



# **Pienjänniteliittymän mitoitus sähköautoiluun siirryttäessä**

Kiinteistön pääsulakkeiden mitoitus

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Sähkö- ja automaatiotekniikka

kevät 2025

Juha Stenvall

Koulutus Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Tekijä Juha Stenvall  
Työn nimi Pienjänniteliittymän mitoitus sähköautoiluun siirryttäessä  
Ohjaaja Timo Viitala

Vuosi 2025

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, miten sähköautoiluun siirtyminen vaikuttaa tyypillisen suomalaisen jo olemassa olevan kiinteistön pienjänniteliittymän pääsulakkeiden mitoitukseen. Tavoitteena oli selvittää, riittävätkö olemassa olevat pääsulakkeet, vai tuleeko pääsulakekokoa kasvattaa. Aihe on ajankohtainen, sillä erityisesti täyssähköautojen rekisteröinnit ovat huimassa kasvussa lähivuosina.

Työssä tarkasteltiin yhden ja kahden sähköauton käyttöä taloudessa, sekä kuormanhallinnan vaikutusta mitoitukseen. Mitoituksen periaatteet pohjautuvat alan julkaistuihin suosituksiin ja määräyksiin, kuten ST13.31 Rakennusten sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen dokumenttiin. Sähköauton latausratkaisuiden lähtökohtana laskelmissa oli käytössä joko staattinen tai dynaaminen kuormanhallinta.

Pääsulakkeet mitoitettiin kahdessa erilaisessa tapauksessa. Kiinteistön kuormat ja niiden tehot laskettiin ja taulukoitiin. Laskelmat tehtiin kolmella eri tavalla sekä yhden auton (tapaus A) että kahden auton (tapaus B) tapauksessa, ja tuloksia vertailtiin keskenään. Laskelmat tehtiin ensin huomioimalla järjestelmä- ja laitekohtaisesti kaikki kiinteistön sähkönkulutus. Koska huonekohtaisia huonekortteja ei ole saatavilla, on kiinteistön sähkölaitteiden sähkönkulutus arvioitu. Laskelmat tehtiin myös käyttämällä kokemusperäistä kaavaa.

Tapauksessa A talouteen hankitaan yksi täyssähköauto, jolla ajetaan 150 km vuorokaudessa ympäri vuoden. Tapauksessa B talouteen hankitaan kohdan A mukainen auto, jolla ajetaan ja jota ladataan kuten kohdassa A. Tapauksessa B talouteen hankitaan lisäksi toinen täyssähköauto, jolla ajetaan 40 km vuorokaudessa arkipäivisin. Molemmissa tapauksissa pienjänniteliittymän mitoitusta laskettaessa lataustehoissa huomioidaan arvioitu talviajan sähkönkulutus. Esimerkkikiinteistönä laskelmissa on sähkölämmiteinen  $190m^2$  omakotitalo, jossa on 3x25 A pääsulakekoko ja erillinen autotalli.

Tarkastelun tuloksena voidaan todeta, että monessa tapauksessa pienjänniteliittymän pääsulakekokoa ei ole tarvetta kasvattaa, mikäli sähköauton latausratkaisu toteutetaan dynaamista kuormanhallintaa käyttäen. Joissain tapauksissa vähäisillä ajomäärillä voitaisiin olemassa oleva pääsulakekoko säilyttää myös käyttämällä staattista kuormanhallintaa. Ajomäärien kasvaessa suureksi, erityisesti usean sähköauton tapauksessa, voisi olla perusteltua suurentaa pääsulakekokoa, jotta välttyttäisiin liittymän ylikuormitukselta.

Työn tuloksia ei voida käyttää sellaisenaan minkään yksittäisen kiinteistön tapauksessa mietittäessä sähkön riittävyttä sähköautoiluun siirryttäessä, koska kiinteistön tekniset ominaisuudet ja asukkaiden käyttötottumukset vaikuttavat suuresti pääsulakkeiden mitoitukseen. Tuloksia voidaan kuitenkin käyttää tukena päätöksenteossa, kun taloudessa mietitään, millaisia teknisillä ratkaisuilla sähköautoiluun siirtyminen on mahdollista.

Avainsanat Sähköautoilu, pienjänniteliittymä, pääsulake, kuormanhallinta  
Sivut 34 sivua



# Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Pienjänniteliittymän mitoituksen perusteet .....	2
2.1	Kokemusperäinen laskentamalli .....	3
2.2	Laitekohtainen laskenta.....	6
2.2.1	Peruskuorma.....	6
2.2.2	Valaistuskuorma .....	6
2.2.3	Sähkölämpökuorma.....	7
2.2.4	Ilmanvaihdon sähköteho.....	7
2.2.5	Samanaikaisuuskertoimet .....	9
3	Kuormanhallinta sähköauton latauksessa.....	11
3.1	Manuaalinen kuormanhallinta .....	11
3.2	Staattinen kuormanhallinta.....	11
3.3	Dynaaminen kuormanhallinta.....	14
4	Lähtötiedot .....	18
4.1	Kiinteistön tiedot .....	20
4.2	Auton tiedot, tapaus A (yksi auto) .....	20
4.3	Autojen tiedot, tapaus B (kaksi autoa) .....	21
5	Sähkökuormien ja huippukuormien laskenta esimerkkitilanteissa .....	21
5.1	Tapaus A1 – yksi auto + laitekohtaiset kuormat + staattinen kuormanhallinta .....	23
5.2	Tapaus A2 – yksi auto + kokemusperäinen kaava + staattinen kuormanhallinta .....	24
5.3	Tapaus A3 – yksi auto + laitekohtaiset kuormat + dynaaminen kuormanhallinta .....	26
5.4	Tapaus B1 – kaksi autoa + laitekohtaiset kuormat + staattinen kuormanhallinta .....	27
5.5	Tapaus B2 – kaksi autoa + kokemusperäinen kaava + staattinen kuormanhallinta .....	29
5.6	Tapaus B3 – kaksi autoa + laitekohtaiset kuormat + dynaaminen kuormanhallinta .....	30
6	Johtopäätökset ja pohdinta.....	32
	Lähteet .....	34

## Kuvat

Kuva 1. Kokemusperäiset laskentamallit asuinrakennuksen huipputehon määrittämiseksi (Finni ym., 2021, s. 5) .....	5
Kuva 2. Esimerkki toimistorakennuksen pienjänniteliittymän mitoittamisesta (Finni ym., 2021, s. 15) ..	10
Kuva 3. Sähköauton latausaseman staattinen kuormanhallinta .....	12
Kuva 4. Staattinen kuormanhallinta usealle latausasemalle (Evse, n.d.) .....	13
Kuva 5. Staattinen kuormanhallinta (Mennekes, n.d.) .....	14
Kuva 6. Dynaamisen kuormanhallinnan periaatekuva (Ensto, 2022, s. 14).....	15
Kuva 7. Virtamuuntajat pääkeskuksessa .....	16
Kuva 8. Dynaamisen kuormanhallinnan toiminta (Mennekes, n.d.) .....	17

## Taulukot

Taulukko 1. Huipputehon laskelma yhden auton ja staattisen kuormanhallinnan tapauksessa laitekohtaisesti laskettuna .....	23
Taulukko 2. Huipputehon laskelma yhden auton ja staattisen kuormanhallinnan tapauksessa kokemusperäisellä kaavalla laskettuna .....	25
Taulukko 3. Huipputehon laskelma yhden auton ja dynaamisen kuormanhallinnan tapauksessa laitekohtaisesti laskettuna .....	26
Taulukko 4. Huipputehon laskelma kahden auton ja staattisen kuormanhallinnan tapauksessa laitekohtaisesti laskettuna .....	28
Taulukko 5. Huipputehon laskelma kahden auton ja staattisen kuormanhallinnan tapauksessa kokemusperäisellä kaavalla laskettuna .....	30
Taulukko 6. Huipputehon laskelma kahden auton ja dynaamisen kuormanhallinnan tapauksessa laitekohtaisesti laskettuna .....	31

## Kaavat

Kaava 1. Huippuvirran laskentakaava .....	3
Kaava 2. Kokemusperäinen huipputehon laskentakaava – suora sähkölämmitys ja sähkökiuas (Finni ym., 2021, s. 5) .....	5
Kaava 3. Peruskuorma (Finni ym., 2021, s. 6).....	6
Kaava 4. Valaistuskuorma (Finni ym., 2021, s. 6).....	7
Kaava 5. Sähkölämpötehon laskentakaava (Finni ym., 2021, s. 6).....	7
Kaava 6. Ilmanvaihdon sähköteho asuinrakennuksessa, jossa sauna .....	8

Kaava 7. ST13.31 taulukon 1 kaava lataustehosta. (Finni ym., 2021, s. 5) .....	19
Kaava 8. Keskimääräisen sähköauton arvioitu talvikulutus .....	22

# 1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan pienjänniteliittymän pääsulakkeiden mitoitusta, kun taloudessa siirrytään polttomoottoriautoilusta sähköautoiluun. Täyssähköautojen määrä on Suomessa noin 80-kertaistunut viimeisten kymmenen vuoden aikana (Traficom 2024). Sähköautokannan arvioidaan kasvavan edelleen voimakkaasti myös tulevina vuosikymmeninä. Aihe on ajankohtainen, sillä monessa kotitaloudessa harkitaan siirtymistä sähköautoiluun. Sähköautojen lataamisesta aiheutuu merkittävä lisäkuormitus kiinteistön pienjänniteliittymälle. Varsinkin vanhempien sähkölämmitteisten kiinteistöjen omistajat joutuvatkin pohtimaan sähkön riittävyyttä kiinteistössään kulutushuippujen aikana.

Opinnäytetyön luvussa kaksi esitetään pääperiaatteet, ohjeet ja määräykset pienjänniteliittymän mitoittamiseen. Työn tavoitteena on selvittää yleisellä tasolla, mahdollistaako tyypillinen olemassa oleva sähköliittymä tyypillisessä suomalaisessa omakotikiinteistössä siirtymisen polttomoottoriautoilusta sähköautoiluun sellaisenaan, vai edellytetäänkö joitain toimenpiteitä. Tulokset ja johtopäätökset perustuvat laskelmiin, joiden perustaksi on valittu suurehkon suomalaisen omakotitalon tekniset ominaisuudet. Laskelmat perustuvat pienjänniteliittymän mitoittamisesta annettuihin määräyksiin ja suosituksiin. Laskelmia on myös tehty usealla eri tavalla, jotta saataisiin useampia näkökulmia aiheeseen. Perusteena on käytetty sekä kokemusperäistä laskentamallia että tarkempaa laitekohtaista tarkastelua. Laitekohtainen tarkastelu on tehty laskemalla sähköauton latauskuorma sekä staattisella että dynaamisella kuormanhallinnalla toteutettuna. Sähköautoja on huomioitu laskelmissa joko yksi tai kaksi kappaletta.

Työssä esitellään kuormanhallinnan toimintaperiaatteet luvussa kolme, ja luvussa viisi esitetään esimerkkilaskelmia apuna käyttäen miten staattisen tai dynaamisen kuormanhallinnan valinta vaikuttaa pääsulakkeiden mitoittamiseen tyypillisessä suomalaisessa omakotikiinteistössä. Minkään tietyn kaupallisen toimijan ratkaisuja ei tarkastella tarkoituksella kuormanhallintaa käsiteltäessä, vaan kuormanhallintaa käsitellään tyypeittäin yleisellä tasolla.

Sähköautojen käytännön sähkönkulutus ja latausaika kotona vaikuttavat oleellisesti pienjänniteliittymän mitoittamiseen. Mitoittamisen kannalta olisi erityisen tärkeää osata arvioida käytettävän sähköauton talviajan kulutus, tyypillinen päivittäinen ajosuorite sekä auton tyypillinen seisonta-aika kotipihassa. Talvella sähköauton kulutus kasvaa huomattavasti auton valmistajan ilmoittamasta WLTP-lukemasta. Talvella saavutetaan

todennäköisesti kiinteistön sähköliittymän hetkellisen huippukulutuksen ajankohta, jonka sähkönkulutus on lähtökohta kiinteistön sähköliittymän huippuvirtoja ja siten pääsulakekokoa mitoittaessa. Tässä työssä on avattu lyhyesti perusteita arvioida todellisia sähköauton kulutuslukemia. Tämän työn laskelmissa oletetaan autoilla ajettavan suhteellisen paljon ja autot ovat kotona öisin, jolloin lataaminen on mahdollista.

