SÄHKÖAUTOJEN ÄLYKKÄÄN LATAUKSEN EDISTÄMINEN HELSINGISSÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Sähkötekniikan diplomityö

2023

Antti Raassina

Tarkastaja(t): Professori Samuli Honkapuro

DI Ville Tikka

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Sähkötekniikka

Antti Raassina

Sähköautojen älykkään latauksen edistäminen Helsingissä

Sähkötekniikan diplomityö

2023

139 sivua, 45 kuvaa, 10 taulukkoa ja 2 liitettä

Tarkastaja(t): Professori Samuli Honkapuro ja DI Ville Tikka

Avainsanat: asiakaskysely, kulutusprofiili, sähköautojen älykäs lataus, sähkönkäyttö, siirtotariffi, verkkopalveluiden hinnoittelu

Sähköautojen määrä kasvaa nopeasti 2020-luvulla. Auton sujuva lataaminen on tärkeä osa autoilua. Lataamisen vaihtoehdot, toteutus ja teknologia ovat kehitysvaiheessa. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli muodostaa kokonaiskuva keinoista, joilla verkonhaltija voi edistää sähköautojen älykästä latausta. Toteutetussa asiakaskyselyssä selvitettiin Helen Sähköverkon asiakkaiden tapoja ladata autoja sekä miten heidän tavanomainen elämänrytminsä vaikuttaa latauskäyttäytymiseen. Kysely koostui neljästä osa-alueesta, joista tärkein keskittyi kotilataamiseen. Muut osa-alueet olivat työpaikkalataaminen, lataamisen hintavaikutukset ja verkonhaltijan rooli palveluntuottajana.

Asiakkaat hyödyntävät vähän älykkäitä latausmahdollisuuksia, joilla edesautettaisiin tasaisempaa verkonkäyttöä huippukuormituksen sijaan. Vastanneista autoilijoista yli 70 % lataa autonsa heti kodin latauspisteelle tultuaan ja noin 20 % ajoittaa latauksen yöajalle joko hinnan tai liittymän kuormituksen vuoksi. Erilaisia lataajaprofiileita muodostui kyselyn perusteella neljä: hybridiautoilija, täyssähköauton iltalataaja, täyssähköauton yö-lataaja ja muualla lataaja (ei kotilatauspistettä). Hybrideitä ladataan lähes päivittäin matalatehoisella pitkäkestoisella latauksella. Täyssähköautoja ladataan pari kertaa viikossa. Taloyhtiöissä täyssähköautojen latauksen kesto ja teho riippuvat lataajien määrän ja käytettävissä olevan tehokapasiteetin määrästä. Pientaloissa täyssähköautoja ladataan illan lisäksi aikasiirron halvemman yösähkön aikaan. Muualla lataajien lataus on lyhytkestoista ja suuritehoista.

Työssä löydettiin kaksi tärkeää jakeluverkkoyhtiön vaikutuskeinoa älykkään latauksen edistämiseksi. Ensimmäinen on verkkopalvelun hinnoittelun selkeyttäminen ja tuotteiden kohdentaminen eri asiakasryhmille. Verkkopalvelun siirtotuotteiden hinnoittelu vaatii muutoksia erityisesti aikasiirron osalta. Tehomaksu on yleisesti vaikeaselkoinen asiakkaille. Yksinkertainen hinnoittelu voisi lisätä hinnoittelun ymmärrystä ja vaikuttavuutta. Aikasiirron laajempaa soveltuvuutta kannattaisi edistää. Toisekseen vaikuttavalla viestinnällä ja online-palveluiden kehittämisellä voidaan lisätä asiakkaiden tietopohjaa älykkään latauksen toteuttamiseksi.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Electrical Engineering

Antti Raassina

Promoting EVs smart charging in Helsinki, Finland

Master's thesis

2022

139 pages, 45 figures, 10 tables and 2 appendices

Examiners: Professor Samuli Honkapuro and M.Sc. Ville Tikka

Keywords: customer survey, consumption profile, electricity consumption, electricity distribution tariffs, EVs smart charge

The number of electric vehicles (EV) will rapidly increase in the 2020s. Smooth EVs charging is a crucial part of driving. The manifold EV charging alternatives, implementations, and technologies are developing. The aim of this study was to form an overall picture of the means by which the distribution network operator can promote the smart charging of EVs. In the master's thesis, a customer survey related to EVs charging was carried out. The survey investigated customers' ways of charging EVs and how their normal life rhythm affects charging behavior.

Based on survey, more than 70 % of the customers start charging immediately after arriving at home. About 20 % schedule charging at night because of the price or the load level. Based on survey, four different charging profiles were formed. PHEV charge, EV evening charge, EV night charge and charging at a public charging point. PHEVs are charged daily with low power. EVs are charged twice a week.

As the most relevant results, two effective tools were found for the distribution utility to promote smart EV charging. At first, by developing distribution tariff fees, the utility can steer customers' electricity consumption including EV charging. When developing and updating the tariff structures and fees there is a need the tariffs to include incentives the smart charge to cover the majority of EV charging events. The most essential pricing change would be to increase the difference between the day and night prices of the Time-Of-Day distribution tariff.

At second, persuasive fact-based communication is needed to contribute the better knowledge base of customers. Customers need practical information about the implementation of charging points and the charging of EVs, both from the point of view of consumption and costs.

KIITOKSET

Tämä diplomityö tehtiin Helen Sähköverkolle ja on osa LUT-yliopiston sähkötekniikan diplomi-insinööriopintoja. Kiitän Helen Sähköverkkoa opintojeni mahdollistamisesta ja ajankohtaisen tutkimustyön tarjoamisesta. Asiakaskyselyn käyttäminen tutkimusmenetelmänä oli mielenkiintoinen tapa kerätä käyttäjäkokemuksia sähköautoilun arjesta. Kiitos asiakkaillemme kyselyyn osallistumisesta.

Erityiset kiitokset työn ohjaajalle Juhani Lepistölle sähkönkäytön analysointien ja skenaarioiden toteuttamisessa sekä asiantuntevista kommentoinneista työn eri vaiheissa. Lämpimät kiitokset työn tarkastajille Samuli Honkapurolle ja Ville Tikalle työn ohjauksesta, asiantuntevista näkökulmista ja työn tarkastamisesta. Kiitän myös Pirjo Heineä, Markku Hyväristä ja Helen Sähköverkon muita henkilöitä rakentavista keskusteluista ja ideoista työn aikana.

Mäntsälässä, 9. tammikuuta 2023

Antti Raassina

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Kiitokset

1 Johdanto 7
1.1 Helen Sähköverkko ja aikaisemmat tutkimukset 8
1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset 10
1.3 Diplomityön rakenne 11
2 Energiamurros ja liikenteen sähköistyminen 13
2.1 Energiamurros 13
2.2 Energiamurros Helsingissä 15
2.3 Liikenteen sähköistyminen 15
2.4 Sähköinen liikenne Helsingissä 16
3 Älykäs lataus 19
3.1 Latausjärjestelmät asiakkaan älykkäässä sähköjärjestelmässä 19
3.2 Huipputehon hallinta 23
3.2.1 Kuormituksen ajoittaminen 24
3.2.2 Kuormituksen leikkaaminen 26
3.2.3 Kuormituksen rajoittaminen 28
3.3 Latauksen hintaan vaikuttavat tekijät 30
3.3.1 Investointikustannukset 30
3.3.2 Operatiiviset kustannukset 32
3.3.3 Yleissiirto 33
3.3.4 Aikasiirto 34
3.3.5 Pienjännitetehosiirto 35
3.3.6 Keskijännitetehosiirto 38
4 Tutkimusmenetelmät 41
4.1 Käytetyt aineistot 41
4.2 Sähköautoilevien asiakasprofiilien muodostaminen asiakaskyselyllä 42
5 Kuormitusprofiiliin pohjautuva älykäs lataus Helsingissä 44

5.1 Sähkönjakeluverkko Helsingissä 44
5.2 Sähkönkulutus verkkotasolla 47
5.3 Helsingin käyttöpaikkaklusterit 49
5.3.1 Älykäs lataus pientaloissa 51
5.3.2 Älykäs lataus taloyhtiössä 55
5.3.3 Älykäs lataus liike- tai toimistorakennuksessa 62
6 Asiakaskysely 67
6.1 Kyselyn yleistulokset 67
6.2 Kotilataaminen 68
6.3 Hinnoittelun vaikutukset kotilataamiseen 73
6.4 Työpaikka- ja asiointilataaminen 77
6.5 Vastauksista muodostuvat lataajaprofiilit 79
7 Toimenpiteet älykkään latauksen edistämiseksi 83
7.1 Verkkopalveluiden hinnoittelu 83
7.2 Viestintä älykkään latauksen edistämisen keinona 92
7.3 Online-palveluiden mahdollisuudet 94
8 Johtopäätökset ja yhteenveto 96
Lähteet 99

Liitteet

Liite 1. Asiakaskysely

Liite 2. Asiakaskyselyn tulokset

1 Johdanto

Euroopan parlamentin hyväksymän ilmastolain tavoitteena on saattaa Euroopan Unioni (EU) hiilineutraaliksi vuoteen 2050 mennessä, jolloin hiilidioksidipäästöjä tuotetaan korkeintaan sen verran kuin niitä voidaan sitoa hiilinieluihin [1]. Suomi EU:n jäsenmaana on asettanut tavoitteeksi saavuttaa hiilineutraalisuus vuoteen 2035 mennessä. Valtioneuvoston julkaiseman ”Suomen kestävän kasvun ohjelma - elpymis- ja palautussuunnitelman” PILARI 1:n keskeisinä tavoitteina ovat lähes päästötön sähkön- ja lämmöntuotanto 2030-luvun loppuun mennessä sekä älykkään sähköjärjestelmän ja digitaalisten ratkaisuiden avulla lisätä sähköjärjestelmän joustavuutta ja kustannustehokkuutta esimerkiksi erilaisilla varastointi- ja kulutusjoustoratkaisuilla. Ohjelmalla vauhditetaan nopeaa muutosta vähäpäästöiseen liikenteeseen ja tuetaan rakennuskannan ilmasto- ja ympäristövaikutuksien pienentämistä.[2] Helsingin kaupungin Hiilineutraali Helsinki -ohjelma toteuttaa mittavaa päästövähennysohjelmaa, jolla Helsinki sopeutuu ilmastonmuutoksen torjuntaan ja tavoittelee hiilineutraalisuutta vuoteen 2030 mennessä [8]. Helsingin kaupungin omistaman energiayhtiön Helenin tavoitteena on saavuttaa hiilineutraali sähköntuotanto vuoteen 2030 mennessä [7].

Sähköntuotannossa uusiutuvan sähköntuotannon osuus on kasvamassa aurinko- ja tuulituotannon lisääntyessä. Samaan aikaan perinteisen säädettävän sähköntuotannon määrä on vähenemässä. Liikenteen on arvioitu sähköistyvän voimakkaasti 2020-luvulla. Valtioneuvoston periaatepäätös fossiilittoman liikenteen tiekartasta tehtiin keväällä 2021, jossa esitetään konkreettiset keinot vuoden 2030 tavoitteeseen pääsemiseksi [2]. Liikenne- ja viestintäministeriön huhtikuussa 2022 julkaiseman tiedotteen mukaan Suomeen tavoitteeksi on asetettu 700 000 sähköautoa ja puolittaa liikenteen päästöt vuoteen 2030 mennessä [3]. Sähköjärjestelmän toimivuuden kannalta on ensiarvoisen tärkeä ylläpitää tuotannon ja kulutuksen tehotasapainoa. Koska sähköntuotannon vaihtelu on lisääntymässä ja yhteiskunta on monilta osin sähköistymässä, tarvitaan tulevaisuudessa entistä enemmän voimajärjestelmän tilan mukaan joustavaa kulutusta.

Helen Sähköverkon asiakkaiden sähköautojen latauskäyttäytymisessä on havaittu yleinen tapa, jossa auto ladataan tyypillisesti heti, kun se pysäköidään latauspisteelle eikä lataukseen kohdisteta joustoa edistäviä toimenpiteitä. Tässä diplomityössä selvitetään asiakaskyselyn ja aiempien tutkimusten avulla, millä perusteella sähköauton lataajat tekevät valintoja

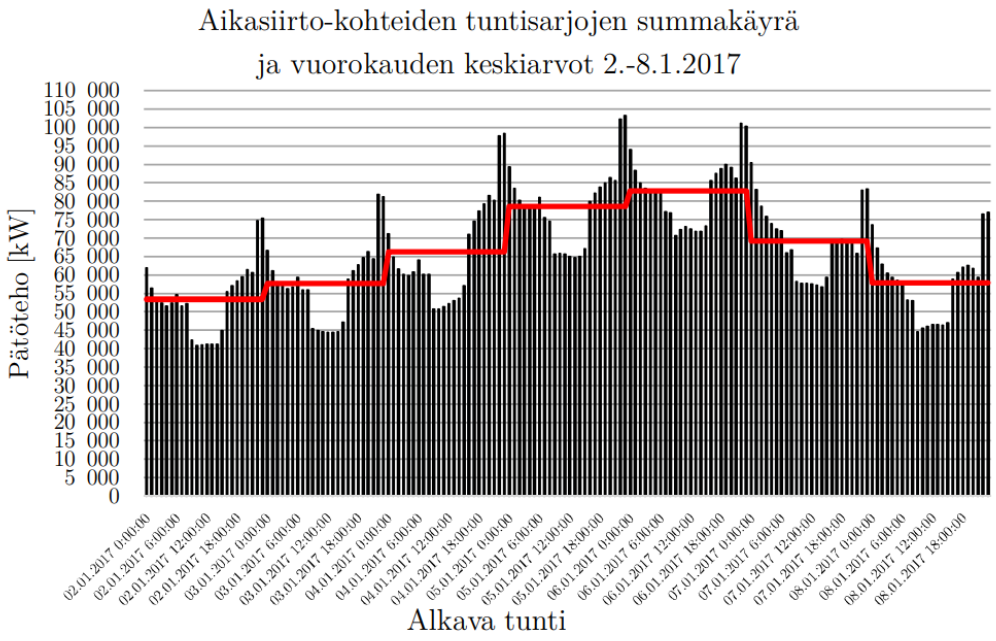
latauksen toteuttamiseksi. Asiakaskyselyä on valmisteltu Helen Sähköverkon tilaustutkimuksen ”Tuntimittaus- ja avoimeen dataan perustuva kuormitusmallinnus” avulla muodostettujen erilaisten asiakastyyppien kuormitusmallien pohjalta [5]. Kysymykset muodostettiin analysoimalla eri tyyppikäyttäjien kuormituksen ajoittumista eri vuorokauden aikoihin sekä minkälaista joustoa olisi mahdollista toteuttaa latauspisteen sähkönkäyttöpaikalla tai sähköliittymällä. Tässä diplomityössä joustolla tarkoitetaan kulutusjoustoa eli kulutuksen hetkellistä vähentämistä tai lisäämistä tehotasapainon edistämiseksi tai kulutuksen siirtämistä tai ajoittamista matalan kuormituksen ajanhetkille teknisen rajoitteen tai hintaohjauksen vuoksi. Kysely koostuu neljästä osa-alueesta. Tärkein kyselyn osa-alue on *kotilataus*, koska se edustaa jopa 80 % latauksista. Kotilatauksella tarkoitetaan autoilijan vakituisen asuinpaikan välittömässä läheisyydessä olevalla, omaan käyttöön tarkoitetulla latauspisteellä suoritettavia latauksia. Muut osa-alueet ovat *työpaikkalataus, hinnoittelun vaikutukset sähköautojen lataukseen* ja *verkonhaltijan tarjoamat palvelut*.

1.1 Helen Sähköverkko ja aikaisemmat tutkimukset

Diplomityö tehdään Helen Sähköverkolle, joka on osa Helsingin kaupungin omistamaa Helen-konsernia. Helen Sähköverkko toimii sähkömarkkinalain määrittelemässä sähköverkonhaltijan roolissa Helsingin kaupungin alueella ja tuottaa verkonhaltijan vastuulle kuuluvat palvelut noin 415 000 asiakkaalle. Keskeisimpiä palveluita ovat sähköverkkopalvelut, sähkönsiirto ja -jakelu, sähköverkon ylläpito ja vianhoito sekä sähkömarkkinapaikan tarjoaminen sähkönmyyjille ja asiakkaille. Helen Sähköverkko keskittyy sähköverkonhaltijan tehtäviin. Sen sijaan Helen-konserni tarjoaa energiapalveluita laajalla liiketoimintaportfoliolla energian tuotannosta aina asiakkaille tarjottaviin monipuolisiin palveluihin liittyen lämmitykseen, jäähdytykseen ja sähköön, kuten sähköiseen liikenteeseen sekä aurinkoenergiaan. [9]

Toimintaympäristön muuttumisen johdosta Helen Sähköverkolla on panostettu tutkimus- ja kehitystyöhön. Tutkimustyön painopistealueita ovat *joustavuuden lisääminen, sähköverkon kehittäminen, verkko-omaisuuden hallinta* ja *energiamurros.* Tämä diplomityö liittyy joustavuuden lisäämiseen. Joustoihin liittyvien tutkimuksien tavoitteena on joustojen hyödyntäminen jakeluverkon hallinnassa sekä asiakkaiden liittymäratkaisujen ja verkkopalveluiden hinnoittelun suunnittelussa. [10]

Helen Sähköverkko on ollut mukana EU-SysFlex (Pan-European system with an efficient coordinated use of flexibilities for the integration of a large share of Renewable Energy Sources) -tutkimus- ja innovaatiohankkeessa 2018–2021. Helen Sähköverkon tutkimushankkeet ovat kohdistuneet SysFlex-työpakettiin 6, jonka päämääränä oli kehittää kanta- ja jakeluverkkojen yhteistyötä joustojen näkökulmasta [11]. Hankkeessa on selvitetty, miten pienjänniteverkossa pätö- ja loistehon joustoja saadaan ennustettua, aggregoitua sekä hyödynnettyä kanta- ja jakeluverkkojen tarpeisiin. Helen Sähköverkolla tehty aiheeseen liittyvä ensimmäinen diplomityö käsitteli loistehon kaupallista hallintaa jakeluverkkoyhtiössä [12]. Toisessa työssä selvitettiin jakeluverkkoyhtiön roolia kysyntäjouston mahdollistajana. Tässä työssä tutkittiin etäohjattavien laskutusmittareiden kuormanohjausreleen avulla toteutettua jouston vaikutuksia ja mahdollisuuksia. Tutkimuksen tärkeä havainto on pyrkiä välttämään sähkökuormien ohjauksessa kiinteää aikaohjausta, koska se aiheuttaa jakeluverkon mitoittavan kuormitushuipun. Lämmitysten ohjauksessa arvioitiin kytkeytyvän käyttöön noin 20–30 MW lämmityskuorma. Kuvassa 1.1 on esitetty työssä havainnollistettu kuormitushuipun esiintyminen. [13]



Kuva 1.1 Aikasiirto-kohteiden tuntisarjojen summakäyrä ja vuorokauden keskiarvot 2.-8.1.2017 [13]

Työssä viitattiin Tampereen teknillisen yliopiston kysynnänjouston tutkimushankkeeseen *”DR-pooli”*, joka tarkasteli kysynnänjouston vaikutuksia jakeluverkon kuormituksiin. Tarkastelu oli tehty sähkömyyjien, verkkoyhtiöiden tai asiakkaiden tekemien ohjausten näkökulmasta. Tutkimustuloksissa kerrottiin spot-sähkön voivan johtaa jopa 20 % huipputehon

kasvuun sähköasematasolla [13][41]. Kolmannessa SysFlexiin tehdyssä diplomityössä tutkittiin toimistokiinteistöjen tehonhallintaratkaisujen vaikutusta sähkönjakeluverkon mitoittamiseen [14]. Työssä tutkittiin optimointialgoritmien avulla sähköautojen latauskuormien ohjaamatonta ja älykästä hallintaa. Työn kuormitusanalyysit osoittivat, että hallitsematon, ohjaamaton latauskuorma voi aiheuttaa sähköverkossa sähköliittymien ylikuormittumista. Älykkäällä latauksella ylikuormittumisen riski on hyvin vähäinen. Neljännessä työssä tutkittiin voimajärjestelmän joustoa asiakasnäkökulmasta [15]. Työssä muodostettiin kokonaiskuvaa sähkön kulutusjoustosta ja joustojen eri käyttötapauksista asiakasnäkökulmaa hyödyntäen. Keskeisinä tuloksina todetaan, että asiakkaiden näkökulmasta taloudelliset vaikutukset määrittelevät joustojen toteutettavuuden. Toisaalta joustoja mahdollistavia toiminnallisuuksia ei oteta kovinkaan hyvin huomioon sähköjärjestelmien suunnittelussa ja toteutuksessa. Jakeluverkkoyhtiö voi edistää joustojen toteuttamista erilaisilla keinoilla: kehittämällä dynaamista tehohinnoittelua, toteuttamalla mittaustietoihin perustuvia jouston huomioivia mitoitustyökaluja ja jakamalla tietoa erilaisista toimivista jouston käyttötavoista. Verkkoyhtiön mitoituspalvelu kykenisi simuloimaan aurinkosähköjärjestelmien, sähköautojen latauspisteiden ja lämmitysjärjestelmien vaikutuksia asiakkaan sähkönkäyttöön. Esimerkiksi sähköautojen latausjärjestelmän simuloinnissa voi mallintaa erilaisia latauslaitteita, laitemääriä ja lataustehoja sekä ohjaamattomana että ohjattuna latauksena. Mitoituspalvelu pystyy havainnollistamaan latauskuorman kerrostumisen käyttöpaikan kulutustietoon (mittaustietoon), teknisiä rajoitteita (tehokapasiteetin puute) ja sähkösiirron tehomaksun kasvua. Tällaisen palvelun avulla asiakas pystyy tekemään tietoon perustuvan valinnan lataustarpeet täyttävän latausjärjestelmän hankkimiseksi haluamallansa kustannustasolla.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset

Tämän diplomityön tavoitteena on muodostaa kokonaiskuva keinoista, joilla sähköverkonhaltija voi edistää sähköautojen älykästä latausta. Työssä lähtökohtaisesti keskitytään Helsingin alueen sähköverkkoon, palveluihin ja asiakkaisiin. Työssä toteutettava asiakaskysely kohdistetaan niille Helen Sähköverkon asiakkaille, joilla on sähköauto. Työn toinen kokonaiskuva muodostuu sähköautoilijoiden latauskäyttäytymisen ymmärryksestä. Palveluiden kehityksessä on tärkeä ymmärtää, miten asiakkaat käyttäytyvät erilaisissa tilanteissa. Työn tavoitteena on selvittää asiakkaiden latauskäyttäytymiseen vaikuttavat tekijät, jotka asiakkaat näkevät tarkoituksenmukaisena ja itselleen hyvänä. Lisäksi tarkastellaan nykyisen

hinnoittelun vaikutuksia lataukseen asiakkaiden näkökulmasta, sekä vaikuttaisiko tehomaksu verkonhaltijan näkökulmasta toivottavaan sähkönkäytön tehonhallintaan.

Kysymysmuotoon puettuna tutkimustavoitteita ovat:

- *Millä keinoin älykästä latausta voidaan edistää käyttäjien näkökulmat huomioiden?*
- *Miten, miksi ja millä tietopohjalla asiakkaat tekevät valintoja latauksen toteuttamiseksi?*
- *Tarvitaanko kannustimia mahdollistamaan haluttu latauskäyttäytyminen?*
- *Miten sähkön hinta vaikuttaa asiakkaiden latauskäyttäytymiseen?*
- *Miten sähköautojen lataus saadaan ajoitettua matalien kuormitusten hetkille?*
- *Mitä mahdollisuuksia verkkoyhtiöllä on edistää joustavaa sähköautojen latausta?*

Jouston tarkastelu keskittyy tässä työssä erityisesti sähköautojen älykkääseen lataamiseen kotona ja asiakkaiden mahdollisuuteen toteuttaa älykästä latausta. Pienemmässä osassa on työpaikoilla ja julkisilla paikoilla tapahtuva lataaminen. Tarkasteluissa ei pureuduta perusteellisesti muiden sähkökuormien joustomahdollisuuksiin. Yleisesti joustoja joudutaan tekemään teknisten ja taloudellisten syiden vuoksi. Tekniset syyt voivat liittyä esimerkiksi kiinteistön sähköjärjestelmän vähäiseen vapaaseen kapasiteettiin, jolloin joustamalla sähkökuormissa kysyntähuippujen aikaan voidaan välttää sähköjärjestelmän ennenaikaisesta uusimisesta aiheutuvat investointikustannukset. Taloudellisin perustein ohjatuilla joustotoimenpiteillä tarkoitetaan huipputehon leikkaamiseen perustuvaa ohjausta, jolloin asiakas hyötyy ensisijaisesti pienentyneistä tehomaksuista. Tuntienergiaan perustuvan hinnoittelun perusteella tehtävällä ohjauksella asiakas saa taloudellista hyötyä siirtämällä sähkönkulutustaan edullisimmille sähkönhinnan tunneille. Tässä työssä ei tarkastella ulkoiseen pyyntöön perustuvaa joustoa, jossa joustoresurssia operoiva toimija maksaisi korvauksen joustoresurssin omistajalle.

1.3 Diplomityön rakenne

Diplomityön luvussa 2 kuvataan energiamurroksen vaikutus liikenteen sähköistymiseen. Energiamurroksen taustalla on poliittiset valinnat ja päätökset, joiden avulla edistetään

ratkaisuja päästövapaaseen energiankäyttöön ja -tuotantoon. Liikenteen sähköistyminen on yksi keskeinen energiamurroksen ilmentymä niin Suomen kuin Helsingin tasolla.

Kiinteistöjen älykkäiden sähköjärjestelmien mahdollisuuksia ja erilaisia tapoja ladata sähköauto älykkäästi tehonhallinnan näkökulmasta tarkastellaan yleisellä tasolla luvussa kolme. Myös latauksen hintaan vaikuttavat investointi- ja operatiiviset kustannukset ovat osa tehtyä analyysiä.

Luku neljä esittelee työssä käytetyt tutkimusmenetelmät ja aineistot. Työn suorituksen keskiössä ovat Helen Sähköverkon aiemmat tutkimukset ja havainnot asiakkaiden sähkönkäytöstä sekä asiakkaille suunnattu asiakaskyselyn toteutus.

Helsingin sähköverkko ja kulutuksen jakautuminen vuorokauden eri ajoille havainnollistetaan luvussa viisi. Luvussa tarkastellaan erilaisten käyttäjäryhmien kulutusprofiileihin soveltuvia lataustapoja, jotka edistävät sähköverkon huipputehonhallintaa. Perusperiaatteena on latauksen ajoittaminen vähäisen kulutuksen ajanhetkiin. Tarkastelu keskittyy erityisesti erilaisten asuinkiinteistöjen ratkaisuihin sekä työpaikkakiinteistöistä toimisto- ja palvelukiinteistöjen ratkaisuihin.

Luvuissa 6–8 käsitellään asiakaskyselyn vaikuttavimmat tulokset sekä muodostetaan asiakkaista erilaisia lataajaprofiileja kulutuskäyttäytymisen perusteella. Lopputuloksina ja yhteenvetoina saadaan muodostettua asiakkaiden latauskäyttäytymiseen vaikuttavat seikat, joiden perusteella Helen Sähköverkko voi kehittää asiakkaille tarjoamiaan verkkopalveluita niin toiminnallisuuksien kuin hinnoittelun osalta. Liitteessä 1 on koko asiakaskysely ja liitteessä 2 asiakaskyselyn tulokset koko vastaajajoukon osalta.

2 Energiamurros ja liikenteen sähköistyminen

Huoli elinkelpoisen maapallon säilymisestä on käynnistänyt kilpajuoksun ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Jotta voimme ymmärtää paremmin energiamurroksen ja siihen liittyvän liikenteen sähköistymisen ympärillä tapahtuvan nopean muutoksen, meidän täytyy ensin ymmärtää poliittisten päätösten aikaansaamat muutokset yhteiskunnassa. Tämä luku käsittelee energiamurrosta ja liikenteen sähköistymistä. Lisäksi tarkastellaan Helsingin alueen energiamurroksen, liikenteen kehittymisen ja ilmastotavoitteiden tilaa.

2.1 Energiamurros

Suomen hallituksen hallitusohjelman tavoitteena on luoda Suomesta hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä ja ensimmäinen fossiilivapaa hyvinvointiyhteiskunta. Tavoitteen saavuttamisen edellytyksenä on merkittävät, nopeasti toteutetut päästövähennykset yhteiskunnan kaikilla sektoreilla. Hallitus pyrkii vaikuttamaan kokonaisvaltaisesti juurisyihin ilmastonmuutoksen, luonnon monimuotoisuuden kadon ja ylikulutuksen taustalla. Vaikuttamisen keinovalikoiman ytimessä ovat muun muassa ilmastopoliittiset päätökset ja lähes päästötön sähkön- ja lämmöntuotanto 2030-luvun loppuun mennessä. [16]

Työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) energia- ja ilmastostrategian mukaan ilmaston lämpenemistä aiheuttavista kasvihuonepäästöistä noin 80 % on peräisin energian tuotannosta ja kulutuksesta mukaan lukien liikenne. Tämän vuoksi energiapolitiikka on hyvin vahvasti sidoksissa ilmastopolitiikan kanssa. Suomessa on panostettu määrätietoisesti energiatehokkuuteen ja energiansäästöön lähes 50 vuoden ajan. Toimia tehdään kaikilla sektoreilla monilla erilaisilla keinoilla. [17]

Strategian mukaan yhteiskunnassa ja energiajärjestelmässä tarvittavat muutokset toteutuvat vain mittavien investointien kautta. Vakaa ja ennustettava toimintaympäristö mahdollistaa tarvittavia investointeja puhtaisiin teknologioihin sekä suomalaisen teknologian kehittymisen sekä kotimaisille että kansainvälisille markkinoille. Luonnollisesti toimijoiden pitää varautua ja valmistautua uusien teknologioiden laaja-alaiseen käyttöönottoon. Teknologioiden

kehitys on nopeampaa kuin aiemmin, varsinkin jos tuotteille tulee kaupallista kannattavuutta.

TEM:n asettaman Älyverkkotyöryhmän loppuraportti *Joustavasta ja asiakaskeskeisestä sähköjärjestelmästä* esittelee konkreettisia toimenpiteitä, joilla älykäs sähköjärjestelmä luo mahdollisuuksia kulutusjoustoille ja toimintamalleille. Loppuraportti pyrkii selkeyttämään eri markkinatoimijoiden rooleja sekä asettamaan tavoitteita sähköjärjestelmien joustomahdollisuuksille. Lähtökohtaisesti kulutusjoustot ja sähkövarastojen hallinnointi kuuluvat markkinatoimijoille, ei sähköverkonhaltijalle. Toimivien sähkömarkkinoiden tavoitteena on luoda mahdollisuuksia uusille toimijoille markkinaehtoisesti. Työryhmä näkee sähkösiirron tehomaksukomponenttien käyttämisen mahdollisuutena asiakkaille vaikuttaa siirtolaskuunsa. Energiayhteisöihin ja isompien asiakasryhmien aggregointiin suhtaudutaan positiivisesti. Uusiin älymittareihin on kaavailtu nykyisiä mittareita laajemmat toiminnallisuudet [44]. Mittalaite voi tukea kuormien joustamista kahdella eri tavalla. Ensimmäinen tapa on nykyisistä mittareista tuttu kuormanohjausrele esimerkiksi lämmityksen päälle kytkeytymiseksi halvemman yösähkön ajaksi. Toisena ominaisuutena uudet älymittarit tarjoavat tiedonsiirtorajapinnan mahdollistamaan reaaliaikaisten mittaustietojen siirtämisen asiakkaan kotiautomaatiojärjestelmään kysyntäjousto- tai älykotisovelluksille. Helen Sähköverkon uudet AMR-mittarit mahdollistavat mm. hetkellisten pätö-, loistehojen, jännitteiden ja virtojen mittausarvojen siirtämisen tiedonsiirtoväylää pitkin asiakkaalle [42]. Valtioneuvoston asetus sähkötoimitusten selvityksestä ja mittauksesta edellyttää mittauslaitteilta kuormanohjauskykyä. Enintään 3x63A kohteisiin, joissa on yksi käyttöpaikka, mittalaitteiseen täytyy olla saatavilla ohjaustarkoitukseen kykenevä kuormanohjausrele. [43][44] Rakennusten teknisten järjestelmien pitää jatkossa tukea älykkäästi joustavaa sähkönkäyttöä. [18]

Älyverkkovision yhdeksi merkittäväksi näkökulmaksi voidaan katsoa asiakkaan nostaminen kaiken tekemisen keskiöön. Näkökulman tavoitteena on luoda asiakkaille mahdollisuus tehdä arvovalintoja, tuottaa energiaa sekä mahdollisuus kohtuullisiin alhaisiin sähkön käytön kustannuksiin. Jakeluverkonhaltijan vastuulla on hyvin toimintavarma kaksisuuntainen sähkönjakelu. Sähkönmyyjille ja muille palveluntarjoajille luodaan innovatiiviset ja toimivat puitteet liiketoiminnan ja palveluiden kehittämiselle. [39]

2.2 Energiamurros Helsingissä

Helsingin kaupunki on sitoutunut vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä 80 % vuoteen 2030 mennessä. Tavoitteeseen päästään etenkin rakennuksissa tehtävillä energiatehokkuus- ja lämmitysratkaisutoimenpiteillä, vähäpäästöisillä liikenneratkaisuilla ja lisäämällä uusiutuvan energian osuutta lämmön- ja sähköntuotannossa. Tämän mahdollistamiseksi kaupunki päivittää parhaillaan Hiilineutraali Helsinki -toimenpideohjelmaa uuden tavoitteen mukaiseksi ja lisää merkittävästi toimenpiteiden vaikuttavuutta. [8]

Hiilineutraali Helsinki -toimenpideohjelman mukaan Helsingin kasvihuonepäästöistä 56 prosenttia muodostuu lämmityksestä, 24 prosenttia liikenteestä ja 15 prosenttia sähköstä. Loput 5 prosenttia koostuu jätteiden käsittelyn, teollisuuden ja työkoneiden sekä maatalouden päästöistä. Kaupungin ja Helen Oy:n yhteistoiminta luo edellytykset hiilineutraalille Helsingille. Kaupunkilaisten, yritysten ja valtion toimenpiteet ovat tarpeellisia tavoitteiden saavuttamisen kannalta. Osapuolet ovat sitoutuneet avoimeen toimenpideohjelman toteuttamiseen. Päätöksentekoon kuuluu näkökulmien ja uuden tiedon kerääminen. Helsingin ilmastoteot-sivusto tarjoaa välineen löytää eri osapuolet ja mahdollistaa toimia yhteisten tavoitteiden eteen [40]. Hiilineutraalisuus saavutetaan vähentämällä 80 % Helsingin päästöistä ja loput päästöistä kompensoidaan. Toimenpideohjelma rakentuu kestävien liikenneratkaisujen, puhtaan energiantuotannon ja energiatehokkaiden rakennusten toimenpideohjelmiin. [19]

2.3 Liikenteen sähköistyminen

Liikenteen päästövähennystavoitteiden saavuttaminen on merkittävä osakokonaisuus, jonka avulla Suomessa tavoitellaan mittavia päästövähennyksiä. Liikenneasioiden toimenpiteet kuuluvat Liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) alaisuuteen. LVM:n fossiilittoman liikenteen tiekartta esittää liikenteeseen merkittäviä päästövähennyksiä. Kotimaan liikenteen päästöt halutaan vähintään puolittaa vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoden 2005 tasoon. Täysin fossiilitonta liikennettä tavoitellaan vuoteen 2045 mennessä. [20]

Tiekartta pitää sisällään kolme vaihetta. Ensimmäisessä vaiheessa liikenteen päästöttömyyttä edistetään erilaisten tukien ja kannustimien avulla, esimerkiksi täyssähköautojen hankintaan ja latausinfraan kohdistetuilla tuilla. Toisen vaiheen toimenpiteitä ei ole vielä

lopullisesti päätetty, mutta tällä hetkellä toimenpiteinä nähdään ensimmäisen vaiheen toimenpiteiden vaikutusten kasvattamisessa ja liikenteen palveluiden edistämisessä. Kolmas vaihe on tässä vaiheessa ehdollisena tiekartalla, jossa on tarkoitus ottaa kantaa ja päättää kansallisten lisätoimien tarpeista liikennettä kohtaan EU-tasoisten toimenpiteiden lisäksi. Tiekartan toteutuksessa on oltava johdonmukainen ja huolehdittava toimivan toimenpidekokonaisuuden etenemistä, jotta päästövähennykset voidaan saavuttaa. [20]

Energia- ja ilmastostrategian mukaan ajoneuvojen hankinnassa suositaan verotuksessa vähäpäästöisiä ja energiatehokkaita ajoneuvoja. Liikenteen energiatehokkuuden parantamisen edellytys on uusiutuva autokanta. Liikenteen sähköistyminen tuo helpotusta liikenteen energiatehokkuuteen ja päästövähennyksiin. Ensirekisteröidyistä autoista sähköautojen (täyssähkö- ja hybridiautot) osuus oli vuonna 2019 noin 7 %. Vuonna 2020 osuus oli noin 18 % ja 2021 jo noin 32 %. Vuoden 2021 lopulla Suomen autokannasta sähköautoja oli noin 3,6 %. [17]

EU:n autovalmistajia velvoittava CO2-raja-arvolainsäädäntö toimii pääajurina liikenteen nopeassa sähköistymisessä. Euroopan komission kesällä 2021 antaman ehdotuksen mukaan kaikkien uusien henkilöautojen tulisi olla nollapäästöisiä vuonna 2035, joko täyssähkö- tai vetyautoja. Ehdotuksen mukaisin tavoittein Suomessa olisi vuonna 2030 noin 750 000 sähkökäyttöistä henkilöautoa, noin 40 000 sähkökäyttöistä pakettiautoa ja noin 8 000 sähkökäyttöistä kuorma-autoa ja bussia. [17]

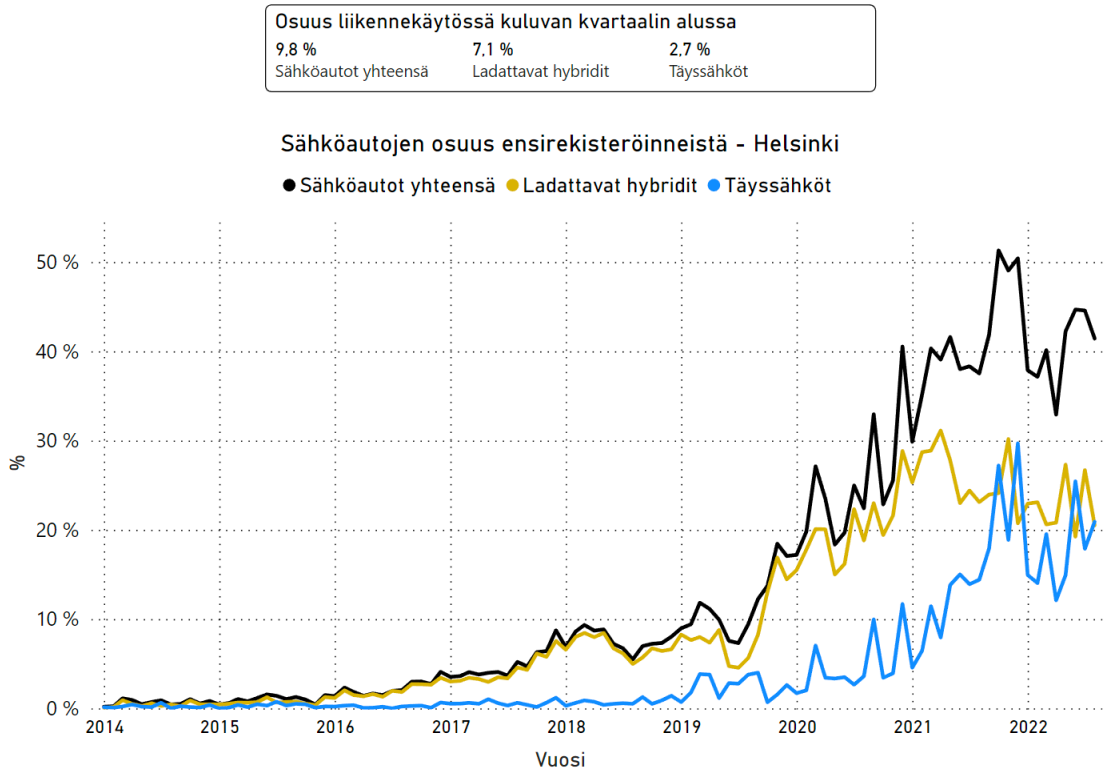
2.4 Sähköinen liikenne Helsingissä

Helsinki lähiseutuineen kasvaa voimakkaasti. Helsingin väkiluvun on arvioitu nousevan vuoteen 2050 mennessä 825 000 asukkaaseen ja koko seudun väkiluvun lähes 2 miljoonaan [21]. Kaupungin väestömäärän kasvaessa liikkumisen määrä lisääntyy. Toisaalta kaupungin tiivistyessä liikenteen käytettävissä oleva tila ei kasva. Tehokas liikennejärjestelmä tiiviissä kaupunkiympäristössä kykenee liikuttamaan mahdollisimman paljon ihmisiä ja tavaroita mahdollisimman pienessä tilassa. Jotta kasvavan kaupungin liikenne säilyy toimivana, on yhä useammat matkat tehtävä tehokkailla ja tilaa säästävillä kulkumuodoilla – kävellen, pyörällä ja joukkoliikenteellä. Kestävän kehittyvän liikenteen tavoitteena on saavuttaa viihtyisä kaupunkiympäristö, hyvä liikennemuotojen saavutettavuus ja sujuva liikkuminen sekä ympäristöhaittojen vähentäminen. *”Suunnittelun yleisenä periaatteena on huolehtia*

ensimmäisenä kävelijöiden tarpeista. Tämän jälkeen huomioidaan järjestyksessä pyöräliikenteen, joukkoliikenteen, elinkeinoelämän kuljetusten ja henkilöautoilun tarpeet". [22]

Helsingin pysäköintipolitiikan linjausten perusteella vähäpäästöisen liikenteen tärkein toimenpide on kattavan sähköautojen latausverkoston toteuttaminen Helsinkiin. Ensimmäinen sähköautojen lataukseen suunniteltu pysäköintipaikka avattiin 2012. [23]

Seuraavassa kuvassa on esitetty sähköautojen ensirekisteröintien osuus Helsingissä. Lokakuussa 2021 sähköautojen osuus kaikista uusista käyttöönotetuista henkilöautoista oli 51 %. Vuonna 2022 sähköautojen osuus on ollut 40 % luokkaa. Merkillepantavaa rekisteröintiosuuksissa on hybridiautojen osuuden kyllästyminen ja kääntyminen maltilliselle laskuuralle. Täyssähköautojen osuus on kasvanut aiempina vuosina maltillisemmin, mutta viime vuonna sähköautojen osuus kasvoi merkittävästi saavuttaen hybridiautojen osuuden.



Kuva 2.1 Sähköautojen osuudet käyttöönotetuista henkilöautoista kuukausittain, asuinkunta Helsinki. Kuva [4] ja data [24]

Helsingin kaupungin liikennetutkimuksen tilastojen mukaan vuonna 2021 Helsingissä oli liikennekäytössä reilut 220 000 henkilöautoa, rekisteröitynä noin 282 000 henkilöautoa. Tuhatta asukasta kohden henkilöautoja on liikennekäytössä noin 330 kpl. [25] Vuoden 2022 toisen kvartaalin lopussa Helsingissä oli liikennekäytössä 6 091 täyssähköautoa ja 16 229

ladattavaa hybridiä. Yhteensä sähköautoja on liikennekäytössä 22 320 kpl, mikä on noin 10 % kaikista Helsingin liikennekäytössä olevista henkilöautoista. [24]

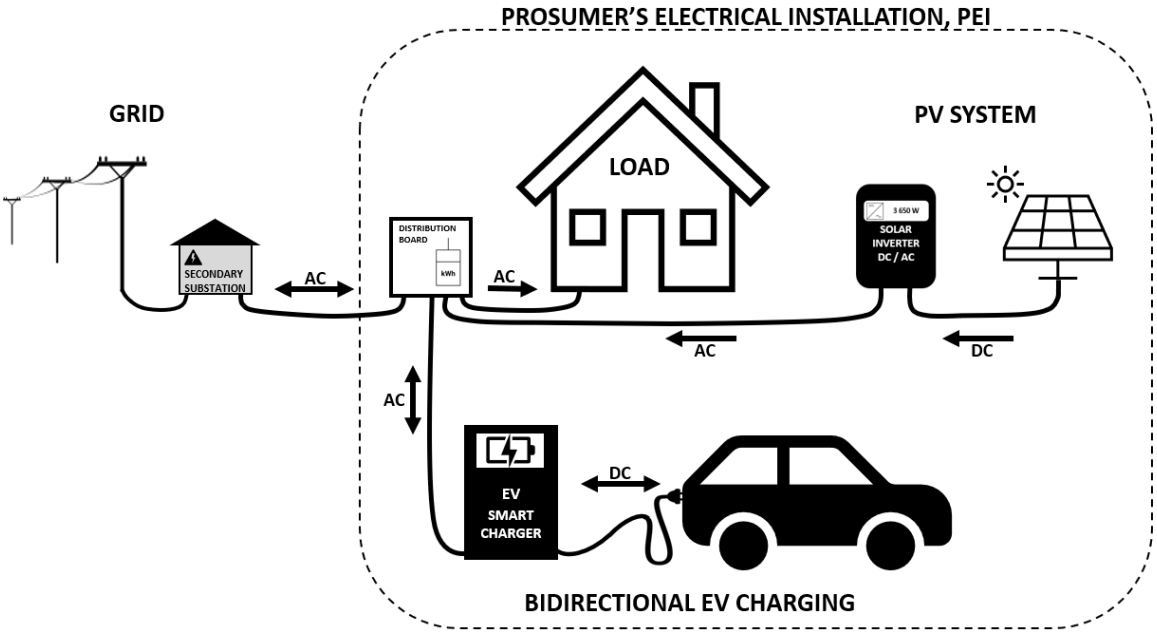
Helsingissä on yksi Suomen laajimmista sähköautojen latauspisteiden verkostoista. Latauspaikkoja löytyy runsaasti, pelkästään katujen pysäköintipaikoilla on tällä hetkellä noin 100 latauspistettä. Verkostoa on kehitetty julkisten latausasemien yleissuunnitelman pohjalta. Vuoden 2022 aikana kilpailutettiin noin 50 uutta latausasemaa, jotka on tarkoitus toteuttaa vuoden 2023 aikana. Kadunvarsipisteiden lisäksi satoja julkisia latauspisteitä löytyy kauppakeskuksista, liikuntapaikoista ja parkkihalleista. Yksityiset ja puolijulkiset latauspisteet kattavat valtaosan latauspisteistä, ja näitä tukemaan kaupunki tavoittelee julkisten latauspisteiden osuudeksi 10 prosenttia. [26]

3 Älykäs lataus

Latausjärjestelmien määrä ja kuormanohjauskyvykkyydet (älykkyys) kehittyvät sähköautoilun yleistymisen rinnalla. Älykäs lataaminen hyvin suunniteltuna ja toteutettuna mahdollistaa kustannustehokkaan latauksen. Tässä luvussa käsitellään älykkään latauksen käyttötapauksia ja hyötyjä. Tarkastelussa huomioidaan Helsingin alueen toimintaympäristön erityispiirteet ja asiakkaiden mahdollisuudet omalla latauskäyttäytymisellään edistää sähköjärjestelmän kannalta tarpeellista kulutuksen joustoa.

3.1 Latausjärjestelmät asiakkaan älykkäässä sähköjärjestelmässä

Älykäs sähköjärjestelmä mahdollistaa käyttäjälle moninaiset mahdollisuudet kuormanhallintaan. Kuvassa 3.1 on esitetty periaate pientaloasiakkaan älykkäästä sähköjärjestelmästä *(prosumer's electrical installation, PEI)*, jossa hyödynnetään aurinkosähkön ja kaksisuuntaisen latausjärjestelmän mahdollisuuksia. Jakeluverkon muuntamoon *(secondary substation)* liitetty sähköliittymä mahdollistaa tehon siirtymisen sekä jakeluverkosta asiakkaan järjestelmään (asiakas kuluttaa tehoa jakeluverkosta) että asiakkaan järjestelmästä sähköverkkoon (asiakas tuottaa tehoa jakeluverkkoon). Asiakkaan sähköpääkeskus *(distribution board)"* toimii älykkään sähköjärjestelmän solmupisteenä, johon on liitetty sähköautojen latausjärjestelmä, aurinkosähköjärjestelmä ja rakennuksen sähkökuormat. Kaksisuuntainen latausjärjestelmä mahdollistaa sähköauton akun lataamisen (akustoon syötetään tehoa sähkökeskukselta) sekä tehon syöttämisen sähköauton akusta sähkökeskukselle. Aurinkosähköjärjestelmä *(PV system)"* syöttää tehoa sähkökeskuksen kautta rakennukseen, latausjärjestelmälle tai jakeluverkkoon ajanhetken tehotarpeen mukaan.



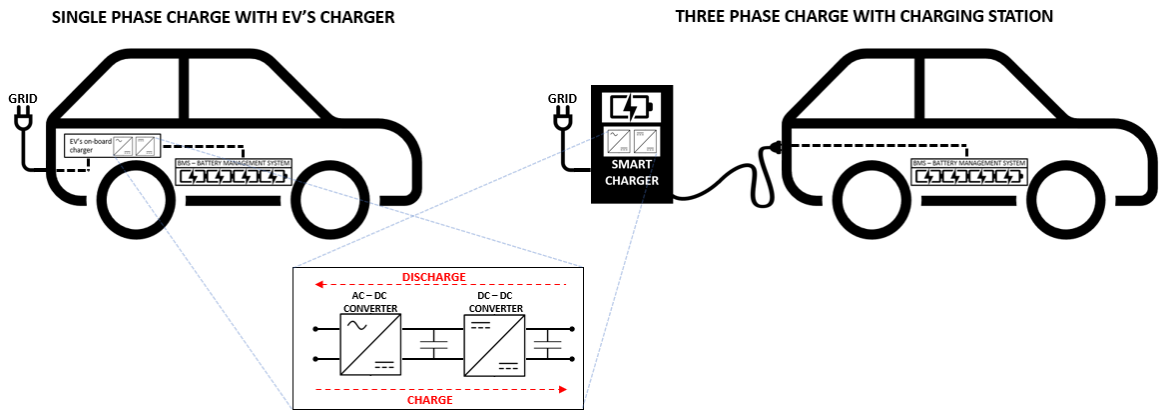
Kuva 3.1 Jakeluverkkoon liitetyn pientalon älykäs sähköjärjestelmä, jossa on kaksisuuntainen sähköautojen latauspiste ja aurinkosähköjärjestelmä.

Latauslaitteet voidaan jakaa *ei-älykkäisiin* ja *älykkäisiin* latauslaitteisiin. Ei-älykäs latauslaite on tyypillisesti tavallinen yksivaiheinen pistorasia, jonka mahdollistama latausteho on varsin maltillinen. Sähkösuunnittelun tavoitteena on toteuttaa sähköasennukset ja -laitteistot siten, että ne ovat turvallisia käyttää koko laitteen elinkaaren ajan [32]. Pistorasian ylikuormitussuojana käytetään tavanomaisesti nimellisvirraltaan 10 tai 16 A virtaa kestävää sulaketta. Lataustehona virtarajat ovat noin 2,3 ja 3,7 kW samassa järjestyksessä. Tavanomaisia pistorasioita ei ole suunniteltu jatkuvaan pitkäaikaiseen kuormitukseen sulakkeen mahdollistamalla täydellä teholla. Sen vuoksi Suomessa pitkäaikaisessa latauksessa pistorasian kuormitusvirta on rajattava 8 ampeeriin SFS-EN 62752 standardin mukaan [27]. Osaa sähköautoja voidaan ladata myös kolmivaiheisesta voimavirtapistorasiasta. Käytännössä lataaminen pistorasiasta alkaa, kun latauskaapeli kytketään pistorasiaan ja ajoneuvo antaa lataukselle käynnistysluvan. Nimensä mukaisesti ei-älykäs latauslaite ei sisällä itsessään latauskuorman ohjaustoiminnallisuuksia. Pistorasialataamisen ohjaaminen vaatii siten erillisen ratkaisun kuormienhallinnan mahdollistamiseksi, esimerkiksi lataus voidaan ajastaa auton sovelluksen avulla.

Älykkäät latauslaitteet voidaan jakaa edelleen yksisuuntaisiin (*unidirectional*) latauslaitteisiin, joissa teho kulkee ainoastaan yhteen suuntaan (latauslaitteelta autoon) ja kaksisuuntaisiin (*bidirectional*) latauslaitteisiin, joissa teho voi kulkea molempiin suuntiin. Älykkäiden

latauslaitteiden hyödyt tulevat taloudellisista, teknisistä ja käytettävyyteen liittyvistä seikoista. [29]

Seuraavassa kuvassa on esitetty yksinkertaistettu periaate sähköauton lataamisesta yksivaiheisesta pistorasiasta (kuvassa vasemmanpuoleinen auto), jossa vaihtojännite muunnetaan auton oman latauselektroniikan avulla tasajännitteelle (tasasuuntaus) ja edelleen auton akuston lataamiseen soveltuvalle tasajännitealueelle. Kolmivaiheinen lataus kaksisuuntaisella älykkäällä latauslaitteella (kuvassa oikeanpuoleinen auto) toimii periaatteena samalla tavalla, mutta vaihtojännitteen muuntaminen tasajännitteeksi tapahtuu erillisessä latauslaitteessa ja latauslaite syöttää tasajännitettä suoraan auton akustoon [30].



Kuva 3.2 Yksinkertaistettu rakenne sähköauton lataamisesta yksivaiheisesta pistorasiasta ja kolmivaiheisesta latauslaitteesta.

Yksisuuntaisen latauksen käyttötapauksessa tyypillinen tehonjousto tapahtuu laustehon sääntelyn avulla, jolloin asiakkaan kuormitus säätyy eri ajanhetkillä kokonaiskuormituksen, verkontaajuuden tai sähkön hinnan mukaan. Esimerkiksi asiakas voi haluta rajoittaa sähköjärjestelmänsä huipputehon tiettyyn arvoon. Rajoittaminen toteutetaan joustavien kuormien, kuten auton lataus, avulla. [29] Isossa mittakaavassa latauspalvelun operaattori voisi tarjota asiakassopimustensa kautta suuren määrän autoja joustavaksi kuormaksi, jolloin verkon tehotasapainoa voitaisiin säätää näiden autojen laustehoa säätämällä [34]. Latauspalvelun aggregointia ei käsitellä laajemmin tässä työssä.

Kaksisuuntaisesta latauksesta käytetään yleisesti muutamia eri nimitystä riippuen käyttötapauksesta. V2G (*Vehicle-to-grid*), autosta verkkoon, on nimitys, joka yleisesti kuvaa tehon syöttämistä auton akusta jakeluverkkoon päin tai päinvastoin. Tämän toiminnallisuuden yhteyteen liitetään usein sähköverkon huipputehon tarve, jonka kattamiseksi auton omistaja / sähköyhtiön asiakas saa taloudellista kompensaatiota akun käyttämisestä verkon tehotarpeen

tyydyttämiseen. Toinen käyttötapaus tunnetaan nimellä V2H (*Vehicle-to-Home*), autosta kotiin, jossa hyötynäkökulma asiakkaalle on käyttää auton akkua oman tehotarpeen kattamiseksi jakeluverkon sijaan. Tällöin vähennetään hetkellisesti ostetun energian käyttöä. Asiakas molemmissa tapauksissa auttaa energiajärjestelmän tehonhallinnassa tuottamalla tai leikkaamalla tehoa älykkäästi joustavan latausjärjestelmän avulla. Tässä työssä keskitytään erityisesti V2H-käyttötapauksen tuomiin hyötyihin. [28]

V2H-käyttötapauksessa latauslaiteeseen yhdistetty tehonmittauslaite voi seurata sähkökeskuksella liittymispisteellä tehon määrää ja suuntaa. Jos tehoa alkaa virtaamaan jakeluverkosta rakennukseen päin, saa älykäs laturi tiedon, kuinka paljon tehoa auton akusta pitää purkaa (*discharge*) kompensoimaan rakennuksen tehontarvetta. Tässä tilanteessa asiakas saa rakennukseensa sähköä auton akusta, ja voi optimoida omaa verkosta otettua tehoa sähkönhinnan vaihteluiden mukaan. Päinvastaisessa tilanteessa, jossa asiakkaan sähköjärjestelmään kytketty aurinkosähköjärjestelmä alkaa syöttämään tehoa jakeluverkkoon päin (rakennuksessa ei enää tehotarvetta), alkaa järjestelmä lataamaan (*charge*) ensin auton akkua täyteen. Vasta kaiken tehontarpeen tyydyttyä asiakkaan järjestelmässä, ohjataan aurinkosähkön ylimääräinen tuotettu teho jakeluverkkoon. [28]

Muita yleisesti käytettyjä termejä autojen yhteyksistä ympäristöön ovat V2X (*Vehicle-to-Everything*), joka kuvastaa kaikkia mahdollisia kohteita, joihin auton avulla voidaan vaikuttaa tai päinvastoin kohteet voivat vaikuttaa ajoneuvoon. Tämä sisältää sähköenergian siirtämisen lisäksi erilaiset tietoliikenteelliset kokonaisuudet, muun muassa autojen välisen kommunikaation ja autonomisen ajamisen. [31] Auton käyttäjien kannalta eräs varsin hyödyllinen ominaisuus on kuvattu V2L (*Vehicle-to-Load*) käyttötapauksessa, jossa auton akustosta syötetään tehoa suoraan kuormituskohteeseen. V2L-käyttötapaus käsitetään ratkaisuna, jossa käyttökohde ja auto ovat saarekekäytössä. Sähkökatkon aikana auton akusto syöttää tehoa kotiin latauslaitteen kautta tai latausporttiin kytketyn adapterin avulla syötetään sähköä sähkökäyttöiseen laitteeseen. Esimerkiksi Hyundai Ioniq5:n V2L-ratkaisu mahdollistaa 3,6 kW tehon syöttämisen. [28][33] V2X- ja V2L-käyttötapauksia ei käsitellä tässä työssä laajemmin.

3.2 Huipputehon hallinta

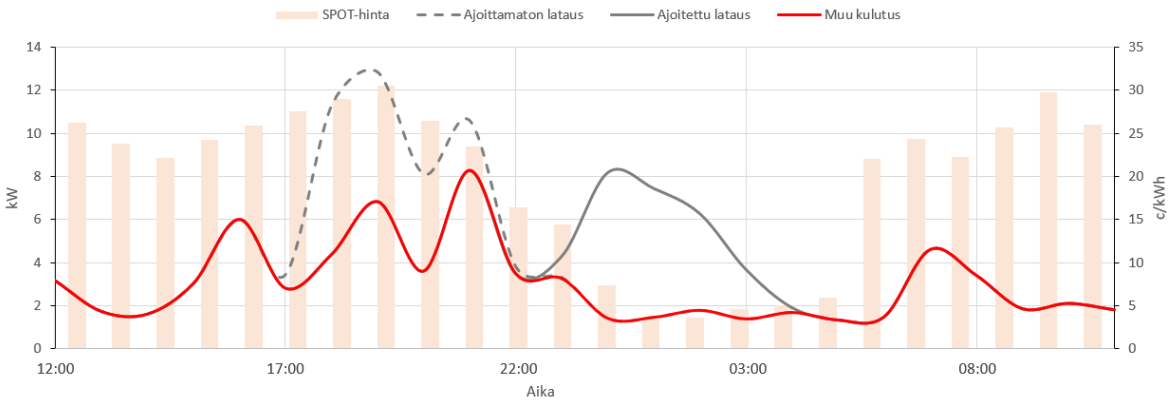
Vuonna 2016 päivitetty maankäyttö- ja rakennuslaki edellyttää, että rakennushankkeet on suunniteltava ja toteutettava siten, että energiaa ja luonnonvaroja kuluu säästeliäästi. Laissa edellytetään rakennuksiin asennettavan riittävät talotekniset järjestelmät säätö- ja mittauslaitteineen, joilla energiankulutus ja tehontarve käyttötarkoituksen mukaisesti käytettäessä jää vähäiseksi ja energiankulutusta voidaan seurata. [35] Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017 edellyttää, että ”s*uunnittelussa on otettava huomioon mahdollisuuksia sähkön huipputehon tarpeen pienentämiseksi ja sähkötehon ohjattavuuden parantamiseksi”* [36]. Rakennushankkeen tilaajan vaatimukset ja tavoitteet sekä rakentamisen säädökset ohjaavat osaltaan rakennusten sähköjärjestelmien mitoittamista. Sähkö- ja automaatiojärjestelmien suunnittelulle ei ole asetettu säädöksissä erillisiä vaatimuksia ja tavoitteita, vaan ne on sisällytetty osaksi laajempaa suunnittelukokonaisuutta [35]. Sähköasennusten turvallisuudesta säädetään sähköturvallisuuslain kautta [38].

