjälaskutuksen.

3.3 Latausjärjestelmien investointituet

Latauslaitteiden hankintaa avustavat tuet sisältöineen muuttuvat muutaman vuoden välein. Seuraaviin laitteistoinvestointeihin on myönnetty määrärahaa ja haettavissa vuonna 2022.

Latausinfra-avustus

Sähköautojen latausinfra-avustus on tarkoitettu asuinrakennuksille. Tukea voivat Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskukselta (ARA) hakea asuinrakennuksen omistavat yhteisöt, kuten taloyhtiöt, sekä niiden omistamat pysäköintiyhtiöt (ARA, 2021a). Toimitilakiinteistöt eivät voi hakea latausinfra-avustusta.

Latauspisteavustus

Työpaikkojen pysäköintipaikoille on saatavissa sähköautojen latauspisteavustusta vuosina 2022 ja 2023. Avustuksella on mahdollista hankkia paikalleen asennettuja käyttökuntoisia sähköautojen latauspisteitä. Niitä ei saa asentaa asukas- tai asiakaspysäköintipaikoille, vaan latauspisteet ovat pääsääntöisesti tarkoitettu työntekijöiden käyttöön. Vierailijoiden autojen latausta ei ole kuitenkaan kielletty, vaan myös muut käyttäjät voivat käyttää näitä latauspisteitä. ARA myöntää avustuksen. Vuosittain avustukseen on varattu 1,5 miljoonan euron määräraha. Avustusta voivat hakea kunnat, kaupungit, kunnalliset laitokset, kuntayhtymät, yritykset, yksityiset työnantajat, yksityiset liikerakennuksen tai -kiinteistön omistajat, säätiöt, seurakunnat, osuuskunnat, sekä rekisteröidyt yhdistykset. (ARA, 2021b.)

Hakijaa kohden avustusta voi saada enintään 10 latauslaitteeseen vuodessa. Samaan konserniin kuuluvat hakijat voivat saada vuosittain avustusta yhteensä enintään 50 latauslaitteeseen. Vuosina 2022 ja 2023 avustuksen suuruus on 750 euroa yhtä

käyttökuntoista ja avustusehdot täyttävää latauslaitetta kohden. Latauspisteavustusta saavien laitteiden tulee olla käyttökuntoisia ja varustettuna tyyppin 2 pistorasialla ja käyttöönottaessa vähintään 3,7 kW latausteholla. Kaapeloinneissa on kuitenkin varauduttava vähintään 11 kW lataustehoon. Lisäksi laitteelta edellytetään, että siihen voidaan myöhemmin kytkeä latauskuormanhallinta. (ARA, 2021b.)

Liikenteen infratuki

Liikenteen infratuki on ajoneuvojen suuritehoisten DC-latauspisteiden investointihankkeisiin tarkoitettu avustus. Latauspisteen tulee olla julkinen latauspiste vapaasti kaikkien käyttäjien ja kuluttajien käytettävissä. Latauslaitteessa tulee olla tasavirtalähde ja lataustehon tulee olla suurempi kuin 22 kW. Vastaavan tehoinen 22 kW vaihtovirtalatauslaite ei täytä tuen vaatimuksia. Energiavirasto päättää infratuen myöntämisestä vuosina 2022–2025 valtioneuvoston asetuksen mukaisesti (VN, 2022). Tukea myönnetään tarjouskilpailujen perusteella. Kauden ensimmäisenä vuotena 2022 Energiavirasto kilpailuttaa 5 M€tukea ajoneuvojen suuritehoisille latauspisteille. Jokaiselle tarjoukselle lasketaan vertailuluku latauslaitteen tehon ja sijainnin perusteella. Vertailuluvun avulla tarjoukset laitetaan paremmuusjärjestykseen. Tuen osuus hyväksyttävistä kustannuksista on enintään 35–45 % (Energiavirasto, 2022).

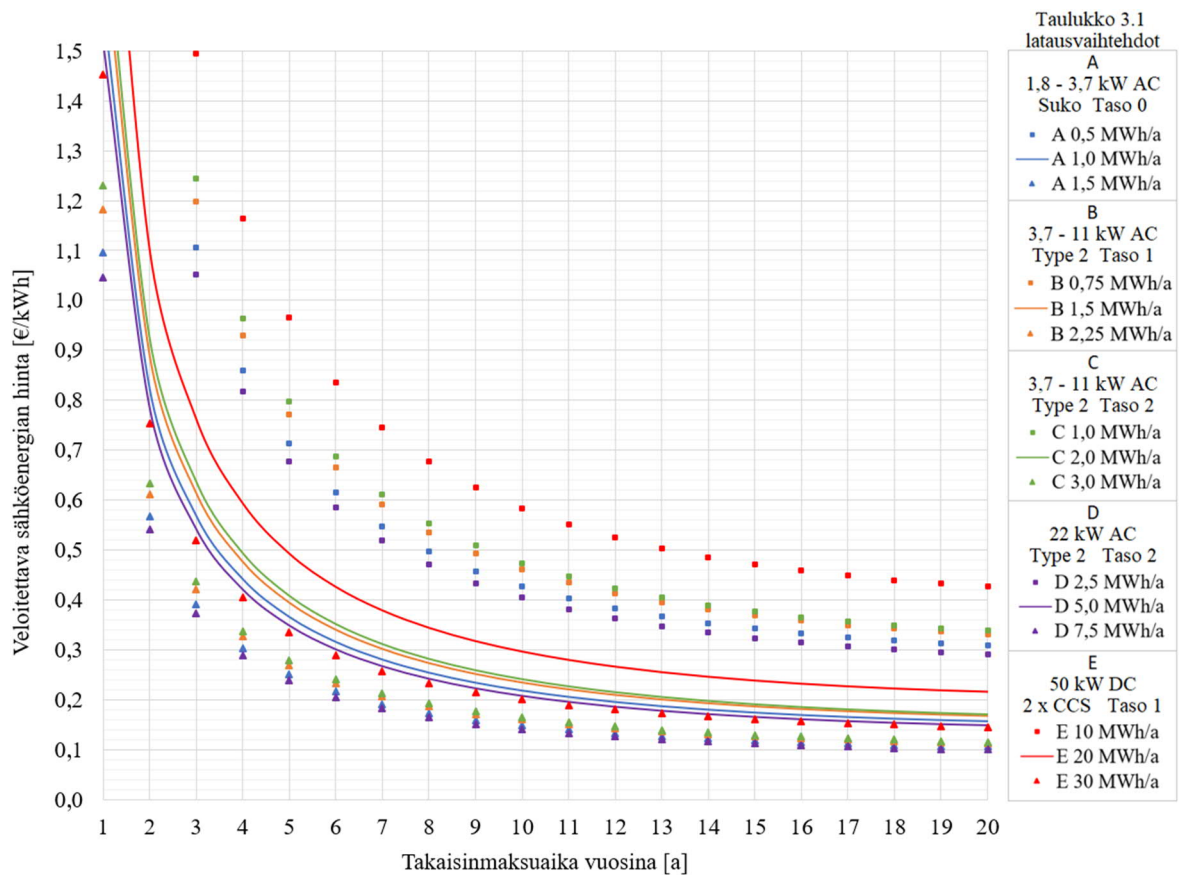
3.4 Latauksen hinnoittelu

Lähtökohtaisesti latausjärjestelmän laitteille ja asennuksille myönnetään 2–3 vuoden takuu-aika, mutta toimittajat ilmoittavat järjestelmän elinikätaavoitteeksi 10–20 vuotta. Investoinnin pitoajan toivotaan olevan pitkä, purettaessa latauspisteen hyödynnettävyys on vähäistä, investoinnin jäännösarvon oletetaan olevan nolla. Kannattavuusrajaa haettaessa investoinnin nykyarvo on nolla sinä vuotena, kun kulut ja tuotot ovat yhtä suuret. Tällöin investoinnin pitoaika n tai vastavuoroisesti tarvittava vuotuinen nettotuotto S_t on ratkaistavissa yhtälöstä 3.1, jos investoinnin suuruus H ja laskentakorko i tiedetään.

$$\sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+i)^t} - H = 0 \quad (3.1)$$

Nettotuotto on investoinnista syntyvien tuottojen ja kustannusten välinen erotus. Latauslaitteiden kustannuksia on esitelty luvussa 3.2. Tuottoja saadaan lataustapahtumista. Tuottojen suuruuteen vaikuttaa latauksien energiamäärä ja käyttäjiltä latauksien yhteydessä

veloitettava energian hinta. Mikäli taulukon 3.1 sarakkeen A mukaista työpaikan pysäköintipaikalla olevaa latauspistettä käytetään 250 kertaa vuodessa ja keskimääräinen latauksen energiamäärä on lyhyiden työmatkojen vuoksi vain noin 4 kWh, niin vuotuinen sähkönkulutus on 1,0 MWh. Sarakkeessa A ilmoitettujen budjetäristen kustannusten keskiarvoilla laskettuna saadaan lataajalta laskutettavaksi arvonlisäverottomaksi energiakustannukseksi 0,22 €/kWh, jos latauslaitteen pitoajaksi, ts. takaisinmaksuajaksi asetetaan 10 vuotta. Kuvaan 3.2 on laskettu vastaavasti myös muiden taulukossa olleiden latauslaitteiden energiankulutuksen veloitushinnat eri takaisinmaksuajoilla. Ladattu sähköenergian kustannus sisältyy veloitushintaan.



Kuva 3.2. Sähköauton lataajalta veloitettava arvonlisäveroton energianhintaa suhteessa latauspisteiden takaisinmaksuajoihin (pitoaika n). Tarkasteltavana on taulukko 3.1 latauspisteet eri latausenergiämäärillä.

Laskennassa on käytetty lähtötietona taulukossa 3.1 ilmoitettua sähköenergian kustannusta. Energian ominaiskustannus 0,1 €/kWh on suuruudeltaan hyvin maltillinen ja on hyvä huomioida kuvan tarkasteluissa. Kuvan mukaisessa laskennassa energiakustannuksen

maksaa ensin latauslaitteen omistaja, joka välittää syntyneet energiakustannukset eteenpäin lataajalta veloittettavaan hintaan. Käyttäjältä veloittava hinta pitää sisällään kaikki latauksien kustannukset, jolloin kuvasta nähdään suoraan käyttäjän lopullisen arvonlisäverottoman €/kWh latauskustannuksen. Esimerkiksi jos taulukon 3.1 sarakkeen C latausjärjestelmän latauspisteen sähkönkulutuksen arvioidaan olevan 2 MWh vuodessa, niin valitaan kuvan 3.2 oikeasta reunasta vastaava käyrästä. Sähköenergian määrä vastaa tavanomaisen sähköauton ominaiskulutuksella 0,2 kWh/km yhteensä noin 10 000 km ajomatkaa. Latauspisteen pitoaika valitaan X-akselilta ja valitun käyrän leikkauskohdalta nähdään sähköauton lataajalta veloittava energiakustannus Y-akselilta. Esimerkiksi valitulla käyrällä 5 vuoden takaisinmaksuajalla käyttäjältä on veloittava 0,41 €/kWh.

Veloitushinnat kuvaavat lukumääräisesti useampien latauslaitteiden ja toteutustapojen myötä lataajille muodostuvia keskimääräisiä käyttökustannuksia, jotka ovat siirretty nykyarvoon. Laskennassa on oletettu, että kustannustaso kasvaa kaikilla saman verran 4 % vuodessa niin sähkökustannusten kuin palvelumaksujenkin osalta. Laskelmassa ei ole huomioitu mahdollisia muita rahoitusjärjestelyiden kuluja tai investointiavustuksia.

Kuvan käyriin on lisätty herkkyystarkastelua varten vuotuiset latausenergiat +/- 50 % muutosarvoilla. Valittujen muuttujien arvot ovat suuruudeltaan karkeita, mutta ovat kuvan 3.2 havainnoinnin kannalta selkeämpiä. Väliarvojen interpoloinnin yhteydessä huomataan, että väliarvojen etäisyydet eivät ole vakiosuuruisia vaan tihtyvät energiamäärän kasvaessa. Latausenergian kasvattaminen kuvassa esitetyistä määristä vaikuttaa yhä vähemmän latausenergian hinnan laskuun, eli energiamäärän vaikutus hintaan vaimenee. Sen sijaan takaisinmaksun toteuttava velotushinta kasvaa jyrkästi, jos laitteen latausenergia vuoden aikana jää esitettyjä määriä pienemmiksi. Latausenergian merkitys on nähtävissä myös sarakkeiden C ja D latauslaitteiden vertailussa. Suuremmasta kustannuksista huolimatta D sarakkeen latauspiste osoittautuu taloudellisesti kannattavammaksi. Suurempi energiamäärä sallii pienemmän latauskustannuksen. Vuosittain 3 MWh suurempi kulutus tuottaa ensimmäisen viiden vuoden aikana noin 6 snt/kWh pienemmän veloitusinnan. Suuren energiamäärän mahdollistamiseksi latauspisteille tulee sallia mahdollisimman laaja käyttöaika ja kiinteistöliittymän antaessa myöden suurin sähköteho. Takaisinmaksuajan pituuden tai veloitusinnan suuruuden osalta korostuu, kuinka tärkeätä latauspisteiden aktiivinen käyttö tai käyttämättömyys on. Jos pysäköintipaikalle sijoitetaan ”ylimääräisiä”

latauspisteitä, niin lataukset jakaantuvat niiden kesken ja kaikkien käyttöaste laskee. Pyrittäessä kustannustehokkuuteen on todelliset latauspisteiden tarpeet kartoitettava huolella ennen hankinnan käynnistämistä.

Lahden alueella olevien julkisten latauspisteiden hinnoittelussa on jonkin verran vaihtelua. Latauspisteistä suurimman osan arvonlisäveroton energiakustannus sijoittuu 0,16–0,45 €/kWh välille (TMF, 2022). Muutamilla latauspisteen tarjoajilla on tämän lisäksi myös erillinen pysäköintiaikaan sidottu pysäköintimaksu. Mikäli Lahden alueella olevien latauslaitteiden vuotuiset latausenergiat ovat kuvassa esitetyn mukaiset, niin niiden takaisinmaksuajat olisivat kuvan 3.2 perusteella noin 4–6 vuotta 0,45 €/kWh veloitus hinnalla ja vähintään 16 vuotta 0,16 €/kWh veloitus taksalla. Investoinnin takaisinmaksuaikaa voidaan pitää yllättävän pitkänä aikana ja osittain selittää latausinfraan sijoittavien tahojen puuttumisen markkinoilta. Tehdyn investoinnin kannattavuus muuttuu negatiiviseksi, jos latauslaitteen pitoaika jää jostakin arvaamattomasta syystä lyhyemmäksi tai vuotuisesti ladattavat energiamäärät ovatkin ennakoitua vähäisemmät. Latauslaitteen pitoaika jää huomattavasti lyhyemmäksi esimerkiksi jatkuvan ilkvallan vuoksi korostaen pysäköintialueiden paikallistuntemuksen merkitystä hankintapäätöksen yhteydessä. Viiden vuoden takaisinmaksu edellyttää keskimäärin n. 0,4 €/kWh hinnoittelun (alv. 0 %). Hinnan korkeus lienee jo käyttäjien kipukynnyksellä, sillä julkisen latauspisteen tarjoajat eivät ole juurikaan tämän korkeammaksi käyttöä hinnoitelleet Lahden alueella. Edellä esitetty tarkastelu perustui eri toimijoilta lähtötietona saatuihin budjettihintoihin. Ajankohtaiset ko. markkinatilanteeseen sidottu todelliset kustannustasot täsmentyvät tarjouskilpailujen myötä, jonka jälkeen kustannustarkastelu on syytä tehdä uudelleen lopullisten veloitushintojen määrittämiseksi ensimmäisille vuosille.

4 LAHDEN TILAKESKUKSEN TOIMITILAKIINTEISTÖT

Lahden Tilakeskus palvelee Lahden kaupunkiorganisaatiota järjestämällä sille sen tarpeiden mukaiset toimitilat. Tilakeskus huolehtii kaupungin omistamasta tilakannasta, sen arvosta, teknisestä kunnosta ja tuottavuudesta, tehokkaasta käytöstä ja kehittämisestä. Tilakeskus hallinnoimaa toimitilakantaa on yhteensä noin 500 000 m², josta noin puolet on koulu- ja päiväkotirakennuksia. Toinen puolisko koostuu kulttuurirakennuksista, kuten kirjastoista, teatteri- ja konserttirakennuksista, kerho-, kokoontumis- ja urheiluharrastuksen rakennuksista, toimisto-, palo- ja pelastustoimen rakennuksista, sekä vielä muutamista terveydenhoidon tiloista. Tässä työssä keskitytään rakennuksiin, jotka ovat sähköautojen latauksen kannalta oleellisia. Tarkastelun kohteena ovat rakennukset, joihin säädökset velvoittavat tai on muutoin esitetty tarve latauspisteitä lisäävän. Tarkasteltavaksi pääosin on valikoitunut suuremman pysäköintipaikan omaavat rakennukset ja kohteet, jotka muutoin sijaitsevat lataukseen hyvin soveltuvalla kaupungin keskeisellä paikalla.

Osa kiinteistöistä poikkeaa hyvin paljonkin toisistaan, niin käyttöasteen, käyttöaikojen, kuin ajan myötä kertyneen korjausvelankin osalta. Rakennuksista valtaosan lämmitysmuotona on kaukolämpö, mutta joukossa on myös muutama sähkölämmitteinen kohde. Nämä erot ovat nähtävissä näiden kohteiden sähkönkulutusprofiileista. Rakennuksen käyttötarkoitus on voinut vuosien saatossa muuttua paljonkin ja tilatehokkuuden vaatimukset ovat voineet lisätä sähkön kulutusta. Tai vastakkaisesti rakennus on voinut jäädä vajaakäytölle, jolloin käyttöaste on hiipunut pienemmäksi rakennuksen ikääntyessä ja asiakasryhmien vähentyessä. Olemassa olevien sähköliittymien jäljellä olevaa kuormitusvaraa on syytä tarkastella jokaisessa rakennuksessa erikseen. Selvitettäviä tekijöitä ovat sähköliittymän kuormitusten rajoina olevat sulakkeet, verkossa jo olevat sähkökuormat, sekä jäljelle jäävä vapaana oleva sähkötehon suuruus suhteessa latausjärjestelmän kuormitukseen.

4.1 Kiinteistöjen taustakuormat, nykytilanne

Kiinteistö liitetään sähköverkkoon rakennetun sähköliittymän kautta ja yleisesti yhdellä kiinteistöllä voi olla vain yksi sähköliittymä. Liittymissopimuksen tekee aina kiinteistön omistaja. Kiinteistökauppojen yhteydessä liittymä yleensä siirtyy uudelle omistajalle. Sähköliittymällä voi olla kiinteistön mukaan joko ainoastaan yksi tai useampiakin käyttöpaikkoja, kuten esim. kerros- ja rivitaloissa. Sähkönkäyttäjänä kiinteistön omistaja tai vuokralainen tekee käyttöpaikalle sähkönmyynti- ja verkkosopimuksen. (KSOY, 2022)

Yleensä energiayhtiön kanssa tehdyn sähkönmyyntisopimuksen mukana tulee myös verkkosopimus, jolloin tarvittavat tiedot siirtyvät automaattisesti energianmyyntiyhtiöltä jakeluverkkoyhtiölle. Jokaisella käyttöpaikalla on oma sähkömittari, jonka mittaustietojen perusteella molemmat yhtiöt laskuttavat asiakkaalta käytetyn sähkönenergian. Tätä eri kohteista kerättyä mittaustietoa käytetään tutkimuksen lähtötietona kuvaamaan kiinteistöissä jo pohjalla olevaa sähkökuormitusta. Liittymän ja käyttöpaikan etusulakkeiden koko määrittelee niiden kautta saatavan suurimman mahdollisen sähkötehon. Mittaustiedosta löytyneiden tuntikeskitehojen huippuarvoja ja sulakkeiden rajoittamia sähkötehoja vertailemalla on käyttöpaikan ja liittymän kuormitusvaran (kuormituskerroin) suuruusluokka määritettävissä. Em. tavalla tehty määrittely ei anna valmista arvoa kuormitusvaralle, vaan ennen lopullisen arvon määrytymistä on vielä arvioitava mitoitusvaikuttavia tekijöitä.

Tuntikeskiteho ei tuo esille tunnin sisällä tehossa tapahtuvia vaihteluja. Hetkittäin teho voi olla paljonkin suurempaa kulutuksen lopulta tasoittuessa tunnin pituisena aikana keskiarvoa vastaavaan tehon arvoon. Yksinkertaistettuna tunnin pituinen kuormitus voi esimerkiksi olla 30 minuutin ajan 50 % mitattua tuntikeskitehon huippuarvoa suurempaa ja toisen 30 minuutin ajan vastaavan verran pienempää. Jos latauskuorma mitoitetaan vastaten täysimääräisesti tuntikeskitehon mukaan määritettyä kuormitusvaraa, on käyttöpaikan sähköverkkoa suojaavan pääsulakkeen toiminta ensimmäisen puolen tunnin aikana todennäköistä. Jos kuormitusvara osoittautuu jo ensimmäisten arvioiden mukaan niukaksi, niin on suositeltavaa varmistaa eri vaiheiden sähkötehon piikikkyys kohteesta suuren kulutuksen aikana.

Tuntikeskitehosta ei voi päätellä käyttöpaikan eri vaiheiden välisiä kuormituseroja, eli vaihevirratt eivät välttämättä ole yhtä suuria. Kuormitus voi olla epäsymmetristä (vinokuorma). Huonoimmillaan pelkästään tuntikeskitehon mukaan mitoitettu latauskuormituksen lisäys tuottaa tällöin eniten kuormitetun ylivirtasuojan katkaisun. Kuormituksen epäsymmetria voidaan todeta kohteessa tehdyin mittauksin ja tilanne voidaan korjata ryhmittelemällä kuormitukset tasaisemmin eri vaiheille. Vinokuormituksen epäsymmetrialle on olemassa ohjeellinen raja-arvo. Vaiheen virta saisi poiketa enintään 10 % vaihevirtojen keskiarvosta (ST 52.51.04, 2006).

Kiinteistössä voi olla turvajärjestelmiä, jotka vaativat reservitehoja. Turvallisuusjärjestelmille on jätettävä omat tehoreservit, siten ettei esimerkiksi savunpoistopuhaltimien käynnistymisvarmuus ole kiinni latausjärjestelmän kuormituksen ohjauksen toiminnasta (ST-käsikirja 41, 2019).

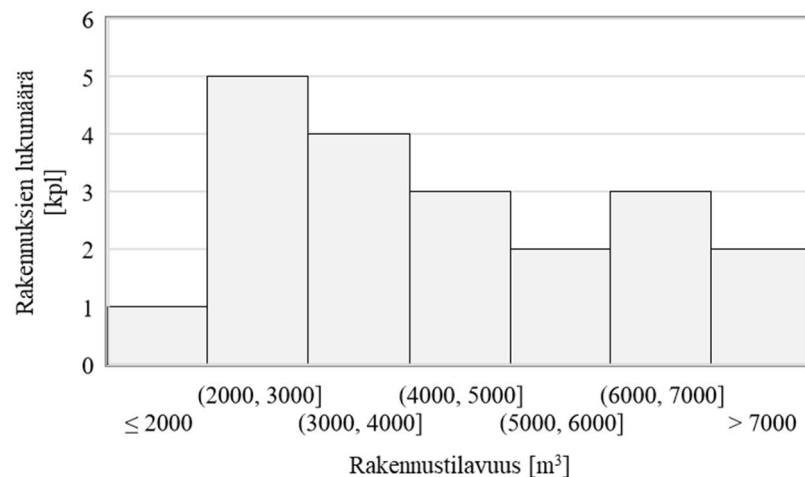
Sähkön jakeluverkkoyhtiöllä ei välttämättä ole viimeisintä tietoa minkä kokoiset etusulakkeet käyttöpaikalla todellisuudessa on. Sulakkeen kokotietoa käytetään kuormitusrajan määrittämisessä ja tarvittaessa käytössä olevien sulakkeiden koko tieto on tarkastettava kohdekäynnin yhteydessä.

Rakennusten sähkön kulutustiedot ovat saatavissa jakeluverkkoyhtiöltä. Lahden jakelualueella LE Sähköverkko Oy luovuttaa kulutusten tuntikeskitehot kuluttajille. Kulutustiedot ovat haettavissa OmaWatti-palvelun kautta (LE, 2022). Lisäksi jakeluverkkoyhtiöltä on saatavissa liittymän koko, liittymiskaapelin tiedot, sekä tehokuvaaja vuoden ajalta. Näiden tietojen saanti edellyttää erillisen tilauksen tekemistä. EU:n tietosuojasetuksen takia tilauksen mukana tulee olla myös valtakirja liittymien ja käyttöpaikkojen omistajilta tietojen sallitusta luovutuksesta. Koko kiinteistön sähkötehon rajana on kiinteistön liittymä, eli jakeluverkkoyhtiön mitoittamat liittymän sulakkeet. Kiinteistön sähköpääkeskuksesta sähkö jaetaan liittymän eri sähkökäyttöpaikoille. Sähköverkon jakaantuessa käyttöpaikoille on niillä jokaisella omat etusulakkeet, johon verkkopalvelun perusmaksu osittain pohjautuu. Etusulakkeen koon muutoksesta on neuvoteltava myös jakeluyhtiön kanssa erikseen. Useimmiten käyttöpaikan sulakekoko voidaan hiukan suurentaa liittymän sulakekoko vasten selektiivisyyden säilyminen huomioiden. Mikäli liittymän sulakekoko joudutaan kasvattamaan, niin liittymän ja mahdollisesti julkisen jakeluverkon osien vahvistaminen tuottaa kalliin toimenpiteen.

Rakennusten taustakuormien tutkimukset jaetaan kolmeen yhtä suureen tarkasteluryhmään: päiväkot-, koulu- ja muut rakennukset-ryhmään. Ryhmään on valittu rakennukset, joista löytyy täyden kolmen vuoden pituiset sähkökulutuksen tuntisarjat vuosilta 2018–2021. Tutkimuksen ulkopuolelle ovat jääneet Tilakeskuksen rakennuskannan kiinteistöt, jotka ovat olleet em. aikaa lyhemmin käytössä (esim. uudet kohteet), olleet tuona aikana peruskorjauksessa tai muutoin sähkön kulutuksensa puolesta selkeästi vajaakäyttöisinä.

4.1.1 Päiväkodit

Tutkimukseen valittiin päiväkoteja, joista on saatavissa AMR-mittarien kulutustiedot yhtenäiseltä kolmen vuoden ajalta ilman remonttien tai muiden vastaavien seisakkien aiheuttamia häiriötekijöitä. Päiväkoteja valikoitui yhteensä 20 kpl. Päiväkotien rakennustilavuuksien jakauma on nähtävissä kuvassa 4.1.

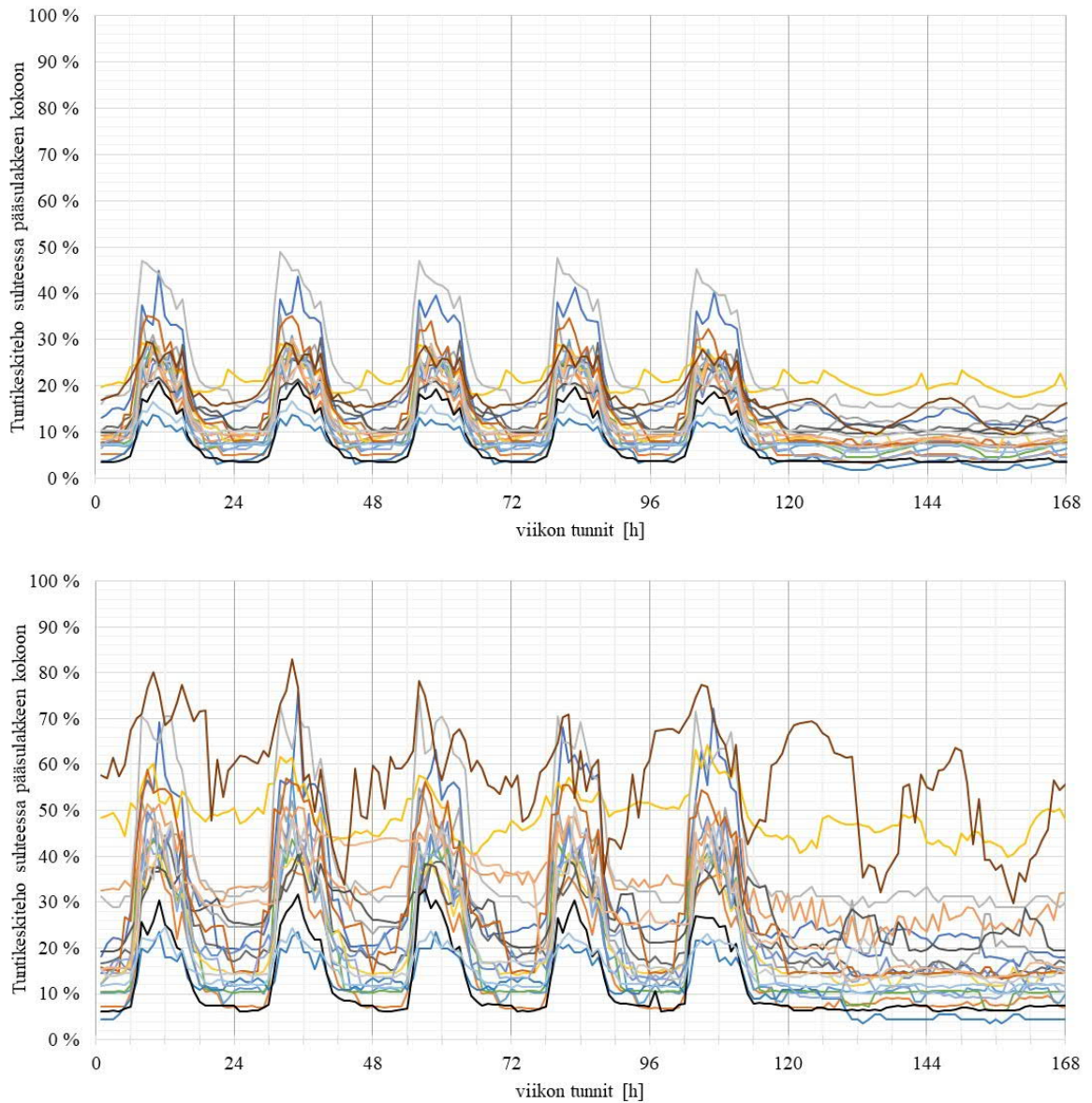


Kuva 4.1. Päiväkotien (20 kpl) rakennustilavuuksien jakauma.