## 2 Pienjänniteliittymän mitoituksen perusteet

Pienjänniteliittymän mitoittamisen perusteet on esitetty Sähkötieto ry:n julkaisemassa ST 13.31 dokumentissa. ST-kortissa 13.31 todetaan, että sähköliittymän ja sähköverkon mitoittaminen on yksi tärkeimmistä asioista, kun rakennuksen sähkösuunnitelmaa tehdään. Liian pieneksi mitoitettu liittymä aiheuttaa rajoitteita rakennuksen käytössä, ja liian suureksi mitoitettu liittymä aiheuttaa turhia kustannuksia rakentamisen tai peruskorjauksen yhteydessä. Turhan isoksi mitoitettu liittymä aiheuttaa myös ylimääräisiä käyttökuluja. Toisaalta ST-kortissa todetaan, että mitoituksessa tulisi ottaa huomioon myös mahdolliset tulevaisuuden tarpeet. Rakennuksen käyttöaste ja kuormitus saattavat muuttua elinkaarensa aikana huomattavastikin. Pääsulakkeen kokoa onkin mahdollista muuttaa tarpeiden muuttuessa. (Finni ym., 2021, ss. 1,4)

Mikäli tehontarve kasvaa rakennuksen elinkaaren aikana, on pääsulakkeiden mitoituksen lisäksi otettava huomioon myös olemassa olevien sähköjohtojen kunto, toteutuvatko vaaditut suojaus ehdot, onko jännitteen alenema sallituissa rajoissa, sekä miten tarvittavat lisäkaapeloinnit ja muut laitteet saadaan asennettua. Tässä työssä keskitytään kuitenkin ainoastaan tarkastelemaan tilannetta pääsulakkeiden mitoituksen näkökulmasta jo olemassa olevan tyypillisen suomalaisen sähkölämmitteisen omakotitalon näkökulmasta, kun taloudessa suunnitellaan sähköautoiluun siirtymistä.

ST 13.31 Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen dokumentin mukaan ”huipputeho on hetkellinen, kestoajaltaan määrittelemättömän lyhyenä ajanjaksona tapahtuva huipputapahtuma, joka ei saisi ylittää sähköliittymän nimellistehoa minään kesto aikana. Huipputehon määrittelyssä voidaan jossain määrin hyödyntää keskimääräistettyä huipputuntitehoa”. Keskimääräistetty huipputuntiteho saadaan selvitettyä arvioimalla suurin mahdollinen kiinteistön hetkellinen lisäkuormitus. Arvioinnissa huomioidaan esimerkiksi saunan lämmitys, lyhytaikainen sähkökuorman lisääntyminen, kuten pumppaamon käynnistäminen, tai ilmanvaihdon tehostuminen. (Finni ym., 2021, s. 1)

Huipputehoa määritettäessä tulee huomioida, että pääsulakkeiden nimellisvirtaa tai sovittua liittymistehoa ei saa ylittää edes hetkellisesti, vaikka sulakkeet ja muut verkon komponentit sen kestäisivätkin. Huipputeho selvitetään laskemalla liittymän todellinen tai oletettu tehontarve. Rakennuksen huipputehoon vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi valaisimet, LVI- ja jäähdytyslaitteet sekä rakennuksen varustetaso. (Finni ym., 2021, ss. 9–13 )

Huipputehon määrittämisen jälkeen huippuvirta voidaan laskea alla olevalla kaavalla 1. Huippuvirta on laskettava, jotta voidaan päättää oikea pääsulakkeiden koko.

Kaava 1. Huippuvirran laskentakaava.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos(\varphi)},$$

missä:

- $I$  on virta ampeereina [A],
- $P$  on teho watteina [W],
- $V$  on pääjännite voltteina [V]
- $\cos(\varphi)$  on tehokerroin, joka kuvaa vaihtosähkön tehon ja jännitteen vaihe-eron vaikutusta tehokkuuteen. Tehokerroin on yleensä lukuarvo välillä nolasta yhteen.

Suomessa sähköjärjestelmän jännite pyritään pitämään vakiona. Pääjännite kolmivaiheisessa pienjänniteliitymässä on 400 V ja vaihejännite 230 V. Asuinkiinteistöissä loistehon osuus on vähäinen, joten tehokertoimen voidaan arvioida olevan noin 0,96.

## 2.1 Kokemusperäinen laskentamalli

Suomen sähkölaitosyhdistys, nykyään Adalto Energia Oy, on laatinut laskentamallin asuinrakennusten huipputehon laskemiseksi. Laskentamalli perustuu erilaisten asuinrakennusten sähkökäytöstä tehtyjen kuormitusmittausten tuloksiin. Mittaukset on tehty 1980-luvulla, joten tieto on suhteellisen vanhaa. Laskentamalli ei kaikilta osin vastaa nykyisten asuinrakennusten sähkökäyttöä, minkä vuoksi laskentamalli antaakin useassa tapauksessa liian isoja tehoarvoja. ST-kortiston kortista 13.31 löytyvää mallia on vuosien varrella päivitetty joiltain osin, ja vuonna 2021 päivitetyn kortin taulukossa löytyykin jo ohjeistus sähköautojen latauksen vaatiman tehon laskemiseksi. Laskentamalli soveltuukin parhaiten alustavaan arviointiin, ja sähköliittymän mitoittaminen on sen vuoksi hyvä tehdä

myös kohdekohtaisesti todelliset laitteet ja mahdolliset kuormanohjaukset huomioiden (Finni ym., 2021, ss. 11–12).

Kuvassa 1 on esitetty ST-kortiston kortin 13.31 taulukon 1 kokemusperäinen laskentamalli huipputehon määrittämiseksi asuinrakennuksille. Kyseinen asuinrakennusten laskentamalli on esitetty myös kaavana 2 kuvan alapuolella. Kuvan taulukossa on esitetty omakotitalojen lisäksi laskentamallit myös kerros- ja rivitaloille, joihin ei tässä työssä keskitytä. Laskentamalli on tehty varustelultaan perustasoiselle rakennukselle sisältäen perussähköistyksen, ja laskentamalli ei huomioi kohteen laitevalintoja.

Kuva 1. Kokemusperäiset laskentamallit asuinrakennuksen huipputehon määrittämiseksi (Finni ym., 2021, s. 5)

Asuinrakennukset	Huipputeho <sup>1)</sup> [kW]	Huomautuksia
Kerros- ja rivitalot		A on kerrosala [m <sup>2</sup> ]
– ilman kiukaita	$P_h = B + 17 \times A / 1000$ (B = 65 kW)	Yhtälöt soveltuvat kohteisiin, joissa vähintään 15 asuntoa ja kerrosala väh. 2500 m <sup>2</sup> . Pienemmissä taloissa B korvataan arvolla $B_x = (A_{tot}/2500) \times B \geq 30$
– huoneistokohtaiset sähkökiukaat	$P_h = B + 24 \times A / 1000$ (B = 90 kW)	
Pienet rivitalot <sup>2)</sup>		A on lämmitetty pinta-ala [m <sup>2</sup> ]
– ei sähkölämmitystä, mutta sähkökiuas	$P_h = 30 + 26 \times A / 1000$	
– suora sähkölämmitys, kiuas	$P_h = 30 + 64 \times A / 1000$	– käyttövedenlämmitys jatkuvasti tai yöllä
– suora sähkölämmitys <sup>3)</sup>	$P_h = 30 + 49 \times A / 1000$	– käyttöveden lämmitys yöllä
Omakotitalot		A on lämmitetty pinta-ala [m <sup>2</sup> ]
– ei sähkölämmitystä, mutta sähkökiuas	$P_h = 7,5 + 26 \times A / 1000$	
– suora sähkölämmitys ja sähkökiuas	$P_h = 7,5 + 64 \times A / 1000$	– käyttöveden lämmitys jatkuvasti tai yöllä
– suora sähkölämmitys <sup>3)</sup>	$P_h = 7,5 + 49 \times A / 1000$	– käyttöveden lämmitys yöllä
Paikoitusalueet: $P_{paikoitus} = 10 \text{ kW} + 0,5 \text{ kW/paikka} \times n_{auto}$ ( $n_{auto}$ = lämmitettyjen autopaikkojen lukumäärä) <sup>4)</sup>		
Paikoitusalueet sähköajoneuvojen vähimmäisarvokseen $P_{paikoitus} = 10 \text{ kW} + 1,0\text{--}3,0 \text{ kW/latauspiste}$ <sup>7)</sup> $\times n_{auto}$ ( $n_{auto}$ = sähköistettyjen autopaikkojen lukumäärä) <sup>5)</sup>		
Sähköajoneuvojen lataus: $P_{sähköajoneuvojen\ lataus} = \frac{\text{haluttu ajosuorite latauskerralla (km)} \times 0,20 \text{ kWh/km} \times n_{auto}}{\text{latauskerran aika h}}$ <sup>6)</sup>		
HUOM. Käytettäessä älykästä sähköajoneuvojen latausjärjestelmää, voi olla mahdollista jättää latausjärjestelmän vaikutus huipputehoon kokonaan huomioimatta, jos kohteen käyttäjien tarpeet ja kohteen sähköliittymän vapaa energiakapasiteetti oletettuna latausaikana mahdollistavat tämän. Tällainen energiakapasiteetin tarkastelu soveltuu lähinnä pitkien latausaikojen kohteisiin, kuten asuinkehteisiin. Katso tämän kortin luku 4.5.6, kortti ST 51.90. Sähköauton lataaminen ja latauspisteiden toteutus sekä ST-käsikirja 41 Sähköautot ja latausjärjestelmät.		
Huomautukset:		
Liittymisjohdon virtaa määritettäessä tulee huomioida kuormituksen tehokerroin $\cos \phi$ . Jos loistehon osuus on vähäinen, voidaan arvioida, että $\cos \phi = 0,96$ . Tehokertoimen määrittämiseksi lähtötietona voidaan käyttää myös paikallisen verkkoyhtiön loistehoinnoittelua ja loistehon ilmaisosuutta.		
Lineaarisia laskentamalleja käytettäessä tulee myös huomioida, että kuormitukset noudattavat erittäin harvoin normaaliarvoja. Tietyn tehon ylitystodennäköisyyden arvioiminen on siis hyvin haastavaa tai jopa mahdotonta, jos käytettävissä ei ole muita tietoja kuin rakennuksen tyyppi ja arvio pinta-alasta.		

1 Ylitystodennäköisyys noin 1 %.

2 Pieniksi rivitaloiksi lasketaan talot, joissa on enintään 15 asuntoa. Alle 4 asunnon rivitalot lasketaan, kuten omakotitalot, ja saadut tulokset lasketaan yhteen.

3 Vaikka kiuasta ei asennettaisikaan, suositellaan mitoistusta kiukaalle myöhempää käyttöä ajatellen.

4 Jos seuraavilla sähköajoneuvojen latausjärjestelmien mitoittamisen kaavoilla lasketaan tehovaraukset autopaikoille, ei tämän kaavan 0,5 kW/paikka tehoa tarvitse huomioida.

5 Kaava soveltuu kahden tai useamman latauspisteiden vähimmäistehon laskentaan.

6 Kaava soveltuu ns. älykkään latausjärjestelmän kokonaistehon mitoittamiseen, kuitenkin vähintään 1,0–3,0 kW/latauspiste<sup>7)</sup>. Katso tämän kortin luku 4.5.6, kortti ST 51.90. Sähköauton lataaminen ja latauspisteiden toteutus sekä ST-käsikirja 41 Sähköautot ja latausjärjestelmät. Mikäli kohteeseen on tulossa kaavojen 5 ja 6 mukaan laskettuja pisteitä, niiden tehot on niistä aiheutuva kojekuormaa laskettaessa summattava keskenään.

7 Sähköajoneuvoille varattavan vähimmäistehon määräytyminen älykkäästi lataustehoa ohjaavissa latausjärjestelmissä riippuu kohteen sijainnista ja autopaikkojen määrästä. Katso luvusta 4.5.6 tarkempaan määrittelyyn tarvittavat lisätiedot!

Kaava 2. Kokemusperäinen huipputehon laskentakaava - suora sähkölämmitys ja sähkökiuas (Finni ym., 2021, s. 5).

$$P_h [kW] = 7,5 + 64 \times \frac{A}{1000}$$

missä,

- $P_h$  on huipputeho kilowatteina [kW]
- $A$  on lämmitetty pinta-ala neliömetreinä [m<sup>2</sup>]

## 2.2 Laitekohtainen laskenta

Huipputehon laskennassa päästään todennäköisesti tarkempaan ja todenmukaisempaan lopputulokseen laskemalla tarkasteltavan asuinrakennuksen peruskuormitukset ja arvioidut laitekohtaiset kuormitukset kohdekohtaisesti. Vaikka asuinrakennuksen huipputeho laskettaisiinkin laitekohtaisesti tarkastelemalla, voidaan valaistuskuorma laskea helpoimmin ST-kortissa annetulla kaavalla. Ilmanvaihdon osalta sähkötehon tarve on helpointa laskea valitun ilmanvaihtokojeen mukaan.