Sähkösuunnittelun yksi tärkeimmistä tavoitteista on suunnitella ja mitoittaa järjestelmät siten, että ne vastaavat sähkönkulutuksen tarpeisiin ja mahdollistavat järjestelmän muuntautumiskyvyn tavoitellun käyttöiän ajan kohtuullisin kustannuksin sekä antavat edellytykset kustannustehokkaille laitevalinnoille sähköjärjestelmän toteuttamiseksi [37]. Alimitoitetuissa järjestelmissä tehokapasiteettia ei ole riittävästi käytettävissä, jolloin ne rajoittavat ja hankaloittavat järjestelmän käyttöä. Ylimitoitetuissa järjestelmissä tehokapasiteettia jää runsaasti käyttämättä, jolloin järjestelmien kustannustaso nousee hankinta- ja käyttövaiheessa. Kiinteistöjen sähkökuormista osaa voidaan ohjata ja osaa ei. Ei-ohjattavat kuormat muodostavat kulutuksen alarajan eri tunneille. Ei-ohjattavat kuormat ovat tyypillisesti jatkuvasti käytössä, kuten jääkaapit ja pakastimet. Ohjattavien kuormien avulla hallitaan tehon ylärajaa, usein niin matalaksi kuin on mahdollista. Ohjattavia kuormia ovat esimerkiksi lämminvesivaraajat, sähkölämmityslaitteet, lämpöpumput ja sähköautojen latauspisteet. Tarkastellaan seuraavaksi tarkemmin erilaisia tapoja hallita huipputehoa sähköautojen älykkäällä latauksella.

3.2.1 Kuormituksen ajoittaminen

Sähkön kulutusta voidaan ajoittaa tietoisesti eri ajanhetkille erilaisten tavoitteiden ja valintojen perusteella. Sähkön kulutuksen ajoittaminen mahdollistaa huipputehon alentamisen ja rahan säästämisen käyttäjälle [46]. Eräs yleisimmistä kuorman ajoittamisen käyttötapauksista on auton lämmityksen ajastaminen töihin lähtöä edeltäville aamun matalan sähkökulutuksen tunneille, jolloin pörssisähkön tuntihinta on tyypillisesti matalaa. Auton moottorin esilämmitin on sähkökäyttöinen lämmityselementti, jonka teho vaihtelee 400–2300 W välillä. Autoilija ajaa kotiin tullessa auton pysäköintiruutuun ja kytkee lohkolämmittimen johdon autoon ja pistorasiaan. Auton lämmitykseen tarkoitettu pistorasia on tavanomaisesti varustettu ajastimella. Usein lämmittimen ajastaminen tehdään kotiin saapumisen yhteydessä. Lämmitys ajastetaan lämpötilasta riippuen käynnistymään 0,5–3 h ennen ajoon lähtöä. Auton lämmittämisen tavoitteena ovat polttomoottorin helpompi käynnistyminen kylmällä ilmalla, polttoaineen kulutuksen vähentäminen, pienemmät päästöt ja matkustamon lämpötilan nosto. [45] Lohkolämmittimen käyttöä ohjaa selkeä tarve, josta käyttäjä saa hyötyjä itselleen. Työn alkamisajankohta ja työmatkaan kuluva aika määrittelee ajon alkamisajankohdan. Sääennustusteen lämpötilan perusteella voi arvioida lämmittiminen käyntiajan tarvetta. Näin käyttäjällä on tarvittavat tiedot ajastamisen ajankohdan valinnalle.

Tarkastellaan sähköauton latauksen ajoittamista tilanteessa, jossa autoon on tarve ladata noin 100 km ajoa vastaava 20 kWh energiamäärä. Käytössä on kiinteälatauslaite, jossa kolmivaiheisen latauksen maksimiteholle on rajattu 3x10 A virta.



Kuva 3.3 Ajastamattoman heti aloitetun latauksen ja yöajalle ajastetun latauksien vaikutus kulutukseen maalämpöpientalossa.

Edeltävässä periaatteellisessa kuvassa on esitetty katkoviivalla ajoittamaton lataus, jossa auto ladataan heti kotiin saapumisen jälkeen. Kuvaajasta näkee lataustehon olevan aluksi noin 6 kW, jonka jälkeen se lähtee pienentymään akun täyttyessä. Lataus kestää noin 5 tuntia. Ajoittamaton latauskuorma kerrostuu muun kulutuksen päälle nostaen toteutuneen huipputehon noin 13 kW tasolle. Illan aikana on todennäköisesti valmistettu ruokaa, käyty saunassa tai siihen on sisältynyt muuta toimintaa, jota on hankala siirtää yöaikaan, kun nukutaan. Kuvassa harmaalla viivalla esitetty ajoitettu lataus alkaa puolenyön aikaan. Muu kulutus on jo pienentynyt ihmisten mentyä nukkumaan. Sähköauton latauksen ajoittaminen on helppo ja vaivaton toimenpide. Auton lataaminen ei vaadi ihmisten aktiivista läsnäoloa, jolloin se voidaan hyvin ajastaa yöajalle. Ajoitettu lataus yön pienemmän kuormituksen ajanhetkille ei nosta vuorokauden huipputehoa tämän esimerkin tapauksessa, vaan huippukulutus jää noin 8 kW tasolle. Illan aikana muu kulutus nousee korkeimmillaan samalle 8 kW tasolle. Tässä esimerkissä huipputeho toteutui noin 5 kW matalampana, joka on merkittävän suuri pientalojen tyypillisiin huipputehoihin verrattuna. Mitä paremmin tunnetaan oma käyttöpaikan kulutus, sitä paremmin voi tehdä tietoisia valintoja kuormien ajoittamiseksi eri ajanhetkille.

Kuormituksen ajoittamista voidaan tehdä sähköhinnan ohjaamana. Älykkäät latausjärjestelmät mahdollistavat vaihtuvien sähkönhintojen huomioimisen latauksen toteutuksessa [46]. Nykyisin on tarjolla pörssisähkösopimuksia, joissa sähkön hinta vaihtelee sähköpörssin markkinahinnan mukaan [48]. Pörssisähkön hinnat ovat tyypillisesti edullisia iltamyöhään, öisin ja viikonloppuisin, jolloin kulutuksen ajoittaminen edullisille tunneille tuo rahallista säästöä verrattuna tilanteeseen, jossa kulutus olisi päivällä. Pörssisähkön hinnat ovat tiedossa edeltävänä päivänä. [47] Edellisessä kuvassa pörssisähkön spot-hinta on edullisinta klo 00:00 – 06:00 välisenä aikana noin 5 c/kWh hintatasossa. Vuorokauden korkeimmat hinnat ovat noin kuusinkertaisella 30 c/kWh tasolla. Ajoittamaton lataus osuu korkean sähköhinnan ajanhetkille, jolloin 20 kWh energian lataamisen hinnaksi muodostuisi 25 c/kWh keskihinnalla noin 5 €. Vastaavasti ajoittamalla lataus 5 halvimmalle tunnille, latauksen hinnaksi jäisi selkeästi maltillisempi noin 1 €. Hinnoissa ei ole huomioitu sähkönsiirron kustannuksia. Tekemällä valintoja käyttäjä voi saavuttaa selkeitä hyötyjä itselleen ilman, että tarvitsi luopua mistään.

Kuormituksen ajoittamisen vaikutuksia on tutkittu erilaisissa tutkimuksissa. Lopputulokset ovat olleet verkon kuormituksen kannalta jopa pahemmat verrattuna ohjaamattomaan

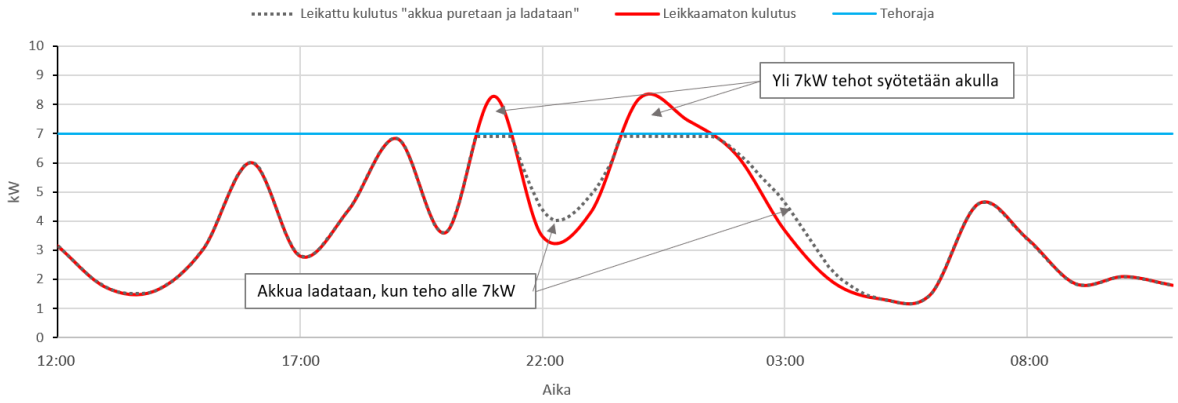
vapaasti tapahtuvaan kuormitukseen. Luvussa 1.1 esitetään J. Korpion tutkimustyön havaintona rakennusten lämmityskuormien ohjauksen aiheuttama kuormitushuippu, joka määrittelee jakeluverkon mitoituksen. Taustalla on aikasiirtoasiakkaille tarjolla oleva kuormanohjauspalvelu, joka ohjaa isot lämmityskuormat päälle edullisemman yöajan siirron alkaessa. [13] Samankaltaisia havaintoja löytyy UK Power Networksin ja Hitachi Vantaran vetämästä tutkimushankkeesta, jossa tarkasteltiin sähköautojen latauksen vaikutuksia sähköverkkoon erilaisten ohjausstrategioiden avulla [49]. Ensihavaintona ohjaamaton lataus ajoittuu tyypillisesti alkamaan klo 17–20 ajoille muodostaen korkeimman kysyntähuipun alkuillalle. Haasteena on latauksen kerrostuminen jo valmiiksi korkean kuormituksen ajanhetkeen. Toisekseen latauksen aloituksen siirtäminen alkamaan kaikilla keskiyön aikaan aiheuttaa lähes kaksikertaisen latauksen huippukuormituksen ja pahimmillaan voi johtaa entistä korkeampaan verkonkuormitushuippuun, vaikka ajoitus osuisi matalamman kuormituksen ajanhetkeen. Onkin vahvasti suositeltavaa välttää ohjaamasta isoja kuormituksia alkamaan samalle ajanhetkelle. Tulevaisuudessa, jos pörssisähkön hintojen suuri vaihtelu jatkuu ja vuorokauden aikana on vähän edullisia tunteja käytettävissä, on merkittävä riski toistaa isojen kuormituspiikkien muodostuminen harvojen tuntien ajanhetkeen. Kolmantena strategiana oli siirtää latauskuormat myöhemmin alkavaksi siten, että lataukset alkavat porrastetusti eri ajanhetkillä. Tässä latauskuormituksen profiili oli samansuuntainen ohjaamattoman latauksen kanssa, huippukuormituksen ollessa jonkin verran korkeampi. Merkittävin ero oli kuormituksen siirtyminen myöhemmälle ajanhetkelle, jolloin latauskuormat kerrostuvat yöajan matalamman verkonkuormituksen ajanjaksoille. Neljäntenä tavoitteena oli toteuttaa lataus pitkäkestoisena matalatehoisena latauksena. Tämän latausprofiilin kuormitushuippu jäi puoleen ohjaamattomaan lataukseen verrattuna ja neljäsosaan verrattuna samanaikaisen latauksen aloittamisen kuormitushuippuun verrattuna. [49]

3.2.2 Kuormituksen leikkaaminen

Kuormituksen leikkaamisella tarkoitetaan tässä työssä sähkövaraston (akku) (*Battery Energy Storage System*) avulla tehtävää huipputehon leikkaamista. Leikkaamisesta käytetään eri nimityksiä englanniksi: *peak shaving*, *load shaving* tai *load levelling.* Kuormituksen leikkaaminen ei ole uusi asia, vaan sitä on tehty vuosikymmenten ajan erilaisilla teknologisilla ratkaisuilla. Suurempitehoisia toteutustapoja ovat esimerkiksi pumppuvoimavarasto (*Pumped Hydro Energy Storage, PHES*) [50], paineilmaenergiavarasto (*Compressed Air*

Energy Storage, CAES) [51] ja vauhtipyörä (*Flywheel Energy Storage*, FES) [52]. Riippumatta käytetystä tekniikasta niille kaikille yhtenäistä on toimintaperiaate, jossa energiavarastosta puretaan energiaa ison kysynnän ajanhetkillä ja energiavarastoon ladataan energiaa matalan kysynnän ajanhetkillä. Polttoainekäyttöiset varavoimalaitteet kykenevät myös kuormituksen leikkaamiseen, mutta niihin ei käyttäjä itse lataa energiaa matalan kysynnän aikana muusta energianlähteestä. Polttoaineen jalostaminen on täysin irrallinen tuotantoketju, jolloin generaattorin tankkaamista ei voida rinnastaa energiavarastoinniksi samalla tavalla kuin edellä mainituissa teknologioissa. [53]

Tarkastellaan kuormituksen leikkaamista edeltävän luvun kaltaisessa tilanteessa, jossa lataus on ajoitettu alkamaan illalla noin 23 aikaan. Auton akku toimii tässä esimerkissä energiavarastona, jonka avulla kuormitushuippu leikataan. Leikkaaminen tehdään yli 7 kW teholle.



Kuva 3.4 Pientalon kulutuksen muuttuminen kuormitusta leikkaamalla.

Edeltävässä kuvassa on esitetty kaksi eri kuormituskäyrää. Punainen esittää leikkaamatonta kulutusta, jonka mukainen kohteen sähkönkulutus olisi ilman auton akun hyödyntämistä sähkövarastona. Harmaa katkoviiva esittää kohteen leikattua kulutusta (verkosta otettu teho), kun auton akkua käytetään leikkaamiseen. Kun kohteen kulutus nousee yli 7 kW rajan, syötetään auton akusta energiaa kohteeseen. Tässä tilanteessa sähköverkosta tulee 7 kW tehoa ja auton akusta loput reilu 1 kW teho. Kun kulutuksen taso putoaa alle 7 kW, akusta ei syötetä tehoa kattamaan kohteen kulutusta. Akun varaus putoaa purkaessa, jolloin sinne tarvitsee ladata käytetty energia takaisin. Harmaa käyrä on tietyissä tilanteissa korkeammalla tasolla kuin punainen. Näillä ajanhetkillä sähköverkosta otetaan lisää tehoa akun lataamiseksi takaisin haluttuun energiatasoon. Sähkön käyttäjälle tämä mahdollistaa huipputehon hallinnan ja rajoittaa kuormitusta sähköverkkoon päin. Jos asiakkaan verkkopalvelun laskutus sisältää tehoperusteisen maksukomponentin, on asiakkaan mahdollista hallita maksujen

suuruutta kuormituksen leikkaamisella. Tässä esimerkissä tehon leikkaaminen toteutui noin 1,3 kW tehon suuruisena.

Akun käyttö vaatii ennalta määritellyt parametrit, jonka mukaan akkua puretaan ja ladataan. Akun purkua ohjaa tehohuipun leikkaamiseen tarvittava teho sekä akun varaustaso. Jos varaustaso ei kata tehotarvetta, käytetään saatavilla olevaa kapasiteettia. Akuissa on yleisesti hallintajärjestelmä ohjaamassa akun käyttöä, jolla voidaan myös estää akulle aiheutumasta pysyvää vahinkoa liian matalan varaustason seurauksena. [54] Akun käytön hyvä suunnittelu auttaa tekemään oikeanlaiset valinnat auton tai erillisen akuston hankintaan. Käytännössä valinta tehdään ostamalla valmis tuote, joka täyttää halutut kriteerit. Yhtenä merkittävänä seikkana on käyttökohteen kuormituksen ymmärtäminen ja mitä hyötyjä akulla voidaan tarjota kuormituksen aiheuttaman kysynnän kattamiseksi. Akun syöttämä teho ja kapasiteetti pitää mitoittaa järkevästi, jolloin kulutuksen leikkaamiseen on riittävästi tehoa riittävän pitkäksi aikaa. Akun ylimitoittaminen puolestaan aiheuttaa tarpeettoman suuret hankintakustannukset eikä järjestelmän käyttöaste nouse järkevälle tasolle.

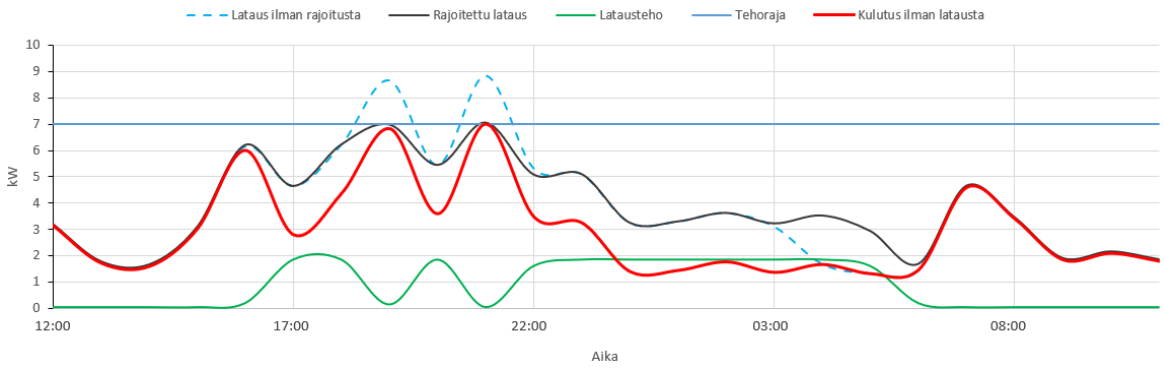
Arvioidaan edellisen kuvan esimerkkikohteen kulutuksia akun mitoittamiseksi tilanteessa, jossa kohteen sähkönkäytön maksuihin vaikuttaa arkipäivisin klo 7–21 välillä tehomaksu. Kuvassa tehorajaksi on asetettu 7 kW. Akun olisi kyettävä syöttämään noin 1,3 kW tehoa jatkuvasti ilta-aikaan noin 1 tunnin aikana. Tässä skenaariossa akun koko ja kyky syöttää tehoa voisi olla pieni. Jos tehoraja muutettaisiin 5 kW tasolle, leikkaamista tarvittaisiin kello 16, 19 ja 21 aikoihin enintään 3,5 kW teholla. Leikkaamisen energiamäärä jää alle 10 kWh. Jos akulle asettaisi vaatimukseksi 7 kW jatkuvan tehon ja 20 kWh kapasiteetin, se mahdollistaisi merkittävän kuormituksen leikkaamisen tämän kohteen päivän kuormituksiin. Yöajalla akku ehdittäisiin ladata takaisin täyteen varaukseen. Nykyaikaisten täyssähköautojen akun kapasiteetti ja lataustekniikka riittäisi sähköisiltä ominaisuuksiltaan täyttämään tämän kohteen sähkövaraston tarpeen.

3.2.3 Kuormituksen rajoittaminen

Sähkönkäytön huippukuormien rajoittamista on käsitelty vuosikymmenten ajan. Eräs pientalojen huippukuorman rajoituskeinoista on ollut sähkölämmityksen vuorottelu. Tällä tarkoitetaan sähkölämmityksen tehonpudotusta samanaikaisesti toisen isotehoisen sähkökuorman, esimerkiksi sähkökiukaan kytkeytyessä päälle. Pientalon sähkökiukaan teho on

tyypillisesti 6–10 kW, mikä voi nostaa huomattavasti pientalon tehontarvetta. Kiukaan ohjauspiiri ohjaa vuorottelua siten, että kiukaan kytkeytyessä päälle pudotetaan muun sähkölämmityksen tehoa alas osittain tai kokonaan. Kiukaan kytkeytyessä pois päältä, sähkölämmitys voi kytkeytyä takaisin päälle. Tällaisella vuorottelulla kohteen huipputeho ei välttämättä kasva. Tämän vuorottelun toteutuksissa on hyödynnetty pitkään sähkölaitosyhdistyksen suosittelemaa SLY-kytkentää, joka mahdollistaa lämmityskuormien ohjaamisen yösähkötariffin hintojen mukaan, huipputehon rajoittamisen vuorottelukytkennällä ja sähkölämmitystehon ohjaamisen. [55]

Seuraavassa kuvassa on havainnollistettu tehon rajoittamista sähköauton latauksen ohjaamisen avulla. Käyttötapauksena on 20 kWh lataaminen auton akkuun pienellä 2 kW teholla. Ohjausparametrinä on rajoittaa kohteen huipputeho enintään 7 kW tasolle. Tehonrajoitus on toteutettu älykkään latauslaitteen avulla, jonne tuodaan jatkuvana mittaustietona kohteen hetkellinen kokonaiskuormitus.



Kuva 3.5 Pientalon kulutuksen muuttuminen latauskuormaa rajoittamalla.

Kuvaajassa sininen katkoviiva esittää ilman rajoituksia toteutuneen kulutuksen. Musta viiva esittää kohteen kokonaiskulutuksen, kun tehoa on rajoitettu. Punainen viiva on kulutus ilman latausta. Vihreä esittää sähköauton lataustehoa. Ilman rajoitusta teho nousisi lähes 9 kW tasolle illalla kello 19 ja 21 aikoihin. Kuormituksen saavuttaessa 7 kW rajan rajoitetaan lataustehoa laturilla. Latausteho putoaa molempien kuormitushuippujen ajanhetkillä lähelle nollaa. Sähköautoa ladataan silloin, kun asetetusta maksimitehosta on kapasiteettia vapaana. Lataaminen pienellä teholla useiden tuntien aikavälillä voi estää itsessään isojen tehojen kerrostumisen suurten kulutusten ajanhetkille.

3.3 Latauksen hintaan vaikuttavat tekijät

Autoilijan käyttötarpeiden lisäksi latausjärjestelmän toteutukseen vaikuttavat taloudelliset näkökulmat. Mikäli latausjärjestelmän hankinta- ja toteutuskustannukset muodostuvat korkeaksi, autoilija voi harkita vaihtoehtoista toteutustapaa matalammilla investointikustannuksilla. Yhtä lailla korkeat käyttökustannukset vaikuttavat latausjärjestelmän toteutusratkaisuun. Mikäli käyttökustannukset ovat selkeästi korkeammat halvemmassa toteutustavassa kuin kalliissa, voi kalliimpi investointi olla perusteltu koko laitteiston elinkaaren kustannusten näkökulmasta. Tässä luvussa käsitellään lataamisen kokonaishintaan vaikuttavia tekijöitä, joita ovat investointikustannukset ja erilaiset käytön aikaiset kustannukset, kuten huoltojen ja sähkön kustannukset.

3.3.1 Investointikustannukset

Sähköautojen lataukseen kuuluvina investointikustannukset syntyvät latausjärjestelmän suunnittelusta, hankinnasta ja toteutuksesta. Latausjärjestelmän suunnittelussa huomioidaan kiinteistön ja käyttäjien tarpeet, kiinteistön sähköjärjestelmän riittävyys ja kuormanhallinnan toteutustapa [60]. Investointikustannusten suuruuden kannalta merkittävä seikka on tarpeiden perusteella muodostuva latausjärjestelmän mitoitusteho. Jos latausjärjestelmään ei tule kuormanhallintaa, määräytyy latausjärjestelmän mitoitusteho suoraan latauslaitteen mahdollistaman lataustehon mukaan. [57] Käyttämällä kuormanhallintaa latausjärjestelmässä voidaan mitoitusteho valita kohteen nykyiseen sähköjärjestelmään sopivaksi, jolloin on mahdollista välttää merkittävät investointikustannukset. Nykyiset käyttökohteet sisältävät myös muuta sähkönkäyttöä (mm. lämmitys, kodinkoneet, ilmanvaihto, sauna, valaistus), jonka päälle latauksen aiheuttama sähköteho kerrostuu. Järjestelmän suunnittelussa ei riitä siten pelkän latausjärjestelmän suunnittelu, vaan täytyy tarkastella kohteen koko sähköjärjestelmän toimivuutta. Jos kohteen sähköliittymän tehokapasiteetti on liian pieni, ei latausjärjestelmän tarvitsemaa tehoa saada välttämättä katettua. Jos kapasiteetin riittävyys on epävarmaa, suositellaan käytettäväksi aina kuormanhallintaa. [58][59] Mikäli sähköliittymän kapasiteetti ei riitä, tulee sen kapasiteettia kasvattaa. Helen Sähköverkon liittymismaksuperiaatteiden mukaan liittymäkoon suurentamisesta peritään liittymismaksu, joka on suuruudeltaan uuden ja nykyisen liittymäkoon liittymismaksujen erotus [61]. Helen Sähköverkon

verkkosivuilta löytyvät julkinen liittymismaksuhinnasto ja liittymien toteuttamisessa noudatettavat verkonhaltijan tekniset vaatimukset.

Suunnittelun laajuus ja yksityiskohtaisuus vaihtelee erilaisten kohteiden mukaan. Yksinkertaisimmillaan investoinnin laajuutta ja kustannuksia voidaan tarkastella ylätasolla sähköjärjestelmän pääkomponentteja koskevien kysymysten avulla. Seuraavassa taulukossa on esitetty yksinkertaistettu tarkastelumalli investointilaajuuden arviointiin neljän sähköjärjestelmän osan kannalta.

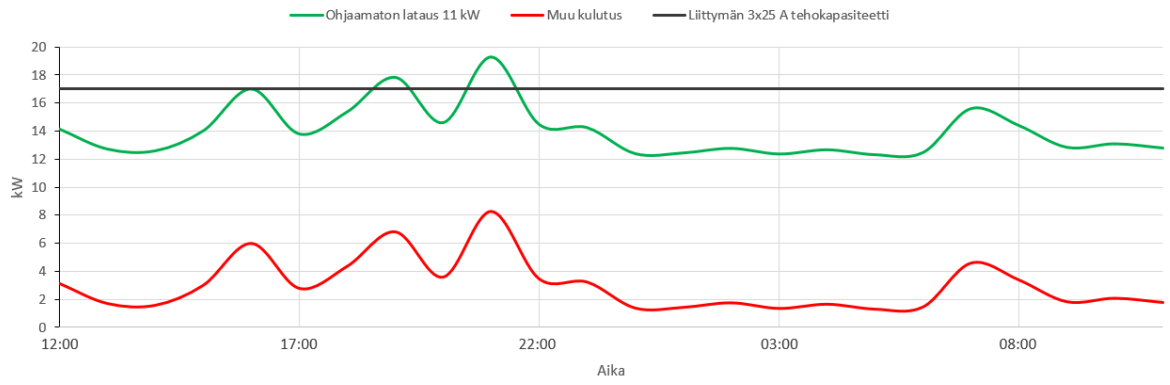
Taulukko 3.1 Investointilaajuuden arviointi.

Sähköjärjestelmän osa	Tarkastelu
Latausjärjestelmä	Onko nykyisessä sähköjärjestelmässä riittävä latausvalmius? (k/e)
Sähköpääkeskus	Onko sähköpääkeskuksen nimellisvirta riittävä? (k/e)
	Onko sähköpääkeskuksessa tilaa latauslaitteelle syötölle? (k/e)
Liittymän koko	Onko liittymällä riittävästi vapaata tehokapasiteettia? (k/e)
Liittymiskaapeli	Onko liittymiskaapelin sähkönsiirtokapasiteetti riittävä? (k/e)

k = ei investointitarvetta

e = investointitarve

Tarkastellaan esimerkin (kuva 3.6) avulla valintojen vaikutuksia investointilaajuuteen. Pientalon liittymän koko on 3x25 A . Kohteeseen asennetaan 11 kW lataustehoinen latauslaite ilman ohjausta ja tehonrajoitusta.



Kuva 3.6 Pientalon investoinnin arviointia 11 kW latauslaitteella.

Kuvasta 3.6 nähdään kuormituksen nousevan liittymän kapasiteetin äärirajoille ja paikoin selvästi ylikin. Ottamalla huomioon energiayhtiöiden raportointisovelluksista saatavan keskituntitehon ja hetkellisen tehon eron, voidaan todeta, että 11 kW lataus ei ole mahdollista ilman liittymän suurentamisen tai latauksen ohjausta. Jos edelleen on tarve saada täysi 11

kW latausteho käyttöön, liittymän suurentaminen on perusteltu vaihtoehto toteuttaa tarve. Helen Sähköverkon alueella liittymän suurentaminen 3x35 A kokoiseksi muodostaa 350 € liittymismaksun. Jos liittymä suurennetaan, tulee myös tarkistaa sähkökeskuksen ja liittymiskaapelin virrankestoisuudet. Osaan pientaloista on asennettu ainoastaan 25 A nimellisvirralle mitoitettu sähkökeskus, joka pitää vaihtaa tällaisessa tilanteessa suuremmalle virralle mitoitettuun keskukseen. Helen Sähköverkon verkkoalueella on ollut käytössä vuosikymmenten ajan minimikaapelikoot, jotka mahdollistavat 3x50 A liittymäkoon. Liittymiskaapelia ei pientaloissa yleensä tarvitse uusia virtakestoisuuden rajoitteiden vuoksi. Jos liittymiskaapeli joudutaan uusimaan, sen uusimiskustannukset ovat vähintään satoja euroja. Esimerkin tapauksessa investoinnin suuruus olisi joitakin tuhansia euroja (taulukko 3.2).

Taulukko 3.2. Investointiarvio esimerkkitapauksessa.

Sähköjärjestelmän osa	Investointi [€]
Latausjärjestelmä	1 000–2 000
Sähköpääkeskus	0–1 000
Liittymän koko	350
Liittymiskaapeli	0–500

Latausjärjestelmän älykkyyden hyödyntämisellä vältetään liittymäkoon suurentaminen ja sähkökeskuksen mahdollinen uusiminen. Investointikustannuksen vaikutus latauksen hintaan voidaan jyvittää latauslaitteen käyttöiän aikana esimerkiksi ajetuille kilometreille. Jos oletetaan pitoajaksi 15 vuotta, jonka aikana ajetaan 15 000 km / v, latauslaitteen investoinnista aiheutuu noin 1–2 € kustannus 100 km kohden. Tässä tarkastelussa ei ole huomioitu mahdollisia koron tai inflaation vaikutuksia.

3.3.2 Operatiiviset kustannukset

Operatiiviset kustannukset sisältävät latausjärjestelmän kaikki käytön aikaiset kustannukset. Nämä kustannukset muodostuvat pääasiassa latauslaitteen huolto- ja ylläpitokustannuksista sekä lataussähkön kustannuksista. Sähkön kustannukset muodostuvat verkonhaltijan verkkopalvelumaksuista, joita käsitellään seuraavissa kappaleissa sekä sähkön myyjän perimistä sähköenergian maksuista. Tässä luvussa verkkopalvelumaksuja käsitteleviin kustannuslaskelmiin ei ole sisällytetty kaikille tuotteille samansuuruisena muodostuvia sähköveron ja

huoltovarmuusmaksujen kustannuksia, jotka muodostuvat suoraan kulutetun energian mukaan.

Latausjärjestelmän kuntoa on jatkuvasti tarkasteltava ja siinä esiintyvät puutteet poistettava. Sähköjärjestelmä ei pysy kunnossa ja turvallisena itsestään. Laitteiden komponentit kuluvat ja tulevat ajan myötä käyttöikänsä päähän. Likaisuus, löystyvät liitokset, rikkinäiset ja kuluneet sähkökalusteet voivat pahimmillaan aiheuttaa vaaraa kiinteistölle ja laitteiden käyttäjälle. Kiinteistön tai rakennuksen haltijalla on lakisääteinen velvollisuus huolehtia sähkölaitteiston riittävästä kunnosta. [62][63] Pientalojen sähkölaitteiden kunnon seuranta on asukkaiden velvollisuus. Lähinnä heidän tehtävinänsä ovat laitteiden puhtaana pitäminen, tarkoituksenmukainen käyttö, ja rikkoutumisissa sähköalan ammattihenkilön tilaaminen huoltamaan, korjaamaan tai uusimaan vikaantunut laite. Asunto-osakeyhtiöissä ja liikerakennuksista vastuu on yleisesti yhtiön hallituksen puheenjohtajalla tai yhtiön valtuuttamalla isännöitsijällä. Isommat latausjärjestelmät vaativat erillisen, määrävälein tehtävän määräaikaistarkastuksen, jolla varmistetaan laitteiden käytön turvallisuus. Sähkölaitteet voivat olla varsin iäkkäitä, jos ne on pidetty kunnossa. Määräaikaistarkastus on tehtävä yli 35 A sulakkeilla varustetuille latausjärjestelmille vähintään 10 vuoden välein. [62] Tarkastusten ja huoltotöiden hinta riippuu paljon työn laajuudesta, kuitenkin vähintään satoja euroja käyntiä kohden.

3.3.3 Yleissiirto

Yleissiirto on lukumääräisesti käytetyin verkkopalvelun tuotteista. Tuote on saatavilla käyttökohteisiin, joissa sulakekoko on enintään 3x63 A. Tuoterakenne on yksinkertainen ja muodostuu kahdesta eri komponentista: perusmaksusta ja siirtomaksusta. Helsingissä sulakekoko ei vaikuta tuotteen perusmaksuun.

Yleissiirto	alv 0 %	alv 24 %
Perusmaksu €/kk	4,44	5,51
Siirtomaksu c/kWh	3,28	4,07

Tuote soveltuu parhaiten kohteisiin, joissa sähkökulutus ei ole suurta, alle 10 000 kWh vuodessa. Kuvassa 3.7 on esitetty yleissiirron ja aikasiirron verkkopalvelumaksujen vertailu eri vuosienergioilla. Alle 10 000 kWh vuosikulutuksella yleissiirto on vuosikustannuksiltaan edullisempi siirtotuote kuin aikasiirto. Tuotteen perusmaksu on hyvin maltillinen, mutta

energiaan perustuva siirtomaksu on muiden tuotteiden siirtomaksua korkeampi. Siirtomaksun suuruus on sama vuorokauden ajasta riippumatta ympäri vuoden. Yleissiirto-tuotteella ei siten ole joustojen kannalta hintaperusteista ohjausvaikutusta. [56]

Yleissiirron verkkopalvelumaksujen vuosikustannukset voidaan laskea seuraavasti:

$$Vuosihinta_{yleis} = 12 \times perusmaksu + E_{vuosi} \times siirtomaksu, \quad (3.1)$$

missä E_{vuosi} on siirretyn energian määrä vuodessa [kWh].

3.3.4 Aikasiirto

Aikasiirto-tuote on suunniteltu erityisesti sähkölämmitettyihin asuinrakennuksiin. Päiväsiirron hinta on voimassa kaikkina päivinä klo 7–22. Yösiirron hinta on voimassa muina aikoina. Tehomaksu määräytyy joka kuukauden kolmanneksi suurimman mitatun tunnin keskitehon mukaan. Yöajan tehosta huomioidaan laskutuksessa 80 %. Suurin sallittu pääsulakekoko on 3x80 A. Helsingissä pääsulakkeen koko ei vaikuta perusmaksun suuruuteen. [56]

Aikasiirto	alv 0 %	alv 24 %
Perusmaksu €/kk	14,11	17,50
Tehomaksu €/kW, kk	1,28	1,59
Päiväsiirto c/kWh	2,09	2,59
Yösiirto c/kWh	1,09	1,36

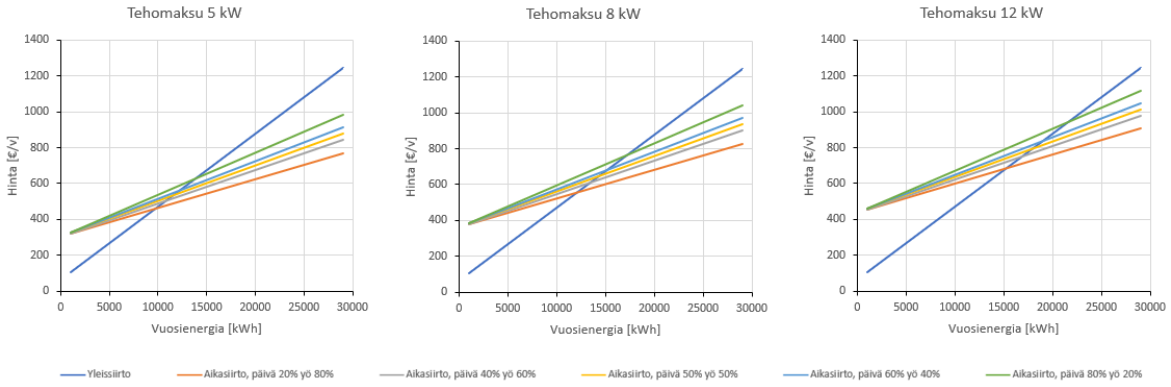
Aikasiirron verkkopalvelumaksujen vuosikustannukset voidaan laskea seuraavasti:

$$Vuosihinta_{aika} = 12 \times perusmaksu + 12 \times P_{ka,kk} \times tehomaksu + E_{päivä} \times päiväsiirto + E_{yö} \times yösiirto, \quad (3.2)$$

missä $P_{ka,kk}$ on keskimääräinen kuukauden laskutusteho [kW], $E_{päivä}$ on päiväaikana siirretyn energian määrä vuodessa [kWh] ja $E_{yö}$ on yöaikana siirretyn energian määrä vuodessa [kWh].

Vuosikulutuksen noustessa selkeästi yli 10 000 kWh kohdataan valintatilanne siirtotuotteen osalta. Aikasiirto-tuote tulee lähes poikkeuksetta yleissiirtoa edullisemmaksi vuosikulutuksen ollessa yli 20 000 kWh (seuraava kuva). Vuosikulutuksen ollessa 10 000–20 000 kWh

vuosikustannuksiltaan edullisempi tuote riippuu kulutuksen jakautumasta päivä- ja yöajalle sekä laskutustehosta.



Kuva 3.7 Yleissiirron ja aikasiirron vuosikustannusten vertailu eri huipputehoilla ja vuosienergian jakaumilla (ei sis. sähköveroa).

Mitä pienempi laskutusteho (tunnin keskitehot matalat), sitä pienemmällä vuosienergialla aikasiirtotuote tulee yleissiirto edullisemmaksi. Jos laskutusteho on keskimäärin 5 kW joka kuukausi, aikasiirto on yleissiirtoa edullisempi yli 15 000 kWh kulutuksilla, vahvasti yöajalle painottuneella kulutuksella jo 10 000 kWh alkaen. Vastaavasti 12 kW laskutusteholla vuosikulutuksen pitää kasvaa vielä vähintään 5 000 kWh, ennen kuin aikasiirto olisi yleissiirtoa edullisempi, verrattuna 5 kW laskutustehon tilanteeseen. Siirtotariffien hinnoittelun perusteella asiakkaan kannattaa ladata mahdollisimman pienellä teholla, huomioiden tarvittava latausenergia. Aikasiirron merkittävä hintaohjaus perustuu edullisempaan yöajan siirron hintaan. Mitä enemmän kulutusta saa ohjattua klo 22–07 väliselle ajanhetkelle, sitä edullisemmaksi tuote tulee. Vuosikulutuksella 20 000 kWh, päiväsiirron osuuden ollessa 20 % (yön osuus 80 %) säästää 150 € verkkopalvelumaksuissa verrattuna tilanteeseen, jossa päiväsiirron osuus olisi 80 %. Tutkimalla ja muuttamalla omia kulutustottumuksia voi madaltaa toteutuvia verkkopalvelumaksuja. Erityisesti spot-sähkön ostajat hyötyvät aikasiirron hinnoittelurakenteesta, koska spot-sähkö on edullisinta yöaikaan [47]. Sähkönmyyntiyhtiö Helenin mukaan spot-asiakkaat ovat saavuttaneet noin 10 % markkinahinnan keskiarvoa alemman hinnan ajoittamalla kustannukset vuorokauden edullisimpiin tunteihin [65].

3.3.5 Pienjännitetehosiirto

Pienjännitetehosiirto on tarkoitettu suurempitehoisille kohteille, joissa sähkönkäyttö on suurta. Talvipäivän siirtomaksu on käytössä joulu-helmikuussa maanantaista perjantaihin

kello 7–21. Kaikkina muina aikoina on käytössä muun ajan siirtomaksu. Tehomaksut ovat voimassa vuoden jokaisena kuukautena. Laskutusteho on kuukauden suurin aikavälillä maanantaista perjantaihin klo 7–21 mitattu tunnin keskiteho. Pienjännitetehosiirrossa loistehon ottomaksun laskutusteho on kuukauden suurin mitattu loistehon ottoteho, josta on vähennetty joko 40 % saman kuukauden suurimmasta mitatusta pätötehosta tai vähintään 50 kVAr. Loistehon annon laskutusteho on kuukauden suurin mitattu loistehon antoteho, josta on vähennetty 10 % saman kuukauden suurimmasta mitatusta pätötehosta.

Pienjännitetehosiirto	alv 0 %	alv 24 %
Perusmaksu €/kk	26,00	32,24
Tehomaksu €/kW, kk	4,50	5,58
Loistehomaksu €/kVAr, kk	2,29	2,84
Talvipäivä c/kWh	1,66	2,06
Muu aika c/kWh	0,88	1,09

Tuotteen perusmaksu on maltillinen ja siirtomaksut matalat. Hinnoittelun ohjaus perustuu pääasiassa tehomaksuihin, jolloin asiakkaat maksavat eniten siirtokapasiteetin käytöstä arkipäivinä. Loistehojen asianmukaisella hallinnalla asiakkaiden ei tarvitse maksaa loistehoista euroakaan. Tässä työssä loistehoja ei käsitellä tämän enempää. Tuotteen tehomaksukomponentti perustuu arkipäivien suurimpaan mitattuun tunnin pätötehoon (keskiteho).

Pienjännitetehosiirron verkkopalvelumaksujen vuosikustannukset voidaan laskea seuraavasti:

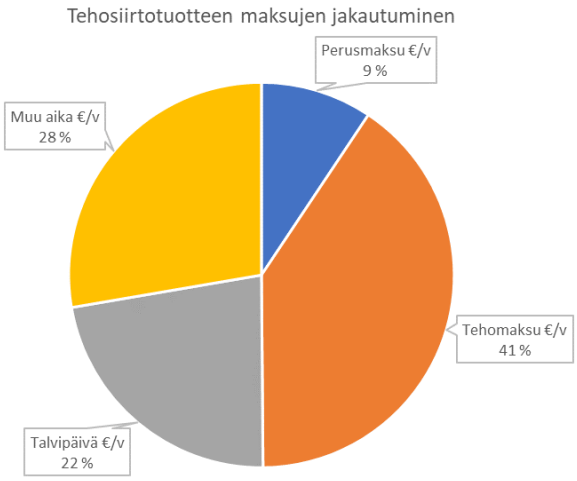
$$Vuosihinta_{PJ-teho} = 12 \times perusmaksu + 12 \times P_{ka,kk} \times tehomaksu + 12 \times Q_{ka,kk} \times loistehomaksu + E_{talvipv} \times talvipäivä + E_{muu\ aika} \times muu\ aika, \quad (3.3)$$

missä $P_{ka,kk}$ on keskimääräinen kuukauden laskutusteho (pätöteho) [kW], $Q_{ka,kk}$ on keskimääräinen kuukauden loistehon laskutusteho [kVAr], $E_{talvipv}$ on talvipäivän ajan energian määrä vuodessa [kWh] ja $E_{muu\ aika}$ on muun ajan energian määrä vuodessa [kWh].

Pienjännitetehosiirto tuote on yleisesti käytössä isommissa asunto-osakeyhtiöissä kiinteistön käyttöpaikalla ja liikerakennuksissa, joissa sulakekoko on yli 3x63 A. Asunto-osakeyhtiöiden kiinteistösähköihin kuuluvat tyypillisesti yhteiskäyttöisten alueiden sähköt, kuten porraskäytävien, ulkotilojen, kellareiden, kerho- ja saunatilojen sekä pysäköintialueiden sähköt. Liikerakennuksissa pienjännitetehosiirtoa käytetään koko rakennuksen laskutuksessa, jos

rakennuksessa on vain yksi toimija. Useamman yrityksen toimiessa samalla kiinteistössä verkkopalvelumaksut veloitetaan usein käyttäjäkohtaisesti.

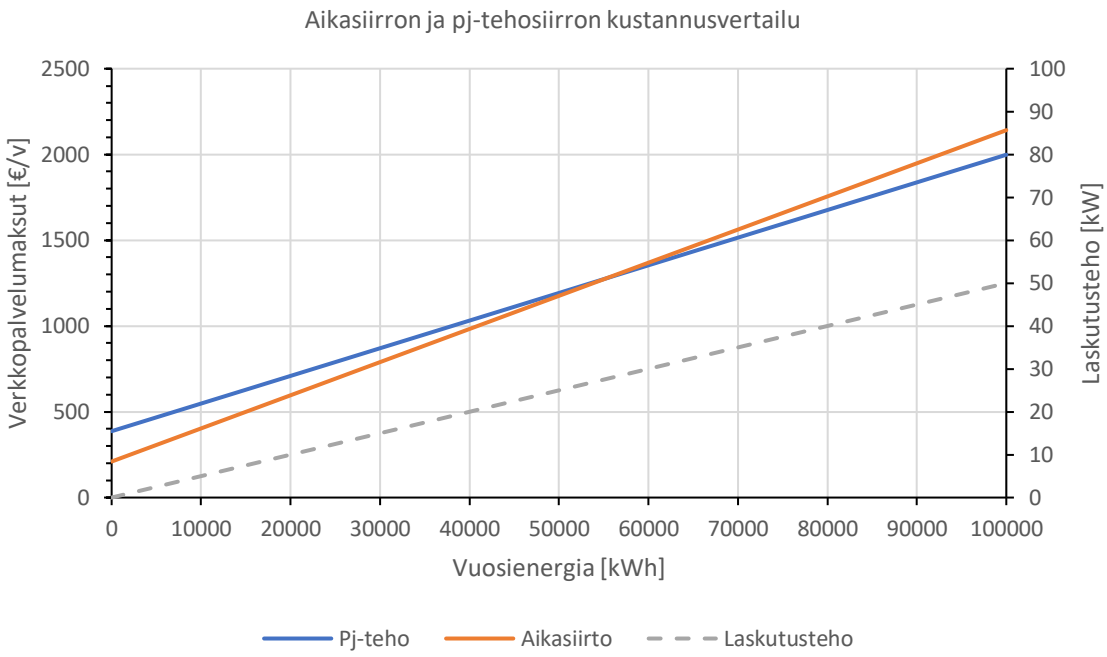
Pienjännitetehosiirrolla kustannusten hallinta onnistuu parhaiten, kun pystyy hallitsemaan tehonkäyttöä arkipäivisin. Esimerkkinä on kohde, jossa on 3x200A liittymä, keskimääräinen laskutusteho 35 kW (25 % liittymän koko kapasiteetista) ja energiakäyttö 45 MWh talvipäivinä ja 105 MWh muuna aikana. Näillä laskutusperusteilla kustannuksista puolet muodostuu tehomaksusta.



Kuva 3.8 Esimerkkikohteen maksujen jakautuminen tehosiirtotuotteella.

Jos kohteessa saataisiin pudotettua laskutustehon määräksi 25 kW kuukaudessa, putoaisi tehomaksun osuus maksuista 8 %-yksikköä, 670 € / v (sis. alv. 24 %).

Erityisesti taloyhtiössä on kiinnostavaa verrata aikasiirron ja pienjännitetehosiirron verkkopalvelumaksuja. Kuvassa 3.9 on esitetty vuoden verkkopalvelumaksujen vertailu vuosienergian suhteen. Aikasiirrolla päiväsiirron osuus on 40 % ja yösiirron 60 %. Pj-tehosiirrolla talvipäivän osuus on 25 % ja muun ajan 75 %. Laskutustehona on käytetty vuosienergia jaettuna 2 000 h.



Kuva 3.9 Aikasiirron ja pienjännitetehosiirron verkkopalvelumaksujen vertailu vuosienergian suhteen (ei sis. sähköveroa).

Aikasiirrolla suurin mahdollinen sulakekoko on 3x80 A, joka vastaa noin 55 kW tehoa. Näillä laskentaparametreilla aikasiirron ja pienjännitetehosiirron verkkopalvelumaksujen leikkauspiste osuu noin 27,5 kW ja 55 000 kWh kohdalle. Pientaloissa vuosienergiat ovat käytännössä aina alle 55 000 kWh, jolloin pienjännitetehosiirto ei ole soveltuva tuote näihin kohteisiin. Pienemmissä taloyhtiöissä on syytä tarkastella, kannattaako kiinteistökäyttöpaikkojen verkkopalvelutuotteena aikasiirto. Kustannusvertailu kannattaa tehdä, jos toteutunut vuosienergia on pienempi kuin edeltävässä kuvassa 3.9 laskutustehon kohdalla oleva vuosienergia (olettaen 2 000 h huipunkäyttöaika laskutusteholle). Aikasiirrolla tehomaksu on noin 71 % halvempaa ja energia noin 26 % kalliimpaa kuin pienjännitetehosiirrolla.

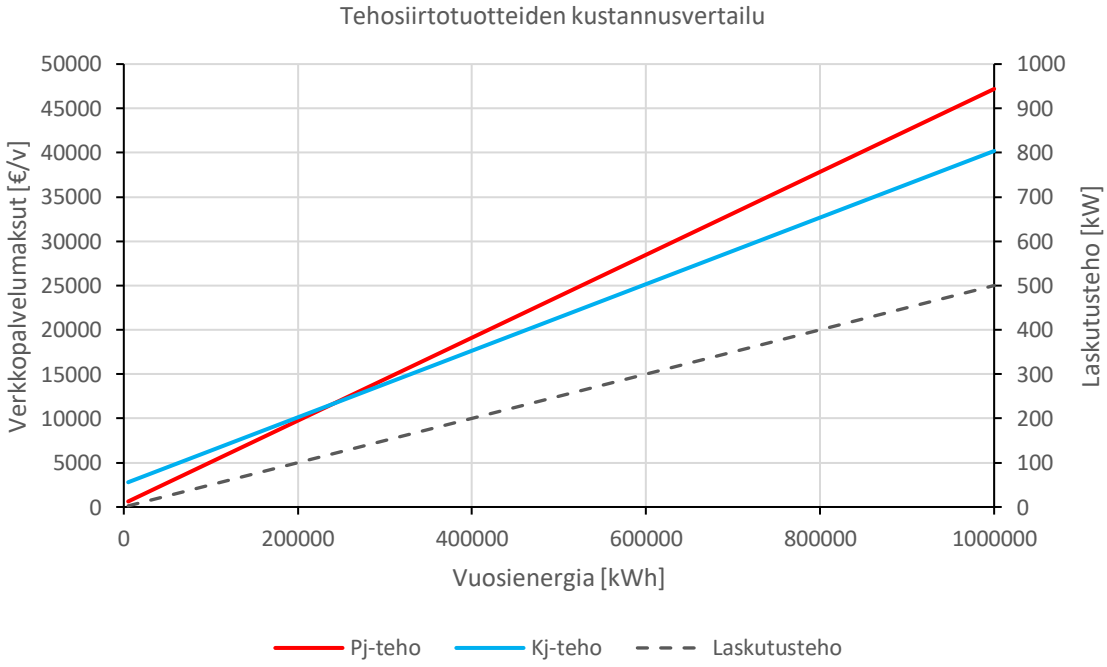
3.3.6 Keskijännitetehosiirto

Keskijännitetehosiirto on tarkoitettu kohteille, jotka liittyvät sähköverkkoon 10 tai 20 kilovoltin jännitetasoilla. Keskijännitetehosiirto on tuoterakenteeltaan samankaltainen pienjännitetehosiirron kanssa. Ainoa rakenteellinen ero on loistehomaksuissa. Keskijännitetehosiirrolla veloitetaan ainoastaan loistehon annosta verkkoon. Loistehoa jopa kannustetaan kuluttamaan verkosta. Pienjännitetehosiirtoon verrattuna perusmaksu on lähes seitsemänkertainen, mutta tehomaksu ja siirtomaksut ovat 15–30 % edullisemmat yksikköhinnoiltaan.

Keskijännitetehosiirron verkkopalvelumaksujen vuosikustannukset voidaan laskea samalla periaatteella kuin pienjännitetehosiirron vuosikustannukset (kaava 3.3).

Keskijännitetehosiirto	alv 0 %	alv 24 %
Perusmaksu €/kk	175,00	217,00
Tehomaksu €/kW, kk	3,68	4,56
Loisantomaksu €/kVAr, kk	2,29	2,84
Talvipäivä c/kWh	1,41	1,75
Muu aika c/kWh	0,63	0,78

Keskijännitetehosiirto on käytössä pääasiassa liikerakennuksissa, joissa tehotarve on huomattavan suuri. Keskijännitetehosiirto-asiakkaan verkkopalvelumaksut ovat hyvin nopeasti pienjännitetehosiirtoa edullisemmat. Kustannusvertailussa on syytä huomioida keskijänniteasiakkaille muodostuva välillinen kustannus sähköjärjestelmän käytönjohtajan vastuista yli 1000 V sähkölaitteistojen huolehtimisesta, joita ei pienjännitesähköasennuksista muodostu [65].



Kuva 3.10 Esimerkkikohteen verkkopalvelumaksujen vertailu tehosiirtotuotteilla (ei sis. sähköveroa).

Edellisessä kuvassa on esitetty tehosiirtotariffien vuosikustannusten vertailu vuosienergian ja laskutustehon kasvaessa. Vuosienergia on jaettu 25 % talvipäivälle ja 75 % muulle ajalle. Laskutustehona on käytetty vuosienergia jaettuna 2 000 h. Tehosiirtotuotteiden

verkkopalvelumaksujen leikkauspiste on näillä laskentaparametreilla noin 240 000 kWh ja 120 kW kohdalla. Keskijännitekohteissa käyttökustannuksia lisää pakollinen sähkötöiden käytönjohtajuus. Näitä kuluja kattamaan pitäisi keskijännitetehosiirron olla useita tuhansia euroja vuodessa edullisempi. Verkkopalvelumaksujen hintaeroksi muodostuu 5 000 € noin 800 000 kWh ja 400 kW kohdalla. Keskijännitetehosiirto on järkevä tuote, kun vuosienergia on riittävän suuri ja tarvittava huipputeho lähentelee 500 kW tasoa.

4 Tutkimusmenetelmät

Tässä tutkimustyössä selvitetään sähköautojen älykästä lataamista edistäviä toimenpiteitä seuraavin tutkimusmenetelmin. Ensin tarkastellaan älykkään latauksen keinovalikoimia, ja miten ne vaikuttavat asiakkaiden kulutukseen. Toiseksi käsitellään aiemmissa Helen Sähköverkon tutkimuksissa tunnistettujen käyttäjäryhmien kulutusprofiileihin soveltuvia latausstrategioita. Kolmantena vaiheena Helen Sähköverkon sähköautoileville asiakkaille toteutetaan asiakaskysely, jonka avulla saadaan vastauksia asiakkaiden lataukseen vaikuttavista seikoista, kuten arjen toimet, lataustekniikka ja -mahdollisuudet sekä latauksen hinta. Näiden tietojen perusteella muodostetaan asiakasymmärrys Helen Sähköverkon palveluiden kehittämiseksi.

4.1 Käytetyt aineistot

Työssä on kaksi keskeistä työvaihetta, joissa seuraavan taulukon aineistoja hyödynnetään. Ensimmäinen niistä on käyttäjäryhmien (käyttöpaikkaklustereiden) kulutusprofiilien käsittely. Klustereiden tiedot löytyvät koostettuna tilaustutkimuksesta [5] ja ne esitellään tarkemmin luvussa 5. Työvaiheessa tarvitaan käyttäjäryhmien tuotetietoja, liittymien kokoja, kulutustietoja, sähköjärjestelmien kaavioita. Näiden tietojen perusteella voidaan arvioida soveltuvia latausstrategioita erilaisille käyttäjille.

Toinen keskeinen vaihe on asiakaskyselyn toteutus. Kysely lähetetään niille Helen Sähköverkon asiakkaille, jotka ovat sähköauton (ladattava hybridi tai täyssähköauto) omistajia tai haltijoita. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom osoittaa Helen Sähköverkon asiakasdatasta asiakkaat, joilla on sähköauto. Traficom ylläpitää liikenneasioiden rekisteriä, joka sisältää tietoja eri liikennevälineistä ja niiden omistajista. Tiedot haetaan erillisen tietopyynnön avulla, jonka perusteella Traficom tekee päätöksen tietojen saannista. Tietojen luovutus perustuu Lakiin liikenteen palveluista (320/2017) VI osa, EU:n yleiseen tietosuoja-asetukseen (2016/679) 5–6 art., III ja IV luvut, 44 art. ja Tietosuojalakiin (1050/2018) 4, 29 ja 35 §. [75]

Taulukko 4.1 Työssä käytetyt aineistot

Tiedon lähde	**Haettu tieto**
Asiakastietojärjestelmä	Asiakkaan nimi, Osoite, Yhteystiedot, Liittymän koko, Käyttötarkoitus
Projektitietokanta	Liittymän koko, Liittymän sähkökaavio, Latausjärjestelmän sulakekoko
Tuntimittauksen Avoin Palvelualusta	Tuntiaikasarjat
Helsinki Region Infoshare	Helsingin postinumeroalueet
Helen Sähköverkon Tutkimushankkeet	Käyttäjäprofiilit, Käyttäjäprofiilien ominaiskulutukset, Hinnoittelu vaikutukset
Traficom	Helsinkiläiset sähköautoilijat (Helen Sähköverkon asiakkaista)
Asiakkaat	Ikäryhmä, Tulotaso, Auton tyyppi, Asuin- ja lämmitysmuoto, Ajomäärä, Latauslaitteen tyyppi, Latausmäärä, Lataustapa, Siirtotuote

Helen Sähköverkon asiakastietojärjestelmästä saadaan kyselyn lähettämiseen tarvittavat asiakastiedot ja asiakkaiden käyttöpaikkojen tiedot. Projektitietokannasta saadaan selvitettyä erilaisia liittymien ja sähköjärjestelmien toteutusratkaisuja, joita tarvitaan latausjärjestelmien toteutuksien arviointiin. Jatiko Oy:n toimittama Tuntimittauksen Avoin Palvelualusta (TAP) mahdollistaa kulutustietojen monipuolisen hakemisen ja käsittelyn. Pääkaupunkiseudun postinumerot löytyvät HRI – Helsinki Region Infoshare avoimen datan palvelusta. Tietoja käytetään asiakaskyselyssä. Palvelusta löytyy lisäksi pääkaupunkiseudun kaupunkeja ja koko seutua koskevaa tietoa kaikkien vapaasti ja maksutta hyödynnettäväksi. [6] Postinumerojen avulla voidaan tarkastella sähköautoilijoiden alueellisia piirteitä lataukseen sekä analysoida, miten asuinpaikan sijainti mahdollisesti vaikuttaa latauksen toteutumiseen. Helen Sähköverkon aikaisemmat tutkimushankkeet ovat arvokas tietolähde, joiden avulla pystyy muodostamaan kattavaa kokonaiskuvaa sähkönkäytöstä ja verkon tilasta. Tämän työn tärkein tietolähde on Helen Sähköverkon asiakkaat, jotka vastaavat asiakaskyselyyn. Vastauksien avulla voidaan selvittää syitä asiakkaiden tekemien sähköautojen latausvalintojen takana.