Päiväkotien rakennustilavuuksien vaihteluväli on noin 2000–15000 m³. Päiväkotien tilojen ja käyttöveden lämpöenergia tuotetaan useimmiten kaukolämmöllä (17 kpl), mutta joukossa on myös biomassakattiloilla ja sähköllä lämpeneviä rakennuksia.

Kiinteistöverkkojen kuormitettavuutta voidaan tarkastella vertailemalla sähkön käyttöpaikkojen toteutuneita tuntikeskitehojen huippuarvoja verkkoa suojaavien sulakkeiden nimellisarvoihin. Tämän tyyppinen kuormitettavuuden tarkastelu ei kuitenkaan paljasta ylempänä syöttävässä sähköverkossa olevaa kuormitustilannetta ja jakeluverkon mitoituksessa käytetyt tasauskertoimet voivat tuottaa yllätyksiä samoihin aikoihin tahdistuvien verkon huippukuormitusten lisääntyessä.

Kuvassa 4.2 on esitetty päiväkotien sähkönkuormitus suhteessa pääsulakkeeseen, eli kuormituskertoimet tunneittain viikon ajalta. Kuvaan on kerätty Lahden 20 eri päiväkodilta tuntikeskitehojen keskiarvot ja huippuarvot kolmen vuoden ajalta ja koottu tunneittain viikonpäiville.

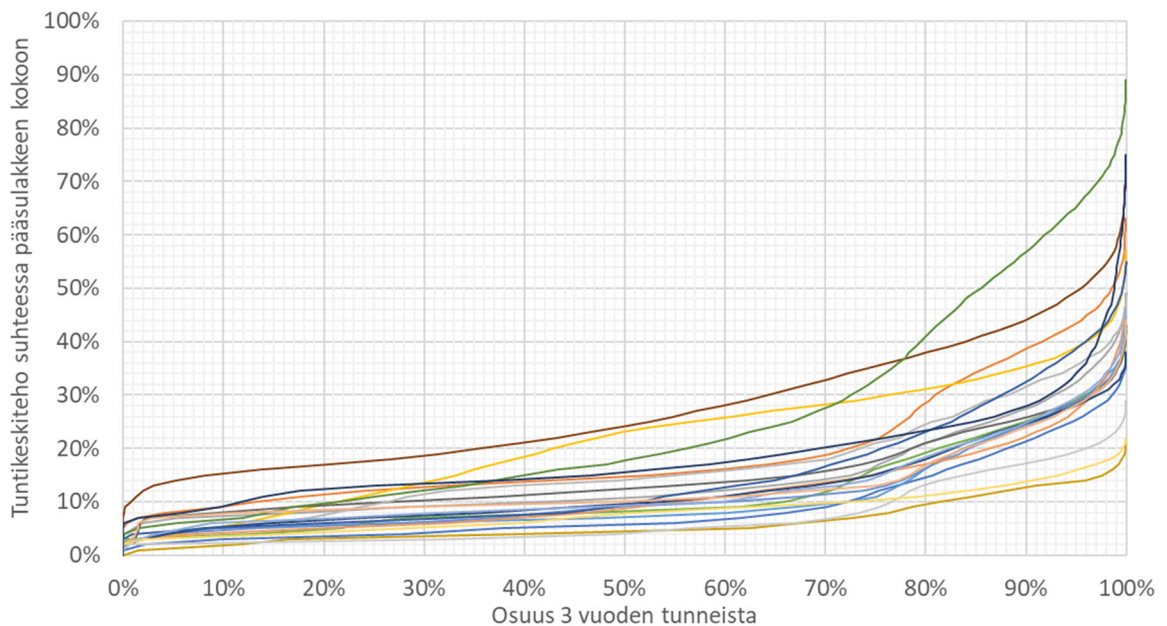


Kuva 4.2. Tuntikeskitehon suhde sähkökäyttöpaikkojen pääsulakekokoon eräissä Lahden kaupungin päiväkotikiinteistöissä (20 kpl). Ylempässä kuvassa on kohteista mitatut tuntikeskitehojen keskiarvot suhteessa sulakekokoon. Alemmassa kuvassa kolmen vuoden ajanjaksolta löytyneiden tuntikeskitehojen huippuarvot suhteessa sulakekokoon.

Ylemmän kuvan kuormitustiedot on saatu, kun kolmen vuoden ajalta kerätyt tuntikeskitehot luokitellaan viikonpäivien jokaiselle tunnille ja muodostuvista 168 eri luokasta lasketaan jokaiselle keskiarvo. Pääsulakkeeseen suhteutettu arvo saadaan, kun jokaisen tunnin keskiarvoteho jaetaan sulakkeen nimellisteholla. Alemman kuvan kuormitustiedot on saatu vastaavasti valitsemalla kustakin 168 luokasta kolmen vuoden aikana suurimman sähkötehon omaava kuormitus ja jakamalla sulakekoolla. Päiväkotien 168 kuormitusarvoa

on koottu yhteiseen kuvaan, jolloin päiväkotien kuormitusten eroavuudet ovat nähtävissä eri viikon päivinä. Arkipäivät erottuvat kuvaajista selvästi, kuten kohteet, joissa on rakennuksen pääasiallisena lämmitysmuotona sähkö. Myös vuoropäiväkodit ja pitemmän käyttöajan omaavat kohteet erottautuvat massasta. Rakennusten huippukulutukset sijoittuvat arkipäiville ajoittuen kello 8–16 väliselle ajalle. Tämän jälkeen tuntikeskiteho laskee, päiväkotien iltakäyttö on sähkönkulutuksen perusteella vähäistä. Vaikka päiväkotirakennusten osalta näyttäisi sähköautojen lataukselle jäävän hyvin kuormitusvajoja suhteellisen tarkastelun perusteella, niin osalla absoluuttisen tehon määrää on kuitenkin hyvin vähän n. 10 kW jäljellä. Osa päiväkotirakennuksista on kooltaan varsin pienehköjä, jolloin niiden pääsulakkeiden koko ja jäljelle jäävä kuormitusvara kilowatteina ovat myös pieniä.

Kuvassa 4.3 on esitetty samojen 20 päiväkodin tuntikeskitehojen pysyvyyskäyrät vastaavalla kolmen vuoden ajalta. X-akselilla on tuntien kertymät ja y-akselilla on kyseistä tuntiosuutta vastaavan kuormitus suhteessa pääsulakkeisiin.

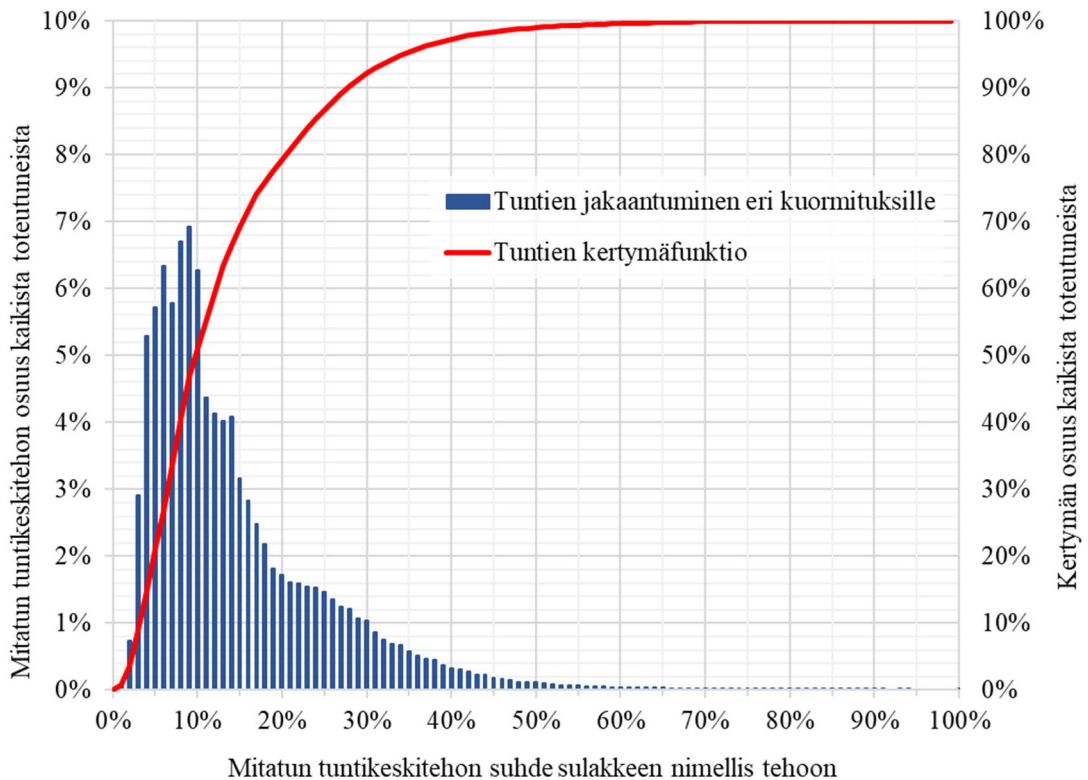


Kuva 4.3. Päiväkotien (20 kpl) sähkönkulutuksen pysyvyyskäyrät kolmen vuoden ajalta (n = 26301).

Enimmäkseen rakennusten kuormitus on ollut vähäistä. Suurimman osan kolmen vuoden ajanjaksosta kaikkien päiväkotien sähkönkulutus on ollut alle neljäsosan pääsulakkeiden

rajoittamasta maksimitehosta. Kaikki päiväkodit olleet 95 % ajasta enintään 66 % teholla suhteessa pääsulakkeisiin ja 99 % ajasta alle 80 % kuormitusasteen.

Yhden päiväkodin kuormituksen jakauma tehon suhteen saadaan, kun pääsulakkeen nimellisteho jaetaan ensin 1 % kokoisiin luokkiin. Tämän jälkeen lasketaan jokaiseen luokkaan kertyneiden tuntikeskitehojen lukumäärät yhteen ja lopuksi muutetaan lukumäärät suhdeluvuksi, niin saadaan yhden päiväkodin kuormituksen jakauma tehon suhteen. Otettaessa edellä mainittujen päiväkotien kolmen vuoden tuntikeskitehojen jakaumasta keskiarvo saadaan kuvan 4.4 mukainen esiintymistiheyden histogrammi tehokertymistä ja sijoittumisesta kuormitustehon suhteen.



Kuva 4.4. Päiväkoteja on yhteensä 20 kpl, kuormituksen keskiarvon jakaantuminen ja kerääntymisfunktio (n = 26301).

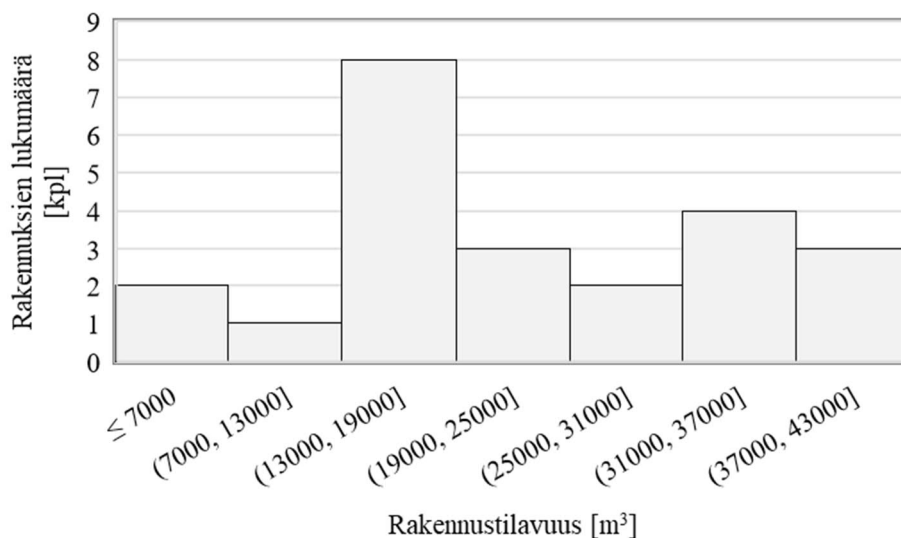
Yksi otos on ajallisesti yhden tunnin pituinen. Siniset palkit kuvaavat kuinka monta prosenttia tuntikeskitehoista sijoittuu aina tietylle kuormitustasolle. Kaikkein eniten päiväkotien keskiarvotehoja on sijoittunut kuormitustehon suuruudelle, joka vastaa 9 % pääsulakkeiden nimellistehoa. Kaikista tapauksista noin 7 % asettuu tämän teholuokan

sisälle. Jakauma on muodoltaan huipukas ($g_2=0,6$) ja voimakkaasti oikealle vino ($g_1=1,2$) vaihteluvälin ollessa 99 % (1–100 %). Kaavion punainen viiva kuvaa otoksien kertymää, kertoen kuinka suuri suhteellinen osuus tapauksista on jo kumuloitunut, kun X-akselilta valitaan haluttu kuormitusteho.

Kuvasta nähdään, että suurimman osan aikaa päiväkotien keskimääräisestä kuormituksesta on hyvin vähäistä. Kuormitustehojen keskiarvojen enemmistö asettuu pienemmän tehon alueelle kuvan vasempaan reunaan. Keskiarvojen kaikista tapauksista 95 % on asettunut alle 35 % kuormitusasteen ja 99 % tunneista on alle 51 % kuormitusasteen. Tämän suhteellisen tarkastelun perusteella keskimäärin päiväkodeissa pitäisi olla hyvin kuormitusvaraa myös sähköautojen latauksille huomioiden kuitenkin latauksia rajoittava pienempien kohteiden liittymäkoko. Kaikkein pienemmissä päiväkodeissa pääsulakkeiden koko on ainoastaan 63 A. Näissä kohteissa 11 kW ja suurempien latauspisteiden lisääminen on rajoitettua ja kapasiteettitarkastelu on tehtävä tapauskohtaisesti.

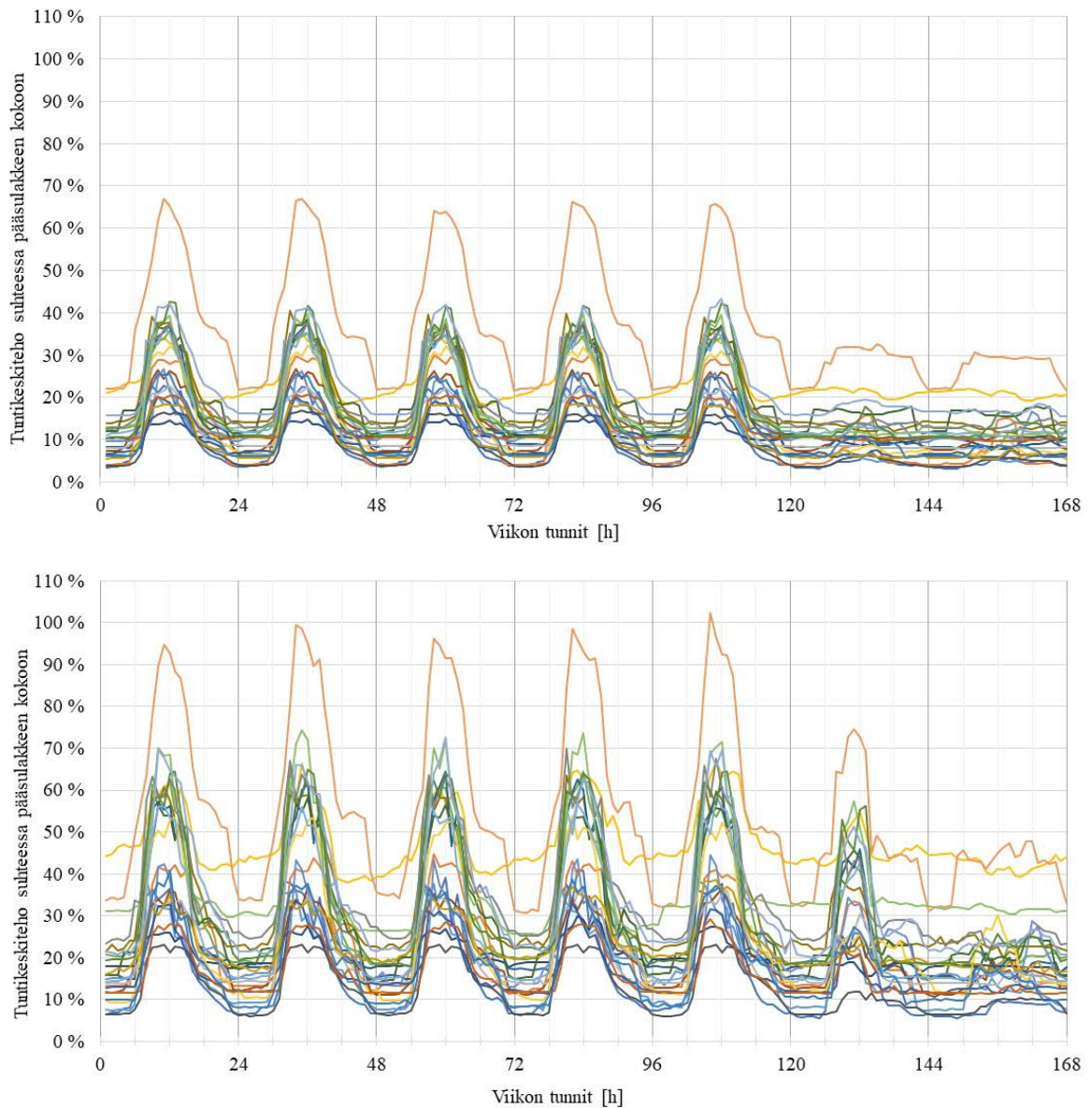
4.1.2 Koulut

Koulujen sähköliittymäkoot ovat pääsääntöisesti isompia kuin päiväkodeissa, sähköautojen lataukselle löytyy paremmin liittymästä kapasiteettia. Kuten edellisessä luvussa 4.1.1 esitettiin päiväkodin kulutuksia, niin seuraavassa kulutustietoja tarkastellaan vastaavasti Lahden koulurakennuksiin lukeutuvista kohteista. Koulujen rakennustilavuuksien jakauma on nähtävissä kuvassa 4.5.



Kuva 4.5. Koulurakennuksien (24 kpl) rakennustilavuuksien jakauma

Tarkasteltavien koulurakennuksien rakennustilavuudet ovat noin 6000–43000 m³. Mukana ovat myös muutama monitoimitalo, joissa on koulun lisäksi myös päiväkotia, kirjasto- ja terveydenhoitopalveluita, sekä iltaisin ja viikonloppuisin yhteisöllisyyttä tukevaa harrastustoimintaa. Kuvassa 4.6 on esitetty koulurakennuksien sähkönkuormitus suhteessa pääsulakkeeseen tunneittain viikon ajalta.

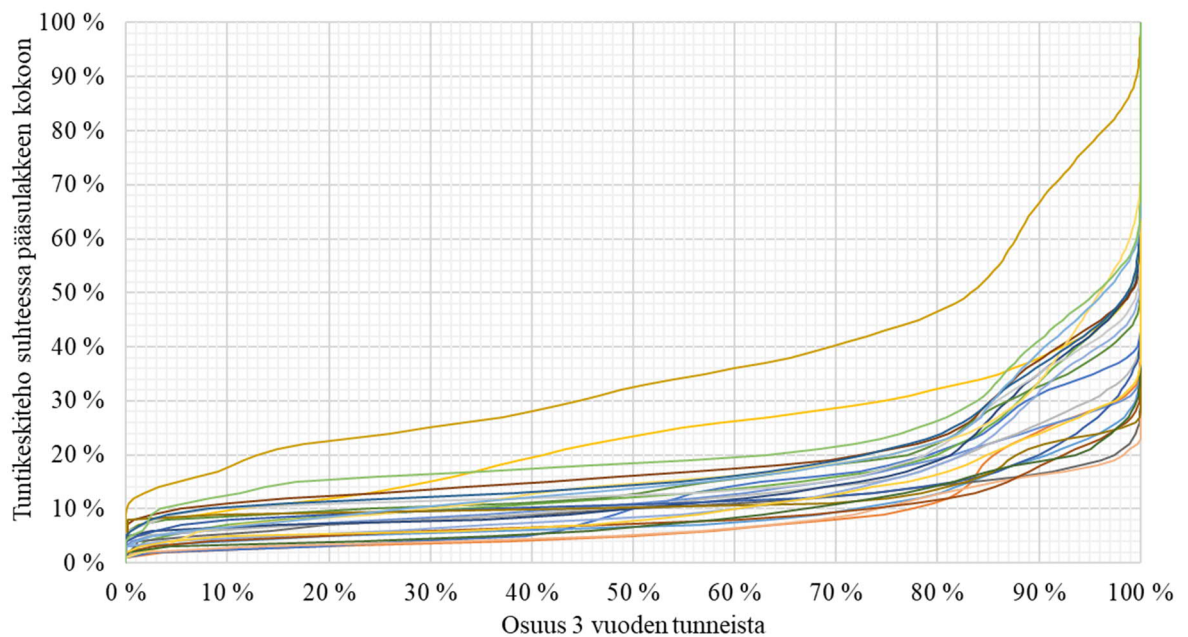


Kuva 4.6. Tuntikeskitehon suhde sähkökäyttöpaikkojen pääsulakekokoon eräissä Lahden kaupungin koulukiinteistöissä (24 kpl). Ylemmässä kuvassa on kohteista mitatut tuntikeskitehojen keskiarvot suhteessa sulakekokoon, ja alemmassa kuvassa tuntikeskitehojen huippuarvot suhteessa sulakekokoon.

Kuvaan on kerätty 24 eri koulurakennuksen tuntikeskitehojen keskiarvot ja huippuarvot kolmen vuoden ajalta ja koottu tunneittain viikonpäiville. Viikon tuntikeskitehokuvaajasta

erottuu sähkökulutuksensa puolesta koulurakennus, jossa osa opiskelijoista on siirtynyt tilapäisesti pihassa olevaan sähkölämmitteiseen väistötilaan. Tämän sähköliittymän kuormitusaste poikkeaa varsinkin arkipäivisin muiden kohteiden kuormitustasoista, ja on yltänyt jopa pääsulakkeiden nimellisteholle kolmen vuoden tarkastelujakson aikana. Muilla koulurakennuksilla kuormituskapasiteettia on vielä hyvin jäljellä. Ylemmän kuvan mukaan kuormituskapasiteettia on keskimäärin 60 % jäljellä ja alemman kuvan huipputehojen aikana noin 30 % jäljellä.

Myös koulujen kuormitus on ollut suurimman osan aikaa hyvin vähäistä. Kuvassa 4.7 on nähtävissä edellä tarkasteltujen 24 koulurakennuksen tuntikeskitehojen pysyvyyskäyrät vastaavalta kolmen vuoden ajalta.

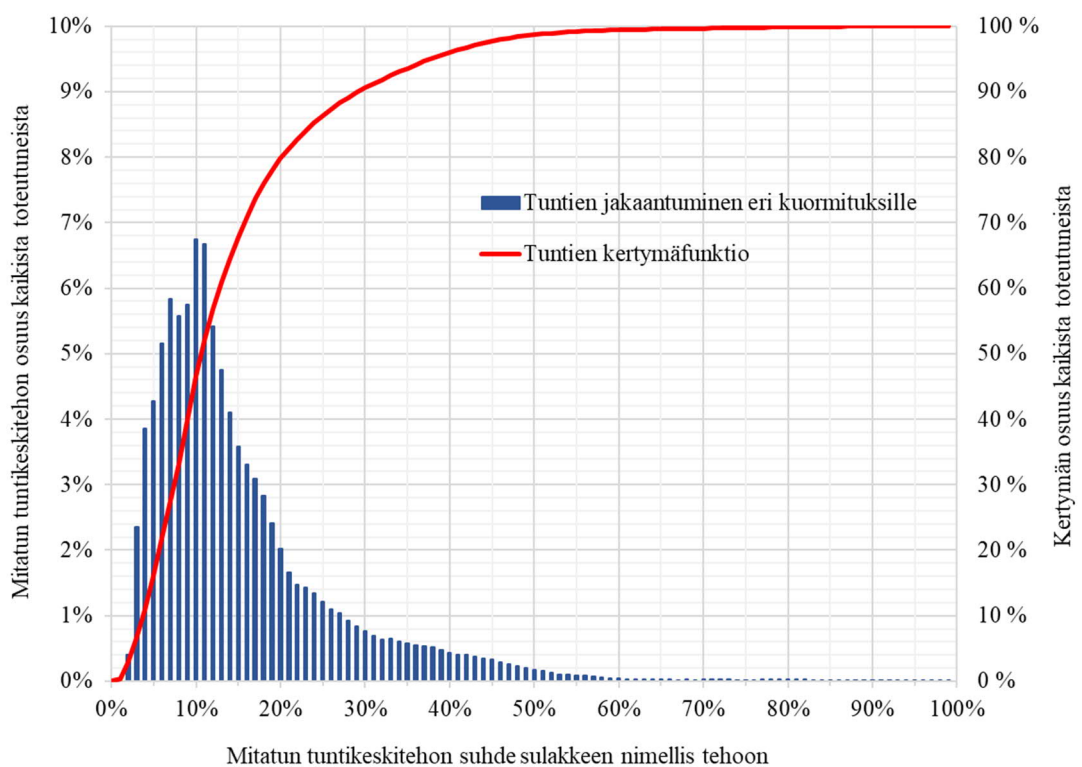


Kuva 4.7. Koulurakennuksien (24 kpl) sähkökulutuksen pysyvyyskäyrät kolmen vuoden ajalta (n = 26301).

Mikäli edellä mainittu tilapäisen väistötilan kohde jätetään tarkastelun ulkopuolelle, niin kaikkien muiden koulujen käyttämä tuntikeskiteho on ollut $\frac{2}{3}$ ajasta alle 30 % suhteessa liittymän kuormitusvaraan. Koulut ovat olleet 95 % ajasta enintään 50 % teholla suhteessa pääsulakkeisiin ja 99 % ajasta alle 62 %. Tarkastelun perusteella tuntikeskitehojen jakautumiskäyrät eri tunneille ovat yhtä em. poikkeusta lukuun ottamatta saman muotoisia. Kulutuksen muutokset ovat hyvin maltillisia 80 % tarkasteluajasta. Kulutus kasvaa huippuunsa jäljelle jäävän 20 % aikana, jolloin kasvu on koulurakennuksesta riippuen noin

10–50 %. Kuvista 4.6 ja 4.7 nähdään, että tällöinkin kouluilla on kuormituskapasiteettia jäljellä vähintään $\frac{1}{4}$. Näitä tietoja voidaan käyttää apuna arvioidessa eri kuormanhallintatapojen kannattavuuksia.

Kuvassa 4.8 on koulurakennuksien tuntikeskitehojen esiintymistiheyden histogrammi. Siniset palkit kuvaavat kuinka monta prosenttia tuntikeskitehoista sijoittuu aina tietylle kuormitustasolle. Jakauma on muodoltaan samanlainen kuin päiväkodeillakin.



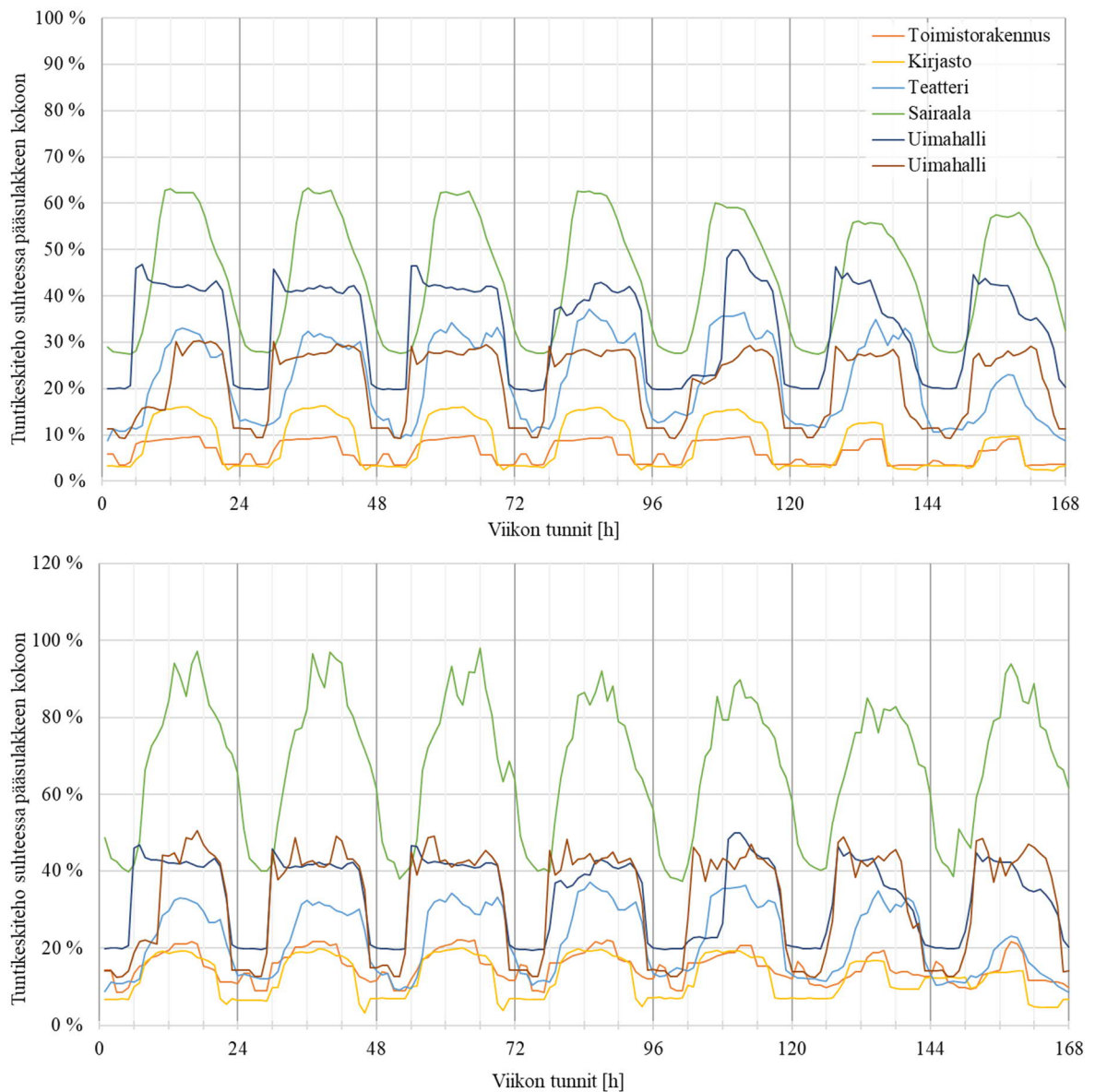
Kuva 4.8. Kouluja on yhteensä 24 kpl, kuormitusten keskiarvon jakaantuminen ja kerääntymisfunktio ($n = 26301$).

