



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Joona Suominen

Sähköautojen latausjärjestelmien kuor- manhallinnan mitoitus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

5.5.2021

Tekijä Otsikko	Joona Suominen Sähköautojen latausjärjestelmien kuormanhallinnan mitoitus
Sivumäärä Aika	35 sivua + 2 liitettä 5.5.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	sähköinen talotekniikka
Ohjaajat	lehtori Jarno Nurmio toimitusjohtaja Pekka Tiainen
<p>Insinööryön aiheena oli sähköautojen latausjärjestelmien dynaamisen kuormanhallinnan mitoitus ja työn tavoitteena oli kehittää latausjärjestelmien mitoitukseen soveltuva laskentakaava. Laskentakaavaa lähdettiin kehittämään sitä varten, että saadaan latausjärjestelmät mitoitetu lähemmäs todellista tehontarvetta ja kulutusta, jolloin vähennetään turhaa ylimitoitusta ja säästetään kustannuksissa. Työ kohdistettiin puolijulkisten latausjärjestelmien mitoitukseen, kuten taloyhtiöihin ja työpaikoille.</p> <p>Työ aloitettiin tutkimalla sähköautojen lataustapoja, sekä latausjärjestelmien kuormanhallintaa. Niiden lisäksi tarkasteltiin olemassa olevia latausjärjestelmien mitoitukseen käytettäviä laskentakaavoja ja -tapoja.</p> <p>Työssä kehitettävää laskentakaavaa aloitettiin toteuttamaan tekemällä empiiristä tutkimusta ajoneuvokannasta ja sen ajokilometrimäärästä. Ajoneuvokannan ajokilometrimäärien pohjalta lähdettiin kehittämään mitoitukseen soveltuvaa laskentakaavaa. Empiirisen tutkimuksen pohjalta saatiin luotua laskentakaava, jota vertailtiin olemassa olevan latausjärjestelmän kulutustietoihin.</p> <p>Työssä kiinnitettiin myös huomiota sähköautojen kulutukseen vaikuttaviin ulkoisiin tekijöihin ja siihen, miten ne vaikuttavat latausjärjestelmien mitoitukseen. Lisäksi pohdittiin, miten sähköenergian kysynnän joustoa voidaan soveltaa, kun mitoitetaan latausjärjestelmiä taloyhtiöihin.</p> <p>Työssä luotua laskentakaavaa vertailtiin olemassa olevaan sähköautojen latausjärjestelmään. Vertailussa huomattiin, että kehitetty laskentakaava toimii vertailtavassa kohteessa. Otanta vertailussa oli kuitenkin pieni, joten laskentakaavan toimivuutta ei voida täysin todeta sen perusteella. Laskentakaavaa voidaan kuitenkin hyödyntää latausjärjestelmien mitoituksessa tietyin reunaehdoin.</p>	
Avainsanat	sähköautot, latausjärjestelmät, kuormanhallinta, älykäs lataus

Author Title	Joona Suominen Load Management Sizing for Electric Vehicle Charging Systems
Number of Pages Date	35 pages + 2 appendices 5 May 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	Electrical Building Services
Instructors	Jarno Nurmio, Senior Lecturer Pekka Tiainen, CEO
<p>The final year project studied the load management sizing for charging systems of electric vehicles in order to develop a calculation formula for the sizing of charging systems which would include dynamic load management. The purpose was to reduce the oversizing of charging systems.</p> <p>First, load management of charging systems was studied. In addition, the calculation formulas used for the sizing of charging systems were established.</p> <p>Next, to create the calculation formula, the cars registered in Finland were looked into. Based on the information gathered, it was possible to develop a calculation formula for the sizing of charging systems. The calculation formula was compared to data gathered from an existing charging system. When compared to an existing charging system, it was found out that the new calculation formula was suitable for the sizing of charging systems with dynamic load management.</p> <p>The project and its results showed how much it is possible to reduce the sizing of charging systems. However, the results are debatable due to lack of comparable data from existing systems.</p>	
Keywords	electric vehicles, charging systems, load management, smart charging

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Sähköautojen lataustavat	1
2.1	Lataustapa 2 (hidas lataus)	2
2.2	Lataustapa 3 (peruslataus)	2
2.3	Lataustapa 4 (pikalataus)	3
3	Kiinteistöjen kulutus ja kuormanhallinta	3
3.1	Kiinteistöjen kuorman käyttäytyminen	4
3.2	Sähköautojen latauksen kuormanhallinta	4
3.2.1	Tavallinen kuormanhallinta	5
3.2.2	Dynaaminen kuormanhallinta	6
3.3	Taustajärjestelmät	6
3.3.1	OCPP (Open Charge Point Protocol)	7
4	Kuormanhallinnan mitoitus	8
4.1	ST-kortisto	9
4.2	Muita ohjeistuksia	10
5	Kuormanhallinnan mitoitusyökalun kehittäminen	11
5.1	Henkilöautojen ajokilometrimäärät	12
5.2	Laskentakaavan kehittäminen	13
5.3	Olemassa olevan latausjärjestelmän sähköenergiankulutus	20
5.4	Tulosten tulkinta	23
5.4.1	Kylmän kelin vaikutus	25
5.4.2	Maaseudun ja kaupungin erot	26
5.4.3	Lataamisessa syntyvät häviöt	27
5.4.4	Kysynnän jousto mitoituksessa	29
6	Yhteenveto	32
	Lähteet	34

Liitteet

Liite 1. Taloyhtiöiden sähköenergiankulutus tuntitasolla.

Liite 2. Dynaamisen kuormanhallinnan toimintaperiaate

Lyhenteet ja käsitteet

diskreetti	Satunnainen muuttuja, jonka pistetodennäköisyydet ovat kaikille arvoille samat, esimerkiksi nopanheitto.
kuormanhallinta	Järjestelmä, joka rajoittaa laitteiden ottamaa sähkö- tai latausvirtaa.
latausasema	Sähköauton lataamiseen tarkoitettu laite, joka on kiinteästi asennettu verkkovirtaan.
latausjärjestelmä	Sähköautojen latausasemista/-pisteistä, taustajärjestelmästä sekä suojalaitteista koostuva kokonaisuus.
latauspiste	Katso. "Latausasema".
M1	Henkilöautojen ajoneuvoluokka.
M1G	Maastoajoneuvoiksi luokiteltavien henkilöautojen ajoneuvoluokka.
OCPP	Open Charge Point Protocol. Tiedonsiirtoon tarkoitettu kommunikointiväylä, jonka avulla latausasemat ja taustajärjestelmät keskustelevat keskenään.
Schuko-pistorasia	"Suko-pistorasia", suojamaadoitettu pistoke tai -pistorasia
Type2-kaapeli	Standardin EN 62196-2 mukainen, Type2-pistokkeeseen liitettävä sähköautojen lataukseen käytettävä latauskaapeli
Type2-latauslaite	Standardin EN 62196-2 mukainen, sähköautojen lataukseen käytettävä laite, jossa on kiinteä Type2-kaapeli.

älykäs lataus

Latausjärjestelmä, joka sisältää tietoliikenneyhteyden ajoneuvon ja latauslaitteen välillä sekä tietoliikenneyhteyden latauslaitteen ja latauspalveluntuottajan välillä mahdollistaen lataustapahtuman reaaliaikaisen mittauksen ja ohjauksen sekä lataustehon porrastetun säädön ylöspäin ja alaspäin kesken lataustapahtuman ilman, että lataus keskeytyy. [1.]

1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheena on sähköautojen latausjärjestelmät ja niiden kuormanhallinnan mitoitus. Tavoitteena on kehittää laskentakaava latausjärjestelmille, jotka sisältävät dynaamisen kuormanhallinnan. Laskentakaavan tulisi soveltua erikokoisten parkkialueiden mitoitukseen. Mitoituksen perustaa lähdetään tekemään empiirisellä tutkimuksella, jossa tarkastellaan olemassa olevien ajoneuvojen ajokilometrimääriä. Lisäksi tarkastellaan olemassa olevien sähköautojen latausjärjestelmien kulutuksia, joihin empiirisen tutkimuksen perusteella luotua mitoitusyökalua vertaillaan. Työssä kiinnitetään myös huomiota mitoitukseen vaikuttaviin ulkoisiin tekijöihin ja siihen, miten ne tulisi ottaa huomioon mitoittaessa latausjärjestelmiä.

Opinnäytetyön tilaajana on APT-Elektro Oy, joka on turkulainen sähkösuunnittelutoimisto. Työn aiheen valitsemiseen johti ajatus siitä, että halutaan kehittää sähköautojen latausjärjestelmien mitoitusta lähemmäksi todellisia ajokilometrimääriä, jolloin voitaisiin välttää liiallista ylimitoitusta. Tavoitteena on siis mitoitusyökalun avulla vähentää latausjärjestelmien sekä sähköliittymien ylimitoitusta ja sen myötä säästää kustannuksia. Mitoitusyökalun kehittämiseen käytettävä empiirisen tutkimuksen menetelmä on määritelty yhdessä tilaajan kanssa. Kyseisen työmenetelmän perusteella saadaan tietää suuntaa antavasti todelliset sähköenergian ja tehon tarpeet latausjärjestelmää varten.

Opinnäytetyötä tehtiin myös yhteistyössä IGL-Technologies yrityksen kanssa. Yritykseltä saatiin olemassa olevista latausjärjestelmistä mittaustietoja. Mittaustietoja käytettiin, kun vertailtiin, millä tavalla kehitetty laskentakaava toimii todellisessa kohteessa.

2 Sähköautojen lataustavat

Sähköajoneuvoille on olemassa neljä eri lataustapaa. Lataustavat poikkeavat toisistaan niin ajoneuvon saaman lataustehon, kuin lataukseen käytettävän laitteiston mukaan. Tässä kappaleessa käydään läpi lataustavat 2–4, jotka on tarkoitettu sähköautojen lataamiseen. Lataustapa 1 on ainoastaan sähköautoja kevyemmille ajoneuvoille tarkoitettu lataustapa, kuten sähköpyörille.

2.1 Lataustapa 2 (hidas lataus)

Lataustapa 2, eli hidas lataus on sähköautojen lataustavoista vähiten tehoa käyttävä ja siitä syystä hitain lataustapa. Lataustavassa 2 voidaan sähköauton lataamiseen käyttää korkeintaan 32 A:n ja 250 V:n yksivaiheista standardisoitua pistorasiaa, kuten maadoitetut kotitalouspistorasiat (schuko-pistorasia). Lataamiseen voidaan käyttää myös 480 voltin, maksimissaan 32 A, kolmivaiheista pistorasiaa, joihin lukeutuvat autojen lämmityspistorasiat. Edellä mainituilla pistorasioilla mahdollistetaan noin 1,8–3,6 kW:n lataus-teho. [2.]

Schuko-pistorasioilla ei voida pitkäaikaisesti ladata täydellä teholla, eli 16 A:n virralla, koska ne eivät kestä jatkuvaa kuormitusta mitoitusvirrallaan. Siitä syystä ladattavan sähköauton tulee rajoittaa pitkäaikainen latausvirta kahdeksaan ampeeriin. Kyseisellä virralla voidaan ladata noin 11 tunnin aikana 20 kWh:a, joka tarkoittaa noin 100 kilometrin toimintasädettä, riippuen sähköauton kulutuksesta. Kolmivaiheisilla pistorasioilla tällaista ongelmaa ei ole. Hidasta latausta suositellaan vain tilapäiseksi, siirtymävaiheen lataustavaksi, silloin kun ei ole käytettävissä lataustapaa 3. [3.]

2.2 Lataustapa 3 (peruslataus)

Sähköautoille suositellaan lataustapaa 3, eli peruslatausta, joka on tarkoitettu ajoneuvon päivittäiseen lataamiseen. Peruslatauksessa käytettävä sähkönsyöttö-/latausjärjestelmä, sekä kolmivaiheiset pistorasiat ovat erityisesti sähköautoille tarkoitettuja. Lataustavassa 3 käytettävä latausjärjestelmä tulee olla standardin EN 62196-2 mukainen. Standardin mukaisia pistoketyyppejä ovat Type 1 ”Yazaki”, Type 2 ”Mennekes” ja Type 3 ”Scame”. Suomessa yleisin pistoketyyppi on Type 2. Type2:n latauslaitteita on joko kiinteällä Type2-kaapelilla tai pelkällä Type2-pistokkeella, jolloin tarvitaan erillinen latauskaapeli. [2.]

ST-kortin 51.90 ”Sähköauton lataaminen ja latauspisteiden toteutus” mukaan peruslatauksessa käytettävä latausvirta on 6- 63A, joka mahdollistaa lataustehoksi 1,4–43 kilowattia. Useimmiten peruslatauksessa sähköautoa syötetään 32 A:n suuruisella vaihtovirralla, jolloin kyseisellä lataustavalla käytettävissä oleva teho on noin 2–22 kilowattia.

Latausteho riippuu pääosin ajoneuvon akun kapasiteetista sekä järjestelmän kuormanhallinnasta. [4.]

Peruslatausasemia sisältävä latausjärjestelmä varustetaan lähes poikkeuksetta tiedonsiirtoväylällä. Väylän tarkoituksena on ohjata latausjärjestelmän käyttämää tehoa, jotta ei synny ylikuormitusta ja kaikille latausasemille saadaan halutun suuruinen virta. Lisäksi väylää voidaan hyödyntää muihinkin toimintoihin, kuten mittaustietojen keräämiseen ja latausasemien etäohjaamiseen. [2.]

2.3 Lataustapa 4 (pikalataus)

Lataustapa 4, eli pikalataus poikkeaa muista lataustavoista siten, että siinä sähköautoa ladataan vaihtosähkön sijasta tasasähköllä. Sähköauton latausasema muuntaa vaihtosähkön tasasähköksi, ennen sähkön syöttämistä auton akkuun. Pikalatausjärjestelmä on kehitetty nimenomaan sähköautojen lataamiseen. Pistorasian tulee olla joko standardin EN 62196-3 tai CCS-standardin mukainen. Pikalatauksessa käytetään peruslatauksen tavoin tiedonsiirtoväyliä hyödyksi. [2.]

Pikalatauksessa latausteho on 22–350 kilowattia. Lataustehoon vaikuttaa kuitenkin olennaisesti se, minkä kokoinen sähköauton laturi on, sekä mikä on akun varauksen taso. Pikalatausasemat sijoitetaan pääosin kaupunkien keskuksiin, sekä pääväylien huoltoasemille ja ovat julkisia latauspisteitä. Latausaika pikalatausasemilla vaihtelee 15–20 minuutista yhteen tuntiin. [3; 4.]

3 Kiinteistöjen kulutus ja kuormanhallinta

Tässä osiossa tarkastellaan sähköautojen latausjärjestelmien kuormanhallintaa, sekä kiinteistöjen kulutuksia. Lisäksi käydään läpi sähköautojen latausasemissa käytettäviä taustajärjestelmiä ja niiden käyttökohteita. Kuormanhallinta sekä taustajärjestelmät yhdessä mahdollistavat älykkään latauksen latausjärjestelmässä [5, s. 5].