ST 13.31 ohjeistaa laskemaan peruskuorman, sähkölämpökuorman, valaistuskuorman ja mahdollisen muun rakennuskohtaisen kuorman, jotta voidaan selvittää huipputeho. Huipputehon laskemiseksi on määritettävä mitoitushetki, jolloin maksimikuormitus todennäköisesti tulee tapahtumaan. Todennäköisesti tehohuippu toteutuu talven kylmimpään aikaan esimerkiksi lauantaina iltapäivän tai illan aikana, kun saunotaan. Mitoitushetkeä varten arvioidaan kuinka suurella todennäköisyydellä eri sähkölaitteet ovat käytössä samanaikaisesti. (Finni ym., 2021, s. 6)

### 2.2.1 Peruskuorma

Peruskuorman laskemiseen ST-kortti 13.31 esittää pinta-alaan perustuvan kaavan (kaava 2), jossa  $A_h$  on huoneiston pinta-ala, ja 6 kW on huoneiston pohjakuormitus.

Kaava 3. Peruskuorma (Finni ym., 2021, s. 6).

$$P_{kk} = 6kW + \frac{20 \frac{W}{m^2}}{1000} * A_h$$

missä,

- $P_{kk}$  on peruskuorma kilowatteina [kW]
- $A_h$  on huoneiston pinta-ala neliömetreinä [ $m^2$ ]

### 2.2.2 Valaistuskuorma

Valaistuskuorman laskemiseen ST-kortti 13.31 esittää pinta-alaan perustuvan kaavan (kaava 3).

Kaava 4. Valaistuskuorma (Finni ym., 2021, s. 6).

$$P_{val} = \frac{6 \frac{W}{m^2}}{1000} * A_h$$

missä,

- $P_{val}$  on valaistuskuorma kilowatteina [kW]
- $A_h$  on huoneiston pinta-ala neliömetreinä [ $m^2$ ]

### 2.2.3 Sähkölämpökuorma

Sähkölämpökuorman teho  $P_{SLK}$  saadaan laskemalla lämmityskuormien tehot yhteen. Mikäli rakennuksessa on sähkökiuas, niin sähkökiukaan tehosta lasketaan vuorottelemattoman tehon osuus. Sähkölämpökuorma  $P_{SLK}$  saadaan laskemalla sähkölämmityksen yhteenlaskettu teho  $P_{LÄM}$ , autolämmityksen yhteenlaskettu teho  $P_{ALÄM}$ , lämminvesivaraajan teho  $P_{LVV}$  ja kiukaan ei vuoroteltu teho  $P_{KEV}$  yhteen. (Sähkötieto ry 2021)

Kaava 5. Sähkölämpötehon laskentakaava (Finni ym., 2021, s. 6).

$$P_{SLK} = P_{LÄM} + P_{ALÄM} + P_{LVV} + P_{KEV}$$

missä,

- $P_{SLK}$  on sähkölämpökuorman teho kilowatteina [kW]
- $P_{LÄM}$  on sähkölämmityksen yhteenlaskettu teho kilowatteina [kW]
- $P_{ALÄM}$  on autolämmityksen yhteenlaskettu teho kilowatteina [kW]
- $P_{LVV}$  on lämminvesivaraajan teho kilowatteina [kW]
- $P_{KEV}$  on kiukaan ei vuoroteltu teho kilowatteina [kW]

### 2.2.4 Ilmanvaihdon sähköteho

Tarkasteltaessa sähkökuormaa ilmanvaihdon osalta, yksinkertaisin tapa määritellä ilmanvaihdon tarvitsema sähköteho on valita tietty ilmanvaihtokoje kohteeseen. Siten kojekohtaiset ominaisuudet tulevat tarkasti huomioitua. Ilmanvaihtokojeen malli valitaan LVI-suunnittelijan tekemän suunnitelman mukaisten ilmamäärien perusteella. LVI-suunnittelija määrittää ilmamäärät rakentamismääräysten perusteella. Mikäli tarkkaa

kojemallia ei tiedetä, voidaan sähkötehon tarve laskea myös annettujen määräysten ja ohjeiden perusteella.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017, 4. luku § 30 "Rakennuksen koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho" määrää, että koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään 1,8 kW/(m<sup>3</sup>/s). Poikkeuksena sallitaan suurempikin ominaissähköteho, mikäli rakennuksen käyttötarkoituksen mukainen sisäilmasto niin edellyttää (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017 § 30). Kyseinen määräys löytyy myös ST-kortin 13.31 kohdasta 4.5.1.

Finvac ry on julkaissut oppaan asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoittamiseen. Oppaan luvussa kaksi on esitetty laskentakaava ilmajärröjen mitoittamiseen. Ohjeen mukaan koko asuinpinta-alaa kohden laskettu ulkoilmavirta tulee olla vähintään 0,35 dm<sup>3</sup>/s,m<sup>2</sup>, mikä vastaa ilmanvaihtokerrointa 0,5  $\frac{1}{h}$  2,5 metrin huonekorkeudella. Ilmanvaihdon on myös oltava tehostettavissa 30 % käyttöajan ilmanvaihtoa suuremmaksi. Mikäli asunnossa on sauna, kokonaisulkoilmavirtaan on lisättävä 6 dm<sup>3</sup>/s. (Finvac, 2019, ss. 5,6)

Ympäristöministeriön asetuksen vaatimukset ja Finvac ry:n ilmanvaihdon mitoituksen ohjeet huomioiva kaava 5 on esitetty alla . Kaava 5 huomioi myös määräyksen ilmanvaihdon tehostamiseksi, sekä saunan vaikutuksen kokonaisilmavirran määrään.

Kaava 6. Ilmanvaihdon sähköteho asuinrakennuksessa, jossa sauna.

$$P_{iv} = 1,3 * (0,006m^3 + A * h * 0,5 \frac{1}{h}) * \frac{\frac{1800W}{\frac{m^3}{s}}}{3600 \frac{s}{h}}$$

missä,

- $P_{iv}$  on koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaisteho
- $A$  on rakennuksen koko asuinpinta-ala
- $h$  on huonekorkeus

### 2.2.5 Samanaikaisuuskertoimet

ST-kortin 13.31 ohjeistuksessa ei ole annettu samanaikaisuuskertoimia asuinrakennuksille, ja ne onkin mietittävä kohde- ja tapauskohtaisesti. Kyseisen ST-kortin liitteenä on kuitenkin julkaistu esimerkki toimistorakennuksen tasaus- eli samanaikaisuuskertoimille. Alla olevan kuvan 2 esimerkki on toimistorakennuksen pienjänniteliittymän mitoittamisesta. Vaikka toimistorakennuksen tehoarvot eivät vastaa täysin asuinrakennuksen vastaavia, voi esimerkistä tehdä joitain päätelmiä samanaikaisuuskertoimista esimerkiksi lämmityksen, valaistuksen ja keittiölaitteiden osalta. Lämmityksen samanaikaisuuskerroin on esimerkissä 0,8 , valaistuksen kerroin 0,7 ja keittiölaitteiden kerroin 0,5. Nämä arvot vastaavat todennäköisesti riittävän tarkasti myös asuinrakennuksen kertoimia. Kuten esimerkin huomiossa kerrotaan, sähkösuunnittelijan on tunnistettava laitteiden toiminta ja käyttösyklit samanaikaisuuskertoimia määritettäessä. (Finni ym., 2021, s. 15)

Kuva 2. Esimerkki toimistorakennuksen pienjänniteliittymän mitoittamisesta (Finni ym., 2021, s. 15).

Laiteryhmä	Laiteryhmän nimellisteho, kW	Laiteryhmän nimellistehon tasauskerroin (K11)	Laiteryhmien keskinäinen tasauskerroin huipputehon mitoitusketkellä (K12)	Mitoittava teho, PM, kW	Huomiot
Valaistus	29	0,7	0,2	4,0	Valaistuksen kokonaisteho on laskettu neliötehojen mukaan seuraavasti: Kellari $500 \text{ m}^2 \times 4 \text{ W/m}^2 = 2 \text{ kW}$ sekä kerrokset 1 ja 2, $4500 \text{ m}^2 \times 6 \text{ W/m}^2 = 27 \text{ kW}$ .
Ilmanvaihtopuhaltimet	60,0	0,8	1,0	48,0	SFP = 2,0 kW/m <sup>3</sup> /s, ilmamäärä 30 m <sup>3</sup> /s
Lämmitys	50,0	0,8	0,0	0,0	LVI-kojeluettelon mukaan
Koneellinen jäähdytys	70,0	0,8	1,0	56,0	LVI-kojeluettelon mukaan
Muut LVI-laitteet	8,0	0,9	0,0	0,0	Oviverhokojeet, 4 kpl
Pistorasiakuormat, tietotekniikka	14,0	0,8	1,0	11,2	Huonekorttien mukaisesti
Pistorasiakuormat, muut	17,5	0,3	0,2	1,1	Huonekorttien mukaisesti
Keittiölaitteet	122,0	0,5	0,3	18,3	Henkilöstöravintolassa 200 annosta/päivä, 0,61 kWh/annos
Sähkölämmitykset	4,3	0,9	0,0	0,0	Rännien sulanapito, 120 m, 36 W/m
Aluesähköistyksen kuormat	2,1	1,0	0,0	0,0	Pihan ja julkisivun valaistukset
Hissi	2,5	1,0	0,5	1,25	
Autolämmityspaikat	40,0	0,8	0	0,0	20 paikkaa, 2000 W/paikka
Sähköautojen latauspaikat	66,7	1,0	1,0	66,7	10 "älykästä" latauspaikkaa, 200 km toimintasäde kuuden (6) tunnin kertalatauksella, $200 \text{ km} \times 0,20 \text{ kWh/km} \times 10 / 6 \text{ h} = 66,7 \text{ kW}$
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>498,6</b>			<b>206,6</b>	41 W/m <sup>2</sup>
<b>Mitoittava sähköteho</b>				227	Huomioidaan laajennusvaraus (tässä kohteessa 10 %) kohdassa 4.4 esitetyllä mitoittavan sähkötehon kaavalla. $1,1 \times 206,60 \text{ kW} = 227 \text{ kW}$

Laiteryhmän sisäinen tasauskerroin (K11) avulla ilmaistaan, kuinka paljon laiteryhmän laitteista on enimmillään käytössä samanaikaisesti. Esimerkiksi kaikki valaistukset ovat harvoin käytössä samanaikaisesti täydellä tehollaan.

Laiteryhmien keskinäisen tasauskerroin (K12) avulla ilmaistaan laiteryhmiä väliset vuorovaikutussuhteet huipputehon mitoitusketkellä. Tasauskerroin K12 arviointiperusteita esimerkissä:

Huipputehon ajankohta saadaan jäähdytyksen ja sähkölämmityksen huipputehoja vertailemalla. Sähkölämmityksen mitoituksessa huomioidaan tehoarvoltaan suurempi.

Esimerkin tapauksessa huipputeho saavutetaan **kesäaikaan** iltapäivällä, jolloin

- jäähdytystehot ovat suurimmillaan ja lämmitykset pienimmillään
- keittiön käyttöaste on aamupäivää pienempi
- valaistustarve on talviaikaa vähäisempi (talvella 0,7, kesällä 0,2)
- autoja ei lämmitetä, mutta sähköautoja ladataan.

HUOM. Suunnittelijan on tasauskerroimia määrittäessään tunnistettava, miten eri laitteet toimivat ja millaisia niiden käyttösyklit ovat.

### 3 Kuormanhallinta sähköauton latauksessa

Sähköliittymää mitoitettaessa kuluttajalla on intressi käyttää mahdollisimman pientä pääsulakekokoa. Kuormanhallinnalla on mahdollista rajoittaa sähkölaitteiden tehoa huomioimalla muiden laitteiden kulutus siten, että kiinteistön sähköliittymän kapasiteettia ei ylitetä. Kuormanhallinta voidaan toteuttaa manuaalisesti, staattisella kuormanhallinnalla tai dynaamisella kuormanhallinnalla. Kuormanhallinnalla on tärkeä merkitys suunniteltaessa sähköauton latausratkaisuja ja kiinteistön pääsulakkeiden kokoa. Ilman kuormanhallintaa riski pääsulakkeiden palamiselle esimerkiksi pakkaspäivinä on korkea, koska rajoittamaton sähköauton AC-lataus kasvattaa sähköliittymän kuormitusta voimakkaasti.

#### 3.1 Manuaalinen kuormanhallinta

Manuaalisessa kuormanhallinnassa lataustehoja säädetään aina itse esimerkiksi auton tai latausaseman sovelluksen kautta. Kiinteistön käyttäjän on tunnettava ja ymmärrettävä tarkkaan kiinteistön sähkönkulutus. Etuna manuaalisessa kuormanhallinnassa on ratkaisun edullisuus. Mitään lisäosia ei tarvita. Huonona puolena manuaalisessa kuormanhallinnassa on latausjärjestelmän tietämättömyys kiinteistön sähkökuormista, mikä vaatii käyttäjältä laajaa perehtymistä asiaan sekä jatkuvaa seuranta ja vaivaa.

Manuaalinen kuormanhallinta saattaa olla riittävä ratkaisu, jos esimerkiksi käytössä on vain yksi pienellä akulla varustettu hybridauto. Etuna on edullisempi alkuinvestointi.