Kaikkein eniten koulurakennuksien keskiarvotehoja on sijoittunut kuormitustehon suuruudelle, joka vastaa 10 % ja 11 % pääsulakkeiden nimellistehoja. Kaikista tapauksista noin 6,7 % asettuu tämän teholuokan sisälle. Jakauma on huipukas ($g_2=0,3$) ja voimakkaasti oikealle vino ($g_1=1,1$) vaihteluvälin ollessa 98 % (1–99 %).

4.1.3 Muut toimitilarakennukset

Tähän ryhmään on kerätty muutamia toiminnoiltaan toisistaan eroavia toimitila- ja palvelurakennuksia vertailuja varten. Ryhmässä on kaksi uimahallia, toimisto-, sairaala-, teatteri- ja kirjastorakennus.

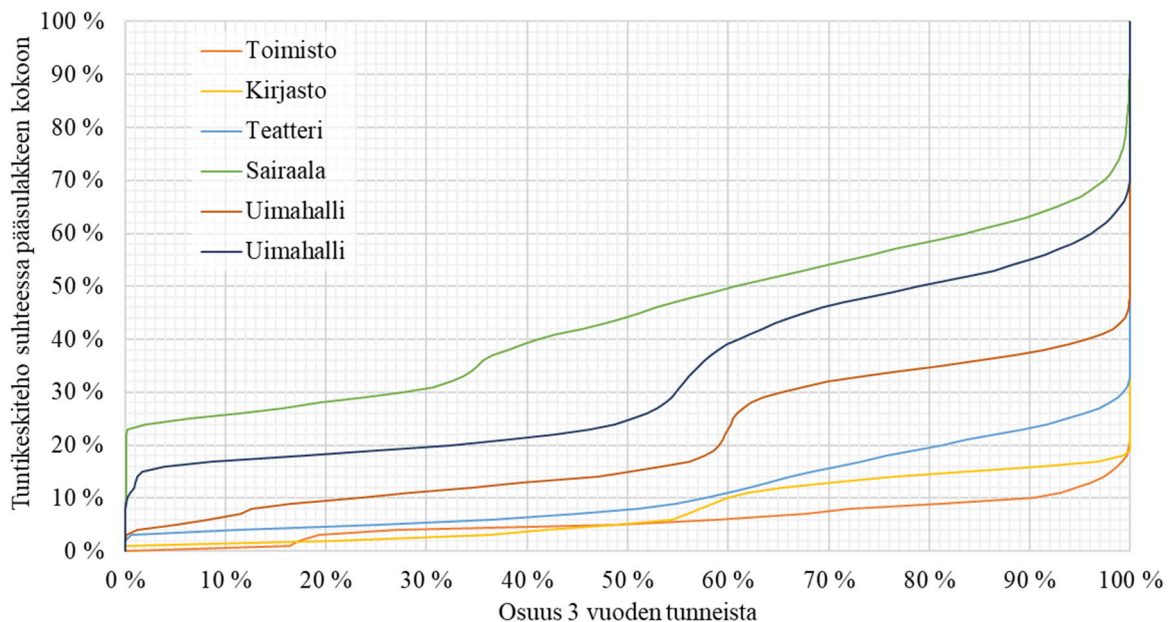
Kuvassa 4.9 on esitetty edellisten kohtien mukaisesti rakennuksien sähkökuormitusta suhteessa pääsulakkeeseen tunneittain viikon ajalta.



Kuva 4.9. Rakennusten tuntikeskitehon suhte sähkökäyttöpaikkojen pääsulakekokoon. Ylemmässä kuvassa on kohteista mitatut tuntikeskitehojen keskiarvot suhteessa sulakekokoon, ja alemmassa kuvassa tuntikeskitehojen huippuarvot suhteessa sulakekokoon.

Tämän ryhmän lauantai ja sunnuntai päivien sähkön kulutukset eivät juurikaan poikkea arkipäivien kulutuksista. Toimistorakennukselle näin korkea käyttöaste myös viikonloppuisin on poikkeavaa. Sairaalarakennuksen kuormituskerroin on selkeästi korkein. Vaikka sairaala on toiminnassa ympäri vuorokauden, niin silti kulutuksessa on voimakas vuorokausivaihtelu. Uimahallien aamu alkaa kulutuspiikillä, mutta muutoin kulutus on koko päivän tasaista klo 6–21 välillä. Toisella uimahallilla on allaslaitteiden huolto maanantai- ja toisella torstai-aamuisin. Teatterin toiminta käynnistyy aamupäivällä jatkuen aina klo 21 saakka. Toimistorakennuksessa tilojen käyttöaika on näistä selkeästi lyhyin, sillä sähkönkulutus vähenee selkeästi klo 17 jälkeen. Kirjaston huippukulutus on klo 14–15 aikoihin. Pääsääntöisesti ryhmän kulutushuiput ovat muutamia tunteja myöhemmin kuin edellä tarkastelluilla koulu- ja päiväkotirakennuksilla.

Kuvassa 4.10 on nähtävissä edellä tarkasteltujen kuuden palvelurakennuksen tuntikeskitehojen pysyvyyskäyrät kolmen vuoden ajalta. Huippukuormitukset ovat harvinaisia. Luottamusasteen ollessa 95 % pääsulakkeiden kuormitusasteet ovat olleet kaikilla alle 70 %.



Kuva 4.10. Rakennuksien sähkönkulutuksen pysyvyyskäyrät kolmen vuoden ajalta (n = 26301).

Osa pysyvyyskäyristä taipuu mutkille kuvan keskellä. Näiden tehonarvojen ajalliset kertymät jäävät vähäisiksi suhteessa taipumien molemmilla puolilla oleviin tehoalueisiin. Näillä rakennuksilla ei ole tehojakautumassa yhtä selkeää huippua, vaan keskellä on tehoalue,

jolle tuntien kerääntymät ovat jääneet vähäisemmiksi. Käyttöpaikkojen tehojakaumassa on notkahdus juuri tehoalueen mutkien kohdilla. Esimerkiksi uimahalleilla on aukioloaikoina normaalikäytön korkeampi kulutustaso vedenkäsittelyprosessien, ilmanvaihdon ja valaistuksen ollessa suuremmalla käyttöasteella. Uimahallin aukioloaikojen mukaan tälle kulutustasolle kerääntyy suhteessa paljon tunteja. Toinen merkittävä tehoalue, jolle kerääntyy paljon tunteja, on yöajan pienempi kulutustaso. Uimahallin automaatio ohjaa sähkön kulutuslaitteita nopeasti näiden kahden toiminta-alueen välillä käyttöasteesta toiseen, jolloin tehojen välialueelle ei kerääny paljon tunteja. Välialue näkyy tehojakaumassa notkahduksena ja pysyvyyskäyrässä mutkana.

4.1.4 Yhteenveto eri kiinteistöryhmien taustakuormista

AMR-mittaustiedon perusteella kiinteistöiltä saatavaa kiinteää tasasuuruista lataustehoa rajoittaa ennen kaikkea aamu- ja keskipäivien tunnit. Näin ollen latauskapasiteetin tarkastelut tulee kohdentaa juuri samoille ajan hetkille, kun suurin samanaikainen lataustarve asettuu työpäivän ensimmäisille tunneille. Varsinkin toimisto, koulu- ja päiväkotirakennuksissa työajan klo 16–17 jälkeen kiinteistöjen sähkön kulutus laskee jyrkästi sisätilojen valaistuksen ja ilmanvaihdon, sekä muun käyttäjälaitteiden käyttöasteen vähentyessä. Näiden rakennusten sähkön kulutus ja kuormitusaste ovat iltakäytön tunteina selkeästi keskipäivän tunteja vähäisempää. Koko sähköliittymän tehoa mittaavan ja lataustehoa dynaamisesti säätävän latausaseman avulla tätä iltaisin kasvavaa kuormitusvaraa voidaan paremmin hyödyntää lataustapahtumissa.

5 SÄHKÖAUTOJEN LATAUS

Sähköajoneuvojen latausjärjestelmää suunniteltaessa on tarpeellista pohtia, millaista pysäköintikäyttäytyminen on eri kohteissa nyt, sekä seuraavan 10–20 vuoden aikana, ja suunnitella latausjärjestelmä sen mukaisesti. On tiedettävä tarvittavien latauspisteiden lukumäärä eri kohteissa. Sähköautojen lataustarpeet saattavat poiketa paljonkin eri käyttäjäryhmillä. Joillekin sähköauton latausnopeus on äärimmäisen tärkeä ominaisuus, kun suurimmalle osalle riittää pienempi latausteho.

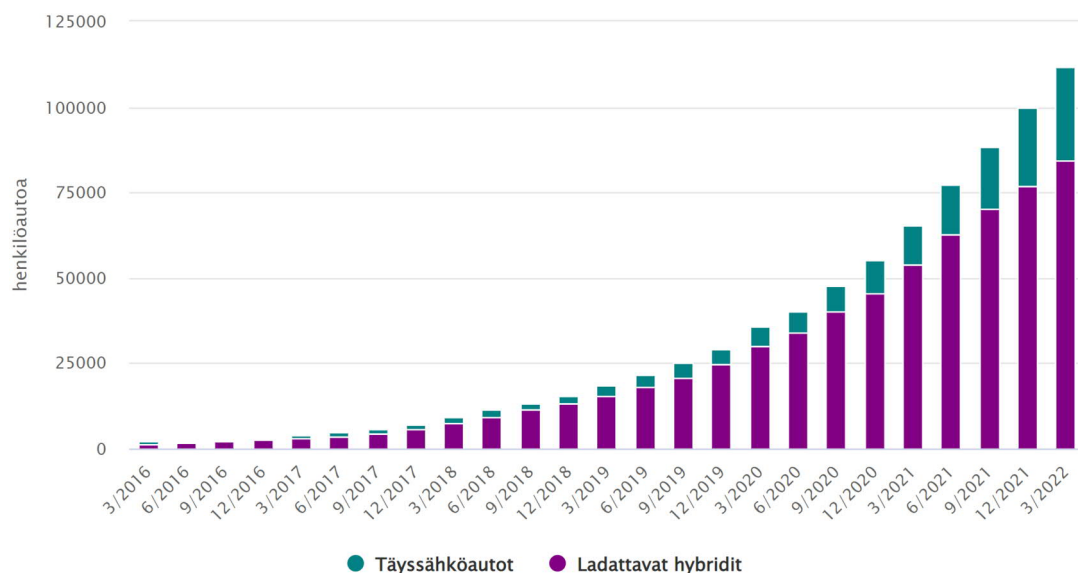
Asennettaessa liian tehokkaita latausasemia jäljellä oleva sähköliittymän tehokapasiteetti ja investointivara kuluu nopeasti ja johtaa vähempään latauspisteiden lukumäärään. Latausjärjestelmän mitoittaminen on teknistaloudelliseen optimointitehtävä, joka sisältää arvioita tulevista käyttäjäryhmistä. Latausjärjestelmien tehon tarve ja energian kulutus riippuu siitä, kenelle kaikille latausmahdollisuutta tarjotaan ja kuinka monta latauspistettä tarvitaan. Tarvittaessa käyttäjäryhmien koolta ja käyttöoikeuden ajoittamisella kyetään rajoittamaan sähköverkon kuormitusta tehokkaasti. Suositeltavampaa on kuitenkin ensisijaisesti valita latausjärjestelmä älykkäällä kuormanohjauksella.

Nykyiset lataustottumukset, sekä nyt tehtävät arvioit lataustapahtumista saattavat poiketa paljonkin myöhemmin toteutuvista. Esim. ensimmäisten joukossa sähköajoneuvon hankkineet henkilöt voivat tottuksiltaan erota paljonkin siitä lukumääräisesti merkittävämmästä joukosta, joka myöhemmin hankkii suurissa määrissä sähköajoneuvon. Nyt olevaa latauskäyttäytymistä ei voi suoraan olettaa vastaavan myöhemmin tulevien suurempien massojen käyttäytymistä. Käyttäjien ja heidän lataustapojen kirjo on varmastikin arveltua suurempaa.

5.1 Sähköautojen osuus autokannasta, ennusteet tulevista lukumääristä

Manner-Suomessa on liikennekäytössä kaikkiaan n. 2,8 miljoonaa henkilöautoa. Suomessa ostetaan vuosittain noin 100 000–120 000 uutta autoa (Liikennefakta, 2022). Käytettynä maahan on tuotu kolmen viimeisen vuoden aikana suurin piirtein 45 000 henkilöautoa vuosittain. Nämä uudistavat olemassa olevaa autokantaa. Sähkökäyttöisten henkilöautojen osalta ajoneuvokanta on jatkanut voimakasta kasvuaan. Siirtymistä sähkökulkuneuvoihin on kiihdytetty kannustein muun muassa väliaikaisella henkilöverotukseen myönnetyllä luontaisedulla. Sähköauton latausetu työpaikalla ja julkisissa latauspisteissä on verovapaata

vuosina 2021–2025 (Vero, 2020). Liikennekäytössä olevien sähkökäyttöisten autojen lukumäärä onkin viime vuosien aikana lähes 2-kertaistunut vuosittain. Liikennekäytössä olevien sähköajoneuvojen lukumäärien kasvu kvartaaleittain näkyy kuvassa 5.1.



Kuva 5.1. Liikennekäytössä olevat sähkökäyttöiset autot Suomessa. (Liikennefakta, 2022)

Täyssähköautojen määrä on viimeisen vuoden aikana yli kaksinkertaistunut ja ladattavien hybridien määrä kasvanut 57 % (Liikennefakta, 2022). Fossiilittoman liikenteen tiekartassa tavoitteita on päivitetty niin, että vuonna 2030 liikenteessä olisi noin 700 000 sähkökäyttöistä henkilöautoa, joista vähintään puolet on täyssähköautoja (LVM, 2021). Autoalan Tiedotuskeskuksen keräämä tilasto henkilöautojen ensirekisteröinneistä käyttövoimittain eri vuosina on esitettyinä taulukossa 5.1.

Taulukko 5.1. Eri käyttövoimien osuudet ensirekisteröinneistä vuosittain (Autoalan TK, 2022)

	Diesel	Bensiini	Ei-ladattava hybridi	Ladattava hybridi	Sähkö	CNG
2015	35,70 %	60,90 %	2,60 %	0,40 %	0,20 %	0,10 %
2016	33,20 %	61,60 %	3,90 %	1,00 %	0,20 %	0,10 %
2017	30,40 %	59,50 %	7,20 %	2,20 %	0,40 %	0,40 %
2018	23,80 %	60,60 %	9,80 %	4,10 %	0,60 %	1,00 %
2019	18,30 %	59,30 %	13,60 %	5,20 %	1,70 %	1,90 %
2020	13,25 %	47,29 %	19,42 %	13,72 %	4,40 %	1,91 %
2021	8,53 %	31,23 %	28,54 %	20,45 %	10,31 %	0,92 %
1-5/2022	6,84 %	26,19 %	33,16 %	20,01 %	13,32 %	0,44 %

Latauspisteitä käyttävien sähköautojen ja lataushybridien lukumäärä lisääntyy voimakkaasti. Ladattavien autojen osuus ensirekisteröidyistä oli vuonna 2021 jo yli 30 %. Vuoden 2022 ensimmäisten kuukausien aikana sähköajoneuvojen osuus on jatkanut kasvuaan. Taulukossa 5.2 on Traficomien tuottama tilasto vuosittain maahantuoduista käytetyistä henkilöautoista.

Taulukko 5.2. Käytettynä yksittäismaahantuodut henkilöautot käyttövoimittain ja käyttöönotto-vuosittain (Traficom, 2022)

			2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Henkilöautot yhteensä	Yhteensä	Yhteensä	19 047	21 862	24 711	29 374	39 690	45 914	43 904	45 367
		Bensiini	8 568	8 929	9 346	10 262	12 789	16 332	13 705	12 428
		Diesel	10 308	12 637	14 814	17 057	22 608	21 230	19 647	16 411
		Polttoöljy	-	-	-	-	-	-	-	1
		Sähkö	12	31	54	158	212	459	915	3 444
		Kaasu	-	-	-	-	2	1	-	1
		Nestekaasu (LPG)	-	-	1	2	2	3	-	-
		Maakaasu (CNG)	16	23	17	128	159	187	242	305
		Etanoli	-	2	1	-	-	-	-	-
		Bensiini/CNG	81	90	152	801	1 117	1 499	952	762
		Bensiini/Sähkö (ladattava hybridi)	14	68	196	676	2 127	4 991	7 742	10 859
		Bensiini/Etanoli	46	81	113	164	256	325	166	77
		Bensiini/LPG	2	1	-	2	4	2	2	4
		Diesel/Sähkö (ladattava hybridi)	-	-	17	122	409	885	533	1 075
	Muu	-	-	-	2	5	-	-	-	

Vuonna 2021 maahan tuoduista henkilöautoista jo noin 1/3 oli sähköautoja ja lataushybridejä. Trendin jatkuessa osuuden voi arvioida vielä kasvavan seuraavien vuosien aikana. Lukumääräistä kasvua hillitsee lopulta vuosittain uusiutuvien autojen rajallinen kokonaismäärä, joka on ollut suuruudeltaan n. 150 000 autoa/vuosi.

Mikäli osuuden kasvu jatkuu viimeisten vuosien mukaisena ja ladattavien autojen osuus olisi vuonna 2030 yli 60 %, niin valtioneuvoston asettama tavoitteena oleva 700 000 sähköä hyödyntävän henkilöauton määrä näyttäisi toteutuvan. Tällöin keskimäärin joka neljäs liikennekäytössä oleva henkilöauto olisi sähköverkosta ladattava kulkuneuvo. Päivittäin aktiivisessa käytössä olevista autoista ladattavien osuus olisi vielä tätäkin suurempi, mikä näkyisi kaupunkikatukuvassa ja ohjaisi latauspisteiden lukumäärätarpeita vieläkin

suuremmaksi julkisten rakennusten pysäköintipaikoilla. Esimerkiksi koulujen opettajat ovat ryhmänä valveutuneisuutensa ja taloudellisten mahdollisuuksiensaakin puolesta eturintamassa siirtymässä lataushybridien ja sähköautojen käyttäjiksi, joten koulujen pysäköintipaikoilla voi olettaa tarvitsevan keskimääräistä suuremman määrän latauspisteitä vuonna 2030. Rakennusten kiinteiden sähköasennusten eri käyttöikätaivoite on vähintään 15 vuotta. Nyt asennettavien latausjärjestelmien riittävyyden arviointia näin pitkän ajan päähän ei kyetä tekemään. On tehtävä parhaimpaan tietoon perustuva tarvekartoitus ensin ja sitten mitoitus tätä vasten, jotta yli-investoinneilta vältytään. Lisäksi on varmistettava valittujen latauspisteiden laajennettavuus ja skaalautuvuus lataustarpeiden muuttuessa, jotta turhia käyttönsä puolesta lyhytaikaisiksi jääviä laitteistoinvestointeja tehtäisiin mahdollisimman vähän.

5.2 Käyttäjärühmien ajosuoritteet

Vuonna 2016 Liikenneviraston suorittaman henkilöliikennetutkimuksen mukaan kotimaassa henkilöautolla kuljetuista yksittäisistä matkoista 93 % on enintään 50 km pitkiä. Keskimääräinen kertaluontoinen ajosuorite henkilöautolla on alle puolet tästä (HTL 2018). Päijät-Hämeessä autoilla kuljetaan yhden vuorokauden aikana keskimäärin noin 40 km (HTL, 2018d).

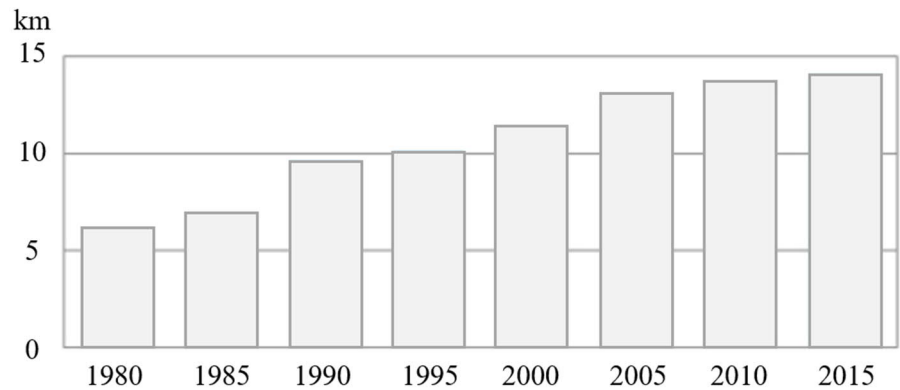
Toimitilakiinteistöjen pysäköintipaikkoja ja latauspisteitä käyttävät voidaan jaotella seuraaviin käyttäjäryhmiin:

- a) Työmatkalaiset
- b) Autoa työssä työpäivän aikana käyttävät.
- c) Tilojen iltakäyttäjät
- d) Eri kellon aikoina satunnaiset vierailijat

Työmatkalaiset

Työpaikoilla tapahtuva sähköautojen lataus poikkeaa asuinrakennuksien pysäköintipaikkojen latauksesta, samanaikaisten latauksien kertymä on suurempi. Esimerkiksi kerrostaloasukkaiden vuorokausirytmii hajaantuu tehokkaammin. Lataajien vuorokausirytmii ollessa lähellä toisiaan päällekkäisyyden esiintymiseen on syytä varautua. Ilman kuormanhallintaa latauksien samanaikaisuus korostuu arkiamuusin työpäivän

ensimmäisten tuntien aikana juuri autojen aloittaessa latauksen. Kodin ja työpaikan välisten työmatkojen keskimääräinen pituus on ollut 2000-luvulla noin 10–20 km yhteen suuntaan. Kuvassa 5.2 on Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) ilmoittama työmatkan pituus vuosilta 1980–2015.



Kuva 5.2. Työmatkan keskimääräinen pituus 1990–2015. Työmatkan keskipituudella tarkoitetaan yhdensuuntaista etäisyyttä asuinpaikan ja työpaikan välillä (linnuntie-etäisyys). Työmatkan keskipituus -tieto perustuu Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) Yhdyskuntarakenteen seurantajärjestelmään (YKR), johon Tilastokeskus on toimittanut tietoja. (YKR, 2018)

Työmatkojen pituus on ollut tuona aikavälillä kasvu-uralla. Tähän on syynä työssäkäyntialueiden laajentuminen, kaupunkiseutujen välisten työmatkojen lisääntyminen sekä työpaikkojen erikoistuminen (YKR 2018).

Henkilöliikennetutkimuksen tiedoista selviää, että kuljettajan henkilöautolla kulkema keskimääräinen työmatkan pituus Suomessa on noin 19 km, kun taas Päijät-Hämeessä työmatkan ja -ajan keskipituus on 17 km ja 25 minuuttia (HLT, 2018a; HLT, 2018d). Tutkimuksessa on tarkasteltu myös henkilöauton kuljettajan matkalle lähtö tunteja. Työmatkojen kestoajan perusteella suurin osa saapuu työpaikalle saman lähtötunnin aikana. Työt aloitetaan useimmiten tasatunnein ja akkujen latauksen voidaan olettaa alkavan juuri ennen tunnin vaihtumista. Työnantajaa ei voida ajatella velvoitettavan huolehtimaan työntekijän auton riittävästä latauskapasiteetista. Työnantaja voi kuitenkin tukea työntekijän siirtymää sähköiseen liikkumiseen järjestämällä pienempitehoisia latauspisteitä pysäköintipaikoille maltillisimmin kustannuksin.

Työmatkojen pituudet ovat verrattain lyhyitä ja tähän matkaan kulutettu energia kyetään työpäivän aikana lataamaan helposti takaisin akkuun. Hidaslatausta 3,7 kW teholla tarvitaan alle kaksi tuntia. Mikäli sähköauton akku ladataan pääosin yöaikoina työntekijän kotona täyteen varaustasoon, niin esimerkiksi työmatkalla syntynyt n. 3–5 kWh vajaus voidaan poistaa työpaikalla parin tunnin latauksen aikana.

Kun rajallinen liittymäteho huomioidaan, niin pienempi tehoiset latauspisteet luovat mahdollisuuden tarjota useamman latauspisteen kiinteistön pysäköintipaikalle. Tämä onkin toivottua, jotta mahdollisimman moni halukas voi töihin tullessaan liittää kulkuneuvonsa lataukseen. Työmatkan tuottaman pienen kapasiteettivajauksen vuoksi akun energiakapasiteetin merkittävyys on tarkasteluissa vähäisempi. Lisäksi latauksien kokonaistehon osalta kotiinlähtöaika ei ole yhtä merkittävä kuin pysäköinnin aloittamisen aika.

Nimellisteholtaan 3,7 kW latauspisteestä otettava latausteho vaihtelee käytetyn latausjohdon mukaan 1,8–3,7 kW välillä. Tällä teholla henkilöautoa ladattaessa yhden tunnin lataus vastaa noin 6–18 km ajomatkaa. Suuri kulutusvaihtelu johtuu autojen eroista ja ulko-olosuhteista. Talvella sähkön kulutus voi autolla olla jopa 50 % kesäkulutusta suurempaa (Autotie, 2016; TM, 2019). Kesäaikaan kulutuslukemissa voidaan päästä hyvin pieniin arvoihin, mutta talvisin kulutus nousee osalla autoista jopa 0,30 kWh/km arvoon (ST 13.31, 2022).

Autoa työssä työpäivän aikana käyttävät

Työpäivän aikana autoa käyttävät tarvitsevat em. hidaslatausta suuremman lataustehon, sillä akkujen energiasisältö pienenee päivän ajojen aikana ja latauksessa oloaika jää lyhyemmäksi. Tällöin kiinteistön pysäköintipaikalla on oltava myös muutamia nopeampia latauspaikkoja.

Työntekijöiden tekemät työasiamatkat henkilöautolla ovat keskimäärin 30 kilometriä pitkiä. Työasiamatkoja tekee useimmiten vain rajattu joukko työntekijöistä ja silloinkin matkat ovat harvaksen toistuvia. Mikäli työasiamatkoja onkin useampia saman päivän aikana, niin tällöin tarvitaan tehokkaampia latauspisteitä. Sopiva määrä ja teho täsmentyy, kun huomioidaan pysäköintipaikan käyttäjät ja heidän lataustarpeensa tulevien vuosien aikana.

Tilojen iltakäyttäjät ja muut satunnaiset vierailijat

Iltakäyttäjien ja muiden satunnaisten vierailijoiden toimintatavat ja lataustarpeet vaihtelevat edellisiä ryhmiä enemmän. Säännönmukaisuuden puuttuessa lataustapojen määrittely on varsin vaikeata. Koulu- ja toimistorakennusten muu sähkönkulutus on iltakäytön aikana jo vähentynyt, jolloin sähköliittymän kokonaisuormitus on lähtökohtaisesti pienempää. Tästä poiketen teatteri ja konserttirakennusten suurimmat tehohuiput asettuvat juuri ilta-aikoihin.

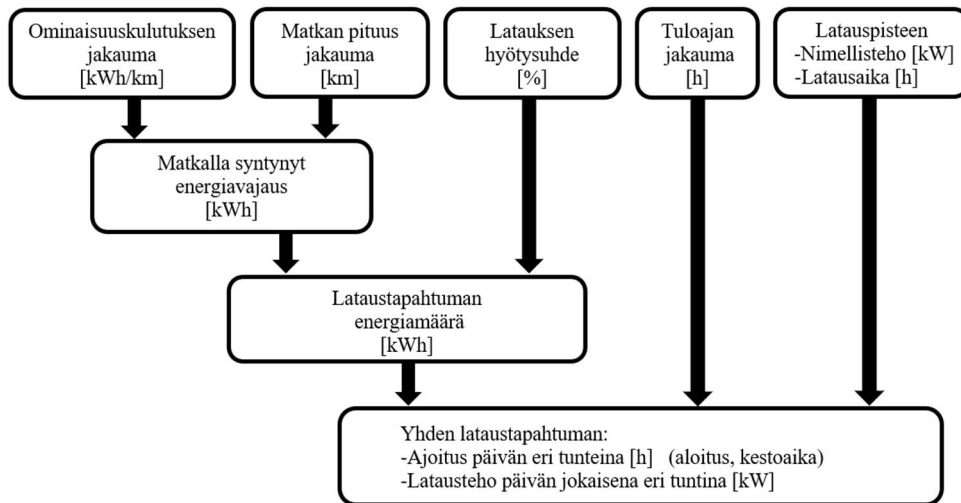
Kuten aiemmin luvun alussa todettiin, niin henkilöautolla kotimaassa kuljettu matka on useimmiten alle 50 km. Varsinkin vierailijoiden kulkemat matkat saattavat olla tavanomaista pitempiä. Arviolta iltakäyttäjien ja muiden satunnaisten vierailijoiden latausaika rajoittuu aina kerrallaan 1–2 tunnin ajanjaksoon. Tällöin voi esiintyä tarvetta isompitehoiselle vähintään 11 kW latauspisteelle. Latausjärjestelmään investoiva taho päättää, millä painoarvolla tätä käyttäjäryhmää arvioidaan ja millaisia rajoituksia tai lisäyksiä latausjärjestelmään ja sen käyttöoikeuteen voidaan tehdä.