3.1 Kiinteistöjen kuorman käyttäytyminen

Aluksi käydään läpi taloyhtiöiden sähköenergiankulutusta vuorokausi-/tuntitasolla. Tarkasteluun on otettu kolmen eri mallitaloyhtiön energiankulutukset ja niistä lähinnä tunti-kohtaiset maksimikuormat. Taloyhtiöiden tuntikulutukset, joihin tässä osiossa viitataan, on esitelty liitteessä 1, josta löytyy myös hieman lähtötietoja taloyhtiöistä.

Taloyhtiöiden maksimikuormituksia tarkastellessa huomataan, että suurimmat kulutukset ovat suunnilleen kello 16–21 ja tuntikohtainen huipputeho on kaikilla mallitaloyhtiöillä kello 17. Kulutuksen syytä ei tarkkaan voi sanoa, mutta voidaan olettaa, että ihmiset pääsevät töistä kello 15–16 aikoihin, joten sähköenergian kulutus nousee merkittävästi, kun ihmiset pääsevät koteihinsa ja alkavat laittamaan ruokaa ja tekemään muita kotias-kareita. Kulutustietojen perusteella kello 21 jälkeen ihmiset alkavat joko mennä nukkumaan tai valmistautumaan nukkumaanmenoon, jolloin sähkölaitteiden käyttö vähenee. Kello 22 jälkeen kulutus alkaa olla jo melko pieni verrattuna huipputehoon. Parhaimmillaan öisin mallitaloyhtiöiden sähköenergian kulutus voi pudota noin 30–40 prosenttiin kulutushuipusta.

Mallitaloyhtiöissä ei ole sähköautojen latauspisteitä. Se voidaan myös päätellä, kun tarkastellaan yönaikaista energiankulutusta. Kun vertaillaan yönaikaista energiankulutusta, huomataan, että siinä on merkittävä määrä käytettävissä olevaa sähköenergiaa, jota voidaan käyttää esimerkiksi sähköautojen lataamiseen. Yön aikana käytettävissä olevaa sähköenergiaa ja sen hyödyntämistä sähköautojen lataamiseen käsitellään myöhemmin kysynnän jousto-osiossa.

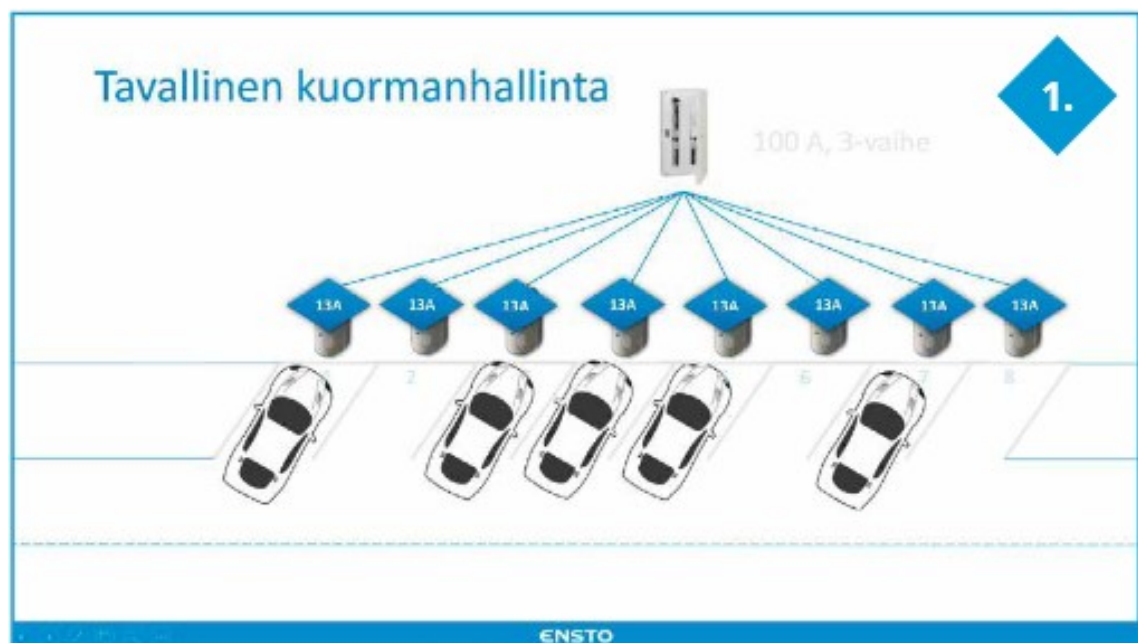
3.2 Sähköautojen latauksen kuormanhallinta

Kuormanhallinnan tarkoituksena on rajoittaa ylikuormitusta sekä sähköautojen latausjärjestelmässä, että koko liittymässä. Sen takia kuormanhallinta on olennainen osa latausjärjestelmän toimivuutta. Suurimpia etuja kuormanhallinnassa on se, että pystytään latauksen huipputehon tuottamaa piikkiä tasoittamaan pidemmälle ajanjaksolle. Ilman kuormanhallintaa tulisi liittymä sekä latausjärjestelmän suojalaitteet mitoittaa sen mukaan, mikä on huipputeho, eli kun kaikki latausasemat lataavat täydellä teholla. Liittymän

kokoa ei kuitenkaan ole kannattavaa mitoittaa sillä tavalla, koska se ei ole taloudellisesti järkevä ratkaisu. Lisäksi on epätodennäköistä, että kaikki latausasemat olisivat käytössä samaan aikaan. Myös sähköteknisesti liittymän mitoittaminen liian suureksi tuottaa hankaluuksia, koska suojalaitteiden selektiivisyyksien toimivuuden kanssa tulisi ongelmia. Suunniteltaessa sähköautojen latausjärjestelmiä tulee kuormanhallinta ottaa huomioon heti alkuvaiheessa. [6.]

3.2.1 Tavallinen kuormanhallinta

Kuormanhallinnan toteutukseen on olemassa pari eri vaihtoehtoa. Yksinkertaisempi ratkaisu on ”tavallinen kuormanhallinta”. Kyseisessä ratkaisussa latauslaitteiden ottama virta rajoitetaan tiettyyn suuruuteen järjestelmän jokaiselle latauspisteelle. Silloin jokaiselle latauspisteelle varmistetaan sähköenergiaa lataamiseen. Autoja ei voida kuitenkaan ladata täydellä teholla, vaikka vain osa latauspisteistä olisi käytössä. Sen takia latausasemien virran rajoittaminen on huono ratkaisu, koska jos pieni osa latausasemista on käytössä, jää huomattava määrä kapasiteettia hyödyntämättä. [5.] Kuvassa 1 on esitetty tavallisen kuormanhallinnan toimintaperiaate.



Kuva 1. Tavallisen kuormanhallinnan toimintaperiaate. Jokaiselle latauspisteelle on varattu sama virtamäärä, riippumatta lataavien autojen lukumäärästä. [5.]

Tavallinen kuormanhallinta on potentiaalinen vaihtoehto, silloin kun halutaan mahdollisimman kattavasti säilyttää vanhat kaapeloinnit, eikä liittymän pääsulakkeita tai muita suojalaitteita haluta lähteä suurentamaan. Ratkaisu soveltuu siis lähinnä olemassa olevaan infrastruktuuriin. [5.]

3.2.2 Dynaaminen kuormanhallinta

Dynaaminen kuormanhallinta on tavalliseen kuormanhallintaan verrattuna huomattavasti joustavampi ratkaisu. Dynaamisella kuormanhallinnalla mahdollistetaan latauspisteille maksimiteho, kunhan latauslaitteiden kaapelointi ja suojalaitteet sallivat sen. Latauslaitteiden saamaa virtaa voidaan rajoittaa tiettyyn suuruuteen siten, että suojalaitteiden sallima virtamäärä ei ylity samalla tavalla kuin tavallisessa kuormanhallinnassa. Dynaamisella kuormanhallinnalla voidaan kuitenkin ottaa huomioon kiinteistön muu sähköenergian kulutus, ja rajoittaa sen mukaan sähköautojen latauspisteiden saamaa virtamäärää. [5; 6.] Liitteessä 2 on esitetty havainnekuvat dynaamisen kuormanhallinnan toimintaperiaatteesta.

Älykkäimmissä latausjärjestelmissä voidaan myös säädellä eri latauspisteiden saamaa latausvirtaa, sen mukaan mikä eri autojen lataustilanne on. Esimerkiksi pitkään latauksessa olleen auton latausvirtaa voidaan pienentää, kun toiselle latausjärjestelmässä olevalle asemalle tulee auto lataukseen. Kuormanhallintajärjestelmissä voidaan tarjota myös korkeamman prioriteetin omaavia latauspisteitä. Kyseisille latauspisteille mahdollistetaan ensisijaisesti latausvirtaa verrattuna niin sanotun perustason latauspisteeseen. Jos latausjärjestelmän kapasiteetti on lähellä maksimia ja korkeamman prioriteetin paikalle tulee auto lataukseen, vähennetään perustason latauspisteiden saamaa latausvirtaa tai mahdollisesti keskeytetään väliaikaisesti joidenkin sähköautojen lataaminen. [7, s. 10.]

3.3 Taustajärjestelmät

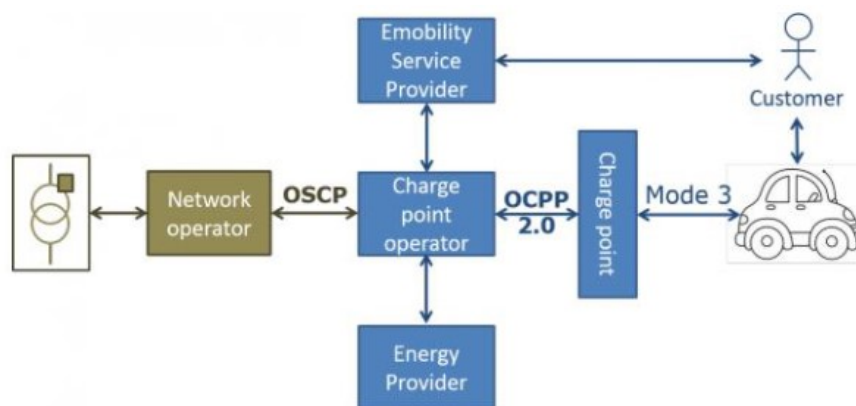
Taustajärjestelmät sähköautojen latausjärjestelmissä on kuormanhallinnan lisäksi merkittävä osa älykkään latauksen toteuttamista. Niitä hyödynnetään eniten isoissa lataus-

järjestelmissä sekä julkisella että yksityisellä sektorilla. Taustajärjestelmät ovat usein palveluntarjoajan omia käyttöliittymiä, ja niillä mahdollistetaan lataus- ja käyttäjätietojen kerääminen. Käyttäjätietojen avulla voidaan kirjautua latausasemalle esimerkiksi puhelinsovelluksen kautta tai RFID-tunnisteella. Mittaustietojen keräämiseksi tulee latausasemilla olla MID-sertifioitu kWh-mittari. Mittarin tulee olla MID-sertifioitu siksi, että latausase- man käyttäjä voi itse todeta ladatun energian määrän, jolloin laskutus voidaan toteuttaa luotettavasti. Latausasemat yhdistetään taustajärjestelmiin kiinteästi tietoliikennekaapeloinnilla tai langattomasti WLAN-, 4G- tai GPRS-yhteydellä.

3.3.1 OCPP (Open Charge Point Protocol)

OCPP-protokolla on sähköautojen latausjärjestelmissä käytettävä avoin kommunikointiväylä, joka mahdollistaa älykkään latausjärjestelmän toteuttamisen. Protokollan avulla mahdollistetaan latausjärjestelmän kuormanhallinta, johon sisältyy kuormituksen valvonta ja hallinta sekä operaattoreiden tarvitsemien mittaus- ja käyttäjätietojen kerääminen. Näiden tietojen avulla voidaan laskutus kohdistaa suoraan operaattorilta sähköau- ton lataajalle. [8.]

Protokollan suurimpana etuna on avoin toimintaperiaate. Sillä voidaan luoda yhtenäinen kommunikointiväylä latausasemien ja taustajärjestelmän välillä. Lisäksi OCPP on palvelimien suhteen joustava. Palvelimena voi toimia joko paikallinen OCPP-palvelin, joka on latausjärjestelmän lähistöllä pienjännitekeskuksessa, tai sitten latausoperaattorin pilvi- palvelin. [9.]



Kuva 2. OCPP:n ja OSCP:n rajapinnat [7, s.11]

Kuvassa 2 on esitetty OCPP:n sekä OSCP:n toimintarajapinnat. Latausasema (Charge point) on OCPP:n kautta yhteydessä latausasemista koostuvaan latausjärjestelmään ja sen operaattoriin (Charge point operator). Operaattori saa latausasemista kulutustiedot, eli tieto siitä, kuinka paljon sähköautot ovat ladanneet sähköenergiaa. Latausjärjestelmän operaattori on yhteydessä palveluntarjoajaan (Emobility Service Provider), sekä energiayhtiöön (Energy Provider). Latausjärjestelmän operaattori luovuttaa palveluntarjoajalle latausaseman mittaustiedot, jotta voidaan laskuttaa sähköauton/latausaseman käyttäjää. On olemassa myös yrityksiä, jotka toimivat sekä latausjärjestelmän operaattorina, että palveluntarjoajana. Silloin asiakkaan laskutus onnistuu helpommin, koska latausjärjestelmän operaattori pystyy suoraan laskuttamaan asiakasta. [7, s. 11.]

OCPP:n avoin kommunikointiväylä mahdollistaa useamman eri operaattorin ja laitevalmistajan laitteiden liittämisen yhteen järjestelmään, kunhan tuotteet ovat protokollan kanssa yhteensopivia ja käyttävät samaa versiota. OCPP-protokollasta on jo useita versioita, joista uusin on OCPP 2.0. Protokolla mahdollistaa siis operaattoreiden kilpailuttamisen jopa silloin, kun järjestelmä on jo käytössä. Myös latausasemien lisääminen tai vaihtaminen voidaan tehdä riippumatta laitevalmistajasta, eli halutessaan latausjärjestelmän käyttäjä voi vaihtaa laitevalmistajaa. [8; 7, s. 11.]

4 Kuormanhallinnan mitoitus

Sähköautojen latausjärjestelmien mitoitusta varten on olemassa joitain suunnitteluohjeita. Latausjärjestelmille, joissa on kuormanhallinta mukana, on omia ohjeistuksia/mitoitustapoja, koska kuormanhallinnalla voidaan pienentää järjestelmään vaadittavaa tehovarausta.

Sähköautojen latausjärjestelmän mitoitus on pääosin kohdekohtaista, sillä lähtökohtaisesti jokainen kohde on erilainen. Useimmiten latausjärjestelmän mitoitusta laskettaessa käytetään tehon tasauskertoimena lukua 1. Hyödynnettäessä kuormanhallintaa latausjärjestelmässä voidaan pienentää tasauskerrointa, etenkin dynaamisella kuormanhallinnalla. Tasauskertoimelle ei kuitenkaan ole olemassa suoraa määritelmää standardeissa tai suunnitteluohjeissa, vaan se tulisi määrittää jokaiselle latausjärjestelmälle erikseen.