#### 3.2 Staattinen kuormanhallinta

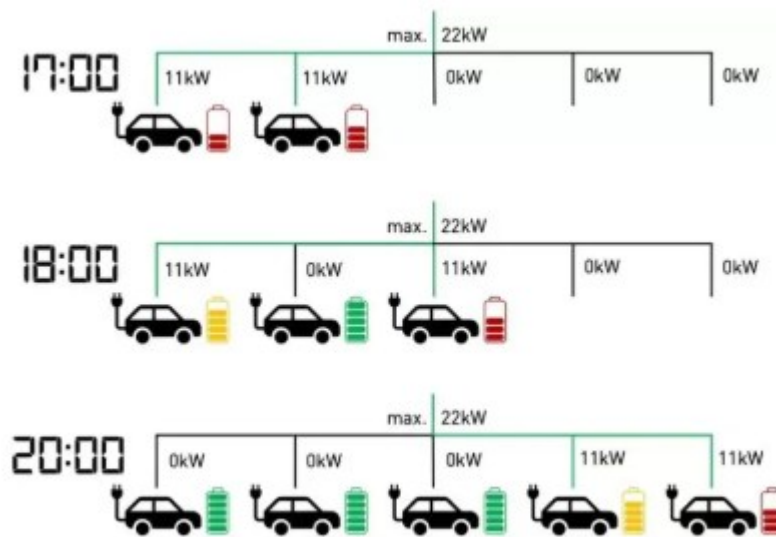
Mikäli latauskuormaa hallitaan staattisella kuormanhallinnalla, latausteho asetetaan asennusvaiheessa valittuun arvoon. Taso valitaan sopivaksi huomioiden kiinteistön muu sähkönkulutus. Osassa latausasemia staattinen kuormanhallinta on valittavissa käyttöön esimerkiksi latausaseman sisällä olevilla dippikytkimillä. Kuvassa 3 on esimerkki tällaisesta latausasemasta. Dippikytkimet on merkitty kuvaan keltaisella. Kytkinten asento valitaan halutun virranrajoituksen mukaisesti.

Kuva 3. Sähköauton latausaseman staattinen kuormanhallinta.



Staattisella kuormanhallinnalla voidaan käsitteenä tarkoittaa kahdenlaista tilannetta. Joko yksittäisen latausaseman virta rajoitetaan tiettyyn arvoon, tai useammalle latausasemalle annetaan yhteinen kapasiteetti, jota jaetaan asemien kesken. Staattisessa kuormanhallinnassa latausasema ei tiedä muualla kiinteistössä kullakin hetkellä olevaa sähkökuorman suuruutta. Kuvassa 4 periaatekuva staattisesta kuormanhallinnasta usean latausaseman tapauksessa. Kuvassa 4 usealle latausasemalle on annettu 22kW:n yhteinen kapasiteetti, jota jaetaan viiden eri latausaseman kesken. Kuvan kaltainen ratkaisu voitaisiin toteuttaa esimerkiksi usean asunnon taloyhtiössä, jos dynaamiseen kuormanhallintaan ei haluta investoida.

Kuva 4. Staattinen kuormanhallinta usealle latausasemalle (Evse, n.d.).



Staattisen kuormanhallinnan etuina verrattuna manuaaliseen kuormanhallintaan on mahdollisuus rajoittaa latausteho tiettyyn ennalta laskettuun arvoon. Kiinteistön muu kuormitus ei siten vaikuta lataustehoon. Kuormien tasailu on mahdollista tietyissä rajoissa. Ratkaisu voi olla toimiva, jos rajoitettu latausteho riittää kaikissa tilanteissa auton akun lataamiseen. Monessa tapauksessa virran rajoittaminen määrättyyn arvoon onkin riittävä ratkaisu. Puutteena staattisen kuormanhallinnan ollessa käytössä on lataustehon jääminen alemmaksi silloin, kun muu kiinteistön sähkökuorma sallisi suuremman lataustehon. Kuvassa 5 on esitetty staattisen kuormanhallinnan toiminta. Tummansinisillä olevat alueet ovat tilanteita, joissa latausasema tai useampi latausasema yhteensä haluaisi suurempaa tehoa, mutta staattinen kuormanhallinta rajoittaa sitä. Osa latauksesta siirtyy rajoituksen vuoksi sellaisille ajanjaksoille, joissa latauskuorma on pienempää. Kuvassa oleva harmaa vaakaviiva esittää staattisella kuormanhallinnalla asetettua maksimitehoa.

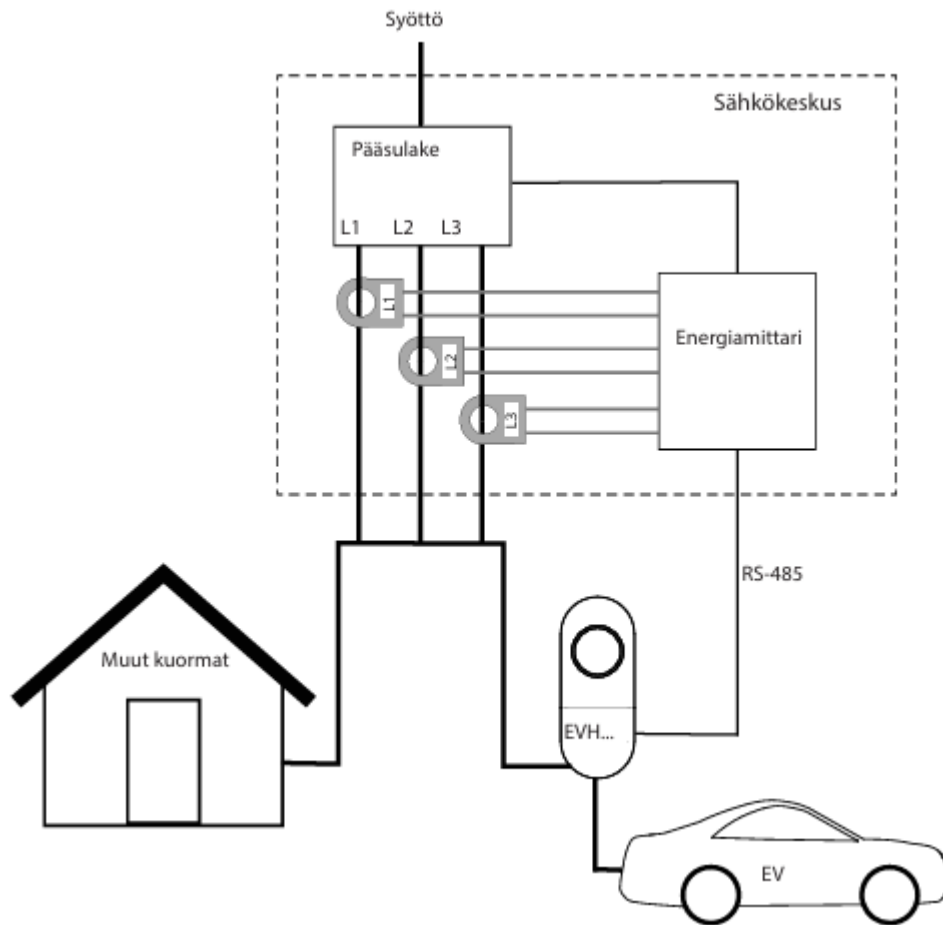
Kuva 5. Staattinen kuormanhallinta (Mennekes, n.d.).



### 3.3 Dynaaminen kuormanhallinta

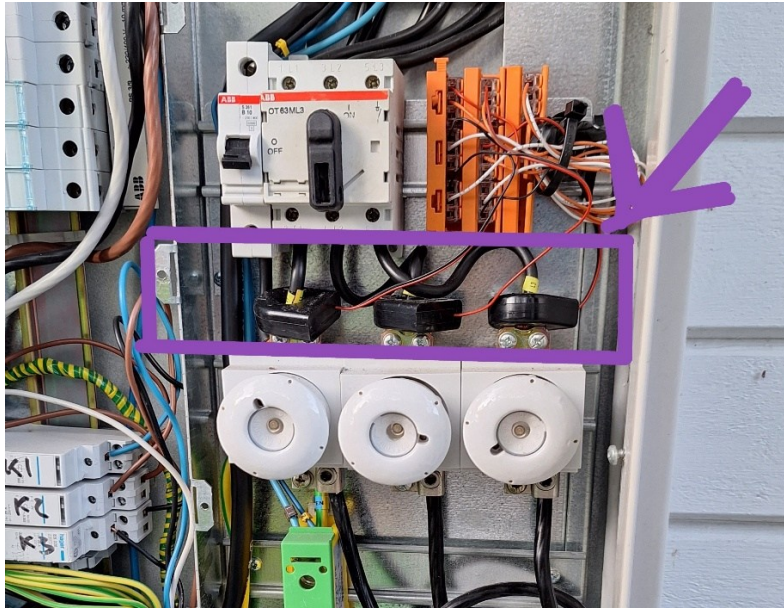
Dynaaminen kuormanhallinta mahdollistaa ajoittain suuremman lataustehon kuin staattinen kuormanhallinta. Järjestelmä mittaa kiinteistön kokonaiskulutusta ja vertaa sitä pääsulakkeiden sallimaan maksimivirtaan. Kokonaiskulutusta mitataan pääsulakkeiden jälkeen eri vaiheisiin asennettavilla virtamuuntajilla. Lataustehoa säädetään kiinteistön muun sähkökuorman mukaan sen mukaan, kuinka paljon kapasiteettia on jäljellä. Kuvassa 6 on esitetty dynaamisen kuormanhallinnan periaatekuva. Pääsulakkeen jälkeen asennettavat virtamuuntajat on asennettu vaiheisiin L1, L2 ja L3. Virtamuuntajilta tieto välitetään energiamittarille. Mittaustietojen perusteella sähköauton latausaseman lataustehoa rajoitetaan tarvittaessa siten, että pääsulakkeiden nimellisvirtaa ei ylitetä.

Kuva 6. Dynaamisen kuormanhallinnan periaatekuva (Ensto, 2022, s. 14).



Kuvassa 7 on esimerkki pääkeskuksesta, johon virtamuuntajat ovat asennettu pääsulakkeiden jälkeen. Virtamuuntajat ovat merkitty kuvaan violetilla.

Kuva 7. Virtamuuntajat pääkeskuksessa.



Kolmivaiheinen latausasema käyttää tyypillisesti jokaista vaihetta tasaisesti, minkä vuoksi latausaseman dynaaminen kuormanhallinta rajoittaa latausaseman tehoa kuormitetuimman vaiheen virran perusteella. Siksi kiinteistön muu sähkökuorma olisikin hyvä saada mahdollisimman tasaiseksi eri vaiheiden välillä. Samalla haitallisen vinokuorman syntyminen saadaan minimoitua.

Kuvassa 8 on esitetty dynaamisen kuormanhallinnan toiminta. Ylimpänä kuvassa oleva tummanharmaa vaakaviiva kuvaa liittymän pääsulakkeiden nimellisvirtaa, jota ei voida ylittää. Alempana oleva vaaleanharmaa käyrä kuvaa virran suuruutta, joka on latausaseman käytettävissä. Tummanharmaan suoran viivan ja vaaleanharmaan vaihtelevan muotoisen käyrän välinen etäisyys kuvaa muuta liittymän sähkökuormaa eri kellonaikoina. Latausaseman virta rajoitetaan maksimissaan vaalean harmaan käyrän osoittaman arvon suuruiseksi, mikäli latausaseman maksimiteho ei ole käytettävissä liittymän muun sähkökuorman vuoksi. Tummansinisellä väritetty alue kuvaa sitä tehoa, minkä dynaaminen kuormanhallinta on estänyt suojatakseen liittymän kokonaisvirran kasvamista liian suureksi.

Kuva 8. Dynaamisen kuormanhallinnan toiminta (Mennekes, n.d.).



## 4 Lähtötiedot

Opinnäytetyössä päätettiin lähtöarvot kiinteistölle, hankittaville autoille, suunnitelluille ajomäärille sekä lataustavoille. Esimerkkikiinteistöksi valittiin tyypillinen suurehko suomalainen sähkölämmitteinen omakotitalo Etelä-Suomessa. Esimerkkikiinteistö ei edusta mitään tiettyä olemassa olevaa kiinteistöä. Lähtöarvot tarkastelulle on valittu siten, että esimerkkikiinteistö edustaisi mahdollisimman hyvin suomalaisen sähköautoiluun siirtyvän perheen tyypillistä asuinrakennusta. Kiinteistön tiedot on esitetty luvussa 4.1. Perusteet sähköautojen sähkökulutukselle on esitetty luvuissa 4.2 ja 4.3. Esimerkkikiinteistön kaltaisissa kiinteistöissä sähköliittymän kuormitus on jo valmiiksi suhteellisen suurta, joten sähköautoilun aiheuttama lisäkuormitus tulee huomioida, jotta pääsulakkeiden nimellisvirran ylityksiltä vältyttäisiin. Laskelmissa käytetään sähköautoina kuvitteellisia autoja, joiden sähkökulutukseksi oletetaan markkinoilla olevien sähköautojen arvioitua keskimääräistä. Tapauksessa A talouteen hankitaan yksi täyssähköauto, ja tapauksessa B kaksi täyssähköautoa. Kiinteistön perustiedot ovat molemmissa tarkasteltavissa tapauksissa samat.