4.2 Sähköautoilevien asiakasprofiilien muodostaminen asiakaskyselyllä

Kyselyn tavoitteena on selvittää, miten sähköautoilevat suhtautuvat älykkään latauksen (kulutuksen ajoittaminen, leikkaaminen ja rajoittaminen) tuomiin hyötyihin ja ohjauskeinoihin

(hinnoittelu). Kyselyn avulla pyritään ymmärtämään tekijöitä, joilla on riittävää vaikutusta asiakkaiden tekemiin valintoihin. Asiakkaille merkittävien tekijöiden avulla voidaan selvittään keinoja edistää älykästä latausta käyttäjien näkökulmat huomioiden. Käyttämisen ymmärtämiseen kuuluu olennaisesti kannustimien tai kompensaatioiden vaikuttavuus mahdollistamaan toivottu latauskäyttäytyminen.

Kysely esitetään kokonaisuudessaan liitteessä 1. Kyselyn johdannossa taustoitetaan kyselylomake niin selkeästi, että vastaajat vastaavat oikeisiin asioihin. Kysymysasetteluissa hyödynnetään väittämätyyppisiä kysymysasetteluita, joilla saadaan yhtenäistettyä asiakkaiden vastaukset. Esimerkki kysymysasettelusta: *olisitko valmis siirtämään latauksen yöajalle ilman rahallista kompensaatiota (1 = en, 2 = todennäköisesti en, 3 = todennäköisesti, 4 = kyllä)?* Esimerkki 2: *pitääkö älykkään latauksen toimia automaattisesti ilman käyttäjän aktiivisia toimia (1 = ei, 2 = todennäköisesti ei, 3 = todennäköisesti kyllä, 4 = kyllä)?*

Kyselyn taustatekijöiden perusteella arvioidaan sukupuolen, iän, ajoneuvon tyypin, ajomäärän ja latauskertojen vaikutuksia latauskäyttäytymiseen; esimerkiksi, miten hybridiautoilijan latauskäyttäytyminen eroaa täyssähköautoilijan latauskäyttäytymisestä. Monipuoliset taustatekijät mahdollistavat vastaajien jakamisen osajoukkoihin. Osajoukon vastauksien vertaaminen toiseen mahdollistaa vaikutusten arvioinnin.

Kyselyn kotilataamiseen liittyvän osan avulla selvitetään erilaisten asuinympäristöjen vaikutuksia älykkääseen lataamiseen. Omakotitalo on erilainen asuinympäristö kuin kerrostalo. Erilaiset lämmitysmuodot vaikuttavat sähköjärjestelmään ja sähkökulutukseen. Paljon sähköä kuluttavat lämmitysmuodot voivat vaikuttaa latauksen käytettävissä olevaan tehoon.

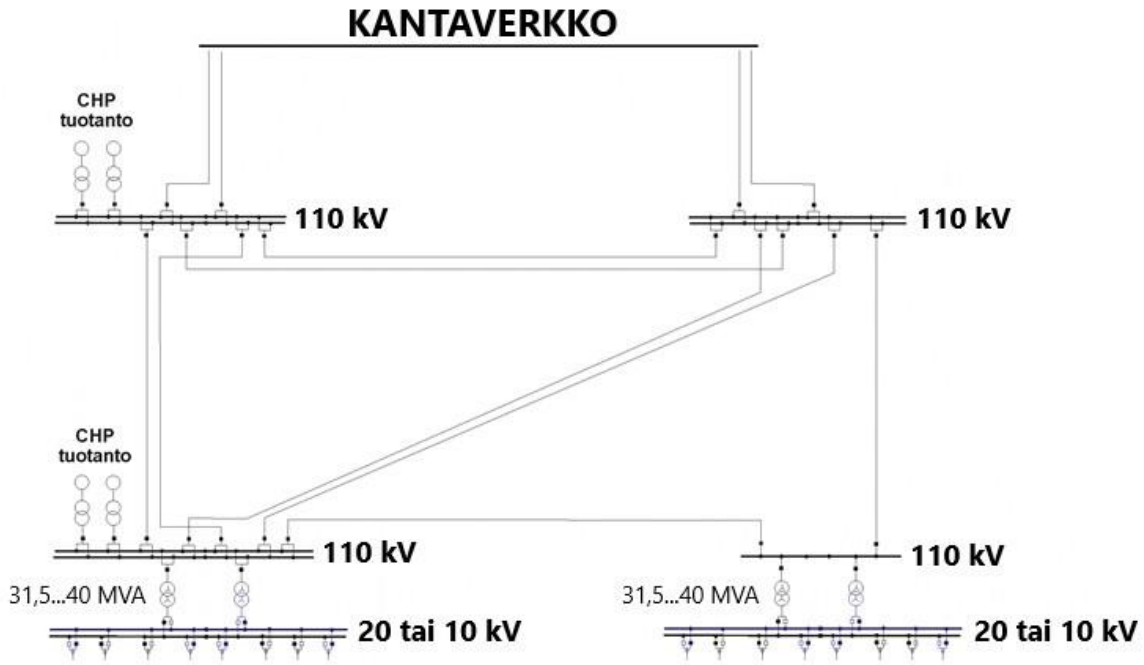
Kyselyn hinnoitteluosa antaa vastauksia Helen Sähköverkon verkkopalvelutuotteiden vaikutuksista lataamiseen. Tarkastelu keskittyy hinnoittelun ajallisiin ja tehonkäyttöön liittyvien vaikutusten arviointiin. Asiakkailta selvitetään erilaisten hinnoittelumallien soveltuvuutta heidän tarpeisiinsa sekä minkälainen hinnoittelumalli sopisi asiakkaille parhaiten ja ohjaisi sähkönkäyttöä sähköverkon kannalta toivottavaan suuntaan. Kyselyn lopuksi selvitetään asiakkaiden kodin ulkopuolisia latausmahdollisuuksia sekä asiakkaiden tarpeita verkkoyhtiön palveluiden osalta.

5 Kuormitusprofiiliin pohjautuva älykäs lataus Helsingissä

Verkon kuormitushuippujen hillitsemiseksi ja huipputehon kasvun välttämiseksi älykäs sähköautojen lataus olisi järkevää kohdentaa vähäisen kulutuksen aikaan. Ajoittamista kannattaa tehdä kaikilla mahdollisilla tasoilla alkaen yksittäisestä käyttäjästä. Jotta voimme paremmin ymmärtää erilaisten käyttäjien vaikutusta laajemmin, tulee tiedostaa, miten Suomen ja Helsingin tasolla kulutus jakautuu. Sen jälkeen tarkastelemalla erilaisia käyttäjäryhmiä (klustereita), voidaan arvioida heille soveltuvia älykkään latauksen mahdollisuuksia, jotka edistävät sähköverkon kannalta järkevää ja tavoiteltavaa sähkönkäyttöä. Tässä luvussa esitellään Helsingin sähkönjakeluverkon rakenne ja tarkastellaan sähkönkulutusta verkkotasolla. Lisäksi esitellään Helen Sähköverkon tilaustutkimuksessa muodostettuja käyttöpaikkaklustereiden kulutukseen soveltuvia latausjärjestelmän toteutuksia. Tässä työssä klusterilla tarkoitetaan joukkoa samankaltaisia sähkönkäyttäjiä, esimerkiksi Helsingin pientalot, joissa on suora sähkölämmitys, muodostavat yhden klusterin. Luvun 5.3 alakohdissa tarkastellaan asuinkäytössä olevien kohteiden klustereita, joissa yleisesti ottaen ladataan kaikista eniten. Lisäksi toimistojen ja palveluiden (≈työpaikkojen) klustereita käsitellään esimerkkien avulla.

5.1 Sähkönjakeluverkko Helsingissä

Helen Sähköverkko toimii sähkömarkkinalain mukaisessa jakeluverkonhaltijan roolissa Helsingissä. Jakeluverkko koostuu suurjännitteisestä 110 kV verkosta ja 0,4–20 kV jakeluverkosta. Suurjännitteisellä jakeluverkolla on useampi tehtävä: liittää Helsingin sähköverkko kantaverkkoon, siirtää suuria tehoja kustannustehokkaasti lähemmäs kulutusta, parantaa toimitusvarmuutta ja vikavirtoja sekä toimia runkoverkkona suurille kulutus- ja tuotantokohteille. Suurjänniteverkko on rakenteeltaan silmukoitu, jossa syöttösuuntia voidaan vaihdella monella eri tavalla. Rakenne parantaa sähkön toimitusvarmuutta, pienentää siirrossa syntyviä tehohäviöitä ja mahdollistaa joustavat huolto- ja vikatilanteiden hallinnan. Suurjänniteverkkoon liittyminen tapahtuu verkonrakenteen vuoksi sähköaseman 110 kV kojeistoon. [61][73] Seuraavassa kuvassa on esitetty suurjännitteisen jakeluverkon rakenne.



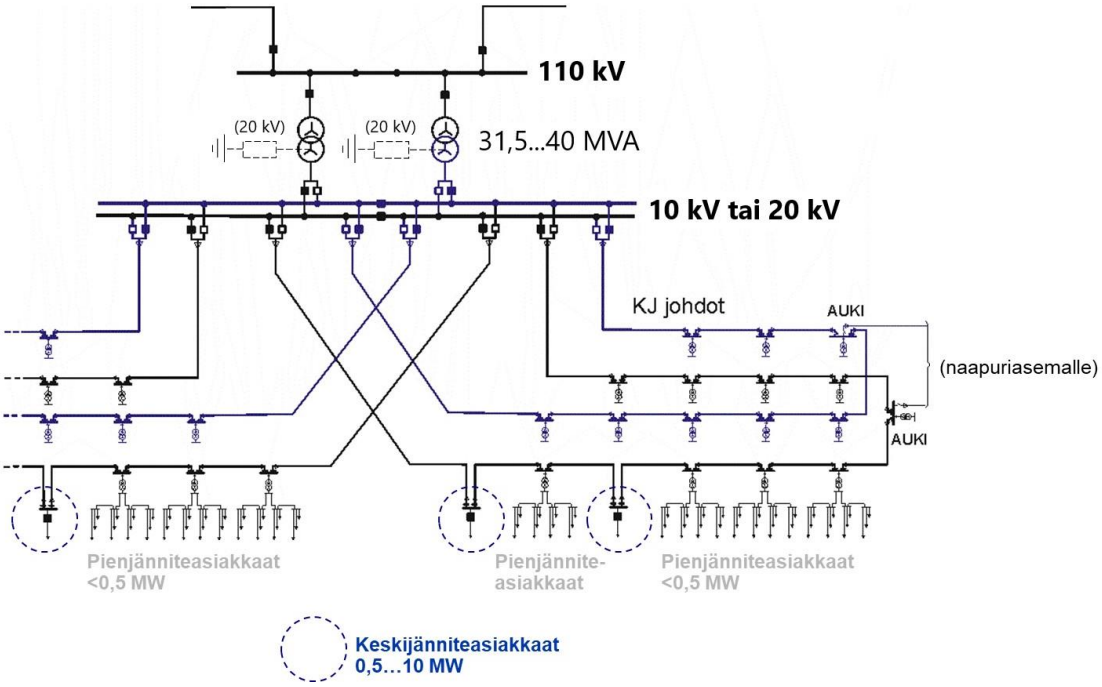
Kuva 5.1 Helen Sähköverkon suurjänniteverkon periaatekuva [73]

Suurjänniteverkkoon on liitetty 27 sähköasemaa, joissa tehdään 110 kV verkon kytkentöjä, topologiamuutoksia ja muunnetaan verkon jännite keskijännitetasoille 10 ja 20 kV. Helsingin kantakaupungin alueella käytössä on 10 kV jakelujännite ja esikaupunkialueilla 20 kV jakelujännite. Taustalla on 1900-luvun puolivälissä tehty suuri alueliitos, jonka yhteydessä eri sähkölaitoksia yhdistettiin Helsingin Kaupungin sähkölaitokseen. [73] Sähköasemilla on yleensä kaksi erillistä päämuuntajaa, joiden välille kuormat jaetaan keskijännitekiskostojen avulla normaalissa kytkentätilanteessa.

Keskijänniteverkko koostuu Helen Sähköverkon omista jakelumuuntamoista, asiakasmuuntamoista, keskijännitejohdoista ja kytkinlaitteista. Keskijänniteverkon tehtävänä on toimia jakelureittinä sähköasemien ja muuntamoiden välillä. Verkko on rakenteeltaan silmukoitu säteittäinen verkko, joka on rakennettu toimimaan *N-1* -periaatteella. Silmukoidun rakenteen takia lähes kaikilla muuntamoilla on vähintään kaksi mahdollista syöttösuuntaa. Tämä mahdollistaa vikakohdan erottamisen ja sähköjen palauttamisen minkä tahansa yksittäisen komponentin vikaantumisen jälkeen. [73]

10 kV jakeluverkossa alle 2,5 MVA liittymät liitetään pääsääntöisesti olemassa olevan johtolähdön varrelle ja tätä suuremmat liittymät sähköasemalta rakennettavaan uuteen johtolähtöön. 20 kV jakeluverkossa alle 5,0 MVA liittymät liitetään pääsääntöisesti olemassa olevan johtolähdön varrelle ja tätä suuremmat liittymät sähköasemalta rakennettavaan uuteen

johtolähtöön. Keskijänniteverkon suurin liittymäkoko on 10,0 MVA. [61] Keskijänniteverkon periaate on esitetty seuraavassa kuvassa.

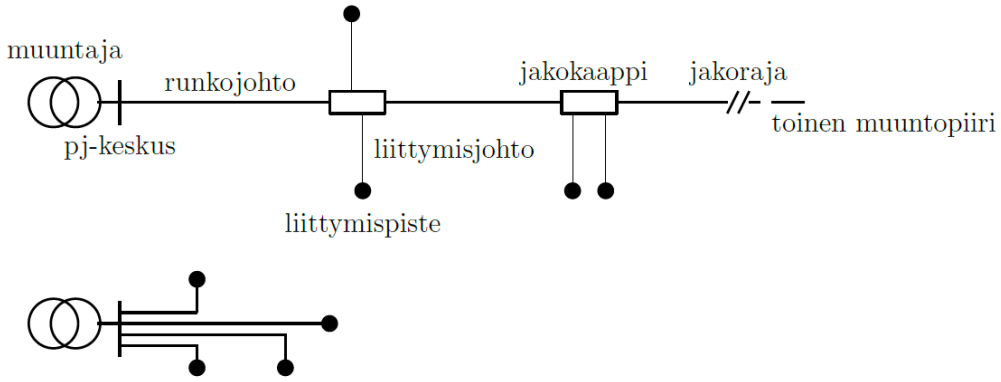


Kuva 5.2 Helen Sähköverkon keskijänniteverkon periaatekuva [73]

Edeltävässä kuvassa on ympyröity keskijänniteasiakkaiden omat muuntamot, jotka on liitetty suoraan keskijänniteverkkoon. Helsingissä on noin 780 asiakasomisteista muuntamoa. Helen Sähköverkolla on noin 1850 jakelumuuntamoa, joista noin 65 % on kiinteistömuuntamoita ja 35 % erillismuuntamoita. Kiinteistömuuntamot sijaitsevat rakennuksissa tiivisti rakennetuilla kaupunkialueilla. Erillismuuntamot ovat erillisiä puistomuuntamokoppeja tai -rakenteita.

Pienjänniteverkko (400 V) koostuu runko- ja liittymisjohdoista. Runkojohto on muuntamon ja jakokaappien välinen yhteys, joka toimii runkolinjana 400 V jakelulle. Liittymisjohto on pienjänniteverkon ja asiakkaan sähköpääkeskuksen välinen yhteys, joka yhdistää liittymän sähköverkkoon. Molempia johtotyyppejä voidaan asentaa useampia rinnakkain verkon siirtokapasiteetin kasvattamiseksi. Kuvassa 5.3 on esitetty pienjänniteverkon periaate. Suurin pienjänniteliittymän koko on 3x1000 A (690 kW). Pienjänniteliittymät liitetään joko suoraan jakelumuuntamon pienjännitekeskukseen tai jakokaapin jonovarokekytkimille. Jakokaapit ovat yleisin liittymien kytkentäpiste. Jakokaappeja on vajaa 8 000 kpl ja ne sijaitsevat pääasiassa katujen varsilla. [73] Helsingissä on noin 36 000 pienjänniteliittymää.

Pienjänniteliittymien liittymisjohdot ovat kooltaan 16, 35, 70, 185, 240 tai 300 mm^2 riippuen liittymän koosta. [69]



Kuva 5.3 Helen Sähköverkon pienjänniteverkon periaatekuva [73]

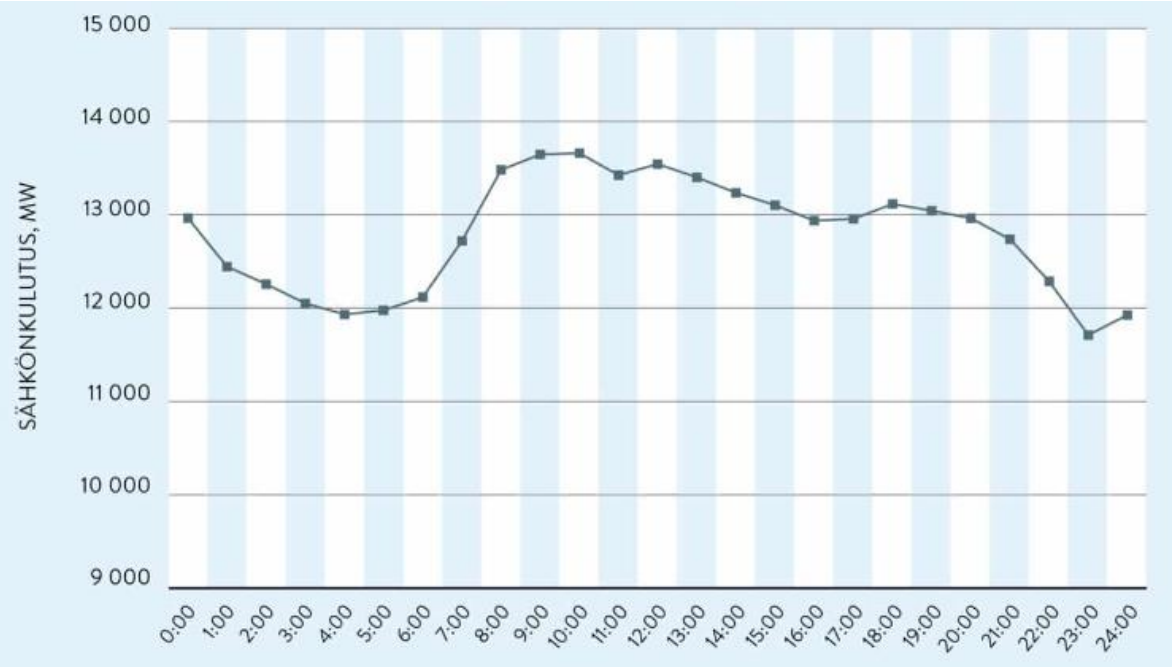
Sähköverkon kuormitus vaihtelee ja kehittyy alueittain eri tavalla. Tämä huomioidaan verkon pidemmän ajan suunnittelussa. Kasvava kuormitus edellyttää lähtökohtaisesti verkon siirtokapasiteetin kasvattamista. Muussa tapauksessa (kulutus tai tuotanto säilyy ennallaan tai laskee) voidaan keskittyä verkon ylläpitoon ja toimitusvarmuuden säilyttämiseen. [74]

Energiamurros on muokannut yleistä käsitystä jakeluverkon sähkönsiirrosta. Perinteisesti on ajateltu sähkön siirtyvän suurilta tuotantolaitoksilta verkon kautta kohti kulutusta. Energiamurroksen vaikutuksesta tuotanto on hajautunut lukuisiin pieniin tuotantokohteisiin, pienimmillään yksittäisissä taloissa oleviin aurinkosähköjärjestelmiin ja sähkövarastoihin. Tämän kehityksen myötä sähkönsiirto on muuttunut yksisuuntaisesta tapahtumasta kaksisuuntaiseksi. [18][72]

5.2 Sähkönkulutus verkkotasolla

Sähköverkossa kulutuksen ja tuotannon on oltava tasapainossa, joka ilmenee sähköverkon taajuudesta. Suomen sähköverkoissa taajuuden nimellisarvo on 50 Hz. Taajuus laskee, kun kulutus on tuotantoa suurempi, ja vastaavasti taajuus nousee, kun tuotantoa on enemmän kuin kulutusta. [67] Sähkömarkkinat pyrkivät saamaan tulevien päivien kulutuksen ja tuotannon tasapainoon kysynnän ja tarjonnan perusteella. Kuitenkin käyttötuntien aikana tapahtuu poikkeamia suunnitelmaan, jolloin tasapainotukseen tarvitaan reservejä taajuuden tasapainottamiseksi. Kantaverkkoyhtiön Fingrid hankkii reservejä ylläpitämiltään reservimarkkinoilta. Reservituotteista ja markkinapaikoista löytyy esittelyt Fingridin verkkosivuilta.

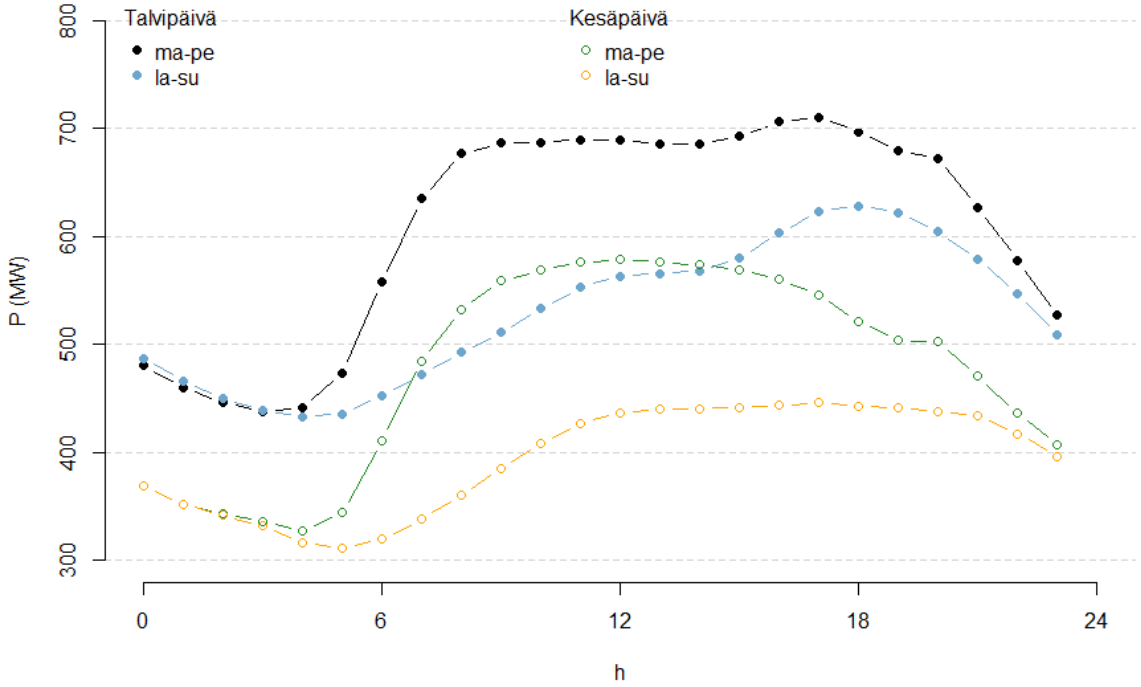
[70] Fingrid on uutisoinut Suomen kokonaiskulutuksesta verkkojulkaisussaan. Seuraavassa kuvassa 5.4 on esitetty Suomen sähkökulutus talvipäivänä.



Kuva 5.4 Suomen sähkönkulutus talvipäivältä 2022 [66].

Aamulla kello kahdeksan ja yhdentoista välillä on ensimmäinen selkeä kuormitushuippu, kun yhteiskunta heräilee uuteen päivään. Päivän aikana kulutus laskee. Pienempi kulutushuippu osuu kello 17–19 väliseen aikaan. Työpäivän jälkeen kansalaiset palaavat koteihinsa, käyvät kaupassa ja harrastuksissa. Iltaa kohden kulutus kääntyy laskuun. Koko kansan yhtäaikainen sähkönkäyttö näkyy kulutuspiikkinä. [66]

Helsingin sähköverkossa kulutus on yhtä lailla ajanhetkestä riippuvaista. Seuraavassa kuvassa 5.5 on esitetty talvipäivien (tammi-, helmi- ja joulukuun) ja kesäpäivien (kesä-, heinä- ja elokuun) keskimääräinen tuntiteho vuorokauden sisällä. Kuvasta nähdään, että kulutus on vuoden- ja vuorokaudenajasta sekä päivätyypistä (arkipäivä, aatto, pyhä) riippuvaa. [4] Helsingin sähköverkon kulutuskäyrän muoto on hyvin samankaltainen kuin Suomen sähkökulutus.



Kuva 5.5 Helsingin talvi- ja kesäpäivien keskimääräinen sähkönkulutus kymmeneltä vuodelta [4].

Kulutus on arkipäivisin (ma-pe) vähäistä erityisesti vuorokauden ensimmäisen kuuden tunnin aikana ja viikonloppuisin jopa yhdeksän ensimmäisen tunnin aikana. Suurinta kulutus on talviarkipäivinä kello 9 ja 20 välillä, jonka jälkeen kulutus laskee selvemmin. Viikonloppuina suurin kulutus on kello 12 ja 22 välillä. Kesällä illan kulutus kääntyy aikaisemmin laskuun verrattuna talviaikaan niin arki- kuin viikonlopunpäivinä.

Kun kuvista 5.4 ja 5.5 verrataan Helsingin alueen ja koko Suomen kulutusjakaumia, voidaan havaita, että Suomessa kulutus on tasaisempaa vuorokauden ympäri. Kuvan 5.4 mukaan, Suomen yöajan kulutus on noin 15 % pienempää kuin päivän kulutushuippu. Kuvan 5.5 mukaan Helsingissä vastaavasti yöajan kulutus on noin 30 % pienempää kuin päivän kulutushuippu. Tämä ero selittyy pääasiassa valmistavan kolmivuoroteollisuuden vähäisyydestä Helsingissä verrattuna Suomen tasoon ja merkittävästä palvelusektorin yritystoiminnasta, jonka kulutus painottuu selkeästi päiväaikaan. Helsingin matalin kulutus löytyy aamuyön tunneilta kello 3–6 välillä riippuen vuodenajasta ja viikonpäivästä.

5.3 Helsingin käyttöpaikkaklusterit

Alueelliset kulutukset muodostuvat siellä sijaitsevien erilaisten käyttäjien yhteenlasketuista kulutuksista. Tarkastelemalla erilaisten käyttäjäprofiilien sähkönkäyttöä voidaan paremmin

ymmärtää ja analysoida verkon eri tasoille muodostuvaa kulutusta. Näiden analyysien avulla voidaan edelleen kehittää erilaisia sovellutuksia tukemaan verkon kulutuksen ja tuotannon tasapainoa, verkon käytön tehokkuutta, suurten kulutuspiikkien ehkäisyä ja sähköverkon siirtokapasiteetin riittävyyttä. Näihin analyyseihin päästäkseen täytyy ensin ymmärtää erilaisten käyttäjäprofiilien sähkönkulutusta ja mitkä asiat vaikuttavat heidän sähkön käytön valintoihin. Jokaiselle käyttäjäprofiilille voidaan löytää teknistaloudellisesti järkeviä tapoja toteuttaa älykäs lataus olemassa olevan kulutuksen päälle.

Helen Sähköverkon jakeluverkosta löytyvät käyttöpaikkaklusterit on määritelty tilaustutkimuksessa *”Tuntimittaus- ja avoimeen dataan perustuva kuormitusmallinnus”* [5]. Erilaisia käyttöpaikkaklustereita muodostui kaikkiaan 37 kappaletta. Klusterit 1–6 ovat erilaisia toimisto- ja palveluidenrakennusten klustereita, joissa merkittävin erottelutekijä on vuorokauden aikainen sähkönkäytön vaihtelu. Yhteistä näiden klustereiden kulutukselle on arkipäiville 7–18 välille muodostuva selkeä kulutuksen keskittyminen. Ilta-, yö- ja viikonlopunkulutus on selkeästi tasaista kohdekiinteistön peruskulutusta. Viikonlopun päiväaikaan on pienen pientä kulutuksen kasvua havaittavissa verrattuna yöaikaan, mutta sen suuruus on huomattavasti pienempi kuin arkipäivinä.

Klusterit 7–11 ovat erilaisten palveluiden klustereita, kuten vähittäistavarakaupat, ravintolat ja kahvilat sekä virkistys- ja kulttuuripalvelut [5]. Merkittävin ero kulutuksessa verrattuna toimistorakennuksiin on viikonlopun kulutuksessa. Klustereilla 7–11, viikonpäivällä ei juurikaan ole vaikutusta kulutuksen jakautumiseen vuorokauden aikana. Ainoastaan klusterissa 9: *vähittäiskauppa, rajoitettu aukiolo vkl* on samankaltaista vähäisempää viikonlopun kulutusta kuin toimistorakennuksissa ja siten kulutus eroaa arkipäivien kulutuksesta. Tässä työssä ei tarkastella näiden klustereiden kuormituksen käyttäytymistä ja sähköautojen latausratkaisuja.

Klusterit 12–19 ovat erilaisia palveluiden klustereita, joita ovat muun muassa julkinen liikenne, vesi- ja energiahuolto, ulkovalaistus, koulut ja rakentaminen [5]. Näissä klustereissa, julkista liikennettä lukuun ottamatta, sähköautojen lataus ei toistaiseksi ole lisäämässä kulutusta. Ulkovalaistuksen sekä vesi- ja energiahuollon käyttöpaikat pysyvät tulevaisuudessa kokonaan ilman latauspisteitä. Kouluihin ja rakennustyömaille sähköisiä ajoneuvoja ilmaantuu tulevaisuudessa. Tässä työssä ei käsitellä näitä klustereita tämän enempää.

Klusterit 20–30 ovat erilaisten taloyhtiöiden, lähinnä kerrostalojen klustereita. Klusterit 20–22 ovat taloyhtiöiden niin sanottuja kiinteistökäyttöpaikkoja koskevat klusterit. Klusteriin 22 on yhdistetty kerros- ja rivitalojen kiinteistökäyttöpaikat, joissa on autolämmitystä. [5] Kiinteistökäyttöpaikkojen päiväkohtaiset kulutukset ovat jakautuneet hyvin säännönmukaisesti kaikkina päivinä. Autolämmityksellisissä taloyhtiöissä näkyy arkipäivien aamuina selkeästi suurempi kulutuspiikki autojen lämmityksestä johtuen. Viikonloppuina piikki on edelleen havaittavissa, mutta sen suuruus on maltillisempi. Klusterin 21 taloyhtiöissä ilta-ajalle muodostuu selkeä kulutuspiikki jokaisena päivänä. Tämä on huomattavasti suurempi kuin aamun kulutuspiikki. Erityistä tässä klusterissa on viikonlopun päivien selkeästi arkipäiviä korkeammat kulutukset. Klusterin 20 taloyhtiöissä kulutus on viikon jokaisena päivänä hyvin samankaltainen. Klusterit 23–30 ovat kerrostaloasuntojen klustereita. Näitä klustereita tarkastellaan tarkemmin kappaleessa 5.3.2.

Klusterit 31–35 ovat pientalojen (omakoti- ja paritalot) klustereita, jotka on muodostettu erilaisten lämmitysratkaisujen perusteella. Klusteriin 33 on sisällytetty rivitaloasuntoja. [5] Näiden klustereiden kulutus jakautuu samankaltaisesti viikon päivästä riippumatta. Suurin kulutuspiikki muodostuu ilta-ajoille lämmityksestä johtuen. Myös aamuisin löytyy pieni kulutuspiikki näissä klustereissa. Merkittävin ero eri klustereiden kulutusten välillä on kulutuspiikin suuruudessa. Pientalojen kulutuksia tarkastellaan tarkemmin kappaleessa 5.3.1.

Klusterit 36 *Vakiotehokuorma* ja 37 *Ei kulutusta* ovat poikkeuskohteita, joihin ei ole odotettavissa sähköauton latausta. Näitä klustereita ei käsitellä tässä työssä.

5.3.1 Älykäs lataus pientaloissa

Tarkastellaan ensin pientalojen kulutuskäyttäytymistä ja miten sähköauton lataus kannattaisi toteuttaa näiden kulutuskäyttäytyminen ja verkontarpeet huomioiden. Käyttöpaikkaklusterit 31–35 ovat pientalojen klustereita. Näitä ovat tyypillisesti omakotitalot ja paritalot, joissa lämmityksen (käyttövesi ja tilat) sähkönkulutus on mukana klusterin kulutuksessa. Käyttöpaikkaklusterit 31–35 ja keskiarvovuosienergiat ovat esitetty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 5.1 Käyttöpaikkaklustereiden 31–35 kuvaus ja keskiarvovuosienergia. [5]

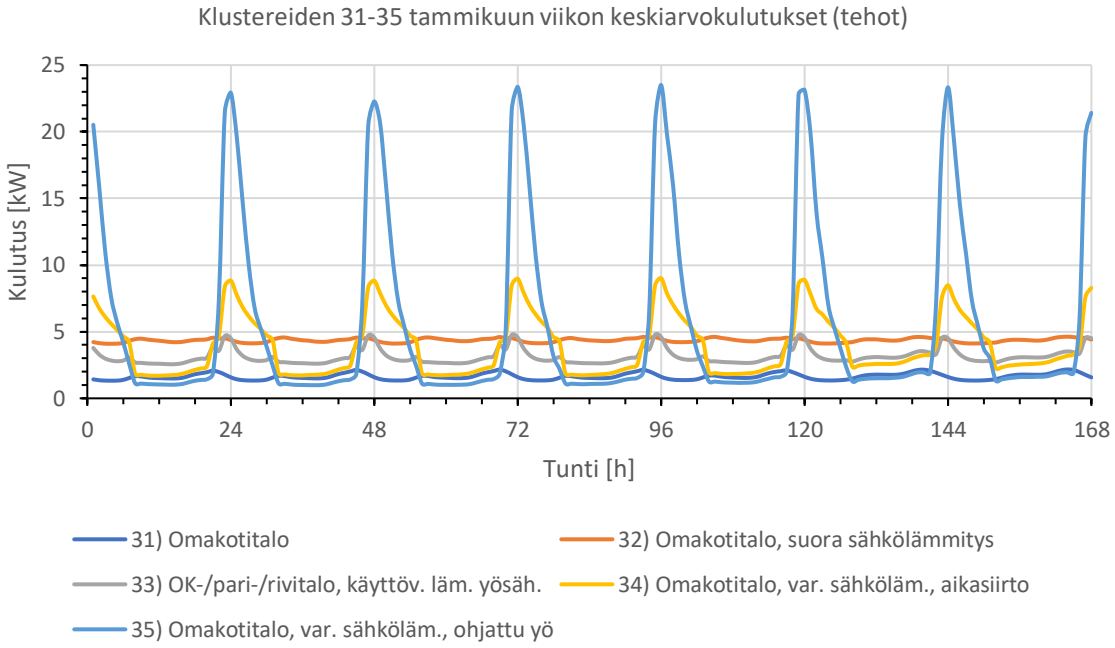
Klusteri	Klusterin kuvaus	Keskiarvovuosienergia [kWh]
31) Omakotitalo	Ei sähkölämmitystä	9 000
32) Omakotitalo	Suora sähkölämmitys	22 000
33) Omakoti-/pari-/rivitalo	Käyttöveden lämmitys yösähköllä	17 000
34) Omakotitalo	Varaava sähkölämmitys, aikasiirto	21 000
35) Omakotitalo	Varaava sähkölämmitys, ohjattu yösiirto	30 000

Klustereiden 31–33 lämmitystapa (käyttövesi ja tilat) ei ole erityisen varaava, vaan kulutus perustuu kunkin ajanhetken tehotarpeeseen. Käytännössä lämmitys on päällä jatkuvasti koko vuorokauden lämmöntarpeen mukaan ja muuta sähköä kulutetaan asukkaiden elämänrytmin mukaan. Lämmitykseen kuluva sähkö jakautuu siten tasaisemmin vuorokauden ympäri verrattuna klustereiden 34–35 kulutukseen. Klustereissa 34–35 lämmitys on suurelta osin varaavaa lämmitystä, jonka kulutus on ohjattu osittain tai kokonaan kello 22–07 väliselle ajanhetkelle halvemman aikasiirtotuotteen ajanjaksolle.

Kunkin klusterin tyypilliset kulutushuiput keskimääräisellä vuosikulutuksella (pyöristettynä lähimpään tuhanteen) löytyvät seuraavasta kuvasta 5.6, jossa on esitetty talviviikon kulutuksien vuorokausivaihtelut. Kuvasta havaitaan sähkölämmityksen merkittävä vaikutus kulutuspiikkien muodostumiseen. Erityisesti klustereiden 34 ja 35 kulutuksissa yösähkön alkaessa illalla 22 aikaan, havaitaan merkittävää kulutuksen kasvua. Pientaloissa yleisin liittymän koko on 3x25 A, joka mahdollistaa noin 17 kW tehon. Seuraavaksi yleisin koko on 3x35A, joka mahdollistaa noin 24 kW tehon. 3x50 A liittymästä saadaan noin 35 kW teho.

Klustereiden 31–33 kulutukset ovat profiililtaan hyvin tasaisia. Klusterissa 33, jossa käyttöveden lämmitys on ajastettu yösähkölle, ilta kymmenen jälkeen muodostuu kulutuspiikki muuhun kuormitukseen verrattuna. Näiden klustereiden kulutusprofiilin ehdoton vahvuus on alhaiseksi jäävät suurimmat keskituntitehot, noin 5 kW tasolla. Näiden kohteiden liittymän kooksi riittää erinomaisesti 3x25 A, ja sähköauton lataamiselle on hyvin kapasiteettia käytettävänä. Tehonkäytön ideologia perustuu vahvasti siihen, ettei näissä kohteissa ole juurikaan suuritehoisia sähkölaitteita, joista muodostuisi huomattavan korkeita (yli 10 kW) tunnin kulutuksia. Sähköauton latausjärjestelmän lisääminen ei tehojen puolesta muodostu ongelmaksi. Kohteissa kannattaa kuitenkin huomioida sähkökiukaiden, lämmityksen ja latauksen tehonhallinta ja porrastaminen, jolla voidaan välttää korkeiden kulutuspiikkien muodostuminen. Klusterilla 33 erityisesti yösähköllä ohjattu lämminvesivaraajan kulutuspiikki

kannattaa huomioida, ettei kohteessa kerrostu muuhun kulutukseen verrattuna merkittävästi korkeampi kulutushuippu. Yleisesti kaikille kolmelle klusterille voi suositella matalatehoista pitkäaikaista lataustapaa. Jos ladattava energiamäärä on maltillinen, latauksen aloittaminen myöhemmin illalla tai yöllä auttaa isossa kuvassa vähentämään kuormia päivän kulutushuippujen aikaan.

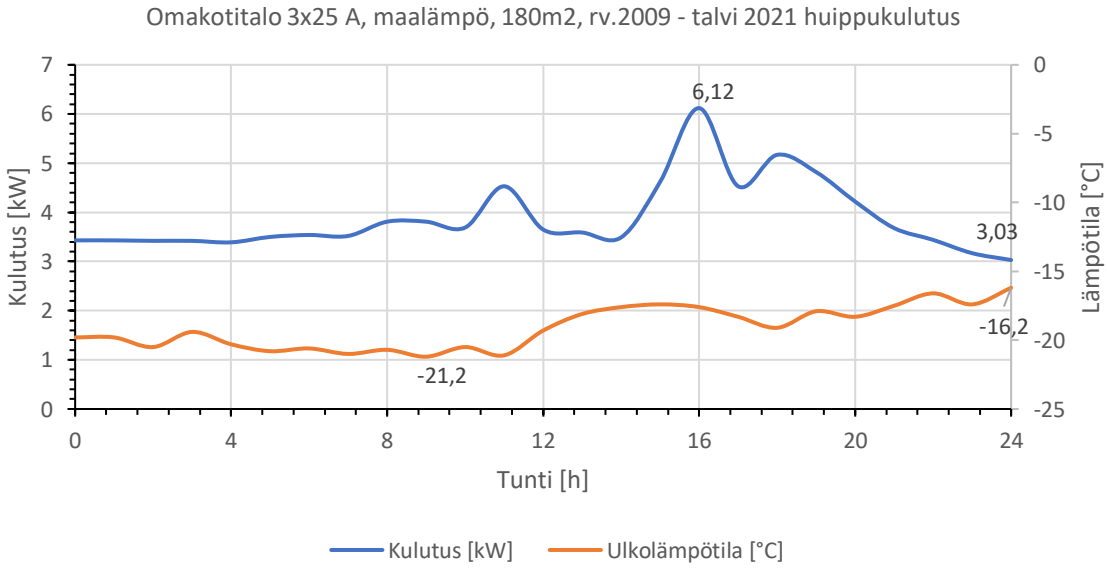


Kuva 5.6 Käyttöpaikkaklustereiden 31–35 tammikuun kulutuksien vuorokausivaihteluiden vertailu klustereiden keskiarvovuosikulutuksilla.

Klusterien 34 ja 35 osalta varaavat lämmitysjärjestelmän nostavat selkeästi tarvittavaa huipputehon tarvetta. Erityisesti klusterin 35 pientalot vaativat käytännössä vähintään 3x35 A liittymän johtuen erittäin suuritehoisesta ja -tilavuisesta lämminvesivaraajasta. Varaaja lämmitetään yösähköllä kuumaksi, ja varastoitunut lämpö riittää kattamaan seuraavan päivän lämmitystarpeen. Laskennallinen noin 24 kW teho täyttää liittymän kapasiteetin täysin. Lämmityksen aikana ei käytännössä voida ladata sähköautoja ollenkaan, ellei liittymän kokoa suurenna seuraavaan kokoon 3x50 A. Klusterissa 34 huippukulutukset jäävät hiukan alle 10 kW tasolle. Lämmityksen, sähkökiukaan ja latauksen yhtäaikainen käyttö veisi 25 A liittymästä lähes kaiken kapasiteetin. Kuormanhallinta on siten ehdottomasti suositeltava ratkaisu tämän kaltaisiin kohteisiin. Sähköautojen latauksen toteuttaminen vaatii näiden kahden klusterin kohteissa selkeästi suunnittelua ja älykkyyttä. Lataustehon tai muun kulutuksen leikkaamista tarvitaan huipputehon hallinnassa. Latauksen ajoittaminen aamuyön tunneille on myös varteenotettava vaihtoehto, sillä useissa tapauksissa lämmityksen vaatima teho

putoaa merkittävästi aamuyötä kohden. Tämä on Helsingin sähkönjakeluverkon kannalta myös hyvä ajankohta ajoittaa suurempitehoinen lataus. Jos lämmitys tarvitsee 10 kW tehoa, auton lataaminen vastaavalla teholla (matalan kulutuksen aikaan) ei kasvata tehomaksua tai ylitä kohteen tehokapasiteettia. Joka tapauksessa kohteessa muodostuu merkittävä huipputeho. Onkin järkevämpää välttää kasvattamasta olemassa olevaa huippukuormaa ja ajoittaa joustava kuormitus matalamman kuormituksen ajanhetkeen.

Tarkastellaan esimerkkinä erästä 2009 valmistunutta pientaloa, jossa on lämmintä asuinpinta-alaa 180 m^2 kahdessa kerroksessa. Asuinrakennus ja käyttövesi lämmitetään maalämpöjärjestelmällä. Lisäksi kohteessa on 20 m^2 varasto peruslämmöllä (12 °C), jota lämmitetään sähköpatterilla. Kohteessa on sähkökiuas. Perheen vanhemmat käyvät arkipäivisin töissä ja lapset koulussa. Kohteen vuosikulutus on noin 14 000 kWh ja se kuuluu klusteriin 32: *suora sähkölämmitys*. Seuraavassa kuvassa on talven 2021–2022 suurimman päiväkulutuksen tuntikohtaiset kulutukset. Päivän kokonaisenergian kulutus oli 93,59 kWh ja keskilämpötila -19,05 °C. Suurin tunnin kulutus oli kello 16–17 välillä 6,12 kW ja pienin kulutus kello 23–24 välillä 3,03 kW. Matalin lämpötila oli -21,2 °C kello 9–10 ja korkeimmillaan kello 23–24 välillä -16,2 °C. Kohteessa ei ole kuormanhallintajärjestelmää.



Kuva 5.7 Esimerkki pientalon suurimman päiväkulutuksen tuntikulutukset talvella 2021–2022.

Kohteen kuormitus kertyy pääasiassa jatkuvasta tilojen lämmityksestä. Kovilla pakkasilla maalämpöpumppu käy noin 40 minuuttia tunnissa. Lämmittäessään pumppu tarvitsee sähkötehoa noin 2,5 kW ja luovuttaa lämpöenergiaa noin 8 kW. Varaston sähköpatterit kuluttavat noin 1 kW. Näistä kerrostuu jokaiselle tunnille noin 2–3 kW lämmityskuorma. Talon

muusta kulutuksesta peruskuormaksi (ei ketään kotona) muodostuu noin 500 W kulutus. Peruskuorman laitteita ovat ilmanvaihtokone, kylmälaitteet ja kiertovesipumppu, jotka ovat aina käynnissä. Kuvaajan perusteella aamulla kahdeksan seudulla näkyy vähäistä kulutuksen nousua (perheen aamutoimet, jonka jälkeen on siirrytty töihin ja kouluun). Puolenpäivän aikaan on tehty kotitöitä, esimerkiksi valmistettu ruokaa tai pesty pyykkiä. Tästä muodostuu noin 1 kW kulutuksen kasvu. Kello 15 aikaan töihin tai kouluun lähteneet asukkaat alkavat saapua takaisin kotiin, jolloin kulutus lähtee kasvuun kotiaskareiden alkaessa. Näitä ovat tyypillisesti pyykinpesu, ruokailut, valaistus, tv ja tietokoneet, sauna ja ruoanlaitot. Arjen askareet on hoidettu kello 20 aikoihin, jolloin kulutus lähtee laskemaan kohti rakennuksen peruskuormaa.

Tässä asumistavassa kulutuksenhallinnan filosofia on jatkuvassa matalassa kulutuksessa. Tällaiselle kulutusprofiilille sopii sähköauton lataustavaksi erityisen hyvin matalatehoinen pitkäkestoinen lataustapa. Tämän esimerkkipäivän perusteella lataus kannattaisi ajoittaa alkamaan noin kello 21 aikaan, jolloin kohteen muu kulutus on selkeästi vähentynyt ja valtaosa kulutuksesta muodostuu talon peruskulutuksesta. Tällöin lataukselle jää ainakin 9 tunnin aikaikkuna illan ja yön aikana. 2 kW latausteholla saa akkuun 50–100 km ajomäärää vastaavan energiamäärän. Ladatun energian määrään vaikuttaa huomattavasti kylmä ilma ja akuston kyky ottaa lataus vastaan [68]. Ajomäärän perusteella laustehoa voidaan säätää ylöspäin, jolloin saadaan lisättyä ladattavan energian määrä. Mieluiten niin, että kohteen huippukulutus jää edelleen hyvin maltilliselle tasolle. Matalatehoinen lataustapa sopii oikein hyvin hybridiautoille tavallisesta 1-vaiheisesta pistorasiasta. Täyssähköautolle kannattaa hankkia kiinteä latauslaite tai -järjestelmä, jossa on kuormanohjaukseen soveltuvaa kyvykkyyttä latauskuorman joustamisen toteuttamiseksi. Jos talouteen tulisi useampi sähköauto, kuormanhallinnan rooli korostuu entisestään. Tämän kaltaisessa kohteessa latauskuorman rajoittaminen muun kuorman noustessa on käyttökelpoinen toteutustapa hillitä huipputehojen kasvua. Jos kiinteistön maksimitehon rajaksi asettaa 6 kW, löytyy tämän esimerkin perusteella vuorokauden aikana ainakin 16 h, joilla pystyy lataamaan vähintään 2 kW teholla.

5.3.2 Älykäs lataus taloyhtiössä

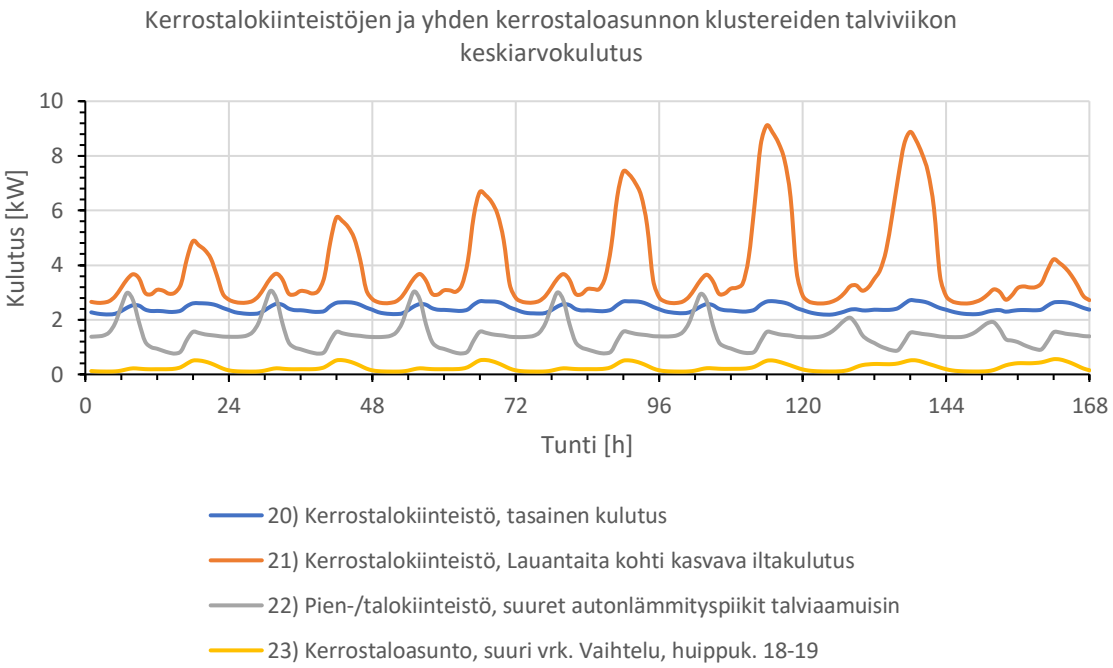
Tarkastellaan seuraavaksi kerrostalojen käyttöpaikkaklustereita tarkemmin. Klusterit 20–22 ovat taloyhtiöiden kiinteistöjä kuvaavia klustereita, jotka sisältävät tyypillisesti taloyhtiön

yhteisten tilojen sähkönkulutuksen. Näitä tiloja ovat porraskäytävät, tekniset tilat, kerho-, pyykki- ja saunatilat sekä pysäköintialueet. Kääntäen kiinteistön kulutus on koko taloyhtiön kulutus, josta on vähennetty asuntojen kulutus. Asuntojen käyttöpaikkaklusterit ovat 23–30. Käyttöpaikkaklustereiden 20–30 kuvaus ja keskiarvovuosienergiat ovat esitetty tarkemmin seuraavassa taulukossa.

Taulukko 5.2 Käyttöpaikkaklustereiden 20–30 kuvaus ja keskiarvovuosienergia. [5]

Klusteri	**Klusterin kuvaus**	**Keskiarvovuosienergia [kWh]**
20) Kerrostalokiinteistö	Tasainen kulutus	15 000
21) Kerrostalokiinteistö	Lauantaita kohti kasvava iltakulutus	29 000
22) Pien-/talokiinteistö	Suuret autonlämmityspiikit talviaamuisin	8 000
23) Kerrostaloasunto	Suuri vuorokausivaihtelu, huippukuormitus klo 18–19	2 000
24) Kerrostaloasunto	Pieni vuorokausivaihtelu, huippukulutus klo 18–19	5 000
25) Kerrostaloasunto	Suuri vuorokausivaihtelu, huippukuormitus klo 19–20	2 000
26) Kerrostaloasunto	Huippukulutus klo 19–20	2 000
27) Kerrostaloasunto	Suuri vuorokausivaihtelu, huippukuormitus klo 20–21	2 000
28) Kerrostaloasunto	Huippukulutus klo 20–21	3 000
29) Kerrostaloasunto	Asukas ei käy päivätöissä/etätyöläinen, huippukulutus klo 20–21	2 000
30) Kerrostaloasunto	Asukas ei käy päivätöissä/etätyöläinen, huippukulutus klo 21–22	2 000

Kuvassa 5.8 on esitetty kerrostalokiinteistöjen ja yhden kerrostaloasunnon kulutuksien jakautuminen talviviikon ajalle. Kulutukset on laskettu keskiarvovuosienergioiden avulla. Kerrostalokiinteistöistä klusteri 21: *lauantaita kohti kasvava iltakulutus* sisältää kiinteistökäyttöpaikkojen suurimmat keskimääräiset kulutuspiikit. Tässä kulutusprofiilissa näkyy todennäköisesti aamun autojenlämmityksestä johtuva kulutuksen piikki sekä ilta-ajalle muodostuva kulutuspiikki, joka johtuu todennäköisesti yhteiskäyttösaunasta. Alkuviikolla ja sunnuntaina ei tämän perusteella saunottaisi niin paljoa kuin perjantaina tai lauantaina. Asuntojen klustereiden osalta kulutusjakaumissa ei ole suurta eroa. Osassa klustereita erottuu selkeämmin ilta-ajan kotona tehtävät arjen askareet. Nämä ajoittuvat jonkin verran eri tunneille illan mittaan kello 17–23 välille, huipun ajoittuessa kello 18–22 välille.

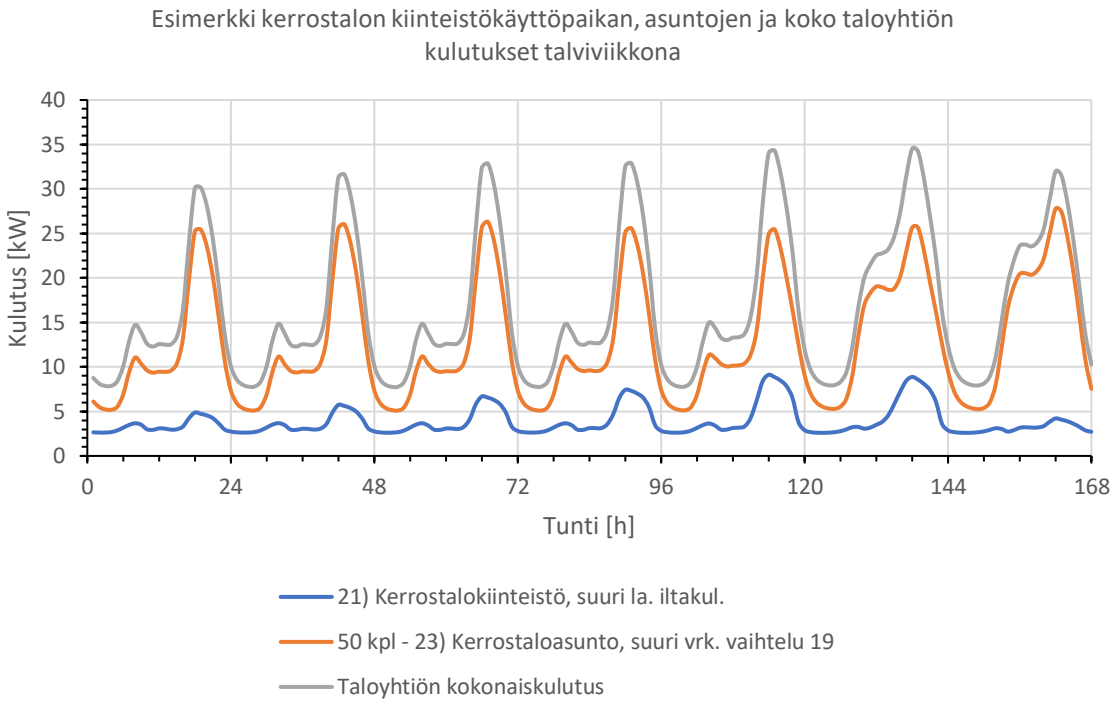


Kuva 5.8 Käyttöpaikkaklustereiden 20–23 tammikuun viikon kulutuksien vaihtelu keskiarvovuosikulutuksella.

Kerrostalossa ei riitä ainoastaan kiinteistökäyttöpaikan sähkönkulutuksen tarkastelu, vaan tarkastelussa tulee huomioida asuntojen muodostama merkittävä yhteiskulutus. Näin saadaan muodostettua koko taloyhtiön (sähköliittymän) tasoinen kulutuksen tarkastelu, jonka perusteella voidaan arvioida taloyhtiön todellinen järkevä latausjärjestelmän toteutus ja ohjausperiaatteet.

Tarkastellaan taloyhtiötason tilannetta esimerkin avulla. Tavanomainen kerrostalon kiinteistön kulutus muodostetaan klusterin 21 (vuosikäyttö 29 000 kWh) ja asuntojen 50 kpl kulutus klusterin 23 (vuosikäyttö 2 000 kWh) mukaan. Taloyhtiön sähköliittymän koko on 3x200 A, joka mahdollistaa noin 138 kW huipputehon. Kiinteistön käyttöpaikalla on 3x63A sulakkeet, jolla saadaan syötettyä 43 kW teho. Taloyhtiön kokonaisenergiaksi muodostuu näillä parametreilla 129 000 kWh. 3x200 A liittymä pystytään syöttämään yhdellä 185 mm^2 liittymiskaapelilla. Liittymiskaapelin kapasiteetti mahdollistaa enintään 3x250 A (173 kW) liittymän syöttämisen. [69] Yleinen sähköpääkeskusten suunniteltu nimellisvirta tämän kokoisissa liittymissä on 250 A. Tämän kaltainen tilanne on hyvin yleinen Helen Sähköverkon verkkoalueella. Eero Koivuniemen diplomityössä (s. 53–54) on havainnollistettu toteutettujen liittymien kuormitusastetta. Jopa 95 % asiakkaista, joilla on 200 A liittymä, olisi voinut käyttää

100 A liittymää ja puolet 50 A liittymää ilman, että tuntitasolla mitattuna tehokapasiteetti olisi loppumassa. [14]



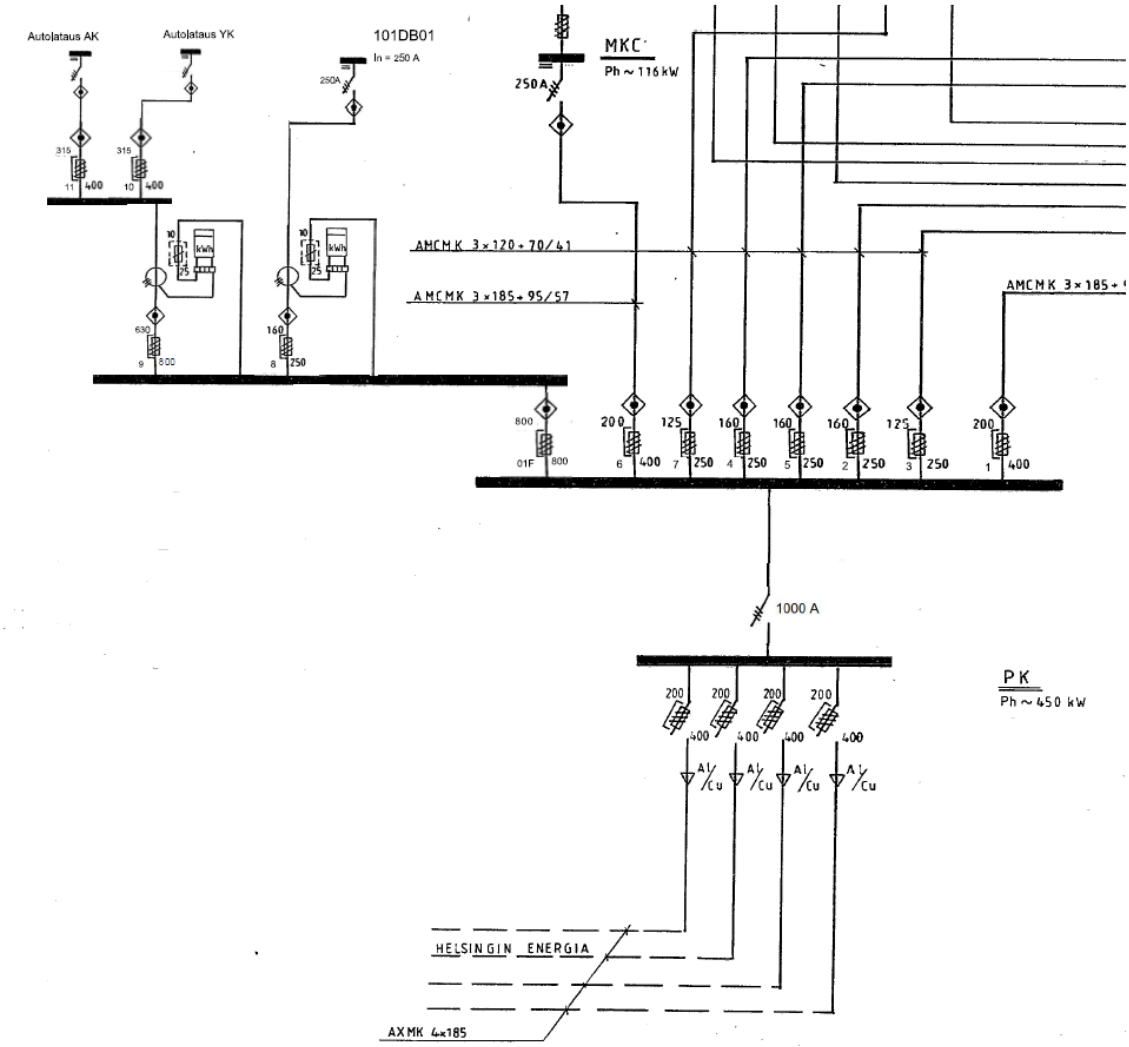
Kuva 5.9 Käyttöpaikkaklustereiden 20–23 tammikuun viikon kulutuksien vaihtelu keskiarvovuosikulutuksella.