Sähköautojen latausjärjestelmän tehon mitoittamiseen on olemassa joitakin suunniteluohjeita ja mitoitus tapoja. Ohjeistuksia ja laskentakaavoja käydään seuraavaksi läpi.

4.1 ST-kortisto

ST-korteissa 13.31 ja 51.90 on annettu laskentakaava älykkäiden sähköautojen latausjärjestelmien kokonaistehon mitoittamiseen. Sama asia on lisäksi ST-käsikirjassa 41 ”Sähköautot ja latausjärjestelmät”. [2; 10.]

$$P_{lataus} = \frac{\text{haluttu toimitasäde latauskerralla (km)} \times 0,20 \text{ kWh/km} \times n_{auto}}{\text{latauskerran aika h}}$$

P_{lataus}	=	latausjärjestelmän teho
haluttu toimitasäde latauskerralla	=	tilaajan päättämä toimitasädemäärä, joka taataan kaikille latauspisteille yhdellä latauskerralla
20 kWh/100 km	=	yleinen sähköajoneuvojen taloudellisen ajon keskipulutus
latausaika kerralla	=	aika, jonka sähköajoneuvo voi keskimäärin olla latauksessa per latauskerta
n_{auto}	=	kyseistä mitoitusta käyttävien ajoneuvojen lukumäärä

Kuva 3. Sähköautojen latausjärjestelmän tehontarve [2; 10]

Tehontarvetta laskettaessa kuvan 3 kaavan avulla tulee määrittää yksittäiselle latausasemalle latauskerran haluttu toimitasäde, siihen kuuluva latausaika sekä haluttujen latausasemien määrä. Edellä mainittujen latausaseman tehoon vaikuttavien muuttujien arvot voidaan määrittellä joko yksittäiselle latausasemalle halutun maksimitehon perusteella tai jokaiselle latausasemalle halutun minimitehon perusteella.

Laskentakaavassa on latausjärjestelmän tasauskerrotimeksi 1. Tasauskerrointa ei välttämättä tarvitse hyödyntää kyseisellä laskutavalla, sillä kaavan avulla voidaan määrittää kokonaisteho, jolla mahdollistetaan haluttu latausteho/-virta jokaiselle latauspisteelle. Jos halutaan käyttää tasauskerrointa edellä olevalla laskukaavalla, tulee määrittää, mikä on haluttu maksimi latausteho yksittäisellä latausasemalla. Sen jälkeen tulee miettiä so-

piva tasauskerroin järjestelmään sen mukaan, mikä on arvioitu todellinen kulutus järjestelmässä. Tasauskerroin riippuu kohteesta ja se tulisi määrittää aina erikseen jokaiseen kohteeseen.

ST-kortissa 13.31 on annettu laskentamalli myös sähköautojen latausjärjestelmien vähimmäisvaraukselle. ST-kortissa on kerrottu, että se soveltuu kahden tai useamman latausaseman sisältävän järjestelmän vähimmäistehon laskentaan. [10.] Laskentakaava on seuraavanlainen:

$$P_{p, alue} = 10kW + 2kW/paikka * n_{auto}$$

$$n_{auto} = \text{parkkialueen latauspisteiden lukumäärä}$$

Edellä olevalla kaavalla varataan jokaiselle latausasemalle vähintään 2 kW tehoa, mikä tarkoittaa kymmenen tunnin latausajalla 20 kilowattituntia. Sama minimitehontarve on määritelty ST-kortissa 51.90. [2; 10.]

4.2 Muita ohjeistuksia

Helsingin kaupungin Asuntotuotantoyksikölle on laadittu suunnittelu- ja toteutusohje sähköautojen latausjärjestelmille, jossa on määritelty laskentakaava sähköautojen latausjärjestelmän tehon mitoittamiseen. Toisin kuin ST-korttien laskentakaavassa, tässä on määritelty yksittäisen latausaseman tehoksi 22 kilowattituntia (kuva 4). [11.]

Mitoitukset

Yksittäinen latauspistorasia	22 kW
Jakokeskus	5,5 kW per parkkiruutu
Koko pysäköintialueen sähköliittymän tai nousukeskuksen syöttö	40 kW + 1 kW per parkkiruutu

Kuva 4. Sähköautojen latausjärjestelmän tehontarve, 22kW:n latauspistorasioilla. [11.]

Edellä oleva mitoitus perustuu siihen, että järjestelmässä hyödynnetään dynaamista kuormanhallintaa. Suunnitteluohjeessa on todettu, että mitoituksessa oletetaan, ettei samanaikaisuuskerroin ole missään vaiheessa 1. Määritellyn yksittäisen latausaseman tehon (22 kW) perusteella kerroin 1 toteutuu ainoastaan, kun latausasemia/latauksessa

olevia autoja on vain yksi. Samanaikaisuuskerroin pienenee sitä myötä, kun latausasemien minimi määrä latausjärjestelmässä kasvaa. Samanaikaisuuskerrointa ei olla erikseen määritelty suunnitteluohjeessa. Suunnitteluohjeen mukaan latausasemien minimimäärän latausjärjestelmässä tulisi olla kuusi kappaletta, kun mitoitetaan edellä olevalla mitoitustavalla. [11.]

Kyseisen suunnitteluohjeen perusteella, jos latausjärjestelmään halutaan liittää esimerkiksi sata sähköauton latausasemaa, mitoitettaisiin pysäköintialueen sähköliittymä-/teho seuraavasti:

$$P_{\text{sähköliittymä}} = 40kW + (1kW * 100) = 140kW$$

Tässä tapauksessa yhden aseman vähimmäislataustehoksi tulisi 1,4 kW. Latausasemien lisääntyessä yksittäisen latausaseman vähimmäistehon määrä pienenee. ST-kortin 51.90 mukaan 1,4 kW:n latausteho eli 6 A:n latausvirta on latausasemien standardeissa esitetty pienimmäksi mahdolliseksi vaihtosähkö (AC) -latausvirraksi. Se on kuitenkin joillekin autoille liian pieni latausvirta, koska joissain tapauksissa autojen lataus ei lähde käyntiin niin pienellä latausvirralla. Toimintavarmuuden vuoksi tulisi käyttää suurempaa vähimmäismitoitusta. ST-kortissa 51.90 on esitetty, että dynaamisen kuormanhallinnan omaavissa latausjärjestelmissä tulisi käyttää tehon määrän vähimmäismitoituksena 2 kW/latauspiste ja ilman kuormanhallintaa olevissa järjestelmissä 4 kW/latauspiste mahdollisten lataushäviöiden takia. [2.]

5 Kuormanhallinnan mitoitustyökalun kehittäminen

Seuraavassa osiossa tutkitaan nykyisen ajoneuvokannan ajokilometrimääriä ja sen pohjalta kehitetään dynaamisen kuormanhallinnan omaaville latausjärjestelmille laskentakaavaa. Nykyisen ajoneuvokannan pohjalta kehitettyä laskentakaavaa verrataan olemassa olevaan sähköautojen latausjärjestelmän tehon-/sähköenergiankulutukseen. Sen avulla nähdään, miten hyvin kehitetty laskentakaava kuvastaa todellista kulutusta. Osiossa kiinnitetään myös huomiota asuinkiinteistöjen sähköenergiankulutukseen ja siihen, miten se vaikuttaa sähköautojen lataukseen ja etenkin kuormanhallintaan. Lisäksi kiinnitetään huomiota muihin ulkoisiin tekijöihin, jotka voivat vaikuttaa tehon mitoitukseen.

5.1 Henkilöautojen ajokilometrimäärät

Ennen kuormanhallinnan mitoitustyökalun kehittämistä tutkitaan nykyisen ajoneuvokannan ajokilometrimääriä. Ajokilometrimäärien tutkimisessa on käytetty hyödyksi Traficommin nettisivuilta löytyvää avointa dataa ajoneuvoista sekä Tilastokeskuksen ja Liikenneviraston keräämiä ja julkaisemia tietoja vuosittaisista ajokilometrimääristä. Traficommin tekemä tiedosto ajoneuvojen avoimesta datasta sisältää kattavan määrän Suomessa rekisterissä olevia ajoneuvoja. Aineistossa on listattu ajoneuvojen rekisteröinti-, hyväksyntä- ja teknisiä tietoja. Tässä työssä kyseisestä aineistosta hyödynnetään M1- ja M1G-ajoneuvoluokkien matkamittarilukemia. M1-ajoneuvoluokkaan sisältyvät tavalliset henkilöautot. M1G-ajoneuvoluokassa kirjaintunnus G tarkoittaa maastoajoneuvoiksi luokiteltavia henkilöautoja. [12.]

Tutkittavaksi otannaksi on otettu mukaan vuosina 2000–2009 ensirekisteröidyt autot. Niinä vuosina saatiin avoimesta datasta kerättyä yhteensä noin 330 000 henkilöauton matkamittarilukemat tähän tutkimukseen. Muiden vuosien otannat olivat niin pieniä, että ne eivät vaikuta merkittävästi lopputulokseen. Etenkin vuodesta 2009 eteenpäin ensirekisteröityjä autoja oli Traficommin aineistossa erittäin pieni määrä. Myöhemmin nähtävästä taulukosta huomataankin, että vuonna 2009 ensirekisteröityjen M1- ja M1G-luokkien autojen lukumäärä avoimessa datassa on pieni, ainoastaan 596 kappaletta verrattuna esimerkiksi vuonna 2006 ensirekisteröityjen ajoneuvojen lukumäärään, joka on lähes 55 000.

Avoimesta datasta kerätyt matkamittarilukemat lajiteltiin taulukkoihin ensirekisteröintivuoden perusteella. Matkamittarilukemien ja ensirekisteröintivuoden perusteella saatiin laskettua henkilöautojen ajokilometrimäärät vuodessa. Vuosittainen ajokilometrimäärä laskettiin jakamalla matkamittarilukema ajovuosien määrällä. Ajovuosien määrä on laskettu sen mukaan, mikä on ajoneuvon ensirekisteröintivuosi ja mikä on avoimen datan julkaisemisvuosi. Esimerkiksi vuonna 2005 ensirekisteröidyn ajoneuvon ajovuodet ovat 2005–2020, eli 16 vuotta. Kun kilometrimäärät vuodessa oli laskettu, jaettiin ajoneuvot ryhmiin vuodessa ajettujen kilometrien perusteella. Kuvan 5 taulukosta nähdään, miten kyseiset ryhmät on jaettu.

km/vuosi	Ajoneuvojen lukumäärä ensirekisteröintivuositain										
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2000-2009
<2499	123	136	132	159	140	134	167	170	26	5	1192
2500-4999	865	661	813	933	962	1080	1154	937	244	10	7659
5000-7499	1974	1769	2067	2720	2719	2945	2911	2454	562	29	20150
7500-9999	3511	3078	3783	5283	5085	5437	5432	4343	1058	65	37075
10000-12499	4765	4349	5391	7327	7383	7851	7665	6221	1395	91	52438
12500-14999	4700	4515	5862	8380	8589	9286	8858	7180	1575	95	59040
15000-17499	3569	3669	4874	7557	7873	8496	8433	7190	1441	86	53188
17500-19999	2199	2237	3018	5158	5865	6381	6539	5729	1164	75	38365
20000-22499	1027	1179	1596	3006	3548	4206	4623	4260	808	48	24301
22500-24999	503	541	824	1631	2055	2612	3052	3092	537	36	14883
25000-27499	295	310	484	975	1239	1669	2037	2196	364	21	9590
27500-29999	171	178	311	586	745	913	1313	1401	254	9	5881
30000-32499	87	92	155	368	460	598	845	964	154	4	3727
32500-34999	43	60	120	235	277	375	507	591	71	3	2282
>35000	190	164	352	514	651	870	1169	1335	182	19	5446
Yhteensä (autoja)	24022	22938	29782	44832	47591	52853	54705	48063	9835	596	335217
ka (km/vuosi)	13941	14319	14490	15457	15920	16576	16838	17744	16524	16801	16081

Kuva 5. Henkilöautojen ajokilometrit vuodessa ja ajoneuvojen lukumäärät ensirekisteröintivuositain.

Taulukosta nähdään, että vuosina 2000–2009 ensirekisteröidyillä autoilla on ajettu keskimäärin noin 16 000 km/vuosi. Tilastokeskuksen keräämien tietojen mukaan aktiivisen henkilöautokannan keskimääräinen ajokilometrimäärä vuonna 2019 oli noin 13 600 kilometriä [13.]. Liikenneviraston vuoden 2016 tilastojen pohjalta tehdyn tutkimuksen mukaan henkilöautoilla ajetaan henkilökohtaiset sekä työsuhteautot mukaan luettuna noin 15 400 kilometriä vuodessa. [14, s.77.] Sen myötä Traficomien avoimesta datasta saadut ajokilometrimäärät ovat mitoituksen kannalta suotavat. Ne ovat vähintään samansuuruiset kuin Tilastokeskuksen ja Liikenneviraston tilastot, mutta eivät merkittävästi liian suuret. Tulosten perusteella mitoituksessa jää varaa todelliseen ajokilometrimäärään verrattuna.

5.2 Laskentakaavan kehittäminen

Laskentakaava on tarkoituksenaan kehittää lähinnä taloyhtiöiden ja vastaavien puolijulkisten parkkialueiden (kuten työpaikat) latausjärjestelmille, joilla on peruslatausasemia. Kaavaa voidaan hyödyntää myös parkkialueille, joissa on peruslatausasemien lisäksi hidaslatausasemia. Julkisten pikalatausasemien mitoitus ei sisälly tähän tarkasteluun, koska ne mitoitetaan eri tavalla. Mitoituksen pohjimmaisena ajatuksena on, että kaikki autoilijat tietyllä parkkialueella omistaisivat sähköauton, lataisivat ainoastaan sillä parkkialueella, ja jokaiselle sähköautolle olisi oma latausasemansa, jota vain yksi sähköauto käyttää.

Mitoitusta tehdessä on pidetty mielessä se, että yleisesti ottaen sähköautoilla sekä uusilla autoilla ajetaan enemmän kuin vanhoilla autoilla. Ajatuksena laskentakaavan kehittämisessä on se, että kaikki autoilijat vaihtaisivat sähköautoon, jolloin mukana on myös vain vähän vuodessa ajavia autoilijoita. Sitä myöten voidaan ajatella, että kilometrimäärät eivät merkittävästi muuttuisi vaihdettaessa sähköautoon, vaan ne pysyisivät oletettavasti kohtalaisen lähellä samoja määriä.