Yöaikainen lataus

Kulkuneuvojen akut ladataan täyteen varaukseen (SoC 80–100 %) pääsääntöisesti öisin valmiiksi seuraavan päivän ajoja varten. Rakennusten muu sähkön kulutus yöaikoina on vähäistä, joten sähköautojen lataus ei muodostu tällöin tehon puolesta ongelmaksi. Yö aikaisen latauksen ongelmaksi saattaa muodostua arkipäivien aamut, mikäli julkinen lataus sallitaan myös muille käyttäjille. Latauspisteet saattavat pysyä yön jälkeen varattuina vielä aamuisin työntekijöiden saapuessa työpaikoille, jollei pysäköintiä ole rajoitettu liikennemerkein.

5.3 Lataustapahtumien mallintaminen

Sähköliittymää ja käyttöpaikkoja kuormittava latausteho riippuu ajoneuvojen saapumisajasta, kulkuneuvoakkujen energiavajauksesta, latauksiin käytettävissä olevan ajan pituuksista, sekä lataustapahtumille mahdollisesti asetetuista ominaisuuksista ja rajoitteista. Latauksen huipputehoon vaikuttaa, kuinka paljon lataustapahtumia kerääntyy samoille tunneille. Kiinteistön pysäköintialueelle tulevien autojen latauskuormituksen mallinnus perustuu julkaistuihin tilastotietoihin ja niiden pohjalta koottuun tilastolliseen simulointimalliin. Yhden lataustapahtuman mallintaminen etenee kuvan 5.3 mukaisesti.



Kuva 5.3. Yhden lataustapahtuman mallinnus. Mallinnuksessa käytetyt lähtötiedot, tarvittavat laskelmat ja lopputuloksena saatavat tiedot.

Jos mallinnuksen lähtötietona on jakauma, niin aina yhden laskennan lähtöarvoksi arvotaan jakauman todennäköisyyden toteuttama lukuarvo. Mikäli pysäköintipaikalla on useampi latauspiste, niin jokaiselle arvotaan omat mallinnuksen lähtöarvot ja lasketaan kuvan mukaisesti tehoarvot päivän jokaiselle tunnille. Latausjärjestelmän kokonaistehot yhden päivän aikana saadaan, kun kaikkien latauspisteiden tehot summataan yhteen päivän jokaisena tuntina erikseen. Tilastollinen aineisto muodostetaan toistamalla lataustapahtumaa riittävän monta kertaa ja tallentamalla jokaisen päivän tehon aikasarja taulukkomatriisiin.

Mallinnuksessa käyttäjät valitsevat pysäköintipaikoilla olevat latauspisteet satunnaisesti myös riippumatta siitä mikä latauspisteiden nimellisteho on. Tämä vastaa latauspaikoilla havaittua käytäntöä. Kun kohteessa on useamman eri nimellistehon omaavia latauspisteitä, niin mallinnuksessa on pidettävä lukua, ettei lähtötietona annettuja eri nimellistehon omaavien latauspisteiden lukumääriä ylitetä. Eli jos pysäköintipaikalla jonkun latauspistekoon kaikki latauslaitteet onkin jo valittu ja varattu, niin seuraavan lataajan latausteho arvotaan jäljellä olevista kokoluokista. Latauspisteen latausaika on annettavissa vain kehittyneimmillä ajoneuvoilla, jotka ohjaavat sisäistä virtalähdettään tasaten tehontarpeen valitulle latausajalle.

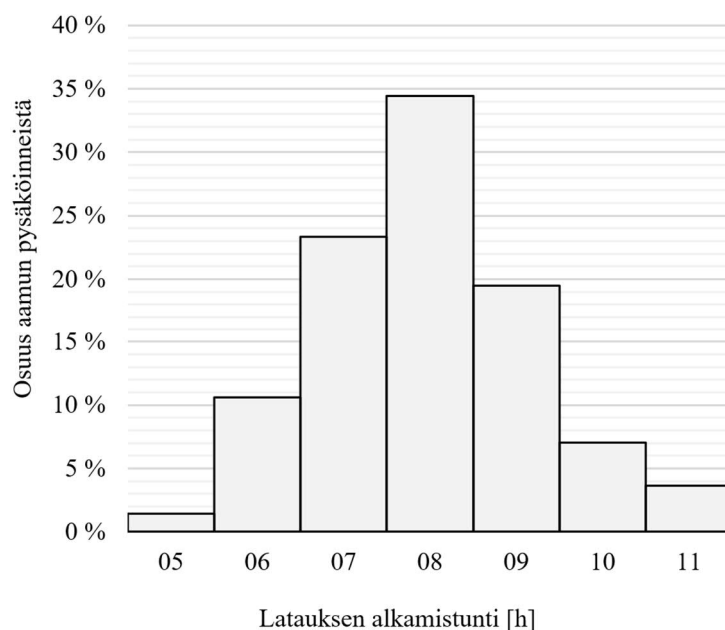
5.3.1 Latauksien ajoittuminen

Toimitilakiinteistöjen sähkönkulutuksen huipputehoaika asettuu klo 8–16 välille, kuten edellä luvun neljä tuloksista voidaan todeta. Tuona aikana työntekijät, asiakkaat ja muut rakennuksien käyttäjät oleskelevat enemmässä määrin rakennuksen tiloissa. Sähköliittymän kuormitus kasvaa sisävalaistuksien kytkeytyessä päälle, ilmanvaihto- ja ilmastointilaitteistojen toiminnan tehostuessa, sekä käyttäjien päivän aikana käyttämien sähkölaitteitten takia. Tässä työssä lataustapahtumien mallinnus keskittyy juuri näihin arkipäivien ajankohtiin, jolloin kiinteistön sähköverkon taustakuormitus on suurinta ja jäljelle jäävä tehokapasiteetti (mm. sähköautojen latauksiin) pienintä.

Suurin osa latauksien alkamisista ajoittuu päivän ensimmäisille tunneille, kun saapumisaikoihin suhteutettuna valtaosa autoista saapuu pysäköintipaikalle klo 7–9 välillä. Lähtötietona on käytetty 2016 suoritettua valtakunnallisen henkilöliikennetutkimuksen tuloksia (HLT 2016-tutkimus) hyödyntäen koko maata koskeva aineistoa (n=4151). Tässä mallinnuksessa oletuksena on, että ladattavia autoja käyttävien henkilöiden lähtötunnit jakaantuvat samalla tavalla samassa suhteessa kuten HLT 2016-tutkimuksessa kaikilla eri tavoin työmatkansa tekevillä henkilöillä.

Lähtötunti kuvaa ajan jaksoa, minkä tunnin aikana on lähdetty matkalle. Aika on porrastettuna AMR-mittauksien mukaisesti yhden tunnin pituisiin jaksoihin. Tutkimuksen perusteella työmatka kestää kotimaassa (ma-pe) keskimäärin noin 20–30 minuuttia (n=4121) (HLT, 2018b). Työhön voidaan ajatella lähtevän puolituntia ennen seuraavan tunnin alkua, esimerkiksi kello kahdeksan työnsä aloittavat lähtevät työmatkalle 7:30. Tällöin latauksen voidaan olettaa varsinaisesti alkavan kello kahdeksan, eli yksi tunti HLT 2016-tutkimuksessa ilmoitetun lähtötunnin jälkeen.

Edellä olevien tietojen perusteella on toimitilakiinteistöille muodostettu kuvan 5.4 mukainen suhteellinen jakauma.



Kuva 5.4. Sähköautojen latauksien alkamisen suhteellinen jakauma eri kellonaikoina toimitilakiinteistöissä, arkipäivisin (maanantai – perjantai).

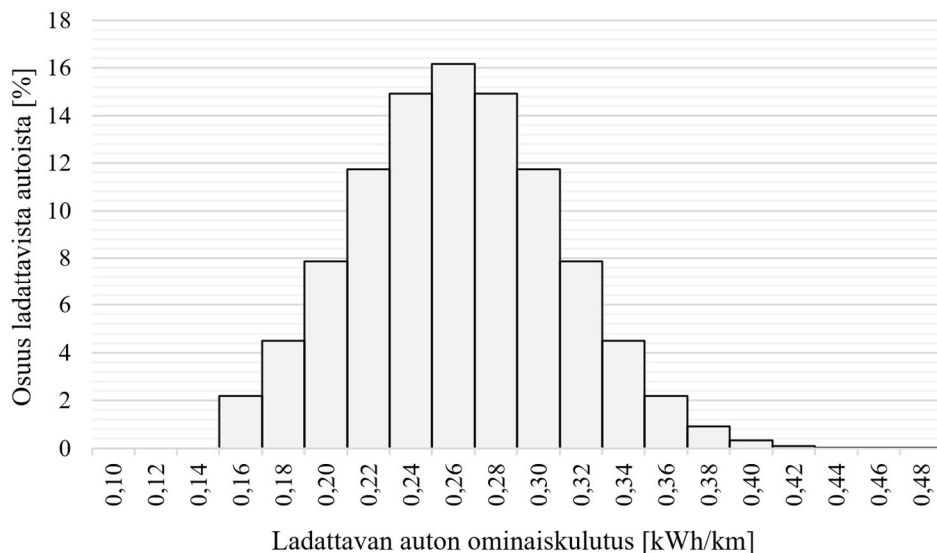
Jakauma kuvaa työpaikalle saapuvien ajoneuvojen latauksien alkamisen ajankohdat arkipäivisin kello viiden ja 12 välillä yhden tunnin tarkkuudella. Muun muassa päiväkotien ja keittiöiden henkilöstöä aloittaa työpäivänsä ensimmäisten joukossa kello viiden ja kuuden aikoina. Valtaosa (77 %) työntekijöistä saapuu tuntien 7–9 aikana ja viimeiset työpäivänsä myöhemmin aloittava vähemmistö klo 10 ja 11 aikoihin. Latauksen aloittavia on eniten klo 8. Tämän tunnin aikana noin joka kolmanteen pysäköintipaikkojen latauspisteeseen on kytketty sähköajoneuvo lataukseen. Kiinteistöverkon kuormituksen mallinnuksessa sähköautojen lataukset alkavat tämän suhteellisen jakauman mukaisesti.

5.3.2 Lataustapahtuman energiamäärä

Pysäköintipaikalle saapuu aamuisin ladattavaksi satunnaisesti eri mallisia ja tyyppisiä autoja, joilla on toisistaan poikkeavia sähköenergian ominaiskulutuksia (kWh/km) ja joilla on ajettu eri pituisia työmatkoja (km). Näiden tekijöiden yhteisvaikutuksesta auton akut omaavat suuruudeltaan erilaisia energiavajauksia (kWh) ennen lataustapahtumaa. Työmatkan aikana ajotapahtumat voivat poiketa toisistaan ulkoisista olosuhteista tai käytetyn keskimääräisen tehontarpeen vuoksi, jolloin toteutunut energian kulutus poikkeaa paljonkin automallille ilmoitetusta energian ominaiskulutuksesta, vaikkapa WLTP-mittaustavan mukaan tehdystä testaustuloksesta. Sähköhenkilöauto kuluttaa tyypillisesti 0,15–0,25 kWh/km. Usein laskennoissa ominaiskulutuksen keskiarvoksi valittu 0,20

kWh/km, joka on pääsääntöisesti auton valmistajien ilmoittamia WLTP-kulutusarvoja hiukan suurempi. Nämä arvot vastaavat tällä hetkellä autokannan käytännön ajotilanteen kulutusta kesäolosuhteissa. Suomen talvisissa olosuhteissa ominaiskulutuksen on mitattu olevan keskimäärin noin 30 % suurempaa ohjaamon sisätilojen, ikkunoiden, peilien ja akun lämmitystarpeesta johtuen (TM, 2019; TM 5B, 2022). Kaikissa ympärivuotisissa olosuhteissa sähköautojen kulutus mahtuu käytännössä välille 0,15–0,30 kWh/km (Motiva, 2021). Kuitenkin talviaikaan lyhyimmillä työmatkoilla tai erittäin huonossa säässä ajettaessa yksittäisen matkan ominaiskulutus on suurempaa. Tämä suurempi ominaiskulutus on huomioitu mallinnuksen lähtötiedoissa sallimalla sähköautojen ominaiskulutusjakauman levittäytyä edellä esitettyä laajempaan.

Mallinnuksessa käytettävä ominaiskulutuksen jakauma on oletettu noudattavan normaalijakaumaa kuvan 5.5 mukaisesti. Kun tarkoituksena on tarkastella sähköliittymän kannalta suuritehoisinta skenaariota, niin talviolosuhteiden myötä jakauman moodi on asetettu 30 % kesäajan keskiarvoa suuremmaksi. Jakauman alapäästä on leikattu kaikki 0,16 kWh/km pienemmät arvot pois, kun alle 0,16 kWh/km kulutusarvoja ei talviaikana lämmitystarpeesta johtuen juurikaan ole.



Kuva 5.5. Mallinnusta varten laadittu sähköautojen talviajan energian ominaiskulutus. Jakauman moodi on 0,26 ja keskihajonta 0,05 kWh/km.

Laaditun jakauman perusteella yli 0,30 kWh/km ominaiskulutuksen omaavia on noin 16 % ladattavista autoista. Vaikkei suuremmasta muutoksesta ei ole vielä löydettävissä

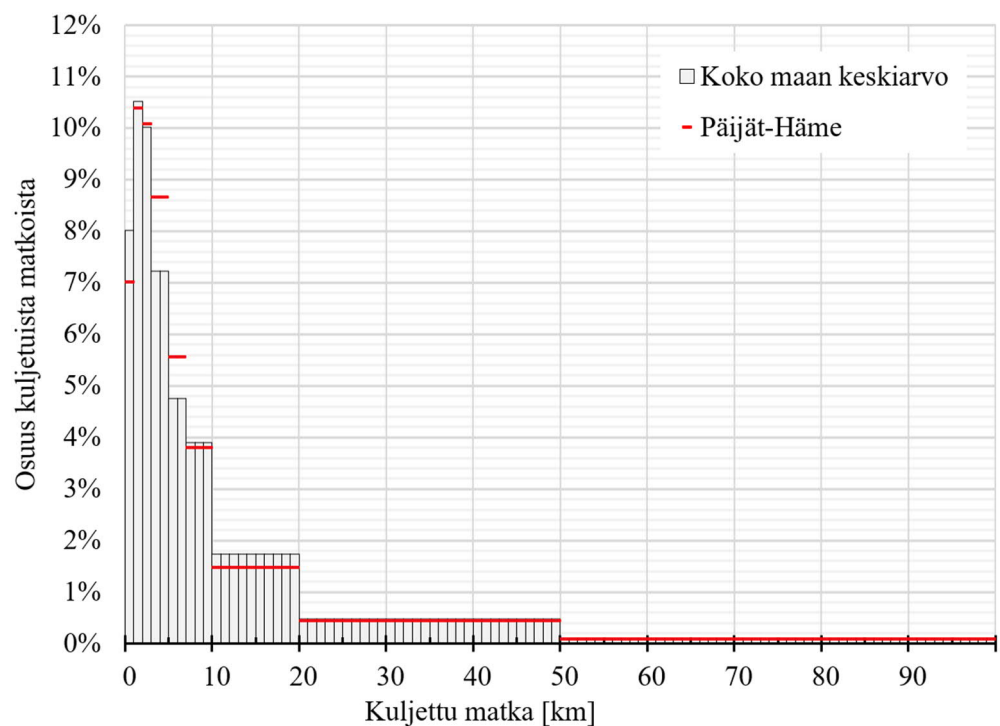
hyödynnettävää tutkimustietoa, niin sähköautokannan lisääntyessä ja ikääntyessä sähköautojen keskimääräisessä hyötysuhteessa voi tapahtua heikkenemistä. Ajoakkua lukuun ottamatta hyötysuhteen heikkenemisen voi olettaa olevan sähköautoilla hyvin saman tapainen kuin polttomoottoriautoilla monien yhtäläisten teknisten ratkaisujensa vuoksi. Ajomoottorien osalta kuluvia osia on jopa vähemmän kuin polttomoottoriautoissa.

Edellä luvussa 5.2 esitettyjen tietojen perusteella työmatkojen keskimääräiset pituudet (km) ovat hyvin lyhyitä ja matkan kompensoimiseksi akkuihin ladattavat energiamäärät pieniä. Tällöin sähköautojen akkujen koolla eli varauskapasiteetilla (kWh) on hyvin vähäinen merkitys lataustapahtumiin, niiden ajallisiin risteilyihin, sekä kiinteistöverkon kuormittumiseen. Lataushybrideissä on yleensä 10–15 kWh ajoakku, joka täyteen ladattuna mahdollistaa noin 50 kilometrin matkan. Tällä kattaa tilastollisesti noin 93 % Suomessa henkilöauton kulkemista matkoista (HLT, 2018a). Vain noin 7 % lataushybridien ajoakuista olisi latauksen alkaessa täysin tyhjiä ja latausajassa tulisi huomioida akun koko rajoittavana tekijänä. Osuus pienenee tästä, kun osa ladattavista autoista on täyssähköautoja, joiden akut ovat monin kerroin isompia. Edellä mainitusta syystä akkujen kapasiteettikoon vaikutusta latausaikaan ei ole simulointimallissa huomioitu.

Tässä mallinnuksessa oletetaan sähköautojen akut ladattavan yön aikana kotona täyteen varaustasoon (SoC 100 %). Mikäli ajoneuvon haltija pyrkii välttämään akun täyteen lataamista akun kestoajan parantamiseksi ja lataa akun aina esimerkiksi enintään 80 % varaustasoon, niin tällöin tätä tasoa pidetään vastaavasti energiavajauksen nollassa. Kummassakin tapauksessa muodostuu työmatkasta tähän tarkasteluun riittävällä tarkkuudella samansuuruinen energiavajaus akkuun. Tällöin työpaikalle saavuttaessa akussa oleva energiavajaus on syntynyt ainoastaan työmatkan aikana ajettaessa ajoneuvolla kertaalleen välin koti—työpaikka.

Työmatkan pituuden arvioinnissa on käytetty apuna HLT 2016-tutkimuksen henkilöautoilun pituutta koskevaa osuutta sillä erotuksella, että yli 100 km pitemmät matkat on rajattu pois aineistosta. Yli 100 km matkojen osuus on alle 3 % ja näiden pituuksista ei ole täsmällistä tietoa onko matkan pituus keskimäärin esimerkiksi 120 km vai 220 km. Kotimaassa henkilöautolla tehtyjen kaikkien matkojen keskipituus on 19 km (n=13677) kaikkien työmatkojen keskipituuden ollessa 16 km (n=4410) (HLT, 2018a). Päijät-Hämeessä

vastaavat henkilöautolla tehtyjen työmatkojen pituudet ovat keskimäärin 16–17 km (n=1112). Tutkimuksen aikana jokainen auto on tarvinnut yhden kuljettajan jokaisen kuljetun kilometrin aikana. Kuljettajien lukumäärä vastaa autojen lukumäärää ja näin ollen molempien kulkemat matkat ovat tilastollisesti yhtä pitkiä. Tässä tutkimuksessa sähköautojen kulkemien matkojen katsotaan vastaavan HLT 2016-tutkimuksessa kuljettajan tekemien matkojen pituuksia. Mallinnuksessa työmatkan pituus määräytyy kuvassa 5.6 olevan koko maata koskevan jakauman perusteella.



Kuva 5.6. Laaditut henkilöautolla kuljettujen työmatkojen pituusjakaumat. Pylväät kuvaavat valtakunnallista suhteellista jakautumista eri pituisiin työmatkoihin. Vertailukohtana on punaisella pisteellä merkityt Päijät-Hämeessä tehtyjen työmatkapituuksien jakautuminen. Molemmista on suodatettu yli 100 km pituiset matkat pois ennen jakaumien muodostamista.

Kuvaajassa jakauma on jaettu kilometrin välein muodostaen 100 eri kuljetun matkan luokkaa. Luokkiin kerääntyvien suhteellisten osuuksien summa on 100 %. Kuvassa on valtakunnallisen jakauman lisäksi vertailua varten Päijät-Hämeessä kuljettujen matkojen pituusjakauma. Lahden seutua paremmin kuvaava jakauma ei merkittävästi poikkea valtakunnallisesta jakaumasta. Koko maata koskevaa jakaumaa käytetään mallinnuksen lähtötietona suuremman havaintomäärän vuoksi.

Yhden sähköauton energiavaje E_{vajaus} saadaan, kun arvotaan satunnaisarvot ajoneuvon ominaiskulutukselle e_k ja kuljetulle työmatkalle $s_{\text{työmatka}}$ edellä esiteltyjen jakaumien rajaamina, ja lopuksi kertomalla saadut satunnaisluvut keskenään (yhtälö 5.1). Energiavajauksen tilastollinen jakauma kehittyy toisintojen myötä.

$$E_{\text{vajaus}} = s_{\text{työmatka}} \times e_k \quad (5.1)$$

Sähköautoon ladattavan energiamäärän oletetaan olevan yhtä suuri kuin sähköauton akussa olevan energiavajauksen ja lataustapahtuman aikana lataushäviöihin kuluva yhteenlaskettu energiamäärä. Tähän tarkastelun valintaan on päädytty siksi, että latauksen keskeytymisen eri syitä ja laajuutta on mahdotonta arvioida ennakoiden. Lisäksi kun tavoitteena on tarkastella sähköliittymän kannalta pahinta mahdollista skenaariota, niin autojen ottamaa lataustehoa ei keskeytetä ennen kuin ajoakun energiavajaus on poistunut. Lataushäviöiden osuutta käsillään seuraavassa luvussa.

5.3.3 Latausteho ja -aika

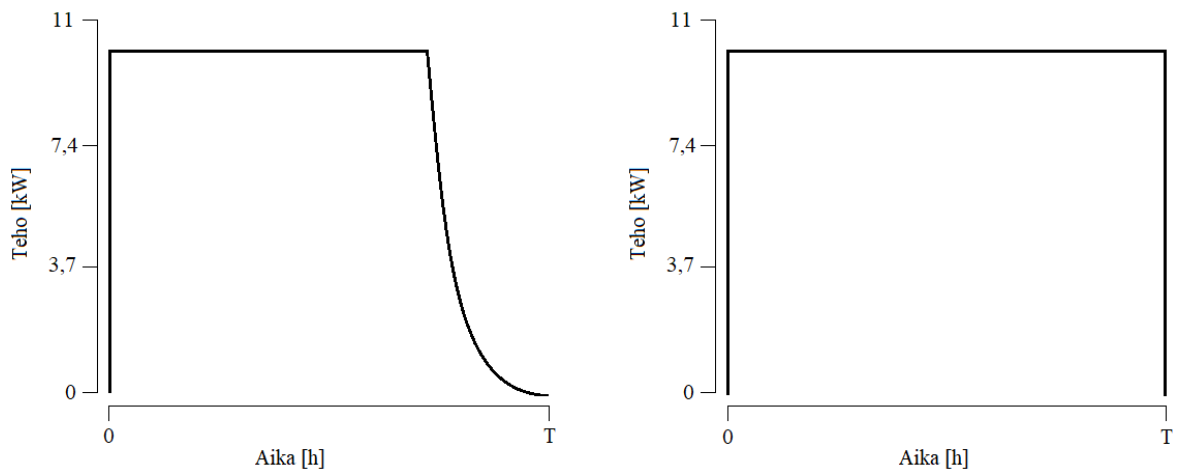
Lataustehoa määritettäessä on huomioitava tulevat lataustarpeet seuraavien 5–10 vuoden aikana. Luvussa 5.1 esitettiin arvio, että joka neljäs liikennekäytössä oleva henkilöauto olisi sähköverkosta ladattava kulkuneuvo vuonna 2030. Määritetty osuus on linjassa fossiilittoman liikenteen tiekartassa esitetyn tavoitteen kanssa (LVM, 2021). Tämän työn mallinnuksessa lataustehon kokonaisvaikutusta arvioitaessa oletetaan, että kiinteistön joka neljännessä pysäköintipaikassa on latauspiste ja ne kaikki ovat aamupäivän aikana kertaalleen latauskäytössä.

Lataustekniikat voidaan jakaa vaihto- ja tasasähkölatauksiin. Sähköautoa ladattaessa vaihtovirralla käytetään auton omaa sisäistä latauslaitetta, joka muuntaa vaihtovirran akustoon sopivaksi tasavirraksi (lataustapa 3). Autoon integroitu laturi rajoittaa latauksen maksimitehoa autotyypin mukaan useimmiten 3,7–22 kW lataustehoon. Tasasähkölatauksen (lataustapa 4) tarjoaminen edellyttää suuritehoisen ulkopuolisen DC-latausaseman hankkimisen. DC-latausasema ohittaa sähköauton oman laturin muuntaen sähköverkosta tulevan vaihtovirran tasavirraksi ja johtaen 50–300 kW lataustehon suoraan auton akustoon. Auton oma laturi ei tällöin rajoita lataustehoa ja akut voidaan ladata huomattavasti

nopeammin. DC-latausaseman hankinta on tarpeellinen pysäköintipaikoilla, joissa ajoneuvojen käyttöaste on suuri ja pysäköintiajat ovat lyhyitä. Jo 50 kW tehoisen DC-latausaseman karkea hintahaarukka on 20–40 k€, joten DC-latauksien tarvekartoitukset tehdään luonnostaan huolella ennen investointipäätöstä. Lisäksi selvästi suuremman tehontarpeen vuoksi kiinteistöjen sähköliittymissä ei aina löydy kuormitusvaraa, vaan useamman pikalatauspisteen tapauksessa on jo mielekästä hankkia latausjärjestelmälle oma sähköliittymänsä.

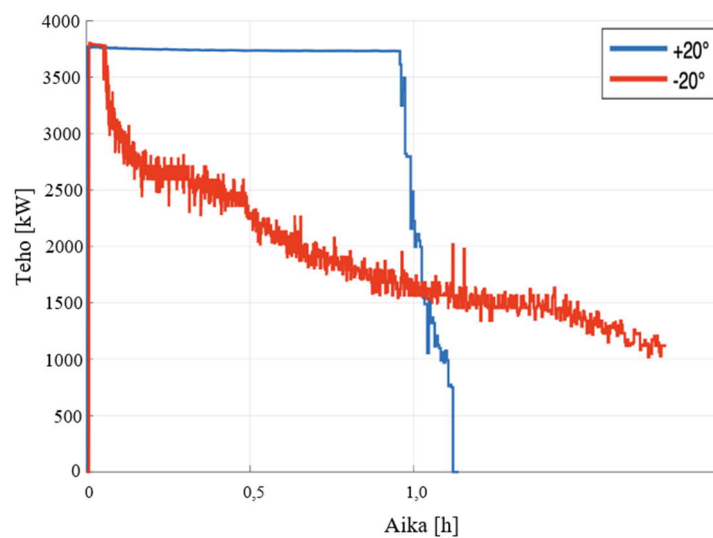
Kuten aiemmin henkilöliikennetutkimuksesta on todettu, niin autolla kuljetut matkat ja niihin tarvittavat latausenergiat eivät pääsääntöisesti ole kovinkaan suuria. Useamman tunnin latausajan takia toimitilakiinteistöihin ei ole perusteltua asentaa tasasähköllä toimivia suuritehoisia latauspisteitä. Vaihtosähkölatauksen teho riittää useimmissa tapauksissa. Edellä mainituista syistä lataustapa 4 tasavirtalataukset rajataan tässä työssä tarkastelun ulkopuolelle keskittyen 3,7–43 kW normaalitehoiseen (lataustapa 3) ja 1,8–3,7 kW hidaslataukseen (lataustapa 2). Kun valtaosa akkujen energiavajauksista on verrattain lyhyiden työmatkojen vuoksi pieniä niin mallinuksessa oletetaan 11 kW:n latauspisteitä olevan vain 10 % pysäköintipaikkojen latauspaikoista ja loput 90 % 3,7 kW tehoisia latauspisteitä.

Osa latauspisteestä saatavasta tehosta kuluu latauspiirin häviöihin. Vaihtovirtalatauksen hyötysuhteeseen vaikuttaa ajoneuvo ja siinä käytetty tasasuuntauslaitteisto, käytetty latausteho, sekä muodostuvat jäähdystarpeet auton sisäisessä virtalähteessä ja akustossa. Useimmiten osateholla ladattaessa ei olla latauslaitteiston toiminta-alueen optimipisteessä ja hyötysuhde heikkenee. Huono hyötysuhde heikentää kokonaisenergian kertymän ja vastaavaan varaustasoon pääsy edellyttää pitemmän latausajan. Vaihtovirtalatauksen häviön ja hyötysuhteen suuruudesta on löydettävissä hyvinkin paljon poikkeavia tuloksia kirjallisuushaun perusteella. Useimmiten hyötysuhteenä on esitetty arvoja 0,84–0,95 välillä. Tässä työssä latauksen hyötysuhteenä käytetään arvoa 0,9 (ST-käsikirja 41, 2019). Edellä mainittujen lataustehojen lisäksi oletetaan sähköauton latausprofiilin olevan kuvan 5.7 kaltainen yksinkertaistetun kantikkaan muotoinen käyrä, jonka ajallinen pituus on AMR-mittauksen mukaisesti aina täyden tunnin kerrannainen.



Kuva 5.7. Vasemmalla on pelkistetty Li-ion-akun latausprofiili ja oikealla on tämän yksinkertaistettu tutkimuksen laskentamallissa käytetyn latausprofiilin muoto.

Käytännössä lataustehon profiili saattaa poiketa paljonkin esitetystä mallista. Latausteho voi pudota merkittävästi akunhallintajärjestelmän ohjaamana esimerkiksi kylmissä olosuhteissa kuten kuvassa 5.8, jolloin vastavuoroisesti latausaika on oletettua pitempi latausenergian jakaantuessa myös seuraaville tunneille.



Kuva 5.8. Esimerkki sähköauton latauskäyrästä ulkolämpötiloissa 20 °C ja -20 °C. Kuvasta nähdään molempien tehokäyrien muodot, kun akun SoC saavuttaa 100 % (LUT, 2021).

