



Sähköautojen älykäs lataus kotitalouksissa
Smart charging for electric vehicles in households

Alexi Auramo

Kandidaatintyö

LUT School of Energy Systems

Sähkötekniikka

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

School of Energy Systems

Sähkötekniikka

Alexi Auramo

Sähköautojen älykäs lataus kotitalouksissa

Kandidaatintyö

2023

33 sivua, 17 kuvaa, 2 taulukkoa ja 1 liite

Tarkastaja(t): DI Ville Tikka

Avainsanat: Sähköauton lataus, Älykkäät latausasemat, Dynaaminen kuormitus, Vehicle to Grid

Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan älykästä sähköauton latausta kotitalouksissa. Työssä tullaan kertomaan lyhyesti sähköautojen eri lataustavoista ja sähköauton latauksesta yleisesti omakotitalossa. Tämän jälkeen eritellään eri ominaisuuksia älykkäissä latausasemissa ja esitellään niitä. Merkittäviä älykkään latausaseman ominaisuuksia ovat etenkin dynaaminen kuormanhallinta ja spot-ohjattu lataus.

Työ toteutetaan tilastoanalyysinä ja kirjallisuuskatsauksena. Työssä selvitetään minkälaisia ominaisuuksia kuuluu älykkääseen latausasemaan ja kuinka ne toimivat osana kokonaisuutta. Tutkielmassa käydään läpi omakotitalon sähkönkulutusdataa ja lisätään siihen sähköauton latausaseman kulutus. Älykkään latausaseman ja ohjaamattoman latausaseman vaikutusta omakotitalon sähkötehoon ja tehohuippujen sijoittumiseen vertaillaan simulointien avulla. Simuloinneissa lasketaan latauksen hinta ohjatulle ja ohjaamattomalle lataukselle.

Työn lopussa kootaan yhteenveto työssä tutkituista ominaisuuksista ja niiden vaikutuksesta omakotitalon sähkönkulutukseen. Yhteenvedossa pohditaan tulevaisuutta sähköautojen latausasemien kanssa ja kootaan keskeiset asiat älykkäiden sähköautojen latausasemien toiminnasta.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Electrical Engineering

Aleksi Auramo

Smart charging for electric vehicles in households

Bachelor's thesis

2023

33 pages, 17 figures, 2 tables and 1 appendices

Examiners: M.Sc. Ville Tikka

Keywords: Electric vehicle charging, smart charging stations, dynamic load management, vehicle to grid

In this bachelor's thesis, we examine smart electric vehicle charging in households. The thesis will briefly describe the different charging methods for electric vehicles and electric vehicle charging in a single-family home. Afterwards, we will examine the various features of smart charging stations and present them. Significant features of a smart charging station include dynamic load management and spot-price controlled charging.

The work is carried out as a statistical analysis and literature review. The study investigates what features a smart charging station should have and how they function as part of a whole. The thesis examines the consumption data of a single-family home and adds the consumption of the electric vehicle charging station to it. The impact of a smart charging station and an uncontrolled charging station on the electricity consumption and peak load of a single-family home is compared through simulations. The simulations calculate the cost of controlled and uncontrolled charging.

In the end, a summary of the features studied in the work and their impact on the electricity consumption of a single-family home is compiled. The summary reflects on the future of electric vehicle charging stations and brings together key aspects of the operation of smart electric vehicle charging stations.

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

kWh kilowattitunti

W watti

P teho

U jännite

I virta

Sisällysluettelo

Sisällys

1	Johdanto.....	6
2	Sähköauton lataus omakotitalossa.....	8
2.1	Lataustavat.....	9
3	Älykkäät latausasemat.....	11
3.1	Latausaseman ja sähköauton välinen kommunikaatio.....	12
3.2	Spot-ohjattu lataus.....	13
3.3	Dynaaminen kuormanhallinta.....	15
3.4	Sovelluskäyttö.....	17
3.5	Vehicle to grid (V2G).....	18
4	Simuloinnit.....	20
4.1	Ohjaamaton lataus.....	21
4.2	Ohjattu lataus.....	26
5	Yhteenveto.....	30
	Lähteet.....	31
	Liitteet.....	33

1 Johdanto

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on tehdä katsaus älykkäisiin sähköauton latausjärjestelmiin. Työssä tutkitaan mistä osista älykäs latausjärjestelmä koostuu ja kuinka eri osat toimivat osana kokonaisuutta. Työssä keskitytään älykkään sähköauton latauksen toteutukseen ja sen vaikutukseen omakotitalon sähkönkulutuksessa.