Kuormanhallinnan mitoitusta lähdettiin kehittämään siten, että luotiin erikokoisia, kuvitteellisia parkkialueita. Parkkialueet koostuvat satunnaisia kilometrimääriä vuodessa ajavista autoilijoista. Parkkialueiden kokoamiseen hyödynnettiin aiemmin tutkittuja ajokilometrimääriä. Aikaisemmin nähdyn ajokilometritaulukon (kuva 5) pohjalta laskettiin ajokilometrijakauma prosentteina, joka näkyy kuvan 6 taulukossa.

km/vuosi	%	kpl
<2499	0,4 %	4
2500-4999	2,3 %	23
5000-7499	6,0 %	60
7500-9999	11,1 %	111
10000-12499	15,6 %	156
12500-14999	17,6 %	176
15000-17499	15,9 %	159
17500-19999	11,4 %	114
20000-22499	7,2 %	72
22500-24999	4,4 %	44
25000-27499	2,9 %	29
27500-29999	1,8 %	18
30000-32499	1,1 %	11
32500-34999	0,7 %	7
>35000	1,6 %	16
Yhteensä	100,0 %	1000

Kuva 6. Ajokilometrijakauma prosentteina.

Jakauman perusteella luotiin tuhat satunnaista autoilijaa siten, että alle 2 499 km/vuosi ajavia autoilijoita oli 4, 2 500–4 999 km/vuosi ajavia autoilijoita oli 23 ja niin edelleen. Satunnaiset autoilijat luotiin Excelin ”Satunnaislukujen luonti” -työkalulla. Sen avulla saatiin luotua diskreetisti joukko autoilijoita, joiden ajokilometrimäärä oli riippuvainen ainoastaan annetusta arvojoukosta. Yli 35 000 km/vuosi ajavien autoilijoiden ylärajana pidettiin 100 000 km/vuosi. Se on kohtuullinen rajoitus mitoitukseen, koska yli 100 000 kilo-

metriä vuodessa ajavan henkilön tulisi keskimäärin päivittäin kulkea vähintään 274 kilometriä. Silloin voidaan olettaa, että sähköautoa ladattaisiin muuallakin kuin kotona, esimerkiksi työpaikalla tai julkisilla latauspisteillä.

Sen jälkeen, kun tuhat autoilijaa oli luotu, lähdettiin luomaan kuvitteellisia parkkialueita tekemällä erisuuruisia otantoja kyseisestä tuhannen autoilijan joukosta. Parkkialueista luotiin 5:n, 10:n, 20:n, 30:n, 40:n, 50:n, 75:n sekä 100:n autopaikan kokoisia. Otantoja tehtiin jokaisesta kokoluokasta sata kappaletta, eli luotiin yhteensä 800 kuvitteellista parkkialuetta. Siten saatiin kattava otanta mitoituksen kehittämiseen. Kuvassa 7 on esimerkki satunnaisten autoilijoiden ajokilometrimääriin perustuvasta parkkipaikan otannasta ja siitä, mitä on laskettu ajokilometrien perusteella.

	km/vuosi	km/päivä	kWh/päivä	km/arkipäivä	kWh/arkipäivä
1	5432	14,9	3,0	21,5	4,3
2	22905	62,8	12,6	90,5	18,1
3	14312	39,2	7,8	56,6	11,3
4	16453	45,1	9,0	65,0	13,0
5	7578	20,8	4,2	30,0	6,0
ka	13336	36,5	7,3	52,7	10,5

Kuva 7. Esimerkki viiden auton kokoisen parkkialueen otannasta.

Kuvassa vasemmanpuoleisessa sarakkeessa on autot/latauspisteet numeroitu 1–5. Taulukosta nähdään, että ollaan laskettu ajokilometri/vuosi perusteella ajokilometrit kaikkina vuoden päivinä, arkipäivinä sekä päivien ajokilometreihin vaadittava sähköenergia kilowattitunteina (kWh). Sähköauton kuluttaman sähköenergian arvona on käytetty määrää 0,2 kWh/km, joka on ST-kortissa 51.90 määritelty sähköauton keskimääräiseksi kulutukseksi.

Kuormanhallinnan mitoitus tehdään arkipäivien perusteella. Arkipäivien lukumääränä on käytetty vuoden 2020 arkipäivien lukumäärää, joka on 253. Arkipäiviin eivät sisälly arkipyhät. Tehtäessä mitoitus arkipäivien perusteella saadaan varattua noin 40 prosenttia enemmän sähköenergiaa päiväkohtaisesti jokaiselle latausasemalle, verrattuna siihen, että mitoitettaisiin joka päivän perusteella. Ajatuksena on myös se, että arkipäiviä varten tulee varata riittävästi sähköenergiaa auton lataamiseen, jotta päästään töihin ja takaisin ilman että sähköautosta loppuu virta.

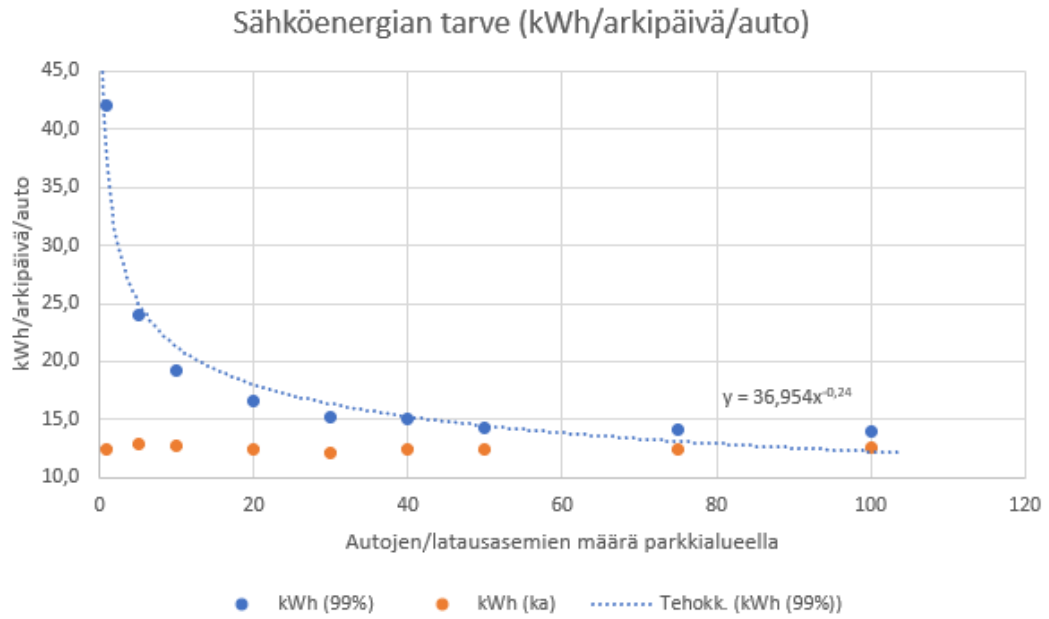
Jokaisesta otannasta otettiin ylös parkkipaikan keskimääräiset ajokilometrit ja kilowattitunnit arkipäivää kohden (kuvassa 7 nähtävät alimman rivin kaksi viimeistä arvoa). Kaikista otannoista saadut arvot listattiin yhteen taulukkoon. Kerätyt arvot laitettiin suuruusjärjestykseen sähköenergian tarpeen perusteella. Taulukosta tallennettiin erikokoisten parkkialueiden keskiarvot sekä 99. arvo. Edellä mainittu 99. arvo tarkoittaa sitä, että 99 prosenttia saaduista parkkialueiden keskiarvoista on kyseisen arvon alapuolella. Tällöin yksi prosentti otannoista jää tarkastelun ulkopuolelle. Sillä yhdellä prosentilla varaudutaan tilastollisiin poikkeamiin, kun esimerkiksi parkkipaikalla kaikki autot ajavat päivittäin yli 200 kilometriä päivässä. Kuvan 8 taulukossa on esitetty erikokoisilta parkkipaikoilta kerätyt arvot.

Parkkipaikkojen keskimääräinen (kWh/km)/arkipäivä/auto									
Autot (kpl)	1	5	10	20	30	40	50	75	100
kWh (99%)	42,1	24,0	19,2	16,6	15,2	15,0	14,2	14,2	14,0
kWh (ka)	12,5	12,8	12,7	12,5	12,2	12,5	12,4	12,4	12,5
Autot (kpl)	1	5	10	20	30	40	50	75	100
km (99%)	210,5	120,0	96,1	83,0	76,0	75,0	71,1	70,9	70,0
km (ka)	62,5	64,1	63,6	62,3	60,8	62,5	62,1	62,0	62,6

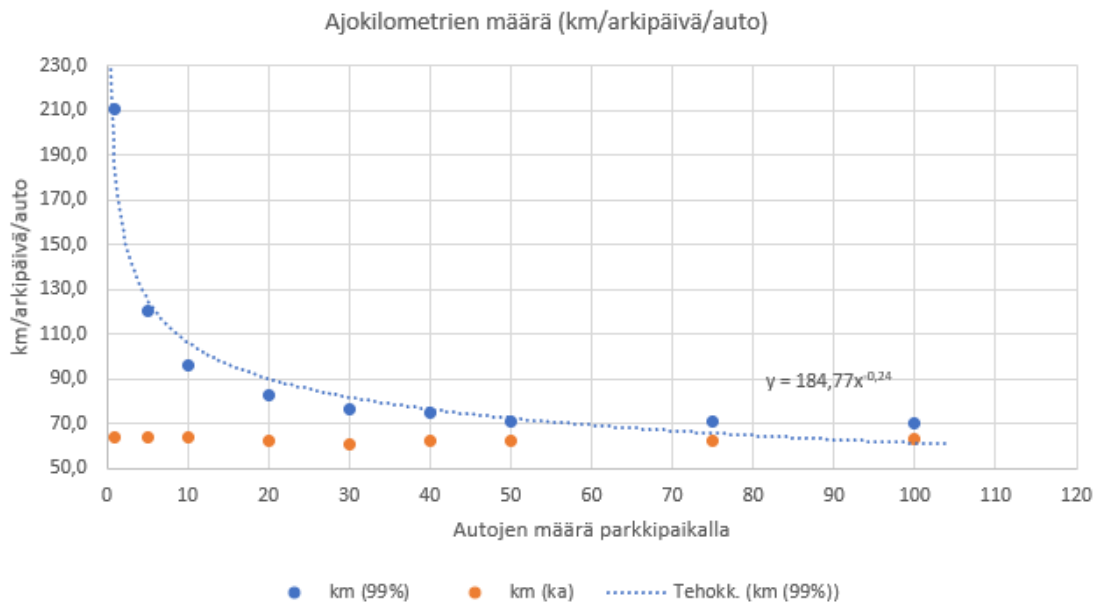
Kuva 8. Parkkialueiden otannoista saadut arvot.

Taulukon riveillä "Autot (kpl)" on parkkialueiden sisältämien ajoneuvojen lukumäärä. Seuraavalla rivillä on kerättyä 99. suurin arvo parkkialueiden keskiarvoista. Esimerkiksi 10 auton parkkialueiden keskimääräinen sähköenergian (kWh) tarve päiväkohtaisesti autoa kohti on 99 prosentilla parkkialueista korkeintaan 19,2 kilowattituntia. Viimeisellä rivillä on sen sijaan parkkialueiden keskimääräisen sähköenergian tarpeen keskiarvo. Sähköenergian tarvetta vastaavat kilometrimäärät on otettu mukaan tarkasteluun, koska sen avulla pystytään helpommin ymmärtämään, mihin sähköenergian tarve perustuu. Taulukon perusteella ihmiset ajavat keskimäärin yli 60 kilometriä/arkipäivä.

Kuvan 8 taulukon perusteella on luotu pistekaavio, josta nähdään, miten parkkialueiden koko vaikuttaa keskimääräiseen sähköenergian tarpeeseen päiväkohtaisesti autoa kohden. Pistekaavion perusteella on luotu kaava, jonka avulla voidaan laskea yksittäisen auton tarvitsema sähköenergia päiväkohtaisesti halutun kokoisella parkkialueella. Pistekaavio ja sen avulla luotu kaava, sekä sähköenergiaa vastaavat kilometrimäärät on esitetty kuvissa 9 ja 10.



Kuva 9. Parkkialueiden keskimääräinen sähköenergian tarve kWh/arkipäivä/auto.



Kuva 10. Parkkialueiden keskimääräinen ajokilometrimäärä km/arkipäivä/auto.

Kuvassa 9 havaittavasta kaaviosta saadun kaavan perusteella voidaan siis laskea halutun kokoisen parkkialueen yksittäisten autojen keskimääräinen sähköenergian tarve päiväkohtaisesti. Yksittäisen auton sähköenergian tarpeen perusteella voidaan laskea koko parkkialueen tarvitsema sähköenergian tarve. Kun tiedetään sähköautojen lataukseen varattava latausaika, voidaan laskea parkkialueen nimellisteho ja sen myötä nimellisvirta.

Lasketaan esimerkkinä 25 auton parkkialueelle tarvittava sähköenergia, nimellisteho, sekä -virta. Laskemiseen käytetään kuvassa 9 nähtävää kaavaa.

$$E_{\text{auto}} = 36,954 * x^{-0,24}$$

$$E_{\text{auto}} = 36,954 * 25^{-0,24} = 17,1\text{kWh}$$

E_{auto} = auton päiväkohtainen sähköenergian tarve (kWh)
x = parkkialueen autojen lukumäärä

Ajoneuvokohtaisen sähköenergian tarpeen perusteella lasketaan parkkialueen tarvitsema sähköenergian tarve:

$$E_{p, \text{alue}} = x * E_{\text{auto}}$$

$$E_{p, \text{alue}} = 25 * 17,1\text{kWh} = 427\text{kWh}$$

E_{p, alue} = parkkialueen päiväkohtainen sähköenergian tarve (kWh)

Parkkialueen sähköenergian tarpeen määrittämisen jälkeen voidaan laskea koko sähköautonlatausjärjestelmän tarvitsema sähkötehon määrä. Sitä varten tulee määritellä haluttu latausaika. Yleisesti sähköautojen latauksessa käytetään latausaikana 10:tä tuntia. Lasketaan kyseisellä latausajalla parkkialueen tarvitsema nimellistehon määrä:

$$P_{p, \text{alue}} = E_{p, \text{alue}}/t$$

$$P_{p, \text{alue}} = \frac{427\text{kWh}}{10\text{h}} = 42,7\text{kW}$$

$P_{p, alue} = \text{parkkialueen sähköautonlatausjärjestelmän nimellisteho (kW)}$
 $t = \text{latausaika (h)}$

Sähköautonlatausjärjestelmän nimellistehon perusteella voidaan laskea latausjärjestelmän nimellisvirta kolmivaiheisena. Ajatellaan tässä laskentaesimerkissä, että kyseessä on täysin resistiivinen kuorma, jolloin $\cos\varphi=1$. Nimellisvirta lasketaan seuraavasti:

$$P_{p, alue} = U_p * I_{p, alue} * \sqrt{3} * \cos\varphi$$

$$\rightarrow I_{p, alue} = \frac{P_{p, alue}}{\sqrt{3} * U_p * \cos\varphi}$$

$$I_{p, alue} = \frac{42,7 \text{ kW}}{\sqrt{3} * 400 \text{ V} * 1} = 62 \text{ A}$$

$I_{p, alue} = \text{parkkialueen sähköautonlatausjärjestelmän nimellisvirta (A)}$
 $U_p = \text{pääjännite (V)}$
 $\cos\varphi = \text{tehokerroin}$

Laskentakaavalla lasketun esimerkin perusteella 25 auton parkkialueen nimellisvirta on 62 A ja nimellisteho on 42,7 kW, kun sähköautojen latausaikana käytetään kymmentä tuntia.