Laskelmia ei voida käyttää sellaisenaan minkään tietyn kiinteistön tapauksessa. Tulosten avulla voidaan kuitenkin arvioida yleisellä tasolla, onko sähköautoiluun siirtyminen mahdollista. Lisäksi tulokset mahdollistavat arviointia millaisia mahdollisia teknisiä ratkaisuja sähköautoiluun siirtyminen edellyttäisi. Tulokset auttavat myös arvioimaan, onko mahdollista säilyttää olemassa oleva pääsulakkeiden koko, vai onko pääsulakkeiden suurentaminen todennäköisesti tehtävä.

Mikäli halutaan arvioida tilannetta tarkemmin jonkin tietyn kiinteistön tapauksessa, tämän työn laskelmia voidaan käyttää muuttamalla lähtöarvoja, jolloin päästään tarkempaan kohdekohtaiseen tulokseen. Esimerkiksi käytettävän sähköauton ominaisuudet, käyttötottumukset ja ajomäärät vaikuttavat merkittävästi lopputulokseen.

Vuoden 2019 alusta EU:ssa otettiin käyttöön YK:n valmisteleva worldwide harmonised light vehicles test procedure, eli WLTP-mittaus (Konttinen, 2019). Autonvalmistajat ilmoittavatkin automalleilleen nykyään vain WLTP-kulutuslukeman, jota voidaan pitää hyvänä vertailuarvona vertailtaessa eri automalleja keskenään. WLTP-testissä autolla ajetaan laboratorioissa 23°C lämpötilassa eri nopeuksia sisältävä 23 kilometrin pituinen testilenkki tietyillä asetuksilla (Traficom, 2025). WLTP-arvo ei kuitenkaan anna oikeaa kuvaa sähköauton kulutuksesta kaikissa olosuhteissa. Tässä työssä sähköauton talviajan kulutukseksi laskelmissa on oletettu 300Wh/km. Oletettu talviajan kulutus on

todennäköisesti hieman suurempi kuin markkinoilla yleisten sähköautojen kulutus keskimääräisenä talvena. Sähköliittymää mitoitettaessa kulutus on kuitenkin varmempaa arvioida riittävän suureksi.

Todellisia eri automallien kulutuksia erilaisissa olosuhteissa on tutkittu Suomessa kokemusperäisesti Jaakko Lepon perustamalla FLTP-testillä (Leppo, n.d.). FLTP-testissä (Finlandwide Light Vehicles Test Procedure) tavalliset sähköauton omistajat ajavat järjestetyissä tapahtumissa ennalta päätettyinä päivinä talvella, keväällä ja kesällä määrätyn reitin määrättyillä asetuksilla ja auton käsikirjan mukaisilla rengaspaineilla. Suuren osallistujamäärän vuoksi tapahtumista on saatu kattava tietokanta todellisista sähkönkulutuksista erilaisissa olosuhteissa. FLTP-tietokannassa onkin tietoa jo lähes 180:n eri automallin todellisista kulutuksista. Tietokannan suuresta koosta voidaan tehdä jo päätelmiä todellisista talvikulutuksista. FLTP-testien mukaan eri automallien toimintasäde täydellä latauksella on keskimäärin noin 72 % valmistajien ilmoittamasta WLTP-testien perusteella ilmoitetusta toimintasäteestä (Leppo, n.d.). Tässä työssä talviajan kulutuksena käytetty 300Wh/km perustuukin työn kirjoittajan oman kokemusperäisen arvion lisäksi FLTP-tietokannasta saatuihin tietoihin.

Laskelmissa oletetaan, että autoja on mahdollista ladata päivittäin 10 tunnin ajan öisin klo 21–07. Päiväaikaan mahdollisesti tehtäviä latausjaksoja ei huomioida kiinteistön tehomaksimia laskettaessa. Staattisen kuormanhallinnan rajoittaessa latausta oletuksena on asennusvaiheessa kiinteästi rajoitettu sähkönsyöttö siten, että 10 tunnin aikana saadaan tarvittava määrä varausta ladattua ajoneuvon akkuun talvikulutus 300Wh/km huomioiden. Dynaamista kuormanhallintaa käytettäessä latausta on mahdollista rajoittaa nollasta aina maksimi ajoneuvon laturin kapasiteetin mukaiseen arvoon saakka. Näin ollen dynaamisen kuormanhallinnan huomioivissa tapauksissa maksimitehon laskelmissa **ei ole käytetty** ST13.31 taulukon 1 mukaista kaavaa (kaava 6).

Kaava 7: ST13.31 taulukon 1 kaava lataustehosta (Finni ym., 2021, s. 5).

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

**Kaavan 3 asemesta dynaamisen kuormanhallinnan tapauksessa on käytetty saman taulukon huomiota, jossa todetaan, että latauksen vaikutus huipputehoon voidaan jättää laskematta, mikäli käyttäjän tarpeet ja kohteen sähköliittymän vapaa**

**energiakapasiteetti oletettuna latausaikana mahdollistavat tämän.** Kohteessa on yöllä kylminäkin aikoina riittävästi kapasiteettia, koska kuormitushuippu on arvioitu saavutettavan viikonloppuna iltapäivällä tai illalla saunomisen aikana. Öiseen aikaan sähköliittymän muu kuormitus koostuu pääasiassa sähkölämmityksen käyttämästä sähkön kulutuksesta. Lisäksi dynaamisen kuormanhallinnan ollessa käytössä on mahdollista kapasiteetin sen salliessa käyttää lataustehoa latauslaitteen maksimitehoon asti.

## 4.1 Kiinteistön tiedot

Laskelmien perustana olevan kiinteistön ominaisuudet vastaavat keskimääräistä suomalaista suurehkoa omakotitaloa. Tekniset ratkaisut ovat myös tavanomaisia. Alla luettelo kiinteistön tiedoista.

- Nykyisen sähköliittymän koko on 25A.
- Omakotitalo, jonka kerrosala on 190 m<sup>2</sup>.
- Erillinen lämmin autotalli, jonka kerrosala on 60 m<sup>2</sup>. Tallissa on ilmalämpöpumppu.
- Huonekorkeus on 2,6 m.
- Talon saunassa on 8 kW:n sähkökiuas.
- Lämmitysmuoto on sähkölämmitys, jonka mitoitusteho 40 W/m<sup>2</sup>. Mitoitustehosta kiuasvuorottelun piirissä on 4 kW.
- Omakotitalossa on tulo- ja poistoilmanvaihto. Puhaltimet ovat AC-puhaltimia. Ilmanvaihtokoje on pyöriväkennoinen.
- Lämminvesivaraaja on varustettu kuormitusvahdilla.

## 4.2 Auton tiedot, tapaus A (yksi auto)

Yhden auton tapauksessa laskelmissa käytetään kuvitteellista sähköautoa, jonka kulutus vastaa keskimääräistä suomalaisessa rekisterissä olevaa sähköautoa. Alla luettelo sähkön kulutuksen perusteista.

- Talouteen hankitaan yksi täyssähköauto.
- Autolla ajetaan 150 km vuorokaudessa vuoden jokaisena päivänä.
- Talviajan kulutus autolla on keskimäärin 0,30 kWh/km
- Autoa on mahdollista ladata 11 kW:n 3-vaihelatauksella.

### 4.3 Autojen tiedot, tapaus B (kaksi autoa)

Kahden auton tapauksessa laskelmissa käytetään kahta kuvitteellista sähköautoa, joiden kulutus vastaa keskimääräistä suomalaisessa rekisterissä olevaa sähköautoa. Alla luettelo sähköön kulutuksen perusteista.

- Talouteen hankitaan kaksi täyssähköautoa.
- Ensimmäisellä autolla ajetaan 150 km vuorokaudessa vuoden jokaisena päivänä.
- Ensimmäistä autoa on mahdollista ladata 11 kW:n 3-vaihelatauksella.
- Toisella autolla ajetaan arkipäivisin (viitenä päivänä viikossa) 40 km vuorokaudessa.
- Toista autoa on mahdollista ladata 11 kW:n 3-vaihelatauksella.
- Talviajan kulutus autoilla on keskimäärin 0,30 kWh/km.

## 5 Sähkökuormien ja huippukuormien laskenta esimerkkikohteessa

Tässä luvussa on esitetty laskelmat perusteluineen ja taulukoineen. Laskelmissa selvitetään riittääkö tapauksissa A ja B olemassa olevat kiinteistön pääsulakkeet, vai onko pääsulakkeiden kasvattamiselle tarvetta. Tarkasteluissa on huomioitu joko staattinen tai dynaaminen kuormanhallinta. Laskelmissa on huomioitu sähkölämmitykselle samanaikaisuuskerroin 0,8. Ilmanvaihdon osalta tasauskerroin on jätetty huomiomatta, koska huipputeho saavutetaan saunottaessa. Saunottaessa ilmanvaihto on todennäköisesti käytössä suurella teholla. Valaistuksen ja keittiölaitteiden osalta tasauskertoimet huomioidaan. Valaistuksen osalta tasauskerroin on 0,7 ja keittiölaitteiden osalta 0,5.

Laskelmia on tehty yhden auton tapauksessa kolmella eri tavalla (A1, A2 ja A3) ja myös kahden auton tapauksessa kolmella eri tavalla (B1, B2 ja B3). Laskelmien selitykset on listattu alla:

- A1: Huipputehon laskelma – laitekohtainen tarkastelu, yksi auto, staattinen kuormanhallinta
- A2: Huipputehon laskelma – kokemusperäisellä kaavalla tarkasteltu, yksi auto, staattinen kuormanhallinta
- A3: Huipputehon laskelma – laitekohtainen tarkastelu, yksi auto, dynaaminen kuormanhallinta
- B1: Huipputehon laskelma – laitekohtainen tarkastelu, kaksi autoa, staattinen kuormanhallinta

- B2: Huipputehon laskelma – kokemusperäisellä kaavalla tarkasteltu, kaksi autoa, staattinen kuormanhallinta
- B3: Huipputehon laskelma – laitekohtainen tarkastelu, kaksi autoa, dynaaminen kuormanhallinta

Laskelmat kussakin edellä mainituissa tilanteissa (A1, A2, A3, B1, B2, B3) on esitetty taulukkomuodossa. Taulukon vasen sarake kuvaa laiteryhmän, keskimmäiseen sarakkeeseen on merkitty laskelman mukaan saatu tulos kunkin laiteryhmän laskennallisesta, arvion mukaisesta, huippukuormasta, ja oikeanpuoleisessa sarakkeessa on kerrottu kaava ja perustelut, jolla tulos on laskettu. Lopuksi kuormat on laskettu yhteen keskimmäisen sarakkeen alimmalle riville. Laiteryhmien huomiot on selitetty taulukon alle.

Auton latauksen huipputehoa laskettaessa staattisella kuormanhallinnan ollessa käytössä on latausajaksi huomioitu 10 tuntia (21-07), jolloin latausta rajoitetaan kiinteästi arvioidun talvikulutuksen kaavan kaksi mukaisesti (kaava 2).

Kaava 8. Keskimääräisen sähköauton arvioitu talvikulutus.

$$\frac{\text{haluttu ajosuorite latauskerralla (km)} \times 0,30 \frac{\text{kWh}}{\text{km}}}{\text{latauskerran aika (h)}}$$

Laskelmissa ei ole käytetty mitään tiettyä ilmanvaihtokojeen mallia. Laitekohtaisissa laskelmissa ilmanvaihtokojeen vaatima teho on laskettu rakennusmääräyskokoelman dokumenttia ”Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen” (Finvac, 2019) ja ST 13.31 kortin kohtaa 4.5.1 apuna käyttäen. Oletuksena laskelmissa käytetään ilmanvaihtokojeena pyöriväkennoista kojetta.

Laitekohtaisissa laskelmissa on käytetty luvussa kaksi esitettyä kaavaa kolme valaistuskuorman laskemiseen. Autotallin osuus valaistuskuormasta on jätetty laskelmissa pois, koska autotallin valaistuskuorma on hyvin pientä. Autotallin valaistus ei lisäksi todennäköisesti ole käytössä huipputehon ajankohtana, eli viikonloppuna saunottaessa.

Luvussa kaksi esitettyä peruskuorman laskentakaavaa kaksi ei ole käytetty peruskuorman laskemiseksi. Kaavan asemesta kuorma on laskettu luvussa neljä esitettyjen esimerkkikiinteistön lähtötietojen perusteella.

Laskelmia ei voida käyttää sellaisenaan minkään tietyn kiinteistön tapauksessa. Tulosten avulla voidaan kuitenkin arvioida yleisellä tasolla, onko sähköautoiluun siirtyminen mahdollista. Lisäksi tulokset mahdollistavat arviointia millaisia mahdollisia teknisiä ratkaisuja sähköautoiluun siirtyminen edellyttäisi. Tulokset auttavat myös arvioimaan, onko mahdollista säilyttää olemassa oleva pääsulakkeiden koko, vai onko pääsulakkeiden suurentaminen todennäköisesti tehtävä.