Tämän esimerkin kaltaisen taloyhtiön latausjärjestelmäksi kannattaa toteuttaa älykkäällä kuormanhallinnalla toteutettu kokonaisratkaisu, joka huomioi kiinteistökäyttöpaikan mahdollisen tehokapasiteetin ja liittymän kokonaiskulutuksen asettamat rajoitukset. Taloyhtiön kiinteistökulutuksen ja asuntojen kulutuksien huiput osuvat samoille illan tunneille kello 19–21 välille. Rajoittamalla illan aikana lataustehoa ja ajoittamalla lataukset pääasiassa alkamaan klo 21 jälkeen ehkäistään lähestulkoon kaikki tehonhallintaan liittyvät haittatekijät. Taloyhtiön kiinteistökäyttöpaikalla on usein pienjännitetehosiirtotuote, jonka huipputehon laskutus perustuu arkipäivinä kello 7–21 välillä toteutuneeseen tunnin huipputehoon. Tämän vuoksi latauksesta muodostuvaa kulutusta ei kannata kerrostaa illan kulutushuipun päälle täysimääräisesti. Toisaalta kiinteistösähköjen aiheuttama kulutushuippu on varsin maltillinen 10 kW. Jos taloyhtiöön tulisi kaksi täyssähköautoa, joille annettaisiin lupa ladata 11 kW teholla kaikkina vuorokauden aikoina, voi latauksessa muodostua merkittävä tehomaksun (4,5 € / kW alv0 %) korotus kiinteistökäyttöpaikan verkkopalvelumaksuihin. Kun tehomaksut jyvittää suoraan lataamisen maksuihin, voi latauksen hinta nousta merkittävästi. Oletetaan näiden kahden autoilijan kuukausittaiseksi keskimääräiseksi ajomääräksi 1 500 km per

autoilija, yhteensä 3 000 km, ja autojen kulutukseksi 20 kWh/100 km. Tällöin kuukausittainen ajomäärä vastaa 600 kWh energiamäärää. Molempien autojen samanaikainen lataaminen tunnin ajan suurimmalla teholla voi muodostaa 22 kW kasvun laskutustehoon, joka nykyisellä laskutushinnalla tarkoittaa 99 € (alv 0 %) kustannusta. Tämä kustannuslisäys merkitsisi yli 3 € kustannusta 100 km kohden. Jos latausenergian hinta olisi 20 c/kWh, maksaisi 100 km ajoja vastaava energiamäärä 4 €. Suuritehoinen lataus voi tässä tapauksessa lähes kaksinkertaistaa latauksen hinnan.

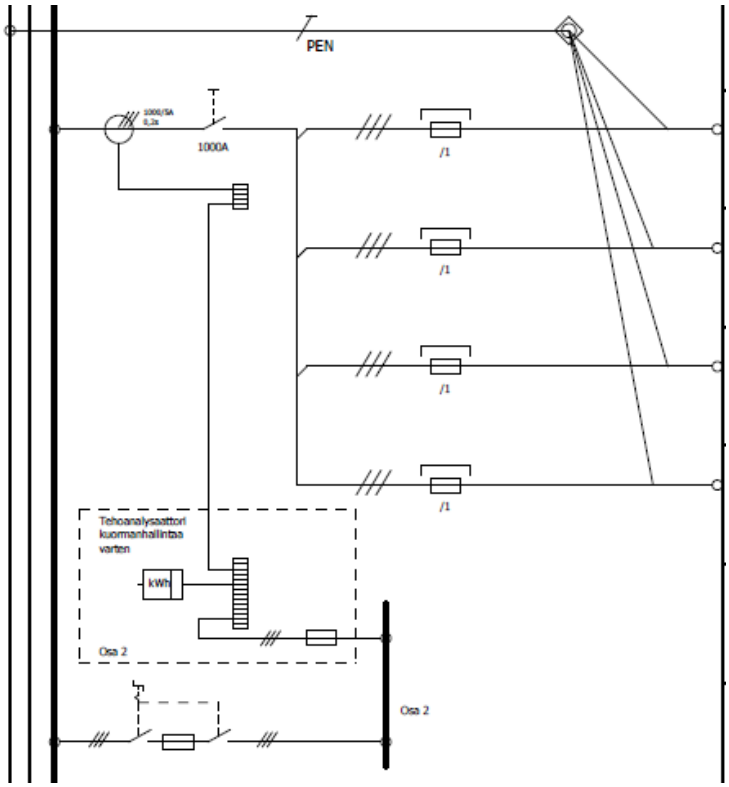
Sähköteknisesti tarkastellen tehokapasiteetti ei muodostu rajoittavaksi tekijäksi kovinkaan nopeasti kiinteistökäyttöpaikalla eikä liittymällä. Autoilijoiden ja taloyhtiön teknistaloudellisten tarpeiden täyttämiseksi on perusteltua mahdollistaa arkipäivinä kello 7–21 välillä matalatehoinen lataus, esimerkiksi 2 kW / auto, jolloin mahdollistetaan matalatehoisille pitkäaikaisille latauksille riittävästi tunteja ja toisaalta lievennetään merkittävästi latauksesta johtuvaa kulutushuipun kasvua.

Taloyhtiöissä pohditaan peruskorjausten yhteydessä usein kokonaisvaltaisia ratkaisuja. Eräässä kohteessa tarkastelun perusteella tehtiin kaksi merkittävää muutosta, jossa lisättiin taloyhtiön pysäköintialueille latausjärjestelmä ja hukkalämpöä hyödyntävä poistoilmalämpöpumppu. Taloyhtiön sähköjärjestelmän kannalta nämä valinnat tarkoittivat sähköpääkeskuksen uusimista. Liittymän kokoa ei tarvinnut suurentaa. Seuraavassa kuvassa on esitetty kohteen pääkaaviosta pieni osa. Vasemmassa reunassa näkyy latausjärjestelmälle ja poistoilmapumpulle (101DB01) lisätyt keskusosat.



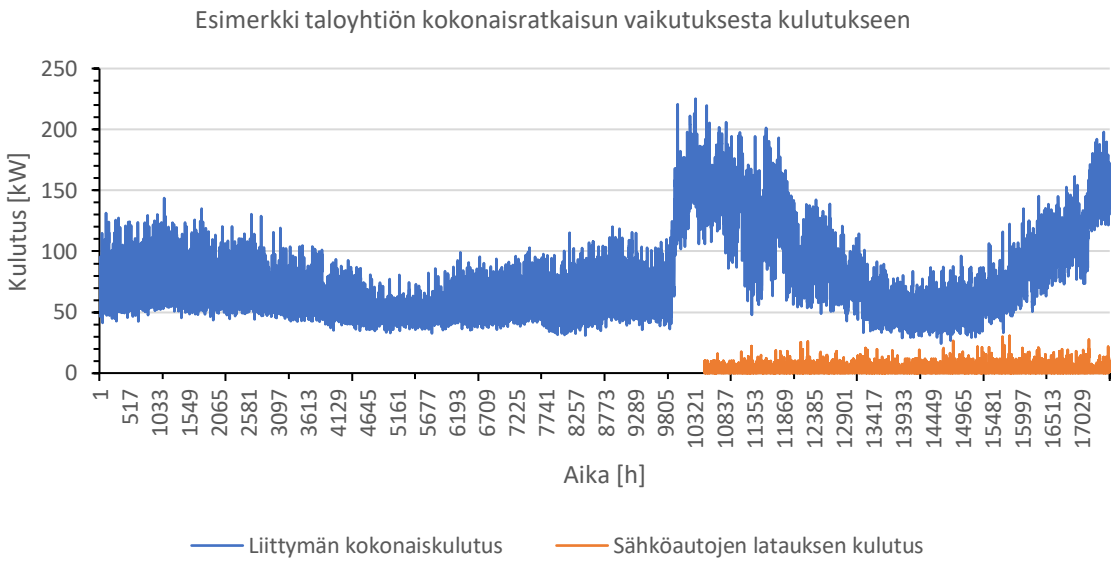
Kuva 5.11 Taloyhtiön nousujohtokaavion osa.

Liittymän kokonaiskulutuksen kannalta taloyhtiössä päädyttiin koko liittymän tehohallintaratkaisuun. Tämä toteutettiin asettamalla tehoanalysaattori mittaamaan kulutusta heti pääkytkimen jälkeen. Seuraavassa kuvassa on esitetty pääkaaviotasolla toteutus. Liittymän syötöt (liittymiskaapelit) tulevat oikealta suunnalta. Virran kulkusuuntaan edetessä seuraavat komponentit ovat päävarokkeet (4x3x200 A), pääkytkin (1000 A), tehoanalysaattorin virtamuuntajamittaus, pääkisko ja viimeisenä varokelähtö toiselle osalle (osa 2).



Kuva 5.12 Tehoanalysaattorin sijainti pääkaaviossa.

Tarkastelemalla kohteen kulutusta ennen ja jälkeen muutoksen löydetään perusteltu syy liittymätasoiseen tehonhallintaratkaisuun (seuraava kuva). Ennen muutosta (tunnit 0–9900) kokonaiskulutus on ollut hyvin tyypillinen vuoden lämpötilan mukaan vähäisesti vaihtelevaa kulutusta 40–140 kW tasolla. Muutoksen jälkeen (tunnit 9900 eteenpäin) lämmitykseen tarvitaan enemmän sähköä poistoilmapumpun vuoksi. Hukkalämmön hyödyntäminen uudelleen vähentää lämmitykseen käytettävää kokonaisenergian tarvetta ja siten kiinteistön kokonaisenergian tarvetta. Kuvassa nähdään, että liittymän suurin mitattu tunnin kulutus on noussut 220 kW tasolle edeltävän vuoden 140 kW tasolta. Suurin latauksen aiheuttama tunnin kulutus on ollut 30 kW. Kokonaisuutena kohteessa on selvästi arvioitu kulutuksen muuttumista ja tehty valinta hallita kokonaiskuormitusta. Tehoanalysaattorin mittaustietojen avulla kohteessa on kulutusjouston piirissä sekä poistoilmalämpöpumppu että sähköautojen latausjärjestelmä. Kohteen toteutus on hyvä esimerkki siitä, ettei kaikki muutokset vaadi liittymäkapasiteetin nostamista. Kohteen kulutuskäyttäytymisen ja muutoksien vaikutusten ymmärtäminen antavat todellista tietoa valintojen toteuttamiseksi taloyhtiöissä.



Kuva 5.13 Liittymätason kulutus ennen ja jälkeen toteutetun muutoksen.

Rivitaloyhtiöissä tarkastelu tehdään samankaltaisin periaattein. Pienissä rivitaloyhtiöissä ei ole aina erillistä kiinteistökäyttöpaikkaa, vaan yleisten alueiden kulutus on jaettu suoraan asuntojen kulutuksien yhteyteen. Käytännön esimerkkinä on toteutus, jossa asunnon sähkökeskuksesta on vedetty oma sähkönsyöttö asunnolle kuuluvan pysäköintiruudun lämmitystolpalle. Koko liittymän kulutus muodostuu näissä kohteissa asuntojen yhteenlasketuista kulutuksista.

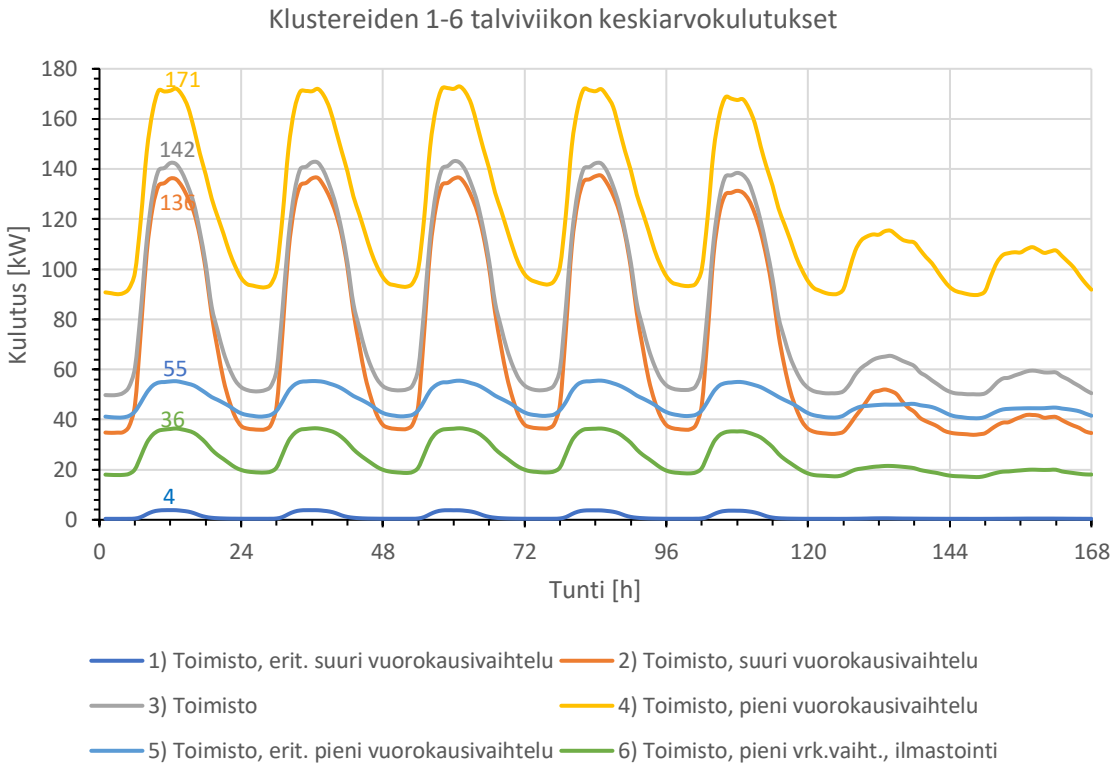
5.3.3 Älykäs lataus liike- tai toimistorakennuksessa

Käyttöpaikkaklusterit 1–6 ovat erilaisten toimisto- ja palvelukohteiden klustereita. Klusterit ja niiden keskiarvoiset vuosienergiat ovat esitetty seuraavassa taulukossa. Klusterin 1) pienet vuosienergiat selittyvät toimistokiinteistöistä, joissa on paljon pieniä liiketiloja eri toimijoiden käytössä. Näissä kohteissa kulutus on mitattu liiketilakohtaisesti, jolloin koko kiinteistön kulutus saadaan laskemalla kaikkien käyttöpaikkojen kulutukset yhteen. Kaikkien klustereiden 1–6 keskiarvovuosienergialla muodostetut talviviikon kulutukset ovat käyrämuodoltaan samankaltaiset (seuraava kuva), mutta vaihtelun suuruus eroaa toisistaan selvästi. Pienimmän ja suurimman tunnin kulutuksen suhde on matalin, alle 1,5-kertainen (klusteri 5) ja suurin, lähes 10-kertainen (klusteri 1). Klusterin 1 suurta vaihtelua selittää pienikokoinen liiketila, jossa peruskuorma on hyvin mitätön (aikana, jolloin tila on tyhjänä).

Taulukko 5.3 Käyttöpaikkaklustereiden 1–6 kuvaus ja keskiarvovuosienergia. [5]

Klusteri	Klusterin kuvaus	Keskiarvovuosienergia [kWh]
1) Toimisto/palvelu	Pieni vuosienergia, erittäin suuri vuorokausivaihtelu, auki arkisin (8–17)	10 000
2) Toimisto/palvelu	Suuri vuorokausivaihtelu, auki arkisin (7–18)	579 000
3) Toimisto/palvelu	Auki arkisin (7–18)	687 000
4) Toimisto/palvelu	Pieni vuorokausivaihtelu, auki arkisin (7–18)	962 000
5) Toimisto/palvelu	Erittäin pieni vuorokausivaihtelu, auki arkisin (7–18)	417 000
6) Toimisto/palvelu	Pieni vuorokausivaihtelu, auki arkisin (7–19), positiivinen lämpötilariippuvuus (ilmastointi)	225 000

Vuositasolla tarkasteluna klustereiden 1–4 talven kulutukset ovat selkeästi suuremmat kuin kesäaikaan. Klustereissa 5–6 jäähdytyksestä johtuen kesäajan kulutushuiput nousevat aavistuksen talven kulutushuippuja suuremmaksi. Arkipäivän kulutus muodostuu hyvin tavanomaisen työpäivän mukaan aamu klo 7–8 alkaen reippaasti kasvaen ja madaltuen peruskulutukselle ilta klo 17–18 jälkeen. Ilta- ja yöajan kulutus on hyvin tasainen käyttöpaikan peruskulutus.

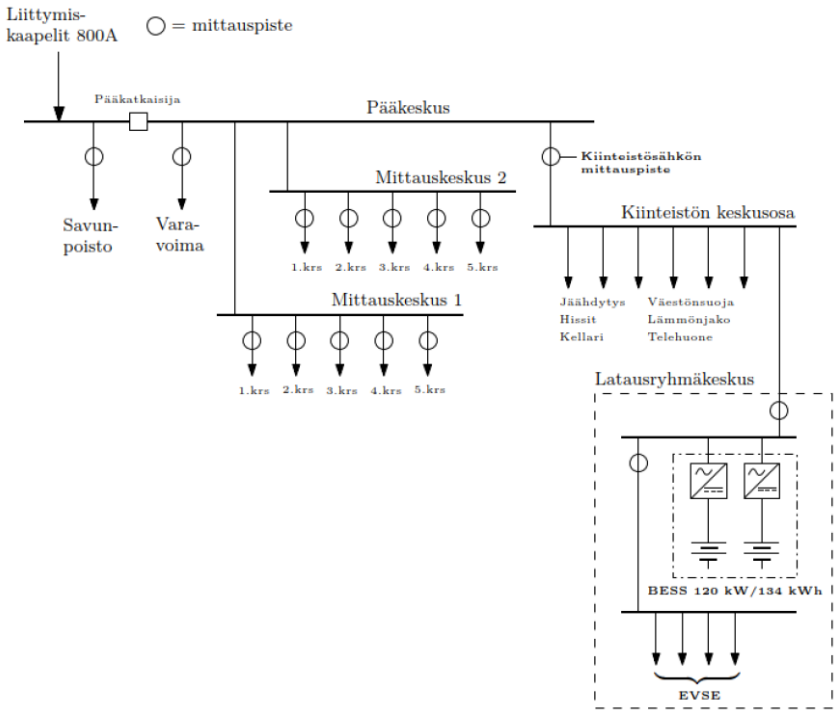


Kuva 5.14 Käyttöpaikkaklustereiden 1–6 tammikuun kulutuksien vuorokausivaihteluiden vertailu

Kulutuksen vuorokausivaihtelun perusteella kohteissa tarvitaan suuri sähköliittymä kattamaan kiinteistön tehotarve. Näiden kohteiden verkkopalvelusopimuksilla on pääsääntöisesti

pienjännitetehosiirtotuote, pois lukien klusteri 1 yleissiirto. Tehosiirtotuotteiden laskutusteho määräytyy arkipäivinä kello 7–21 välisenä aikana mitatun korkeimman tunnin kulutuksen perusteella. Jokaisen klusterin suurimmat kulutukset ajoittuvat juuri tehomaksun määräytymisajankohdalle. Tällaisessa tilanteessa huipputehonhallinta on keskeinen keino vaikuttaa sähkönkäytöstä muodostuviin tehomaksuihin ja samalla koko kiinteistön sähköjärjestelmän mitoitukseen. Työpaikkalataus tapahtuu samaan aikaan, kun henkilöstö on töissä rakennuksessa, ja näin se ajoittuu jo valmiiksi suurimman kulutuksen ajanhetkiin. Toimistokiinteistön tehonhallinta onkin kiinteistöjen energiankäytön kannalta kiinnostava seikka teknis-taloudellisesti tarkastellen.

Helen (sähkönmyyjä, latausoperaattori ja joustomarkkinatoimija) ja Helen Sähköverkko osallistuivat EU SysFlex-projektiin, jonka Suomen demonstraatiossa testattiin Osmontien toimistokiinteistön älykkään sähköjärjestelmän moniajon logiikkaa. [71] Osmontien toimisto kuuluu klusteriin 5: *erittäin pieni vuorokausivaihtelu, auki arkisin (7–18).* Tarkastellaan tarkemmin Osmontien kiinteistön sähköjärjestelmää. Sähköverkon yksinkertaistettu pääkaavio on esitetty kuvassa 5.15.



Kuva 5.15 Osmontien toimistokiinteistön yksinkertaistettu pääkaavio. [14]

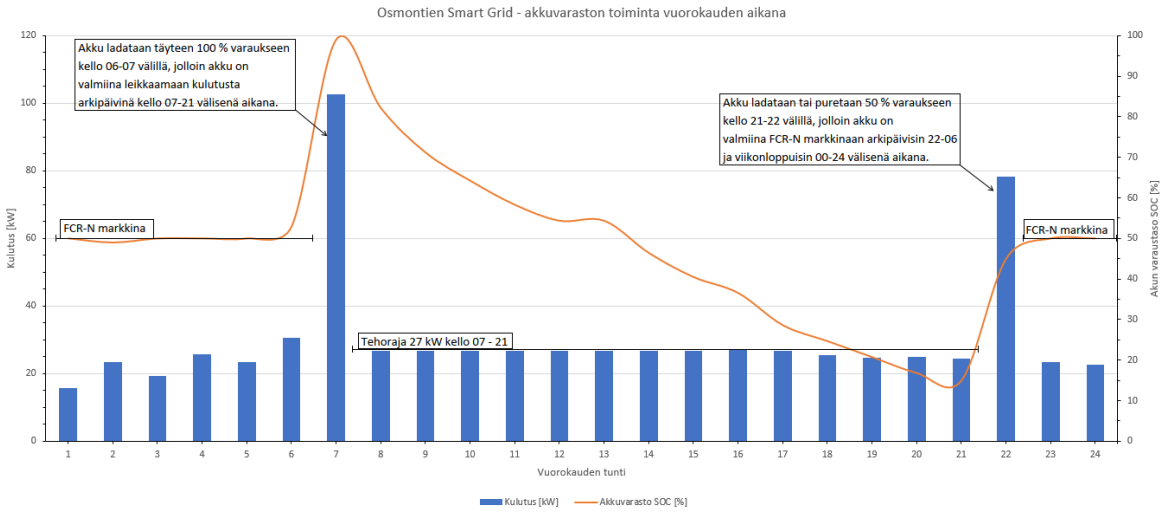
Kiinteistön sähkönkulutukset mitataan 14 käyttöpaikassa. Kiinteistökäyttöpaikalle on kytketty sähköautojen latausjärjestelmä, jossa on kahdeksan latauspistettä á 22 kW (2x11 kW

Type 2) sekä keskikokoinen akkuvarasto, jota voidaan ohjata erilaisin logiikoin. Akkuvarasto koostuu kahdesta TESVOLT TS HV 70 -yksiköstä, muodostaen yhteensä 134 kWh energiakapasiteetin. Akkujärjestelmässä on kaksi Sunny Tripower 60 invertteriä, joiden suurin pätötehon siirtokyky on yksistään 60 kW ja yhdessä 120 kW. Helen Oy on toimittanut molemmat järjestelmät ja vastaa niiden operoinnista. [14] Osmontien akkuvaraston toimintaperiaatteet on määritelty seuraavassa taulukossa 5.4 ja kuvassa 5.6. Aamulla ennen kello 07 akku ladataan täyteen 100 % varaukseen. Arkipäivinä kello 07-21 välisenä aikana kiinteistökäyttöpaikalla on ohjauslogiikan mukaan 27 kW tehoraja sähköverkosta otetulle teholle. Akun tehtävä on kattaa 27 kW ylittävä kulutus. Käytännössä työpaikalla ladattavien autojen latauksesta suuri osa hoidetaan akkuvaraston avulla. Akun suorituskyky mahdollistaa suuret lataustehot latauspisteillä ja kykenee kattamaan kiinteistön kulutushuippuja kello 07-21 välillä.

Taulukko 5.4 Osmontien sähkövaraston toimintaperiaatteet. [71]

Viikonpäivä	Kellon aika	Toimintaperiaate	Syy
Arkipäivä	06-07	Valmistautuminen huipputehon leikkaamiseen	Akku valmis leikkaamaan huipputehoja heti 07:00 aikaan. Tavoite akun varaustaso, SOC: 100 %
	07-21	Huipun leikkaus	Saavuttaa säästöjä verkkopalvelun tehomaksuista
	21–22	Valmistautuminen yöajan taajuusreserviin FCR–N	Akku valmis FCR–N:n mukaiseen taajuussäätöön. Tavoite akun varaustaso, SOC: 50 %
	22–06	Toimia FCR–N markkinoilla hyväksytyillä tunneilla (tarjottu 100 kW)	Saavuttaa lisätuloja FCR–N markkinoilta. Verkkopalveluiden tehomaksut eivät käytössä.
Viikonloppu	00–24	Toimia FCR–N markkinoilla hyväksytyillä tunneilla (tarjottu 100 kW)	Saavuttaa lisätuloja FCR–N markkinoilta. Verkkopalveluiden tehomaksut eivät käytössä.

Kiinteistökäyttöpaikan jakeluverkosta ottama mitattu kaikkien tuntien keskiteho on ollut 28,72 kW joulukuun 2021 ja marraskuun 2022 välillä. Illalla kello 21–22 välisenä aikana akun varaustaso asetetaan 50 % tasolle, jolloin on parhaimmat edellytykset hoitaa FCR–N -markkinan kaipaamaa taajuussäätöä. Jos akun varaustaso on alle 50 %, akkua ladataan. Vastaavasti jos varaustaso on yli 50 %, akkua puretaan.



Kuva 5.16 Osmontien akkuvaraston toimintaperiaate vuorokauden aikana.

Asettamalla akun varaustaso puoliväliin voidaan akkua ladata ja purkaa yhtä paljon, ja siten mahdollistaa samansuuruinen säätövara. Akun varaustaso voi liikkua FCR–N -markkinalla 5–95 % välillä.

Toimistokiinteistöjen älykäs kuormituksen hallinta mahdollistaa käyttäjien sähkön kulutuksen ilman korkeita arkipäivien kulutuspiikkejä. Kiinteistön kokonaiskulutuksen huomioivassa ratkaisussa sähköautojen lataus on vain yksi osa kulutuksesta muiden joukossa. Akkuvarastot voivat olla sopiva komponentti älykkäissä sähköjärjestelmissä, jotka voivat mahdollistaa useita eri toiminnallisuuksia kiinteistön kulutuksen hallintaan.

6 Asiakaskysely

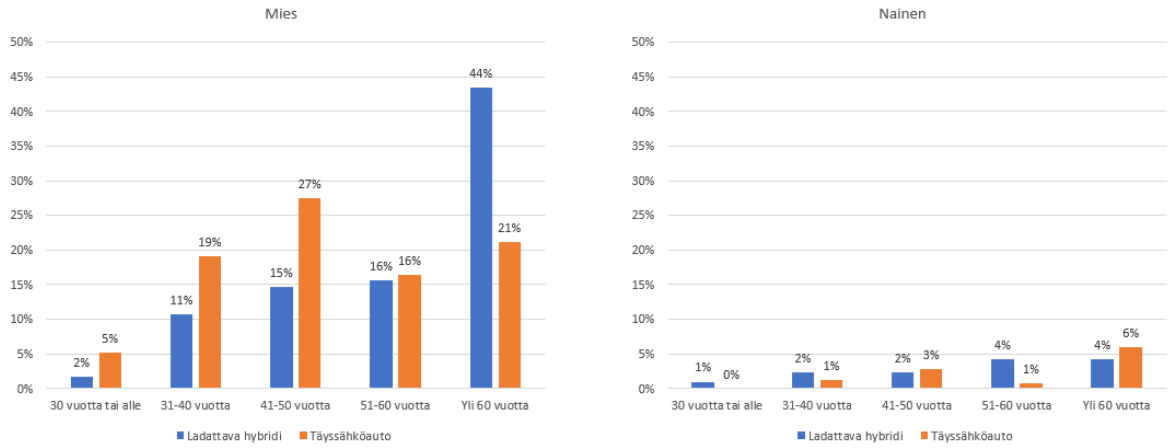
Tässä luvussa esitellään asiakaskyselyn tulokset keskittyen latauskäyttäytymiseen vaikuttaviin tekijöihin. Asiakaskysely toteutettiin lokakuussa 2022 sähköisenä kyselynä Helen Sähköverkon verkkosivuilla ja se lähetettiin 2329 asiakkaalle. Vastauksia saatiin 566 kappaletta, jolloin vastausasteeksi muodostui 24,3 %. Kyselyn kysymykset eivät olleet pakollisia. Kysymykset 10 a, 12–16 ja 19-22a olivat ehdollisia, joiden esiintyvyys riippui vastaajan aiemmista vastauksista. Ehtoina olivat kotilatausmahdollisuus, asumismuoto ja asiakkaalla käytössä oleva verkkopalvelun tuote.

6.1 Kyselyn yleistulokset

Vastaajien keski-ikä oli 53 vuotta, joista yli 60-vuotiaita oli 38,3 % (217 kpl). Tilastokeskuksen mukaan suomalaisten keski-ikä vuonna 2021 oli 43,6 vuotta [76]. Miesten osuus vastaajista oli 86,7 % (491 kpl) ja naisten oli 12,4 % (70 kpl). Talouden tulotaso keskimäärin on 105 000 € / v, mikä on lähes kaksinkertainen verrattuna suomalaisten talouksien keskimääräiseen tulotasoon 55 400 € / v [76]. Noin 42 % tulotaso on yli 100 000 € / v. Tulotasoa ei halunnut ilmoittaa 48 vastaajaa (8,6 %). Sähköautoilijoiden asuinpaikat jakautuvat odotetusti ympäri Helsinkiä. Edustavuudeltaan merkittävimmät autoilijakeskittymät muodostuvat Lauttasaaren, Kaarelan, Kannelmäen, Maununnevan, Tapanilan, Siltamäen, Suutarilan ja Suurmetsän alueilta.

Ladattavien hybridien osuus on 44,7 % ja täyssähköautojen 55,3 %. Ladattavien hybridien suosio kasvaa selvästi vastaajan iän kasvaessa. Ilmiö korostuu erityisesti miesten keskuudessa (kuva 6.1). Yli 60-vuotiaista 68 % on ladattava hybridi ja vastaavasti enintään 50-vuotiailla hybridien osuus on 42 %. Hybridiautojen suosio vanhemmilla autoilijoilla voi johtua erilaisista asioista, kuten uskalluksesta ottaa käyttöön täysin uutta tekniikkaa, osaamisen puutteesta tai käyttöohjeiden vaikeaselkoisuudesta. Näitä seikkoja vastaajat toivat esille kyselyn avoimissa kommenteissa. Hybridiautossa polttoaineen tankkaaminen on vielä tuttu ja turvallinen opittu tapa. Latauksen käynnistäminen tai ajastaminen erilaisilla sovelluksilla, voi olla haastava tehtävä. J. Erkkilän Pro gradussa [81] tutkittiin yli 60-vuotiaiden tietoteknisten taitojen oppimista. Henkilöiden motivaatio- ja taitotekijöissä oli suuria eroja, jotka

näkyivät selkeästi uuden teknisen taidon oppimistuloksissa. Teknisten laitteiden käyttäminen tai käyttämättömyys ei johtunut selkeästi yhdestä asiasta, vaan se on yhdistelmä erilaisia vaikuttavia tekijöitä. Uusien taitojen oppimista edesauttoi asiaan vihkiytyneen välitön tuki.



Kuva 6.1 Täyssähkö- ja hybridiautojen jakauma miesten ja naisten välillä ikäluokittain.

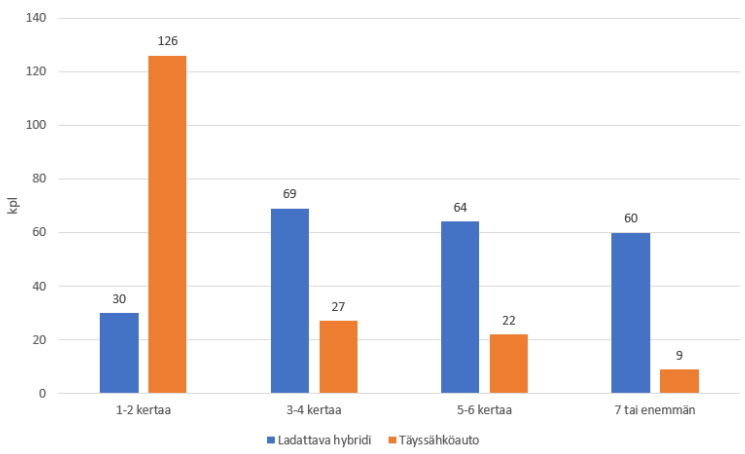
Sähköautoilun aloittaminen ja sujuva käyttö voi edellyttää uusien asioiden, kuten latauslaitteiden sekä auton ja puhelinsovellusten oppimista. Kyselyyn vastanneista 81 % (458 kpl) on aloittanut ladattavien autojen käytön alle kolmen vuoden sisällä, joka kertoo omalta osaltaan sähköautoilun olevan monille uusi asia.

Lähes kaikki vastaajat (97 %) pitävät sähköautoa talouden ykkösautona, jolla ajetaan suurin osa talouden ajoista. Miehistä 1 % (6 kpl) ja naisista 14 % (10 kpl) ei käyttänyt sähköautoa ensisijaisena autona. Ainoastaan 5 % talouksista löytyy useampi ladattava sähköauto. Kaikkien vastaajien vuosittaiseksi keskimääräiseksi ajomääräksi kertyy 17 600 km, mikä on noin 20 % suurempi kuin suomalaisten keskimääräinen 13 800 km ajomäärä [76]. Vastaajien keskimääräinen päivittäinen ajomäärä on noin 50 km. Vain alle 5 % (25 kpl) ajaa vuodessa yli 30 000 km ja tämä vastaajien vähyys vaikuttaa paljon ajavien tulosten yleistettävyyteen. Keskimääräinen ajomäärä on hyvin tyypillinen. Lukujen 3 ja 5 esimerkeissä havainnollistettiin, että keskimääräisen ajomäärän tarvitsema energia voi olla mahdollista ladata kiinteistön nykyisen sähköjärjestelmän mahdollistamalla teholla.

6.2 Kotilataaminen

Arjen sujuvuus vaikuttaa latauskäyttäytymiseen. Asuinpaikan välittömässä läheisyydessä oleva oma latauspiste on yksi tärkeimmistä tekijöistä sähköauton lataamisen helppouden

kannalta. Autoalan tiedotuskeskuksen tekemän käyttäjätutkimuksen mukaan koti on yleisin ja työpaikka toiseksi yleisin paikka ladata autoa [79]. Tämän diplomityön kyselyn vastaajista kolmella neljästä (73 %) on oma latauspiste käytössä. Pientaloasukas pystyy vaikuttamaan kokonaisvaltaisesti latauskäyttäytymiseensä (ajankohta, latauskerrat ja latausteho). Taloyhtiöissä lataustapahtumaan voi vaikuttaa oman latauskäyttäytymisen lisäksi taloyhtiön muiden asukkaiden lataaminen, taloyhtiön yhdenvertaisuusperiaate [77] ja taloyhtiöön toteutettu latausjärjestelmän tehonhallintaratkaisu. Seuraavassa kuvassa on esitetty kotilatauspisteen latauskertojen määrät viikossa auton tyypin mukaan.

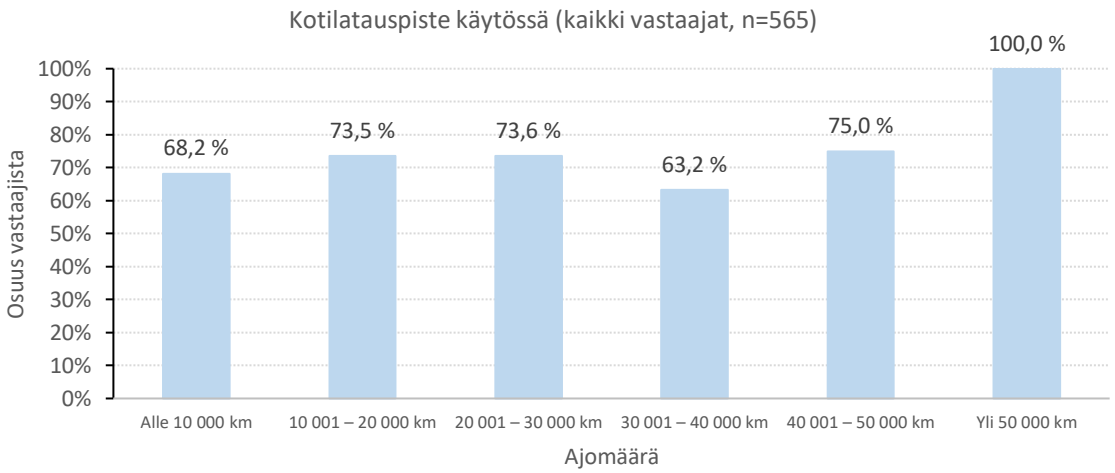


15. Kuinka monta kertaa viikossa lataat kotona?	Prosentti	Lukumäärä
1-2 kertaa	38,5%	156
3-4 kertaa	23,5%	96
5-6 kertaa	21,1%	86
7 tai enemmän	16,9%	69
N		408

Kuva 6.2 Viikoittaiset latauskerrat kotilatauspisteellä.

Täyssähköautoja ladataan keskimäärin noin 2,5 kertaa ja hybridiautoja 5 kertaa viikossa. Keskiarvon laskennassa on käytetty vastausvaihtoehdon ilmoittaman vaihteluvälin keskiarvoa (esim. 1-2 kertaa = 1,5) ja suurimmassa vastausvaihtoehdossa arvoa 7. Tulosten perusteella auton lataaminen ei ole aina päivittäinen rutiini, vaan autoa ladataan vasta akun varauksen laskettua merkittävästi. Vastaavia päätelmiä on esitetty Autoalan Tilastokeskuksen ja EPRI:n tutkimuksissa [79][80]. Käytännössä latausmäärien ero auton tyyppien välillä selittyy hybridiautojen pienestä akusta, joka riittää yleensä vain yhden päivän ajoihin. Täyssähköautolla akun energiamäärä kattaa useamman päivän ajotarpeen.

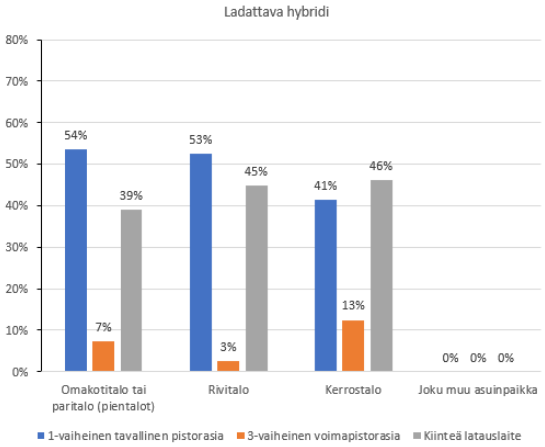
Vastausten perusteella ajomäärän lisääntyminen lisää kotilatauspisteen tarvetta. Seuraavassa kuvassa 6.3 on esitetty kotilatauspisteiden esiintyvyys ajomäärän suhteen. Ainoastaan 8 hybridiautoilijaa ja 17 täyssähköautoilijaa ilmoitti ajomääräksi yli 30 000 km vuodessa, josta muodostuu jonkin verran epävarmuutta.



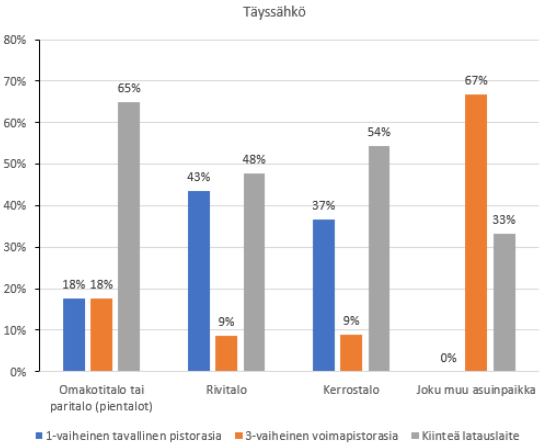
Kuva 6.3 Kotilatauspisteiden käyttömahdollisuus ajomäärän suhteen.

Noin 40 % kotilataajista hyödyntää normaalissa arjessa muita latauspisteitä. Vastaavasti noin kolme neljästä autoilijasta (72 %) hyödyntää muita latauspisteitä, jos ei ole omaa kotilatauspistettä. Kotilatauspiste voi vähentää muualla (kodin ja työpaikan ulkopuolella) tapahtuvaa latausta. Työpaikan latausmahdollisuus näyttää vähentävän jonkin verran kotona tapahtuvaa latausta. Vähän ajaville kotilatauspiste ei ole välttämättä edellytys sähköauton hankinnalle, kunhan arjessa on käytettävissä kohtuullisesti saavutettava latauspiste. Autoalan tilastokeskuksen tutkimuksessa havaittiin samankaltaisia tuloksia. Suurimmalle osalle koti- ja työpaikkalataus riittää päivittäisten ajoihin, jolloin muissa latauspisteissä tarvitsee asioida vain satunnaisesti. [79]

Kuvassa 6.4 on esitetty erilaisten latauslaitteiden jakautuminen asuinmuodon mukaan. Täyssähköautoilija valitsee useammin kiinteän latauslaitteen pistorasian sijaan mahdollistaen suuremman lataustehon. Pientaloissa 65 % täyssähköautoilijoista ja hybridiautoilijoista 39 % valitsee kiinteän latauslaitteen. Auton tyyppi näyttäisi vaikuttavan latauslaitteen valintaan erityisesti pientaloissa. Lämmitysmuoto ei näyttänyt vaikuttavan latauslaitteen valintaan. Taloyhtiössä (rivi- ja kerrostaloissa) ilmiö ei ole yhtä selkeä. Yksittäinen autoilija ei voi yleensä toteuttaa latauspistettä ilman taloyhtiön suostumusta [77]. Lähtökohtaisesti taloyhtiön asukkailla pitäisi olla samanlaiset mahdollisuudet ladata autoa eikä muiden asukkaiden kustannukset saisi kasvaa toisen asukkaan latauksesta. Nämä seikat voivat ohjata taloyhtiöissä latausjärjestelmän toteutuksen kiinteille latauslaitteille, jotka mahdollistavat tarvittavat toiminnallisuudet yhtiön tarpeisiin (mm. tehohallinta ja latauskustannusten kohdistaminen).



	Omakotitalo tai paritalo	Rivitalo	Kerrostalo	Joku muu asuinpaikka
1-vaiheinen tavallinen pistorasia	44	20	43	0
3-vaiheinen voimapistorasia	6	1	13	0
Kiinteä latauslaite	32	17	48	0
Yhteensä	82	38	104	0



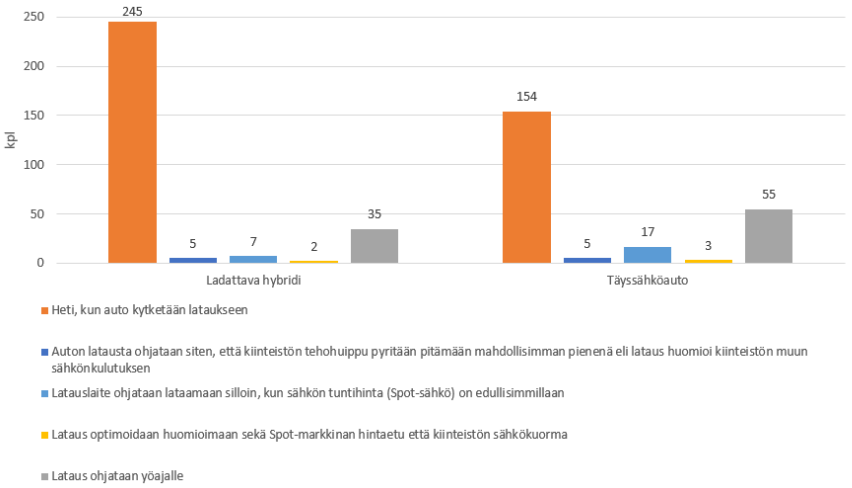
	Omakotitalo tai paritalo	Rivitalo	Kerrostalo	Joku muu asuinpaikka
1-vaiheinen tavallinen pistorasia	10	10	37	0
3-vaiheinen voimapistorasia	10	2	9	2
Kiinteä latauslaite	37	11	55	1
Yhteensä	57	23	101	3

Kuva 6.4 Asiakkaiden latauslaitteiden osuuden asuinmuodoittain ja auton tyypeittäin.

Lataushybridien AC-latausteho on yleisesti pienempi kuin täyssähköautojen, mikä osaltaan voi selittää latauslaitteen valintaan liittyvää ilmiötä. Hybridien suurin AC-latausteho on tyypillisesti 3,7 kW, mikä on mahdollista, mutta ei suositeltavaa syöttää 1-vaiheisesta pistorasiasta. Vastaavasti täyssähköautolla latausteho vaihtelee tyypillisesti 6–22 kW välillä. [78] Tämän tehon mahdollistaminen edellyttää kiinteän latauslaitteen hankintaa tai 3-vaiheisen voimapistorasian käyttöä.

Kysymyksen 14 perusteella latausjärjestelmän toteutus ei pääsääntöisesti vaadi muita muutoksia kohdekiinteistöön. Vain joka viidennessä kohteessa on tarvinnut nostaa sähköliittymän kokoa tai tehdä muutoksia sähköjärjestelmään. Ladattavan hybridin matala latausteho ei yleisesti aiheuta merkittäviä ongelmia kohteen latausinfralle tai -kustannuksille.

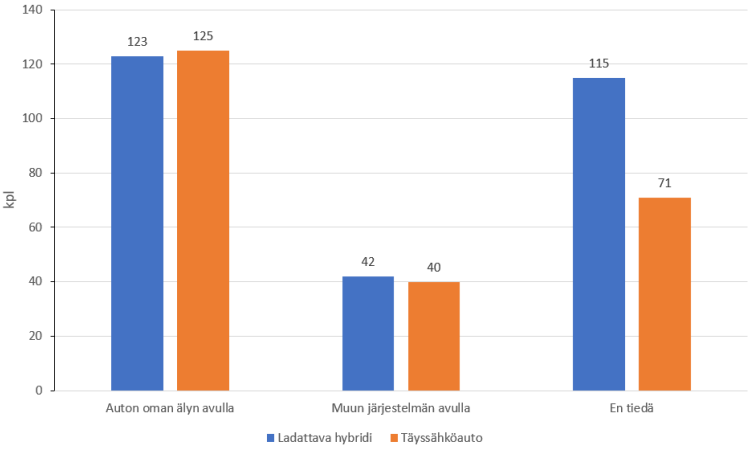
Lähes kolme autoilijaa neljästä (71 %) aloittaa latauksen heti ajettuaan latauspisteelle (kuva 6.5). Hybridiautoilijoista 83 % aloittaa latauksen heti, jolloin akku ehtii latautua täyteen hitaalla latauksella. Vastaavasti täyssähköautoilijoista 66 % käynnistää latauksen heti. Yöajalle ohjataan 16 % lataustapahtumista. Muut lataustavat ovat harvinaisempia.



	Ladattava hybridi		Täyssähköauto	
	245	83,3 %	154	65,8 %
	5	1,7 %	5	5
	7	2,4 %	17	7,3 %
	2	0,7 %	3	1,3 %
	35	11,9 %	55	23,5 %
	294		234	

Kuva 6.5 Lataustapojen yleisyys hybridi- ja täyssähköautoilla. *Kys. 18. Millä tavalla lataat autoasi?*

Seuraavassa kuvassa 6.6 on esitetty latauksen ohjauksessa käytetty menetelmä. Lähes puolet ohjaa latausta auton oman käyttöliittymän kautta. Noin 15 % on käytettävissä jokin muu ohjausjärjestelmä. Loput vastaajista ei tiedä älylatauksen toteutustapaa.



	Ladattava hybridi		Täyssähköauto	
Auton oman älyn avulla	123	43,9 %	125	53,0 %
Muun järjestelmän avulla	42	15,0 %	40	16,9 %
En tiedä	115	41,1 %	71	30,1 %
Yhteensä	**280**		**236**	

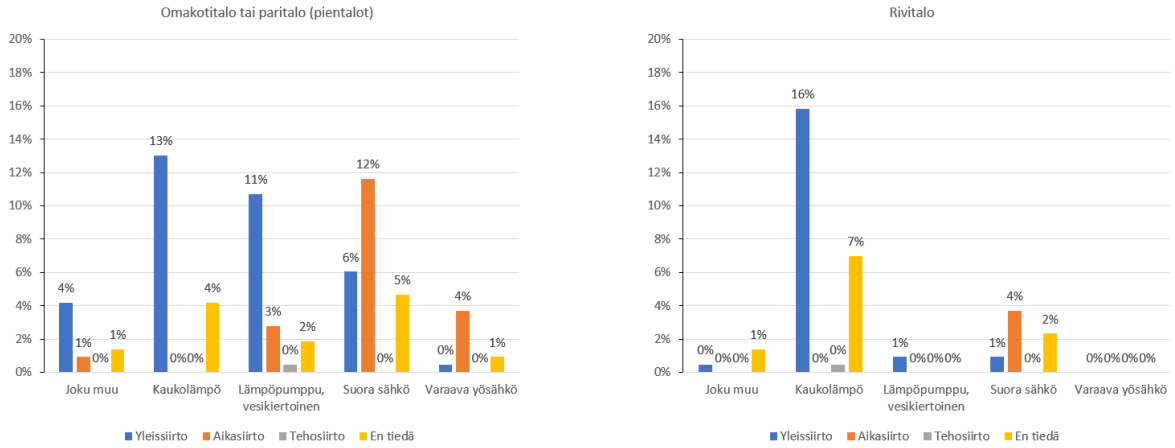
Kuva 6.6 Älylatauksen toteuttava toimilaite.

Kysymyksessä 18 b selvitettiin syitä jättää lataus ohjaamatta. Vastaajista 41 % ei ohjaa latausta, koska heillä ei ole käytettävissä latauksen ohjausta mahdollistavaa järjestelmää. Joka neljäs haluaa ladata akun täyteen mahdollisimman pian ja yksi seitsemästä kokee ohjauksesta saatavan hyödyn liian pieneksi. Muita syitä (yhteensä 17,2 %) olivat mm. vakiohintainen lataus, osaamattomuus ja pitkäkestoinen lataaminen, joita vastaajat kirjoittivat vapaaseen vastauskenttään. Vakiohintainen lataus ja hybridiauton hidas lataaminen muodostavat yhdessä varsin merkittävän perusteen ladata auto heti. Joillakin autoilijoilla oli kokemuksia

epäluotettavasti toimivasta ohjausjärjestelmästä, joka osaltaan ohjaa autoilijan aloittamaan lataus heti.

6.3 Hinnoittelun vaikutukset kotilataamiseen

Hinnoitteluun liittyvät kysymykset kohdistettiin asuinmuodon mukaan. Verkkopalvelun siirtotuote kysyttiin (kysymys 19) kaikilta muilta paitsi kerrostaloasukkailta, joilla on poikkeuksetta yleissiirtotuote asunnossaan. Muiden asuinmuotojen vastaajista reilulla puolella oli tuotteena yleissiirto. Aikasiirto löytyy noin 24 % kohteista ja joka neljäs ei tiennyt omaa verkkopalvelun tuotettaan. Lämmitysmuodoittain tarkastellen asiakkaiden tuotteet jakautuivat pien- ja rivitaloissa seuraavan kuvan mukaisesti.

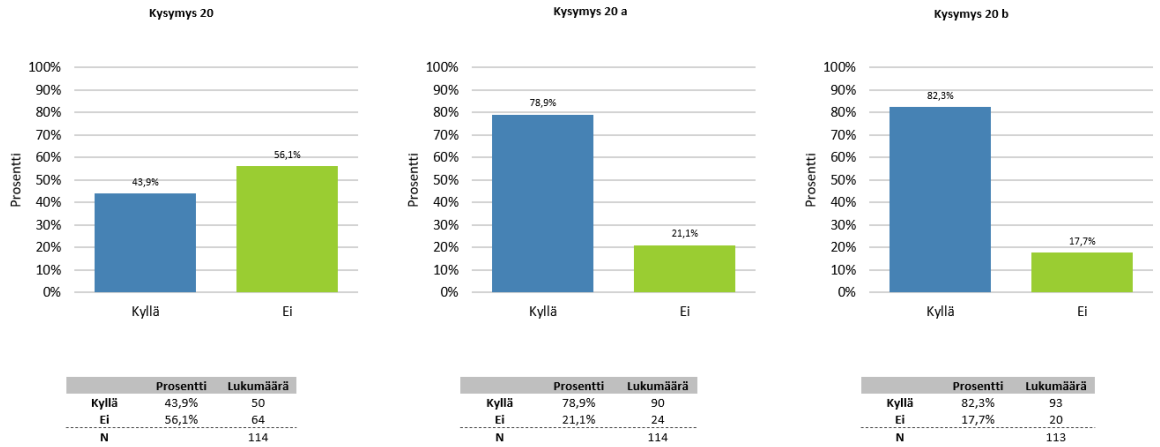


Kuva 6.7 Asiakkaiden verkkopalvelun tuotteiden osuudet pien- ja rivitaloissa lämmitysmuodoittain.

Ainoastaan pientaloissa on käytössä varaavia yösähkölämmityksiä, jotka nimenmukaisesti hyötyvät aikasiirto-tuotteen edullisesta yöajan hinnasta. Toinen selkeä aikasiirron kohderyhmä on suoran sähkölämmityksen pien- ja rivitalot. Muiden kohteiden tuote on pääsääntöisesti yleissiirto.

Yleissiirto-tuotteen ohjausvaikutusta pien- ja rivitaloissa kartoitettiin kolmella eri kysymyksellä (20, 20 a ja 20 b). Kysymykset kohdistuvat pääasiassa kohteisiin, joissa ei ole suoraa tai varaavaa sähkölämmitystä. Kysymys 20 koski nykyistä hinnoittelumallia, jossa hinta on vakio. Seuraavassa kysymyksessä 20 a hinnoittelua oli muutettu lisäämällä tehomaksu tuotteeseen. Tehomaksu määräytyisi kuukauden suurimman mitatun tunnin mukaan. Kolmannessa kysymyksessä 20 b tehomaksun vaikutus rajattiin arkipäiville 7–21 välille. Asiakkailta kysyttiin, *ohjaisivatko he kulutustaan yöajalle tai matalan kulutuksen ajanhetkille?*

Seuraavassa kuvassa vasemmalla nähdään, että nykyinen vakiohintainen hinnoittelu kannustaa vähiten ohjaamaan latausta yöajalle. Vastaajista 44 % ohjaisi kulutusta yöajalle nykyisellä hinnoittelurakenteella. Tämä on hyvin yhtenevä kysymyksen *18 Millä tavalla lataat autoasi?* tuloksen kanssa, missä pientaloasukkaista 58 % aloittaa latauksen heti ja 42 % ohjaa kulutusta jollain tavalla.



	Prosentti	Lukumäärä
Kyllä	43,9%	50
Ei	56,1%	64
N		114

	Prosentti	Lukumäärä
Kyllä	78,9%	90
Ei	21,1%	24
N		114

	Prosentti	Lukumäärä
Kyllä	82,3%	93
Ei	17,7%	20
N		113

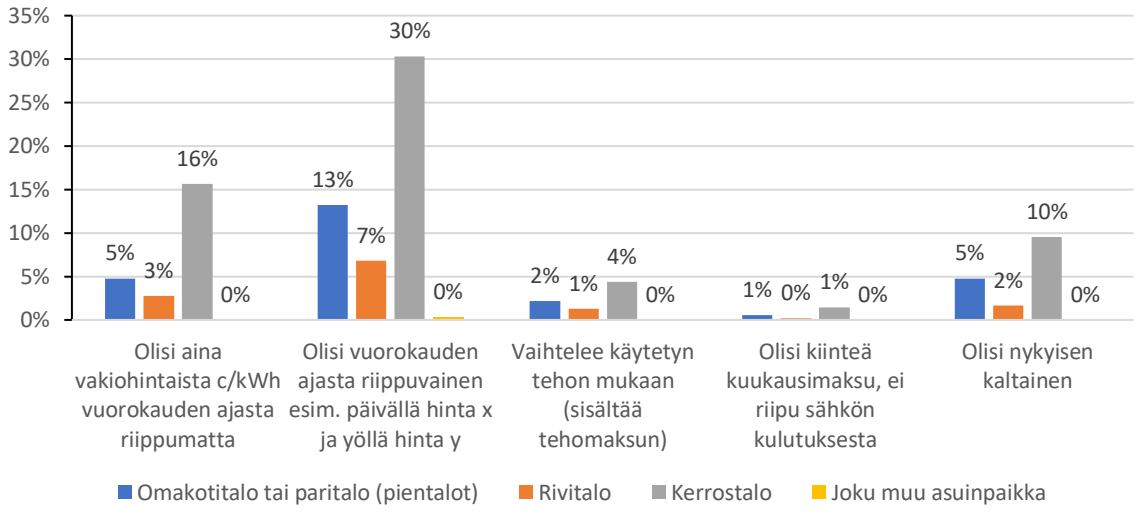
Kuva 6.8 Yleissiirto-tuotteen vaikutus kulutuksen ohjaushalukkuuteen. Kyllä tarkoittaa, että vastaaja ohjaa kulutusta yöajalle tai matalan kulutuksen ajanhetkille.