Tämä muuttaa ajallisesti risteilevien latauksien yhteenlaskettua tehoa eri tunneilla, muttei varsinaisesti lisää kiinteistöverkon huipputehoa ruuhkaisimman lataushetken aikana aamun

ensimmäisinä tunteina. Jokaisella automallilla on omanlainen latauskäyttäytyminen ja lataustehojen variaatiot lisääntyvät erilaisissa olosuhteissa. Tästä havainnosta huolimatta mallinnuksessa käytetään kuvan 5,7 mukaista yksinkertaistettua tehon muotoa. Kun tutkimuksessa tarkastellaan latausjärjestelmän tuottamaa huippukuormitusta, niin riittävän usein se voidaan olettaa vastaavan latauspisteen nimellistä tehoa. Varsinkin lataustapahtumien alussa tehon suuruus vastaa latauspiirin rajaamaa maksimiamia. Aloituksen jälkeen latausteho jatkuu aina seuraavalle tunnille niin monesti, kunnes akussa oleva energiavajaus on poistunut. Mallinnuksen tulee laskea latauksen kesto-aika. Lataukseen kuluvan aika t_{lataus} voidaan laskea yhtälöllä 5.2, kun akun energiavajaus E_{vajaus} , latauspisteen antama teho P_{lataus} ja latauksen hyötysuhde η_{lataus} tiedetään.

$$t_{\text{lataus}} = \frac{E_{\text{vajaus}}}{P_{\text{lataus}} \times \eta_{\text{lataus}}} \quad (5.2)$$

Vastaavasti yhtälöistä voidaan ratkaista tarvittava latausteho P_{lataus} , jos lataukseen käytettävissä oleva aika on tiedossa.

5.3.4 Mallinnustyökalu

Latauksien ajalliset risteilyt mallinnetaan Microsoft Excel taulukkolaskentaohjelmaa käyttäen. Laskentataulukon yhdelle välisivulle kootaan edellisissä luvuissa esitellyt lähtötiedot ja yhtälöt. Laskentataulukon asetusarvoista ja laskentatuloksista on näyttökuvassa liitteessä II. Jokaiseen lataustapahtumaan arvotaan omat parametrit lähtötietojakaumista siten, että suurempana määränä arvoitetut luvut samalla toteuttavat valittujen lähtötietojen jakaumat. Taulukon jokainen rivi vastaa yhtä lataustapahtumaa. Laskenta yleisesti etenee taulukossa järjestyksessä vasemmasta reunasta kohti oikeaa reunaa, kaikkien välitulosten jäädessä muistiin taulukkosoluihin myöhemmin tarkasteltavaksi. Yksi sarake vastaa yhtä vuorokauden kellonaikaa, johon yhden lataustapahtuman ko. tunnin latausteho tallentuu. Jokaisen tunnin lataustehon suuruus on riippuvainen edellisten tuntien tapahtumista, kunnes tarvittava energiamäärä on tunneilta kerätty. Niiden arvoille on lisäksi asetettu käytännön tilanteista johtuvia minimi ja maksimi rajauksia. Asetettuja rajauksia esitellään luvuissa 5.3.6 ja 5.3.7.

Tarvittavia toistoja tilastollisia tarkasteluja varten saadaan kopioimalla solujen laskentayhtälöt riveittäin riittävän määrän alaspäin. Eri päivien summatehot saadaan, kun pysäköintipaikalla olevien latauslaitteita vastaava määrä rivejä erotetaan aina omaksi ryhmäksi ja summataan yhteen tunneittain. Jos kohteessa on 10 latauspistettä, niin aina 10 rivin nippu yhteen summattuna tunti -tunnilta muodostaa yhden tarkasteluvuorokauden. Tällöin esimerkiksi 5000 vuorokauden mallintamista varten laskentataulukossa tulee olla 50000 riviä, joihin laaditut laskentayhtälöt kopioidaan. Lataustapahtumien summatut päivien tuntikohtaiset lataustehot ovat omilla sarakkeillaan taulukon lopussa jakaumien muodostamisia varten.

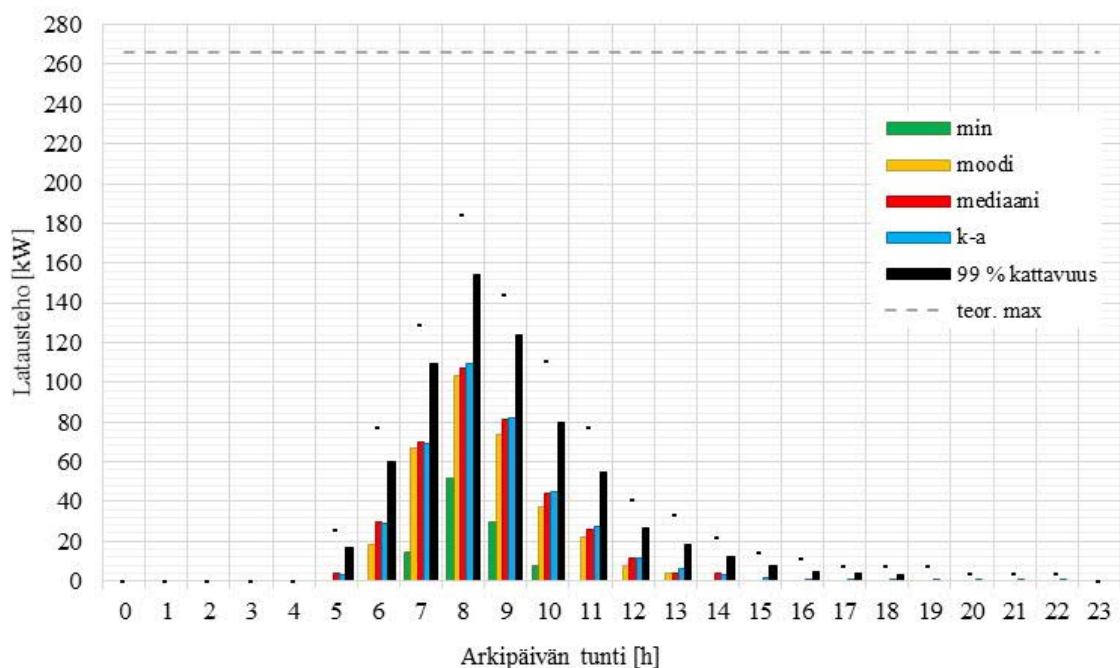
Latauksien käsittely etenee Eero Koivuniemen diplomityön liitteessä ”B latauskuorma-algoritmit” esittelemien vuokaavioiden mukaisesti (Koivuniemi, 2020). Tässä diplomityössä laadittu mallinnustyökalu on toteutettu näiden vuokaavioiden mukaisesti, mutta siirrettyä Excelin 2-ulotteeseen laskentataulukkoon ilman sisäkkäisiä ohjelmakiertojen silmukoita. Myöskään AMR-dataa ei ole otettu mallinnukseen mukaan, vaan kiinteistön taustakuorman ja latauksien mallinnustuloksien yhdistäminen tapahtuu vasta myöhemmin luvussa 6.

5.3.5 Case 1: Latausjärjestelmä ilman kuormanhallintaa

Lataustapahtumien mallinnus toteutetaan kuvan 1.1 mukaisessa kiinteistöverkossa. Sähköautojen latauspisteiden satunnaisesti muodostamaa sähkötehoa tarkastellaan käyttöpaikan energiamittarin näkökulmasta, millaisia tuntikeskitehoja mittarin kautta latausasemille jaetaan päivän eri tuntien aikoina. Tarkastelu keskittyy edellisissä luvuissa kuvatuin tavoin aamun ja keskipäivän tunneille, joilla on jo ennen latauspisteiden lisäämistä toimitilakiinteistön sähköliittymän taustakuormitus suurinta.

Tarkasteltavien toimitilakiinteistöjen pysäköintipaikkojen lukumäärät vaihtelevat 0–240 kpl välillä. Mikäli latausjärjestelmään investointien yhteydessä varaudutaan arvioituun vuoden 2030 ladattavien ajoneuvojen 25 % osuuteen, niin tällöin tarvittavien latauspisteiden lukumäärät ovat 0–60 kpl näissä kiinteistöissä. Pysäköintipaikat ovat jaettavissa lukumääriensä perusteella viiteen luokkaan. Lataustapahtumien mallinnuksessa tarkastellaan kiinteistöjä, jossa on 4, 10, 20, 30 ja 60 latauspistettä. Tarkastelukiinteistöissä latauspisteistä 90 % on 3,7 kW tehoisia ja loput 11 kW. Kuitenkin niin, että jokaisessa on

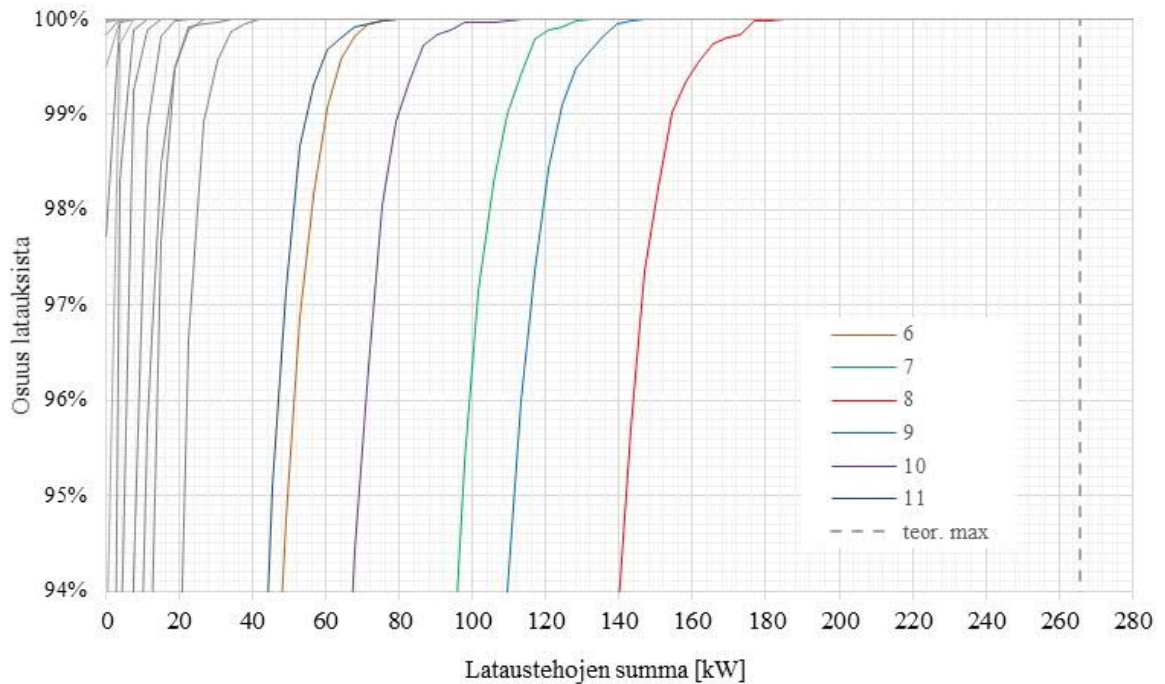
vähintään 1 kpl tehokkaampi 11 kW latauspiste. Yksi mallinuskierros käsittää latauspisteiden yhteenlasketut tehot tunneittain yhden päivän aikana. Kaikkien tapauksien laskennoissa on käytetty mallinuskierroksien lukumääränä vakioarvoa 5000, vaikkakin tuntikeskitehojen keskiarvojen vaihtelut suppenivat ja saavuttivat lopullisen arvonsa jo aikaisemmassa vaiheessa aiemmilla laskentakierroksilla. Kuvassa 5.9 on simuloitu tulos lataustehojen kertymistä päivän eri tunneille, kun kiinteistöliittymää kuormittaa 60 latauspistettä edellä mainituin rajauksin.



Kuva 5.9. Mallinnuksen tuloksena saadut lataustehojen havaintoarvot tunneittain, kun kiinteistössä on yhteensä 60 latauspistettä ilman kuormanhallintaa (n=5000).

Latauskuormitus on suurimmillaan henkilöiden saapuessa aamulla työpaikoilleen. Päivän tuntikeskitehon huippu asettuu klo 8–9 väliselle ajalle, jolloin latauksien ottama sähköteho on keskimäärin 110 kW, kun latauspisteiden nimelliset tehot yhteenlaskettuna teoreettinen maksiarvo on 266 kW (= 54 kpl \times 3,7 kW + 6 kpl \times 11 kW). Tuntikeskitehon suuruus on 155 kW tai pienempi 99 % luottamustasolla.

Vastaava tehon arvo on nähtävissä myös kuvasta 5.10, jossa on 60 latauspisteen tehon kertymäfunktio eri tunteina.



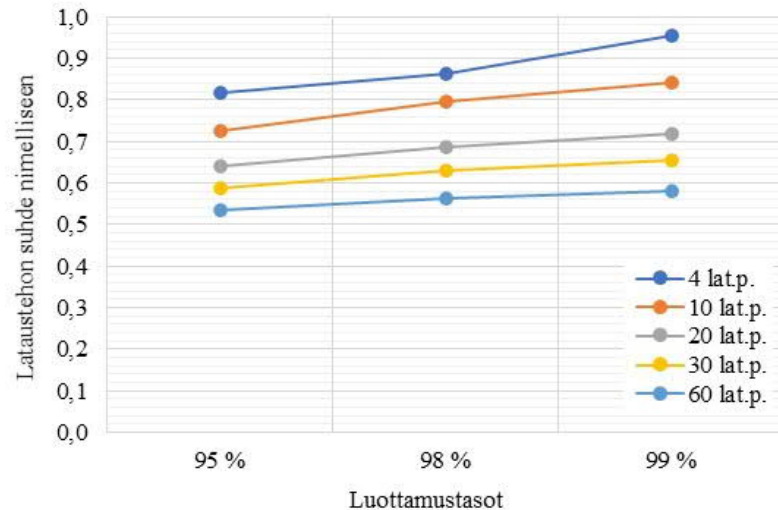
Kuva 5.10. Latausjärjestelmän tehon kertymät eri tunteina, kun latauspisteitä on 60 (n=5000).

Mallinnuskierroksilla saadut summatehot asetetaan suuruusjärjestykseen, jolloin on paremmin havaittavissa suurimpien tehoarvojen suuruus ja yleisyys suhteessa lataustapahtumien kokonaislukumäärään. Kuvasta on nähtävissä eri kello ajoille kertyneiden suurimpien tehojen osuudet. Suurin tehokertymä muodostuu kello kahdeksan (punainen viiva). Luottamustason ollessa 95 % teho on 142 kW. Vastaavasti 98 % luottamustasolla on 150 kW ja 99 %:lla 155 kW.

Seuraavaksi kuormitetuin tunti on kello 9. Y-akselilla kertyneiden tapauksien saavuttaessa 99 % osuuden latausteho on enintään 124 kW. Latausjärjestelmän mallinuksessa syntyneet tilastolliset tulokset muilla latauspisteiden lukumäärillä näkyvät liitteen I kuvissa. Lataustehojen kertymäkuvista on nähtävissä laskennan epätarkkuus pienillä lataustehoilla, kun tehojen suuruudet ovat suuruudeltaan n. 3 % teoreettisesta maksimista. Tätä pienemmistä tehoista 99 % luottamustason määrittäminen ei enää onnistu luotettavasti.

Viiden eri mallinnuksen tulokset ilman kuormanhallintaominaisuutta omaavista latausjärjestelmistä on kerätty kuvaan 5.11. Mallinuksessa saatuja lataustehojen suuruudet on jaettu latauspisteiden nimellistehojen summalla, ja osamääränä saadaan Y-akselille

yleisesti verkostojen tehomitoituksissa käytettyä tasauserrointa vastaava suhdeluku. Suhdeluku on laskettu erikseen eri latauspistemäärille.

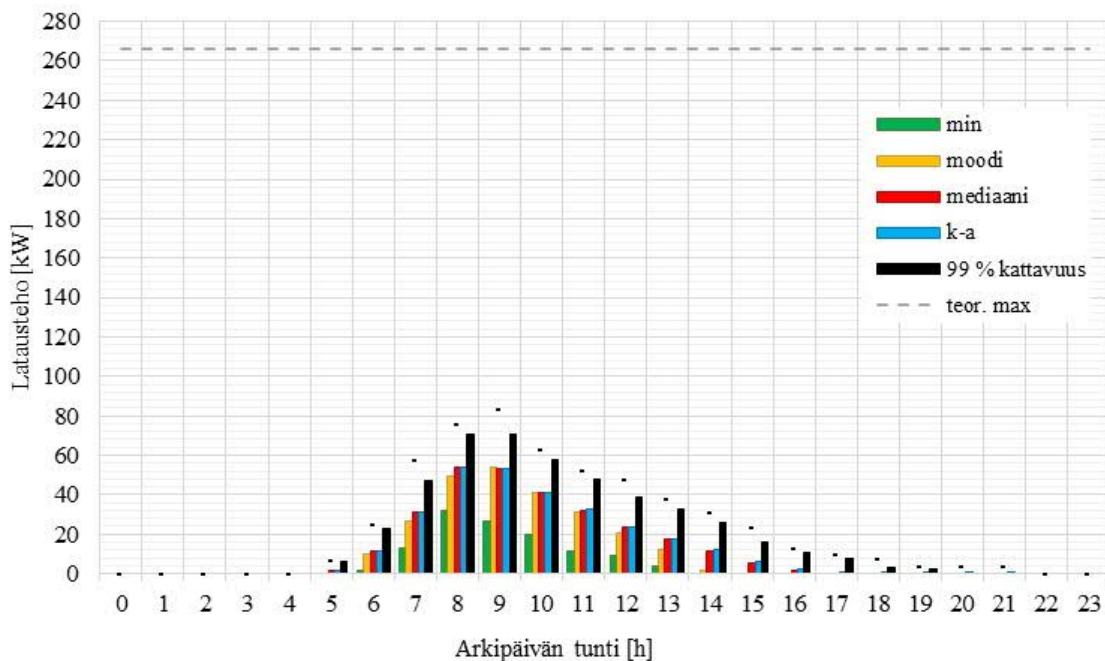


Kuva 5.11. Lataustapahtumien yhteenlaskettu teho suhteessa latauspisteiden nimelliseen tehoon eri luottamustasoilla (n=5000). Ilman kuormanhallintaa olevan latausjärjestelmä, kiinteistöverkkoa kuormittavien latauspisteiden lukumäärät ovat 4, 10, 20, 30 ja 60.

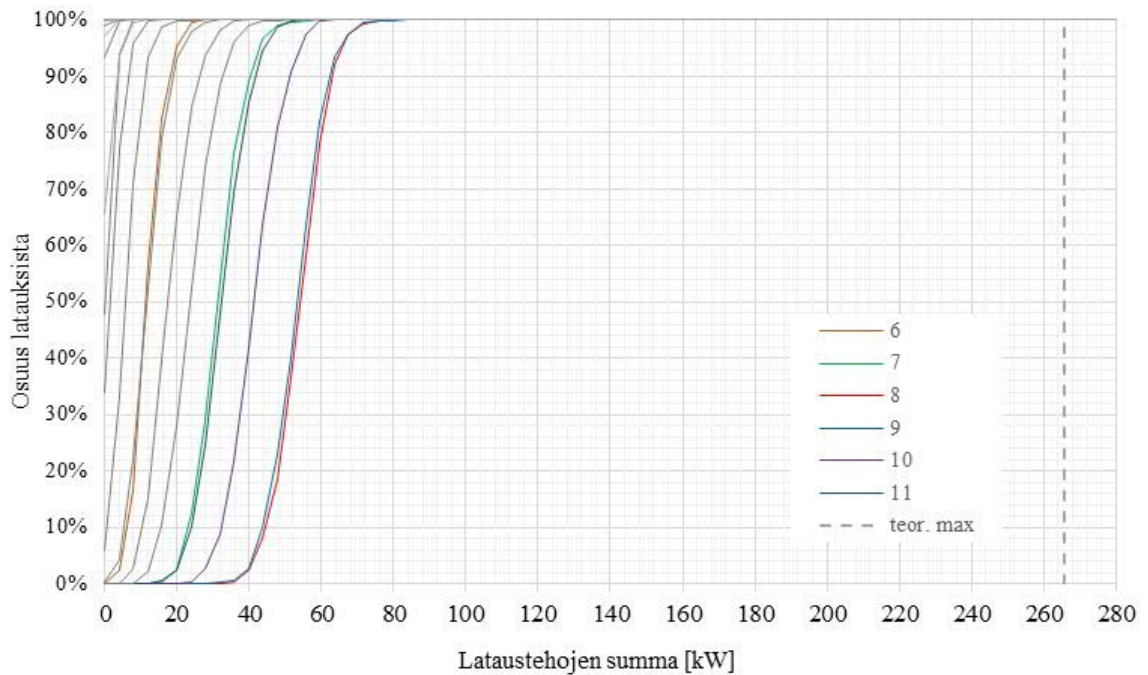
Luottamustason ollessa 99 % tasauserroin vaihtelee 0,58–0,95 välillä riippuen latauspisteiden lukumäärästä ja 95 % luottamustasolla 0,54–0,82 välillä. Lopputulema on samantapainen kuin julkisten sähköverkkojen suunnittelussakin. Mikäli tavoitteena on 99 % luottamustaso ja latauspisteitä on vähemmän kuin 10 kpl, niin suurin lataustehojen samanaikaisuuden kertymä vastaa vielä latauspisteiden yhteenlaskettua nimellistehoa. Kun pysäköintipaikalla on latauspisteitä lukumääräisesti vähän, niin on todennäköisempää, että sähköautojen lataukset sattuvat ajallisesti päällekkäin. Mitä pienempi joukko on, niin sen suuremmalla todennäköisyydellä lataukset osuvat samoihin aikoihin ja tasauserroin on lähempänä arvoa 1,0. Jos taas latauspisteitä on esitetyllä tavoin yhteensä 20, niin suurin lataustehojen kertymä on noin 0,72 kertainen latauspisteiden yhteenlaskettuun nimellistehoon verrattuna (n=5000). Vastaavat kertoimet ovat 30 latauspisteellä noin 0,65 ja 60 latauspisteellä noin 0,58. Suuremmilla latauspisteiden lukumäärillä kertoimien käytöllä on mahdollista saavuttaa merkittäviäkin materiaali ja kustannussäästöjä sähkötehon noin 20–40 % kapasiteettisäästön vuoksi.

5.3.6 Case 2: Latausenergian jakaminen oletetulle pysäköintiajalle

Henkilökunnan ajoneuvot ovat pysäköintipaikoilla työpäivän 6–9 tunnin ajan. Sähköautojen sähköverkolle tuottamaa kuormitusta voidaan keventää kustannustehokkaasti, jos kyetään jakamaan tarvittavat latausenergiat tasaisesti koko pysäköintiajalle. Käytännössä tämä voidaan toteuttaa siten, että pysäköinnin alkaessa auton käyttäjä ilmoittaa käyttämälleen latauspiirille pysäköinnin arvioidun loppumisajankohdan. Tämän ja ajoneuvon tilatietojen perusteella käyttöliittymän ohjelma kykenee laskemaan koko pysäköinnin ajaksi lataukselle muuttumattoman vakiotehon. Tässä case 2 mallinnuksessa akun energiavajaus E_{vajaus} ja tuloaika arvotaan kuten case 1 tapauksissa, mutta edellisestä poiketen oletetaan työntekijöiden autojen olevan pysäköitynä latauspisteellä työpäivän aikana yhteensä seitsemän tunnin ajan. Eli latausaika t_{lataus} on aina kiinteä seitsemän tuntia. Kun lataukseen käytettävissä oleva aika on tiedossa, voidaan yhden latauspisteen tarvitsema latausteho P_{lataus} laskea yhtälöä 4.2 hyödyntäen. Mallinnuksessa latauspisteen vähimmäistehoksi on asetettu ehto, jossa latausteho on aina vähintään 1,8 kW. Tämä siksi, että osa autoista ei suostu ottamaan tehoa vastaan 7 A pienimmillä virranarvoilla (ST 51.90). Ehdon toteutuessa akun lataus täyteen varaustasoon tapahtuu luonnollisesti lyhyemmässä ajassa kuin asetetun seitsemän tunnin aikana. Kuvissa 5.12 ja 5.13 on mallinnuksesta saatuja tuloksia lataustehojen kertymistä päivän eri tunneille, kun 60 latauspisteen latausenergiat jakaantuvat tasaisesti seitsemän tunnin pysäköintiajalle.

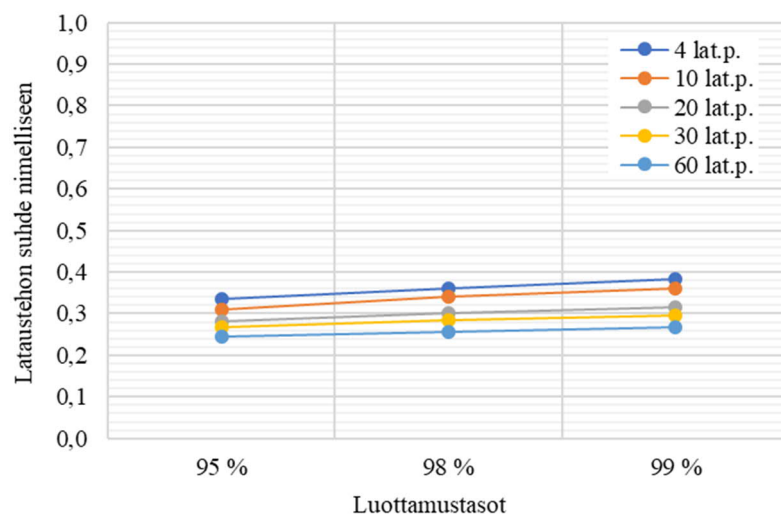


Kuva 5.12. Mallinnuksen tuloksena saadut lataustehojen havaintoarvot tunneittain, kun 60 latauspisteelle on kullekin ohjelmoitu seitsemän tunnin latausaika (n=5000).



Kuva 5.13. Latausjärjestelmän tehon kertymät eri tunteina, kun latauspisteitä on 60. Kullekin latauslaitteelle on ohjelmoitu seitsemän tunnin latausaika ($n=5000$).

Päivän tuntikeskitehon huippu asettuu klo 8–9 väliselle ajalle, jolloin latauksien ottama sähköteho on keskimäärin 54 kW, kun latauspisteiden teoreettinen maksiarvo on 266 kW. Tuntikeskiteho on 71 kW 99 % luottamustasolla. Case 2 mallinnuksen tulokset eri latauspiste määrillä on koottu kuvaan 5.14.



Kuva 5.14. Lataustapahtumien yhteenlaskettu teho suhteessa latauspisteiden nimelliseen tehoon eri luottamustasoilla ($n=5000$). Tässä työmatkalla muodostuneet energiavajeet on jaettu vakiotehoksi koko seitsemän tunnin latausajalle.

Mikäli tavoitteena on 99 % luottamustaso esitetyllä tavoin, niin suurin lataustehojen kertymä on noin 0,27–0,38 kertainen latauspisteiden yhteenlaskettuun nimellistehoon verrattuna. Case 2 tasauskertoimet ovat huomattavasti pienempiä verrattuna Case 1 kuvan 5.11 kertoimiin.

5.3.7 Case 3: Maksimitehon rajaus

Kuorman hallinnalla vähennetään sähköautojen latausten kasaantumista samalle ajankohdalle. Lataustehoa voidaan rajoittaa jakamalla ladattava energia useamman tunnin ajalle joko vähentämällä keskeytyttömästi kaikilta latauksilta suhteessa saman verran tai vuorottelemalla latauspisteiden tehonsaantia tasapuolisesti. Lataustehon keinotekoinen rajoittaminen kuormanhallinnan avulla poistaa satunnaisuuden tehuippujen muodostumisessa, mutta pidentyneestä latausajan vuoksi akusto ei välttämättä ehdikään lataantua täyteen varaustilaan. Tämän vuoksi tehoa rajoitettaessa on tarkasteltava sen tuoma seuraus, kuinka pitkäksi latausajat venyvät ja kuinka paljon latauksista jää keskeneräisiksi pysäköinnin päättyessä. Tämän alaluvun mallinnuksessa tarkoituksena on tarkastella näiden riippuvuussuhteita toisistaan esimerkkitapauksessa, jossa edellisten mallinnuksien mukaisesti 90 % pysäköintipaikan latauspisteiksi on valittu 3,7 kW ja loput 10 % 11 kW tehoisiksi.

Case 3 mallinnus on toiminnoiltaan samanlainen kuin Case 1, mutta siihen on lisätty elementti, jolla huipputehoja rajoitetaan portaattomasti vähentämällä kaikkien pysäköintipaikalla olevien latauspisteiden lataustehoa samalla suhteella, kunnes niiden summateho vastaa latausjärjestelmälle asetettua enimmäistehoa. Latausjärjestelmän huipputehoa rajoittava taso on valittu mallinnukseen siten, että kaikkien yksittäisten latauspisteiden latausteho on mallinnettujen tuntien aikana vähintään n. 1,7 kW. Tämä koko latausjärjestelmää rajoittava tehotaso on haettu kokeellisesti mallinnustyökalulla laskemalla asetettua tehorajaa alemmaksi aina niin kauan, kunnes mallinnetun 5000 vuorokauden aikana ensimmäinen latauspiste saavuttaa tuon n. 1,7 kW:n tason.

Mallinuksissa käytetyt lopulliset tehorajaukset on koottu taulukkoon 5.3.