Mikäli halutaan arvioida tilannetta tarkemmin jonkin tietyn kiinteistön tapauksessa, tämän luvun laskelmia voidaan käyttää muuttamalla lähtöarvoja, jolloin päästään tarkempaan kohdekohtaiseen tulokseen. Esimerkiksi käytettävän sähköauton ominaisuudet, käyttötottumukset ja ajomäärät vaikuttavat merkittävästi lopputulokseen.

## 5.1 Tapaus A1 – yksi auto + laitekohtaiset kuormat + staattinen kuormanhallinta

Alla olevasta taulukon laskelmasta (taulukko 1) voidaan todeta, että lisättäessä sähköauton latauskuorma muuhun kiinteistön huippukuormaan, kasvaa staattisen kuormanhallinnan tapauksessa huipputeho noin 22kW:iin. Huipputehon perusteella laskettu huippuvirta  $I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos(\varphi)} = \frac{21890W}{\sqrt{3} * 400V * 0,96} = 32,9 \text{ A}$ . Tehokertoimen  $\cos(\varphi)$  on oletettu olevan 0,96. Tämä tarkoittaisi sitä, että 3 x25A pääsulakekoko ei tulisi riittämään todella kylmillä säillä esimerkiksi viikonloppuisin saunottaessa. Edes mahdollisuus ladata autoa 10 tuntia klo 21 - 07 ei välttämättä riitä pitämään kuormaa riittävän pienenä huippukulutuksen aikana. Staattisen kuormanhallinnan tapauksessa olisikin suositeltavaa suurentaa pääsulakkeiden koko 3 x35A:iin.

Taulukko 1. Huipputehon laskelma yhden auton ja staattisen kuormanhallinnan tapauksessa laitekohtaisesti laskettuna.

A1: Yksi auto + staattinen kuormanhallinta (lataus rajoitetaan kiinteästi minimi vaadittavaan talvikulutuksen lataustehoon)		
Kiinteistön huipputehon laskelma - laitekohtaisesti laskettu		
Laiteryhmä	Nimellisteho kW	Laskentakaava / laskentaperusteet
Valaistus (P <sub>val</sub> ).	0,80	$P_{val} = 0,7 * \frac{6W}{m^2} * A_h = \frac{6W}{m^2} * 190m^2 = 798W$
Ilmanvaihto (P <sub>iv</sub> ), tehostusvara 30%, (huom 1,2)	0,16	$P_{iv} = 1,3 * 190m^2 * 2,6m * 0,5 \frac{1}{h} * \frac{\frac{1800W}{m^3}}{3600 \frac{s}{h}} = 160,55W$

Sähkölämmitys (Pläm), (huom 3)	2,08	$P_{läm} = 0,8 * \frac{40W}{m^2} * A_h - \text{Kiuasvuorottelu}$ $= 0,8 * \frac{40W}{m^2} * 190m^2 - 4000W = 2080W$
Autotalli ILP (Pilp), (huom 4)	1,00	$P_{ilp} = \frac{65 \frac{W}{m^2} * 60m^2}{2} = 1950W, \text{ käytännön tuntiteho } 1,0kW$
Sähkökiuas (Pkiu)	8,00	
Sähköauton lataus (Plataus), (huomautus 5)	4,50	$P_{lataus} = \frac{150km * 3000 \frac{Wh}{km}}{10h} = 4500W$
Lämminvesivaraaja (Plvv) (huom 9)	0,00	Haato 295 litraa, LVI nro LVI-5253028, max liitäntäteho 3kw, kuormitusvahdilla varustettu
Kodin kylmälaitteet (Pkyl)	0,15	
Keittiön lämpökojeet (Pklk) (huom 6)	4,00	Liitäntäteho 8000W, keraaminen liesi, tasauskerroin 0,5. $0,5 * 8000W = 4000W$
Kodin elektroniikkalaitteet (Pele) (huom 7)	0,60	Laitteiden yhteisteho 1000W, samanaikaisuuskerroin 0,6. $0,6 * 1000W = 600W$
Muut kodin sähkölaitteet (Pmsl) (huom 8)	0,60	Laitteiden yhteisteho 1000W, samanaikaisuuskerroin 0,6. $0,6 * 1000W = 600W$
<b>YHTEENSÄ:</b>	<b>21,89</b>	
<b>Huomautus 1:</b> Rakentamismääräyskokoelma ja ilmanvaihdon mitoituksen perusteet (Finvac, 2019, ss.5,6) $0,35(dm^3/s)/m^2$ , 2,5m korkeassa tilassa + tehostus 30%. Ilma vaihtuu kerran/2h		
<b>Huomautus 2:</b> ST 13.31 kohta 4.5.1 koneellinen ilmanvaihto sähkötehon mitoitus $1,8kW / (m^3/s)$ . Laskelmassa pyöriväkennoinen IV-koje.		
<b>Huomautus 3:</b> Sähkölämmityksestä kiuasristeilyn piirissä $4,0kW$ . Samanaikaisuuskerroin 0,8.		
<b>Huomautus 4:</b> Ilmalämpöpumpun laskennallinen mitoitus $65W/m^2$ , vuotuinen COP 2,0. Käytännössä yhtä aikaa keskimäärin $1,0kW$ muun kuorman kanssa.		
<b>Huomautus 5:</b> Staattisella kuormanhallinnalla rajoitetaan maksimiteho yön yli 10h latausta ajatellen annettujen ajomäärien mukaisesti. Talvikulutus $0,30kWh/km$ huomioitu.		
<b>Huomautus 6:</b> Keittiön liedet ja uunin kaikki teho ei ole käytössä samanaikaisesti, joten ohjeistuksen mukaisesti voidaan huomioida liitäntätehosta 50 %.		
<b>Huomautus 7:</b> Kaikki kodin elektroniikkalaitteet eivät ole samanaikaisesti käytössä maksimiteholla, joten yhteistehosta voidaan huomioida 60 %.		
<b>Huomautus 8:</b> Kaikki kodin muut sähkölaitteet eivät ole samanaikaisesti käytössä, joten arvioidusta yhteistehosta voidaan huomioida 60 %.		
<b>Huomautus 9:</b> Lämminvesivaraaja varustettu kuormitusvahdilla. Kulutuksen ollessa kiinteistössä suurta, tehoa säädetään automaattisesti alas.		

## 5.2 Tapaus A2 – yksi auto + kokemusperäinen kaava + staattinen kuormanhallinta

Alla olevasta taulukon laskelmasta (taulukko 2) voidaan todeta, että lisättäessä sähköauton latauskuorma muuhun kiinteistön huippukuormaan, kasvaa staattisen kuormanhallinnan tapauksessa huipputeho kokemusperäisellä kaavalla laskettaessa yli  $25kW$ :iin.

Huipputehon perusteella laskettu huippuvirta  $I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos(\varphi)} = \frac{25160W}{\sqrt{3} * 400V * 0,96} = 37,8 \text{ A}$ .

Tehokertoimen  $\cos(\varphi)$  on oletettu olevan 0,96. Laskelman perusteella voidaan todeta, että kokemusperäisellä kaavalla laskettaessa kuorma ilman sähköauton lataustakin kasvaisi niin isoksi, että 3 x 25A pääsulakekoko ei riittäisi. Tämän laskelman mukaan pääsulakekoko olisi ehdottomasti kasvatettava 3 x 35A:iin, jopa 3 x 50A:iin. Ennen pääsulakkeiden kasvattamista tulisi varmistaa sähkönjakeluverkon mitoitus näin isoille kuormille. Laskelma vaikuttaa rajusti ylimitoitetulta. Kokemusperäiset kaavat perustuvat todella vanhoihin mittauksetietoihin, ja nykyisin kiinteistön huippukuormat ovatkin huomattavasti pienempiä todellisuudessa.

Taulukko 2. Huipputehon laskelma yhden auton ja staattisen kuormanhallinnan tapauksessa kokemusperäisellä kaavalla laskettuna.

<b>Kiinteistön huipputehon laskelma - kokemusperustainen kaava</b>		
<b>A2: yksi auto + staattinen kuormanhallinta (lataus rajoitetaan kiinteästi minimi vaadittavaan talvikulutuksen lataustehoon)</b>		
Laiteryhmä	Nimellis-teho kW	Laskentakaava
Kokemusperäinen huipputeho ( $P_h$ ), (huomautus 1)	19,66	$P_h = 7,5kW + \frac{64 \frac{W}{m^2} * 190m^2}{1000} = 19,66kW$
Sähköauton lataus ( $P_{lataus}$ ), (huomautus 2)	4,50	$P_{lataus} = \frac{150km * 3000 \frac{Wh}{km}}{10h} = 4500W$
Autotalli ILP ( $P_{ilp}$ ), (huom 3)	1,00	$P_{ilp} = \frac{65 \frac{W}{m^2} * 60m^2}{2} = 1950W, \text{ käytännön tuntiteho } 1,0kW$
<b>YHTEENSÄ:</b>	<b>25,16</b>	
<b>Huomautus 1:</b> Laskennassa käytetty ST 13.31 kokemusperäistä asuinrakennuksen huipputehon laskentakaavaa, suora sähkölämmitys ja sähkökiuas.		
<b>Huomautus 2:</b> Staattisella kuormanhallinnalla rajoitetaan maksimiteho yön yli 10h latausta ajatellen annettujen ajomäärien mukaisesti. Talvikulutus 0,30kWh/km huomioitu.		
<b>Huomautus 3:</b> Ilmalämpöpumpun laskennallinen mitoitus 65W/m <sup>2</sup> , vuotuinen COP 2,0. Käytännössä yhtä aikaa keskimäärin 1,0kW muun kuorman kanssa.		

### 5.3 Tapaus A3 – yksi auto + laitekohtaiset kuormat + dynaaminen kuormanhallinta

Alla olevasta laskelmasta (taulukko 3) voidaan todeta, että dynaamista kuormanhallintaa käyttämällä ja tarkastelemalla kiinteistön vaatimaa maksimi sähkötehoa kiinteistön maksimi teho on pakkaspäivänä noin 17kW. Huipputehon perusteella laskettu huippuvirta  $I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos(\varphi)} = \frac{17390W}{\sqrt{3} * 400V * 0,96} = 26,1 \text{ A}$ . Tehokertoimen  $\cos(\varphi)$  on oletettu olevan 0,96. Laskelman mukaan 3 x 25 A pääsulakkeilla huippuvirta olisi hieman yli maksimiarvon, mutta toisaalta keittiön lämpökojeille on laskelmassa huomioitu suhteellisen suuri teho. Ei ole myöskään kovin todennäköistä, että kiukaan maksimiteho samaan aikaan keittiön lämpökojeiden ison tehon kanssa toteutuisi. Käytännössä olisi mahdollista säilyttää olemassa oleva 3 x 25A pääsulakekoko.

Taulukko 3. Huipputehon laskelma yhden auton ja dynaamisen kuormanhallinnan tapauksessa laitekohtaisesti laskettuna.