Kuvassa keskellä ja oikealla nähdään, että tehomaksun lisääminen tuotteeseen vaikuttaisi asiakkaiden kulutuksen ohjaushalukkuuteen. Yö- ja viikonlopunaikojen vapauttaminen tehomaksuista nostaa ohjaushalukkuuden korkeimmaksi näistä vaihtoehdoista. Auton tyypillä, asunnon lämmitysmuodolla tai vastaajan iällä ei näytä olevan juurikaan merkitystä ohjausvaikutukseen. Kaikissa ikäluokissa ohjaushalukkuutta löytyy merkittävästi tehomaksun lisäämisen jälkeen. Erityisesti 41–50 -vuotiaat miehet lähes poikkeuksetta haluavat ohjata kulutusta, jos tuotteeseen tulisi tehomaksu. Kyselystä ei löytynyt suoraa yhtä selittävää tekijää ilmiölle, mutta selittävä osatekijä voi olla 41–50 -vuotiaiden miesten tulotaso, sillä kaksi kolmasosaa heistä kuuluu kahteen korkeimpaan tuloluokkaan. Tämä tuloluokka näkee aikasiirto-tuotteen kaltaisen päivä–yö -hinnoittelun sopivimpana itselleen (kysymys 32). Kysymyksen 20 a kaltaisessa tilanteessa noin 45 % rajoittaisi muuta kulutusta, jos autoa pitäisi ladata päiväaikaan. Hybridiautoilijoista noin 60 % ei rajoittaisi muuta kulutusta, kun taas täyssähköautoilijoista vähän yli puolet (51 %) rajoittaisi muuta kulutusta vastaavassa tilanteessa.

Yleissiirtoasiakkailta kysyttiin myös aurinkosähkön hyödyntämisestä kysymyksessä 20 d. Yli 90 % lataisi autoaan päivisin aurinkosähköllä, joka on varsin odotettu käyttäytymismalli,

sillä aurinkosähköllä pystyy vähentämään ostetun energia- ja verkkopalvelumaksujen kustannuksia.

Toinen tuoteryhmä on pien- ja rivitalojen aikasiirtoasiakkaat, joiden lämmitysmuoto on useimmiten suora tai varaava sähkölämmitys. Yli 95 % näistä asiakkaista ohjaa lataustapahtumat halvemmalle yöajalle (kysymys 21). Heille kulutuksen ohjaaminen yölle on tyypillistä myös lämmityksen osalta. Erityisesti varaavan yösähkölämmityksen kustannustehokkuus on perustunut halpaan yöajan energiaan. Valtaosa aikasiirtoasiakkaista käyttäisi aurinkosähköä päivisin, kunhan tuotantotehoa on riittävästi saatavilla. Kokonaisuutena aikasiirtoasiakkaiden osalta kyselyssä ei noussut mitään yllättävää esille. Eräs mielenkiintoinen havainto liittyy kysymykseen 32, missä kysyttiin asiakkaalle soveltuvaa hinnoittelurakennetta. Aikasiirron kaltainen hinnoittelurakenne sai eniten kannatusta kaikissa käyttäjäryhmissä (yhteensä 51 %), ja oli suosituin rakenne myös kerrostaloasukkaiden keskuudessa. Seuraavassa kuvassa on esitetty asiakkaille sopivin hinnoittelurakenne eri asuinmuodoilla.

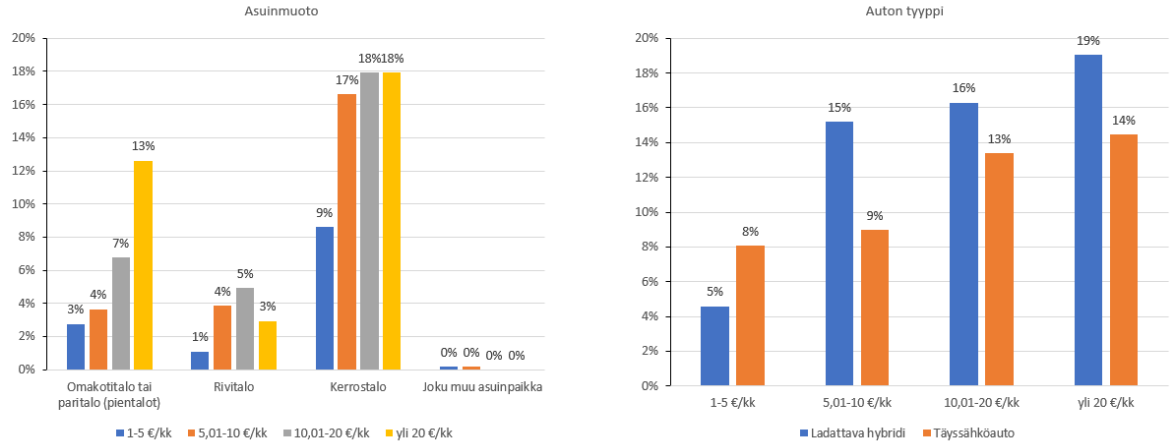


Kuva 6.9 Asiakkaalle sopivin verkkopalvelun hinnoittelurakenne eri asuinmuodoittain.

Kolmas asuinmuodon ja tuotteen perusteella erottuva asiakasryhmä on kerrostaloasukkaat. Monissa kerrostaloissa latausjärjestelmän verkkopalvelumaksut perustuvat tehosiirtotuotteeseen, joka on käytössä taloyhtiön kiinteistösähköjen käyttöpaikalla. Noin kolmasosa koki tehosiirron hinnoittelun vaikuttavan lataustapahtuman toteuttamiseen ja lähes puolet ei (kysymys 22). Joka viides vastaaja ei tiennyt, vaikuttaako tehosiirron hinnoittelu taloyhtiön latausratkaisuun. Älykkään latauksen mahdollistaman hintahyödyn ohjautuminen taloyhtiölle vaikuttaa noin kolmasosan latauskäyttäytymiseen (kysymys 23). Kyselyn avoimissa palautteissa nousi esille epäoikeudenmukaisuuden kokeminen hintahyödyn ohjautumisesta

taloyhtiölle, huonot vaikutusmahdollisuudet taloyhtiötason ratkaisuihin sekä tietoisuuden puute taloyhtiön latausjärjestelmän toimintalogiikoista hinnoittelun ja tehon vaikutukset huomioiden.

Hinnoittelua käsittelevän osion kysymyksellä 23 selvitettiin rahallisen hyödyn määrää, jolla asiakkaat olisivat valmiit tekemään muutoksia käyttäytymiseen. Lähes kaksi kolmannesta asiakkaista haluaa taloudellista hyötyä selvästi yli sata euroa vuositasolla. Seuraavassa kuvassa on esitetty eri asuinmuodoilla, ja auton tyypeillä muodostuvat jakaumat taloudellisen hyödyn määrästä.



Kuva 6.10 Älykkään latauksen rahallisen säästön odotusarvo asuinmuodoittain ja auton tyypeittäin.

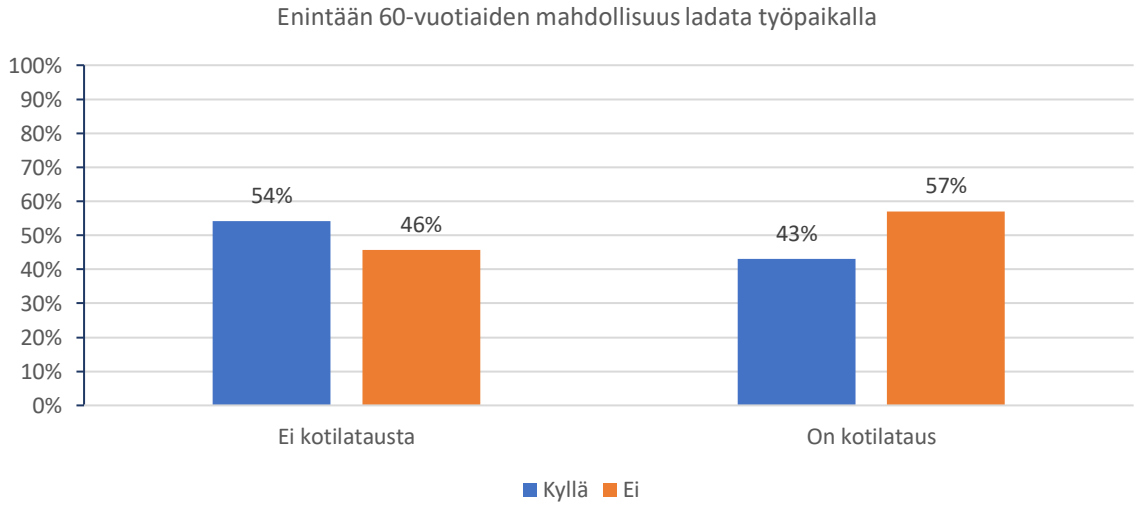
Kaikista vastaajista 34 % odottaa yli 20 € kuukausittaista säästöä ja 30 % odottaa vähintään 10 € kuukausittaista säästöä. Täyssähköautoilla säästötasot jakautuvat hybridiautoja tasaisemmin.

Kysymyksessä 31 kartoitettiin eri toimijoiden roolia kysynnänjouston toteuttamiseksi. Vastaajien mielestä kysynnänjoustoon liittyvät palvelut hoidetaan pääasiassa itse (34 %) tai latauspalvelun tuottajan (34 %) toimesta. Erilliselle joustopalvelun tuottajalle, sähkönmyyjälle tai verkkoyhtiölle jäi vähäisen rooli toimia kysynnänjouston mahdollistajana.

Yhteenvetona hinnoittelun vaikutuksista voidaan todeta, että asiakkaat odottavat merkittävää taloudellista hyötyä iltalataamisen vähentämisen vastineeksi. Lisäksi yksinkertainen hinnoittelumalli on asiakkaalle helpommin ymmärrettävä. Asiakkaat haluaisivat eniten aikasiirron hinnoittelurakennetta hintaohjauksen keinoksi.

6.4 Työpaikka- ja asiointilataaminen

Työpaikan latausmahdollisuus on merkittävä asia työikäisillä. Eläköityneet eivät oletettavasti lataa työpaikalla vaan käyttävät muita latauspaikkoja. Enintään 60-vuotiaista lähes puolella (47 %) ja yli 60-vuotiailla 14 % on mahdollisuus ladata autoaan työpaikalla. Kotilatauspisteen puuttuminen nostaa 11 %-yksiköllä mahdollisuutta ladata työpaikalla (seuraava kuva). Jos kotilatauspistettä ei ole, autoilija oletettavasti pyrkii järjestämään vakiintuneen paikan ladata autoa arjen helpottamiseksi. Toisaalta yritykset pystyvät tukemaan työntekijöidensä viihtyvyyttä järjestämällä latausmahdollisuuden. Autoilijoista melkein puolet (48 %) eivät tiedä, onko työpaikan latauspisteet älykkäitä. Noin 10 % latauspisteillä on mahdollisuus älykkääseen lataukseen ja lopuissa 42 % ei.

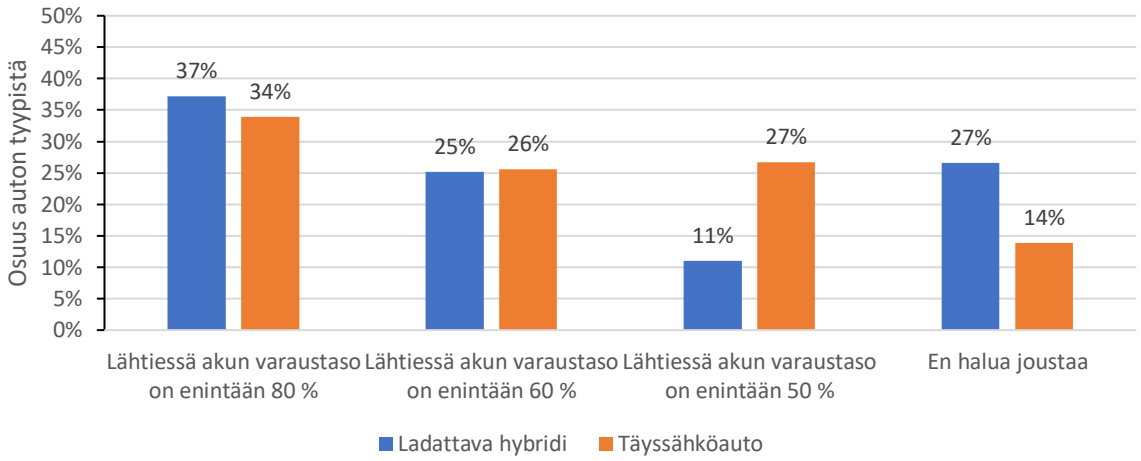


Kuva 6.11 Työpaikkalatauksen mahdollisuus enintään 60-vuotiailla kyselyyn vastanneilla sähköautoilijoilla.

Työmatkan yhden suuntaiseksi pituudeksi muodostui keskimäärin noin 10 km, joka vastaa hyvin aiempien tutkimusten havaintoihin. Helsingin kaupungin henkilöliikennetutkimuksen HLT 2016 mukaan työmatkan keskipituus oli noin 11 km [83]. Suurimmalla osalla (90 %) työmatkan pituus on alle 20 km ja työpaikka sijaitsee Helsingissä, Espoossa tai Vantaalla. Helsingin työpaikoista lähes viidennes sijaitsee 00100-postinumeron Kamppi, Etu-Töölö ja Kluuvi alueella.

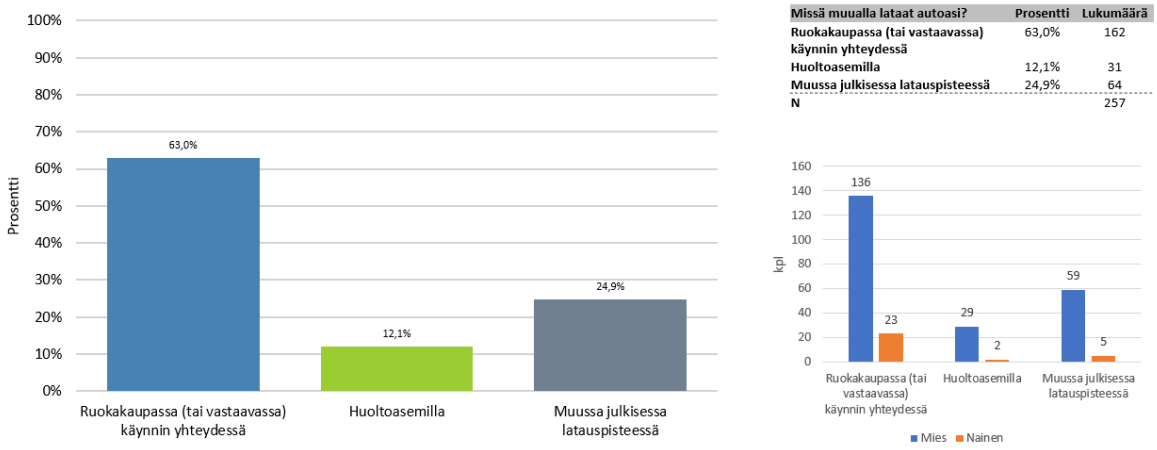
Kysymyksessä 27 selvitettiin auton akun hyödyntämistä kysynnänjoustoon työpäivän aikana. Mitä suurempi akku autossa on, sitä enemmän joustohalukkuutta löytyy. Seuraavassa kuvassa on esitetty hybridi- ja täyssähköautojen joustohalukkuudet. Joustohalukkuutta

löytyy suurimmalta osalta autoilijoista (79 %), sillä täyssähköautoilijoista vain 14 % ja hybridiautoilijoista 27 % ei halua joustaa lainkaan. Noin 44 % kaikista autoilijoista antaisi akusta vähintään 40 % joustokäyttöön. Tulokset ovat kaikkiaan järkeenkäyvät, jos ajatellaan eri autotyyppien akun kokoja. Tyypillisessä hybridiautossa akun koko jää alle 15 kWh, josta ei ole todellista joustokapasiteettia tarjolla. Täyssähköautoissa akun koko on moninkertainen, mikä mahdollistaa hybridiin verrattuna merkittävän joustokapasiteetin.



Kuva 6.12 Työpaikkalatauksen kysynnänjouston halukkuus (kysymys 27). *Akun varaustaso enintään 80 %* tarkoittaa, että auton akun kapasiteetista on käytettävissä joustoon vähintään 20 %.

Kodin ja työpaikan lisäksi autoja ladataan myös muissa kohteissa. Vastaajista noin puolet lataa säännöllisesti muissa latauspisteissä (kysymys 28). Seuraavassa kuvassa on esitetty julkisten latauspisteiden käyttöosuudet. Ruokakaupat ovat yleisin muu latauspaikka. Ruoka- ja vähittäiskauppoihin sekä liikenneasemille on toteutettu paljon latauspisteitä kauppaketjuvetoisesti [84][85][86].



Kuva 6.13 Muiden latauspaikkojen käyttö.

Tämän kysymysosion lopuksi kartoitettiin halukkuutta ladata latauspisteellä, jossa on tehoa rajoittava latausjärjestelmä. Noin puolet kokee tällaisen latauspisteen houkuttelevuuden laskevan, koska latausajan pidentyminen voi viivästyttää matkan jatkumista. Kyselyn avoimissa palautteissa nousi esille julkisten latauspisteiden saavutettavuuteen liittyvät ongelmat. Erityisesti kantakaupungin alueella, jossa pysäköidään paljon kadun varsille, on latauspaikoista pulaa. Julkisten latauspisteiden ongelmaksi koettiin autoilijat, jotka seisottavat autoaan latauspisteellä auton akun täytyttyä. Ilmiö korostuu työpäivien ja yön yli tapahtuvien latausten osalta. Julkisilla latauspisteillä ladataan muuten hyvin rajallinen aika niin suurella teholla kuin mahdollista. Lisäksi latauslaitteiden toimimattomuus sai kritiikkiä osakseen.

6.5 Vastauksista muodostuvat lataajaprofiilit

Kyselyn vastauksista muodostuu erilaisia lataajaprofiileja, joista valtaosa perustuu kotilataamisen käyttäytymiseen. Lataajaprofiilit tyypillisellä latauskäyttäytymisellä on esitetty seuraavassa taulukossa. Lataajaprofiileja esiintyy kaikissa asuinmuodoissa. Osa autoilijoista käyttäytyy näistä profiileista poikkeavalla tavalla, mutta heidän osuutensa autoilijoiden määrästä on selkeästi vähäisempi.

Taulukko 6.1 Kyselyssä muodostuvat lataajaprofiilit

Lataajaprofiili	Lataus 07–22	Lataus 22–07
Hybridiautoilija, lataa heti	Matalatehoinen lataus max 3,7 kW	Matalatehoinen lataus jatkuu, akku täyteen asti
Täyssähköautoilija, lataa heti	Usein rajoitettu teho, max 11 kW	Lataus jatkuu, akku täyteen asti, painottuu alkuyöhön
Täyssähköautoilija, lataa yöllä	Ei lataa	Lataa dynaamisella teholla huomioiden muun kulutuksen. Painottuu usein aamuyöhön.
Muualla lataaja, ei kotilatauspistettä	Suurin mahdollinen teho, minimoi latausaikaa	Suurin mahdollinen teho, minimoi latausaikaa

Hybridiautoilijat ovat hyvin samankaltaisia lataajia, sillä valtaosa heistä aloittaa lataamisen heti latauspisteelle saavuttua. Akku ladataan täyteen hitaalla latauspisteen ja auton mahdollistamalla teholla. Kyselyn avoimissa viesteissä hybridiautoilijat toivat esille hitaan latauksen haasteita. Käytännössä lataus pitää aloittaa heti, että akku ehditään lataamaan seuraavaan ajoon mennessä.

Täyssähköautoilijoista muodostuu kaksi erilaista lataajaprofiilia. Tällä hetkellä yleisempi täyssähköautoilijan lataus alkaa tyypillisesti heti latauspisteelle tultua illan aikana. Autoa

ladataan vaihtelevasti rajoitetulla tai täydellä teholla. Akku ladataan samalla latauksella tyypillisesti täyteen, joskin osa haluaa lopettaa latauksen akun varaustason saavuttaessa 80–90 % tason. Lataus on valmis tyypillisesti viimeistään aamuyön tunneilla. Nämä lataajat haluavat yleensä ladata akkua heti, jolloin autolla voi tarvittaessa lähteä uudestaan liikenteeseen illan aikana.

Toinen täyssähköautoilijan latausprofiili perustuu yöaikaiseen lataamiseen. Pientaloissa latauksessa huomioidaan kiinteistön muuta kulutusta, kuten lämmitys, jolloin lataus painottuu usein aamuyön tunneille. Nämä kohteet ovat tyypillisesti yösähköä hyödyntäviä sähkölämmitystaloja. Toinen yöajalle ohjaamisen peruste on lataussähkön hinta. Lataaja säästää latausenergian hinnassa merkittävästi aikasiirron yöajan hinnassa ja ostoenergian spot-hinnassa. Lataus painottuu enemmän aamuyön tunneille ja valmistuu ennen matkalle lähtöä.

Muualla lataajien lataus perustuu saatavilla oleviin latauspisteisiin. Latausaika oli monelle vastaajalle hyvin kriittinen, jolloin lataus suoritetaan mahdollisimman nopeasti. Lyhyeen latausaikaan ohjaa pysäköintimaksut ja latauksen suurempi hinta.

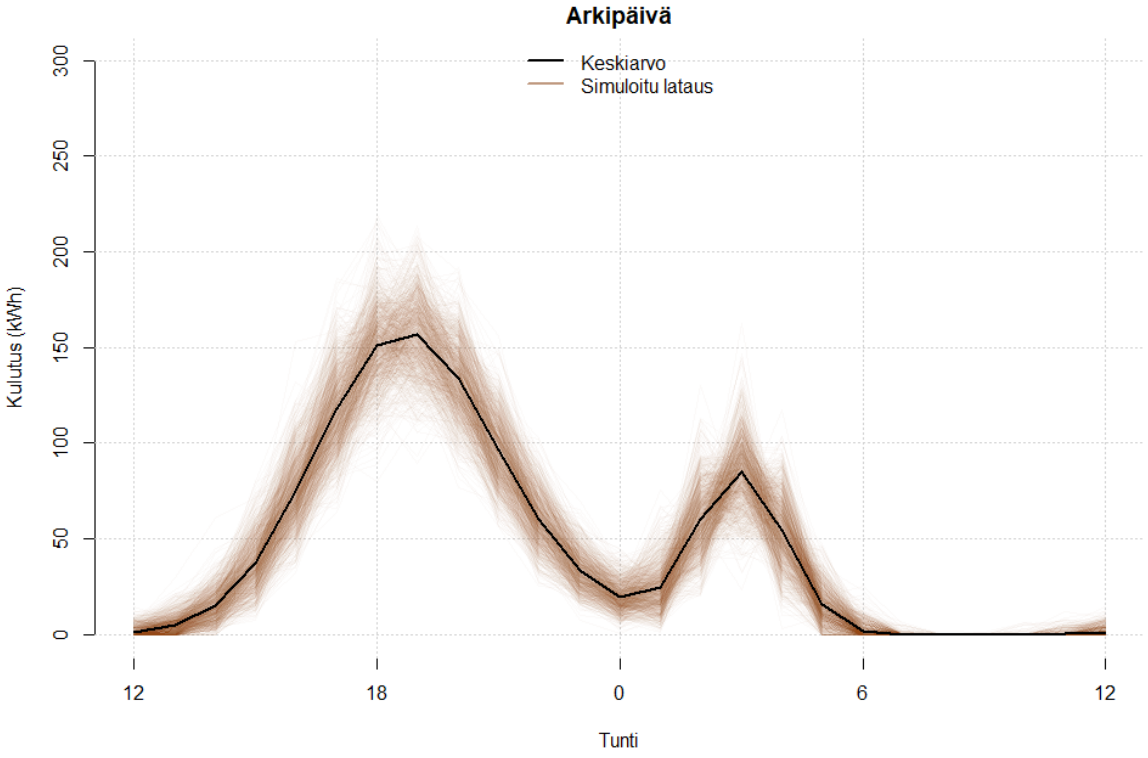
Seuraavassa kuvassa on esitetty 100 kotilataajan profiileista arkipäivänä (ti-to) muodostuva kulutus ”skenaario 1”. Latausta on simuloitu 1 000 kertaa siten, että jokaisella lataajalla on taulukon 6.2 osuuden suuruinen todennäköisyys saada taulukon vastaava latausteho. Simuloinnissa käytetyt parametrit pyrittiin asettamaan mahdollisimman lähelle vastaajien ilmoittamia käyttäytymismalleja. Heti-lataajien osuus oli 80 autoa ja yö-lataajien osuus 20 autoa. Lataustehot jaettiin satunnaisesti seuraavan taulukon mukaan. Heti-latauksessa painotettiin pienempitehoisia latauslaitteita (enintään 11 kW) ja yöllä oli käytössä suuritehoisimmat latauslaitteet.

Taulukko 6.2 Skenaariossa 1 käytettyjen latauslaitteiden tehot ja osuudet

Latausteho [kW]	Osuus [%]	Ilta [kpl]	Yö [kpl]
1,80	12 %	12	0
3,60	28 %	27	0
7,20	41 %	41	0
11,00	17 %	0	17
22,00	3 %	0	3

Heti-lataajien latausaika alkaa keskimäärin kello 18. Alkamisajankohdalle annettiin 2 h keskihajonta. Latauksen suurin kesto on 13 h, johtuen oletetusta matalasta lataustehosta. Suurimman keston keskihajonnaksi asetettiin 1,5 h. Lataus voi siis loppua aikaisemminkin, jos

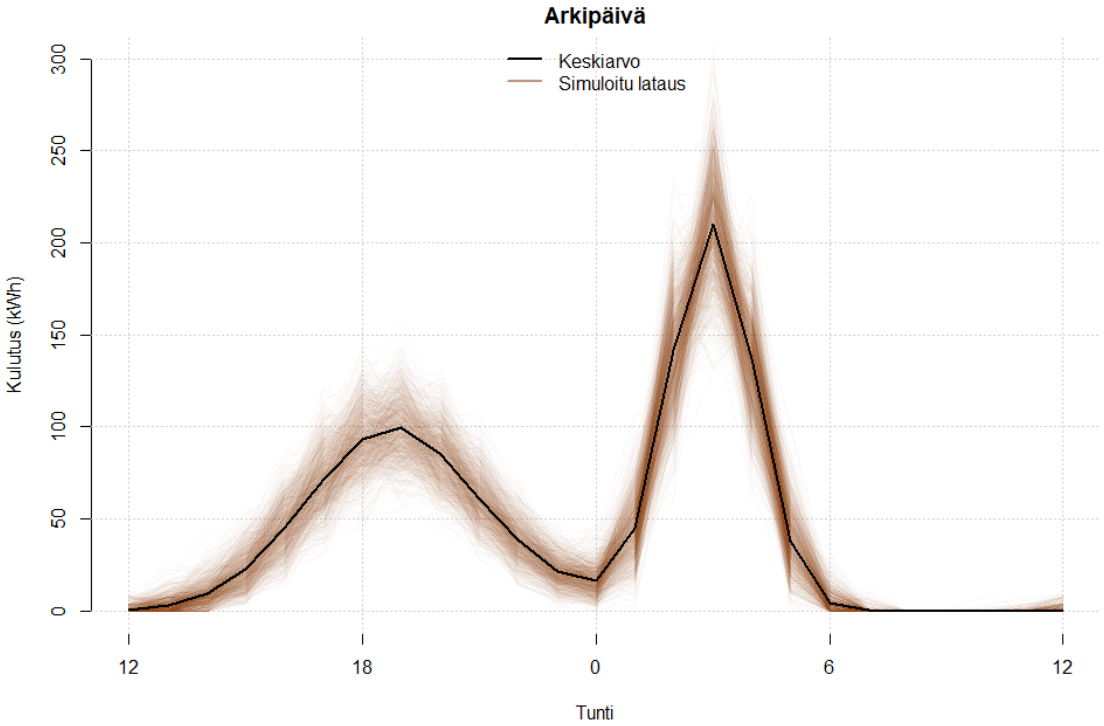
akun varaustaso tulee määrätyllä latausteholla täyteen. Yö-lataajien lataus alkaa kello 3 ja keskihajonta on 1 h. Yö-latauksen maksimikesto on 5 h ja keskihajonta on 1 h. Ajankohdat arvioitiin Helsingin alueen henkilöliikennetutkimuksessa esitettyjen matkojen alkamisaikojen perusteella. Aamulla suosituin matkojen alkamisaika on kello kahdeksan aikaan, jolloin auton tulisi olla viimeistään ladattuna. Vastaavasti työpäivän jälkeinen lähtöajan huippu osuu kello neljän aikoihin, jolloin suurin osa saapuu kotiin kuuteen mennessä. [83] Yksittäiset simuloinnit esitetään kuvassa ruskeilla viivoilla ja kaikkien simulointien keskiarvo mustalla viivalla.



Kuva 6.14 Kyselyn autoilijoiden aiheuttama latauskuorma arkipäivänä, skenaario 1.

Simuloinnin perusteella alkuillalle muodostuu kulutuksen huippu noin kello 19 aikaan. Huippukulutus vaihtelee 120–220 kWh välillä, ja keskimääräinen huippukulutus on noin 160 kWh. Tästä saadaan 80 auton lataamiselle huippukulutukseksi noin 2 kWh keskikulutus per auto. Kulutus vähenee keskiyötä kohden, jolloin yö-lataajien lataukset alkavat kasvattaa kulutusta. Yöajan kulutushuippu ajoittuu aamuyölle kolmen aikoihin. Kulutus vaihtelee noin 50–140 kWh välillä, ja keskimääräinen huippukulutus on noin 80 kWh. Jos oletamme, että valtaosa heti-lataajista on saanut autonsa ladattua tähän mennessä, muodostuu 20 yö-lataajan huippukulutukseksi noin 4,0 kWh keskikulutus per auto.

Seuraavassa kuvassa 6.15 on esitetty latausskenaario 2, jossa skenaariossa 1 käytettyjä parametrejä muutettiin latausten jakaumien osalta. Hybridiautoilijoiden lataukset pidettiin ennallaan kello 18 alkavina. Skenaario 2:ssa ilta- ja yö-lataajien määrä on yhtä suuri: 50 kpl kumpikin. Skenaarion 2 avulla pyrittiin hahmottamaan, kuinka paljon latauksen kulutuksessa on muutospotentiaalia.



Kuva 6.15 Kotilatauksien muodostama kulutus, skenaario 2.

Iltalatauksen kulutus putoaisi näillä parametreilla noin 40 % matalammaksi ja vastaavasti yön kulutus nousisi noin kaksinkertaiseksi. Jos yö-lataajien lataukset ajoittuisivat entistä laajemmalle ajanjaksolle, kulutushuippu ei nousisi näin korkealle.

7 Toimenpiteet älykkään latauksen edistämiseksi

Tässä luvussa esitetään toimenpiteitä, joilla Helen Sähköverkko voisi edistää sähköautojen älykästä lataamista verkkoalueellaan. Luvussa vastataan kysymyksiin, *miten hinnoittelu vaikuttaa älykkään latauksen yleistymiseen?* ja *onko verkkoyhtiöllä todellisia keinoja vaikuttaa älykkään latauksen yleistymiseen?* Ensimmäisessä alaluvussa käsitellään verkkopalveluiden hinnoittelua kokonaisuutena sisältäen aiempien vuosien hinnoittelupäätökset, nykyiset hinnoitteluperusteet ja arvioinnin tulevaisuudesta hinnoittelun näkökulmasta. Toisessa luvussa käsitellään viestinnän keinoja asiakaskyselyssä esille nousseiden teemojen osalta. Kolmannessa luvussa käsitellään online-palveluiden mahdollisuudet asiakkaiden auttamiseksi.

7.1 Verkkopalveluiden hinnoittelu

Hinnoittelu on myös keino vaikuttaa asiakkaiden sähkönkäyttöön. Verkkopalveluiden hinnoittelussa tulee huomioida lukuisia erilaisia periaatteita, joilla on omat keskeiset tarkoitusperänsä. Merkittävimmät periaatteet ovat tasapuolisuusperiaate, aiheuttamisperiaate, yksinkertaisuusperiaate ja markkinahintaperiaate. Verkkopalvelut on tarjottava asiakkaille tasapuolisesti ja syrjimättömästi. Käytännössä myyntihintojen ja -ehtojen sekä hintojen määräytymisperusteiden on oltava tasapuoliset kaikille verkon käyttäjille. [87][89] Aiheuttamisperiaatteella tarkoitetaan verkkopalvelun tuottamisen kustannusten kohdentamista mahdollisimman tarkasti niille asiakkaille, jotka ovat kustannukset aiheuttaneet. Esimerkiksi keskijänniteasiakkaan verkkopalvelun kustannuksiin ei tulisi sisällyttää alemman jännitetason (pienjännite) kustannuksia. Yksinkertaisuusperiaatteen mukaan asiakkaiden tulisi pystyä ymmärtämään mahdollisimman hyvin, mistä verkkopalvelumaksut muodostuvat ja miten omiin kustannuksiin voi vaikuttaa. Markkinahintaperiaatetta noudattavan verkonhaltijan verkkopalvelun tuotteilla ja hinnoilla pitää olla markkinakelpoisuus, mikä tarkoittaa sitä, ettei tuotteiden hinnoittelussa voi olla muista verkkoyhtiöstä merkittävästi poikkeavia tai asiakkaiden kannalta kohtuuttomia elementtejä. [87][88] Kyselyn tuloksista havaittiin, ettei tehomaksun muodostumista ymmärretä kovin selkeästi ja miten sen suuruuteen voisi helposti vaikuttaa. Asiakkaiden mielestä yli puolelle soveltuu parhaiten päivä–yö -hinnoittelu. Joka neljäs piti vakiohintaista hinnoittelua soveltuvana ja 16 % nykyisen kaltaista

hinnoittelua hyvänä. Tehomaksupohjainen hinnoittelu ja kiinteä kuukausihinta eivät saaneet merkittävää kannatusta.

Helen Sähköverkon verkkopalvelutuotteiden hinnoittelua ja tuoterakenteita on päivitetty aikojen saatossa useita kertoja. Seuraavassa taulukossa on esitetty Helen Sähköverkon yleis-, aika- ja pienjännitetehosiirron tuoterakenteet ja hinnat 2009–2022.

Taulukko 7.1 Helen Sähköverkon yleis-, aika- ja PJ-tehosiirron verkkopalvelumaksut [92]

Hinnasto, alkaen	1.7.2009	1.7.2010	1.10.2012	1.1.2014	1.1.2015	1.4.2016	1.7.2017	1.7.2018	1.11.2020
Yleissiirto									
Perusmaksu €/kk	3,60	4,10	4,60	4,50	4,30	5,00	5,51	5,51	5,51
Siirto c/kWh	3,31	3,63	3,63	3,51	3,11	3,31	3,61	4,07	4,07
Aikasiirto (poistui 1.7.2017)									
Perusmaksu €/kk	13,20	15,10	16,40	16,10	15,60	17,50			
Päiväsiirto c/kWh	3,42	3,44	3,30	3,03	2,63	2,63			
Yösiirto c/kWh	2,01	2,23	2,18	2,10	1,90	1,90			
Ohjattu yösiirto / nykyinen aikasiirto									
Perusmaksu €/kk	13,20	15,10	16,40	16,10	15,60	17,50	17,50	17,50	17,50
Tehomaksu €/kW	9,3*	9,37*	9,37*	9,45*	8,95*	0,79**	0,79**	1,59***	1,59***
Päiväsiirto c/kWh	3,44	3,47	3,32	3,05	2,65	2,65	2,59	2,59	2,59
Yösiirto c/kWh	1,11	1,27	1,27	1,18	1,08	1,08	1,35	1,35	1,35
PJ-tehosiirto									
Perusmaksu €/kk	30,50	31,98	31,98	32,24	31,00	32,24	32,24	32,24	32,24
Tehomaksu €/kW, kk****	3,05	3,75	4,24	4,28	4,03	4,40	5,07	5,58	5,58
Loistehomaksu €/kVAr, kk	2,05	2,32	2,45	2,47	2,47	2,47	2,47	2,84	2,84
Talvipäivä c/kWh	1,82	1,83	1,54	1,55	1,20	1,70	1,86	2,06	2,06
Muu aika c/kWh	1,40	1,54	1,41	1,13	0,94	1,04	1,07	1,09	1,09

Kaikki hinnat sisältävät arvonlisäveron.

* Sopimustehomaksu €/kW, vuosi. Helen Sähköverkko ohjaa kuormaa lämmön tarpeen mukaan.

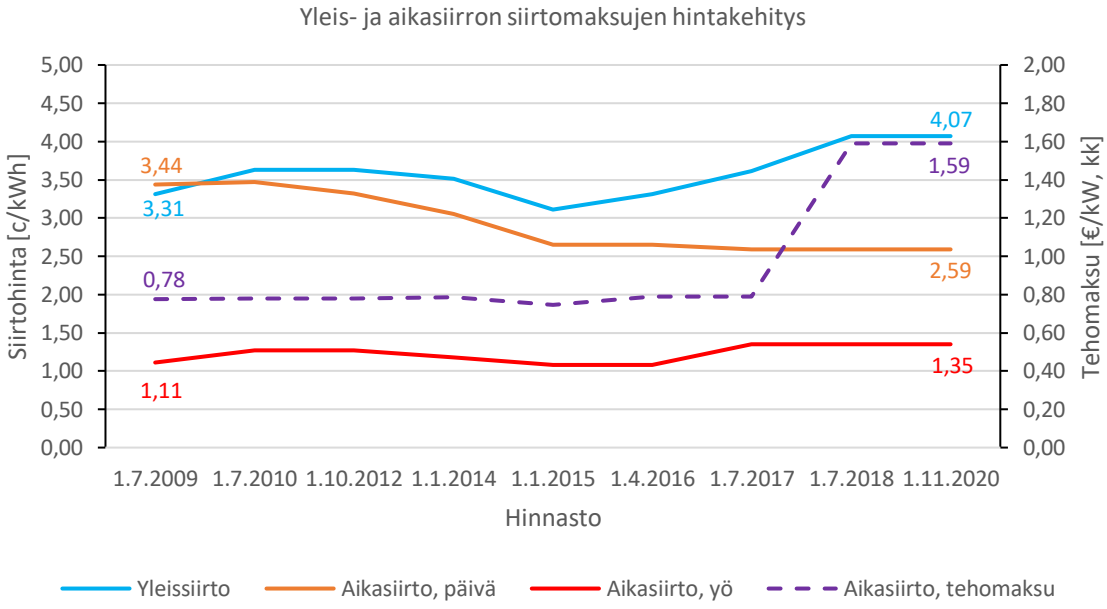
** Tehomaksun laskutus €/kW, kuukausi. Tehomaksu määräytyy viimeisimmän 12 kuukauden aikana mitatun suurimman tuntitehon mukaan. Helen Sähköverkko ohjaa kuormaa lämmön tarpeen mukaan.

*** Tehomaksun laskutus €/kW, kuukausi. Tehomaksu määräytyy joka kuukauden kolmanneksi suurimman mitatun tunnin keskitehon mukaan. Yöajan tehosta huomioidaan laskutuksessa 80 %.

**** Laskutusteho on kuukauden suurin aikavälillä klo 7–22 mitattu tunnin keskiteho vuoteen 2017 asti. Sen jälkeen laskutusteho on kuukauden suurin aikavälillä maanantaista perjantaihin klo 7–21 mitattu tunnin keskiteho.

Yleissiirto-tuotteen rakenne on pysynyt samanlaisena pitkään. Ainoastaan hintatasoja on muutettu. Nykyinen perusmaksun hinta on 53 % ja siirtomaksun 23 % suurempi kuin vuonna 2009. Helen Sähköverkolla on ollut tuotevalikoimassa heinäkuuhun 2017 asti kaksi erilaista aikasiirto-tuotetta. Toiseen tuotteeseen ei kuulunut tehomaksua ja toiseen kuului. Tuoterakenteeseen ovat lisäksi kuuluneet perusmaksu-, päiväsiirto- ja yösiirto-komponentit. Tehomaksuton aikasiirto poistettiin käytöstä heinäkuussa 2017, jolloin kaikki aikasiirtoasiakkaat siirrettiin tehomaksuperusteisen aikasiirron tuotteelle. Tehomaksut veloitettiin vuoden 2016 huhtikuuhun asti *sopimustehomaksuna €/kW, vuosi* perusteisena (seuraavassa kuvassa

vuoden sopimustehomaksu on muutettu kuukauden tehomaksuksi jakamalla hinta 12 osaan). Muutoksen jälkeen noin kahden vuoden ajan laskutuksessa käytettiin liukuvan 12 kuukauden mitattua suurinta tuntitehoa. Nykyinen hinnoittelurakenne on otettu käyttöön kesällä 2018, josta alkaen tehomaksut muodostuvat kuukauden kolmanneksi suurimman mitatun tuntitehon mukaan, siten että yöajan tehosta huomioidaan 80 %. Tehomaksun suuruus kaksinkertaistettiin tässä yhteydessä. Tehomaksullisen aikasiirtotuotteen päiväajan ja yöajan siirtomaksujen hintaero on pienentynyt merkittävästi 2010-luvulla 2,33 sentistä 1,24 senttiin kilowattitunnilta. Päiväsiirron hinta on laskenut 25 % ja yösiirron hinta on noussut 22 %. Seuraavassa kuvassa on esitetty yleissiirron ja aikasiirron hintakomponenttien kehitys.



Kuva 7.1 Yleis- ja aikasiirron siirto- ja tehomaksun kehitys 2009 alkaen.

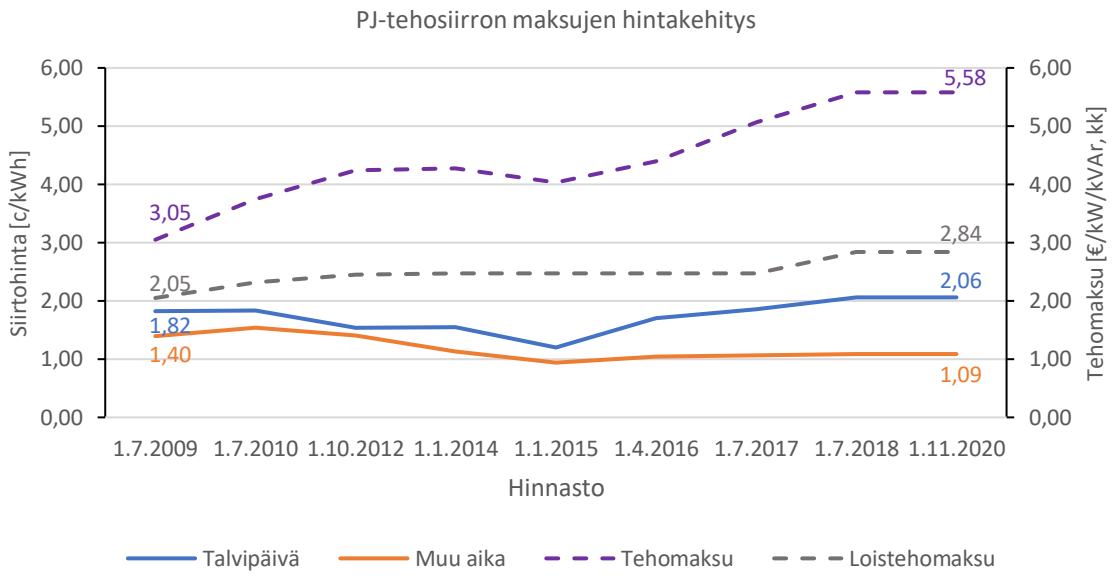
R. Apposen diplomityössä 2016 [90] tutkittiin Helen Sähköverkon pienasiakkaiden tehotariffin kehitystä ja käyttöönottoa. Tehomaksun todettiin muuttuvan asiakkaalle ymmärrettävämmäksi, kun tehomaksun laskutus muutetaan kuukausittain tapahtuvaksi. Tällöin asiakkaiden on helpompi seurata laskuilta toteutunutta edellisen kuukauden tehomaksua. On tärkeä huomata, että aikasiirron tehomaksu voi määräytyä yöajan käytön perusteella, jolloin kulutuksen yöaikaan siirtäminen on asiakkaan näkökulmasta tarkastellen ristiriitainen tavoite. Tämä tarkoittaa käytännössä tilannetta, jossa asiakaan suurin kulutushuippu on yöllä, ja kulutuksen siirto yöajalle kasvattaa laskutustehoa entisestään aiheuttaen näin suuremman tehomaksun. Lappeenrannan ja Tampereen teknillisten yliopistojen toteuttamassa *tariffirakennetutkimuksessa* [91] esitettiin myös tehomaksun käyttöönoton lisäävän asiakkaiden

vaikutusmahdollisuuksia verkkopalvelumaksuihin ja toteuttavan paremmin aiheuttamisperiaatetta verkkopalveluiden hinnoittelussa. Lisäksi tehomaksun nähtiin lisäävän edellytyksiä muille toimijoille kehittää esimerkiksi joustoihin ja tehonhallintaan liittyviä palveluita. Helen Sähköverkon aikasiirtotuotteen päivä-yö -hintaeron pienentyminen voi vähentää kulutuksen ohjaamista yöajalle, jolloin itseasiassa kumotaan tehomaksun aiheuttamaa ohjausvaikutusta. Apponen tähdensi selvityksessään yösiirron edullisuuteen liittyvän mielikuvan vaalimista, jolloin ohjausvaikutus voisi säilyä riittävissä määrin tuoterakenteessa [90]. Vastaavasti jos tarkastellaan yleissiirron ja aikasiirron päivähinnan hintaeroa, muutos on ollut dramaattinen. Vielä 2009 aikasiirron päivähinta on ollut kalliimpi kuin yleissiirron hinta. Tällä hetkellä yleissiirron hinta on 57 % kalliimpi kuin aikasiirron päivähinta.

Kuvassa 3.7 (*luku 3.3.4 Aikasiirto*) on yleissiirron ja aikasiirron verkkopalvelumaksujen vertailua erilaisilla laskutustehoilla kulutuksen suhteen. Kulutuksen kasvaessa yleissiirron kokonaishinta nousee huomattavasti suuremmalla kulmakertoimella verrattuna aikasiirtoon. Tuotteiden perusmaksulla säädetään kokonaishintojen leikkauspisteen sijaintia kulutusakselilla. Pienillä kulutuksilla aikasiirron kolminkertainen perusmaksu nostaa kokonaishinnan merkittävästi suuremmaksi kuin yleissiirrolla. Kulutuksen kasvaessa siirtomaksun osuus kasvaa, jolloin yleissiirron kokonaiskustannukset saavuttavat aikasiirron kokonaiskustannukset. Luvussa 3 esitettiin yleissiirron soveltuvan noin 15 000 kWh/a kulutukseen asti ja aikasiirron noin 10 000–55 000 kWh/a kulutuksille riippuen asiakkaan kulutusprofiilista. D. Yeboahin diplomityössä vuodelta 2022 [94] tarkasteltiin Helen Sähköverkon verkkopalvelutariffien vaikutusta joustavaan sähköauton lataukseen. Yleissiirrossa energiamaksun painotus siirtää kustannuksia pieniltä kuluttajilta enemmän kuluttavien maksettavaksi. Tehomaksun tai perusmaksun painottaminen johtaa päin vastaiseen tulokseen. Työn skenaarioiden perusteella 5 kW kynnysteho tarjoaisi kestäviä kannustimia niin pienille kuin suurille asiakkaille. Sähköauton latauksen myötä sähkönkäyttö kasvaa ja aiheuttaa kaikissa työssä esitetyissä skenaarioissa tehomaksun suuren suhteellisen kasvun. [94] Onkin aiheellista pohtia, pitäisikö sähköauton pienitehoisen latauksen aiheuttama kulutus kuulua kynnystehon piiriin.

Pienjännitetehosiirron tuoterakenne on pysynyt samanlaisena pitkään. Tehomaksun laskutusperuste oli kuukauden suurin päivähinnan voimassaoloaikana mitattu yhden tunnin keskiteho vuoteen 2017 asti. Sen jälkeen laskutusteho on ollut kuukauden suurin aikavälillä maanantaista perjantaihin klo 7–21 mitattu tunnin keskiteho. [92] Muiden

tuotekomponenttien osalta on vain muutettu hintatasoja. Seuraavassa kuvassa on esitetty pj-tehosiirron tuotekomponenttien hintakehitys 2009 alkaen. Talvipäivän hinta noussut maltillisesti 13 % ja muun ajan hinta on laskenut 22 %. Tehomaksun korotus on ollut merkittävä 83 % ja loistehon 39 %.



Kuva 7.2 PJ-tehosiirron siirto- ja tehomaksun kehitys 2009 alkaen.

Hinnoittelumuutoksilla on tehty muun ajan kulutus erittäin edulliseksi, kun tehomaksua ei muodostu muun ajan aikana. Hinnoittelumuutoksien ohjausvaikutus on ollut merkittävä ja ohjaa asiakkaita erittäin voimakkaasti käyttämään sähköä yöaikaan.

Helen Sähköverkon kuuden asiakasmäärältään suurimman asiakasryhmän sekä yleis-, aika- ja pj-tehosiirtotuotteiden tunnusluvut ovat esitetty seuraavassa taulukossa. Tunnusluvuista havaitaan, ettei aikasiirto ole yksiselitteisesti pientalojen tuote. Asiakaskyselyn tulokset ovat tämän osalta yhtenevät. Aikasiirtoa käytetään asuinpaikkojen lisäksi myös muissa kulutuskohteissa, esimerkiksi katuvalaistuksessa. Luvussa 5 esitettiin pientalojen tyyppikäyttäjäklustereille tyypilliset vuosienergiat. Ei-sähkölämmitteisten talojen (9 000 kWh/a) tuote on usein yleissiirto. Näiden talojen osuus Helsingin pientalojen lämmitettävästä pinta-alasta on noin 40 % [4]. Nykyaikaisten energiatehokkaiden, usein lämpöpumpuilla lämpiävien talojen vuosikulutus on tyypillisesti 10 000–15 000 kWh välissä, jolloin yleissiirto soveltuu aikasiirron lisäksi heidän käyttöönsä (ks. luku 5.3.1). Lämpöpumpputalojen osuus lämmitettävästä pinta-alasta on noin 11 % [4]. Lämpöpumppulämmitysten osuus uusista pientaloista on ollut merkittävässä kasvussa. Sähkölämmitteisten pientalojen (osuus 33 %) tuote on

pääsääntöisesti aikasiirto, vuosikulutuksen ollessa tyypillisesti vähintään 20 000 kWh. Pientalojen energiakulutuksesta suuri osa kuluu lämmitykseen. Kaikkien pientalojen sähkönkäyttö vuonna 2021 oli 334 GWh, joka oli reilu 7 % koko Helsingin 4 579 GWh kulutuksesta [4][93].

Taulukko 7.1 Helen Sähköverkon suurimpien asiakasryhmien ja verkkopalvelun tuotteiden tunnuslukuja [93]

Asiakastyyppi	**Lukumäärä***	**Osuus [%]***	**Vuosienergia [GWh]****
Kerrostaloasunto	337962	80,63	629
Ok- tai paritaloasunto	24032	5,73	334
Rivitaloasunto	15271	3,64	113
Toimisto tai palvelut liike-elämälle	10544	2,52	504
Kerrostalokiinteistö	8185	1,95	393
Pien- tai rivitalokiinteistö	3943	0,94	44

Verkkopalvelun tuote	**Lukumäärä***	**Osuus [%]***	**Yleisin asiakastyyppi**
Yleissiirto	388587	82,71	Kerrostaloasunto
Aikasiirto	17824	3,98	Ok- tai paritaloasunto
PJ-teho	10916	2,60	Kerrostalokiinteistö

* Lokakuussa 2022

** Asiakasryhmän vuosienergia 2021

Kerrostalokiinteistöt käyttävät yleisimmin pienjännitetehosiirto-tuotetta. Edeltävässä taulukossa kerrostalokiinteistön keskimääräinen vuosienergia on hiukan alle 50 000 kWh ja osuus Helsingin kulutuksesta on noin 9 %. Pien- ja rivitalokiinteistöjen keskimääräinen vuosienergia on noin 11 000 kWh, jonka perusteella näihin kohteisiin soveltuu yleis- tai aikasiirto tuote. Toimisto- ja palvelukiinteistöjen keskimääräinen vuosienergia on kerrostalokiinteistön tavoin noin 50 000 kWh, ja suuren tehotarpeen vuoksi yleisin tuote on pienjännitetehosiirto.

Energiaviraston perustaman *Älyverkkotyöryhmän* yksi tehtävä oli luoda ehdotus verkkopalvelujen hinnoittelun harmonisoinniksi. Tehtävän keskeisin periaate on ollut varmistaa hinnoittelun yhdenmukaisuus ja selkeys asiakkaiden sekä palveluiden tarjonnan kannalta. Periaatteissa korostettiin tehomaksukomponentin määräytymisperusteiden yhtäläisyyttä. Työryhmän raportin perusteella Energiavirasto on laatinut suosituksen lainsäädännön kehittämiseksi. Käytännössä energiamaksun aikajaotus yhtenäistetään ja tehomaksusta tulee kuukausiperusteinen, siten että tehomaksu määräytyy samalla tavalla vuoden jokaisena kuukautena. Lisäksi tehomaksussa tulisi olla liikkumavaraa pienasiakkaiden osalta.

Harmonisointiesityksen mukaan tehomaksuun ei ole verkon kannalta perusteltua lisätä aikajaotusta. Tehomaksun tulisi olla niin yksinkertainen, että asiakkaiden olisi mahdollista ymmärtää tuoterakenne. Kaikkiin tuotteisiin ei ole pakko sisällyttää tehomaksukomponenttia. Jos tuotteessa on tehomaksukomponentti, sen tulisi noudattaa harmonisoinnin periaatteita. Energiaviraston suosituksissa pienasiakkaiden tehomaksun kynnysteholle annetaan 5–8 kW vaihteluväli, joka voi mahdollistaa sähköauton hitaan (~2 kW) latauksen mahtumisen kynnystehon sisään. Kynnysteholla tarkoitetaan tehoa, jonka ylittävältä osuudelta peritään tehomaksua. [95]

Seuraavaksi on lainaus harmonisoinnin lopputuloksesta, jonka mukaan verkkopalvelun tuotteiden maksukomponenttien on määräydyttävä.

> *”Maksukomponenttien on määräydyttävä jakeluverkossa (pienjänniteverkossa) seuraavilla perusteilla sähkönkäyttäjille, joilla sulakekoko on maksimissaan 63 A:*
>
> - *Perusmaksun hinta määräytyy euroa per kalenterikuukausi. Perusmaksun suuruus voi vaihdella eri pääsulakekokojen sekä samassa liittymässä olevien käyttöpaikkojen lukumäärän mukaan. Tehosta riippuvat kustannukset pienasiakkaan tehomaksun kynnyksen alittavilta osin allokoidaan perusmaksuun.*
> - *Energiamaksun hinta määräytyy senttiä per kulutuksen mitattu energia kWh. Energiamaksun päivä-yö sekä vuodenaikajaottelussa sovelletaan mittausasetuksen 7 luvun 2 §:n mukaista valtakunnallista aikajaotusta.*
> - *Tehomaksun hinta määräytyy euroa per kynnyksen (vaihteluvälillä 5–8 kW) ylittävä kuukauden kolmen suurimman tuntitehon keskiarvo kW.*
>
> *Maksukomponenttien on määräydyttävä jakeluverkossa seuraavilla perusteilla sähkönkäyttäjille, joilla sulakekoko > 63 A:*
>
> - *Perusmaksun hinta määräytyy euroa per kalenterikuukausi. Perusmaksun suuruus voi vaihdella eri pääsulakekokojen mukaan.*
> - *Energiamaksun hinta määräytyy senttiä per kulutuksen mitattu energia kWh. Energiamaksun päivä-yö sekä vuodenaikajaottelussa sovelletaan mittausasetuksen 7 luvun 2 §:n mukaista valtakunnallista aikajaotusta tai kantaverkon soveltamaa aikajaotusta.*
> - *Tehomaksun hinta määräytyy euroa per kuukauden korkein tuntiteho kW. Kynnysrajaa tai minimilaskutustehoa ei voi soveltaa.”* [95]

Mittausasetuksen 767/2021 mukaisella päiväenergialla tarkoitetaan kaikkina viikonpäivinä kello 7–22 ja yöenergialla kello 22–7 välisenä aikana kulutettua energiaa. Talviarkipäivän energialla tarkoitetaan marraskuusta maaliskuuhun maanantaista lauantaihin kello 7–22 välillä kulutettua energiaa. Muun ajan kulutus on muuta energiaa. [43] Kantaverkon aikajaotuksessa talviarkipäivällä tarkoitetaan joulu-, tammi- ja helmikuun maanantaista perjantaihin kello 7–21 välistä aikaa. Kantaverkon muu aika kattaa kaikki talviarkipäivän ulkopuoliset ajankohdat. [96] Tehomaksun käyttöönotto tulisi tehdä viraston esityksen mukaan

1.1.2024 mennessä, jolloin alkaa seuraava valvontamenetelmien määräytymisjakso [95]. Hallituksen esityksessä *HE 318/2022 vp* sähkömarkkinalain muuttamiseksi ei huomioida tariffien harmonisointia, vaikka esityksen toisena keskeisenä tavoitteena on toimeenpanna *Älyverkkotyöryhmän loppuraportin [18]* esittämiä toimia älykkäästä sähköjärjestelmästä. [97] Energiaviraston asiantuntijan mukaan tariffiharmonisoinnin odotetaan etenevän Työ- ja Elinkeinoministeriössä vuoden 2023 aikana, jolloin selvinnee harmonisoinnille esitettävä siirtymäaika [102].

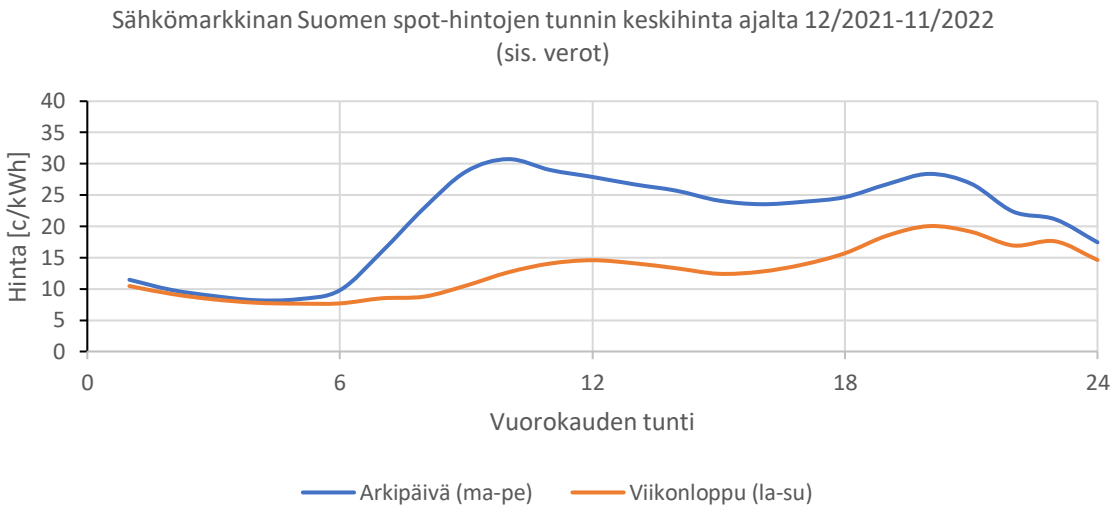
Kokonaisuutena verkkopalvelun maksukomponenttien mekanismit muodostavat säännöt, jonka mukaan asiakkaat maksavat verkkopalvelusta. Hinnoittelua sovellettaessa on tärkeä huomioida asiakasvaikutukset ja asiakkaiden kyky ymmärtää hinnoittelua. Helen Sähköverkolla tehdyt hinnoittelurakenteen painopistemuutokset aikasiirto-tuotteeseen eivät ole saavuttaneet sellaista asiakasvaikutusta kuin on tavoiteltu. Tariffiharmonisoinnin perusteella Helen Sähköverkon pitää tehdä muutoksia nykyisiin verkkopalvelun veloitusperusteisiin. Aiempien hinnoittelutarkasteluiden ja tämän asiakaskyselyn havaintojen huomioiminen muutoksessa voi mahdollistaa tuotteiden paremman kulutusohjaavuuden. Aikasiirron osalta tehomaksut muodostuvat tulevaisuudessa harmonisoinnin mukaan kynnystehon ylittävien kolmen suurimman tunnin keskitehon mukaan, mikä voi heikentää yöajan kulutuksen houkuteltavuutta asiakkaiden kannalta. Tariffiharmonisointiesityksen mukaan asiakkaiden sähköautojen lataaminen matalalla teholla on mahdollista sisällyttää kynnystehoon (5–8 kW). Asettamalla kynnysteho 8 kW tasolle, voidaan mahdollistaa suurelle osalle pientalokäyttäjistä sähköauton lataus kulutuksen nousematta kynnystehon yli. Kynnystehoa suurempitehoisesta latauksesta aiheuttamisperusteen mukaan aktivoituisi tehomaksut. Täyssähköautojen lataaminen näyttäisi määrittävän tulevaisuudessa useiden asiakkaiden huippukulutuksen ajankohdan ja suuruuden. Aikasiirron yö-hintaa kannattaisi laskea ja vastaavasti päivähintaa nostaa, jolloin lisätään asiakkaiden hyötyä kulutuksen ohjaamiseksi yöajalle. Aikasiirrosta kannattaisi muodostaa pientalojen pääasiallinen tuote siten, että kokonaishinta olisi yleissiirtoa edullisempi 5 000 kWh vuosikulutuksesta lähtien. Muutos selkeyttäisi asiakkaiden tuotevalintaa. Muutos olisi helpoiten toteutettavissa aikasiirron perusmaksua laskemalla. Esimerkiksi 10 € / kk perusmaksulla (nyk. 17,50 € / kk) ja 5 kW laskutusteholla aikasiirto (20 % päivä, 80 % yö) tulisi edullisemmaksi noin 6 000 kWh vuosienergialla. Helen Sähköverkon visiona on olla *asiakaskeskeisin verkkoyhtiö* ja *uuden energia-aikakauden mahdollistaja*. Tietyn lataustehon sisällyttäminen kynnystehoon on selkeä toimi asiakasvaikutusten huomioinnissa ja siten kannatettava.