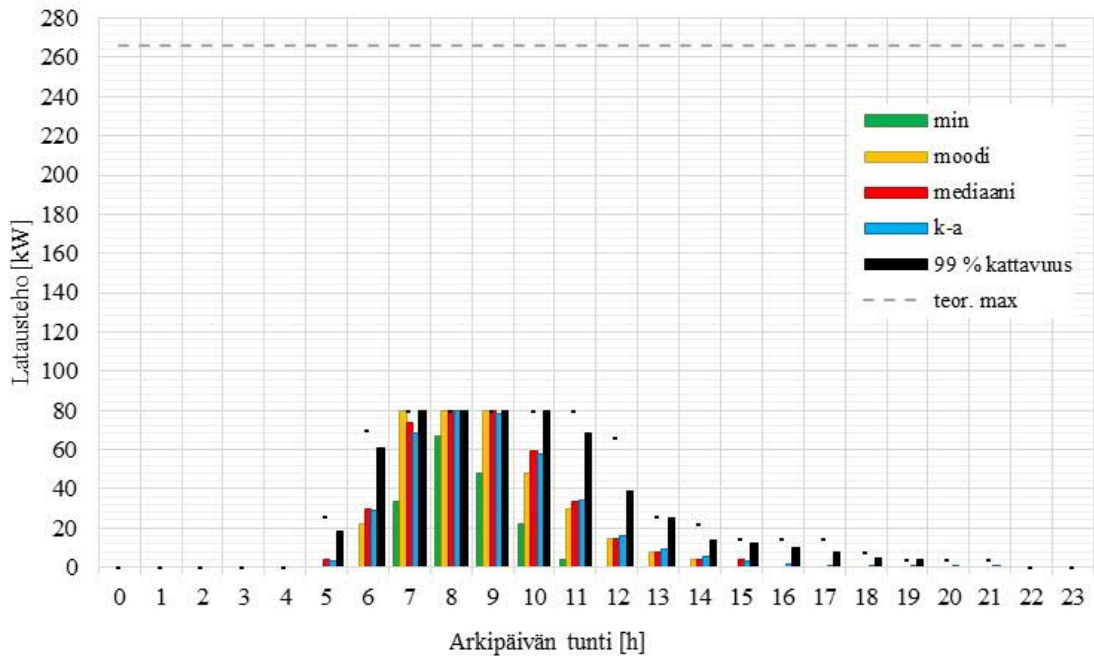
Taulukko 5.3. Latausjärjestelmien mallinnuksessa käytetyt tehonrajoitukset ja niiden tuotokset.

Latauspisteiden lukumäärä			Latauspisteiden nimellisteho yhteensä [kW]	Mallinnuksessa rajoitettu huipputeho [kW]	Tehoista laskettu rajoitusaste [%]	Keskeneräiset lataukset klo 16:00 jälkeen	
Yhteensä [kpl]	3,7 kW [kpl]	11 kW [kpl]				Ylitysten esiintyvyys [kpl/a]	Keskimääräinen latausenergiavajaus [kWh]
4	3	1	22	11	50	5	< 7
10	9	1	44	20	45	15	< 7
20	18	2	89	35	39	29	< 7
30	27	3	133	50	38	42	< 7
60	54	6	266	80	30	83	< 8

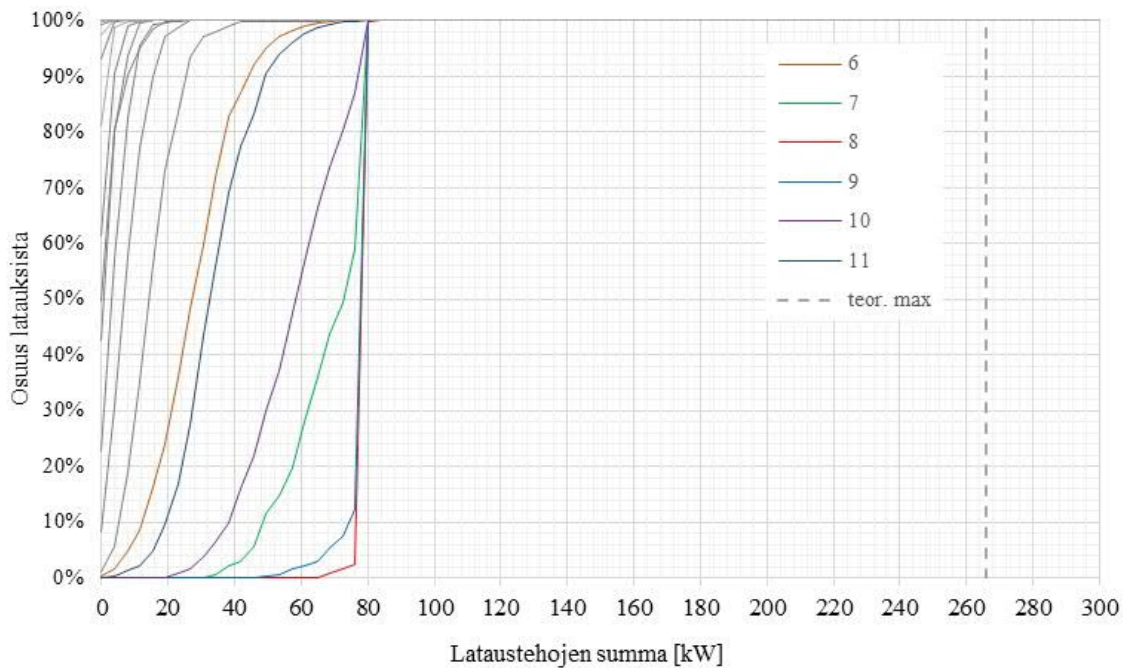
Taulukkoon on laskettu käytetyn tehonrajoituksen ja latausjärjestelmän nimellistehon välinen verrannollinen kerroin kuvaamaan kuormitustehon suhteellista suuruutta. Tehonrajoitusten tuottamaa lataustapahtumien hidastumista ja pitkittymistä varten on esille otettu pari tunnuslukua klo 16 työpäivän jälkeen kesken jääneistä lataustapahtumista. Mallinnuksen antamien tuloksien perusteella lataustapahtumia on jäänyt kesken n. 1,3–1,5 kertaa vuodessa latauspistettä kohden. Varsin harvoin tapahtuvana tätä voidaan pitää siedettävänä ja hyväksyttävänä määränä. Näinä kertoina akkuihin on jäänyt keskimäärin alle 7 kWh energiavajaus.

Mallinnuksessa käytetty laskenta ei anna tarkkoja latauksissa siirrettyjä energiamääriä. Laskentatyökalu askeltaa kokonaisien tuntien mukaisesti eikä osaa huomioida kesken tunnin päättyneitä latauksia. Laskenta olettaa tehon säilyvän koko tunnin ajan samanlaisena, jolloin latauksen lopussa viimeisen tunnin aikana muodostuu energiamäärää kasvattava virhe, tämän vuoksi lukujen edessä on pienempikuin-merkki. Todellinen energiamäärä voi olla huomattavastikin pienempikin.

Luvut on nostettu taulukkoon osoittamaan siirtymättä jääneiden energiamäärien suuruutta ja mallinnukseen valittujen huipputehorajauksien hyvyttä. Tehonrajoituksen vaikutukset ovat nähtävissä kuvista 5.15 ja 5.16, kun latauspisteitä edellisten lukujen mukaisesti 60. Yli 80 kW tehon arvot ovat poistuneet osan energioista siirtyessä seuraaville tunnille.

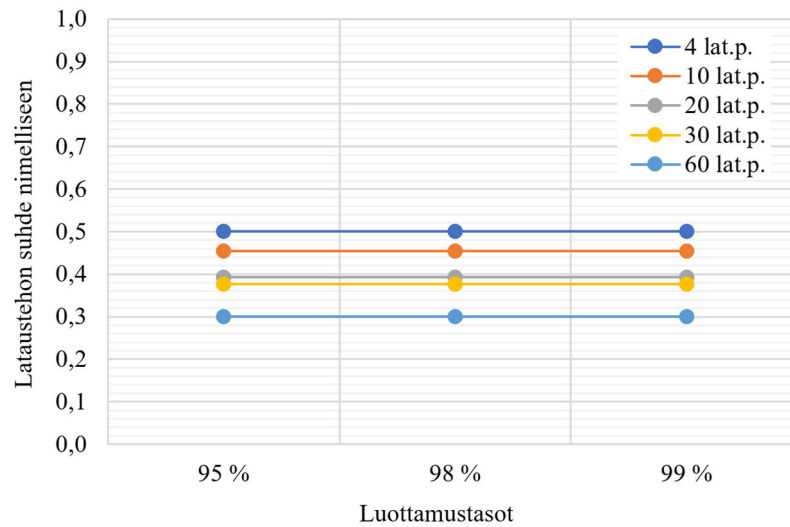


Kuva 5.15. Mallinnuksen tuloksena saadut lataustehojen havaintoarvot tunneittain, kun kiinteistössä on yhteensä 60 latauspistettä (n=5000). Latausjärjestelmän kuormanhallinta rajoittaa enimmäistehon 80 kW:iin.



Kuva 5.16. Latausjärjestelmän tehon kertymät eri tunteina, kun latauspisteitä on 60 ja kuormanhallinta on käytössä (n=5000).

Kuormanhallinnan alkaessa rajoittamaan latausjärjestelmän tehoa lukitsee se kaikki tätä suurempien luottamustasojen tehot myös vastaavalle tasolle. Tehon rajoittuminen on nähtävissä kuvista 5.16 ja 5.17.

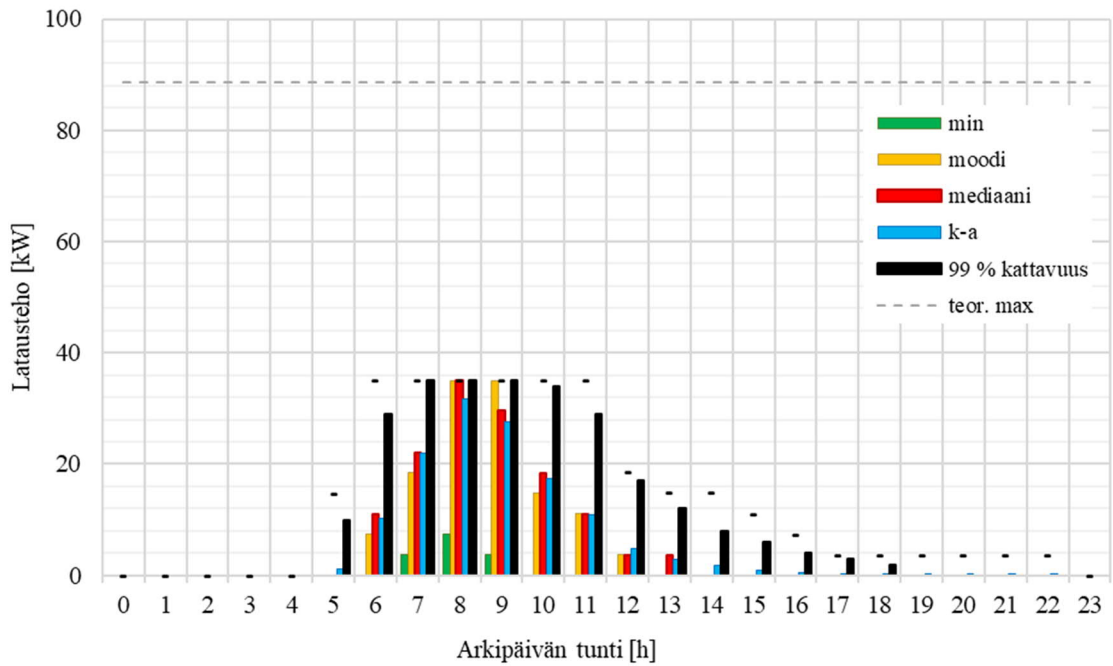


Kuva 5.17. Lataustapahtumien yhteenlaskettu teho suhteessa latauspisteiden nimelliseen tehoon eri luottamustasoilla (n=5000), kun latausteho on rajattu taulukossa 5.3 ilmoitetuille tasoille.

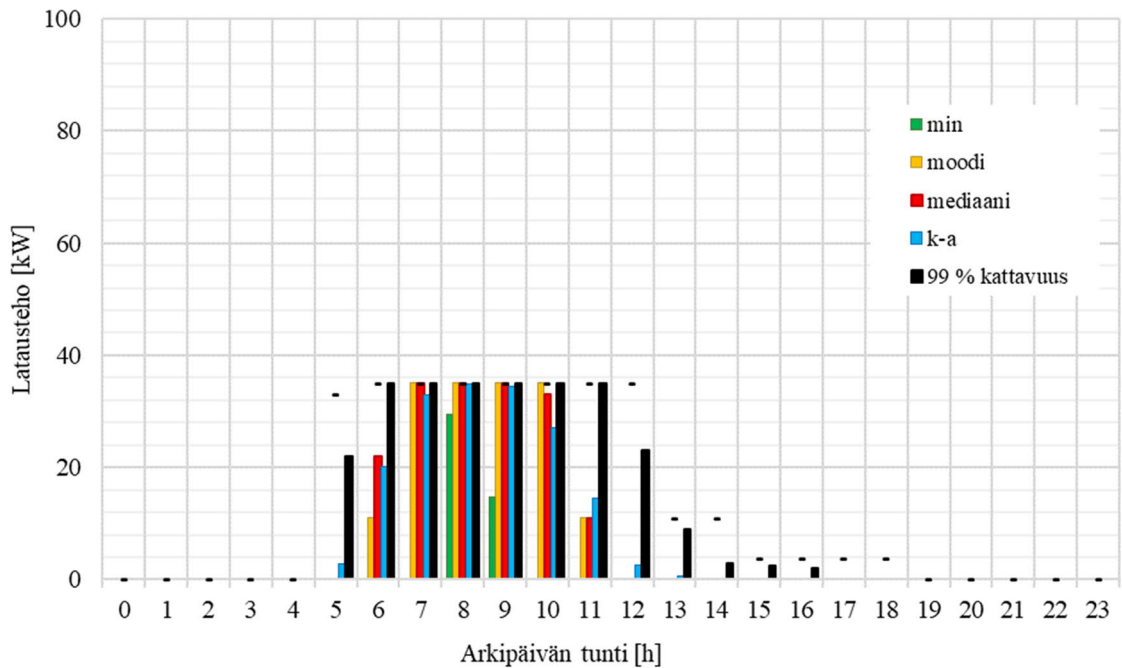
5.3.8 Mallinnuksen muuttujat

Tässä diplomityössä kertymien mallinnukseen valittujen latauslaitteiden nimellistehoja 3,7 ja 11 kW voidaan pitää pieninä. Laitteen omistajan näkökulmasta ja kiinteistöverkon kokonaisvaltaisen toimivuuden kannalta hitaassa latauksessa on useita etuja niin investointitarpeen, kasvavien verkkokustannuksien, kuin laitteiden kestävyuden ja käyttöiänkin puolesta. Käytettäessä pienitehoisia latauslaitteita ja jakamalla tarvittava latausenergia useammalle tunnille ja useammalle käyttäjälle on monella tapaa eri osapuolien kannalta parempi ja tasapuolisempi vaihtoehto kuin nopeiden latauksien suosiminen. Eri asia on, jos autoa tarvitaan työpäivän aikana tai on muuten tarvetta pika-lataukselle. Tällöin on syytä varautua hankkimaan oma sähköliittymä pysäköintipaikalle sähköverkon haltijalta.

Seuraavassa mallinnuksessa vertaillaan latauspisteiden tehon vaikutusta latausaikoihin. Vertailtavissa latausjärjestelmissä on molemmissa 20 latauspistettä. Molemmat latausjärjestelmät on varustettu kuormanhallinnalla ja yhteisteho on rajattu 35 kW:iin koko päivän ajaksi, mutta latauspisteiden tehot jakaantuvat pysäköintipaikalla eri tavoin. Kuvassa 5.18 on latausjärjestelmä, jossa on 18 kpl 3,7 kW ja 2 kpl 11 kW latauspistettä. Kuvassa 5.19 on vertailtava latausjärjestelmä, jossa on 2 kpl 3,7 kW ja 18 kpl 11 kW latauspistettä.



Kuva 5.18. Mallinnuksen tuloksena saadut lataustehojen havaintoarvot tunneittain, kun kiinteistössä on 18 kpl 3,7 kW ja 2 kpl 11 kW latauspistettä (n=5000). Latausjärjestelmän kuormanhallinta rajoittaa enimmäistehon 35 kW:iin.



Kuva 5.19. Mallinnuksen tuloksena saadut lataustehojen havaintoarvot tunneittain, kun kiinteistössä on 18 kpl 11 kW ja 2 kpl 3,7 kW latauspistettä (n=5000). Latausjärjestelmän kuormanhallinta rajoittaa enimmäistehon 35 kW:iin.

Systeemin sähkötehoa rajoittavien tekijöiden vaikutus vähentyy, kun osa latauspisteistä vaihdetaan nimellisteholtaan suurempiin. Oletuksen mukaisesti suuremmilla lataustehoilla saadaan ladattua nopeammin ja latauksien leviäminen eri tunneille on pienempää. Suurempitehoisilla latauspisteillä latausjärjestelmälle myönnetty kokonaisteho tulee hyödynnettyä paremmin jokaisena tuntina ja leikattujen energiaosuuksien siirtyminen seuraaville tunneille vähenee. Kuormanhallinnan etu korostuu, kun on käytettävissä useampi 11 kW latauspiste 3,7 kW sijasta.

6 LATAUKSIEN VAIKUTUS KIINTEISTÖVERKON KUORMITUKSEEN

Tässä luvussa tarkastellaan sähköautojen latauskuormaa osana kiinteistön sähkökuormaa yhdistämällä lukujen neljä kiinteistöissä jo oleva taustakuormitus ja luvussa viisi mallinuksissa saatujen latausjärjestelmien tuottamat kuormitukset. Saatuja tuloksia hyödynnetään valitsemalla tutkimuksessa jo mukana olleista koulurakennuksista yksi lataustehon määrittystä ja kuormitusvaran tarkastamista varten. Tausta- ja latauskuormituksen ajallisesti tarkempi täsmäyttäminen ei ole tarpeellista. Esimeriksi kuvien 4.6 ja 5.9 perusteella voidaan todeta molempien osapuolien huipputehojen ajoittuvan samoille arkipäivän aamutunneille. Määrittäessä käytetään edellisten lukujen tarkasteluista löytyneitä tuntikeskitehojen huippuarvoja.

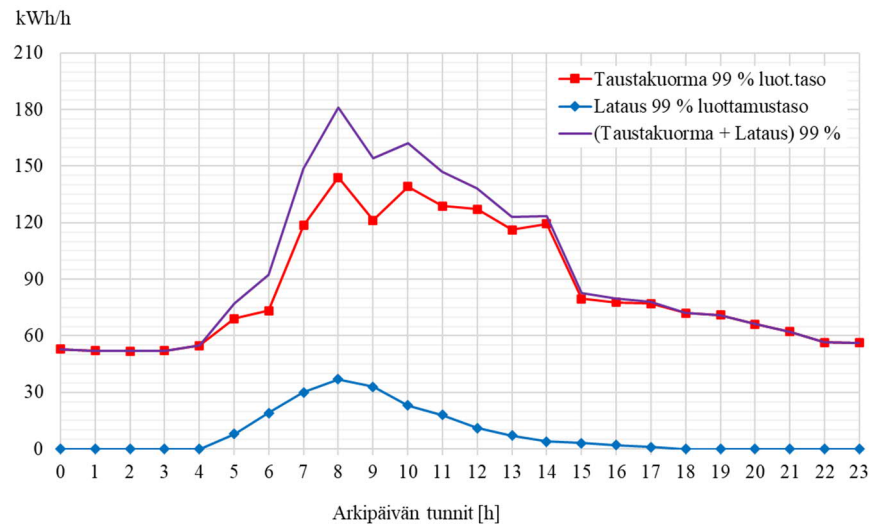
Tässä tutkimuksessa lähtötietona on käytetty AMR-mittauksien tuloksia. Myös lataustapahtumien mallinuksissa on tehoa tarkasteltu tunnin pituisissa jaksoissa. Saman linjauksen mukaisesti sähköliittymän kuormitusvara $P_{\text{kuormitusv.}}$ ja sen latauslaitteiden lisäämisestä johtuva pientymä lasketaan tuntikeskitehoina yhtälöllä 6.1. Tässä tutkimuksessa kuormitusvara kuvaa jäljelle jäänyttä tehokapasiteettia, kun pääsulakkeiden nimellisarvoa vastaavasta sähkötehosta vähennetään kaikki tiedossa olevat liittymään kohdistuvat tehovaraukset.

$$P_{\text{kuormitusv.}} = P_{\text{liittymä}} - (P_{\text{taustak.}} + P_{\text{turvaj.}} + P_{\text{vinok.}} + P_{\text{lataus}} + P_{\text{kasvuv.}}) \quad (6.1)$$

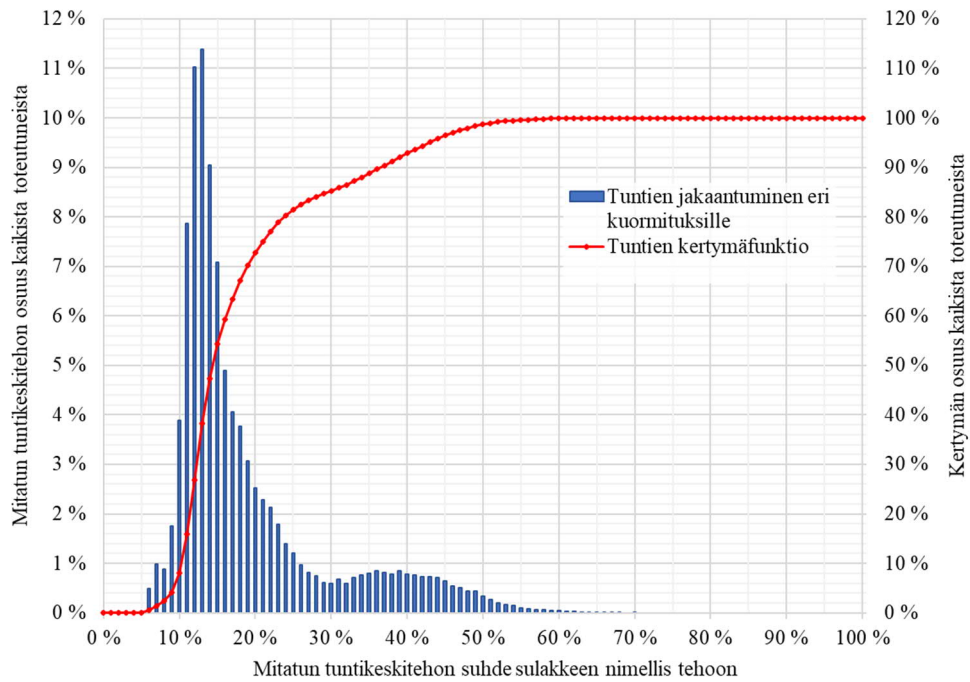
Yhtälössä tehovarauksina on huomioitu kiinteistön liittymää kuormittava muu sähköteho $P_{\text{taustak.}}$, turvajärjestelmien tehovaraukset $P_{\text{turvaj.}}$, vinokuorman aiheuttama kokonaistehon vähentymä $P_{\text{vinok.}}$, latausjärjestelmän huipputeho P_{lataus} , sekä kiinteistölle jätetty tehon kasvuvuara $P_{\text{kasvuv.}}$ tuleville vuosille. Kuormitusvara saadaan, kun näiden tehovarauksien summa vähennetään sähköliittymän pätötehosta $P_{\text{liittymä}}$. Kuormitusvara ei voi olla suuruudeltaan negatiivinen. Taustakuorman ja lataustehon huippuarvojen yhdenaikaisuus tarkastellaan aikatasossa, mutta muiden tehovarauksien sähkötehon oletetaan olevan mitoituksen kannalta huonoimman tilanteen mukaisesti vakion suuruisia ajanhetkestä riippumatta.

Latausjärjestelmän valinnoissa pyritään tilanteeseen, jossa hankittavan latausjärjestelmän mm. häiriötilanteista johtuvat ylläpitotyöt ovat mahdollisimman vähäisiä. Teholaskelmiin valitaan 99 % luottamustaso. Tarkempaan tarkasteluun valitaan koulurakennus, jonka taustakuormituksen luottamustaso vastaa luvussa 4.1.2 tutkittujen koulujen keskimääräistä tehuippua 99 % luottamustasolla. Kuvan 4.8. mukaisesti valittavan koulun tuntikeskitehon suhde pääsulakkeen nimellistehoon tulee tällöin olla noin 53 %.

Lähimpänä keskimääräistä koulurakennusta on koulu No. 20, jonka tuntikeskitehojen suuruudet arkipäivän aikana näkyvät kuvassa 6.1. ja kerääntymisfunktio kuvassa 6.2. Kiinteistön taustakuorman ja lataustehon huiput ovat asettuneet samalle ajan hetkelle.



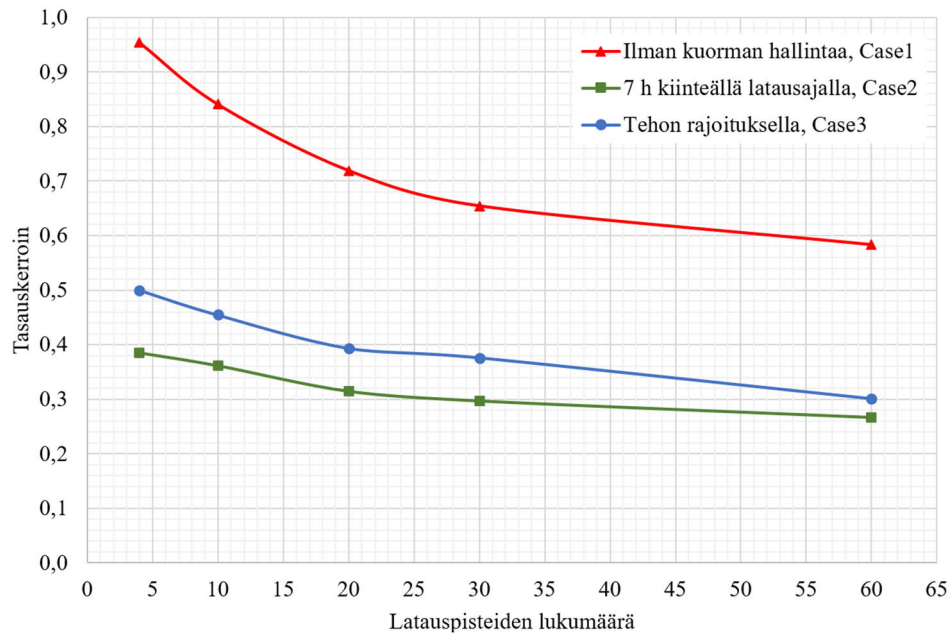
Kuva 6.1. Kiinteistön ja latausjärjestelmän tuntikeskitehot arkipäivän aikana. Koulu No. 20 kiinteistön mitattu taustakuorman tuntikeskiteho 99 % luottamustasolla. Kuvassa alimpana on ilman kuormanhallintaa olevan 10 latauspisteen mallinnettu tuntikeskiteho vastaavasti 99 % luottamustasolla. Kuvassa ylimpänä on näiden tehojen summa.



Kuva 6.2. Koulu No. 20 sähköliittymän kuormittumisen jakaantuminen ja kerääntymisfunktio ennen latauspisteiden lisäämistä ($n = 26301$).

Esimerkkilaskelmaan valitun koulun sähköliittymän sulakkeiden koko on 3×400 A, liittymäteho 277 kVA. Laskennassa tehokertoimena käytetään arvoa 0,98, jonka oletetaan säilyvän samansuuruisena myös latauslaitteiden lisäämisen jälkeenkin. Sähköliittymän laskettu pätöteho $P_{\text{liittymä}}$ on 272 kW. Koulun 99 % luottamustasoa vastaavaksi tuntikeskitehoksi ja yhtälössä 6.1 käytettäväksi taustakuorman arvoksi P_{taustak} saadaan 144 kW. Taustakuorman huippuarvo näkyy kuvassa 6.1 kello kahdeksan aikana. Kolmen vuoden aikana koululta löydetty suurin tuntikeskiteho oli ollut 194 kW energialaitoksen AMR-mittausten perusteella.

Koululle on osoitettu asemakaavassa yhteensä 40 pysäköintipaikkaa ($n = 40$). Varautuessa vuoden 2030 tarpeeseen joka neljäs kalustetaan latauspisteellä. Kohteeseen asennetaan yhteensä 10 latauspistettä, joista yhdeksän on 3,7 kW tehoisia ja 1 kpl 11 kW. Latauslaitteiden yhteisteho on 44 kW. Latauspisteiden tasauskerroin saadaan kuvasta 6.3.



Kuva 6.3. Tasauskertoimet eri latauspistemäärillä, kun luottamustaso on 99 % ($n = 5000$).

Kuvaan on koottu luvun neljä mallinnoista saadut 99 % luottamustason omaavat tasauskertoimet. Mallinnoissa yksittäisten latauspisteiden nimellistehot jakaantuivat kahteen ryhmään. Latauspisteistä 90 % oli 3,7 kW ja lopuilla 10 % 11 kW. Kokonaislukumäärät näkyvät kuvan X-akselilla. Mallinnoksen lähtötietona oli myös autojen 30 % tavanomaista suurempi ominaiskulutus halutun talviajan skenaarion vuoksi. Ilman kuormanhallintaa tasauskertoimen k_{tasaus} suuruus on 0,84, kun latauspisteitä on 10 kpl.

Tässä laskentaesimerkissä pätee yhtälö 6.2, jolla saadaan laskettua latausjärjestelmän huipputehon P_{lataus} suuruudeksi 37 kW 10 latauslaitteen määrällä.

$$P_{\text{lataus}} = 0,25 \times n \times k_{\text{tasaus}} (0,9 \times 3,7 + 0,1 \times 11) \text{ kW} \quad (6.2)$$

Laskennassa oletetaan joka neljäs paikka kalustettavan latauspisteellä. n on pysäköintipaikkojen kokonaislukumäärä. Latauksen huipputehon arvo 37 kW on nähtävissä kuvassa 6.1 ja liitteen I kuvassa L1.3 kello kahdeksan aikana.