Kiinteistön huipputehon laskelma - laitekohtaisesti laskettu		
A3: yksi auto + dynaaminen kuormanhallinta (latausta säädetään automaattisesti kiinteistön muun kulutuksen mukaan, 0 -> max mahdollinen.		
Laiteryhmä	Nimellisteho kW	Laskentakaava
Valaistus (P <sub>val</sub> )	0,80	$P_{val} = 0,7 * \frac{6W}{m^2} * A_h = \frac{6W}{m^2} * 190m^2 = 798W$
Ilmanvaihto (P <sub>iv</sub> ), tehostusvara 30%, (huom 1 ja 2)	0,16	$P_{iv} = 1,3 * 190m^2 * 2,6m * 0,5 \frac{1}{h} * \frac{\frac{1800W}{\frac{m^3}{s}}}{3600 \frac{s}{h}}$ = 160,55W
Sähkölämmitys (P <sub>läm</sub> ), (huom 3)	2,08	$P_{läm} = 0,8 * \frac{40W}{m^2} * A_h - \text{Kiuasvuorottelu}$ = $\frac{40W}{m^2} * 190m^2 - 4000W$ = 2080W
Autotalli ILP (P <sub>ilp</sub> ), (huom 4)	1,00	$P_{ilp} = \frac{65 \frac{W}{m^2} * 60m^2}{2} = 1950W$ , käytännön tuntiteho 1,0kW
Sähkökiuas (P <sub>kiu</sub> )	8,00	
Sähköauton lataus (P <sub>lataus</sub> ), (huomautus 5)	0,00	
Lämminvesivaraaja (P <sub>lv</sub> )	0,00	Haato 295 litraa, LVI nro LVI-5253028, max liitäntäteho 3kw, kuormitusvahdilla varustettu
Kodin kylmälaitteet (P <sub>kyl</sub> )	0,15	

Keittiön lämpökojeet (Pklk)	4,00	Liitäntäteho 8000W, keraaminen liesi, tasauskerroin 0,5. $0,5 * 8000W = 4000W$ . Katso huom. 6
Kodin elektroniikkalaitteet (Pele)	0,60	Laitteiden yhteisteho 1000W, samanaikaisuuskerroin 0,6. $0,6 * 1000W = 600W$ . Katso huom. 7
Muut kodin sähkölaitteet (Pmsl)	0,60	Laitteiden yhteisteho 1000W, samanaikaisuuskerroin 0,6. $0,6 * 1000W = 600W$ . Katso huom. 8
<b>YHTEENSÄ:</b>	<b>17,39</b>	
<b>Huomautus 1:</b> Rakentamismääräyskokoelma ja ilmanvaihdon mitoituksen perusteet (Finvac, 2019, ss.5,6) $0,35(\text{dm}^3/\text{s})/\text{m}^2$ , 2,5m korkeassa tilassa + tehostus 30%. Ilma vaihtuu kerran/2h		
<b>Huomautus 2:</b> ST 13.31 kohta 4.5.1 koneellinen ilmanvaihto sähkötehon mitoitus $1,8\text{kW} / (\text{m}^3/\text{s})$ . Laskelmassa pyöriväkennoinen IV-koje.		
<b>Huomautus 3:</b> Sähkölämmityksestä kiuasristeilyn piirissä $4,0\text{kW}$ , samanaikaisuuskerroin 0,8.		
<b>Huomautus 4:</b> Ilmalämpöpumpun laskennallinen mitoitus $65\text{W}/\text{m}^2$ , vuotuinen COP 2,0. Käytännössä yhtä aikaa keskimäärin $1,0\text{kW}$ muun kuorman kanssa.		
<b>Huomautus 5:</b> Dynaamisella kuormanhallinnalla saadaan lataustapahtumaa säädettyä kulutuksen mukaan. Keskimääräinen tehon tarve yöllä $4,5\text{kW}$ , joka vapautuu esim keittiön ja saunan ollessa käyttämättömänä suurimman osan yöajasta. Tällöin voidaan jättää auton lataus pois huipputehonlaskennasta.		
<b>Huomautus 6:</b> Keittiön liedien ja uunin kaikki teho ei ole käytössä samanaikaisesti, joten ohjeistuksen mukaisesti voidaan huomioida liitäntätehosta 50 %.		
<b>Huomautus 7:</b> Kaikki kodin elektroniikkalaitteet eivät ole samanaikaisesti käytössä maksimiteholla, joten yhteistehosta voidaan huomioida 60 %.		
<b>Huomautus 8:</b> Kaikki kodin muut sähkölaitteet eivät ole samanaikaisesti käytössä, joten arvioudusta yhteistehosta voidaan huomioida 60 %.		

## 5.4 Tapaus B1 – kaksi autoa + laitekohtaiset kuormat + staattinen kuormanhallinta

Alla olevasta taulukon laskelmasta (taulukko 4) voidaan todeta, että lisättäessä sähköautojen latauskuorma muuhun kiinteistön huippukuormaan, kasvaa staattisen kuormanhallinnan tapauksessa huipputeho noin 23 kW:iin. Huipputehon perusteella laskettu huippuvirta  $I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos(\varphi)} = \frac{23090W}{\sqrt{3} * 400V * 0,96} = 34,7 \text{ A}$ . Tehokertoimen  $\cos(\varphi)$  on oletettu olevan 0,96. Tämä tarkoittaisi sitä, että 3 x 25A pääsulakekoko ei tulisi riittämään todella kylmillä säillä esimerkiksi viikonloppuisin, kun saunotaan. Edes mahdollisuus ladata autoja 10 tuntia klo 21-07 ei välttämättä riitä pitämään kuormaa riittävän pienenä huippukulutuksen aikana. Staattisen kuormanhallinnan tapauksessa tulisi pääsulakkeiden koko muuttaa 3 x 35A:iin.

Taulukko 4. Huipputehon laskelma kahden auton ja staattisen kuormanhallinnan tapauksessa laitekohtaisesti laskettuna.

Kiinteistön huipputehon laskelma - laitekohtaisesti laskettu		
B1: Kaksi autoa + staattinen kuormanhallinta (lataus rajoitetaan kiinteästi minimi vaadittavaan talvikulutuksen lataustehtoon)		
Laiteryhmä	Nimellisteho kW	Laskentakaava / laskentaperusteet
Valaistus (P <sub>val</sub> )	0,8	$P_{val} = 0,7 * \frac{6W}{m^2} * A_h = \frac{6W}{m^2} * 190m^2 = 798W$
Ilmanvaihto (P <sub>iv</sub> ), tehostusvara 30%, (huom 1 ja 2)	0,16	$P_{iv} = 1,3 * 190m^2 * 2,6m * 0,5 \frac{1}{h} * \frac{\frac{1800W}{m^3} * s}{3600 \frac{s}{h}} = 160,55W$
Sähkölämmitys (P <sub>läm</sub> ), (huom 3)	2,08	$P_{läm} = 0,8 * \frac{40W}{m^2} * A_h - \text{Kiuasvuorottelu}$ $= 0,8 * \frac{40W}{m^2} * 190m^2 - 4000W = 2080W$
Autotalli ILP (P <sub>ilp</sub> ), (huom 4)	1,00	$P_{ilp} = \frac{65 \frac{W}{m^2} * 60m^2}{2} = 1950W$ , käytännön tuntiteho 1,0kW
Sähkökiuas (P <sub>kiu</sub> )	8,00	
Sähköauton 1 lataus (P <sub>1lataus</sub> ), (huomautus 5)	4,50	$P_{1lataus} = \frac{150km * 3000 \frac{Wh}{km}}{10h} = 4500W$
Sähköauton 2 lataus (P <sub>2lataus</sub> ), (huomautus 5)	1,20	$P_{2lataus} = \frac{40km * 3000 \frac{Wh}{km}}{10h} = 1200W$
Lämminvesivaraaja (P <sub>ivv</sub> )	0,00	Haato 295 litraa, LVI nro LVI-5253028, max liitäntäteho 3kW, kuormitusvahdilla varustettu.
Kodin kylmälaitteet (P <sub>kyl</sub> )	0,15	
Keittiön lämpökojeet (P <sub>klk</sub> ) (huom 6)	4,00	Liitäntäteho 8000W, keraaminen liesi, tasauskerroin 0,5. $0,5 * 8000W = 4000W$
Kodin elektroniikkalaitteet (P <sub>ele</sub> ) (huom 7)	0,60	Laitteiden yhteisteho 1000W, samanaikaisuuskerroin 0,6. $0,6 * 1000W = 600W$
Muut kodin sähkölaitteet (P <sub>msl</sub> ) (huom 8)	0,60	Laitteiden yhteisteho 1000W, samanaikaisuuskerroin 0,6. $0,6 * 1000W = 600W$
<b>YHTEENSÄ:</b>	<b>23,09</b>	
<b>Huomautus 1:</b> Rakentamismääräyskokoelma ja ilmanvaihdon mitoituksen perusteet (Finvac, 2019, ss.5,6), 0,35(dm3/s)/m2, 2,5m korkeassa tilassa + tehostus 30%. Ilma vaihtuu kerran/2h		
<b>Huomautus 2:</b> ST 13.31 kohta 4.5.1 koneellinen ilmanvaihto sähkötehon mitoitus 1,8kW / (m3/s). Laskelmassa pyöriväkennoinen IV-koje.		
<b>Huomautus 3:</b> Sähkölämmityksestä kiuasristeilyn piirissä 4,0kW		
<b>Huomautus 4:</b> Ilmalämpöpumpun laskennallinen mitoitus 65W/m2, vuotuinen COP 2,0. Käytännössä yhtä aikaa 1,0kW muun kuorman kanssa.		
<b>Huomautus 5:</b> Staattisella kuormanhallinnalla rajoitetaan maksimiteho yön yli 10h latausta ajatellen annettujen ajomäärien mukaisesti. Talvikulutus 0,30kWh/km huomioitu.		
<b>Huomautus 6:</b> Keittiön liedet ja uunin kaikki teho ei ole käytössä samanaikaisesti, joten ohjeistuksen mukaisesti voidaan huomioida liitäntätehosta 50 %.		
<b>Huomautus 7:</b> Kaikki kodin elektroniikkalaitteet eivät ole samanaikaisesti käytössä maksimiteholla, joten yhteistehosta voidaan huomioida 60 %.		

**Huomautus 8:** Kaikki kodin muut sähkölaitteet eivät ole samanaikaisesti käytössä, joten arvioudusta yhteistehosta voidaan huomioida 60 %.

## 5.5 Tapaus B2 – kaksi autoa + kokemusperäinen kaava + staattinen kuormanhallinta

Alla olevasta laskelmasta (taulukko 5) voidaan todeta, että lisättäessä sähköautojen latauskuormat muuhun kiinteistön huippukuormaan, kasvaa staattisen kuormanhallinnan tapauksessa huipputeho kokemusperäisellä kaavalla laskettaessa yli 26kW:iin.

Huipputehon perusteella laskettu huippuvirta  $I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos(\varphi)} = \frac{26360W}{\sqrt{3} * 400V * 0,96} = 39,6 \text{ A}$ .

Tehokertoimen  $\cos(\varphi)$  on oletettu olevan 0,96. Tämä tarkoittaisi sitä, että 3 x 25A pääsulakekoko ei tulisi riittämään. Laskelmasta nähdään, että kokemusperäisellä kaavalla laskettaessa kuorma ilman sähköauton lataustakin kasvaisi niin isoksi, että 3 x 25A pääsulakekoko ei riittäisi. Tämän laskelman mukaan pääsulakekoko olisi ehdottomasti kasvatettava 3 x 35A:iin, jopa 3 x 50A:iin. Ennen pääsulakkeiden kasvattamista näin suuriksi tulisi varmistaa sähkönjakeluverkon mitoitus näin isoille kuormille. Laskelma vaikuttaa rajusti ylimitoitetulta. Kokemusperäiset kaavat perustuvat todella vanhoihin mittaustietoihin, ja nykyisin kiinteistön huippukuormat ovatkin huomattavasti pienempiä todellisuudessa.

Taulukko 5. Huipputehon laskelma kahden auton ja staattisen kuormanhallinnan tapauksessa kokemusperäisellä kaavalla laskettuna.

Kiinteistön huipputehon laskelma - kokemusperustainen kaava		
B2: Kaksi autoa + staattinen kuormanhallinta (lataus rajoitetaan kiinteästi minimi vaadittavaan talvikulutuksen lataustehoon)		
Laiteryhmä	Nimellisteho kW	Laskentakaava
Kokemusperäinen huipputeho (Ph), (huomautus 1)	19,66	$P_h = 7,5kW + \frac{64 \frac{W}{m^2} * 190m^2}{1000} = 19,66kW$
Sähköauton 1 lataus (P1lataus), (huomautus 2)	4,50	$P_{1lataus} = \frac{150km * 3000 \frac{Wh}{km}}{10h} = 4500W$
Sähköauton 2 lataus (P2lataus), (huomautus 2)	1,20	$P_{2lataus} = \frac{40km * 3000 \frac{Wh}{km}}{10h} = 1200W$
Autotalli ILP (Pilp), (huom 3)	1,00	$P_{ilp} = \frac{65 \frac{W}{m^2} * 60m^2}{2} = 1950W$ , käytännön tuntiteho 1,0kW
<b>YHTEENSÄ:</b>	<b>26,36</b>	
<b>Huomautus 1:</b> Laskennassa käytetty ST 13.31 kokemusperäistä asuinrakennuksen huipputehon laskentakaavaa, suora sähkölämmitys ja sähkökiuas.		
<b>Huomautus 2:</b> Staattisella kuormanhallinnalla rajoitetaan maksimiteho yön yli 10h latausta ajatellen annettujen ajomäärien mukaisesti. Talvikulutus 0,30kWh/km huomioitu.		
<b>Huomautus 3:</b> Ilmalämpöpumpun laskennallinen mitoitus 65W/m <sup>2</sup> , vuotuinen COP 2,0. Käytännössä yhtä aikaa keskimäärin 1,0kW muun kuorman kanssa.		