Edellä lasketusta esimerkistä voidaan lisäksi määrittellä yksittäiselle sähköautolle/lataus-
 asemalle varattava sähköteho. Se saadaan joko jakamalla yksittäisen ajoneuvon sähkö-
 energian tarve latausajalla (E_{auto}/t) tai jakamalla parkkialueen nimellisteho ajoneuvojen
 määrällä ($P_{p, alue}/x$). Yksittäisen latausaseman tehoksi saadaan:

$$P_{\text{paikka}} = P_{p, alue}/x$$

$$P_{\text{paikka}} = \frac{42,7 \text{ kW}}{25} = 1,7 \text{ kW}$$

Sähköauton latausjärjestelmän mitoitusta tehdessä tämän laskentakaavan perusteella tulee kiinnittää erityistä huomiota muutama asiaan. Laskentakaavalla lasketaan park-
 kialueiden yksittäisten autojen tarvitseman sähköenergian tarpeen keskiarvo päiväkoh-
 taisesti. Kaavalla ei siis määritellä, kuinka paljon yksittäinen autoilija "saa" ajaa. Yksittäi-

nen autoilija voi ajaa esimerkiksi keskimäärin tuplasti päivässä sen määrän, kuin kaavalla on laskettu. Tällöin muut kompensoivat yhden paljon ajavan autoilijan ajokilometrejä.

Laskettaessa latausjärjestelmälle vaadittavaa nimellistehon määrää on esimerkissä esitettyssä laskentatavassa kaksi eri muuttujaa: latausasemien/sähköautojen määrä ja latausaika. Latausaikaa muuttamalla voidaan joko pienentää tai suurentaa vaadittavaa tehon määrää. Jos pidennetään latausaikaa, tehon tarve pienenee, kun taas latausaikaa lyhentämällä tehon tarve kasvaa. Latausaika tulisi määritellä sen perusteella, mikä on haluttu tai arvioitu latausaika mitoitettavassa kohteessa.

Parkkipaikkojen otannoista saatuja arvoja (kuva 8) ja niiden pohjalta tehtyjä kaavioita (kuvat 9 ja 10) tarkastellessa huomataan, että latausasemien määrien lisääntyessä tasoittuu sähköautojen tarvitseman sähköenergian määrä noin 14 kWh:n kohdalla. Siitä voidaan päätellä, että sähköautoille tulisi varata vähintään 14 kWh sähköenergiaa päivittäiseen käyttöön, mikä tarkoittaa 20 kWh / 100 km kulutuksella noin 70:tä ajokilometriä. Jos latausjärjestelmän mitoituksessa käytetään latausaikana kymmentä tuntia, tulee tällä sähköenergian määrällä varata jokaiselle asemalle tehoa vähintään 1,4 kW. Aikaisemmin on todettu, että kyseinen lataustehon/-virran (6A) määrä on sähköautojen latausasemien standardeissa määritelty pienimmäksi mahdolliseksi vaihtosähkön latausvirraksi, mutta se ei välttämättä sovellu kaikille autoille. [2.]

Mitoitusta tehdessä tulee kuitenkin kiinnittää huomiota siihen, että kaikkia autoja ei tarvitse ladata samanaikaisesti, vaan dynaamisella kuormanhallinnalla pystytään vuorottelemaan latauksessa olevia autoja. Mitoitus tulisi perustella sähköautoille määritetyllä sähköenergian tarpeella. Lisäksi huomioon tulisi ottaa lataukseen vaikuttavia ulkoisia tekijöitä, joita käydään myöhemmin läpi.

5.3 Olemassa olevan latausjärjestelmän sähköenergiankulutus

Tässä osiossa tarkastellaan yksittäisen olemassa olevan latausjärjestelmän tehonkulutuksia ja sähköautojen lataamia sähköenergiämääriä. Olemassa olevista latausjärjestelmistä oli vähän tietoja saatavilla. Syy siihen on osittain tietosuojasetus, jonka takia mittaustietojen luovuttaminen kolmansille osapuolille ei ole sallittua. Kunnollinen vertailu

kehitettyyn laskentakaavaan olisi tärkeä tehdä, jotta tiedetään, kuinka hyvin ajokilometrimäärien perusteella tehty laskentakaava pitää paikkaansa.

Mittaustiedot tarkasteltavaan kohteeseen saatiin yritykseltä nimeltään IGL-Technologies. Tällä yrityksellä on eParking-palvelu, joka toimii sähköautojen latausjärjestelmissä taustajärjestelmänä. Sen kautta kerätään mittaustietoja sähköautojen latauksesta ja laskutetaan ladatun sähköenergian perusteella latausaseman käyttäjää.

Tarkasteltavaksi kohteeksi saatiin puolijulkinen työpaikan parkkialue, jossa on yhteensä 40 peruslatausasemaa. Peruslatausasemat mahdollistavat lataamisen 22 kilowatin teholla. Kohteesta ei ole saatavilla tarkempia tietoja, esimerkiksi, minkä yrityksen parkkialue on kyseessä, minkä tyyppinen työpaikka on kyseessä (toimisto, tehdas, jne.) tai kuinka monella työntekijällä on sähköauto. Koska kyseessä on puolijulkinen parkkialue, on kohteessa ollut muitakin käyttäjiä kuin työntekijät. Kohteessa on yhteensä ollut noin 700 eri latausasemien käyttäjää. Eri käyttäjät perustuvat latausasemalla tunnistautumiseen käytettävään ID:hen, joten eri käyttäjien määrä voi olla pienempikin. Tässä tarkastelussa on kuitenkin ajateltava, että kaikki ID:t ovat eri käyttäjiä. Lisäksi kohteessa on ollut normaalien työaikojen ulkopuolella latausta, sillä kohteessa on ollut joitakin lataustapahtumia, jotka ovat kestäneet yön yli ja pisimmillään lataustapahtuma on kestänyt yli 30 tuntia.

Kohteen mittaustiedoista käytettiin hyödyksi seuraavia arvoja: latauksen ajankohta, latausaika, ladattu sähköenergia, keskimääräinen latausteho ja käyttäjän ID. Edellä mainitut arvot on eritelty jokaiselle lataustapahtumalle erikseen. Saadut mittaustiedot ovat ajanjaksolta 20.9.2018–26.2.2019. Kyseiseen ajanjaksoon sisältyy yhteensä 160 vuorokautta, ja niistä 109 on arkipäiviä. Arkipäivistä on luettu pois arkipyhät. Tarkastelussa esille otettavia tietoja ovat muun muassa päiväkohtaisesti ladattu sähköenergian määrä, arkipäivinä ladattu sähköenergian määrä, aktiivisten käyttäjien määrä sekä aktiivisten käyttäjien lataama sähköenergia.

Tarkastellaan ensimmäisenä kohteessa ladattua sähköenergiaa (arki)päiväkohtaisesti. Lataustapahtumissa on kerrottu sähköauton lataamisen aloituksen sekä lopetuksen ajankohta sekuntien tarkkuudella. Tiedossa ei ole kuitenkaan tuntikohtaisesti ladattua sähköenergian määrää, joten energiamääriä tarkastellaan päiväkohtaisesti. Kohteessa

on ollut sähköautoja latauksessa myös yön yli. Päiväkohtaisessa tarkastelussa on laskettu yön yli lataajien lataama sähköenergia siihen päivään, jolloin he ovat aloittaneet lataamisen. Esimerkiksi jos sähköautoon on ladattu sähköenergiaa 10 kWh, 20.9.–21.9. välisenä yönä, lasketaan kyseinen 10 kWh ladatuksi kokonaan 20.9. Kuvassa 11 on esitelty keskimääräinen ladattu sähköenergia kaikkina päivinä sekä pelkästään arkipäivinä:

ka (kaikki päivät)	
	106,61 kWh
	2,67 kWh/latausasema
ka (arkipäivät)	
	104,6 kWh
	2,6 kWh/latausasema

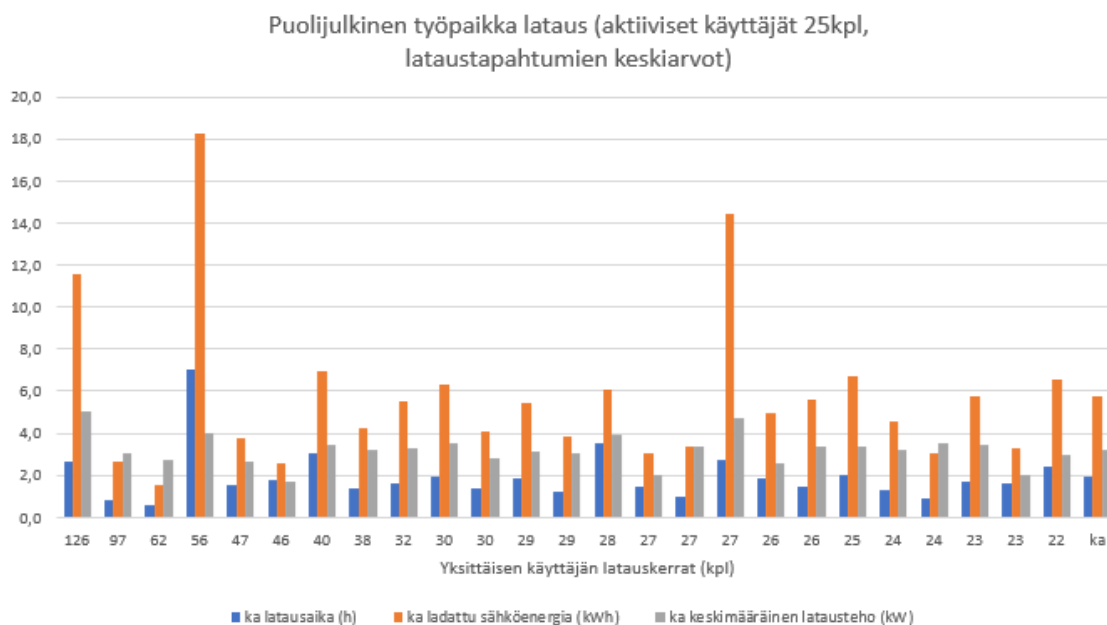
Kuva 11. Ladattu sähköenergia keskimäärin per (arki)päivä.

Kuvasta nähdään edelleen, että tarkastellulla ajanjaksolla on ladattu keskimäärin päivässä noin 105 kilowattituntia. Koska latausasemia on 40 kappaletta, on latausasema-kohtaisesti ladattu energiaa noin 2,6 kilowattituntia. Päiväkohtaisesti ladatussa sähköenergiassa on ollut paljonkin vaihtelua, sillä suurin yhtenä päivänä ladattu sähköenergian määrä tarkasteluajanjaksolla on 773 kWh ja pienin on 0 kWh. Suurin päiväkohtainen lukema on kuitenkin hyvin poikkeava lukema verrattuna muihin päiviin, sillä toiseksi suurin päiväkohtainen energian määrä on ”vain” 267 kWh.

Tarkasteltavaksi otettiin myös aktiivisimpien käyttäjien lataama sähköenergian määrä. Aktiiviseksi käyttäjäksi tässä tarkastelussa luokitellaan käyttäjä, jolla on vähintään yksi lataustapahtuma viikossa tarkasteltavan ajanjakson aikana. Ajanjaksolla oli yhteensä 22 viikkoa, joten lataustapahtumia aktiivisilla käyttäjillä on vähintään 22 kappaletta. Aktiivisia käyttäjiä oli tällä luokittelulla yhteensä 25 kappaletta.

Koska kyseessä on työpaikalla tapahtuva lataus, voidaan olettaa, että vain noin 1–2 kertaa viikossa lataavat käyttäjät lataavat myös kotona tai muuten jossain muualla kuin työpaikalla. Käyttäjät, joilla on noin 4–5 latauskertaa viikon aikana, lataavat todennäköisesti pääasiallisesti sähköautonsa työpaikalla. Tarkasteltavassa kohteessa 1–2 kertaa viikossa lataavien käyttäjien lataustapahtumien määrä tarkasteluajanjaksolla on noin 22–44 lataustapahtumaa. Viikossa 4–5 kertaa lataavien käyttäjien lataustapahtumien määrä

on puolestaan 88–110. Kuvassa 12 nähdään yksittäisten aktiivisten käyttäjien lataustapahtumien määrät ja lataustapahtumien keskiarvot latausajasta, ladatusta sähköenergiasta ja keskimääräisestä lataustehosta. Lisäksi kaavion viimeisessä sarakkeessa on kaikkien aktiivisten käyttäjien lataustapahtumien keskiarvot.



Kuva 12. Aktiivisten käyttäjien lataustapahtumien määrä ja lataustapahtumien keskiarvot.

Kaaviosta nähdään, että suurin osa käyttäjistä lataa vain keskimäärin 1–2 kertaa viikossa autoonsa työpaikalla ja vain kaksi käyttäjää on ladannut keskimäärin vähintään 4 kertaa viikossa. Keskimäärin aktiiviset käyttäjät ovat yhdellä latauskerralla ladanneet autoonsa noin 6 kilowattituntia sähköenergiaa, ja lataustapahtuma on kestänyt keskimäärin noin 2 tuntia. Kun lasketaan yhteen aktiivisten käyttäjien lataama sähköenergia, tulee tulokseksi 6 034 kWh tarkastelujaksolla, mikä tarkoittaa keskimäärin noin 38:aa kilowattituntia päivässä. Aktiivisten käyttäjien osuus kaikesta ladatusta sähköenergiasta on noin 36 prosenttia, kun keskimääräinen päivässä ladattu sähköenergian määrä oli 106 kWh.

5.4 Tulosten tulkinta

Tässä luvussa verrataan ajokilometrimäärien perusteella luotua laskentakaavaa olemassa olevaan sähköautojen latausjärjestelmään. Huomioitavaa vertailussa on se, että

vertailtava kohde on puolijulkinen työpaikka, jossa on hyvinkin vaihtelevaa latausta ja suurin osa sähköautoilijoista lataa autonsa kotona.