Pienjännitetehosiirron hinnoittelumuutokset ovat toimineet aikasiirron muutoksia paremmin ja tuote ohjaa selkeästi sähkönkäyttöä yöajalle. Asiakkailta saadun palautteen mukaan tehomaksun hallinta tuottaa haasteita päiväajalla. Asiakkaiden on vaikea hahmottaa tunnin keskitehon muodostuminen käytännössä, ja he kaipaavat keinoja tehomaksun hillitsemiseksi. On syytä muistaa, että valtaosa asiakkaista on maallikkoja energia-asioissa.

Tariffiharmonisointi tuo esitettynä muutoksia pienjännitetehosiirron tehomaksun määräytymiseen. Harmonisointi näyttäisi poistavan mahdollisuuden kohdentaa tehomaksun määräytyminen pelkästään arkipäivälle. Jatkossa tehomaksu olisi harmonisoituna kuukauden suurimman tuntitehon mukainen, joka voi olla asiakkaan kannalta heikennys, sillä asiakkailta poistuvat tehomaksuvapaat ajanhetket kokonaan.

Historiaa tarkastellen Helen Sähköverkon hinnoittelussa asiakasvaikutusten arviointi on toteutettu enemmän omien arvioiden kautta, eikä vuoropuhelua ole käyty asiakkaiden kanssa. Vuoropuhelua ja asiakasviestintää hinnoittelun vaikutuksista tuleekin lisätä jatkossa. Asiaa käsitellään enemmän seuraavassa luvussa.

Asiakkaiden sähkönhintaan vaikuttaa merkittävästi myös sähköenergian hinta. Sähkömarkkinoilla on ollut viimeisen vuoden aikana valtava kriisi, jonka seurauksena sähkön hinta on noussut erittäin voimakkaasti kymmenien senttien tasolle. Seuraavassa kuvassa 7.3 on esitetty sähkömarkkinan Suomen spot-hintojen keskiarvot arki- ja viikonlopunpäivien tunneilla. Hinnat ovat joulukuusta 2021 marraskuulle 2022 ja sisältävät arvonlisäveron. Arkipäivän hinnat ovat vuorokauden viittä ensimmäistä tuntia lukuun ottamatta selkeästi kalliimpia kuin viikonlopun päivinä. Tätä selittää arkipäivien suurempi sähkönkulutus. Arkipäivien suurin tuntihinta on ollut kello 9–10 noin 31 c/kWh. Viikonlopun suurin hinta on vastaavasti kello 19–20 noin 20 c/kWh. Matalimmat tuntihinnat osuvat aamuyön tunneille ollen halvimmillaan noin 8 c/kWh kaikkina viikonpäivinä. [98]



Kuva 7.3 Sähkömarkkinan spot-sähkön tuntihintojen keskiarvot arki- ja viikonlopun päivien tunneilla vuoden ajalta. [98]

Energiakriisin vaikutuksesta monien asiakkaiden vaikuttavin hintaohjaus tuleekin sähköenergian hinnasta. Sähkötuotteiden tarjonta on keskittynyt pääasiassa toistaiseksi voimassa oleviin hintoihin, määräaikaisiin vakiohintaisiin ja spot-hintoihin. Toistaiseksi voimassa olevien ja määräaikaisten tuotteiden hinta on pääasiassa vakio ajan suhteen, jolloin sen ohjausvaikutus perustuu ainoastaan kulutuksen vähentämiseen. Spot-hinnassa muuttuva hinta ohjaa kulutusta halvoille tunneille kulutuksen vähentämisen lisäksi. Riippumatta sähkötuotteesta asiakkaiden kannattaa ohjata kulutus halvimmille tunneille, sillä se johtaa kaikissa tapauksissa edullisimpaan kokonaishintaan (sisältäen verkkopalvelun, sähköverojen ja -energian maksut).

7.2 Viestintä älykkään latauksen edistämisen keinona

Älykkään latauksen tietoisuuden lisääminen voi vaikuttaa asiakkaiden latauskäyttäytymiseen. A. Lahden joustotutkimuksen tärkeänä havaintona todettiin, että asiakkaiden (sähkön loppukäyttäjien) tietopohjan kasvattamisella voi olla merkittävä vaikutus asiakkaiden päätöksentekoon. Tietopohjan kasvattaminen auttaa asiakasta ymmärtämään karkealla tasolla erilaisten sähkönkulutustapojen vaikutuksia pidemmällä aikajänteellä. [15] Sähköauton toimintamatkan riittävyys omiin ajoihin, älykkään lataamisen tuomat edut, kuinka lataan järkevästi, julkisten latauspisteiden saatavuus, akkujen kestävyys ja latauksen turvallisuusseikat ovat esimerkkejä autoilijan perustiedoista. Norjalaisessa sähköautojen

käyttäjätutkimuksessa havaittiin, että älykkään latauksen toteutumiseen vaikuttavat edellä mainitut asiat yhtä paljon kuin taloudelliset asiat. [82]

Vaikuttavan viestinnän keskeisiä keinoja on pohdittu jo antiikin Kreikan ajoilta alkaen, jolloin vakuuttavat puhetaidot näyttelivät tärkeää roolia yhteiskunnallisessa vaikuttamisessa. Retoriikkaa erilaisin vivahtein pidetään olennaisena argumentaation ja vaikuttavan viestinnän osana. Retoriikalla tarkoitetaan yleisesti viestijän kykyä vakuuttaa kuulijansa. [99] Aristoteleen retoriikan filosofia perustuu kolmeen vaikuttamisen taitoon *eetokseen, paatokseen* ja *logokseen.* Esiintyjä näyttäytyy yleisölle omien luonteenpiirteiden kokonaisuutena *(eetos)*. Kuulijan tunteisiin vetoaminen *(paatos)* lisää kuulijan vastaanottokykyä, jolloin kuulija suhtautuu kuulemaansa asianmukaisella vakavuudella. Asia-argumentaatio *(logos)*, jota pidetään viestijästä ja kuulijasta riippumattomana, perustelee viestittävän asian järkisyillä. Näiden kolmen yhteisvaikutuksella voidaan toteuttaa viestintää, jolla vaikutetaan asiakkaiden arkeen. Viestinnässä eräs toimiva keino on käyttää tunnettuja henkilöitä tai alan asiantuntijoita viestin uskottavuuden lisäämiseksi. Vaikka retoriikassa yleensä viitataan puheviestintään, voidaan näitä keinoja hyödyntää myös kirjallisessa viestinnässä. Yleisesti viestijän tavoite on vaikuttaa haluttuun kohderyhmäänsä argumenttien, toimien ja päätösten kautta, jolloin kohderyhmä saadaan hyväksymään esitetty asia. [100][101] Helen Sähköverkon luotettava asema yhteiskunnassa antaa mahdollisuudet vaikuttaa asiakkaiden sähköautojen lataukseen. Asiakaskyselystä saatiin arvokasta tietoa asiakkaiden latauskäyttäytymisestä, josta muodostuu viestinnän aiheet. Käsitellään seuraavaksi tärkeimpien aiheiden teemoja argumenttien ja asiakkaan toimien kannalta.

Matalatehoinen hidas lataaminen ei ole ongelma koskaan vuorokauden aikana. Autoilijan kannalta on kohtuullinen oikeus ladata autoa silloin kuin hän haluaa. Lataustehon rajoittaminen ei ole suurimmalle osalle kynnyskysymys. Latauksen kieltäminen kokonaan aiheuttaa automaattisesti negatiivisen vastakaiun. Asia-argumentein autoilijaan voidaan vaikuttaa niin, että lataus toteutuu matalalla teholla. Edeltävässä luvussa käsitelty hinnoittelukokonaisuus antaa myös perusteet hitaalle lataustavalle. Hidas lataus tukee hybridiauton taloudellista käyttöä parhaiten. Pientaloissa ja taloyhtiöissä voidaan tarvittaessa rajoittaa kokonaistehoa, jolloin laskutukseen vaikuttava teho pysyy kokonaisuutena maltillisella tasolla.

Suurempitehoiset täyssähköautojen kotilataukset suositellaan ajoittamaan aina yöajalle, ellei päivälataamiselle ole muuta pakottavaa syytä. Suurimmalla osalla asiakkaita yöajan kulutus on päiväajan kulutusta pienempää, joten yöllä tehokapasiteettia on hyvin käytettävissä.

Useissa pientaloissa sähköautot tulevat määrittämään huipputehon suuruuden ja ajankohdan. Vaikka tariffiharmonisointi ajaa tehomaksun perusteen vuorokauden kaikille ajankohdille, on perusteltua verkon kokonaiskulutuksen ja sähkönhinnan kannalta ajoittaa lataus yöajalle.

Sähköauton latauksen kuormanhallinta onnistuu kätevästi latausjärjestelmän avulla. Kiinteät älykkään latauksen mahdollistavat latauslaitteet tarjoavat autoilijoille tosiasialliset mahdollisuudet kustannustehokkaaseen lataukseen. Älykkään latauksen hyödyt palvelevat autoilijaa itseään, omaa taloyhtiötä ja muuta yhteiskuntaa. Autoilijoille suunnatut artikkelit hyvin toimivien latausjärjestelmien toteutuksista lisäävät kaivattua tietopohjaa.

Vaikka tässä työssä keskityttiin pääasiassa älykkään latauksen edistämiseen, viestinnässä kannattaa sen lisäksi puhua kiinteistön kokonaisvaltaisesta tehonhallinnasta. Kiinteistön sähköjärjestelmän uusinnan yhteydessä on suositeltavaa ottaa huomioon kaikki säädettävät helposti ohjattavissa olevat kuormat, jolloin puhutaan kiinteistötasoisesta kuormanhallinnasta. Huippukulutukseen vaikuttaa myös muut merkittävät sähkökuormat, kuten yleistyvät lämpöpumppulämmitykset. Taloyhtiössä yksittäinen asukas tarvitsee taloyhtiötason tietoa toimiakseen taloyhtiön sähkönkäytön kannalta järkevästi. Taloyhtiössä päivälatauksen aiheuttama kulutus nostaa tehomaksua muita tariffeja voimakkaammin. Tämän vuoksi yhtiöissä tulisi sopia hyväksyttävät lataustehosta aiheutuvat kustannukset, jotka jyvitetään autoilijoiden latauskustannuksiin. Helen Sähköverkon asiakaspalveluun tulee tasaisesti yhteydenottoja tehomaksun hallintaan liittyen. Onnistuneet asiakastarinat, asiantuntijaviestintä ja vuoropuhelu asiakkaiden kanssa tarjoavat heti käyttöönotettavat keinot älykkään latauksen ja kokonaisvaltaisen kuormanhallinnan edistämiseen.

7.3 Online-palveluiden mahdollisuudet

Online-palvelut mahdollistavat asiakkaille helpon pääsyn omiin kulutustietoihin. Asiakkaista ainoastaan kolmasosa oli käyttänyt Helen Sähköverkon online-palveluita oman kulutuksen seuraamiseen. Palvelua käytti pientalojen vastaajista 55 %, rivitalojen 38 % ja kerrostalojen 24 %. Noin 47 % vastaajista tiesi oman sähkönkäyttöpaikan sulakekoon. Asuinmuodoittain tarkastellen pientaloissa neljä vastaajaa viidestä, rivitaloissa kaksi kolmesta ja kerrostaloissa kolme kymmenestä tietää sulakekokonsa. Pientalojen asukkaat saattavat olla keskimäärin kiinnostuneempia ja valveutuneempia sähkönkäyttäjiä verrattuna kerrostaloasukkaisiin. Kyselyn avoimissa kommenteissa asiakkaat pääsivät kertomaan autoilun

arjesta. Kehityskohteissa nousi esille latauksen liittyvät käytännön haasteet. Sulakekoko ja kulutustiedot numeroarvoina eivät ole helppoja asioita suurelle osaa asiakkaista.

Asiakaspalveluumme saapuu päivittäin kyselyjä sähköliittymän teknisistä tiedoista, kuten sulakekoko ja kulutustiedot. Tietoja tarvitaan kohdekiinteistön muutostöihin. Helen Sähköverkolla käynnistettiin vuoden 2022 lopulla online-palveluiden tuotekehitys, jolla on tarkoitus helpottaa asiakkaiden liittymätietojen saatavuutta ja sähköauton latausjärjestelmän suunnittelua. Kiinteistön sähköverkon käytettävissä oleva kapasiteetti on merkityksellinen tekijä sähköautojen latausjärjestelmää, aurinkosähköjärjestelmää tai maalämpöön siirtymistä mietittäessä. Kapasiteettiin vaikuttavat pääsulakkeiden koko ja nykyiset kaapeloinnit. Asiakkaan ryhtyessä muutoshankkeeseen on hyödyllistä kartoittaa nykyisen infran vapaa kapasiteetti, jonka pohjalta suunnitellaan latauspisteiden toteutuksia ja kuormanhallinnan tapoja. Online-palveluun on suunniteltu kohteen perustietojen lisäksi moderni kapasiteettityökalu, jonka avulla asiakas voi tarkastella kulutusrakennettaan ja vapaan kapasiteetin määrän. Asiakas voi verrata omaa kulutustaan samankaltaisiin muihin kohteisiin. Palveluun toteutetaan latausjärjestelmän suunnittelutyökalu, jolla voi simuloida vaivattomasti latauksien aiheuttamaa kulutusta. Simulointiin voi määrittää latauspisteiden lukumäärät, tehot ja käytetäänkö latauksessa dynaamista kuormanhallintaa vai yöaikaan ohjausta. Kapasiteettityökalu havainnollistaa latauksen aiheuttaman kulutuksen lisääntymisen ja kertoo, riittääkö käytettävissä oleva vapaa kapasiteetti suunnitellulle järjestelmälle. Simulointi toteutetaan viimeisen kolmen vuoden aikana toteutuneeseen korkeimpaan viikkokulutukseen. Palvelussa asiakas pystyy jakamaan tiedot suoraan omalle sähkösuunnittelijalle. Palvelu pyritään toteuttamaan vuoden 2023 aikana.

Tulevaisuudessa online-palveluihin voidaan lisätä asiakkaita helpottavia toiminnallisuuksia. Eräs käytännöllinen toiminnallisuus on verkkopalvelun tuotteiden hintavertailu asiakkaan kulutuksen perusteella. Online-palveluiden merkitys korostuu tulevaisuudessa entisestään ja osaltaan mahdollistaa älykkään lataamisen lisääntymisen.

8 Johtopäätökset ja yhteenveto

Tämän diplomityön tavoitteena oli muodostaa kokonaiskuva keinoista, joilla Helen Sähköverkko voisi edistää sähköautojen älykästä latausta Helsingissä. Asiakkaiden latauskäyttäytymisestä selvitettiin Helen Sähköverkon aiempien tutkimushankkeiden lähtötietojen ja sähköautoileville asiakkaille toteutetun asiakaskyselyn avulla. Osatavoitteina oli selvittää, mitkä asiat vaikuttavat asiakkaiden lataustapoihin ja miten Helen Sähköverkko voisi huomioida niitä älykkään latauksen edistämistoimissaan. Myös sähkönhinnan (verkkopalvelu ja sähköenergia) ja kannustimien tarvetta arvioitiin latauskäyttäytymisen vaikutuskeinoina. Asiakaskyselyn sisältö ja tulokset esiteltiin kattavasti luvuissa 5–7 sekä liitteissä 1 ja 2. Helen Sähköverkon aiemmista tutkimuksista saatiin kattava yleiskuva Helsingin alueen sähkönkäytöistä niin sähköverkon kuin asiakasklustereiden tasolla.

Työn kokonaisuuden avulla löydettiin vastaus kahteen keskeiseen tutkimuskysymykseen *'Millä keinoin älykästä latausta voidaan edistää käyttäjien näkökulmat huomioiden?'* ja *'Mitä mahdollisuuksia verkkoyhtiöllä on edistää joustavaa sähköautojen latausta?'*. Vaikuttavimmat työkalut asiakkaiden latauskäyttäytymisen muuttamiseksi ovat verkkopalveluiden hinnoittelu, sähköautojen älykästä lataamista edistävä viestintä ja verkkoyhtiön onlinepalveluiden kehittäminen.

Asiakaskyselyn hinnoitteluosion avulla selvitettiin tutkimuskysymyksiä *'Tarvitaanko kannustimia mahdollistamaan haluttu latauskäyttäytyminen?'* ja *'Miten sähkön hinta vaikuttaa asiakkaiden latauskäyttäytymiseen?'*. Verkkopalvelun hinnoittelulla on vaikutusta asiakkaiden latauskäyttäytymiseen. Hinnoittelussa on tapahtunut viimeisen vuosikymmen aikana selkeitä muutoksia, joilla on pyritty hillitsemään asiakkaiden kulutushuippuja sekä ohjaamaan sähkökulutusta yöajalle sähköverkon kannalta hyvään ajankohtaan. Hinnoittelumuutokset eivät ole kuitenkaan toimineet toivotulla tavalla, sillä sähköautojen latauksen aiheuttama kulutus muodostuu valtaosin sähköverkon korkeimman kuormituksen ajanhetkille. Tämä näkyy erityisesti kotilatauksessa, joka on yleisin ja siten merkittävin lataustapahtuma. Kotilataus aloitetaan tyypillisesti kotiin tulon yhteydessä alkuillan aikana. Asiakaskyselyn perusteella asiakkaat odottavat merkittäviä rahallisia kannustimia, jotta he olisivat valmiit tekemään muutoksia latauskäyttäytymiseen. Noin 63 % vastaajista odottaa yli 10 € ja noin 33 % yli 20 € rahallista hyötyä per kuukausi älykkään latauksen kannustimeksi. Kyselyn

perusteella kaikki asiakkaat eivät tiedä verkkopalvelun hinnoittelun ja laskutuksen syy-seuraussuhdetta omassa sähkönkulutuksessa. Asiakkaista valtaosa on yleissiirtotuotteen piirissä, jossa ei ole kulutuksen ajoittamiseen tai joustoihin kannustavaa ohjausvaikutusta. Pientaloissa yleinen aikasiirtotuote sisältää tarvittavat ohjausmekanismit, mutta niiden vaikutus on ollut valtaosin pientä. Kyselyn perusteella asiakkaat ymmärtävät paremmin yksinkertaiset hinnoittelurakenteet, kuten vakiohinta ja päivä-yö -hinnoittelu, joissa maksut muodostuvat energian kulutuksen mukaan, c/kWh. Vastaavasti tehomaksun ymmärrettävyys on heikompaa. Rivi- ja kerrostaloasukkaiden tuotteeksi on muodostunut yleissiirto ja taloyhtiöiden kulutuksille pienjännitetehosiirto. Aikasiirron soveltuvuutta matalaenergiaisille pientaloille kannattaisi harkita, jolloin saadaan lisättyä tuotteen ohjausvaikutusta suuremmalle asiakasmäärälle. Aikasiirtotuotteen hinnoittelu yleissiirtoa edullisemmaksi tuotteeksi jo pienistä 5 000 kWh kulutuksista alkaen voisi edistää sähköautojen latausta yöajalle. Yleissiirto- ja pienjännitetehosiirtotuotteilla ei ole merkittävää muutostarvetta tariffiharmonisointia lukuun ottamatta.

Tutkimuskysymyksen *'Miten sähköautojen latausta saadaan ajoitettua matalien kuormitusten hetkille?'* ratkaisukeinot löytyvät asiantuntevasta viestinnästä älykkään latauksen toteuttamiseksi. Kyselyn avoimien kommenttien (kysymys 35) perusteella vakuuttava asiapohjainen viestintä saattaisi edesauttaa asiakkaiden tietopohjan kartuttamista. Asiakkaat kaipaavat käytännönläheistä selkeää tietoa latauspisteiden toteuttamisesta ja sähköautojen latauksesta niin kulutuksen kuin kustannusten näkökulmasta. Nykyiset saatavilla olevat latausratkaisut mahdollistavat työn luvussa 3.2 esitellyt keinot hallita latauskuormaa *rajoittamalla, leikkaamalla* tai *ajoittamalla.* Pientaloasukkaat ovat keskimäärin paremmin tietoisia omasta kulutuksestaan ja kiinteistön sähköjärjestelmän mahdollisuuksista. Heillä saattaa olla parempi tietopohja ja paremmat edellytykset päättää älykkään latauksen toteutustapa verrattuna taloyhtiöissä asuviin. Nämä tulokset ovat hyvin samansuuntaisia aiempien asiakastutkimusten kanssa.

Kysymykseen *'Miten, miksi ja millä tietopohjalla asiakkaat tekevät valintoja latauksen toteuttamiseksi?'* ei löydy yhtä selkeää vastausta. Asiakkaiden arjen elämänrytmi näyttäisi selittävän osittain latauskäyttäytymistä. Auton lataaminen sovitetaan tyypillisesti osaksi arkea. Lisäksi asiakkaiden älykkään latauksen tietopohjassa näyttäisi olevan eroja. Kyselyn avulla voitiin muodostaa neljä erilaista lataajatyyppiä *'hybridiautoilija', 'täyssähköautoilija, lataa illalla', 'täyssähköautoilija, lataa yöllä'* ja '*muualla lataaja, ei kotilatauspistettä*'.

Hybridiautojen lataaminen on lähes päivittäistä matalatehoista pitkäaikaista lataamista kaikkina vuorokauden aikoina. Täyssähköautoja ladataan noin kaksi kertaa viikossa. Taloyhtiössä lataustehoon vaikuttaa taloyhtiön latausinfran toteutus. Latausteho vaihtelee lataajien lukumäärän ja latausjärjestelmän salliman tehokaistan mukaan. Pientaloissa täyssähköautoja ladataan enemmän yöaikaan verrattuna hybrideihin. Muualla lataajilla ei tyypillisesti ole omaa kotilatauspistettä, vaan auto ladataan tarpeen vaatiessa muilla latauspisteillä. Julkisilla ja muilla latauspisteillä lataajat minimoivat latauksen kestoa, jolloin latausteho on mahdollisimman suuri. Älykkään latauksen edistäminen kannattaa kohdistaa täyssähköautoilijoiden käyttäytymisen muuttamiseen kotilatauksessa. Muiden lataajatyyppien osalta vaikutusmahdollisuudet jäävät vähäisemmäksi. Yleisenä ohjeena voidaan neuvoa lataamaan yöaikoina ja viikonloppuina, jolloin sähkönkulutus ja -hinta ovat tavanomaisesti matalampia verrattuna arkipäiviin (kello 8–22). Jos autoa on tarvetta ladata arkipäivänä, latausteho kannattaa pitää matalana.

Suosittelen Helen Sähköverkkoa kehittämään hinnoittelua asiakasymmärrettävään suuntaan. Asiakasymmärrys auttaa verkonhaltijoita ymmärtämään sähkökäytön kehittymistä aiempaa paremmin. Helen Sähköverkon kannattaa panostaa asiakasryhmissä tapahtuvien muutosten seuraamiseen energiamurroksen edetessä. Lisäksi kaikkien verkkoyhtiöiden kannattaisi lisätä asiakasviestintää ja kehittää asiakkaiden online-palveluita edistämään älykkään latauksen lisääntymistä. Älykkään lataamisen edistämisessä tulisi keskittyä asiakkaiden tietopohjan kasvattamiseen ja latausjärjestelmien suunnittelijoiden ohjaamiseen viestinnän ja online-palveluiden avulla.

Energiamurros toteutuu tällä hetkellä voimakkaasti. Sähköinen liikenne kasvaa nopealla tahdilla. Tämän vuosikymmen lopulla Helsingin alueen henkilöliikenteen sähköautojen määräksi ennustetaan yli 100 000 autoa, jolla on vaikutusta Helsingin alueen kulutukseen. Kaukolämmölle vaihtoehtoiset lämmitysmuodot (mm. lämpöpumput) ja muu sähköistyvä liikenne voimistavat verkkoyhtiöiden toimintaympäristön muutosta entisestään. Kannustankin koko energia-alaa aktiiviseen tutkimustyöhön ja edistämään älykkään sähkönkäytön ratkaisuja koko Suomessa.

Lähteet

[1] Euroopan parlamentin lehdistötiedote ilmastolain hyväksymisestä. 24.6.2021. Saatavissa: https://www.europarl.europa.eu/news/fi/press-room/20210621IPR06627/ilmastolaki-eu-parlamentti-hyvaksyi-ilmastoneutraaliuden-vuoteen-2050-mennessa. [viitattu 8.7.2022].

[2] Valtioneuvoston julkaisu 2020:52 Suomen kestävän kasvun ohjelma. Elpymis- ja palautumissuunnitelma. Saatavissa: http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-840-6. [viitattu 8.7.2022].

[3] Liikenne- ja viestintäministeriön tiedote. 2022. Liikenteen käyttövoimamurros vaatii muutoksia energiantuotannossa ja jakelussa. Saatavissa: https://www.lvm.fi/-/liikenteen-kayttovoimamurros-vaatii-muutoksia-energiantuotannossa-ja-jakelussa-1703614. [viitattu 8.7.2022].

[4] Helen Sähköverkko. 2022. Sähkönkäytön seuranta 9–2022. Sisäinen dokumentti.

[5] A. Mutanen, K. Lummi ja P. Järventausta. 2020. Helen Sähköverkko Oy:n tilaustutkimus ”Tuntimittaus- ja avoimeen dataan perustuva kuormitusmallinnus”. Tampereen Yliopisto. Saatavissa: https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hsv/dokumentit/helen-s%C3%A4hk%C3%B6verkko-kuormitusmallinnus-2020-vaihe-1.pdf

[6] HRI Helsingin Region Infoshare. Pääkaupunkiseudun postinumeroalueet. 2022. Saatavissa: https://hri.fi/data/dataset//paakaupunkiseudun-postinumeroalueet. [viitattu 30.7.2022].

[7] Helen. Vastuullisuus - hiilineutraaliksi 2030. Saatavissa: https://www.helen.fi/helen-oy/vastuullisuus/vastuullisuus-helenissa/hiilineutraaliksi-2030. [viitattu 18.9.2022].

[8] Helsingin ilmastoteot. Ilmastotavoitteet ja seuranta – hiilineutraali Helsinki. 2022. Saatavissa: https://helsinginilmastoteot.fi/city-act/helsingin-ilmastotavoitteet-ja-seuranta/. [viitattu 18.9.2022].

[9] Helen Sähköverkko. Yritysesittely. Sisäinen dokumentti. 12.9.2022.

[10] Helen Sähköverkko - Tutkimus ja kehitys. 2022. Saatavissa: https://www.helensahkoverkko.fi/helen-sahkoverkko-oy/tutkimus--kehitys. [viitattu 24.9.2022].

[11] EU-SysFlex. EU-SysFlex WP6: Demonstration of flexibility services from resources connected to the distribution network. 15.3.2018. Saatavissa: http://eu-sysflex.com/workpackages/wp6-demonstration-of-flexibility-services-from-resources-connected-to-the-distribution-network/. [viitattu 24.9.2022].

[12] S. Takala. Loistehon kaupallinen hallinta jakeluverkkoyhtiössä. Diplomityö. Aalto-yliopisto. 2018. Saatavissa: https://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201812146473.

[13] J. Korpio. Sähkönjakeluverkko kysyntäjouston mahdollistajana. Diplomityö. Aalto-yliopisto. 2019. Saatavissa: https://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201905122960.

[14] E. Koivuniemi. Toimistokiinteistöjen tehonhallintaratkaisujen vaikutukset sähkönjakeluverkoston mitoittamiseen. Diplomityö. Tampereen yliopisto. 2020. Saatavissa: https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202003042519.

[15] A. Lahti. Voimajärjestelmän jousto asiakasnäkökulmasta. Diplomityö. LUT-yliopisto. 2021. Saatavissa: https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202101111414.

[16] Ympäristöministeriö. Hallituksen ilmastopolitiikka: kohti hiilineutraalia Suomea 2035. Saatavissa: https://ym.fi/hiilineutraalisuomi2035. [viitattu 24.9.2022].

[17] Työ- ja elinkeinoministeriö. Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastrategia. 9.9.2022. Saatavissa: http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-811-0. [viitattu 24.9.2022].

[18] Työ- ja elinkeinoministeriö – Älyverkkotyöryhmä. Joustava ja asiakaskeskeinen sähköjärjestelmä; Älyverkkotyöryhmän loppuraportti. 24.10.2018 Saatavissa: http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-346-7. [viitattu 25.9.2022].

[19] Helsingin kaupunki. Hiilineutraali Helsinki 2035 -toimenpideohjelma. 2018:4. Saatavissa: https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/julkaisut/julkaisut/HNH-2035-toimenpideohjelma.pdf. [viitattu 25.9.2022].

[20] Liikenne- ja viestintäministeriö. Fossiilittoman liikenteen tiekartta: Valtioneuvoston periaatepäätös kotimaan liikenteen kasvihuonepäästöjen vähentämisestä. 22.6.2021. Saatavissa: http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-588-0.

[21] Helsingin kaupunki. Helsingin ja Helsingin seudun väestöennuste 2020–2060. Ennuste alueittain 2020–2036. 24.9.2021. Saatavissa: https://www.hel.fi/hel2/tietokeskus/julkaisut/pdf/21_09_24_Tilastoja_11_Sinkko_Vuori.pdf. [viitattu 25.9.2022].

[22] Helsingin kaupunki – Kaupunkisuunnitteluvirasto. Helsingin liikennesuunnittelun tavoitteet ja toimintalinjaukset. 2016. Saatavissa: https://www.hel.fi/hel2/ksv/julkaisut/esitteet/esite_2016-1.pdf. [viitattu 25.9.2022].

[23] Helsingin kaupunki – Kaupunkisuunnitteluvirasto. Helsingin pysäköintipolitiikka. 17.2.2014. Saatavissa: https://www.hel.fi/hel2/ksv/julkaisut/los_2013-1.pdf. [viitattu 25.9.2022].

[24] Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. Tilastotietokanta – Ajoneuvojen ensirekisteröinnit. Saatavissa: https://trafi2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/TraFi/TraFi__Ensirekisteroinnit/?tablelist=true.

[25] Helsingin kaupunki – Liikennesuunnittelu. Liikennetutkimus ja -tilastot. 8.8.2022. Saatavissa: https://www.hel.fi/helsinki/fi/kartat-ja-liikenne/kadut-ja-liikennesuunnittelu/tutkimus-ja-tilastot/moottoriajoneuvoliikenteen-maarat/. [viitattu 25.9.2022].

[26] Helsingin ilmastoteot. Arjen sähköautoilu. 2022. Saatavissa: https://helsinginilmastoteot.fi/loyda-keinosi-toimia/arjen-sahkoautoilu/. [viitattu 2.10.2022]

[27] SESKO ry. SFS-EN 62752:2016:en. In-cable control and protection devices. 2016.

[28] CER - Clean Energy Reviews. Bidirectional Chargers – V2G, V2H, V2L. 2.9.2022 Saatavissa: https://www.cleanenergyreviews.info/blog/bidirectional-ev-charging-v2g-v2h-v2l. [viitattu 13.10.2022]

[29] Samir M. Shariff et al. – *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* ***561*** *012103.* A State of the Art Review of Electric Vehicle to Grid (V2G) technology 2019. Saatavissa: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/561/1/012103/pdf.

[30] A. Jain, K.K. Gupta, S.K. Jain, P. Bhatnagar, H. Vahedi. A V2G Enabled Bidirectional Single/Three-Phase EV Charging Interface Using Modular Multilevel Buck PFC Rectifier. Electronics 2022, 11, 1891. Saatavissa: https://doi.org/10.3390/electronics11121891

[31] E. Hongisto. V2X (Vehicle-to-everything) - yhteydet WLAN-, LTE- ja 5G-verkoissa. Tampereen yliopisto. 2020. Saatavissa: https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202010277538

[32] SESKO ry. SFS-6000-1:2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 1: Perusperiaatteet, yleisten ominaisuuksien määrittely ja määritelmät. 2022.

[33] Hyundai Motor Company. Ioniq 5: V2L. 23.2.2021. Saatavissa: https://www.hyundaimotorgroup.com/tv/CONT0000000000002268. [viitattu: 13.10.2022]

[34] E. Sortomme, M. A. El-Sharkawi. IEEE Transactions on Smart Grid: Optimal Charging Strategies for Unidirectional Vehicle-to-Grid. 2011. Saatavissa: https://doi.org/10.1109/TSG.2010.2090910.

[35] Maankäyttö- ja rakennuslaki § 117 g Energiatehokkuus. 16.12.2016/1151. Saatavissa: https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132#L17P117g.

[36] Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 1010/2017. Saatavissa: https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010#Pidm45949345520368.

[37] P. Harsia, P. Järventausta, A. Hilden, K. Kallioharju, A. Kortetmäki, J. Koskela, A. Mutanen, A. Rautiainen, A. Supponen, S. Uusitalo, J. Heljo. Sähköteho-opas, Opas pientalojen suunniteluun: sähkötehojen hallinta osana rakennusten energiatehokkuutta. Tampereen yliopisto ja Tampereen Ammattikorkeakoulu. 2019. Saatavissa: https://energia.fi/files/4383/Sahkoteho-opas.pdf.

[38] Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. Saatavissa: https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135.

[39] Työ- ja elinkeinoministeriö. Suomen älyverkkovisio. 31.10.2016. Saatavissa: https://tem.fi/documents/1410877/3481825/%C3%84lyverkkovisio+final.pdf/9ddc2545-586e-4574-8195-ef9987a07151/%C3%84lyverkkovisio+final.pdf?t=1479461966000.

[40] Helsingin kaupunki. Helsingin ilmastoteot. 2022. Saatavissa: https://helsinginilmastoteot.fi/. [viitattu 16.10.2022]

[41] P. Järventausta, S. Repo, P. Trygg, A. Rautiainen, A. Mutanen, K. Lummi, A. Supponen, J. Heljo, J. Sorri, P. Harsia, M. Honkiniemi, M. Kallioharju, V. Piikkilä, J. Luoma, J. Partanen, S. Honkapuro, P. Valtonen, J. Tuunanen, N. Belonogova. Kysynnän jousto – Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutuksen verkkoyhtiöille (DR-pooli): Loppuraportti. 2015. Saatavissa: https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-3485-0.

[42] Aidon Oy. RJ12 HAN Interface. Feature Description. Version 1.7 A. 14.4.2022. Saatavissa: https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hsv/dokumentit/aidonfd_-rj12_han-liitin.pdf. [viitattu 21.12.2022]

[43] Valtioneuvoston asetus sähköntoimitus selvityksestä ja mittauksesta. 12.8.2021. Saatavissa: https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2021/20210767#Lidm45949342814864.

[44] Työ- ja elinkeinoministeriö. Älyverkkotyöryhmä – AMR 2.0 loppuraportti. 15.12.2017. Saatavissa: https://tem.fi/documents/1410877/3481825/AMR+2.0+loppuraportti+15.12.2017.pdf/6a2df7e6-a963-40c0-b4d8-d2533fbca488/AMR+2.0+loppuraportti+15.12.2017.pdf?t=1514984287000.

[45] Autodoc. Lohkolämmitin: toiminta, asennus, diagnostiikka. 16.9.2020. Saatavissa: https://club.autodoc.fi/magazin/lohkolammitin-toiminta-asennus-diagnostiikka. [viitattu: 22.10.2022]

[46] Liikennevirta Oy. Miksi sähköauton lataus tarvitsee älyä. 29.4.2019. Saatavissa: https://www.virta.global/fi/blogi/miksi-s%C3%A4hk%C3%B6auton-lataus-tarvitsee-%C3%A4ly%C3%A4. [viitattu 22.10.2022]

[47] Helen Oy. Pörssisähkö. 2022. Saatavissa: https://www.helen.fi/sahko/sahkosopimus/porssisahko. [viitattu 22.10.2022]

[48] Nord Pool. Market Data: Day-ahead prices. 2022. Saatavilla: https://www.nordpoolgroup.com/en/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/ALL1/Hourly/?view=table.

[49] F. Roy, B. Kinrade. "Optimise prime: interim learnings from the world's largest trial of commercial electric vehicles" *CIRED Porto Workshop 2022: E-mobility and power distribution systems.* 2022, pp. 626-630, doi: 10.1049/icp.2022.0784.

[50] P. Nikolaidis, A. Poullikkas. Journal of Power Technologies 97 (3) (2017) 220-245 A comparative review of electrical energy storage systems for better sustainability. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/320755664_Journal_of_Power_Technologies_97_3_2017_220-245_A_comparative_review_of_electrical_energy_storage_systems_for_better_sustainability.

[51] P. Breeze, Power System Energy Storage Technologies Chapter 3 - Compressed Air Energy Storage, Academic Press, 2018, p23-31, ISBN 9780128129029, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812902-9.00003-1.

[52] M.E. Amiryar, K.R. Pullen. A Review of Flywheel Energy Storage System Technologies and Their Applications. 2017. Applied Sciences 7, no. 3: 286. https://doi.org/10.3390/app7030286.

[53] J. Smeds. Varavoimakoneella varmennettu sähkönjakelu kiinteistöissä. Insinöörityö. Metropolia. 18.11.2019. Saatavissa: https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2017120419699.

[54] J-P. Nowak, Kulutushuippujen tasaaminen akuston avulla. Diplomityö. Tampereen yliopisto. 2021. Saatavissa: https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202104092878.

[55] P. Harsia, Sähkölämmityksen ohjauskytkennät. Tampereen yliopisto. 2019. Saatavissa: https://projects.tuni.fi/uploads/2019/03/c1daa67a-sahkolammityksen-ohjauskytkennat_dr_korj2019.pdf. [viitattu: 27.10.2022]

[56] Helen Sähköverkko Oy. Sähkön verkkopalveluhinnasto. 1.1.2021. Saatavissa: https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hinnastot-ja-sopimusehdot/hsv/s%C3%A4hk%C3%B6n-verkkopalvelumaksut.pdf. [viitattu 27.10.2022]

[57] Sähkötieto ry. ST 51.90. Sähköautojen lataaminen ja latauspisteiden toteutus.

[58] Sähkötieto ry. ST 13.31. Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen.

[59] Suomen Standardoimisliitto SFS ry. SFS 6000-7-722:2022. Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Sähköajoneuvojen syöttö. 12.8.2022.

[60] Ensto Chago Oy. Suunnittelijan Opas. Sähköautojen latausjärjestelmien huomioiminen kiinteistöjen sähkösuunnittelussa 2021. Saatavissa: https://www.ensto.com/globalassets/whitepapers/suunnittelijan-opas-sahkoautojen-latausjarjestelmat.pdf [viitattu 29.10.2022]

[61] Helen Sähköverkko Oy. Sähkönkäyttöpaikkojen liittymismaksuperiaatteet 1.12.2020 alkaen. Saatavissa: https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hsv/palvelut/ohjeet/s%C3%A4hk%C3%B6nk%C3%A4ytt%C3%B6paikkojen_liittymismaksuperiaatteet_01122020.pdf. [viitattu 29.10.2022].

[62] Turvallisuus- ja kemikaalivirasto TUKES. Sähkölaitteistot. Kunnossapito- ja määräaikaistarkastukset. Saatavissa: https://tukes.fi/sahko/sahkolaitteistot/kunnossapito-ja-maaraaikaistarkastukset. [viitattu 29.10.2022]

[63] Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista 1434/2016. Saatavissa: https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161434.

[64] Helen Oy. Pörssisähköasiakkaat vähensivät energiankulutustaan merkittävästi. Artikkeli. 23.9.2022. Saatavissa: https://www.helen.fi/uutiset/2022/porssisahkoasiakkaat-vahensivat-energiankulutustaan-merkittavasti.

[65] Turvallisuus- ja kemikaalivirasto TUKES. Sähkölaitteistot. Sähkölaitteiston haltija ja käytönjohtaja. Saatavissa: https://tukes.fi/sahko/sahkolaitteistot/sahkolaitteiston-haltija-ja-kaytonjohtaja. [viitattu 30.10.2022]

[66] Fingrid Oyj. Näin vältät aamun ja alkuillan sähköruuhkan. Fingrid-lehti-verkkojulkaisu. 5.9.2022. Saatavissa: https://www.fingridlehti.fi/nain-valtat-aamun-ja-alkuillan-sahkoruuhkan/. [viitattu 4.12.2022]

[67] Fingrid Oyj. Sähkönsiirto ja kantaverkon käyttö - Kulutuksen ja tuotannon tasapainon ylläpito. Verkkosivut. Saatavissa: https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/kulutuksen-ja-tuotannon-tasapainon-yllapito/. [viitattu 5.12.2022]

[68] V. Tikka, J. Kalenius, O. Räisänen, J. Lassila. Loppuraportti: Sähköautojen latauksen muodostama kuormitus- ja mitoitusteho erilaisissa toimintaympäristöissä. LUT Scientific and Expertise Publications Tutkimusraportit – Research Reports, vol. 131. 2021. Saatavissa: https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-335-716-7.

[69] Helen Sähköverkko. Ohjeet: Sähköliittymä Liite 1 (2.01/2020) – Helen Sähköverkko Oy:n alueella käytettävät liittymisjohdot. Saatavissa: https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hsv/palvelut/ohjeet/hsv-liittyma-liittymisjohdot-su20120.pdf

[70] Fingrid Oyj. Sähkömarkkinat. Reservit ja säätösähkö – Reservituotteet ja reservien markkinapaikat. 3.3.2022. Saatavissa: https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/reservituotteet-ja-reservien-markkinapaikat.pdf.

[71] EU-SysFlex. “Finnish demonstrator – Market based integration of distributed resources in the transmission system operation. Deliverable D6.9” Oliver Ojala (Helen), Suvi Takala (Helen), Antti Hyttinen (Helen), Pirjo Heine (Helen Electricity Network Ltd.). 2021. Saatavissa: https://eu-sysflex.com/wp-content/uploads/2021/11/SysFlex-D6_9-08092021-final-1.pdf.

[72] Vanguard Consulting Oy ja Rejlers Finland Oy. Energiamurros – jakeluverkkoyhtiön tulevaisuuden rooli joustavassa järjestelmässä, yhteenveto raportti sähkötutkimuspoolille. 2021. Saatavissa: https://energia.fi/files/6117/Energiamurros-_jakeluverkkoyhtion_tulevaisuuden_rooli_joustavassa_jarjestelmassa_20210615.pdf

[73] Helen Sähköverkko. Keski- ja pienjänniteverkon suunnitteluohje, laaja. Sisäinen dokumentti. 31.5.2019.

[74] Lakervi, E. & Partanen, J. (2009) *Sähkönjakelutekniikka*. 2. uud. p. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press. ISBN: 978-951-672-359-7

[75] Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. Tietosuoja – Tietojenluovutus. Saatavissa: https://www.traficom.fi/fi/traficom/tietosuoja-traficomissa/tietojenluovutus. [viitattu 8.12.2022]

[76] Tilastokeskus. Suomi lukuina. 2021. ISBN: 978-952-244-673-2.

[77] Asunto-osakeyhtiölaki. 22.12.2009/1599. Saatavissa: https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2009/20091599.

[78] Laturille.com. Verkkojulkaisu – Auton sisäinen AC-laturi ja lataustehot. 2.4.2020. Saatavissa: https://www.laturille.com/auton-sisainen-ac-laturi-ja-lataustehot/. [viitattu 17.12.2022]

[79] Autoalan Tiedotuskeskus. Ladattavien autojen käyttäjätutkimus – selvitys ladattavien hybridien ja täyssähköautojen käyttötavoista. 2020. Saatavissa: https://www.aut.fi/files/2116/Ladattavien_autojen_tutkimusraportti_liitteineen.pdf.

[80] Electric Power Research Institute – EPRI. *Electric Vehicle Driving, Charging, and Load Shape Analysis: A Deep Dive Into Where, When, and How Much Salt River Project (SRP) Electric Vehicle Customers Charge.* EPRI, Palo Alto, CA: 2018. 3002013754.

[81] J. Erkkilä. Ikäihmiset tietoteknisinä vasta-alkajina. Pro Gradu. Tampereen yliopisto. 2015. Saatavissa: https://urn.fi/URN:NBN:fi:uta-201511242443.

[82] I.M. Henriksen, W. Throndsen, M. Ryghaug, et al. Electric vehicle charging and end-user motivation for flexibility: a case study from Norway. Energ. Sustain. Soc. 11, 44 (2021). Saatavissa: https://doi.org/10.1186/s13705-021-00319-z.

[83] Helsingin kaupunki ja WSP Finland Oy. Kaupunkijulkaisu: HLT16 henkilöliikennetutkimus. 30.3.2020. Saatavissa: https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiympäristo/liikenne-ja-kartat/kadut/liikennetilastot/julkaisut/20200330_Helsingin_kaupunki.pdf. [viitattu 20.12.2022]

[84] Kesko. Verkkosivu: K-lataus – Koko maan kattava sähköautojen latausverkosto. Saatavissa: https://k-lataus.fi [viitattu 20.12.2012]

[85] S-ryhmä. Verkkojulkaisu: S-ryhmän valtakunnallinen ABC-latausverkosto laajenee vauhdilla. 13.4.2022. Saatavissa: https://s-ryhma.fi/uutinen/s-ryhman-valtakunnallinen-abc-latausverkosto-laaje/z2Mf945S7f0WyqREDNAEV [viitattu 20.12.2022]

[86] Lidl. Verkkosivu: Sähköauton lataus. 2022. Saatavissa: https://www.lidl.fi/saehkoeauto [viitattu 20.12.2022]

[87] J. Pantti. Sähkön siirtotuotteiden hinnoittelusovelluksen kehittäminen. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto. 2010.

[88] K. Lummi. Sähkön siirtohinnoittelu ja kuormitusmallien käyttö tariffisuunnittelussa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. 2013. Saatavissa: https://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201311211466.

[89] Sähkömarkkinalaki 9.8.2013/588. Saatavissa: https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588#O2L4P24.

[90] R. Apponen. Pienasiakkaan tehotariffin kehitys ja käyttöönotto. Diplomityö. 2016. Aalto-yliopisto. Saatavissa: https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/23247.

[91] S. Honkapuro, J. Haapaniemi, J. Haakana, J. Lassila, J. Partanen, K. Lummi, A. Rautiainen, A. Supponen, J. Koskela, P. Järventausta. Tariffirakennetutkimus. Jakeluverkon tariffirakenteen kehitysmahdollisuudet ja vaikutukset. 2017. LUT-yliopisto, Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa: https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-335-105-9.

[92] Helen Sähköverkko. Sähkön siirtohinnastot 2009–2022. Sisäinen dokumenttiarkisto.

[93] Helen Sähköverkko. Asiakastietojärjestelmä: asiakas- ja sopimustiedot.

[94] D. Yeboah. The impact of distribution tariffs on flexible electric vehicle charging. Master's thesis. 2022. Aalto university.

[95] Energiavirasto. T. Karppinen ja S. Nurmi. Energiaviraston suosituksia verkkopalvelumaksujen harmonisoiduksi rakenteeksi. Dnro 2114/400/2021. 29.9.2021. Saatavissa: https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12862527/Energiaviraston+suositukset+s%C3%A4hk%C3%B6n+verkkopalvelujen+hinnoittelun+harmonisointi.pdf.

[96] Fingrid Oyj. Kantaverkko. Sähkösiirto. Kantaverkkopalvelumaksut. Kantaverkkopalvelun hinnoittelurakenne. Saatavissa: https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/kantaverkkopalvelumaksut/.

[97] Hallituksen esitys HE 318/2022 vp sähkömarkkinalain muuttamisesta ja siihen liittyviksi laeiksi. Saatavissa: https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/HallituksenEsitys/Documents/HE_318+2022.pdf.

[98] S. Lehtonen. Sahko.tk-webpalvelu: Pörssisähkön spot-hinta Suomessa. Saatavissa: https://sahko.tk/.

[99] G.A. Kennedy. *A New History of Classical Rhetoric.* Princeton University Press. Nov 6, 1994. ISBN:9780691000596.

[100] M. Paso. *Rhetoric meets rational argumentation theory*. Ratio Juris. 2014; 27(2): 236-251. doi:10.1111/raju.12043

[101] L. Pylväs. Asiantuntijoiden retoriset keinot keskustelussa sote- ja maakuntauudistuksesta: Argumentaatioanalyysi Aamulehden uutisista 2015–2019. Pro Gradu. Tampereen yliopisto. 2020. Saatavissa: https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202010127315.

[102] T. Karppinen. Johtava asiantuntija, Energiavirasto. *Verkkopalveluiden harmonisoidut rakenteet*, yksityinen sähköposti. 4.1.2023.

Liite 1. Asiakaskysely

Asiakaskysely sähköautoilusta (Helen Sähköverkon verkkosivuilla)

Sähköjärjestelmän hallinnassa tarvitaan entistä enemmän joustavuutta sääriippuvan tuotannon lisääntyessä. Tutkimme sähköautoilun vaikutuksia ja hyödyntämismahdollisuuksia jakeluverkon hallinnassa sekä asiakkaiden palveluiden suunnittelussa.

Osallistu kyselyyn (linkki)

Asiakaskysely on osa diplomi-insinöörin tutkintoon sisältyvää opinnäytetyötä, jossa selvitämme mahdollisuuksia sähköautojen älykkään latauksen edistämiseksi Helen Sähköverkon verkkoalueella. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT osallistuu tutkimustyöhön opinnäytetyön ohjauksen ja tarkastamisen osalta.

Opinnäytetyö on suunniteltu valmistuvaksi vuoden 2022 aikana.

Kysely toteutetaan sähköisenä kyselynä ja se sisältää reilut 30 kohtaa, joiden vastaaminen kestää arvioilta 20–40 minuuttia. Kyselyn alussa kysytään vastaajan taustatiedot, joita hyödynnetään erilaisten vastaajaryhmien muodostamiseen. Vastaajaryhmiä koskevissa tuloksissa on aina vähintään viisi (5) vastaaja, jolloin yksittäisen vastaajan vastauksia ei voi tunnistaa. Kysymykset ovat pääasiassa monivalintakysymyksiä. Kysely on osa opinnäytetyötä, joka julkaistaan internetissä julkisena opinnäytetyönä. Opinnäytetyössä kyselyn tulokset esiintyvät ainoastaan ryhmätasoisina vastauksina. Avoimia kommentteja ei julkaista tuloksissa ollenkaan.

Helen Sähköverkko kuuluu Helsingin kaupungin omistamaan Helen-konserniin. Helen Sähköverkko vastaa sähkönjakelusta Helsingin alueella noin 415 000 asiakkaalle. Asiakasmäärällä mitattuna Helen Sähköverkko on Suomen kolmanneksi suurin jakeluverkkoyhtiö. Sen toimintaa valvoo Energiavirasto. Jakeluverkkoyhtiön tehtävinä ovat alueensa sähköverkon operointi ja ylläpito, verkkopalvelun tuottaminen asiakkailleen sekä markkinapaikan tarjoaminen sähkömarkkinoille. Helen Sähköverkon toiminta keskittyy paikalliseen sähkönjakeluun.

Lisätietoja tutkimukseen liittyvien henkilötietojen käsittelystä voit lukea tutkimusrekisterin tietosuojaselosteesta.

Tutkimuksen yhteyshenkilö

Antti Raassina

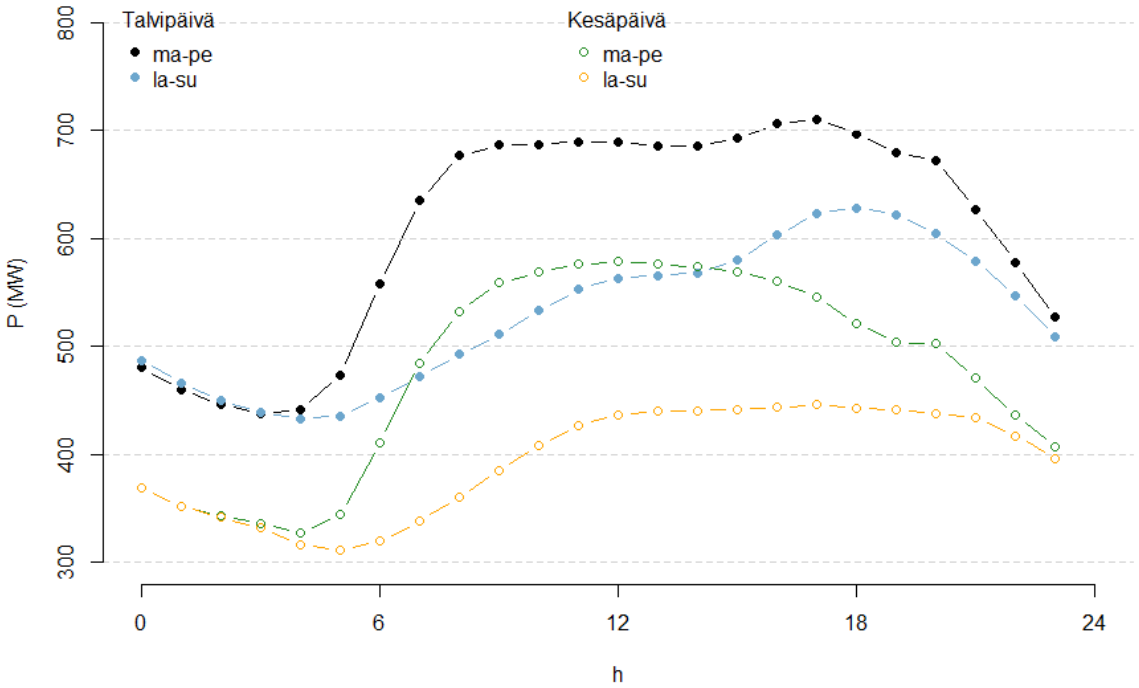
antti.raassina@helen.fi
Helen Sähköverkko Oy
00090 HELEN

Sähköinen kyselylomake

Yleistä älykkäästä sähköjärjestelmästä

Sähköjärjestelmän toimivuuden kannalta on ensiarvoisen tärkeä ylläpitää sähköntuotannon ja -kulutuksen tehotasapainoa. Koska sähköntuotannon arvaamaton vaihtelu on lisääntymässä ja yhteiskunta on monilta osin sähköistymässä, tarvitaan tulevaisuudessa entistä enemmän sähköjärjestelmän tilan mukaan joustavaa kulutusta. Kulutusjoustolla tarkoitetaan sähkön kulutuksen hetkellistä vähentämistä tai lisäämistä tehotasapainon, kulutuksen siirtämistä/ajoittamista matalan kuormituksen ajanhetken tai hintaohjauksen vuoksi. Helen Sähköverkon asiakkaiden sähköautojen latauskäyttäytymisessä on havaittu tapa, jossa auto ladataan tyypillisesti heti, kun se pysäköidään latauspisteelle eikä lataukseen kohdisteta joustoa edistäviä toimenpiteitä.

Sähkön kulutus on kaikkialla ajanhetkestä riippuvaista. Seuraavassa kuvassa on esitetty Helsingin talvipäivien (tammi-, helmi- ja joulukuun) ja kesäpäivien (kesä-, heinä- ja elokuun) tunnin keskimääräinen sähköteho vuorokauden sisällä. Kuvasta nähdään, että sähköteho on vuoden- ja vuorokaudenajasta sekä päivätyypistä (arkipäivä, aatto, pyhä) riippuvaa. Älykäs sähköautojen lataus olisi järkevää kohdentaa alhaisen kulutuksen aikaan sekä Helsingin tasolla että liittymätasolla. Kuvaajan vaakasuuntaisella akselilla on päivän tunnit ja pystyakselilla tunnin sähköteho. Mitä korkeammalla kuvaajan käyrä on, sitä suurempi on sen tunnin sähkön kulutus.



Kuva: Helsingin talvi- ja kesäpäivien keskimääräinen sähkönkulutus kymmeneltä vuodelta.

Sähkön kulutus on arkipäivisin (ma-pe) alhaista erityisesti vuorokauden ensimmäisen kuuden tunnin aikana ja viikonloppuisin jopa yhdeksän ensimmäisen tunnin aikana. Suurinta kulutus on arkipäivinä kello 10 ja 19 välillä, jonka jälkeen kulutus lähtee laskemaan. Viikonloppuina suurin kulutus on kello 12 ja 22 välillä, jonka jälkeen kulutus lähtee laskemaan. Kesällä illan kulutus kääntyy aikaisemmin laskuun verrattuna talviaikaan niin arki- kuin viikonlopunpäivinä.