## 5.6 Tapaus B3 – kaksi autoa + laitekohtaiset kuormat + dynaaminen kuormanhallinta

Alla olevasta laskelmasta (taulukko 6) voidaan todeta, että dynaamista kuormanhallintaa käyttämällä ja tarkastelemalla kiinteistön vaatimaa maksimi sähkötehoa kiinteistön maksimi teho on pakkaspäivänä noin 17 kW. Huipputehon perusteella laskettu huippuvirta  $I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos(\varphi)} = \frac{17390W}{\sqrt{3} * 400V * 0,96} = 26,1$  A. Tehokertoimen  $\cos(\varphi)$  on oletettu olevan 0,96. Laskelman mukaan 3 x 25 A pääsulakkeilla huippuvirta olisi hieman yli maksimiarvon, mutta toisaalta keittiön lämpökojeille on laskelmassa huomioitu suhteellisen suuri teho. Ei ole myös kovin todennäköistä, että kiukaan maksimiteho samaan aikaan keittiön lämpökojeiden ison tehon kanssa toteutuisi. Käytännössä olisikin mahdollista säilyttää olemassa oleva 3 x 25 A pääsulakekoko. Huippukuormitus on kuitenkin aivan ylärajoilla ajatellen 3 x 25 A pääsulakekoko, joten voisi olla järkevää kasvattaa sulakekoko

isommaksi. Näin saataisiin lisäkapasiteettia, mikäli autojen käyttötarve kasvaisi ajoittain suuremmaksi.

Taulukko 6. Huipputehon laskelma kahden auton ja dynaamisen kuormanhallinnan tapauksessa laitekohtaisesti laskettuna.

Kiinteistön huipputehon laskelma - laitekohtaisesti laskettu		
B3: kaksi autoa + dynaaminen kuormanhallinta (latausta säädetään automaattisesti kiinteistön muun kulutuksen mukaan, 0 -> max mahdollinen.		
Laiteryhmä	Nimellisteho kW	Laskentakaava
Valaistus (P <sub>val</sub> )	0,80	$P_{val} = 0,7 * \frac{6W}{m^2} * A_h = \frac{6W}{m^2} * 190m^2 = 798W$
Ilmanvaihto (P <sub>iv</sub> ), tehostusvara 30%, (huom 1)	0,16	$P_{iv} = 1,3 * 190m^2 * 2,6m * 0,5 \frac{1}{h} * \frac{\frac{1800W}{\frac{m^3}{s}}}{3600 \frac{s}{h}} = 160,55W$
Sähkölämmitys (P <sub>läm</sub> ), (huom 2)	2,08	$P_{läm} = 0,8 * \frac{40W}{m^2} * A_h - \text{Kiuasvuorottelu}$ $= \frac{40W}{m^2} * 190m^2 - 4000W = 2080W$
Autotalli ILP (P <sub>ilp</sub> ), (huom 3)	1,00	$P_{ilp} = \frac{65 \frac{W}{m^2} * 60m^2}{2} = 1950W$ , käytännön tuntiteho 1,0kW
Sähkökiuas (P <sub>kiu</sub> )	8,00	
Sähköauton 1 lataus (P1lataus), (huomautus 4)	0,00	
Sähköauton 2 lataus (P2lataus), (huomautus 4)	0,00	
Lämminvesivaraaja (P <sub>lvv</sub> )	0,00	Haato 295 litraa, LVI nro LVI-5253028, max liitäntäteho 3,0kW, kuormitusvahdilla varustettu.
Kodin kylmlaitteet (P <sub>kyl</sub> )	0,15	
Keittiön lämpökojeet (P <sub>klk</sub> )	4,00	Liitäntäteho 8000W, keraaminen liesi, tasauskerroin 0,5. $0,5 * 8000W = 4000W$ . Katso huom 5.
Kodin elektroniikkalaitteet (P <sub>ele</sub> )	0,60	Laitteiden yhteisteho 1000W, samanaikaisuuskerroin 0,6. $0,6 * 1000W = 600W$
Muut kodin sähkölaitteet (P <sub>msl</sub> )	0,60	Laitteiden yhteisteho 1000W, samanaikaisuuskerroin 0,6. $0,6 * 1000W = 600W$
<b>YHTEENSÄ:</b>	<b>17,39</b>	
<b>Huomautus 1:</b> Rakentamismääräyskokoelma ja ilmanvaihdon mitoituksen perusteet (Finvac, 2019) 0,35(dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup> , 2,5m korkeassa tilassa + tehostus 30%. Ilma vaihtuu kerran/2h. ST 13.31 kohta 4.5.1 koneellinen ilmanvaihto sähkötehon mitoitus 1,8kW / (m <sup>3</sup> /s). Laskelmassa pyöriväkennoinen IV-koje.		
<b>Huomautus 2:</b> Sähkölämmityksestä kiuasristeilyn piirissä 4,0kW		
<b>Huomautus 3:</b> Ilmalämpöpumpun laskennallinen mitoitus 65W/m <sup>2</sup> , vuotuinen COP 2,0.		
<b>Huomautus 4:</b> Dynaamisella kuormanhallinnalla saadaan lataustapahtumaa säädettyä kulutuksen mukaan. Keskimääräinen tehon tarve yöllä 4,5kW+1,2kW, joka vapautuu esim. keittiön ja saunan ollessa käyttämättömänä suurimman osan yöajasta. Tällöin voidaan jättää auton lataus pois huipputehonlaskennasta.		

<b>Huomautus 5:</b> Keittiön liedon ja uunin kaikki teho ei ole käytössä samanaikaisesti, joten ohjeistuksen mukaisesti voidaan huomioida liitännästehosta 50 %.
<b>Huomautus 6:</b> Kaikki kodin elektroniikkalaitteet eivät ole samanaikaisesti käytössä maksimiteholla, joten yhteistehosta voidaan huomioida 60 %.
<b>Huomautus 7:</b> Kaikki kodin muut sähkölaitteet eivät ole samanaikaisesti käytössä, joten arvioudusta yhteistehosta voidaan huomioida 60 %.

## 6 Johtopäätökset ja pohdinta

Opinnäytetyön lähtökohtana oli selvittää miten sähköautoiluun siirtyminen vaikuttaa pienjänniteliittymän mitoittamiseen sekä valittaviin sähkökuormaa rajoittaviin teknisiin ratkaisuihin. Tarkastelun perusteella on selvää, että talviaikana sähkölämmitteisen omakotitalon sähköliittymä on monessa tapauksessa sähköisen kuormituksen näkökulmasta ylärajoilla. Voidaankin perustellusti todeta, että omakotitalouden tulisi miettiä erityisesti valittavia latausratkaisuja huolellisesti, kun siirtymistä sähköautoiluun harkitaan.

Laskelmien avulla voidaan osoittaa, että vaikka pienjänniteliittymän kuormitus olisikin valmiiksi korkealla tehopiikkien aikana, on kohtuullinen sähköauton lataus monessa tapauksessa mahdollista ilman pääsulakekoon kasvattamistakin. Tämä mahdollistuu monessa tapauksessa dynaamista kuormanhallintaa käyttämällä, sillä pienjänniteliittymää ei käytetä tyypillisesti täydellä kuormituksella kuin hetkittäin. Tämän työn laskelmia tukee myös kirjoittajan käytännön kokemukset aiheesta. Tuusulassa olevassa todellisessa kohteessa, joka vastaa pitkälle tämän työn esimerkkilaskelmien kohdetta, on voitu nähdä tämän työn tuloksien kaltainen tilanne. Ilman kuormanhallintaa kyseisen liittymän pääsulakkeet paloivat useaan kertaan jo yhtä sähköautoa ladattaessa. Kohteeseen asennettiin dynaaminen kuormanhallinta, minkä jälkeen pääsulakkeet ovat säilyneet ehjinä ja autot ovat saatu ladattua ongelmitta. Dynaaminen kuormanhallinta rajoittaa latausta kiinteistön muun sähkökuormituksen ollessa suurta, joten pitkäaikaisen suuren muun sähkökuorman aiheuttama haitta olisi enintään vajaa auton akun lataus.

Pienjänniteliittymän pääsulakkeiden kasvattaminen isommaksi olisi toinen tapa ratkaista tehohuippujen aiheuttamaa ongelmaa lataukselle. Pääsulakkeiden kasvattamisesta aiheutuu kuitenkin merkittäviä kertaluonteisia kustannuksia sähköyhtiöiden veloittaessa liittymismaksuna vanhan ja uuden sulakekoon liittymismaksujen erotus voimassa olevan

hinnaston mukaisesti. Suuremmasta pääsulakekoosta aiheutuu myös jatkuvia kustannuksia, koska kuukausittainen maksu sähköliittymästä kasvaa. Olisikin sähköliittymän haltijan intressissä ensin tutkia tilannekohtaisesti onnistuisiko olemassa olevan pääsulakekoon säilyttäminen käyttämällä kuormanhallintaa tehohuippujen tasaamiseen. Ennen sähköliittymän pääsulakekoon kasvattamista tulee myös tutkia mahdollistaako vanhan rakennuksen johdotukset ja laitteistot pääsulakekoon suurentamisen. Myös tulevaisuudessa mahdollisesti perittävät huipputehomaksut motivoivat etsimään vaihtoehtoisia ratkaisuja pääsulakekoon suurentamiselle.

Kuten tämän työn laskelmista voidaan todeta, joissakin tapauksissa kiinteistön sähkönkulutus kasvaa niin isoksi, että ratkaisuna voisi olla järkevää sekä pääsulakekoon kasvattaminen että sopivan kuormanhallinnan toteuttaminen. Tällainen ratkaisu voisi olla viisasta toteuttaa esimerkiksi tapauksessa, jossa valmiiksi lähellä sähköistä tehomaksimia olevaan pienjänniteliittymään liitetään lisäkuormaksi useamman sähköauton latausjärjestelmien kuormat.

Pääsulakkeet on mitoitettava huipputehon mukaisesti. Haasteena tämän työn kaltaisessa yleisluontoisessa pienjänniteliittymän tarkastelussa on lähtöarvojen valinta. Yhtäältä liittymän kuormat tulisi valita riittävän suuriksi alimitoituksen välttämiseksi, toisaalta liittymän mitoittaminen turhan järeäksi ei ole taloudellisesti viisasta. Liittymän kuormitukseen vaikuttavat oleellisesti kiinteistöön valitut tekniset ratkaisut ja kulutustottumukset. Näitä ovat esimerkiksi ilmanvaihdon, lämmityksen ja lämpimän käyttöveden tuottamisen tekniset ratkaisut. Myös sähköautolla ajettava ajomäärä ja auton tyyppillinen seisonta-aika latauslaitteen äärellä vaikuttavat kuormituslaskelmiin. Teknisten ratkaisujen ohella sähköliittymän käyttäjällä onkin paljon mahdollisuuksia vaikuttaa huippukuormituksen suuruuteen. Tämän työn tulokset eivät ole sellaisenaan käytettävissä minkään tietyn kiinteistön teknisiä ratkaisuja mietittäessä, mutta tuloksista on sähköautoilua harkitsevan mahdollista saada tukea arvioidessaan oman sähköliittymänsä mahdollisuuksia.

## Lähteet

Ensto. (2022). *Ensto One Home – asennusohje*.

<https://static.ensto.com/files/installation-instructions/0000005859.pdf>

Evse Australia Pty Ltd. (n.d.). *Load Management Electric Car Charging*. Haettu 6.3.2025 osoitteesta

<https://evse.com.au/blog/load-management-electric-car-charging/>

Finni, E., Hietaniemi, J., Karppinen, R. & Eckert, T. (2021). *ST-kortisto, ST 13.31 Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen*. Sähköinfo Oy.

<https://severi.sahkoinfo.fi/>

Finvac ry. (2019). *Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoittamiseen*.

[https://finvac.org/wp-content/uploads/2020/06/Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoittamiseen 2019.pdf](https://finvac.org/wp-content/uploads/2020/06/Opas_asuinrakennusten_ilmanvaihdon_mitoittamiseen_2019.pdf)

Konttinen, J. (2019). *Uudistunut päästömittaustapa paljastaa aiempaa ikävämmän kuvan autoilun todellisista päästöistä*. Tilastokeskus.

<https://stat.fi/tietotrendit/artikkelit/2019/uudistunut-paastomittaustapa-paljastaa-aiempaa-ikavamman-kuvan-autoilun-todellisista-paastoista>

Leppo, J. (n.d.). *Finlandwide light vehicles test procedure FLTP*. Haettu 30.7.2025 osoitteesta

<https://fltp.fi/dl/d0a5f4>

Leppo, J. (n.d.). *FLTP vs WLTP*. Haettu 30.7.2025 osoitteesta

<https://fltp.fi/dl/375e23>

Mennekes. (n.d.). *Charge up in Control – Intelligent load and charging management*. Haettu 6.3.2025 osoitteesta

<https://www.mennekes.org/emobility/products/load-balancing/>

Traficom. (2024). *Liikennekäytössä olevat ajoneuvot käyttövoimittain – aikasarja*.

<https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Ftieto.traficom.fi%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fmedia%2Ffile%2FLiikennekaytossa-olevat-ajoneuvot-kayttovoimittain-aikasarja.xlsx&wdOrigin>

Traficom. (2025). *WLTP-päästömittaus*. Haettu 30.7.2025 osoitteesta

<https://www.traficom.fi/fi/liikenne/autoilijat/katsastus/wltp-paastomittaus?toggle=P%C3%A4%C3%A4st%C3%B6mittausmenetelm%C3%A4t&toggle=Laboratoriotestit%20eroavat%20oikeasta%20el%C3%A4m%C3%A4st%C3%A4>

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017.

<https://finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2017/1010>