Vinokuormituksen epäsymmetrialle on olemassa ohjeellinen raja-arvo. Vaiheen virta saisi poiketa enintään 10 % vaihevirtojen keskiarvosta (ST 52.51.04, 2006). Vinokuorman

aiheuttama kokonaistehon vähentymä on suurimmillaan silloin, kun yhden vaiheen kuormitus on suurin mahdollinen vastaten sulakkeen nimellistehoa ja muiden vaiheiden tehot ovat laskenut tasolle, jossa yhden vaiheen virta on 10 % vaihevirtojen keskiarvoa suurempi. Tarkastellessa vähentymän suuruutta eri mahdollisissa tapauksissa huomataan epäsymmetrian pienentävän käytettävissä olevaa tehoa määrällä, joka on riippuvainen liittymätehon suuruudesta ja vakiokertoimesta. Jos oletetaan vinokuorman olevan enintään edellä mainitun mukainen, niin vinokuormituksen tehovaraus $P_{\text{vinok.}}$ voidaan laskea riittävällä tarkkuudella kertoimen 1/11 avulla, kun tiedetään liittymän koko $P_{\text{liittymä}}$. Vinokuormitukselle varattavaksi tehoksi saadaan yhtälön 6.3 avulla 25 kW, kun vaiheen virran sallitaan poikkeavan 10 % keskiarvosta.

$$P_{\text{vinok.}} = P_{\text{liittymä}}/11 \quad (6.3)$$

Kuormitusvaran määrittämisessä on huomioitava kiinteistön mahdolliset turvajärjestelmät, jotka tarvitsevat tehoreservejä, kuten savunpoistokeskukset. Valitussa koulukiinteistössä ei ole turvajärjestelmiä, jotka vaatisivat reservitehoja. Turvajärjestelmien tehovaraus $P_{\text{turvaj.}}$ on tässä kiinteistössä 0 kW. Tämän lisäksi on aina hyvä jättää tehonkasvulle vähintään 10 % vara kaikkiin keskuksiin (ST 51.90). Uudisrakennuksissa tuleville muutoksille jätetään varoja enemmänkin 10–30 %. Prosenttiosuus on tarkasteltava tapauskohtaisesti. Esimerkin koulurakennuksessa No. 20 varaudutaan 15 % kasvumarginaaliin, jolloin tehon kasvuvara $P_{\text{kasvuv.}}$ suuruus on 41 kW. Sähköliittymän kuormitusvara on yhtälön 6.1 avulla laskettuna ilman kuormanhallintaa olevalla autojen latausjärjestelmällä:

$$P_{\text{kuormitusv.}} = 272 \text{ kW} - (144 + 0 + 25 + 37 + 41) \text{ kW} = 25 \text{ kW}.$$

Vastaavalla tavalla laskettuna Case 3 mukaisella kuormanhallinnalla saadaan kuormitusvaraksi 42 kW. Jos kuormanhallinnan kykenee ohjaamaan vaiheiden tasapainoa ja poistamaan myös vinokuorman, niin sähköliittymän kuormitusvara on 67 kW. Molemmat tulokset on laskettu niin kohteen taustakuormituksen kuin latausjärjestelmän huipputehonkin osalta 99 % luottamustasolla. Valittu koulurakennus No. 20 edustaa tutkituista rakennuksista huippukuormitukseltaan keskimääräistä tapausta. Noin puolella koulujen kuormitukset ovat tätä suurempia. Monessa kohteessa on turvauduttava kuormanhallinnalliseen vaihtoehtoon.

Jos kuormitusvara olisi laskettu pelkästään AMR-mittauksista löytyneen maksimi tuntikeskitehon ja latauspisteiden nimellistehojen summan avulla, niin liittymän kuormitusvaraksi saataisiin:

$$P_{\text{kuormitusv.}} = 272 \text{ kW} - (194 + 0 + 25 + 44 + 41) \text{ kW} = -32 \text{ kW}.$$

Tällöin latausjärjestelmään lisätty 0- tai 1-tason kuormanhallinta rajoittaisi sen maksimitehon 44 kW:sta 12 kW:iin. Kalliimpi adaptiivinen 2-tason latausjärjestelmä säättää tehoaan dynaamisesti liittymän kokonaiskuormituksen huomioiden, jolloin laskelmin arvioidulla kuormitusvaran suuruudella ei ole vastaavaa merkitystä.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä diplomityössä on tutkittu kolmea sähköautolatauksien kiinteistölle muodostamaa lähtökohtaa ja kuormanhallintaa liittyviä ratkaisuja. Tutkimuskysymyksiin on vastattu seuraavissa kappaleissa.

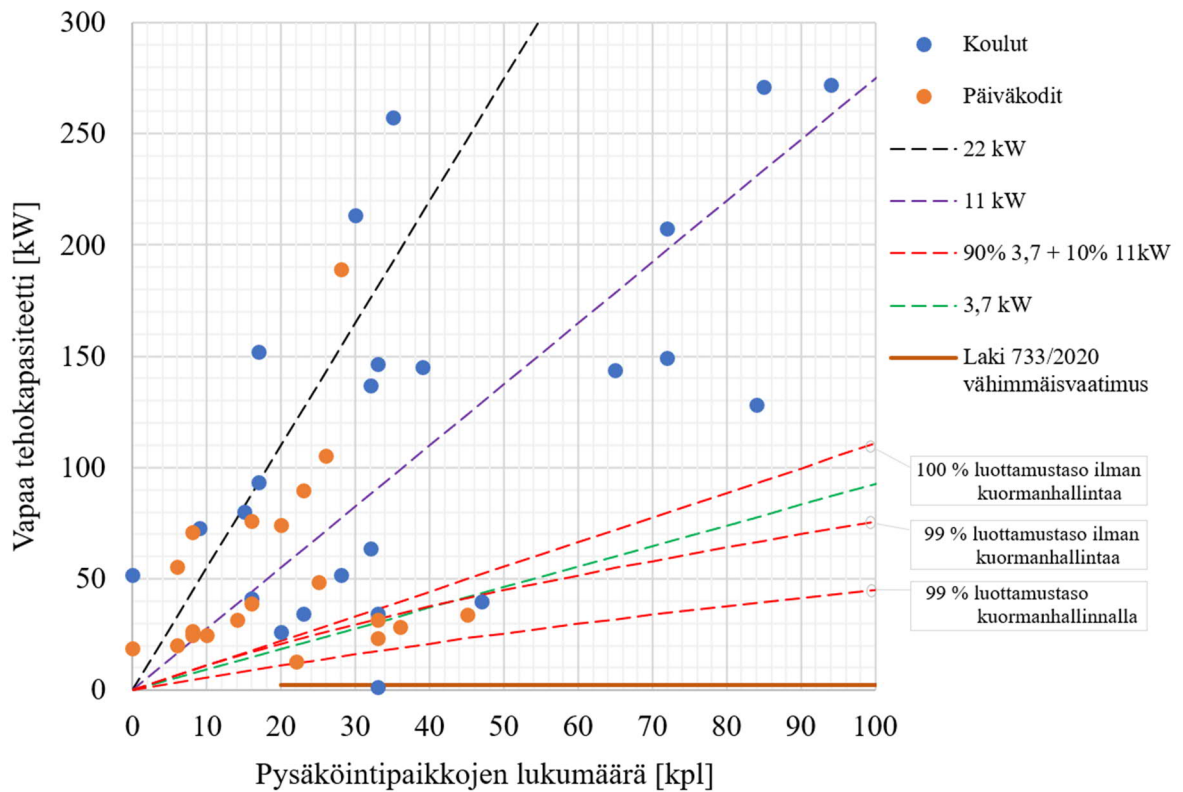
Tutkimuskysymys 1: Millaisia tehokapasiteetteja sähkökäyttöpaikoilla keskimäärin on vapaana ennen latauspisteiden lisäämistä?

Lahden tilakeskuksen rakennuskannassa on lukumääräisesti selkeästi eniten koulu ja päiväkotirakennuksia. Tutkimus on keskittynyt näiden rakennusryhmien tarkasteluun.

Taustakuorman kuormituskerrointa ja jäljellä ollutta tehokapasiteettia tutkittiin luvussa 4. Kaikki päiväkodit ovat olleet 95 % ajasta enintään 66 % teholla suhteessa pääsulakkeisiin ja 99 % ajasta alle 80 % kuormitusasteen. Vastaavasti kaikki tutkitut koulut ovat olleet 95 % ajasta enintään 50 % teholla suhteessa pääsulakkeisiin ja 99 % ajasta alle 62 %.

Tutkituissa kiinteistöissä pääsulakkeiden nimellisarvoilla lasketut sähkökäyttöpaikkojen tehot vaihtelevat paljon. Pienimmän päiväkodin liittymäteho on vain 44 kW, kun keskusta-alueen kouluissa suurimmillaan laskettu teho on 737 kW. Kun käyttöpaikan nimellistehosta vähennetään kiinteistön 99 % luottamustasoa vastaavat taustakuorma, sekä 10 % vinokuorman varautumisen ja 10 % kasvuvaran tehot, niin jäljelle jäänyttä osuutta voidaan pitää vapaaksi jääneeksi tehokapasiteetiksi.

Esitetyllä tavalla lasketut koulu- ja päiväkotirakennusten vapaat tehokapasiteetit on koottu kuvaan 7.1. Kuvassa ei ole huomioitu turvajärjestelmille tarvittavia tehovaroja. Kuva havainnollistaa minkä tehoisia latauslaitteita voi kohteiden pysäköintipaikoille lisätä.



Kuva 7.1. Koulujen ja päiväkotien sähkönliittymien vapaa tehokapasiteetti suhteessa kiinteistöissä olevien pysäköintipaikkojen lukumäärään.

Rakennukset on merkitty kuvaan pyöreillä merkeillä. Niiden pysäköintipaikkojen lukumäärä on X-akselilla ja vapaa tehokapasiteetti Y-akselilla. Kuvaan on myös lisätty katkoviivat havainnollistamaan erilaisien latausjärjestelmien vaatimat tehovaraukset suhteessa pysäköintipaikkojen lukumäärään. Tässä on oletettu aiempien laskelmien mukaisesti, että joka neljäs pysäköintipaikka varustetaan latauspisteillä. Latauslaitteiden tehot näkyvät selitetaulussa kuvan oikealla reunalla. Katkoviivat kuvaavat kuinka paljon vapaata tehokapasiteettia tarvitaan, jos latauspisteet kalustetaan ko. lataustehon laitteilla. Esimerkiksi 11 kW katkoviivan tapauksessa kaikki latauspisteet kalustetaan 11 kW latauslaitteilla ilman kuorman hallintaa. Jos pysäköintipaikkoja on 40 kpl, niin vapaata kapasiteettia tarvitaan 110 kW. Vastaavasti 11 kW ja 3,7 kW katkoviivat kuvaavat tilannetta, että kaikki latauspisteet on kalustettu kuvan reunaan merkityillä laitteilla. Punainen katkoviiva kuvaa yleisemminkin tässä tutkimuksessa tarkasteltua tilannetta, jossa 90 % latauspisteistä on nimellisteholtaan 3,7 kW tehoisia ja loput 11 kW tehoisia laitteita. Tehovarauksien luottamusaste on kaikilla muilla 100 % paitsi kuvan kahdella alimmalla

punaisella katkoviivalla merkityillä latausjärjestelmän tehovarauksella. Ne esittävät luvussa kuusi mallinnettuja 99 % luottamustason lataustehoja. Ilman kuormanhallintaa on kuvassa keskimmäisenä (Case 1) ja kuormanhallinnan ohjaamana on alimpana (Case 3).

Kuvassa katkoviivan yläpuolella sijaitsevat pyöreällä pisteellä merkityt rakennukset voidaan lähtökohtaisesti kalustaa katkoviivalla merkityillä latauspisteillä. Kiinteistön sähkökäyttöpaikalla on riittävästi tehokapasiteettia toteuttaa latausjärjestelmä. Mitä pienempi tehoisista latauslaitteista latausjärjestelmä koostuu, niin sen useamman rakennuksen vapaa kapasiteetti riittää kattamaan tarvittavan tehon. Kahden kaupungin ydinkeskustan rakennuksella ei ole omia pysäköintialueita ollenkaan. Asemakaavassa ei näille kiinteistölle ole myöskään osoitettuna pysäköintipaikkoja.

Tehokapasiteetin riittävydessä huomataan olevan eroja vertaillaessa punaisella katkoviivalla olevia samanlaisista latauspisteistä koostuvia latausjärjestelmiä keskenään. Kun mitoitus ei tehdä latauslaitteiden tehojen summan perusteella vaan 99 % luottamustasolla, niin useamman sähköliittymän tehokapasiteetti saadaan riittämään. Kun latauslaitteisto varustetaan lisäksi kuormanhallinnalla niin yhtä koulurakennusta lukuun ottamatta olemassa olevat sähköliittymät lähtökohtaisesti riittävät. Kyseessä olevan muista poikkeavan koulun pihalle on tuotu sähkölämmitteisiä väistötiloja koulurakennuksessa tapahtuvien perusparannuksien ajaksi. Kuvan alareunan ruskea X-akselin suuntainen viiva kuvaa lain 733/2020 vähimmäisvaatimusta. Mikäli pysäköintipaikkoja on enemmän kuin 20, niin tarvitaan ainoastaan yksi latauspiste. Latauslaitteen tehoa ei ole määritetty. Kuvassa on oletettu tämän latauskuorman vastaavan 1×16 A tehoa. Lain vaatimusta ei ole vaikea toteuttaa. Vähimmäistoteutuksena merkitys vapaana olevaan kapasiteettiin on olematon.

Tutkimuskysymys 2: Millaisia kuormitustehojen kerrostumia lataustapahtumat tuottavat kiinteistöverkolle?

Lataustapahtumien kerrostumista on tarkasteltu luvussa 5. Lataustapahtuman tarkastelu keskittyi arkipäivän aamujen työpaikkaliikenteen tuottamien lataustapahtumien mallinnukseen. Sähköliittymää kuormittava kiinteistön taustakuoma on suurimmillaan tuolloin luvussa neljä tehtyjen havaintojen perusteella. Iltapäivän ja iltojen lataustapahtumia ei tässä tutkimuksessa ole käsitelty. Lataustapahtumien kerrostumiin ei löydetty

vastaavanlaisia suurien käyttäjäryhmien liikkumista tahdistavia tekijöitä. Keskipäivän jälkeen latauksien alkamiset ovat satunnaisempia jakaantuen useammalle tunnille. Sähköliittymän kannalta ajankohta ei ole yhtä kiinnostava. Taustakuorman huippu on useimmissa kiinteistöissä tällöin jo ohitettu.

Mallinnuksen tuloksissa lataustapahtumat kerrostuivat eniten kello 8–9 välisenä aikana juuri samaan aikaan kiinteistön muiden taustakuorman huippujen kanssa. Kuormitustehojen kerrostumat tunneittain eri latauspistemäärillä ja ilman kuormanhallinta on nähtävissä liitteen I kuvista. Kerrostumien tehon suuruus riippuu järjestelmään valittujen yksittäisten latauspisteiden tehoista, sekä niiden lukumääristä. Lukumäärien vaikutus kerrostumiin on nähtävissä kuvasta 6.3 eri kuormanhallintatavoilla, kun luottamustaso on 99 %. Mikäli latauspisteitä on lukumääräisesti 10 tai vähemmän, niin lataustehojen kertymä on vielä lähes yhtä suuri latauspisteiden yhteenlaskettujen nimellistehojen kanssa. Mitä pienempi joukko on, niin sen suuremmalla todennäköisyydellä lataukset osuvat samoihin aikoihin ja tasauskerroin on lähempänä arvoa 1,0. Kun taas latauspisteitä on enemmän, niin latauksien samanaikaisuus suhteessa vähenee ja tasauskerroin pienenee. Latauslaitteiden lukumäärän ja kuormanhallinnan vaikutus lataustehojen kerrostumiin on nähtävissä myös kuvasta 7.1.

Tutkimuskysymys 3: Mikä on latausjärjestelmän älykkään ohjauksen merkitys ja vaikutus muodostuviin huipputehoihin?

Älykäs latausjärjestelmä mittaa sähköliittymän tehoa ja jakaa latauspisteille tehoa sähkönjakelun kapasiteetin rajoissa. Latausjärjestelmän huipputeho on riippuvainen kiinteistön muusta samanaikaisesta sähkön kulutuksesta.

Kuormanhallinnan merkitystä on tarkasteltu luvun viisi mallinnuksien yhteydessä vertailemalla mallinnustapauksia case 1 ja case 3 keskenään. Ensimmäisessä oli latausjärjestelmä ilman kuormanhallintaa ja jälkimmäisessä rajoitetaan latausjärjestelmän maksimitehoa. Tehorajoituksen vaikutus on nähtävissä vertaillen näiden kahden eri tapauksen tuntikohtaisia tehoja kuvista 5.9 ja 5.15. Rajoitettaessa tehoa lataamaton energiaosuus siirtyy myöhemmille tunneille.

Latauspisteet voidaan ylivoimaisesti valitsemalla nimellistehoiltaan suurempitehoisia laitteita. Älykäsohjaus jakaa vapaan kapasiteetin käytössä olevien latauslaitteiden kesken asetetuista kriteereistä. Tämä mahdollistaa ruuhkattomina hiljaisina aikoina suuremmat lataustehot, joka on käyttäjien puolelta toivottu ominaisuus. Lataustehojen vaihdellessa myös latausaika muuttuu. Vastavuoroisesti ruuhka-aikana lataustehon pienentyminen voi yllättää käyttäjän odotukset akun varaustilasta. Käytössä olevien latauspisteiden lukumäärä ja kiinteistön muu sähkön käyttö vaikuttaa muodostuviin huipputehoihin. Älykkästä ohjauksesta on selkeästi hyötyä pienen tehokapasiteetin omaavissa kiinteistöissä, kuten edellä ensimmäisen tutkimuskysymyksen kohdalla on jo todettu.

Tutkittujen kohteiden osalta sähkönkäyttöpaikkojen nykyiset tehot riittävät useimpien toimitilakiinteistöjen latausjärjestelmiin. Latausjärjestelmät eivät tarvitse omaa sähköliittymää, mikäli toteutetaan pienitehoisina käyttäen nimellistehoiltaan enintään 3,7 kW ja 11 kW latauslaitteita. Pieni osa latausjärjestelmistä tarvitsee 2-tason kuormanhallinnan liittymätehon rajoittamiseksi. Kuormanhallinta mahdollistaa myös tehokkaampien latauspisteiden hankinnan, mutta niiden hyöty suhteessa pienitehoisiin latauspisteisiin jää sähkön huippukulutuksen aikoina vähäisemmäksi lataustehojen rajoittamisen vuoksi. Liittymätehoja ei tarvitse suurissa määrissä vahvistaa, joten tämän osalta merkittäviä lisäkustannuksia ei ole kiinteistöjen latausjärjestelmille odotettavissa.

8 YHTEENVETO

Tässä työssä tutkittiin latauskuorman vaikutuksia kiinteistöliittymän tehokapasiteettiin ja sen riittävyyttä. Tutkimuksessa havaittiin tilastollisesta tarkastelusta ja latausjärjestelmän kuormanhallinnasta saatavan monenlaisia hyötyjä. Työ aloitettiin selvittämällä kansallisten säädöksiä asettamat velvoitteet luvussa kaksi ja tarkasteltiin latausinfraan ympärillä olevia toimijoita, palvelun tarjoajia, investointi- ja ylläpitokustannuksia, sekä latauspisteen käytön hinnoitteluun liittyviä tekijöitä luvussa kolme. Tutkimustyön luvussa neljä koottiin olemassa olevista rakennuksista sähköliittymien taustakuormat nykytilanteessa ennen latausjärjestelmien lisäämistä pysäköintipaikoille, selvitettiin sähkön käyttöpaikkoista vapaa tehokapasiteetti ja luotiin löydöksistä tilastollinen yhteenveto. Tarkastellessa kiinteistöjen taustakuormia 99 % luottamustasolla 100 % sijasta on saavutettavissa merkittävä laskennallinen kapasiteettisäästö. Luottamustason ollessa 99 % päiväkotien kuormituskerroin oli vain n. 20–80 % liittymätehosta. Kouluissa vastaavalla luottamustasolla kuormitustaso oli n. 20–60 % liittymätehosta yhtä poikkeavaa koulurakennusta lukuun ottamatta.

Luvussa viisi tutustuttiin sähköautojen lataustehoon vaikuttaviin tekijöihin. Merkittävimmistä tekijäistä muodostettiin laskentaa varten jakaumat ja mallinnettiin tilastollisesti lataustapahtumien kerrostumisen selvittämiseksi. Luvussa kuusi esimerkin omaisesti yhdistettiin koulukiinteistön taustakuorma ja mallinnuksessa saatu latausteho sähköliittymän kuormittumisen selvittämiseksi. Kerrostumien muodostumiseen vaikutti paljon latauspisteiden lukumäärä ja kuormanhallintatapa. Ilman kuormanhallintaa laskennallinen huipputeho 20 latauspaikan kohteessa on noin 72 % latauspisteiden yhteenlasketusta nimellistehosta. Vastaavat osuudet ovat 30 latauspisteellä noin 65 % ja 60 latauspisteellä noin 58 %. Suuremmilla latauspisteiden lukumäärillä ja niitä vastaavilla %-osuuksien käytöllä on mahdollista saavuttaa merkittäviäkin materiaali ja kustannussäästöjä sähkötehon noin 20–40 % kapasiteettisäästön vuoksi (kuva 6.3, Case 1). Jos latausjärjestelmä varustetaan älykkäällä kuormanhallinnalla, niin sillä on saavutettavissa lähes kaksinkertainen kapasiteettisäästö verrattuna latausjärjestelmää, jossa ei ole minkäänlaista kuormanhallintaa (kuva 6.3, Case 3). Osa älykkäistä latausjärjestelmistä kykenee lisäksi valvomaan vaiheiden tasapainoa ja poistamaan vinokuormaa, jolloin sähköliittymästä on saatavissa suurempi teho käyttöön.

LÄHDELUETTELO

- (ARA, 2021a) Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA, 2022. ”Sähköautojen latausinfra-avustus”. Julkaistu 21.12.2021. [verkkojulkaisu]. [Viitattu 5.5.2022]. Saatavilla: <https://www.ara.fi/download/noname/%7B476B71D5-4945-4504-A665-7C97962DAA0A%7D/148167>
- (ARA, 2021b) Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA, 2022. ”Työpaikkojen latauspisteavustus”. Julkaistu 21.12.2021. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 5.5.2022]. Saatavilla: <https://www.ara.fi/download/noname/%7B1475A2E6-1F99-4761-936F-C2B8A05831E5%7D/171961>
- (Autoalan TK, 2020) Autoalan Tiedotuskeskuksen julkaisu 20.1.2020. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 5.2.2022]. Saatavilla: https://www.aut.fi/files/2116/Ladattavien_autojen_tutkimusraportti_liitteinen.pdf
- (Autoalan TK, 2022) Autoalan Tiedotuskeskuksen julkaisu 1.6.2022. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 11.6.2022]. Saatavilla: https://www.aut.fi/tilastot/ensirekisteroinnit/ensirekisteroinnit_kayttovoimittain/henkiloautojen_kayttovoimatilastot
- (Autotie, 2016) Netwheels Oy, Autotie.fi julkaisu ”Nissan Leaf sähköauton kulutus kesällä vs talvella”, 9.5.2016. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 20.2.2022]. Saatavilla: <https://www.autotie.fi/tien-sivusta/sahkoautoileva-motoristi/nissan-leaf-sahkoauton-kulutus-kesalla-vs-talvella>
- (Energiavirasto, 2022) Energiaviraston julkaisu 20.4.2022 ”Ryhmäkohtaisia ohjeita infrastruktuurituen tarjouskilpailuun osallistujalle” [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 22.5.2022]. Saatavilla: <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/117902255/Ohje+tarjouksen+j%C3%A4tt%C3%A4miseksi+B1+pikalaturit+2022-04-20.pdf/5d8fb72f-c38f-4389-3870-3f5fe768582/Ohje+tarjou>

- ksen+j%C3%A4tt%C3%A4miseksi+B1+pikalaturit+2022-04-20.pdf?t=1650469775269
- (eParking, 2021a) IGL-Technologies Oy julkaisu 16.6.2021 ”Kuorman hallinta-kuinka sähköt saadaan riittämään” [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 10.3.2022]. Saatavilla: <https://igl.fi/kuormanhallinta-kuinkasahkot-saadaan-riittamaan/>
- (eParking, 2021b) IGL-Technologies Oy julkaisu 23.8.2021 ”Miten hinnoittelen latauspalvelun yrityksen pihassa” [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 10.3.2022]. Saatavilla: <https://igl.fi/miten-hinnoittelen-latauspalvelun-yrityksen-pihassa/>
- (EU, 2022) Euroopan unionin virallinen verkkosivusto, lehdistötiedote 14.4.2021. ”Euroopan vihreän kehityksen ohjelma” [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 5.2.2022]. Saatavilla: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fi/IP_21_3541
- (Garo, 2022) Garo Finland Oy, 2022. ”Piharasian pistorasiaelementti” [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 5.5.2022]. Saatavilla: <https://garo.fi/tuote/idl-216-2-kwh-modbus/>
- (HLT, 2018a) Liikenne- ja viestintävirasto Traficom:n julkaisu 14.3.2018. ”Henkilöliikennetutkimus 2016, Työssäkäynti ja liikkuminen”. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 5.2.2022]. Saatavilla: <https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Faktakortti-HLT2016-tyomatkat.pdf>
- (HLT, 2018b) Liikenne- ja viestintävirasto Traficom:n julkaisu 6.1.2018. ”Henkilöliikennetutkimus 2016, Ajalliset vaihtelut”. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 5.2.2022]. Saatavilla: <https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/HLT2016-L-PR-Ajalliset-vaihtelut.xlsx>
- (HLT, 2018c) Liikenne- ja viestintävirasto Traficom:n julkaisu 10.1.2018. ”Henkilöliikennetutkimus 2016, Työssäkäynti ja liikkuvuus”. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 5.2.2022]. Saatavilla:

- <https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/HLT2016-L-Paaraportti-tulokset.xlsx>
- (HLT, 2018d) Liikenne- ja viestintävirasto Traficom:n julkaisu 15.3.2018. ”Henkilöliikennetutkimuksen 2016 seutujulkaisu, Päijät-Häme liikkuminen”. [Verkojulkaisu]. [Viitattu 5.2.2022]. Saatavilla: <https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Seutujulkaisu-HLT2016-Paijat-Hame.pdf>
- (Koivuniemi, 2020) Eero Koivuniemi, Diplomityö 2020: ”Toimistokiinteistöjen tehonhallintaratkaisujen vaikutukset sähköjakeluverkon mitoittamiseen”. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 24.2.2022]. Saatavissa: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/119935/KoivuniemiEero.pdf?sequence=2>
- (KSOY, 2022) Kymenlaakson Sähkö Oy, 2022. ”Ostajan opas”. [verkkodokumentti]. [Viitattu 20.1.2022]. Saatavilla: <https://www.ksoy.fi/sahkon-myynti/asiakaspalvelu/ostajan-opas>
- (LE, 2022) Lahti Energia Oy. [online-palvelun verkkoesite] [Viitattu 20.1.2022]. Saatavilla: <https://www.lahtienergia.fi/tiedotteet/fi-ajankohtaista-tiedotteet-tervetuloa-omawattiin/>
- (LVM, 2021) Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu ”2021:15. Fossiilittoman liikenteen tiekartta.” [Verkojulkaisu]. [Viitattu 22.1.2022]. Saatavilla: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163258/LVM_2021_15.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- (Liikennefakta, 2021) Liikennefaktan julkaisu 25.05.2021. ”Liikenteen kasvihuonekaasupäästöt ja energiankulutus”. [Verkojulkaisu]. [Viitattu 20.2.2022]. Saatavilla: <https://liikennefakta.fi/fi/ymparisto/liikenteen-kasvihuonekaasupaastot-ja-energiankulutus>
- (Liikennefakta, 2022) Liikennefakta 11.02.2022, kuva liikennekäytössä olevista sähkökäyttöisien autojen lukumäärästä. [Verkojulkaisu]. [Viitattu 11.6.2022]. Saatavilla: <https://liikennefakta.fi/fi/>

ymparisto/henkiloautot/liikennekaytossa-olevat-henkiloautot-kayttovoimittain

- (LUT, 2021) LUT Scientific and Expertise Publications, 2021. ”Research Reports 130, Technical report: Measurements of cold climate EV charging”. [Verkojulkaisu]. [Viitattu 20.2.2022]. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-335-715-0>
- (Mennekes, 2018) Mennekes, Kuva latauspistokkeista, 30.1.2013. [Verkkosivu] [Viitattu 20.1.2022]. Saatavissa: [http://www.mennek.es/index.php?id=latest0&L=2&tx_ttnews\[tt_news\]=929&cHash=46a00bad7f0d569c00bea9537556bbeb](http://www.mennek.es/index.php?id=latest0&L=2&tx_ttnews[tt_news]=929&cHash=46a00bad7f0d569c00bea9537556bbeb)
- (MML, 2022) Lahden karttapalvelu, 2022. Karttakuva Lahden alueesta. [Verkkosivu] [Viitattu 18.4.2022]. Saatavissa: <https://kartta.lahti.fi/ims>
- (Motiva 2015) Valtion kestävän kehityksen yhtiö Motiva, 2015. ”Kiinteistöjen latauspaikat -esiselvitys”. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 24.1.2022]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/10869/Kiinteistojen_latauspaikat_esiselvitys.pdf
- (Motiva, 2021) Valtion kestävän kehityksen yhtiö Motiva Oy, 15.12.2021. ”Sähköautot”. [Verkkosivu] [Viitattu 18.4.2022]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot
- (NAF, 2022) Norjan autoliiton julkaisu, 15.2.2021. [Verkojulkaisu]. [Viitattu 20.2.2022]. Saatavilla: <https://nye.naf.no/elbil/lading/ladesstandarder-for-elbil>
- (OCA, 2022) Open Charge Alliance, 2022. Verkkosivu [Viitattu 16.4.2022]. Saatavissa: <https://www.openchargealliance.org/about-us/info-en-whitepapers/>
- (Phoenix contact, 2022) Kuva latauspistokkeista, 2022. [Verkkosivu] [Viitattu 20.1.2022]. Saatavissa: <https://www.phoenixcontact.com/fi->