Vastaajan taustatiedot

1. Ikäryhmä (1 = Enintään 30 vuotta, 2 = 31-40 vuotta, 3 = 41-50 vuotta, 4 = 51-60 vuotta, 5 = Yli 60 vuotta)
2. Sukupuoli (1 = Nainen, 2 = Mies, 3 = Joku muu, 4 = En halua kertoa)
3. Talouden tulotaso, brutto €/v? (1 = Alle 9 999, 2 = 10 000 – 19 999, 3 = 20 000 – 29 999, …, 10 = 90 000 – 99 999, 11 = 100 000 – 149 900, 12 = yli 150 000, 13 = En halua kertoa)
4. Asuinpaikkasi postinumero (valintalistalla Helsingin postinumerot)
5. Onko sähköautosi tai ladattava hybridiautosi talouden ykkösauto eli auto, jolla ajetaan pääasiassa? (1 = Kyllä, 2 = Ei)
6. Onko autosi täyssähkö vai hybridi? (1= Täyssähköauto, 2 = Ladattava hybridi)
    a. Autosi merkki? (valintalista)
7. Kuinka kauan olet ajanut ladattavalla autolla? (1 = Alle 1 vuoden, 2 = Vähintään 1 vuoden – alle 3 vuotta, 3 = Vähintään 3 vuotta – alle 5 vuotta, 4 = Yli 5 vuotta)
    a. Aiotko hankkia uuden ladattavan auton seuraavan 3 vuoden sisällä? (1 = Kyllä, 2 = Todennäköisesti kyllä, 3 = Todennäköisesti en, 4 = En)
8. Kuinka paljon ajat vuodessa ladattavalla autollasi? (1 = Alle 10 000 km, 2 = 10 001 – 20 000 km, 3 = 20 001 – 30 000 km, 4 = 30 001 – 40 000 km, 5 = 40 001 – 50 000 km, 6 = Yli 50 000 km)
9. Onko taloudessasi enemmän kuin yksi (1) ladattava sähköauto? (1 = Kyllä, 2 = Ei)

Kysymykset kotilataamisesta [Kysymykset 12–16 ohitetaan, jos ei ole kotilatauspistettä]

10. Onko sinulla mahdollisuus ladata omalla latauspisteellä (asuinpaikkasi välittömässä läheisyydessä oleva latauspiste)? (1 = Kyllä, 2 = Ei)
    a. Jos ei, missä lataat autoasi pääasiassa? (1 = Työpaikalla, 2 = Kadunvarsi-latauspisteellä tai julkisella liityntäpysäköintialueella, 3 = Kauppojen tai

vastaavien palveluiden käytön yhteydessä, 4 = Huoltoasemilla, 5 = Jossain muualla, missä ”avoin”)

11. Mikä on asuinmuotosi? (1 = Omakotitalo tai paritalo (pientalot), 2 = Rivitalo, 3 = Kerrostalo, 4 = Joku muu asuinpaikka)

    a. Mikä on asuinpaikkasi pääasiallinen lämmitysmuoto? (1 = Suora sähkö, 2 = Varaava yösähkö, 3 = Kaukolämpö, 4 = Lämpöpumppu, vesikiertoinen, 5 = Puu, 6 = Joku muu)

    b. Onko asuinpaikassasi sähkökäyttöinen kiuas? (1 = Kyllä, 2 = Ei)

12. Millainen on autosi latauslaite? (1 = 1-vaiheinen tavallinen pistorasia, 2 = 3-vaiheinen voimapistorasia, 3 = Kiinteä latauslaite)

13. Mikä on latauslaitteesi suurin mahdollinen latausteho nykyisessä asennuksessa? (1 = Alle 2 kW / 1x8 A, 2 = 2 - 4 kW / 1x16 A, 3 = 4 – 11 kW / 3x16 A, 1x32 A, 4 = Yli 11 kW / 3x16 A) ja (avoin vastaus)

14. Onko tämän lataustehon mahdollistaminen vaatinut jotain seuraavista muutoksista kiinteistön sähköjärjestelmään? (1 = Vuorottelukytkentä esimerkiksi kiukaan kanssa, 2 = Liittymisoikeuden tai pääsulakekoon suurentaminen, 3 = Muita sähkökeskuksen muutoksia, 4 = Ei ole vaatinut muutoksia 5 = En tiedä)

15. Kuinka monta kertaa viikossa lataat kotona? (1 = 1-2 kertaa, 2 = 3-4 kertaa, 3 = 5-6 kertaa, 4 = 7 tai enemmän)

16. Onko kiinteistössäsi käytössä sähkönkäytön vuorottelua tai älykästä sähkökuorman hallintaa, esimerkkinä sähkökiukaan ja sähkölämmityksen vuorottelu? (1 = Kyllä, 2 = Ei, 3 = En tiedä)

17. Onko termi ”kysyntäjousto” sinulle aiemmin tuttu? (1 = Termi on tuttu ja olen perehtynyt asiaan laajalti. 2 = Termi on tuttu ja tiedän, mitä se tarkoittaa. 3 = Olen kuullut termin, mutta en ole perehtynyt. 4 = Termi ei ole tuttu)

18. Millä tavalla lataat autosi? (1 = Heti, kun auto kytketään lataukseen. 2 = Auton latausta ohjataan siten, että kiinteistön tehohuippu pyritään pitämään mahdollisimman pienenä eli lataus huomioi kiinteistön muun sähkönkulutuksen. 3 = Latauslaite ohjataan lataamaan silloin, kun sähkön tuntihinta (spot-sähkö) on edullisimmillaan. 4 =

Lataus optimoidaan huomioimaan sekä spot-markkinan hintaetu että kiinteistön sähkökuorma. 5 = Lataus ohjataan yöajalle. 6 = muulla tavoin, miten ”avoin”.)

a. Millä ratkaisulla älykäs lataus on toteutettu? (1 = Auton oman älyn avulla, 2 = Muun järjestelmän avulla, 3 = En tiedä)

b. Jos et ohjaa latausta lainkaan, miksi et? (1 = Hyöty on liian pieni, 2 = Ei ole ohjausta mahdollistavaa latausjärjestelmää, 3 = Haluan, että akku on täynnä mahdollisimman nopeasti, 4 = Joku muu syy, avoin vastaus)

Kysymykset latauksen hintavaikutuksista.

Helen Sähköverkon sähkön verkkopalvelun hinnaston löydät kotisivuiltamme osoitteesta https://www.helensahkoverkko.fi/palvelut/hinnastot.

[Jos vastaaja asuu kerrostalossa, kysytään kysymys 22. Muiden asuinmuotojen vastaajilta kysytään siirtotuotteeseen perustuen hinnoittelukysymykset:

- yleissiirtovastaajilta kysymykset 20 ja 23
- aikasiirtovastaajilta kysymykset 21 ja 23
- muilta kysymys 23]

19. Mikä on siirtotuotteesi? (1 = Yleissiirto, 2 = Aikasiirto, 3 = Tehosiirto, 4 = En tiedä)

20. Yleissiirrolla hinta on vakio ympäri vuorokauden. Yleissiirtotuote on mahdollinen käyttöpaikoilla, joiden sulakekoko on enintään 3x63A. Perusmaksu ei riipu sulakekoosta. Ajoitatko lataustapahtumat pienemmän kuormituksen ajankohtaan, esimerkiksi yöaikaan? (1 = Kyllä, 2 = Ei)

    a. Jos yleissiirtotuotteeseen lisättäisiin tehomaksukomponentti, jonka maksu perustuu kuukauden suurimman mitatun tunnin kulutukseen, ajoittaisitko lataustapahtumat sellaiseen ajankohtaan, jolloin kulutuksesi olisi matalimmillaan tai pyrkisitkö rajoittamaan kiinteistösi tehohuipun mahdollisimman pieneksi? (1 = Kyllä, 2 = Ei)

    b. Jos edellä kuvatun tehomaksukomponentin laskutus perustuisi maanantaista perjantaihin välillä klo 7–21 mitattuihin tunnin keskitehoihin, jolloin

yöaikaan ja viikonloppuisin tehon suuruus ei vaikuta laskutukseen, ajoittaisitko lataustapahtumat yöajoille ja viikonlopuille? (1 = Kyllä, 2 = Ei)

c. Siirtotuotteeseesi lisätään tehoon perustuva maksu. Tehomaksun käyttöönoton jälkeen lataat autoasi samalla tavalla kuin ennen tehomaksua, jolloin siirtomaksusi nousee 20 %. Vaikuttaisiko hinnan nousu sähkönkulutuskäyttäytymiseesi, esimerkiksi ajoittaisitko latauksen tai muun sähkökulutuksen eri ajankohtaan? (1 = Kyllä, 2 = Todennäköisesti, 3 = Todennäköisesti en, 4 = En)

d. Jos sinulla olisi aurinkosähköjärjestelmä käytössä, lataisitko autoasi myös päivisin, jos pystyt tuottamaan itse tarvitseman tehon? (1 = Kyllä, 2 = Ei)

e. Jos sinulla on tarve ladata arkipäivisin autoa, rajoittaisitko muuta kuormaa a-kohdan kysymyksen tilanteessa? (1 = Kyllä, 2 = Ei)

21. Aikasiirrolla hinta on kalliimpi päiväaikaan (klo 7–22) ja halvempi yöaikaan (klo 22–7). Aikasiirto on mahdollinen käyttöpaikkoihin, joiden sulakekoko on enintään 3x80A. Tehomaksu määräytyy joka kuukauden kolmanneksi suurimman mitatut tunnin keskitehon mukaan. Ajoittaisitko lataustapahtumat halvemmille tunneille? (1 = Kyllä, 2 = En)

    a. Jos sinulla olisi aurinkosähköjärjestelmä käytössä aikasiirto-tuotteella, lataisitko autoasi myös päivisin, jos pystyt tuottamaan itse tarvitseman tehon? (1 = Kyllä, 2 = En)

22. Pienjännitetehosiirto on yleensä käytössä suurempien taloyhtiöiden kiinteistökäyttöpaikalla ja liikekiinteistöissä, joissa käyttöpaikan sulakekoko on yli 3x80A. Talvipäivän siirtomaksu on voimassa joulu–helmikuussa maanantaista perjantaihin klo 7–21. Muina aikoina on voimassa muun ajan siirtomaksu. Tehomaksu on voimassa vuoden kaikkina kuukausina. Laskutusteho on kuukauden suurin aikavälillä maanantaista perjantaihin klo 7–21 mitattu tunnin keskiteho. Vaikuttaako hinnoittelu lataustapahtuman toteuttamiseen (ajoittaminen, tehon rajoitus)? (1 = Kyllä, 2 = Ei, 3 = En tiedä)

    a. Yleensä taloyhtiön sähkösopimuksella veloitetaan lataamisessa kuluva sähkö, jolloin älykkään latauksen tuoma hintahyöty ohjautuu taloyhtiölle.

Vaikuttaako latauskäyttäytymiseesi hintahyödyn ohjautuminen taloyhtiölle? (1 = Kyllä, 2 = Ei)

23. Kuinka paljon rahallista säästöä kuukaudessa mielestäsi tarvitaan, jotta tekisit hinta-ohjaukseen perustuvan latausjärjestelyn? (1 = 1-5 €/kk, 2 = 5,01-10 €/kk, 3 = 10,01-20 €/kk, 4 = yli 20 €/kk)

Kysymykset työpaikka- ja julkisesta latauksesta

24. Onko sinulla mahdollista ladata autoasi työpaikalla? (1 = Kyllä, 2 = Ei)
    a. Jos kyllä, onko työpaikan latauspisteellä käytössä älykästä latausta esim. tehonrajoitus? (1 = Kyllä, 2 = Ei, 3 = En tiedä)
25. Kuinka pitkä on kotisi ja työpaikkasi välinen edestakainen matka? (1 = Alle 10 km, 2 = 10–20 km, 3 = 21–40 km, 4 = 41–60 km, 5 = 61–80 km, 6 = 81–100 km, 7 = Yli 100 km)
26. Missä työpaikkasi sijaitsee? (1 = Helsinki, 2 = Espoo, 3 = Vantaa, 4 = Muu Uusimaa, 5 = Uudenmaan ulkopuolella)
    a. Jos sijaitsee Helsingissä, millä postinumeroalueella? (valintalistalle Helsingin postinumerot)
27. Jos saisit ladata autoasi työpaikalla työpäivän ajan 8 tuntia ja tietäisit latauspisteellä olevan kysyntäjoustava latausjärjestelmä, kuinka monta prosenttiyksikköä akun varaustasosta olisit valmis antamaan kysynnänjoustoon? (1 = Lähtiessä akun varaustaso on enintään 80 %, 2 = Lähtiessä akun varaustaso on enintään 60 %, 3 = Lähtiessä akun varaustason on enintään 50 %, 4 = En halua joustaa)
28. Lataatko autoasi normaalisti muualla kuin kotona tai työpaikalla? (1 = Kyllä, 2 = En)
    a. Jos kyllä: missä muualla lataat autoasi (1 = Ruokakaupassa (tai vastaavassa) käynnin yhteydessä, 2 = Huoltoasemilla, 3 = Muussa julkisessa latauspisteessä)

29. Jos lataat enintään tunnin ajan maksullisessa työpaikan tai ruokakaupan latauspisteessä, jossa on kysyntäjoustava latausjärjestelmä (= tehoa rajoittava), onko sillä vaikutusta halukkuuteesi ladata auto tässä latauspaikassa? (1 = Kyllä, 2 = Ei)

    a. Jos akun varaustasosi on alle 30 % saapuessasi latauspisteelle, onko tällöin latausjärjestelmän joustolla vaikutusta halukkuuteesi ladata auto tässä latauspaikassa? (1 = Kyllä, 2 = Ei)

Kysymykset verkonhaltijan rooleista ja palveluista

30. Haluisitko, että verkkoyhtiö tarjoaisi tulevaisuudessa neuvontaa, tietopaketteja, esimerkkejä tai muuta apua esimerkiksi kysyntäjoustoon, liittymän mitoitukseen, huipputehon leikkaamiseen, sähkönkäyttöön tai siirtotuotteen valitsemiseen liittyen? (1 = En halua, 2 = Kyllä, millaista apua saisi olla: ”avoin”.)

31. Kenen pitäisi hoitaa kysyntäjoustoon liittyvät palvelut? (1 = Sähkönkäyttäjä itse autosta / auton sovelluksesta käsin, 2 = Joustopalvelun tuottaja, 3 = Latauspalvelun tuottaja, 4 = Sähkönmyyjä, 5 = Verkkoyhtiö, 6 = Joku muu)

32. Verkkoyhtiön hinnoittelu sopisi minulle, jos se …? (1 = Olisi aina vakiohintaista c/kWh vuorokauden ajasta riippumatta, 2 = Olisi vuorokauden ajasta riippuvainen esim. päivällä hinta x ja yöllä hinta y. 3 = Vaihtelee käytetyn tehon mukaan (sisältää tehomaksun), 4 = Olisi kiinteä kuukausimaksu, ei riipu sähkön kulutuksesta, 5 = Olisi nykyisen kaltainen)

33. Käytätkö Helen Sähköverkon online-palveluita omien mitattujen tunnin keskitehojen seuraamiseen? (1 = Kyllä, 2 = En)

34. Tiedätkö, mikä on sähkönkäyttöpaikkasi sulakekoko? (1 = Kyllä, 2 = En)

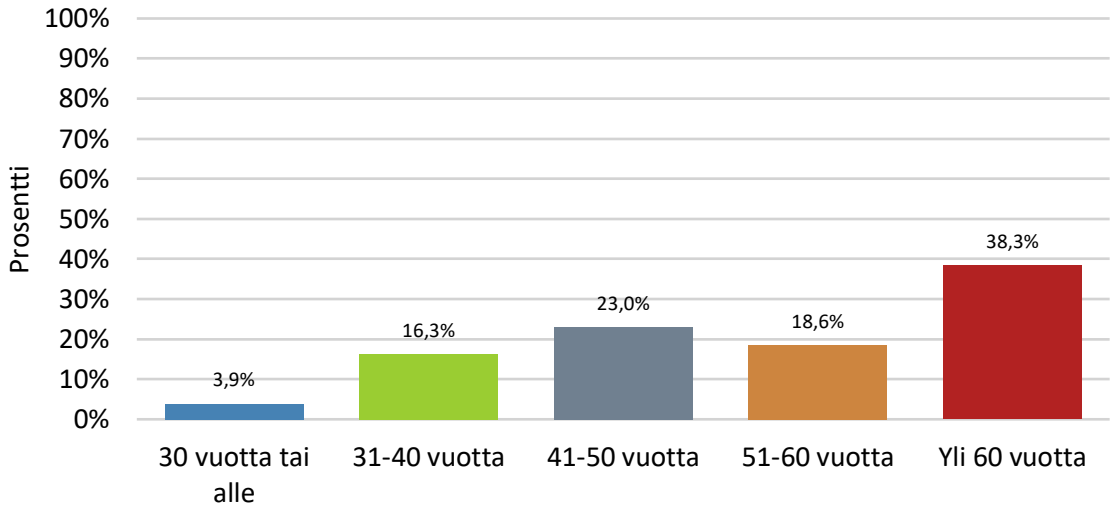
Avoimet kommentit sähköautojen älykkäästä lataamisesta

35. Voit jättää avoimia kommentteja älykkäästä lataamisesta tähän.

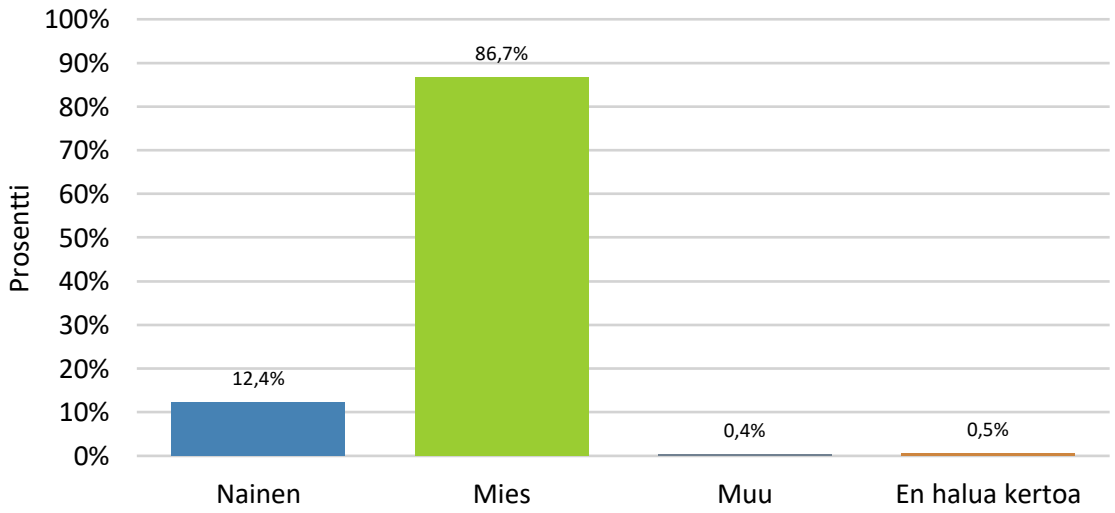
36. Voit jättää avoimia kommentteja tästä kyselystä tähän.

Liite 2. Tutkimuskyselyn tulokset

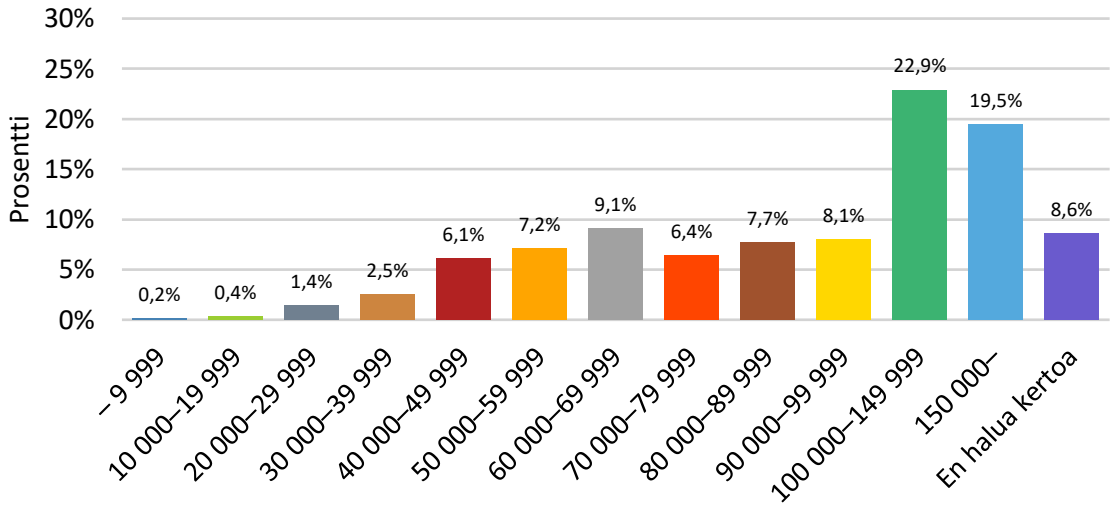
1. Ikäryhmä (n = 566)



2. Sukupuoli (n = 566)



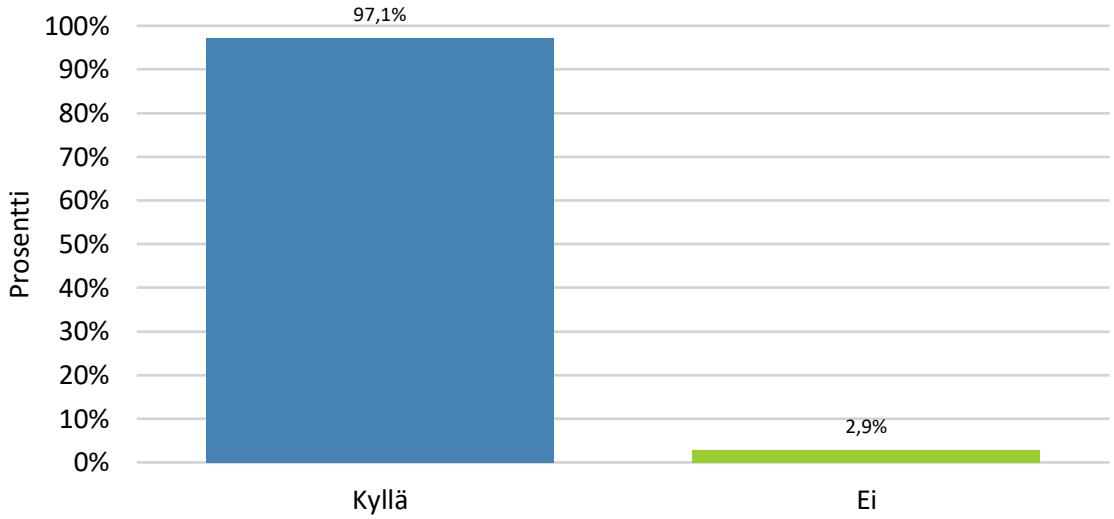
3. Talouden tulotaso, brutto €/v (n = 559)



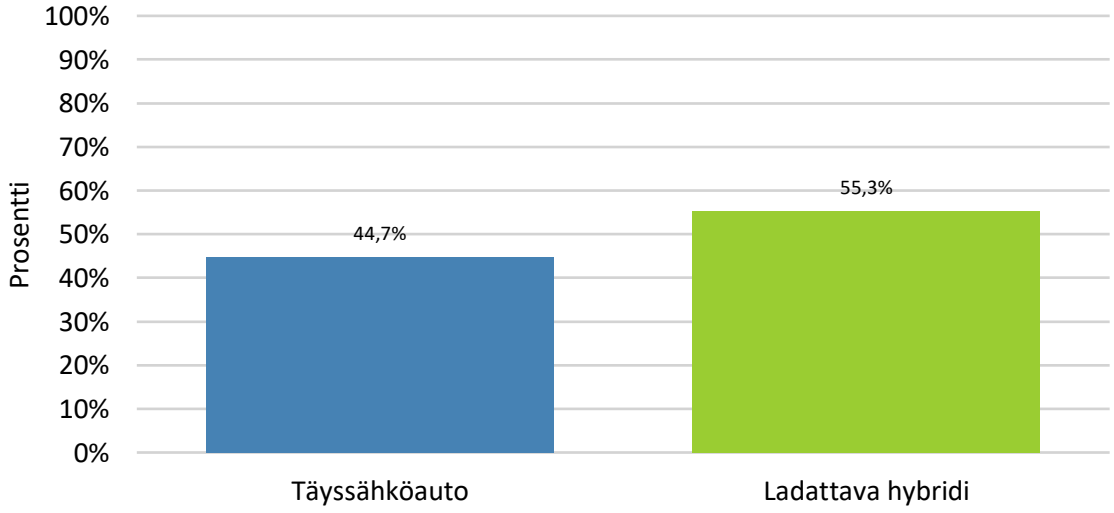
4. Asuinpaikkasi postinumero? (n = 559)

	%		%		%		%
00100	2,7 %	**00320**	1,1 %	**00580**	1,6 %	**00790**	0,4 %
00120	1,1 %	**00330**	1,8 %	**00590**	1,4 %	**00800**	1,8 %
00130	1,4 %	**00340**	1,6 %	**00600**	0,5 %	**00810**	0,9 %
00140	0,5 %	**00350**	1,1 %	**00610**	1,1 %	**00820**	0,5 %
00150	1,8 %	**00360**	0,4 %	**00620**	0,4 %	**00830**	0,4 %
00160	0,7 %	**00370**	1,8 %	**00630**	1,3 %	**00840**	1,4 %
00170	2,0 %	**00380**	0,9 %	**00640**	1,6 %	**00850**	0,5 %
00180	1,8 %	**00390**	0,4 %	**00650**	1,4 %	**00860**	0,0 %
00190	0,2 %	**00400**	1,8 %	**00660**	2,3 %	**00870**	1,4 %
00200	2,7 %	**00410**	1,8 %	**00670**	1,3 %	**00880**	0,0 %
00210	4,7 %	**00420**	1,6 %	**00680**	0,5 %	**00890**	0,0 %
00220	1,6 %	**00430**	3,0 %	**00690**	0,7 %	**00900**	0,0 %
00230	0,0 %	**00440**	0,5 %	**00700**	0,7 %	**00910**	0,4 %
00240	1,3 %	**00500**	1,1 %	**00710**	1,4 %	**00920**	0,9 %
00250	1,1 %	**00510**	0,5 %	**00720**	0,7 %	**00930**	1,3 %
00260	0,4 %	**00520**	2,5 %	**00730**	2,7 %	**00940**	2,5 %
00270	0,4 %	**00530**	1,3 %	**00740**	2,0 %	**00950**	1,3 %
00280	0,2 %	**00540**	2,0 %	**00750**	1,8 %	**00960**	0,5 %
00290	0,2 %	**00550**	0,2 %	**00760**	2,3 %	**00970**	0,7 %
00300	0,2 %	**00560**	2,9 %	**00770**	0,4 %	**00980**	2,1 %
00310	0,0 %	**00570**	0,4 %	**00780**	1,8 %	**00990**	2,0 %

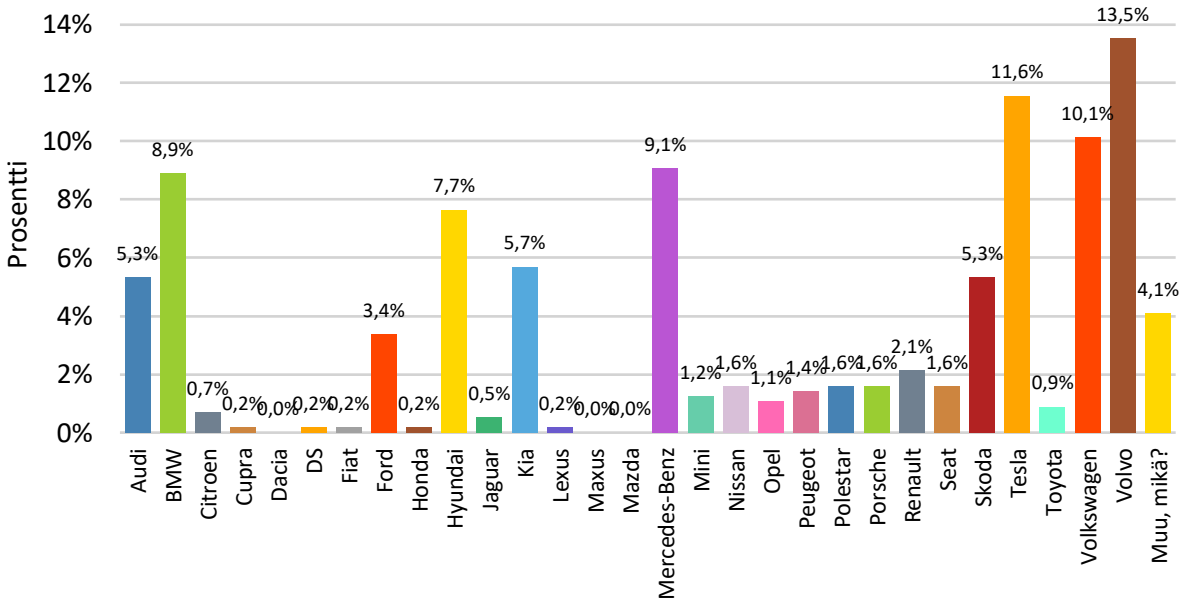
5. Onko sähköautosi tai ladattava hybridiautosi talouden ykkösauto eli auto, jolla ajetaan pääasiassa? (n = 560)



6 a. Onko autosi täyssähkö vai hybridi? (n = 564)

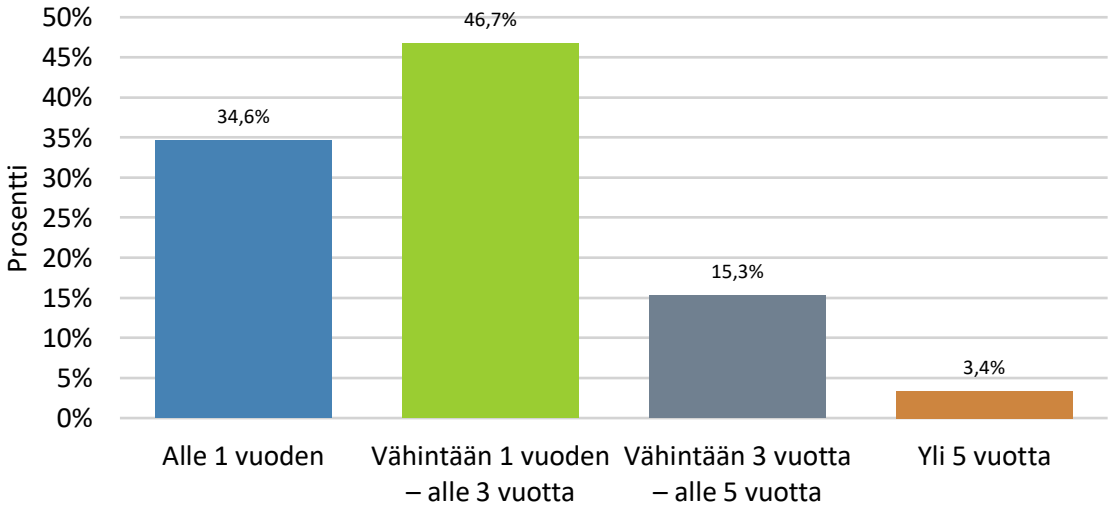


6 b. Autosi merkki? (n = 562)

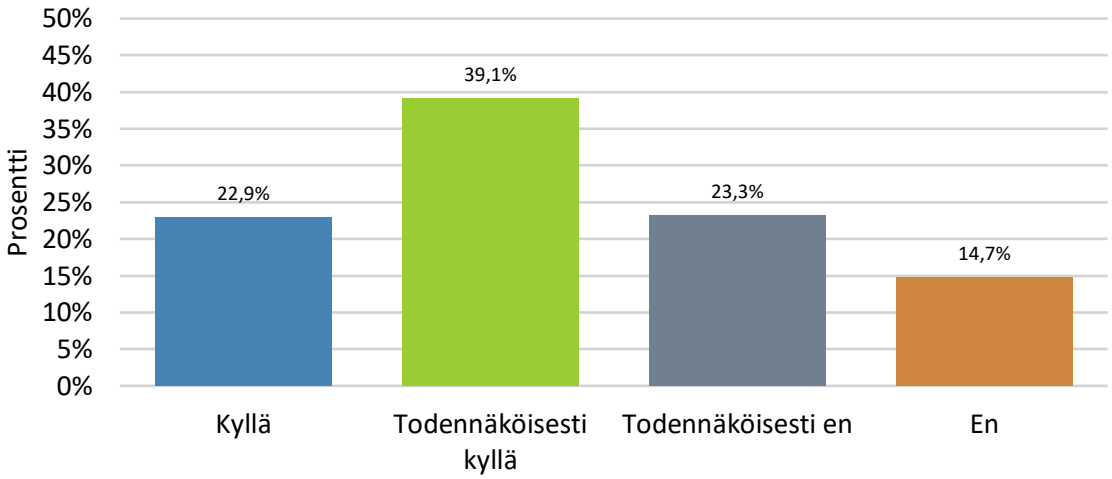


Muu, mikä? = Mitsubishi, Jeep, Range Rover

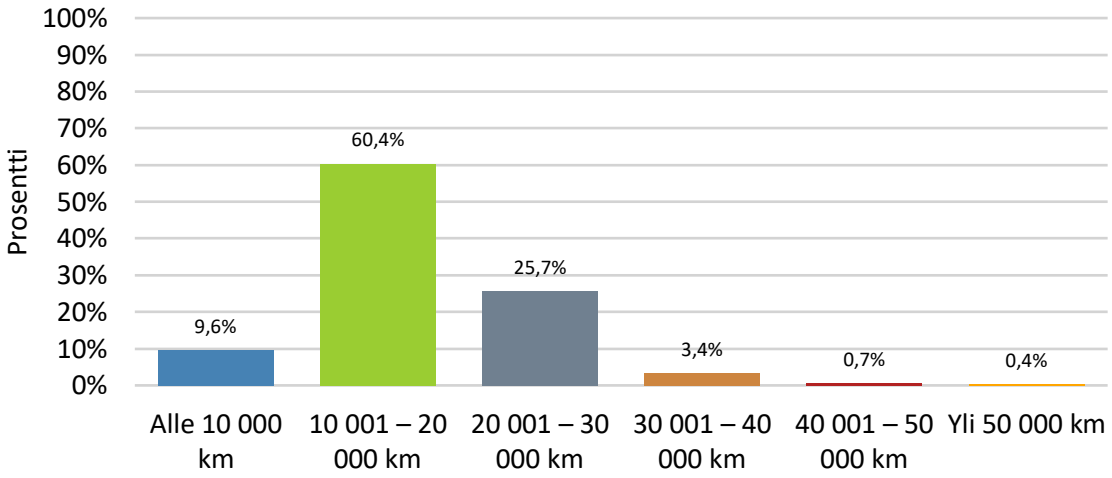
7. Kauanko olet ajanut ladattavalla autolla? (n = 563)



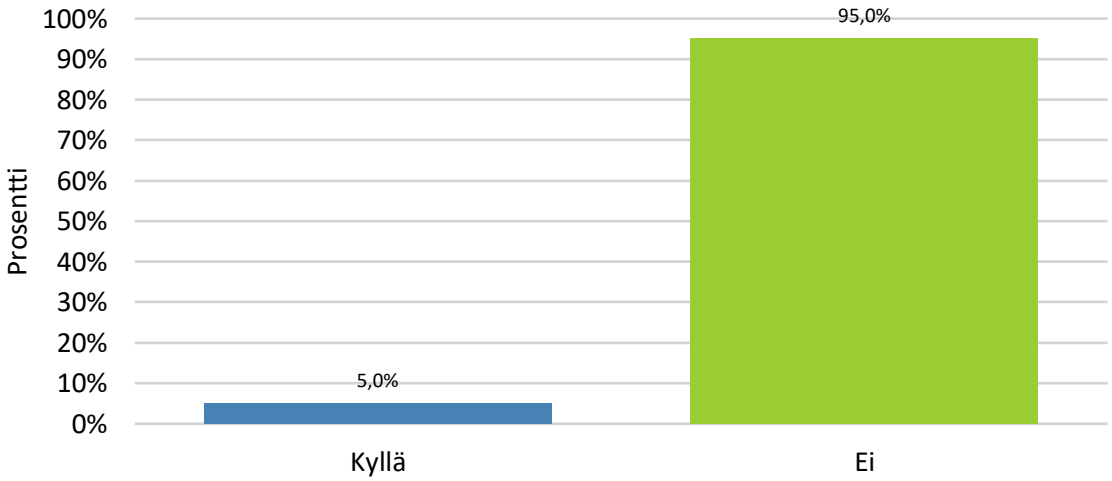
7 a. Aiotko hankkia uuden ladattavan auton seuraavan 3 vuoden sisällä? (n = 563)



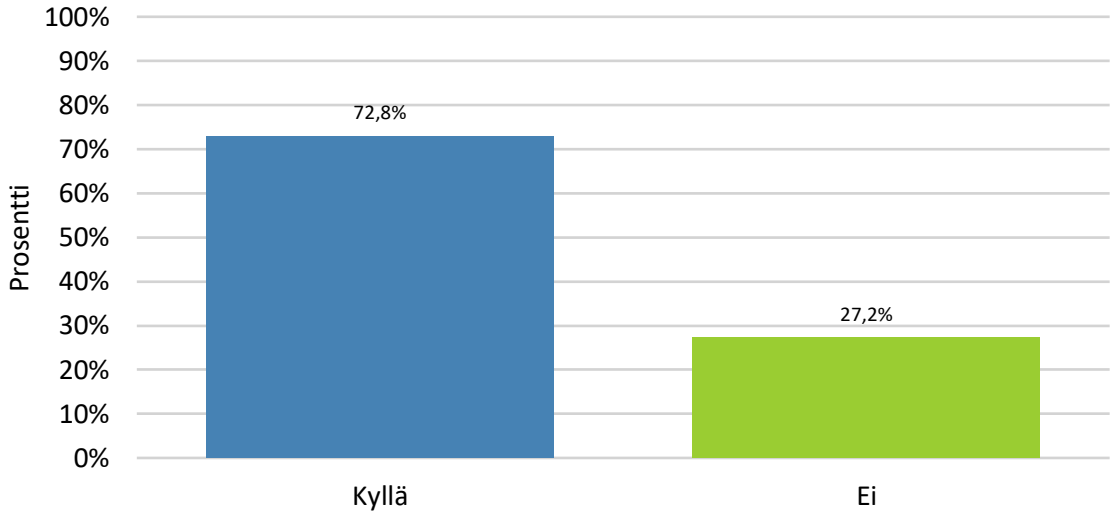
8. Kuinka paljon ajat vuodessa ladattavalla autollasi? (n = 565)



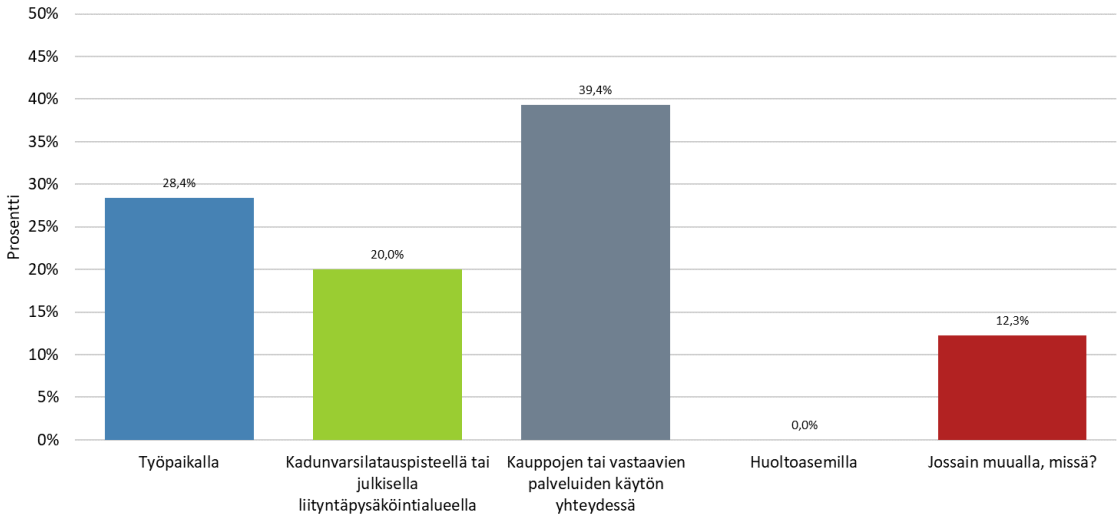
9. Onko taloudessasi enemmän kuin yksi ladattava sähköauto? (n = 564)



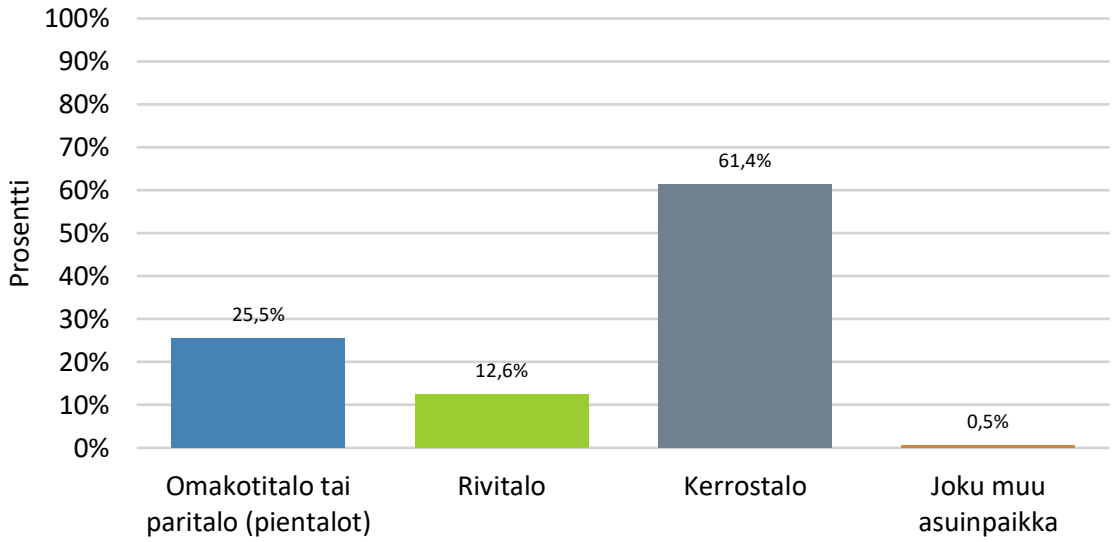
10. Onko sinulla mahdollisuus ladata omalla latauspisteellä (asuinpaikkasi välittömässä läheisyydessä oleva latauspiste)? (n = 566)



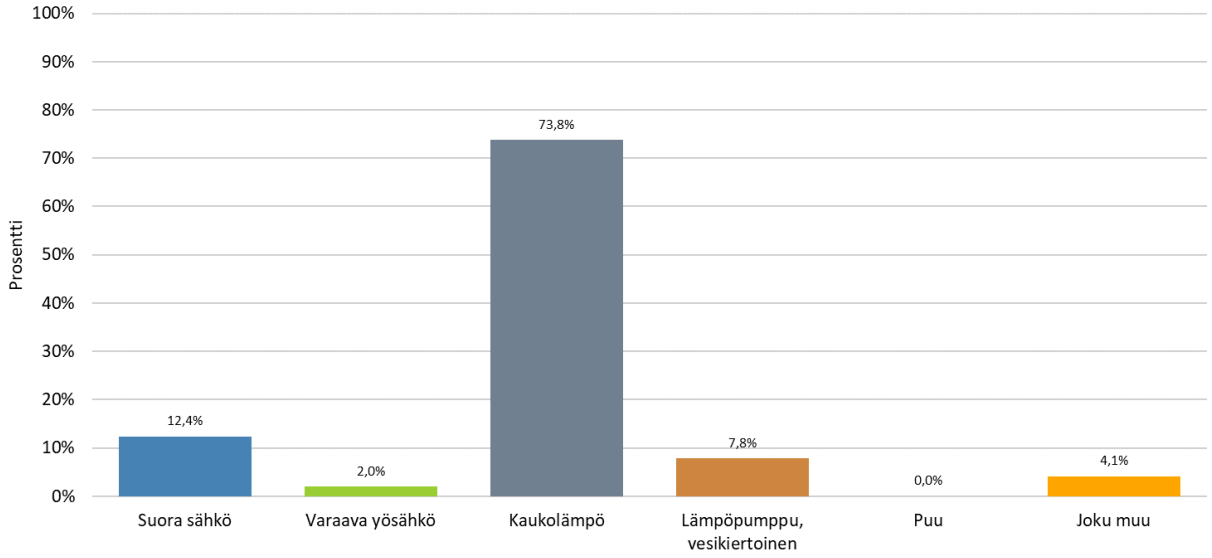
10 a. Jos ei, missä lataat autoasi pääasiassa? (n = 155)



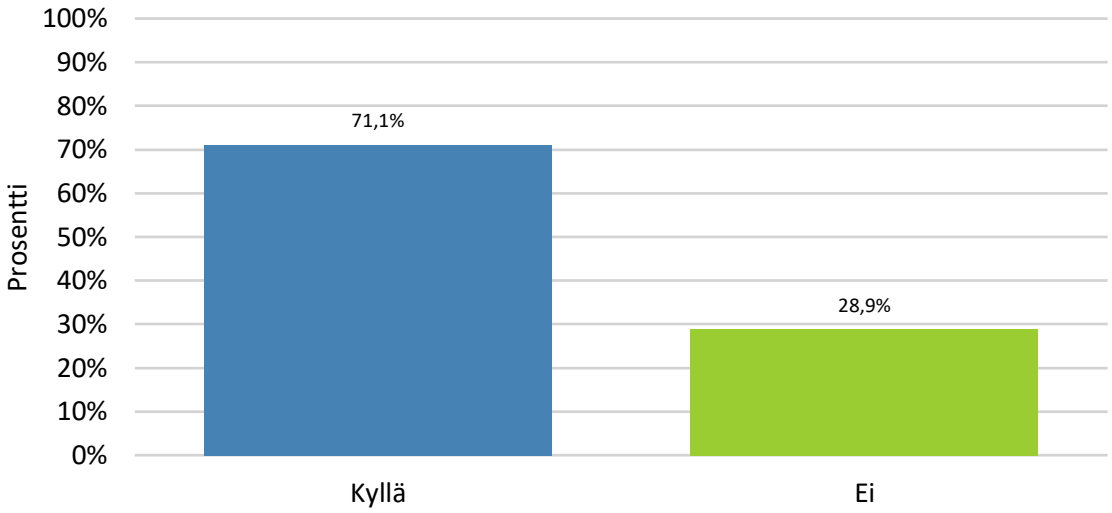
11. Mikä on asuinmuotosi? (n = 565)



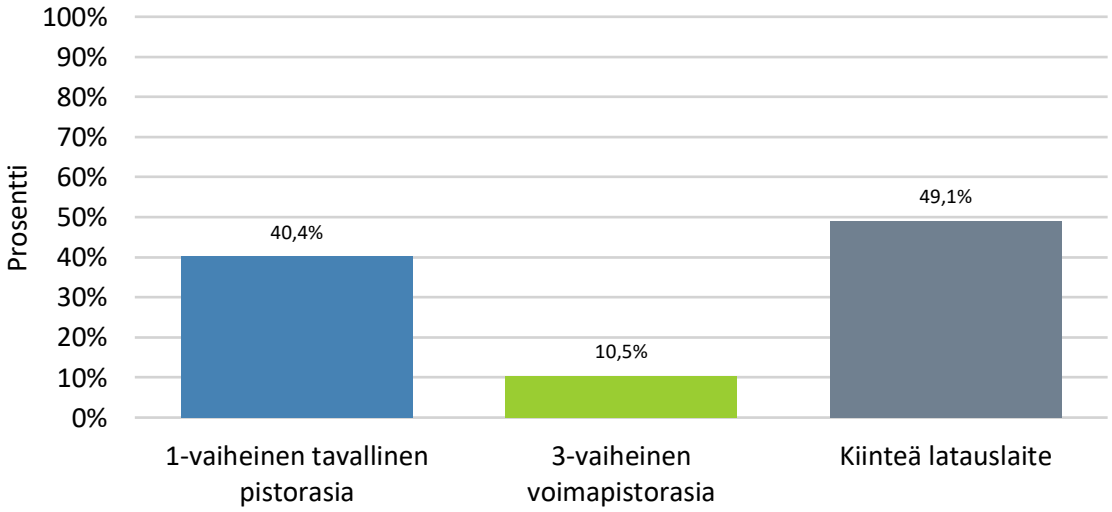
11 a. Mikä on asuinpaikkasi pääasiallinen lämmitysmuoto? (n = 564)



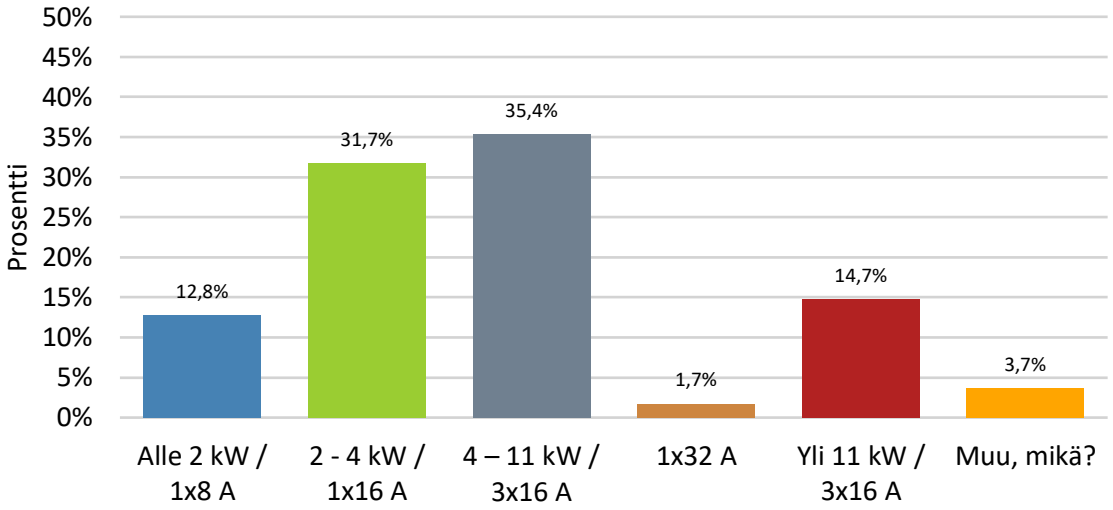
11 b. Onko asuinpaikassasi sähkökäyttöinen kiuas? (n = 560)



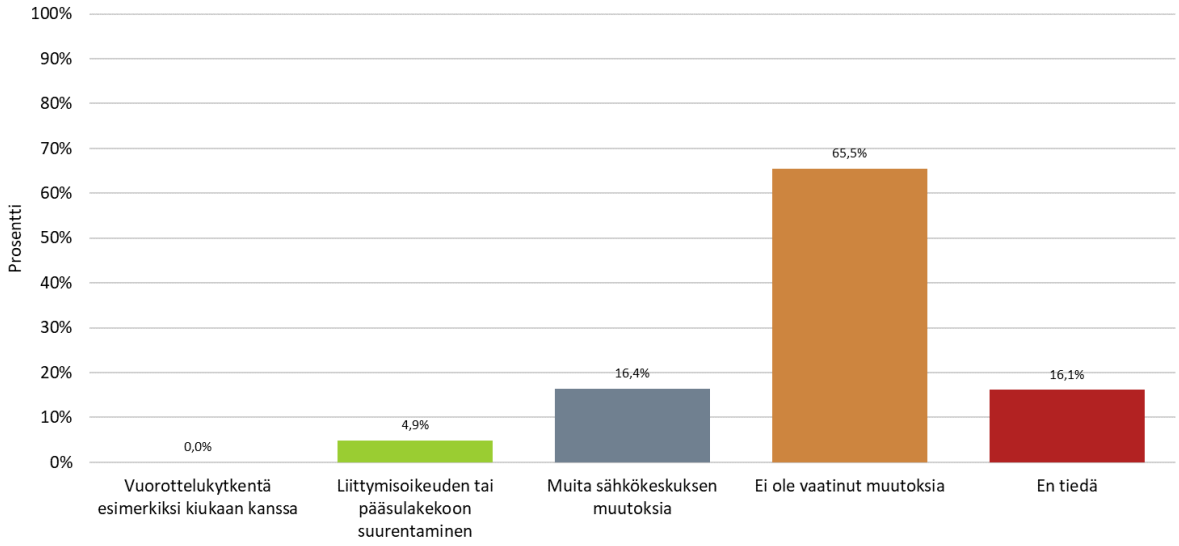
12. Millainen on autosi latauslaite? (n = 411)



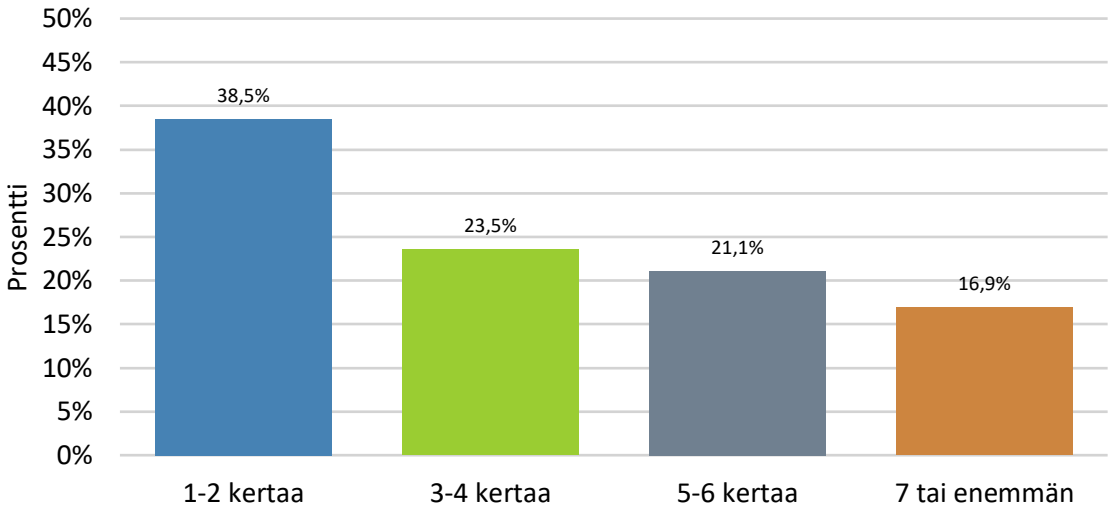
13. Mikä on latauslaitteesi suurin mahdollinen latausteho nykyisessä asennuksessa? (n = 407)



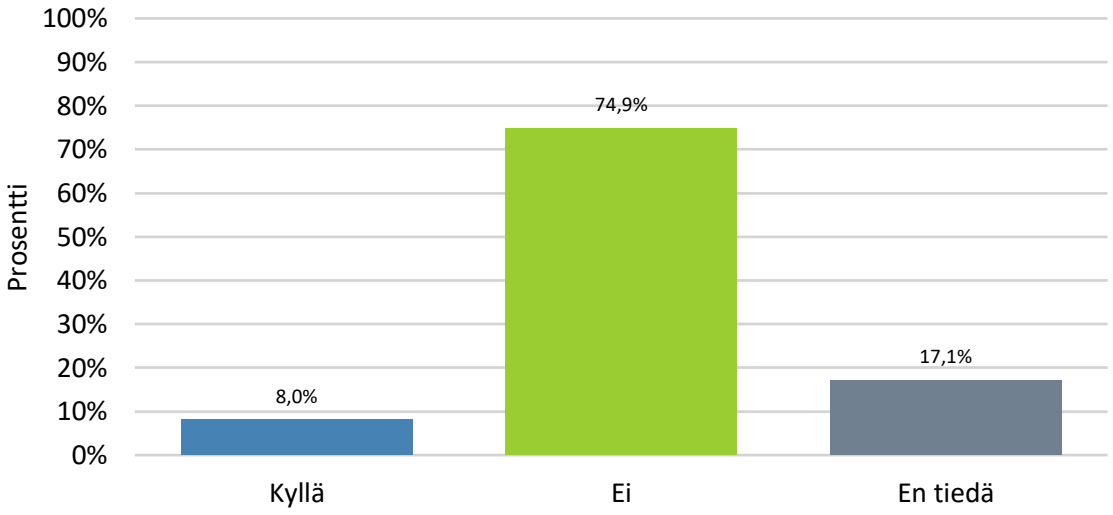
14. Onko tämän lataustehon mahdollistaminen vaatinut jotain seuraavista muutoksista kiinteistön sähköjärjestelmään? (n = 409)



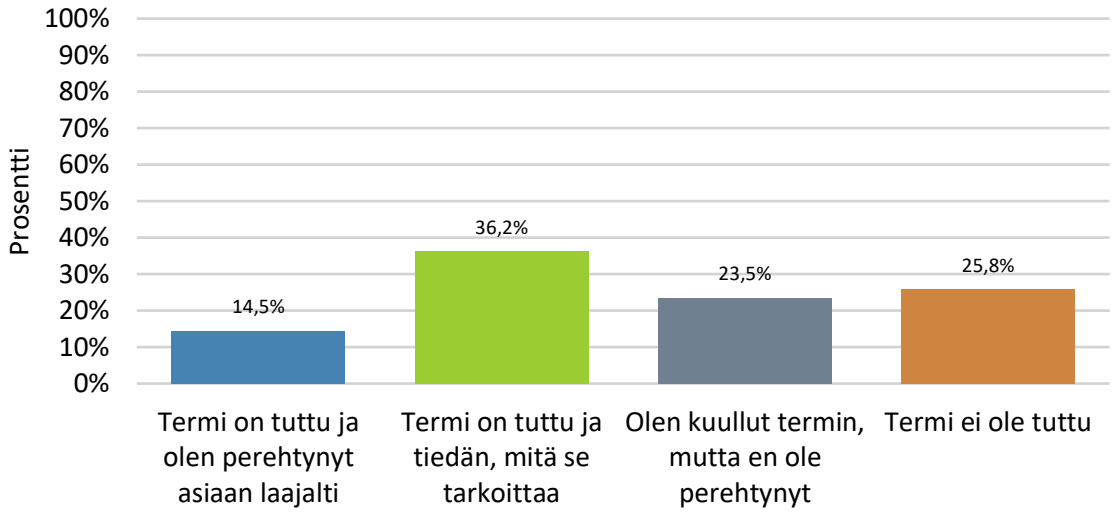
15. Kuinka monta kertaa viikossa lataat kotona? (n = 408)



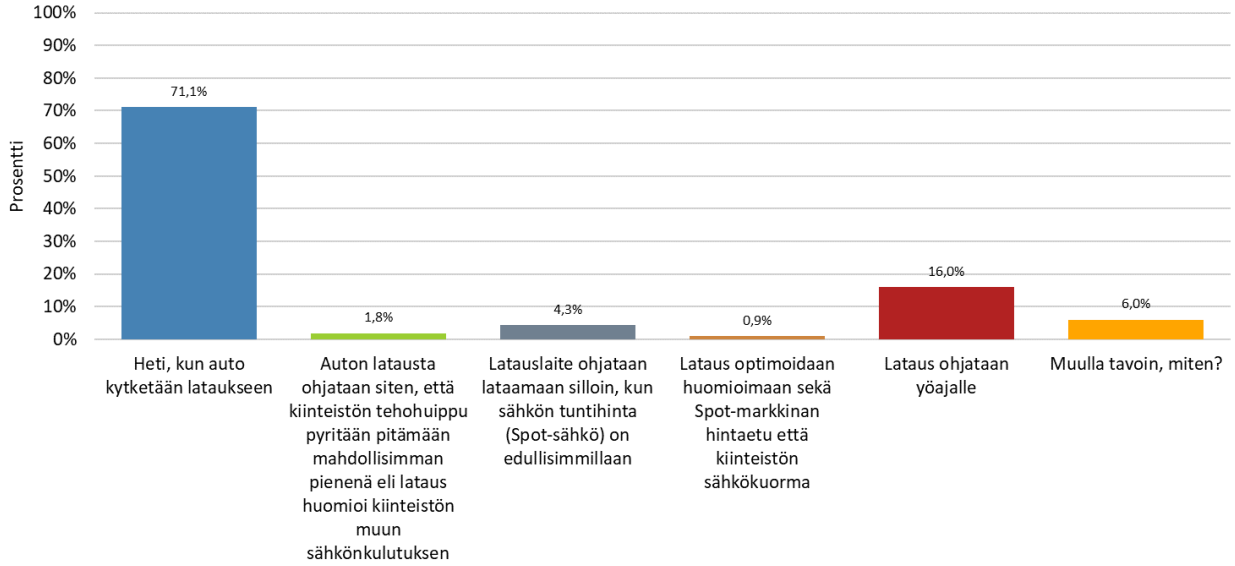
16. Onko kiinteistössäsi käytössä sähkönkäytön vuorottelua tai älykästä sähkökuorman hallintaa, esimerkkinä sähkökiukaan ja sähkölämmityksen vuorottelu? (n = 410)