Puolijulkisessa kohteessa oli 40 latausasemaa, joten sijoitetaan laskentakaavaan kyseisellä latausasemien määrällä, jolloin tulokseksi saadaan sähköautojen lataamiseen vaadittava päiväkohtainen kilowattituntien määrä. Lasketaan ensiksi laskentakaavan mukaisesti yksittäisen sähköauton tarvitsema sähköenergian tarve päiväkohtaisesti:

$$E_{auto} = 36,954 * x^{-0,24}$$

$$E_{auto} = 36,954 * 40^{-0,24} = 15,2 \text{ kWh}$$

E_{auto} = auton päiväkohtainen sähköenergian tarve (kWh)
x = parkkialueen autojen lukumäärä

Kun on laskettu yksittäisen sähköauton tarvitsema sähköenergian määrä, saadaan parkkialueen tarvitsema sähköenergian määrä kertomalla latausasemien määrällä (40 kpl):

$$E_{p. alue} = x * E_{auto}$$

$$E_{p. alue} = 40 * 15,2 \text{ kWh} = 610 \text{ kWh}$$

E_{p. alue} = parkkialueen päiväkohtainen sähköenergian tarve (kWh)

Laskentakaavan perusteella tarkasteltavalle kohteelle tulisi varata päiväkohtaisesti sähköautojen lataamiseen 610 kilowattituntia. Tällä hetkellä keskimääräinen päiväkohtainen sähköenergian kulutus tarkasteltavassa kohteessa on ollut noin 106 kilowattituntia, joten siihen verrattuna laskentakaavalla laskettu sähköenergian tarve riittää erittäin hyvin, koska laskentakaava perustuu siihen, että se kattaa keskimääräisen päiväkohtaisen sähköenergian tarpeen. Jos kuitenkin vertaillaan laskentakaavalla saatua sähköenergian tarvetta päiväkohtaisiin kulutushuippuihin, se on melko lähellä korkeinta kulutusta, joka oli tarkasteltavassa kohteessa 773 kWh. Kuten aikaisemmin todettu, korkein kulutus on melkoinen tilastopoikkeama. Kun vertaillaan laskentakaavalla saatua arvoa toiseksi

suurimpaan päiväkohtaiseen kulutushuippuun (267 kWh), on laskentakaavalla saatu sähköenergian tarve vähintäänkin riittävä.

Kuten aikaisemmin on jo mainittu, tarkasteltavana kohteena on puolijulkinen työpaikka. Laskentakaava on kehitetty pääasiassa taloyhtiöiden latausjärjestelmien mitoitusta varten, joten puolijulkinen työpaikka ei ole paras mahdollinen vertailukohde laskentakaavan toimivuuden tarkasteluun. Myös otanta on turhan pieni, koska kyseessä on vain yksi kohde. Tulokset ovat kuitenkin suuntaa antavia, ja tähän kohteeseen laskentakaava soveltuu hyvin.

5.4.1 Kylmän kelin vaikutus

Sähköautoissa ilman lämpötila vaikuttaa merkittävästi ajoneuvon kulutukseen ja siten toimintamatkaan. Lumme-energian julkaiseman artikkelin mukaan sähköautojen toimintamatka lyhenee talvella noin kolmanneksen verrattuna kesän lämpimiin keleihin. Toimintamatkan lyheneminen riippuu auton koosta, tehosta sekä kuljettajan ajotavasta. Ääritapauksessa toimintamatka voi lyhentyä jopa puoleen. Merkittävästi auton lataamiseen talven pakkasilla vaikuttaa auton sisätilan lämmitys, johon tulee varata talvella tehoa. Jos autoa ei esilämmitetä, lyhenee ajoneuvon toimintamatka. [15.]

Autoalan Tiedotuskeskus ja Traficom ovat yhdessä tehneet vuoden 2019 syystalvella kyselytutkimuksen ladattavien autojen käyttäjille. Tämän käyttäjätutkimuksen perusteella täyssähköautojen energiankulutus ajossa on talvisin 20 kWh / 100 km ja muina vuodenaikoina 16,2 kWh / 100 km. Kulutukset perustuvat käyttäjien tekemiin arvioihin ja niistä arvioista otettuun keskiarvoon. Tutkimuksen perusteella talvella sähköautojen energiankulutus on 23 prosenttia suurempi kuin muina vuodenaikoina. [16, s. 29]

Käyttäjätutkimuksessa esiin tulleiden energiankulutuksien perusteella mitoituksessa käytetty sähköautojen energiankulutus olisi soveltuva myös talviaikaan, sillä mitoituksessa käytetty energiankulutus on 20 kWh / 100 km (0,2 kWh/km). Otoksen koko on kuitenkin pieni, vain noin 700 täyssähköauton käyttäjää, ja perustuu heidän tekemiinsä arvioihin, joten tuloksien luotettavuuteen tulee suhtautua varauksella. Se on kuitenkin suuntaa antava. [16, s. 13.]

Tutkimuksesta esille tulleiden tietojen perusteella sähköautojen latausjärjestelmän mitoitukseen käytettävä kaava soveltuisi Suomen olosuhteisiin myös talviaikaan, koska mitoitus on tehty samalla energiankulutuksella, kuin sähköautojen energiankulutuksen arvioidaan olevan talvella. Ongelmaksi tulee kuitenkin auton esilämmitys, sillä vaikka kulutus pysyisi liki samana, tarvitaan moottorin esilämmitystä, johon kuluu taas energiaa. Mitoitusta tehdessä tulisi siis kiinnittää huomiota talven pakkasiin, ja edellä mainitun tutkimuksen perusteella kylmää keliä varten tulisi varata 23 prosenttia tehovaraa. Pakkasen tarkkaa vaikutusta mitoitukseen on kuitenkin vaikea arvioida ilman tarkkoja kulutustietoja laajasta otannasta.

5.4.2 Maaseudun ja kaupungin erot

Suunniteltaessa sähköautonlatausjärjestelmiä maaseudulle ja kaupunkiin tulee ottaa huomioon alueiden erot autoilijoiden ajokilometrimäärissä. Maaseudulla etäisyydet ovat pääosin pidemmät kuin kaupunkialueilla, minkä takia ajokilometrejä tulee enemmän. Liikenneviraston henkilöliikennetutkimuksessa on selvitetty eri alueilla ja asuinympäristöissä suoritettujen matkojen määrää. Kuvassa 13 on esitetty tilastoja eri asuin ympäristöjen ajokilometreistä vuodessa. [14.]

	oma auto	työsuhdeauto	kaikki
sisempi kaupunkialue	13 500	22 500	13 900
ulompi kaupunkialue	14 600	22 600	15 000
kaupungin kehysalue	16 800	29 200	17 300
maaseudun paikalliskeskukset	14 600	24 900	14 900
kaupungin läheinen maaseutu	16 300	32 700	17 000
ydinmaaseutu	15 400	27 100	15 800
harvaan asuttu maaseutu	15 500	23 500	15 700
koko maa	15 000	25 000	15 400

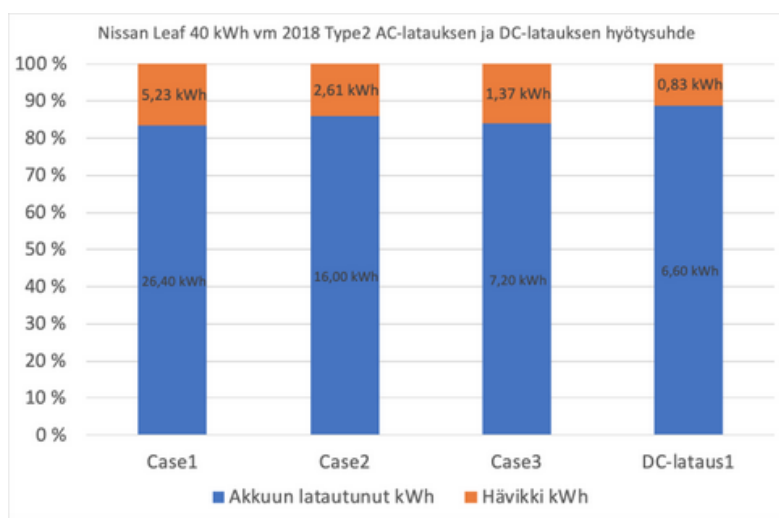
Kuva 13. Henkilöautojen ajokilometrit vuodessa kaupunki-maaseutuluokittain [14. s.77]

Kuvasta nähdään, että pienimmät ajokilometrit kertyvät sisemmillä kaupunkialueilla ja suurimmat kaupungin kehysalueilla. Niiden keskimääräisten ajokilometrien erotus on 3 400 kilometriä vuodessa, ja prosentuaalisesti kaupungin kehysalueilla ajetaan noin 24 prosenttia enemmän kuin sisemmillä kaupunkialueilla.

Muutenkin kun tarkastellaan taulukon arvoja, huomataan, että pääasiallisesti kaupunki-alueiden ulkopuolella ajetaan vuodessa keskimäärin enemmän kuin koko maassa. Tämä tulisi huomioida sähköautojen latausjärjestelmää mitoittaessa. Tulisi siis pohtia kohdekohtaisesti asiaa esimerkiksi vertaamalla kohteen sijaintia (kaupunki-maaseutuluokka) ja kyseisellä alueella ajettavien kilometrien määrää koko maan keskiarvoon.

5.4.3 Lataamisessa syntyvät häviöt

Sähköauton latauksessa kaikkea sähköenergiaa ei saada siirrettyä sähköauton akkuun, eli latauksen aikana syntyy häviöitä, kuten aina sähkönsiirrossa. Autotie.fi-verkkosivustolla julkaistussa artikkelissa on tehty tutkimus Nissan Leaf -sähköauton AC-latauksen häviöistä. Tutkimuksessa oli kolmelta eri latauskerralta otettu muistiin latauslaitteen kertoma sähköauton lataaman energian määrä sekä akun saama sähköenergia. Latauskerat olivat kaikki toisistaan poikkeavia. Ensimmäisellä latauskerralla sähköauton akku ladattiin täyteen Type2-latauslaitteella. Toisella kerralla akku ladattiin myös Type2-latauslaitteella, mutta vain 71 prosenttiin asti akun kapasiteetista. Kolmannella kerralla akku ladattiin 75 prosenttiin asti pikalaturilla ja Type2-kaapelilla. Testissä on huomioitavaa se, että siinä mitataan vain lataamisessa tapahtuvaa häviötä, ei ajon aikana tapahtuvaa häviötä tai sähköverkon siirrossa tulevaa hävikkiä. [17.]



	Case1	Case2	Case3	DC-lataus1	AC-lataukset yhteensä:
Akkuun latautunut kWh	26,40 kWh	16,00 kWh	7,20 kWh	6,60 kWh	49,60 kWh
Hävikki kWh	5,23 kWh	2,61 kWh	1,37 kWh	0,83 kWh	9,21 kWh
Latauslaite toimittanut kWh	31,63 kWh	18,61 kWh	8,57 kWh	7,43 kWh	58,81 kWh
Hyötysuhde	83,5 %	86,0 %	84,0 %	88,8 %	84,3 %

Kuva 14. Nissan Leaf-sähköauton latauskerrat, ladattu energia ja hävikki [17.]

Kuvan 14 taulukosta nähdään seuraavat tulokset aiemmin mainituista latauskerroista: akkuun latautunut sähköenergia, latauslaitteesta ladattu energia, häviöt, ja hyötysuhde. Tuloksista huomataan, että eri latauskerroilla ja -tavoilla on hyvinkin lähellä toisiaan olevat hyötysuhteet. Näiden perusteella voidaan todeta, että sähköautojen latauksessa syntyy häviötä noin 16 prosentin verran, mikä tulisi ottaa huomioon sähköautojen latausjärjestelmien mitoituksessa. [17.]

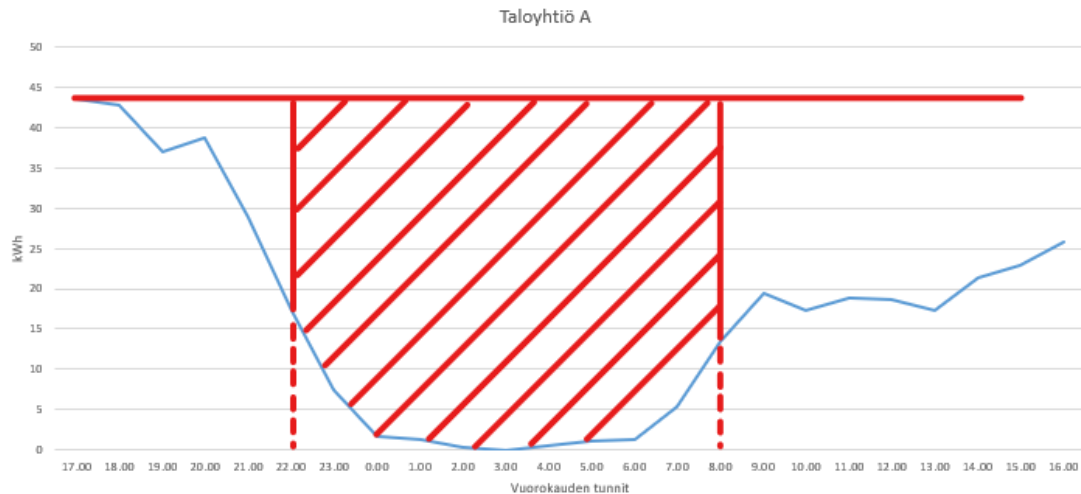
Tutkimuksessa käytetty otanta on kuitenkin melko pieni, ja siinä on käytetty vain yhtä sähköautomallia. Tämä malli on melko uusi, vain pari vuotta vanha. Siitä saadaan kuitenkin käsitys siitä, minkä suuruisia häviöitä syntyy latauslaitteen ja akun välillä. Tämän tutkimuksen perusteella sähköautojen mitoituksessa tulisi varata noin 15 prosenttia lataamisessa syntyville häviöille.

5.4.4 Kysynnän jousto mitoituksessa

Kysynnän jousto sähkötekniikassa tarkoittaa lyhyesti sitä, että pienennetään sähköenergian huippukulutusta siirtämällä osa sähköenergian kulutuksesta ajankohtaan, jolloin on pienempi sähköenergian kulutus. Nimenomaan sähköenergian kulutushuippujen tasaaaminen on kysynnän joustossa merkittävin asia. Siitä hyötyvät sekä kantaverkkoyhtiöt että sähkön loppukäyttäjät. Kantaverkkoyhtiöille kysynnän jousto tuo tehotasapainoa, kun taas sähkön loppukäyttäjille se mahdollistaa pienemmät sähköenergian kustannukset sekä sähköliittymän koon pienentämisen. Säästöt sähköenergian kustannuksissa saadaan siitä, että vuorokauden aikana sähköenergian hinta vaihtelee. Suurimmillaan sähköenergian hinta on suuren kulutuksen aikana eli iltaisin ja pienimmillään öisin, kun sähköenergian kulutus on vähäistä. [18, s. 3.]

Useimmiten sähköautojen latausjärjestelmää ja sähköliittymää mitoittaessa lisätään latausjärjestelmän arvioitu huipputeho liittymän huipputehoon ja sen mukaan määritetään, tarvitseeko liittymän kokoa kasvattaa vai ei. Kuten aikaisemmin kiinteistöjen kuorman käyttäytymistä tarkastellessa huomattiin, kulutushuippu voi olla merkittävästikin suurempi kuin sähköenergian kulutus muuten vuorokauden aikana, etenkin öisin. Koska sähköautoja ladataan pääasiallisesti yöllä, tulisi liittymän mitoituksessa kiinnittää huomiota yöllä tapahtuvaan sähköenergian kulutukseen ja siihen, kuinka paljon silloin on sähköenergiaa käytettävissä verrattuna liittymän maksimitehoon.