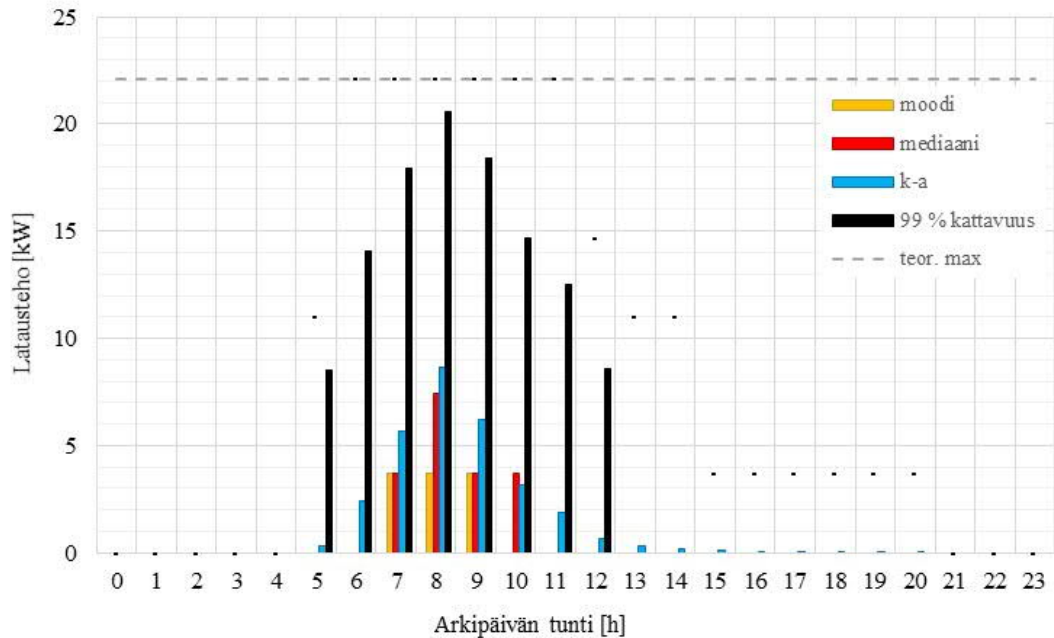
- fi/tuotteet/charging-technology-for-e-mobility/ac-charging-cables
- (Plugit, 2022) Plugit, 2022. [Verkkosivu] [Viitattu 15.4.2022]. Saatavissa: <https://plugit.fi/artikkelit/mita-tarkoittaa-kestava-latausratkaisu/>
- (Sesko, 2021a) Sesko ry:n julkaisu, 2021. ”Sähköajoneuvojen lataussuositus 17.2.2021, 5. painos” [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 20.2.2022]. Saatavilla: https://sesko.fi/wp-content/uploads/2021/11/SESKO_lataussuositus_2021-02-17.pdf
- (Sesko, 2021b) Sesko ry:n julkaisu, 2021. ”Sähköautosanasto” Laadittu 8.4.2021 [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 20.2.2022]. Saatavilla: <https://sesko.fi/standardointi/sahkoautot-ja-latausjarjestelmat/sahkoautosanasto/>
- (ST 13.31, 2022) Sähkötieto ry, 2022. ST-kortti 13.31 ”Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen”. Laadittu 17.1.2022, Sähköinfo Oy.
- (ST 51.92, 2022) Rakennustietosäätiö, 2022. RT 103404, ST-kortti 51.92 ”Sähköajoneuvojen latauspisteet kiinteistöissä”. Laadittu tammikuu 2022.
- (ST 52.51.04, 2006) Sähkötieto ry, 2016. ST-kortti 52.51.04 ”Sähkön laatu. Vinokuormitus, nollajohdin ja transienttiylijännitteet”. Laadittu 15.5.2006, Sähköinfo Oy.
- (ST-käsikirja 41, 2019) Sähkötieto ry, 2019. ”Sähköautot ja latausjärjestelmät, ST-käsikirja 41.
- (TM, 2019) Otavamedia Oy, 2019. ”TM testasi: Sähköauton toimintamatka ei riipu vain akun tai auton koosta – Talviverailun kulutusmittauksissa yllättäviä tuloksia!”. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 20.2.2022]. Saatavilla: [https://tekniikanmaailma.fi/tm-testasi-sahkoauton-toimintamatka -ei-riipu-vain-akun-tai-auton-koosta-talviverailun-kulutusmittauksissa-yllattavia-tuloksia/](https://tekniikanmaailma.fi/tm-testasi-sahkoauton-toimintamatka-ei-riipu-vain-akun-tai-auton-koosta-talviverailun-kulutusmittauksissa-yllattavia-tuloksia/)

- (TM 5B, 2022) Otavamedia Oy, 2022. ”TM vertailu: Talviauto 2022, osa 2, kuusi sähköautoa”. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 18.4.2022]. Saatavilla: https://tekniikanmaailma.fi/lehti/5b-2022/tmn-talvive_rtailu-osa-2-sahkoautot-ainekset-erinomaisuuteen/
- (TMF, 2022) Traffic Management Finland Oy, Liikennetilanne-palvelu, 2022. [verkkopalvelu]. [Viitattu 20.5.2022]. Saatavilla: <https://latauskartta.fi/>
- (Traficom, 2022) Traficom. 2022. Tilastotietokanta 6.6.2022. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 11.6.2022]. Saatavilla: https://trafi2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/TraFi/TraFi__Kaytettyna_maahantuodut/030_yksmaah_tau_103.px/
- (Vero, 2020) Verohallinto, 2021. ”Verotuksen muutos 2021”. [Verkkotiedote]. [Viitattu 20.1.2022]. Saatavilla: <https://www.vero.fi/tietoa-verohallinnosta/uutishuone/uutiset/uutiset/2020/verotuksen-muutoksia-2021/>
- (VN, 2022) Valtioneuvoston, 2022. ”Asetus sähköisen liikenteen, biokaasun ja uusiutuvan vedyn liikennekäytön infrastruktuurituesta vuosina 2022–2025”. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 18.5.2022]. Saatavilla: <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2022/20220178>
- (YKR 2018) YKR, SYKE ja Tilastokeskus, 2018. ”Työmatkan pituus 2018”. [Verkkotiedote]. [Viitattu 20.1.2022]. Saatavilla: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ympariston_tilan_indikaattorit/Yhdyskuntarakenne/Tyomatkan_keskipituus_kasvanut_14_kilome\(28635\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ympariston_tilan_indikaattorit/Yhdyskuntarakenne/Tyomatkan_keskipituus_kasvanut_14_kilome(28635))

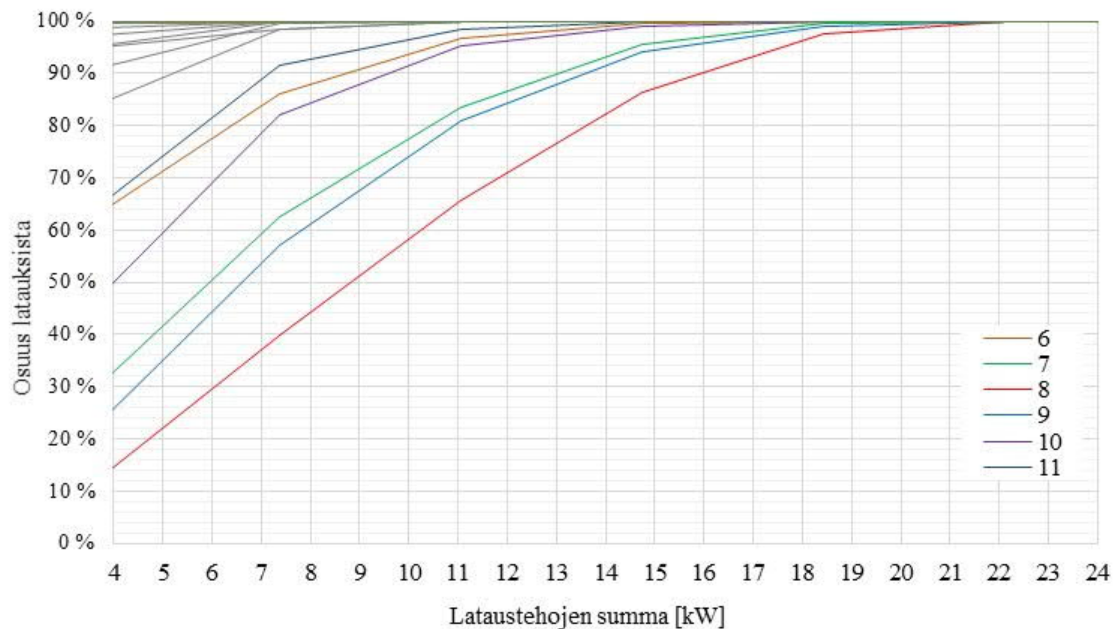
4 latauspisteen järjestelmä ilman kuormanhallintaa

Liite I

(1/5)



Kuva L1.1 Mallinnuksen tuloksena syntyneet lataustehojen havaintoarvot, kun kiinteistössä on 3 kpl 3,7 kW ja 1 kpl 11 kW latauspistettä. Päiväkohtaisia tehon simulointikierroksia on ollut 5000 kpl, jonka havaintoaineistosta on tilastolliset tunnusluvut saatu tunneittain.

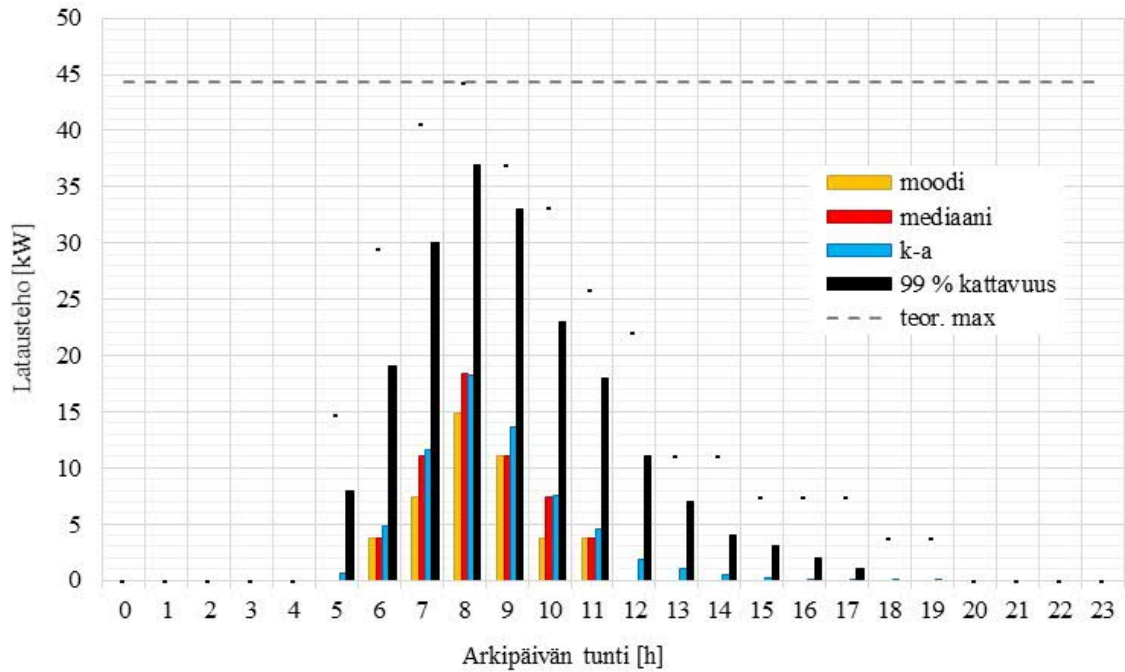


Kuva L1.2. 4 latauspisteen tehon kertymät huipputehon tunteina klo 6–11 (n=5000). Suurin tehokertymä muodostuu kello kahdeksan aikana. Luottamustasolla 95 % teho on 18 kW, 98 % on 19 kW ja 99 % on 20,6 kW. Laskennallinen teho maksimi on 22 kW (= 3×3,7 + 1×11).

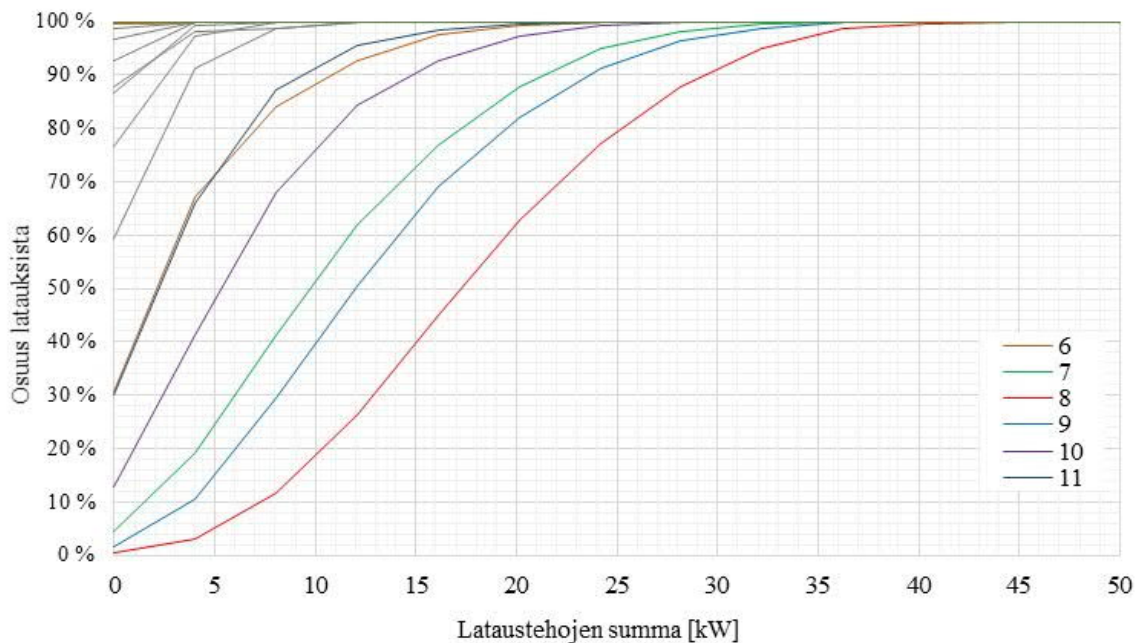
10 latauspisteen järjestelmä ilman kuormanhallintaa

Liite I

(2/5)



Kuva L1.3. Mallinnuksen tuloksena saadut lataustehojen havaintoarvot tunneittain, kun kiinteistössä on 9 kpl 3,7 kW ja 1 kpl 11 kW latauspistettä (n=5000).

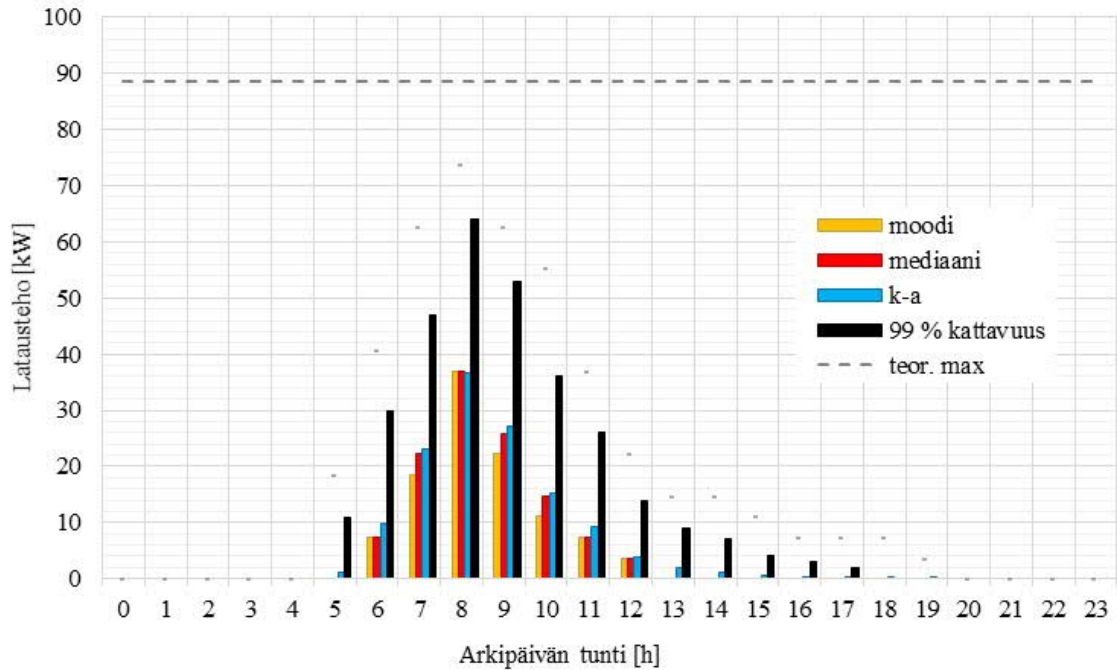


Kuva L1.4. 10 latauspisteen tehon kertymät eri tunteina (n=5000). Suurin tehokertymä muodostuu kello kahdeksan (punainen viiva) aikana 44 kW, kun laskennallinen teho maksimi on 44 kW (= 9×3,7 + 1×11). Luottamustason ollessa 95 % teho on 32 kW, 98 % on 35 kW ja 99 % on 37 kW.

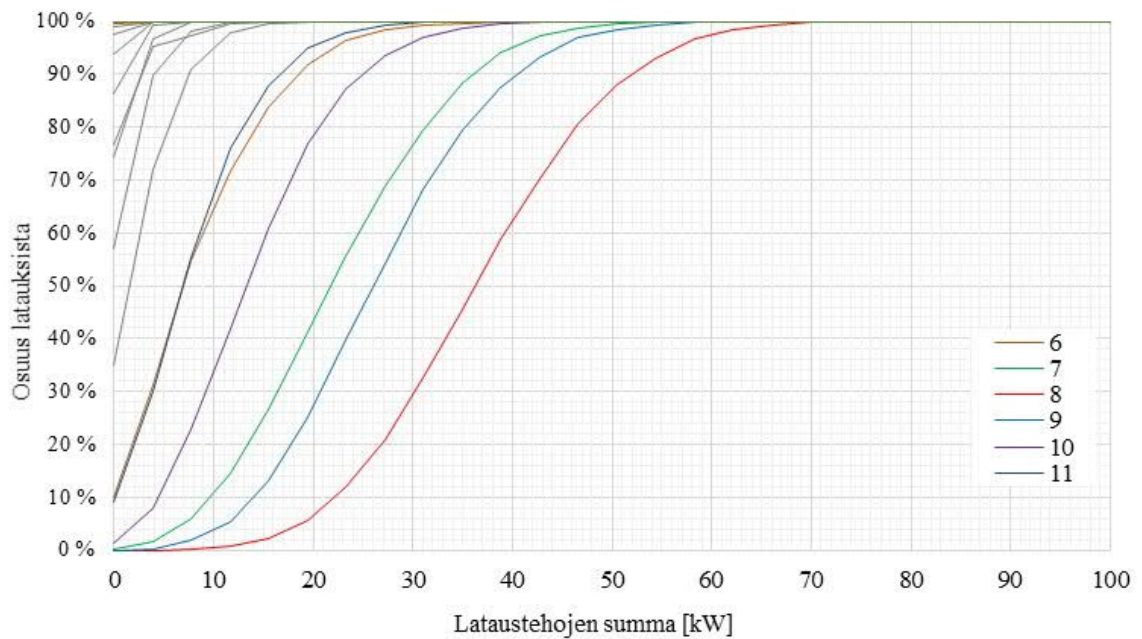
20 latauspisteen järjestelmä ilman kuormanhallintaa

Liite I

(3/5)



Kuva L1.5. Mallinnuksen tuloksena saadut lataustehojen havaintoarvot tunneittain, kun kiinteistössä on 18 kpl 3,7 kW ja 2 kpl 11 kW latauspistettä (n=5000). Luottamustason ollessa 99 % latausjärjestelmän huipputeho on 64 kW.

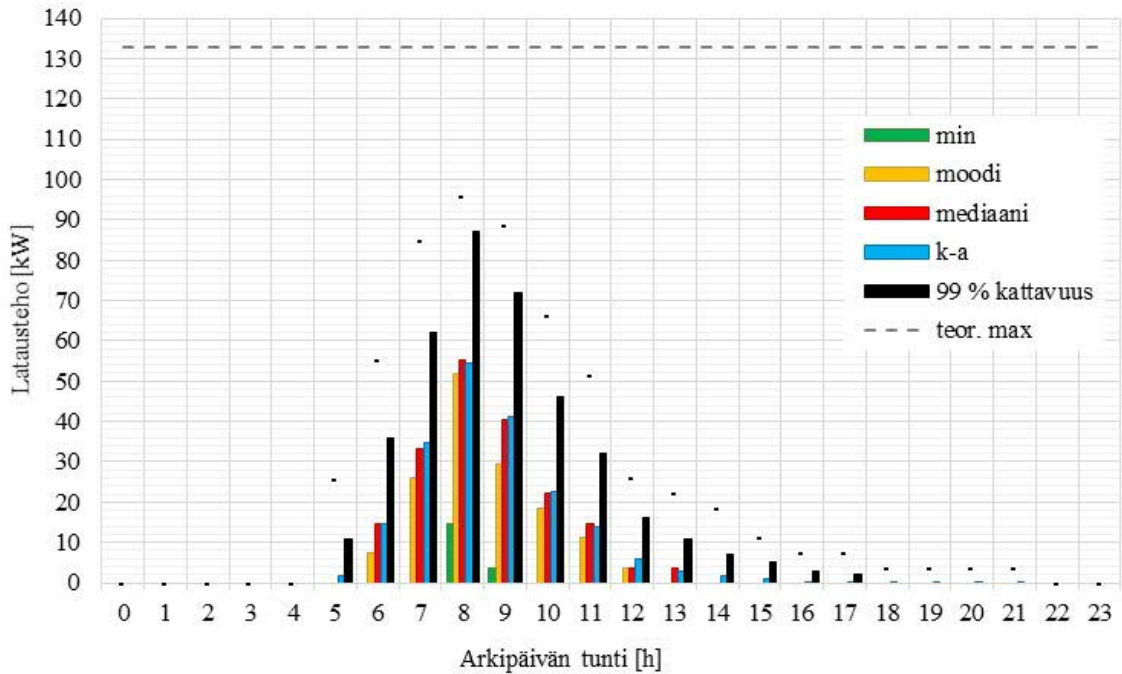


Kuva L1.6. 20 latauspisteen tehon kertymät eri tunteina (n=5000). Suurin tehokertymä muodostuu kello kahdeksan aikana 74 kW, kun laskennallinen teho maksimi on 89 kW (= 18×3,7 + 2×11). Luottamustason ollessa 95 % teho on 57 kW, 98 % on 61 kW ja 99 % on 64 kW.

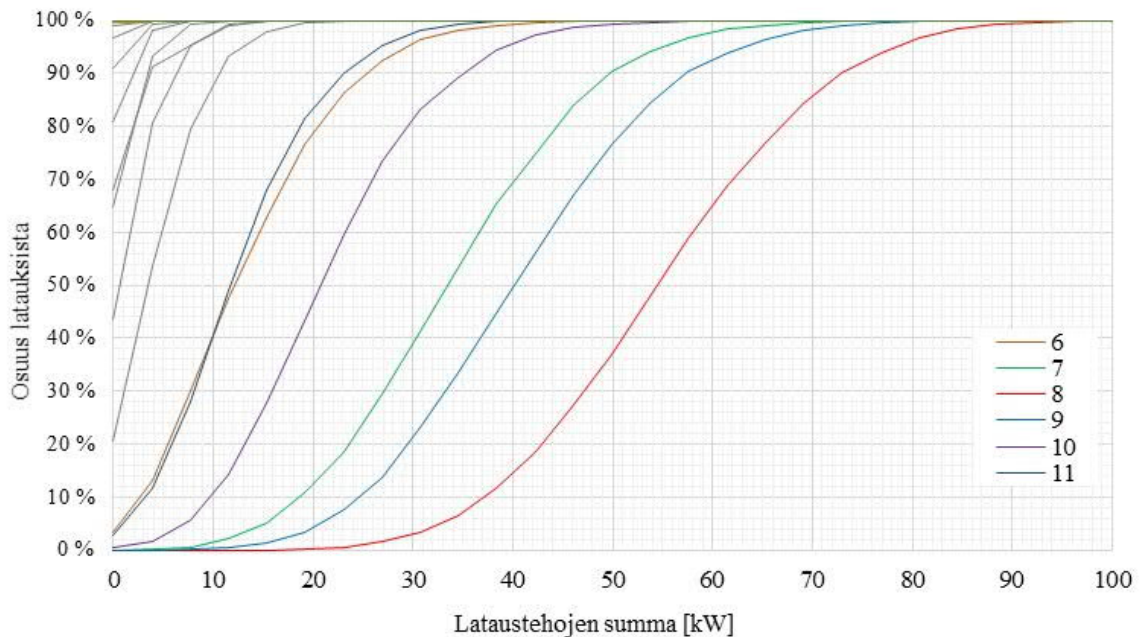
30 latauspisteen järjestelmä ilman kuormanhallintaa

Liite I

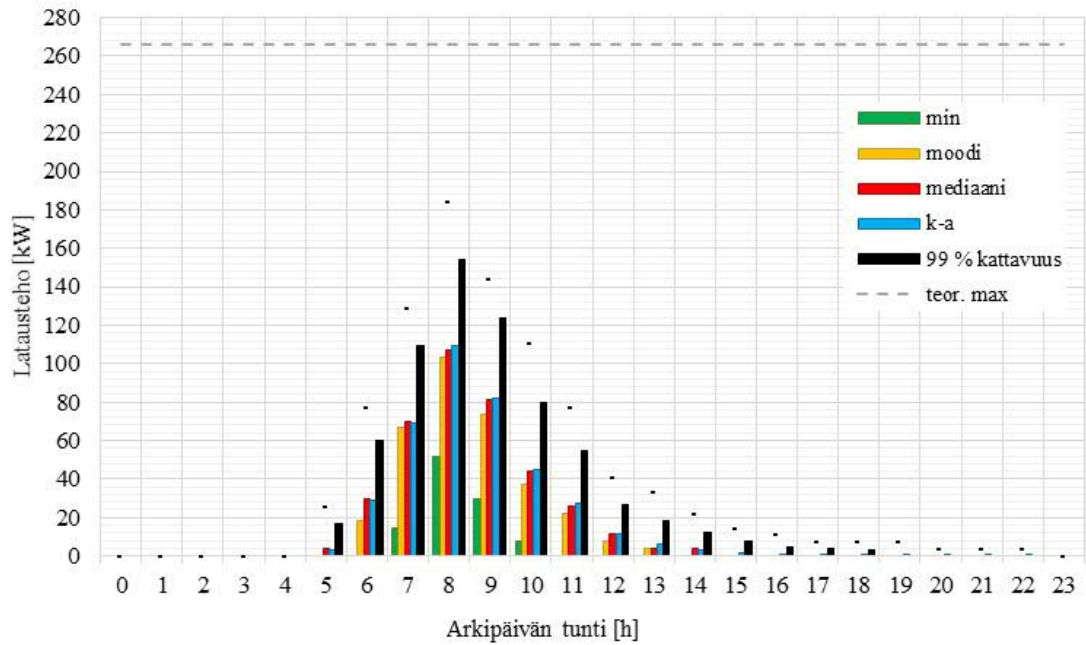
(3/5)



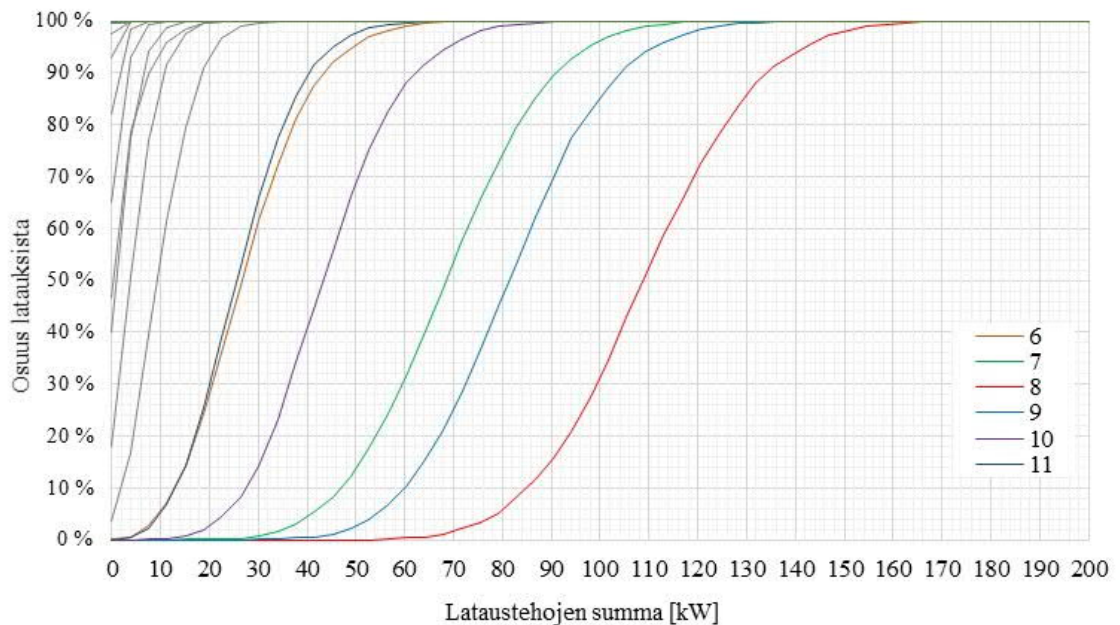
Kuva L1.7. Mallinnuksen tuloksena saadut lataustehojen havaintoarvot tunneittain, kun kiinteistössä on 27 kpl 3,7 kW ja 3 kpl 11 kW latauspistettä (n=5000).



Kuva L1.8. 30 latauspisteen tehon kertymät eri kellon aikoina (n=5000). Suurin tehokertymä muodostuu kello kahdeksan aikana. Luottamustason ollessa 95 % teho on 78 kW, 98 % kohdalla teho on 84 kW ja 99 % kohdalla 87 kW. Laskennallinen teho maksimi on 133 kW ($= 27 \times 3,7 + 3 \times 11$).



Kuva L1.9. Mallinnuksen tuloksena saadut lataustehojen havaintoarvot tunneittain, kun kiinteistössä on 54 kpl 3,7 kW ja 6 kpl 11 kW latauspistettä (n=5000).



Kuva L1.10. 60 latauspisteen tehon kertymät eri tunteina (n=5000). Suurin tehokertymä muodostuu kello kahdeksan (punainen viiva). Luottamustason ollessa 95 % teho on 142 kW, 98 % luottamustasolla 150 kW ja 99 % luottamustasolla 155 kW. Laskennallinen teho maksimi on 266 kW ($= 54 \times 3,7 + 6 \times 11$).