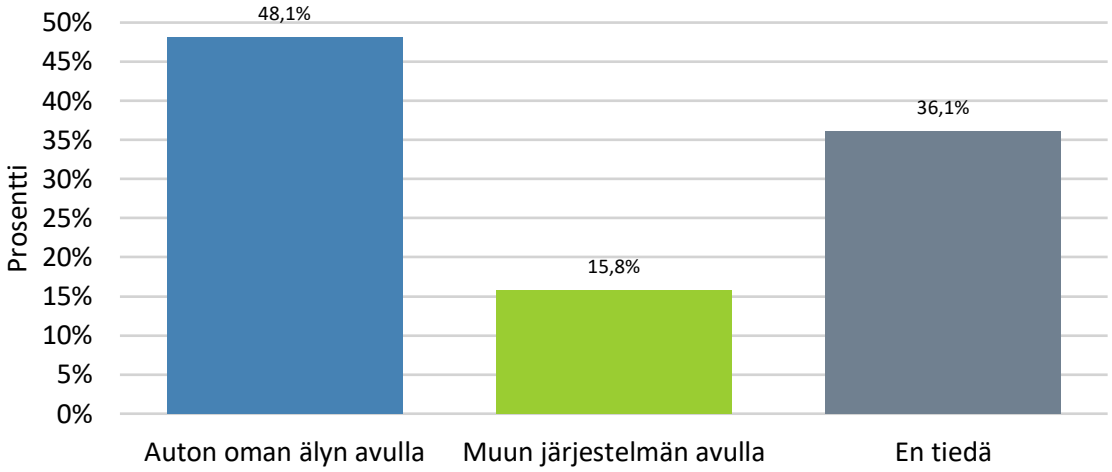
17. Onko termi ”kysyntäjousto” sinulle entuudestaan tuttu? (n = 566)



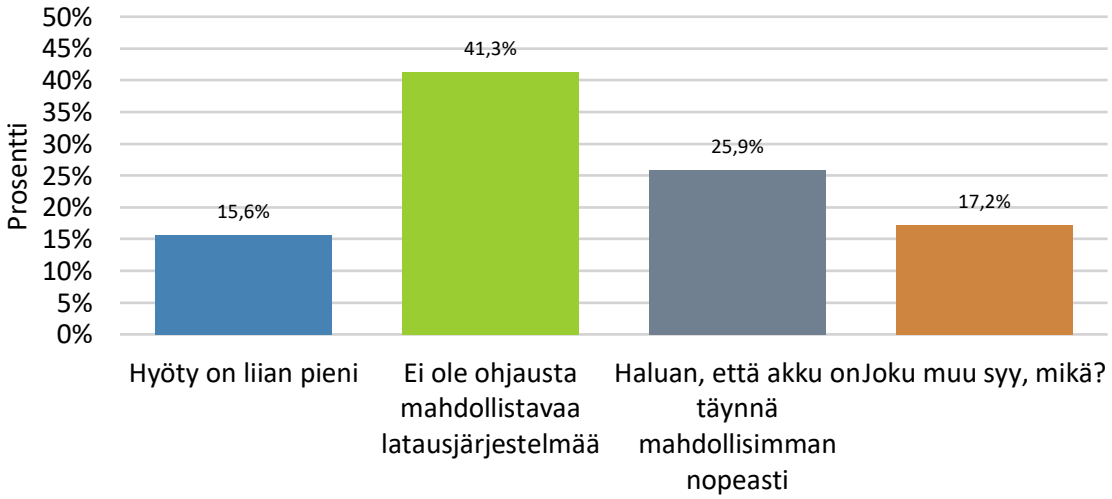
18. Millä tavoin lataat autosi? (n = 564)



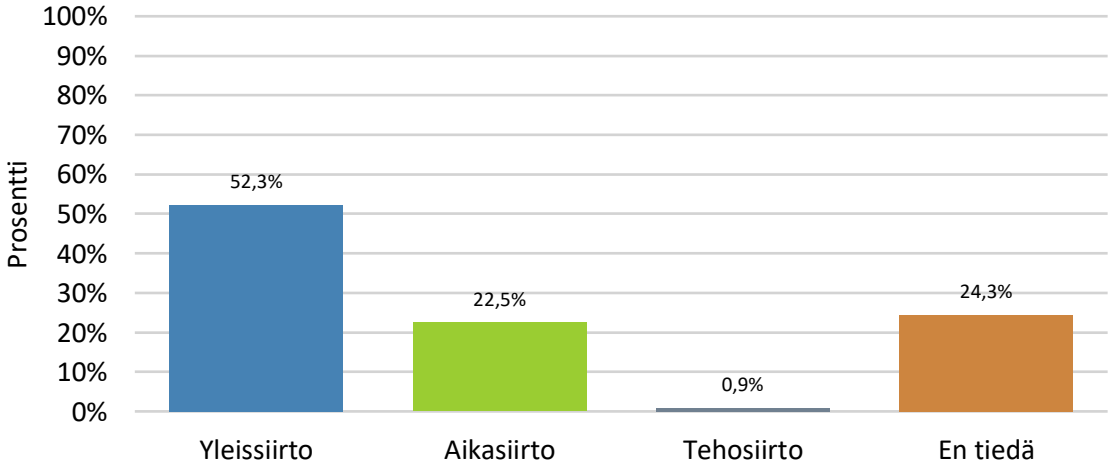
18 a. Millä ratkaisulla älykäs lataus on toteutettu? (n = 518)



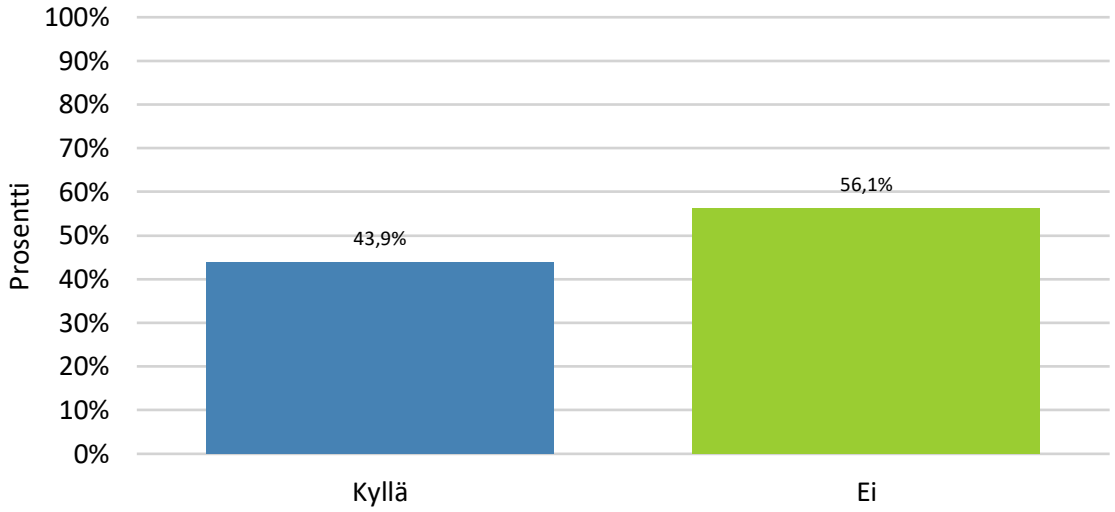
18 b. Jos et ohjaa latausta lainkaan, miksi et? (n = 441)



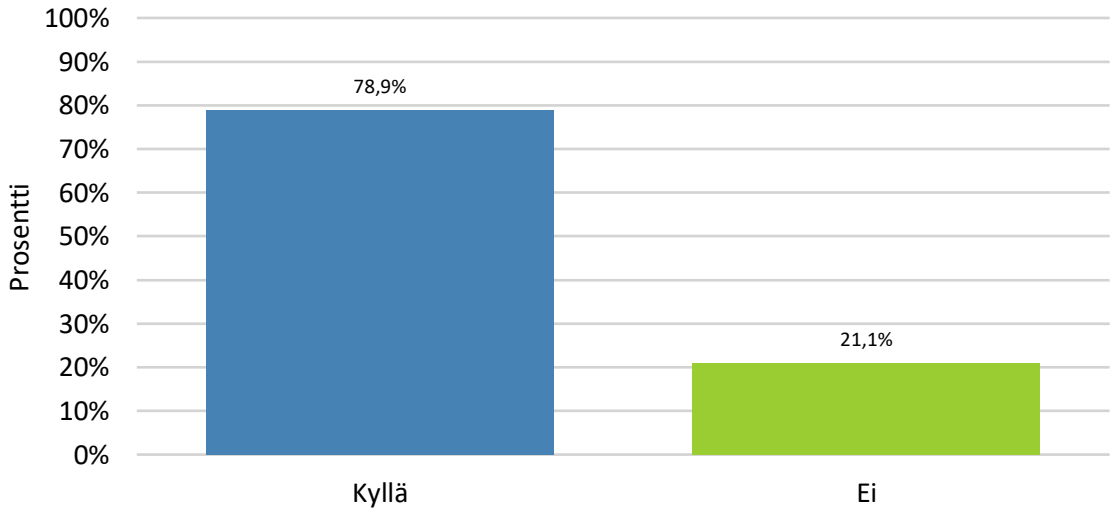
19. Mikä on siirtotuotteesi? (n = 218)



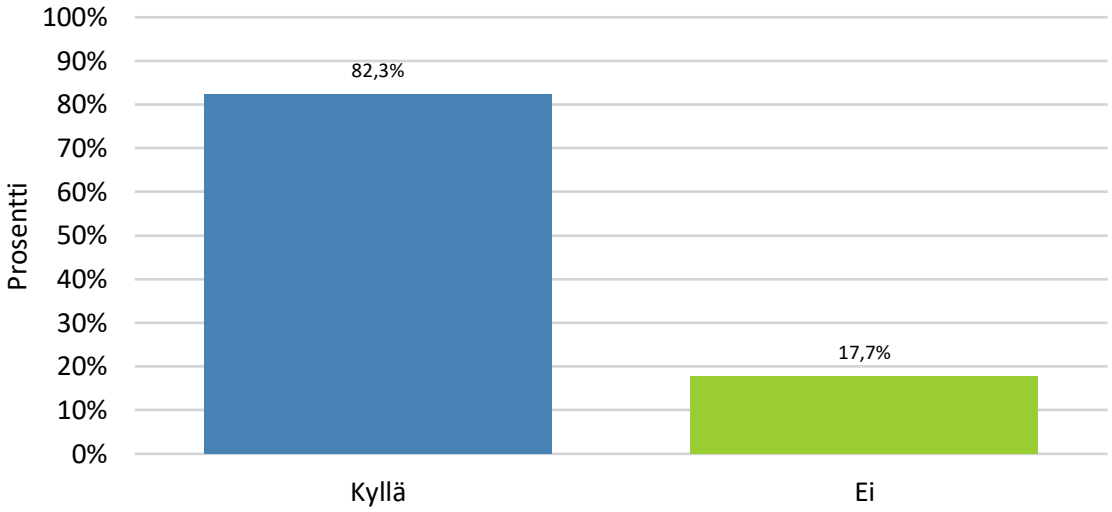
20. Yleissiirrolla hinta on vakio ympäri vuorokauden. Yleissiirtotuote on mahdollinen käyttöpaikoilla, joiden sulakekoko on enintään 3x63A. Perusmaksu ei riipu sulakekoosta. Ajoitatko lataustapahtumat pienemmän kuormituksen ajankohtaan, esimerkiksi yöaikaan? (n = 114)



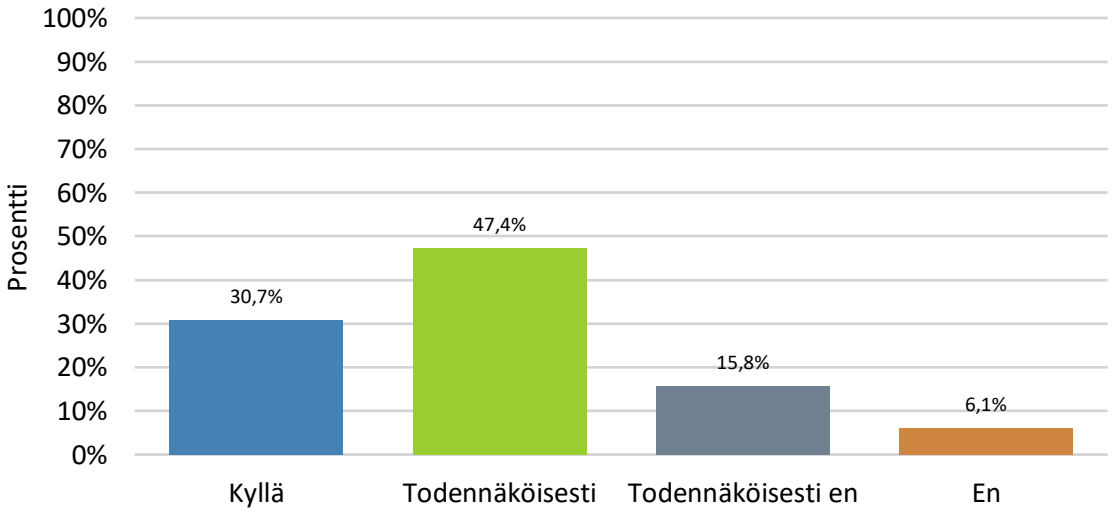
20 a. Jos yleissiirtotuotteeseen lisättäisiin tehomaksukomponentti, jonka maksu perustuu kuukauden suurimman mitatun tunnin kulutukseen, ajoittaisitko lataustapahtumat sellaiseen ajankohtaan, jolloin kulutuksesi olisi matalimmillaan tai pyrkisitkö rajoittamaan kiinteistösi tehohuipun mahdollisimman pieneksi? (n = 114)



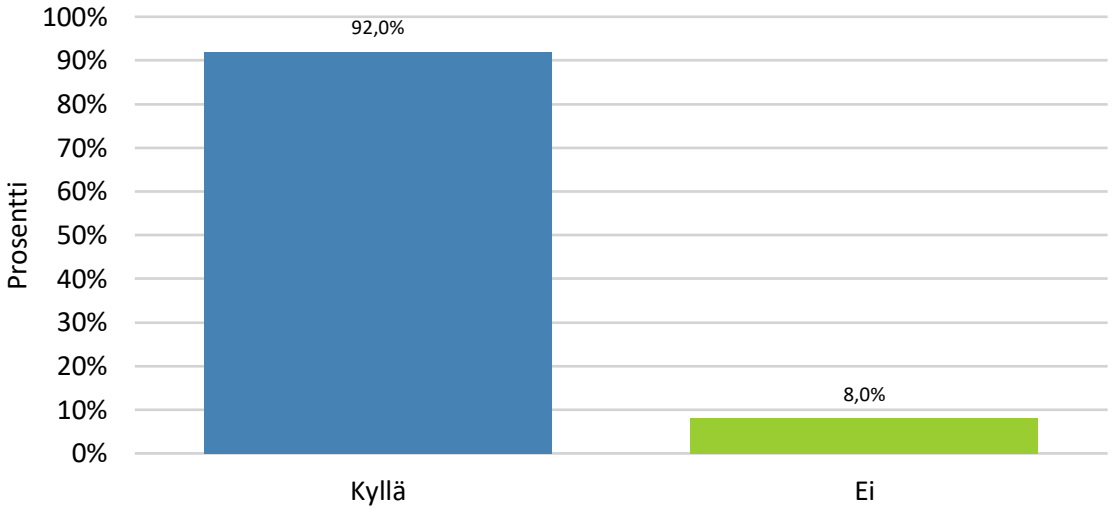
20 b. Jos edellä kuvatun tehomaksukomponentin laskutus perustuisi maanantaista perjantaihin välillä klo 7–21 mitattuihin tunnin keskitehoihin, jolloin yöaikaan ja viikonloppuisin tehon suuruus ei vaikuta laskutukseen, ajoittaisitko lataustapahtumat yöajoille ja viikonlopuille? (n = 113)



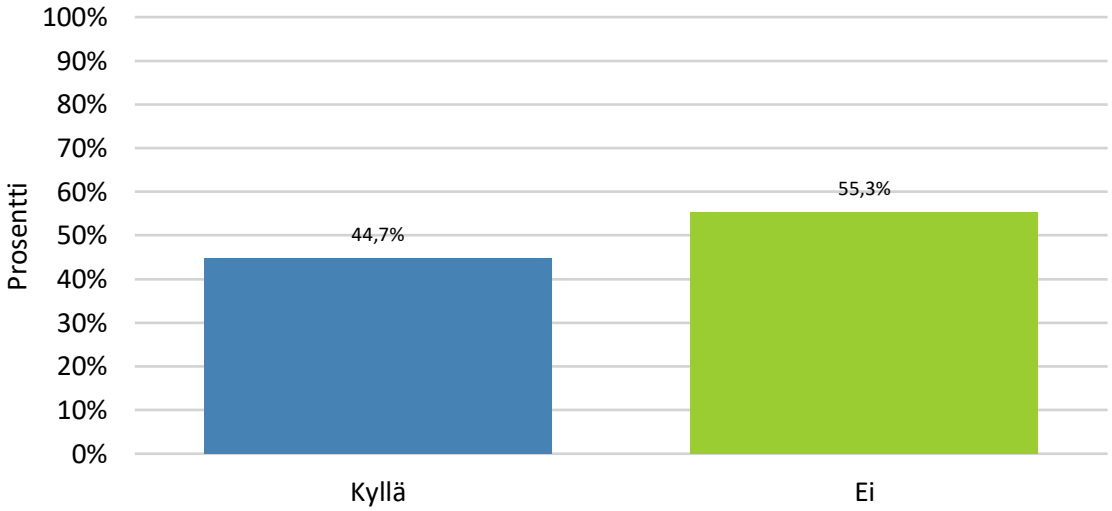
20 c. Siirtotuotteeseesi lisätään tehoon perustuva maksu. Tehomaksun käyttöönoton jälkeen lataat autoasi samalla tavalla kuin ennen tehomaksua, jolloin siirtomaksusi nousee 20 %. Vaikuttaisiko hinnan nousu sähkönkulutuskäyttäytymiseesi, esimerkiksi ajoittaisitko latauksen tai muun sähkökulutuksen eri ajankohtaan? (n = 114)



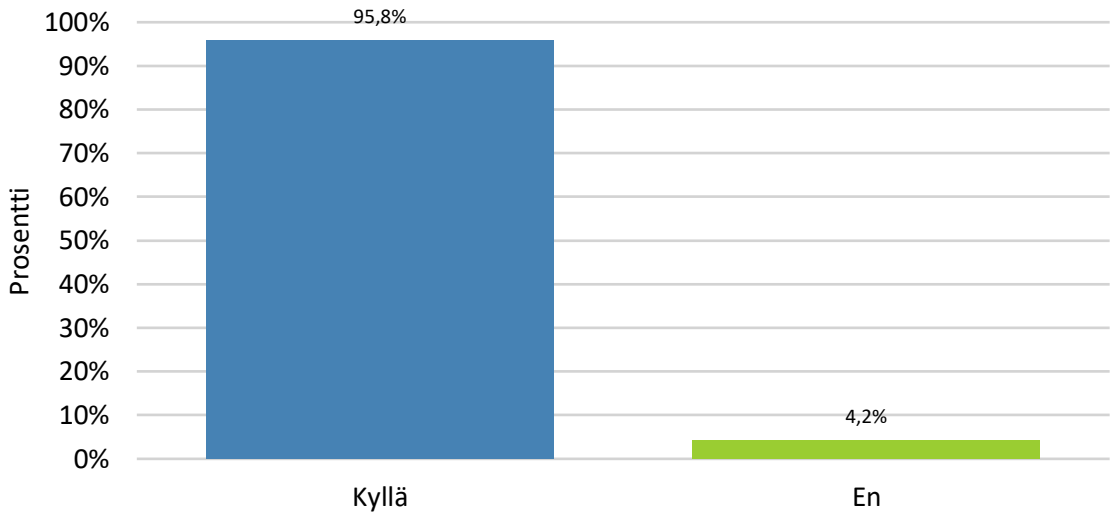
20 d. Jos sinulla olisi aurinkosähköjärjestelmä käytössä, lataisitko autoasi myös päivisin, jos pystyt tuottamaan itse tarvitseman tehon? (n = 112)



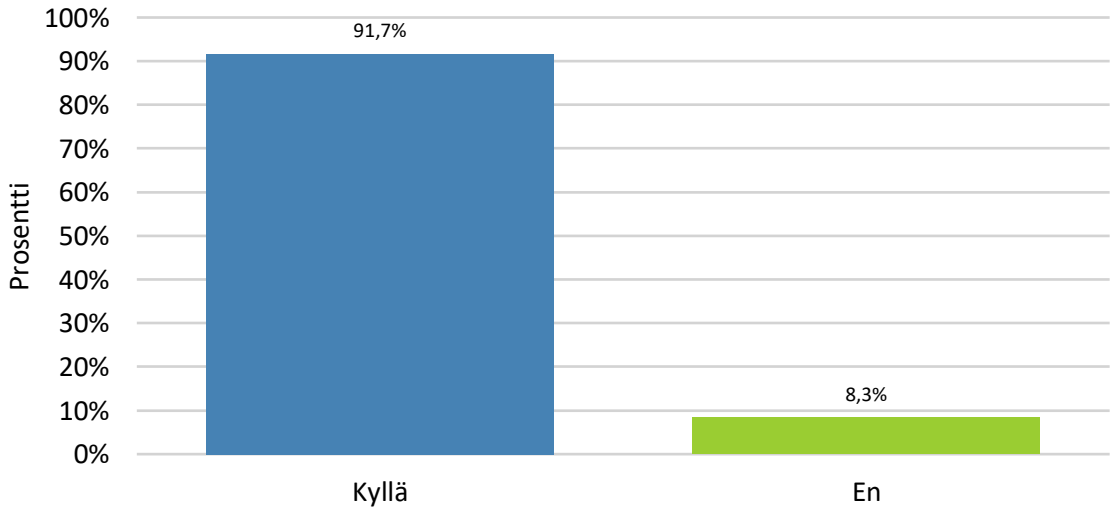
20 e. Jos sinulla on tarve ladata arkipäivisin autoa, rajoittaisitko muuta kuormaa a-kohdan kysymyksen tilanteessa? (n = 114)



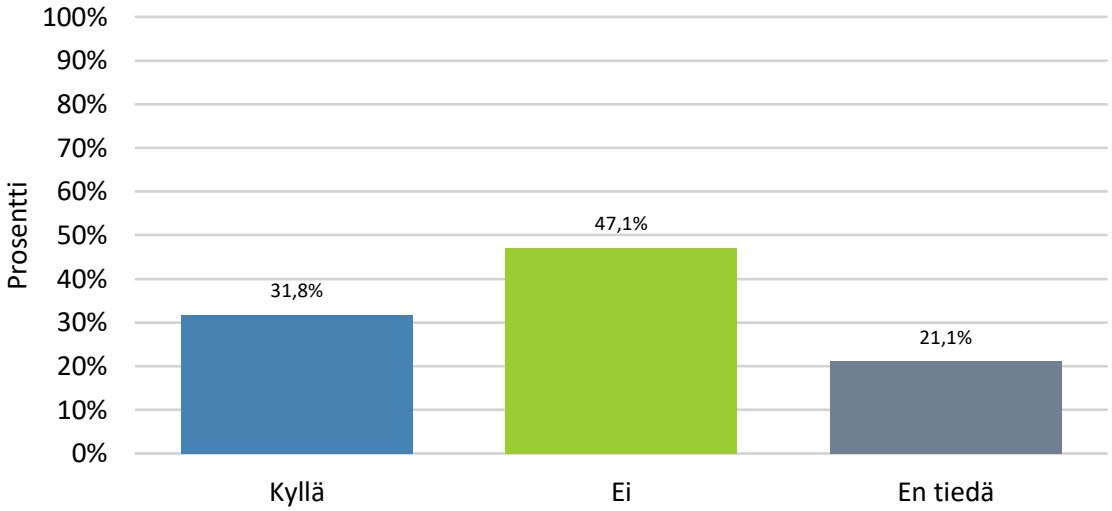
21. Aikasiirrolla hinta on kalliimpi päiväaikaan (klo 7–22) ja halvempi yöaikaan (klo 22–7). Aikasiirto on mahdollinen käyttöpaikkoihin, joiden sulakekoko on enintään 3x80A. Tehomaksu määräytyy joka kuukauden kolmanneksi suurimman mitatut tunnin keskitehon mukaan. Ajoittaisitko lataustapahtumat halvemmille tunneille? (n = 48)



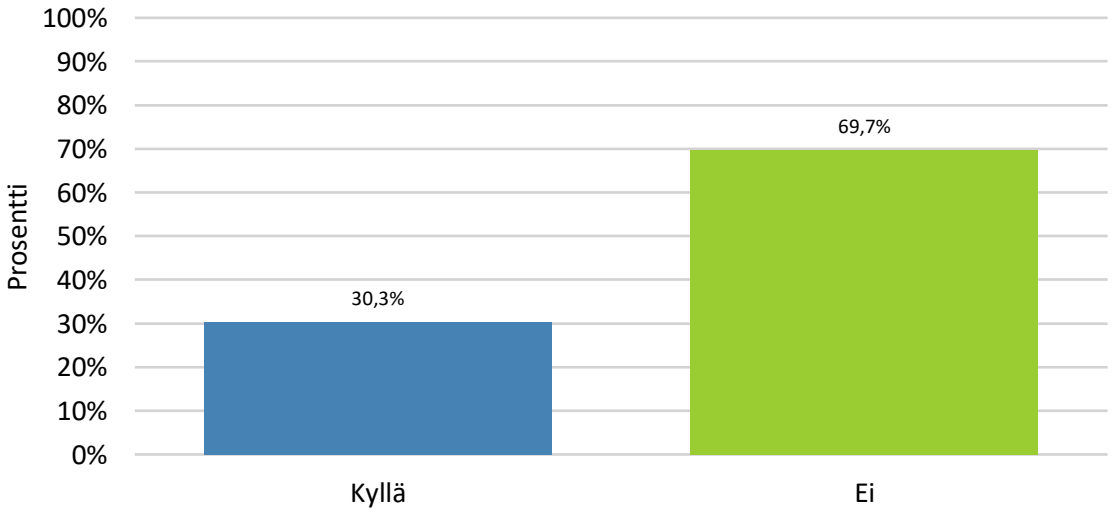
21 a. Jos sinulla olisi aurinkosähköjärjestelmä käytössä aikasiirto-tuotteella, lataisitko autoasi myös päivisin, jos pystyt tuottamaan itse tarvitseman tehon? (n = 48)



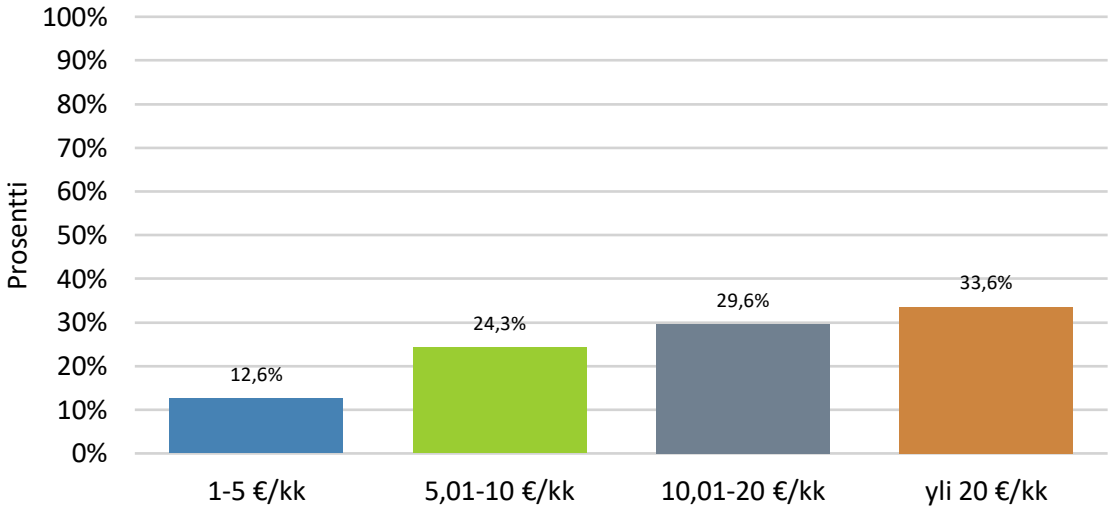
22. Pienjännitetehosiirto on yleensä käytössä suurempien taloyhtiöiden kiinteistökäyttöpaikalla ja liikekiinteistöissä, joissa käyttöpaikan sulakekoko on yli 3x80A. Talvi-päivän siirtomaksu on voimassa joulu–helmikuussa maanantaista perjantaihin klo 7–21. Muina aikoina on voimassa muun ajan siirtomaksu. Tehomaksu on voimassa vuoden kaikkina kuukausina. Laskutusteho on kuukauden suurin aikavälillä maanantaista perjantaihin klo 7–21 mitattu tunnin keskiteho. Vaikuttaako hinnoittelu lataustapahtuman toteuttamiseen (ajoittaminen, tehon rajoitus)? (n = 346)



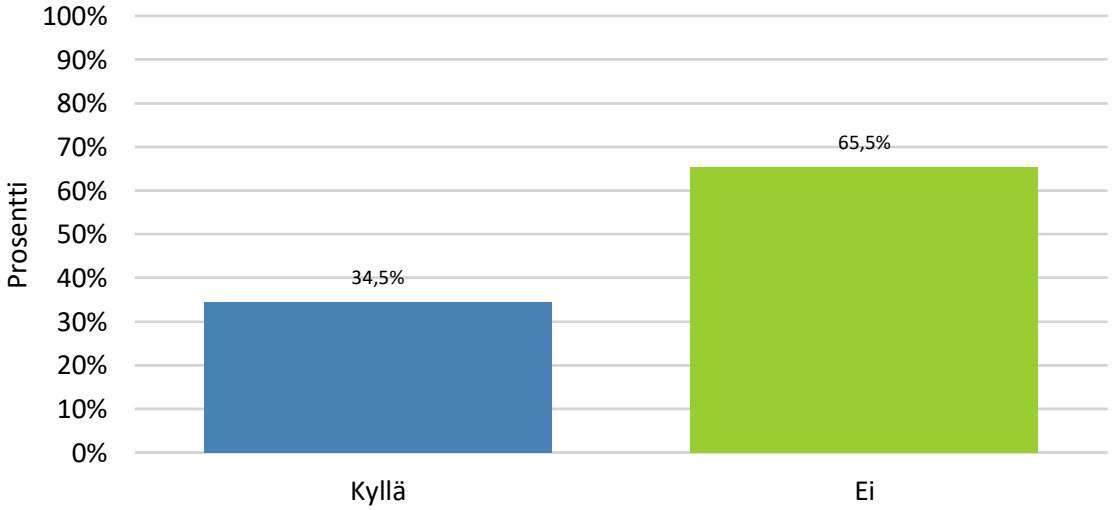
22 a. Yleensä taloyhtiön sähkösopimuksella veloitetaan lataamisessa kuluva sähkö, jolloin älykkään latauksen tuoma hintahyöty ohjautuu taloyhtiölle. Vaikuttaako latauskäyttäytymiseesi hintahyödyn ohjautuminen taloyhtiölle? (n = 340)



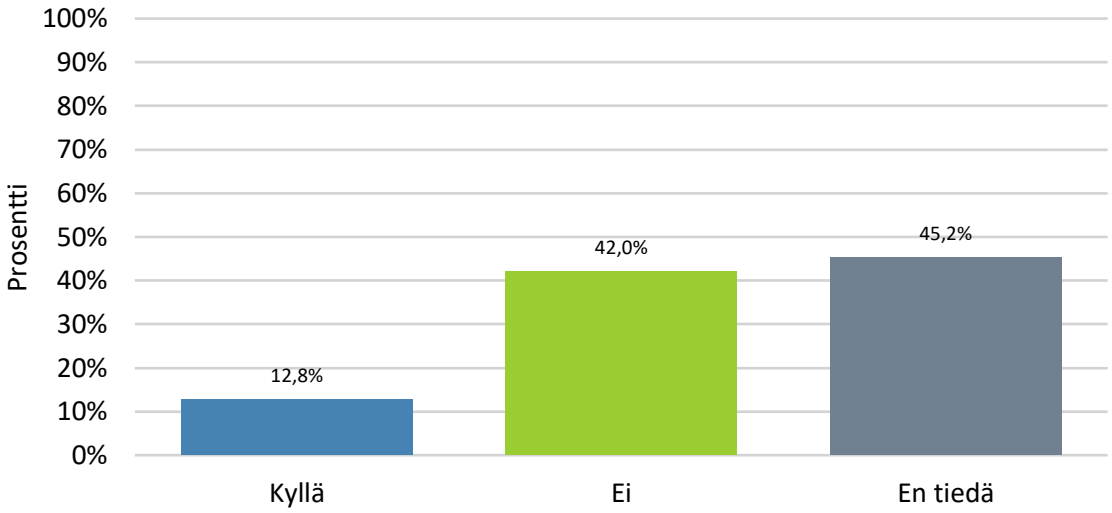
23. Kuinka paljon rahallista säästöä kuukaudessa mielestäsi tarvitaan, jotta tekisit hintaohjaukseen perustuvan latausjärjestelyn? (n = 548)



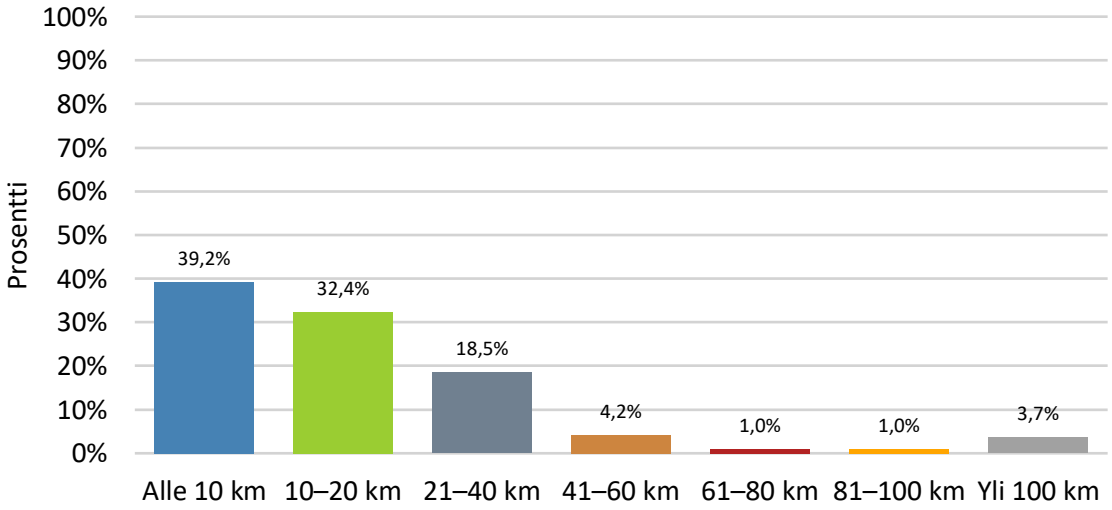
24. Onko sinulla mahdollista ladata autoasi työpaikalla? (n = 553)



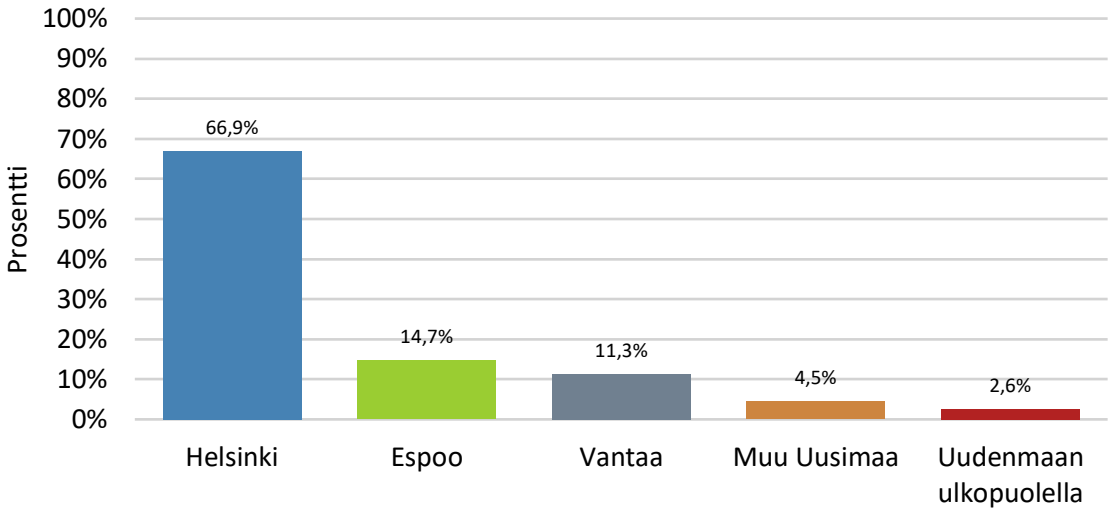
24 a. Onko työpaikan latauspisteellä käytössä älykästä latausta esim. tehonrajoitus? (n = 188)



25. Kuinka pitkä on kotisi ja työpaikkasi välinen edestakainen matka? (n = 383)



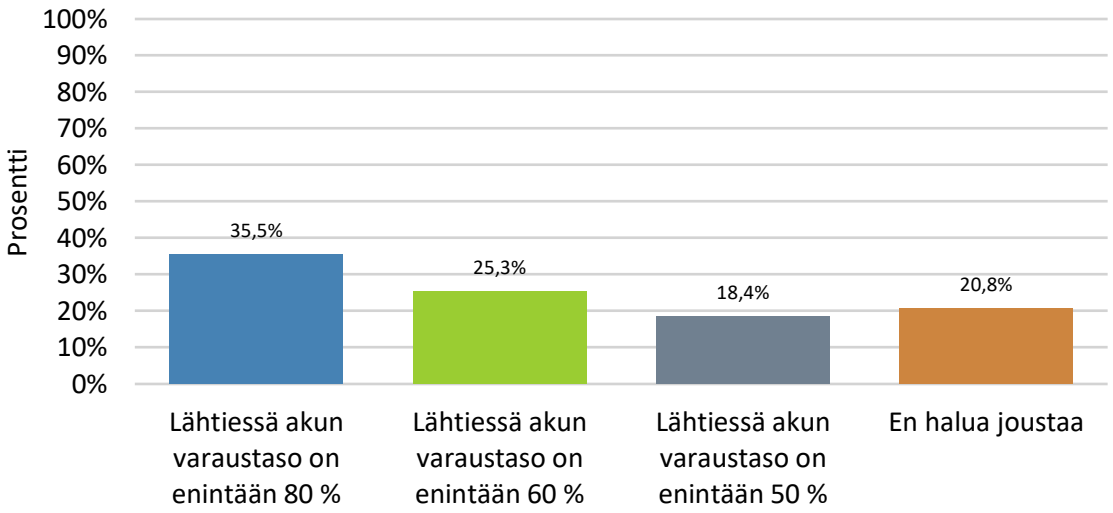
26. Missä työpaikkasi sijaitsee? (n = 381)



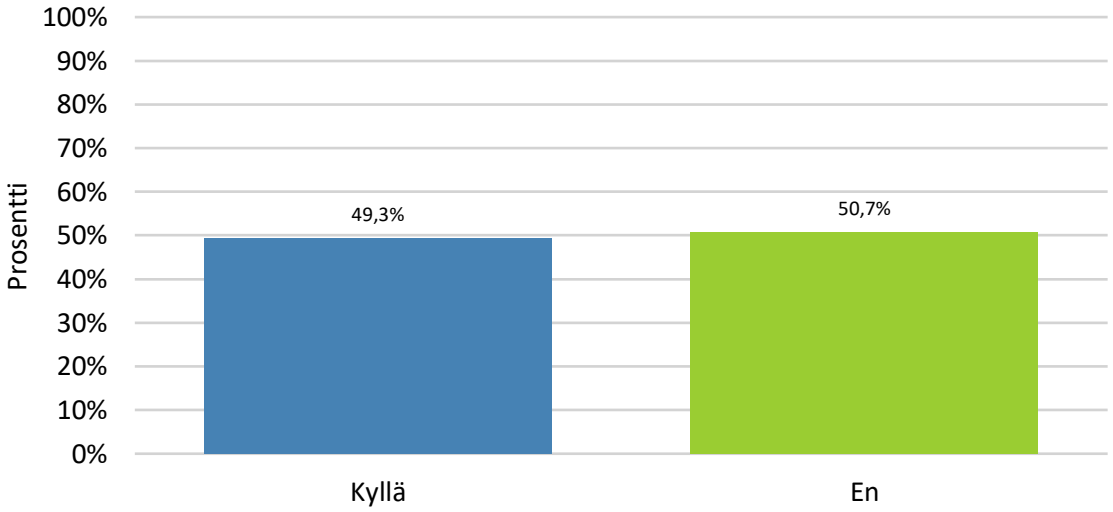
26 a. Millä Helsingin postinumeroalueella? (n = 240)

	%		%		%		%
00100	18,3 %	**00320**	0,8 %	**00580**	1,7 %	**00790**	0,4 %
00120	2,5 %	**00330**	0,0 %	**00590**	0,4 %	**00800**	1,3 %
00130	2,9 %	**00340**	0,8 %	**00600**	0,0 %	**00810**	0,0 %
00140	1,3 %	**00350**	0,0 %	**00610**	0,8 %	**00820**	0,0 %
00150	0,4 %	**00360**	0,8 %	**00620**	0,4 %	**00830**	0,4 %
00160	0,8 %	**00370**	1,3 %	**00630**	0,4 %	**00840**	0,4 %
00170	2,1 %	**00380**	4,6 %	**00640**	0,4 %	**00850**	0,4 %
00180	7,5 %	**00390**	0,8 %	**00650**	0,4 %	**00860**	0,0 %
00190	0,4 %	**00400**	0,8 %	**00660**	0,4 %	**00870**	0,4 %
00200	1,3 %	**00410**	0,0 %	**00670**	0,4 %	**00880**	0,8 %
00210	2,5 %	**00420**	0,0 %	**00680**	0,0 %	**00890**	0,0 %
00220	0,8 %	**00430**	0,8 %	**00690**	0,0 %	**00900**	0,0 %
00230	1,3 %	**00440**	0,0 %	**00700**	0,0 %	**00910**	0,8 %
00240	3,8 %	**00500**	0,8 %	**00710**	0,4 %	**00920**	0,4 %
00250	0,8 %	**00510**	3,8 %	**00720**	0,4 %	**00930**	0,4 %
00260	0,8 %	**00520**	5,4 %	**00730**	0,8 %	**00940**	0,0 %
00270	0,4 %	**00530**	5,8 %	**00740**	0,0 %	**00950**	0,8 %
00280	0,8 %	**00540**	0,8 %	**00750**	0,8 %	**00960**	0,0 %
00290	1,3 %	**00550**	0,0 %	**00760**	0,4 %	**00970**	0,0 %
00300	0,4 %	**00560**	1,7 %	**00770**	0,0 %	**00980**	1,7 %
00310	0,0 %	**00570**	0,8 %	**00780**	1,3 %	**00990**	1,7 %

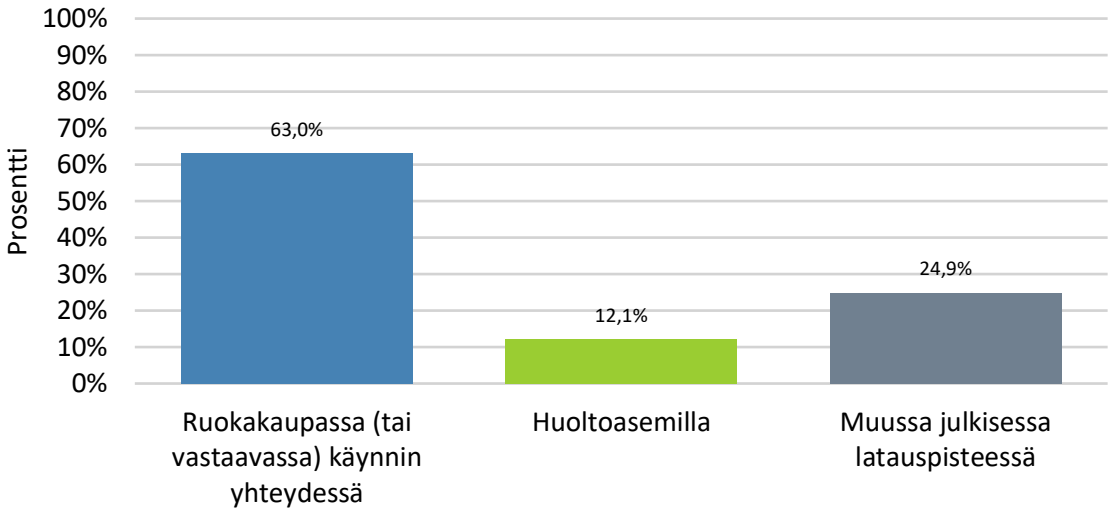
27. Jos saisit ladata autoasi työpaikalla työpäivän ajan 8 tuntia ja tietäisit latauspisteellä olevan kysyntäjoustava latausjärjestelmä, kuinka monta prosenttiyksikköä akun varaustasosta olisit valmis antamaan kysynnänjoustoon? (n = 380)



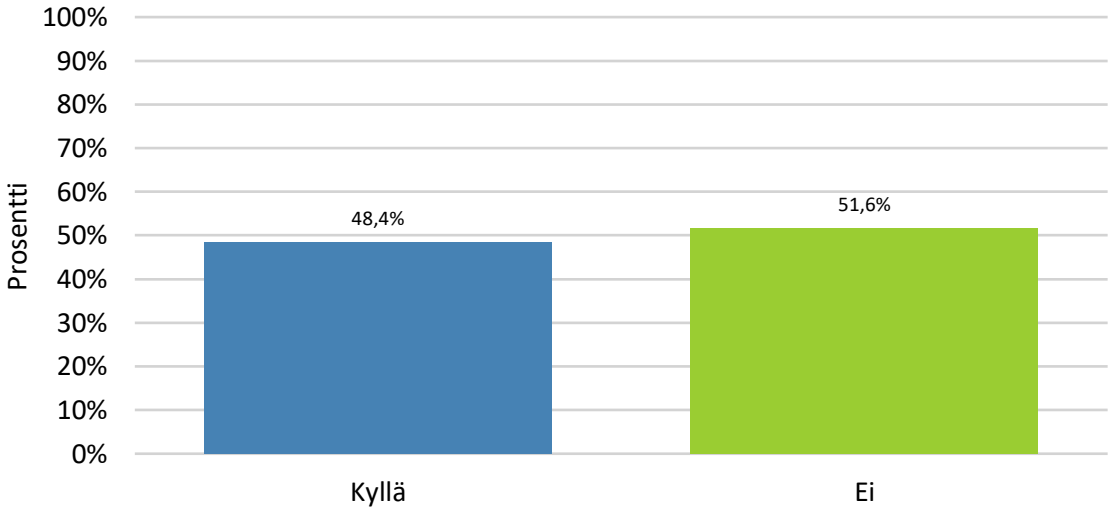
28. Lataatko autoasi normaalisti muualla kuin kotona tai työpaikalla? (n = 558)



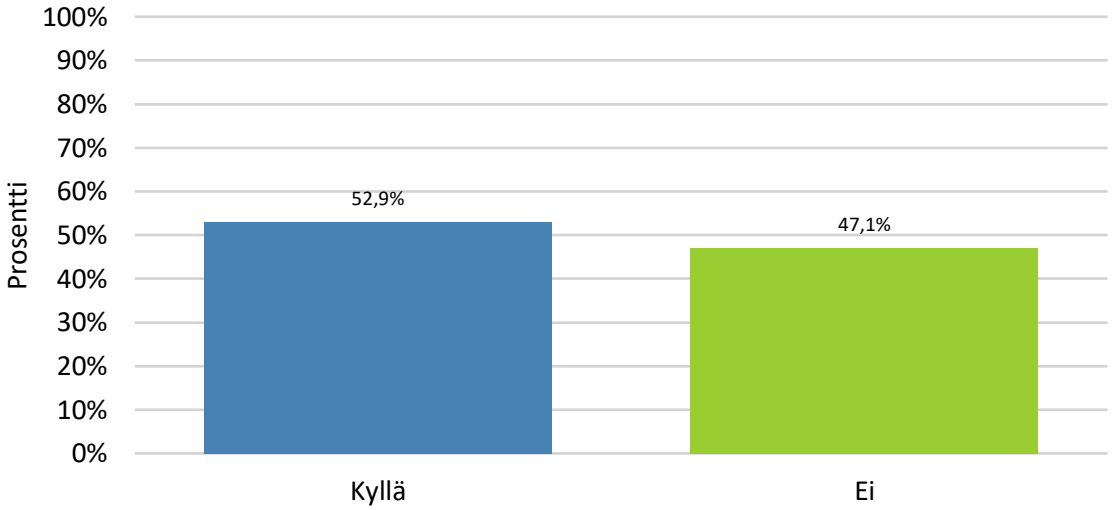
28 a. Missä muualla lataat autoasi? (n = 257)



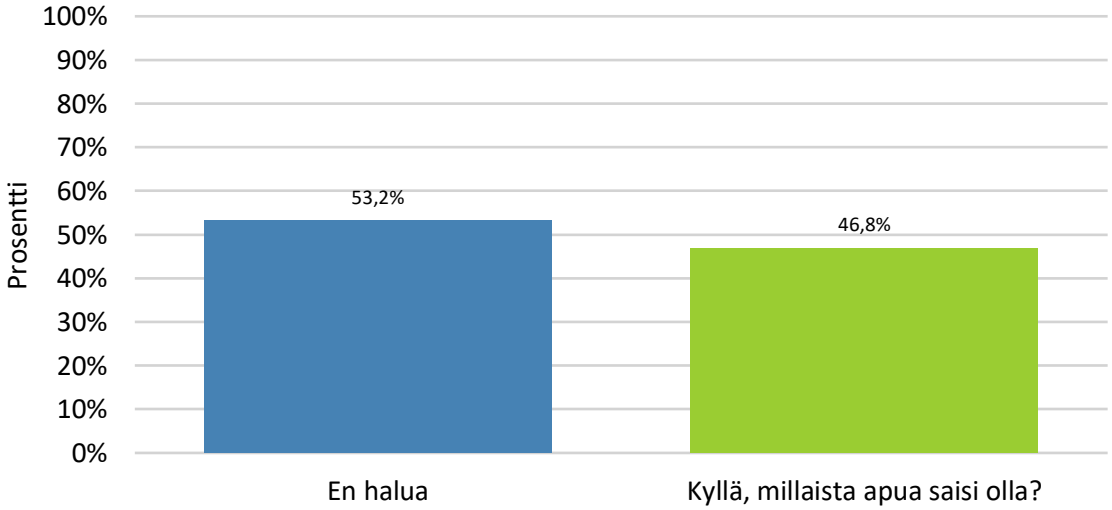
29. Jos lataat enintään tunnin ajan maksullisessa työpaikan tai ruokakaupan latauspisteessä, jossa on kysyntäjoustava latausjärjestelmä (= tehoa rajoittava), onko sillä vaikutusta haluk-kuuteesi ladata auto tässä latauspaikassa? (n = 539)



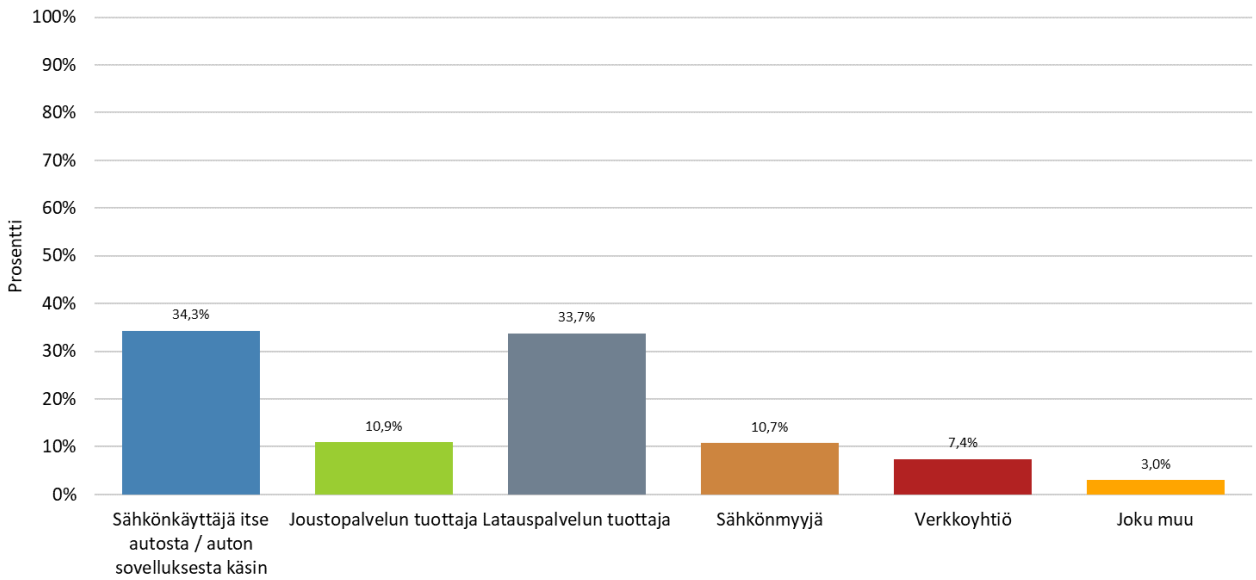
29 a. Jos akun varaustasosi on alle 30 % saapuessasi latauspisteelle, onko tällöin latausjärjestelmän joustolla vaikutusta halukkuuteesi ladata auto tässä latauspaikassa? (n = 544)



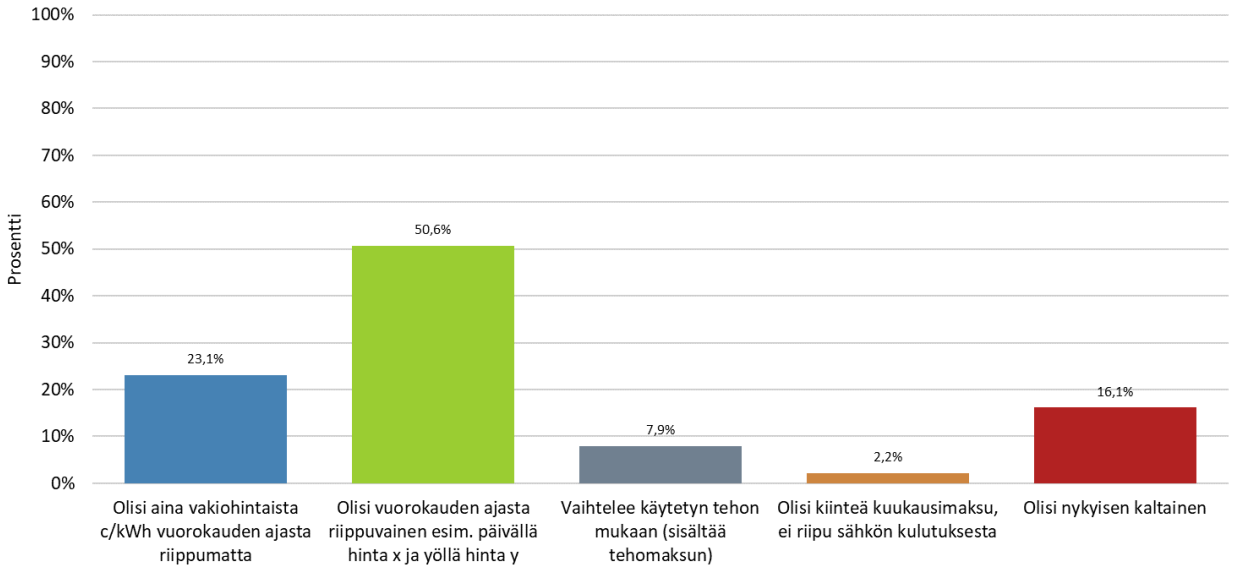
30. Haluisitko, että verkkoyhtiö tarjoaisi tulevaisuudessa neuvontaa, tietopaketteja, esimerkkejä tai muuta apua esimerkiksi kysyntäjoustoon, liittymän mitoitukseen, huipputehon leikkaamiseen, sähkönkäyttöön tai siirtotuotteen valitsemiseen liittyen? (n = 549)



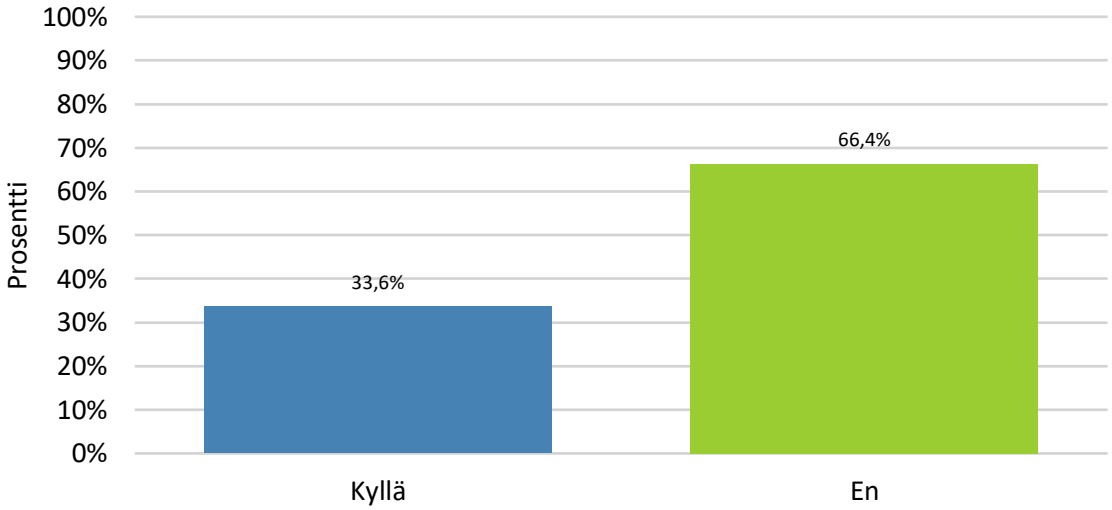
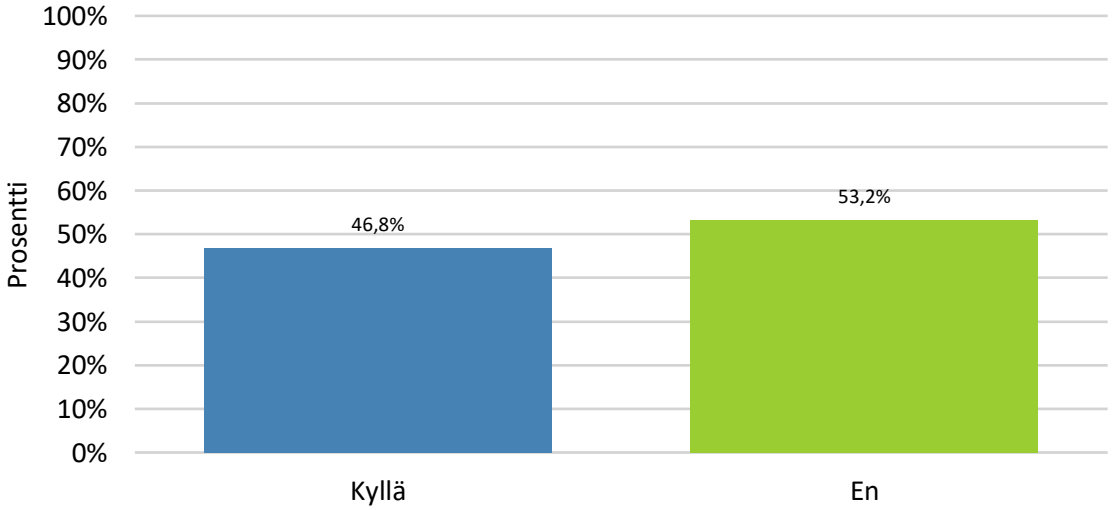
31. Kenen pitäisi hoitaa kysyntäjoustoon liittyvät palvelut? (n = 540)



32. Verkkoyhtiön hinnoittelu sopisi minulle, jos se...? (n = 545)



33. Käytätkö Helen Sähköverkon online-palveluita omien mitattujen tunnin keskitehojen seuraamiseen? (n = 562)



34. Tiedätkö, mikä on sähkönkäyttöpaikkasi sulakekoko? (n = 564)