Kuvassa 15 nähdään mallitaloyhtiön maksimikuormat vuoden aikana tuntikohtaisesti ja se kuinka paljon yön aikana on sähköenergiaa käytettävissä sähköautojen lataukseen. Latausajaksi on määritetty 10 tuntia, ja se alkaa illalla kello 22 ja loppuu aamulla kello 8. Kuva on vastaava kuin liitteessä 1 oleva kuva 4 redusoiduista maksimikuormista. Kaaviota on muokattu siten, että siitä on helpompi tarkastella yön aikaista sähköenergian kulutusta.



Kuva 15. Sähköenergian käytettävissä oleva kapasiteetti yöllä, 10 h latausajalla, verrattuna liittymän huipputuntitehoon.

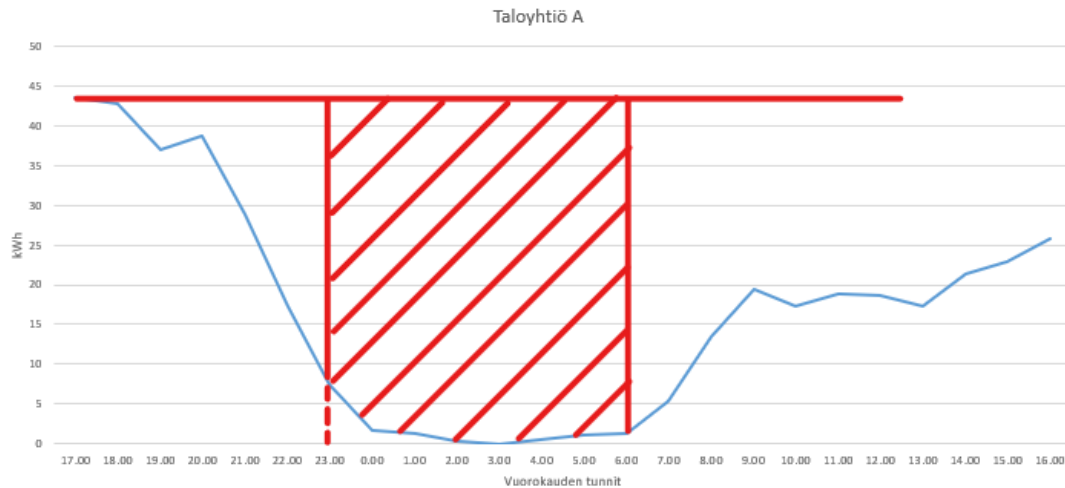
Kuvassa 15 on merkitty maalatulle alueelle käytettävissä oleva sähköenergian määrä tavallisen sähköautojen latausajan aikana. Siitä nähdään, että sähköenergiaa on huomattava määrä käytettävissä verrattuna taloyhtiön tuntihuippuun. Liittymän maksimitenhona on käytetty vertailun helpottamiseksi tuntihuippua, mutta todellisuudessa liittymän kapasiteetti on suurempi, kuin liittymän huipputeho on ollut.

Kaaviossa maalatulla alueella oleva sähköenergian määrä on 430 kWh, joka on käytettävissä sähköautojen lataukseen. Jos taloyhtiöllä on esimerkiksi 20 sähköautoa/latauspistettä, on jokaisella sähköautolla käytettävissä sähköenergiaa seuraavasti:

$$E_{\text{sähköauto}} = \frac{430 \text{ kWh}}{20} = 21,5 \text{ kWh}$$

Jokaiselle sähköautolle on siis tässä tapauksessa päivittäin käytettävissä 21,5 kWh lataukseen, ilman että tarvitsee korottaa liittymän kokoa. Kyseinen energiamäärä tarkoittaa noin 110:tä ajokilometriä, jos sähköauton kulutus on 0,2 kWh/km, joka on arvioitu kulutus sähköautoilla. Kaaviossa on käytetty vuoden tuntikohtaisia maksimikuormia, joten keskimäärin sähköenergiaa on enemmän käytettävissä kuin tässä esimerkissä.

Tarkastellaan vielä samaa kulutusikäyrää seitsemän tunnin latausajalla, joka alkaa illalla kello 23 ja loppuu aamulla kello 06 (kuva 16).



Kuva 16. Sähköenergian käytettävissä oleva kapasiteetti yöllä, 7 h latausajalla, verrattuna liittymän hupputuntitehoon.

Seitsemän tunnin latausajalla sähköenergiaa on käytettävissä yhteensä 335 kilowattituntia. Samalla 20 auton latausjärjestelmällä se tarkoittaa, että kullekin autolle on päivittäin sähköenergiaa käytettävissä seuraavasti:

$$E_{\text{sähköauto}} = \frac{335 \text{ kWh}}{20} = 16,7 \text{ kWh}$$

Tässä tapauksessa jokaiselle autolle on päivittäin käytettävissä 16,7 kilowattituntia, joka tarkoittaa noin 85 ajokilometriä. Tulee kuitenkin kiinnittää huomiota siihen, että suurin osa autoilijoista pitää autoa latauksessa pidemmän aikaa kuin seitsemän tuntia, jolloin he pystyvät lataamaan autoonsa enemmän sähköenergiaa, kuin tässä esimerkissä on laskettu.

Huomioitavaa mitoituksessa on lisäksi se, että sähköautoja ei ladata pelkästään yöllä, vaan ihmiset lataavat myös esimerkiksi iltapäivällä töiden jälkeen, ennen kuin he lähtevät illalla harrastuksiin tai muihin menoihin. Sen takia tulisi siis jättää liittymään varaa, jotta tämä on mahdollista.

6 Yhteenveto

Opinnäytetyössä tutkittiin olemassa olevien henkilöautojen ajokilometrimääriä, ja niiden pohjalta oli tavoitteena luoda laskentakaava, jota voidaan käyttää sähköautojen latausjärjestelmien mitoittamiseen, kun järjestelmä sisältää dynaamisen kuormanhallinnan. Laskentakaavan tavoitteena oli, että sillä voidaan laskea erikokoisten parkkialueiden tarvitsema sähköenergia tai -teho. Laskentakaavaa kehitettiin puolijulkisia sähköautojen latausjärjestelmiä varten, kuten taloyhtiöitä ja työpaikkoja, jotka sisältävät peruslatausasemia ja mahdollisesti hidaslatausasemia.

Työssä tutkittiin olemassa olevien henkilöautojen matkamittarilukemia, joista laskettiin vuosittaiset ajokilometrit ensirekisteröintivuoden perusteella. Tutkimuksessa saadut tulokset olivat melko luotettavia, koska ne olivat lähes yhtä suuria kuin Tilastokeskuksen ja Liikenneviraston julkaisemat tiedot ajoneuvojen vuosittaisista ajokilometrimääristä. Tutkimuksessa esille tulleiden vuosittaisten ajokilometrimäärien pohjalta voitiin siis lähteä kehittämään laskentakaavaa. Laskentakaavan kehitys perustui eri autojen ajokilometrijakaumaan ja niiden pohjalta luotuihin satunnaisiin autoilijoihin ja siitä eteenpäin satunnaisiin parkkialueisiin. Satunnaisten ja erikokoisten parkkialueiden otannoista luotiin kaavio, jonka perusteella saatiin luotua kaava yksittäisen autoilijan tarvitsemaan sähköenergian määrään päiväkohtaisesti. Laskentakaavan kehittämisen lisäksi pohdittiin ulkoisia tekijöitä, jotka voivat vaikuttaa latausjärjestelmän mitoittukseen. Ulkoisia tekijöitä tarkasteltaessa huomattiin, että on monia asioita, jotka voivat vaikuttaa sähköautojen latausjärjestelmän mitoittukseen ja joihin tulisi kiinnittää huomiota mitoitusta tehdessä, koska laskentakaava perustuu pelkästään autoilijoiden ajokilometrimääriin.

Laskentakaavan kehittämisen jälkeen tutkittiin olemassa olevan sähköautojen latausjärjestelmän sähköenergian kulutusta ja sitä vertailtiin kehitettyyn laskentakaavaan. Vertailussa huomattiin, että kehitetty laskentakaava pätee vertailtavaan kohteeseen erinomaisesti. Vertailuun käytetty otanta oli kuitenkin erittäin pieni, koska kyseessä oli ainoastaan yksittäinen kohde ja sekin puolijulkisen työpaikan latausjärjestelmä. Sen myötä ei voida varmasti sanoa, kuinka hyvin laskentakaava todellisuudessa toimii.

Laskentakaavaa tulisikin vertailla vielä muihin olemassa oleviin latausjärjestelmiin, jotta tiedetään, kuinka hyvin se pätee todelliseen kulutukseen. Laskentakaavaa voidaan kuitenkin hyödyntää soveltavasti työssä esille tulleiden tietojen avulla ja siten, että se on yhteneväinen nykyisten suunnitteluohjeiden vähimmäismitoitusten kanssa.

Lähteet

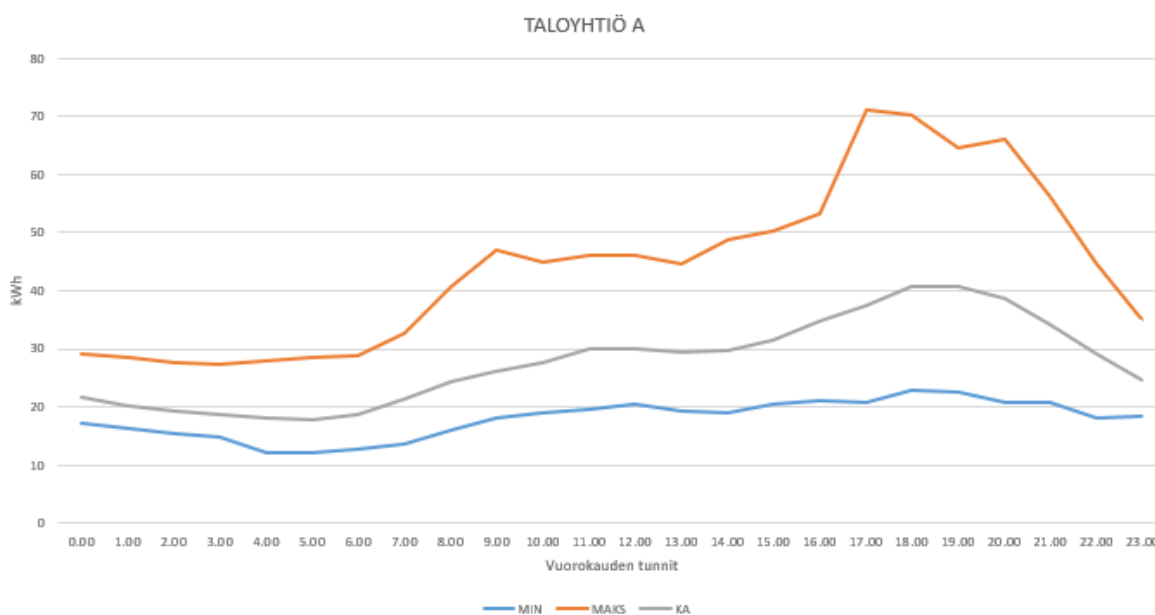
- 1 Laki liikenteessä käytettävien vaihtoehtoisten polttoaineiden jakelusta. 2017. 478/28.7.2017.
- 2 Sähköauton lataaminen ja latauspisteiden toteutus. 2018. ST-kortti 51.90. Sähkö-tieto ry.
- 3 Sähköajoneuvojen lataussuositus. 2019. Verkkoaineisto. Sesko ry. <https://www.sesko.fi/standardit/standardoinnin_aihealueita/sahkoautot_ja_latausjarjestelmat/lataussuositus>. Päivitetty 27.5.2019. Luettu 19.11.2020.
- 4 Vesa, Juha. 2017. Sähköautojen lataus. Verkkoaineisto. Sesko ry. <<https://tu-kes.fi/documents/5470659/8489681/2017+Vesa+s%C3%A4hk%C3%B6autojen+lataus/516307d5-fc96-4117-84e4-aa9534bbe4fe/2017+Vesa+s%C3%A4hk%C3%B6autojen+lataus.pdf>>. Luettu 19.11.2020
- 5 Linteri, Päivi; Iltanen, Timo; Malassu Henri. 2018. Suunnittelijan opas. Sähköautojen latausjärjestelmien huomioiminen kiinteistöjen sähkösuunnittelussa. Verkkoaineisto. Ensto Oy. <<https://www.ensto.com/globalassets/whitepapers/suunnittelijan-opas-sahkoautojen-latausjarjestelmat.pdf>>. Luettu 20.11.2020
- 6 Kuormanhallinta tuo älyä sähköautojen lataukseen. 2018. Verkkoaineisto. E-Mobility. <<https://emobility.teknologiateollisuus.fi/fi/kuormanhallinta-tuo-alya-sahkoautojen-lataukseen>>. Päivitetty 22.2.2018. Luettu 20.11.2020.
- 7 Blomqvist Kim; Härkönen Jarno; Makkonen Tarmo. 2018. Älykäs lataus – Mobiilisähkövarastoilla energiahuoltovarmuutta ja säätövoimaa uusiutuvalle energialle. Verkkoaineisto. Karelia. <https://vanha.karelia.fi/mobiilisahkovarastot/wp-content/uploads/2018/07/Raportti_V2G.pdf>. Luettu 26.2.2021.
- 8 Sähköautot ja latausjärjestelmät. 2020. ST-käsikirja 41. Sähkötieto ry.
- 9 Mäkinen Jukka. 2019. Sähkö liikenteen käyttövoimana osana energiamurrosta – EV-latausjärjestelmän suunnittelijan opas – suunnittelu – toteutus – ylläpito. Verkkoaineisto. ABB. <<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107492A1741&LanguageCode=fi&DocumentPartId=&Action=Launch>>. Luettu 26.2.2021.
- 10 Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen. 2020. ST-kortti 13.31. Sähkötieto ry.

- 11 Sähköautojen latausjärjestelmien suunnittelu- ja toteutusohje. 2020. Verkkoaineisto. Helsingin kaupungin asuntotuotantoyksikkö. <https://www.hel.fi/static/liitteet-2019/Kymp/Att/Sahkoautojen_latausjarjestelmien_suunnitteluohje.pdf>. Päivitetty 18.9.2020. Luettu 11.12.2020
- 12 Avoin data. 2020. Traficom. Ajoneuvojen avoin data 5.12. Verkkoaineisto. <<https://www.traficom.fi/fi/ajankohtaista/avoin-data?toggle=Ajoneuvojen%20avoin%20data%205.12>>. Luettu 18.12.2020.
- 13 Vuonna 2019 henkilöautoilla ajettiin saman verran kuin vuotta aiemmin – raskaan liikenteen kilometrit vähenivät. 2020. Artikkel. Tilastokeskus. <https://www.stat.fi/til/tiet/2019/tiet_2019_2020-04-15_tie_001_fi.html>. Julkaistu 15.4.2020. Luettu 11.2.2021.
- 14 Henkilöliikennetutkimus 2016 – Suomalaisten liikkuminen. 2018. Verkkoaineisto. Liikennevirasto. <https://www.motiva.fi/files/14639/Henkiloliikennetutkimus_2016_Suomalaisten_liikkuminen.pdf>. Julkaistu 1/2018. Luettu 18.2.2021.
- 15 Toimiiko sähköauto talvella? 2020. Artikkel. Lumme Energia Oy. <<https://energia.lumme-energia.fi/energiaa/toimiiko-sahkoauto-talvella>>. Julkaistu 17.3.2020. Luettu 18.2.2021.
- 16 Ladattavien autojen käyttäjätutkimus – selvitys ladattavien hybridien ja täyssähköautojen käyttötavoista. 2020. Verkkoaineisto. Autoalan Tiedotuskeskus. <http://www.aut.fi/files/2116/Ladattavien_autojen_tutkimusraportti_liitteinen.pdf>. Julkaistu 1/2020. Luettu 18.2.2021.
- 17 Mikä on Leaf-sähköauton AC-latauksen hävikki? 2020. Artikkel. Autotie.fi. <https://www.autotie.fi/tien-sivusta/sahkoautoileva-motoristi/sahko-auto_leaf40kwh_lataushavikki>. Julkaistu 29.3.2020. Luettu 4.3.2021.
- 18 Sähkötutkimuspoolin työryhmä. 2015. Kysynnän jousto – Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille. Loppuraportti. Sähkötutkimuspooli (ST-pooli). <https://tutcris.tut.fi/portal/files/4776899/kysynnän_jousto_loppuraportti.pdf>. Luettu 25.2.2021.

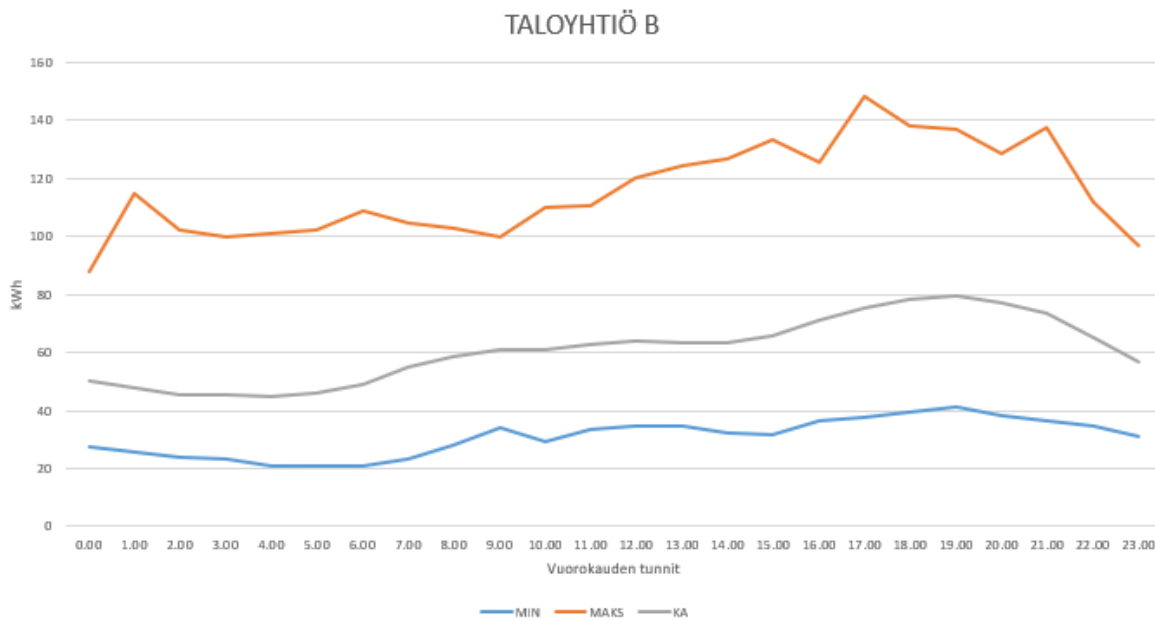
Liite 1. Taloyhtiöiden sähköenergiankulutus tuntitasolla

Tässä liitteessä on esitelty kolmen eri mallitaloyhtiön minimi, maksimi, sekä keskiarvo sähköenergiankulutus tuntikohtaisesti vuoden 2020 ajalta. Huomioitavaa on, että taloyhtiössä B on lämmitysmuotona maalämpö, minkä takia sen sähköenergiankulutus on huomattavasti suurempi ja sen takia kyseisen taloyhtiön sähköenergiankulutus näyttää kaaviossa tasaisemmalta. Taloyhtiöiden kuormista on tehty kaavio, jossa on jokaisesta taloyhtiöstä redusoidut maksimikuormat. Sen avulla kuormituksen vertailu tuntikohtaisesti on helpompaa. Kyseisessä kaaviossa on vähennetty joka tunnilta pienimmän tunnin sähköenergiankulutus. Esimerkiksi taloyhtiössä B ajankohdassa 00:00 on pienin kulutus, joten sen kWh-arvo on vähennetty joka tunnilta, joka tarkoittaa sitä, että redusoiduissa maksimikuormissa kyseisen tunnin kWh-arvo on nolla.

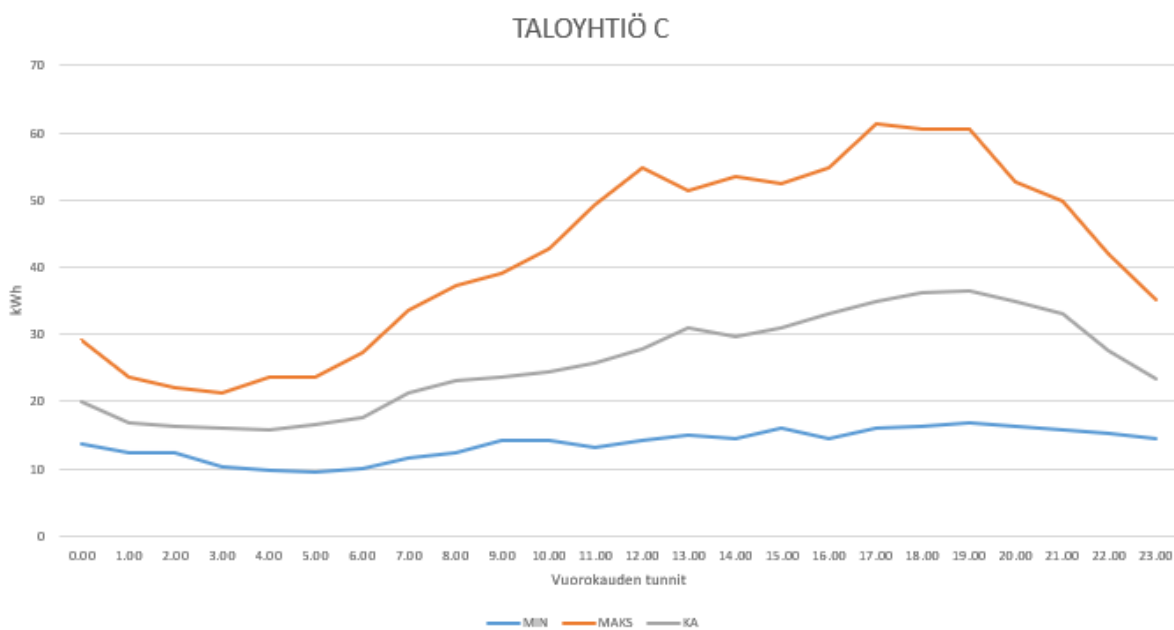
Taloyhtiöissä ei ole normaalista sähköenergiankulutuksesta poikkeavia kuormia, pois lukuun ottamatta taloyhtiön B maalämpö. Taloyhtiöissä ei ole sähköajoneuvojen latauspaikkoja. Taloyhtiöt ovat asuntolukumäärältään suurin piirtein samankokoisia.



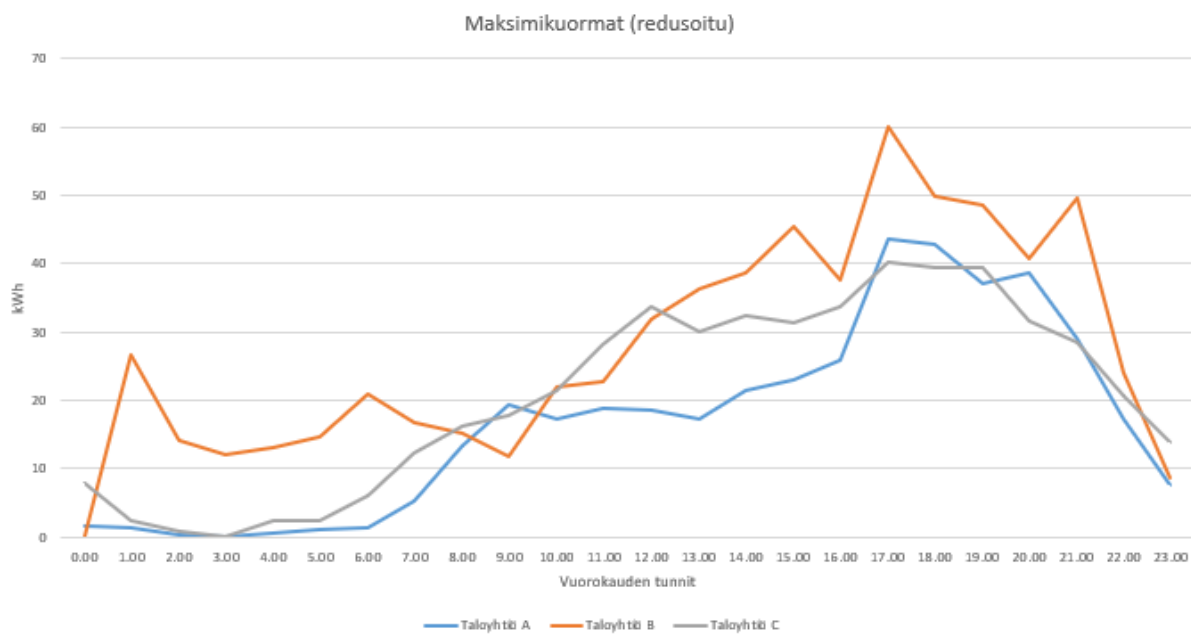
Kuva 1 Taloyhtiön A sähköenergiankulutus (kWh)



Kuva 2 Taloyhtiön B sähköenergiankulutus (kWh)



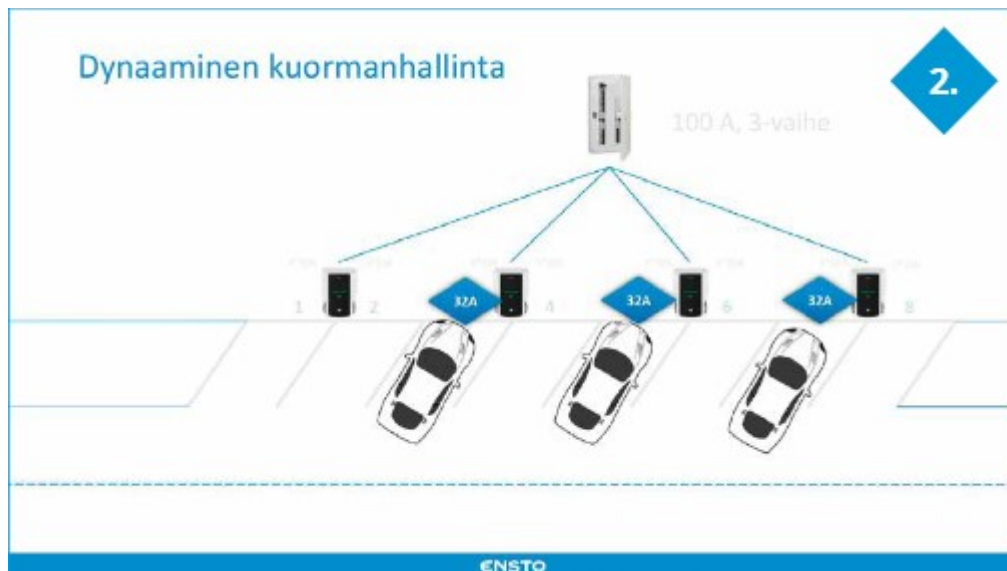
Kuva 3 Taloyhtiön C sähköenergiankulutus (kWh)



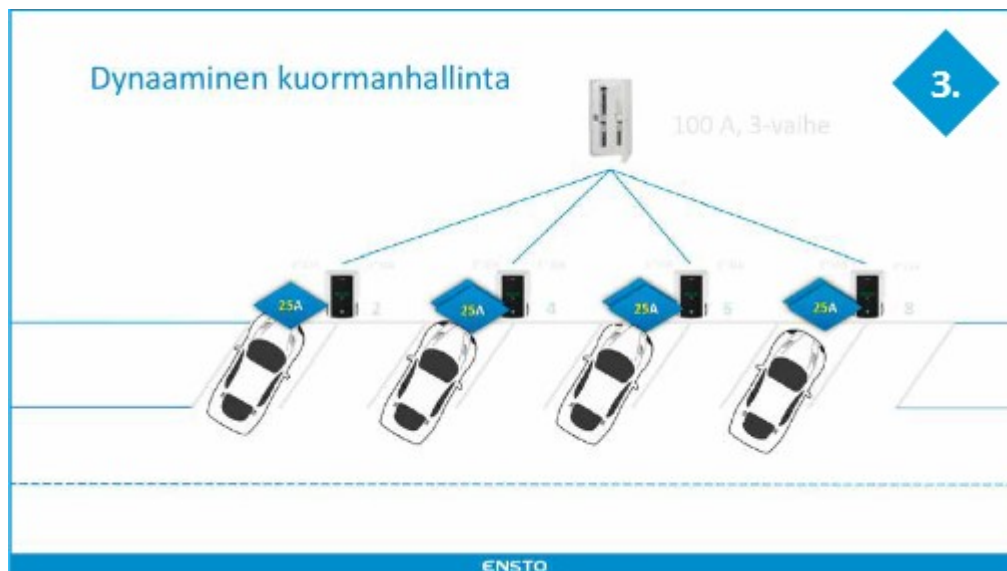
Kuva 4 Taloyhtiöiden redusoidut maksimikuormat (kWh)

Liite 2. Dynaamisen kuormanhallinnan toimintaperiaate

Tässä liitteessä on esitelty, mikä on sähköautojen latausjärjestelmässä olevan dynaamisen kuormanhallinnan toimintaperiaate.



Kuva 1 Dynaaminen kuormanhallinta, lataavat autot eivät ylitä 100A virtarajaa, joten ne voivat ladata latauslaitteen maksimiteholla [5.]



Kuva 2 Dynaaminen kuormanhallinta, älykkäällä latauksella varustetut latauslaitteet rajoittavat tehon 100A virtarajan mukaiseksi, ottamalla huomioon ladattavien autojen lukumäärän. [5.]