Sähköautot ovat ratkaisevassa roolissa tulevaisuuden tieliikenteessä, koska ne eivät tuota hiilidioksidipäästöjä, mikä puolestaan vähentää tieliikenteestä aiheutuvia haitallisia päästöjä. Kun väestö siirtyy kohti kestävämmän energian käyttöä, näkyy tämä esimerkiksi sähköautojen määrän kasvuna. Euroopan Unionin ympäristöneuvostossa vuonna 2022 sovittiin useasta ilmastopakettien säädösehdotuksesta, kuten siitä että vuonna 2035 diesel-, bensiini-, kaasu- ja lataushybridiautojen valmistus käytännössä loppuisi (Ympäristöministeriö, 2022). Sähköautojen määrän kasvaessa myös sähköautojen lataamiseen vaadittavan energian tarve kasvaa, jolloin tämä kuormittaa merkittävästi sähkön tuotanto- ja toimitusinfrastruktuuria. Tämän työn tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

Mitä ominaisuuksia kuuluu nykyaikaiseen sähköauton älykkääseen latausasemaan ja kuinka ne toimivat?

Miten ohjattu lataus vaikuttaa sähköauton latauksen hintaan ja omakotitalon sähkötehoon verrattuna ohjaamattomaan lataukseen?

Sähköautojen älykkäällä latauksella on esimerkiksi mahdollista lieventää sähköverkon kuormitusta siirtämällä latauskuormitusta pois sähkönkäytön kannalta ruuhkaisimmilta ajankohdilta. Tämä vähentää sähköinfrastruktuuriin vaadittavia investointeja, koska verkkoon kohdistuva kuorma ei ohjatulla latauksella kasva liian suureksi. Ruuhka-ajan ulkopuolella (Off-peak) ajoittuva lataus mahdollistaa usein kuluttajalle edullisemmän latauksen, koska sähkön spot-hinta on tällöin alempana verrattuna ruuhka-aikaan. Samalla se madaltaa verkon huippukuormaa.

Tällä hetkellä sähköautoja ladataan usein sähköjärjestelmän ruuhka-aikoina (klo 16–21), jolloin suurin osa sähköauton käyttäjistä saapuu kotiin töistä. Sähköjärjestelmän ruuhka-aikana sähkönkulutus on kotitalouksissa korkeimmillaan, koska samanaikaisesti on useita sähkölaitteita päällä, kuten sähkölämmitys, uuni ja kiuas. Myös useiden sähköautojen samanaikainen

lataaminen näinä aikoina lisää sähköverkon huippukysyntää, sekä mahdollisesti aiheuttaa eri verkon komponenttien ylikuormitusta ja ruuhkaantumista (Spencer, ym. 2021. s. 2).

Luvussa 2 selitetään sähköautojen latausta omakotitalossa yleisesti ja esitellään eri sähköauton lataustavat. Luvussa 3 esitellään älykkään latausaseman toimintaa, ja sen ominaisuuksia. Luvussa 4 käydään läpi simuloiteja omakotitalon sähkökulutuksesta, kun sähköautoa ladataan ilman älykästä latausta ja älykkään latauksen kanssa. Lopuksi yhteenveto-osiossa kerätään yhteen työn keskeisimmät asiat ja havainnot.

2 Sähköauton lataus omakotitalossa

Sähköautojen lataus on nykyään mahdollista monessa eri paikassa, mutta kotilataus on silti suosituin vaihtoehto käyttäjien keskuudessa. Kotilatausta suosi 64 % käyttäjistä ja töissä latausta 34 % käyttäjistä. Loput jakautuvat esimerkiksi huoltoasemilla tapahtuviin latauksiin. (Van Heck, Heineken-Van Dooren. 2022. 55) Kotilataus mahdollistaa sähköauton omistajille auton lataamisen yön aikana, jolloin he voivat herätä täysin ladattuun autoon joka aamu. Tämä on erityisen tärkeää heille, joilla ei ole pääsyä latausasemiin työpaikalla tai arkipäivän aikana. Kotilatauksen avulla käyttäjä voi hallita sähköauton latauksen aikaa ja tapaa. Tämä voi olla erityisen hyödyllistä, jos käyttäjä haluaa hyödyntää alhaisempia sähköenergiarahintoja tai jos käytössä on esimerkiksi aurinkopaneelit apuna auton lataamiseen.

Sähköajoneuvojen latausmarkkinoiden arvoksi arvioitiin 7 miljardia dollaria vuonna 2021, ja sen arvon odotetaan olevan noin 65 miljardia dollaria vuoteen 2030 mennessä. (Precedence Research.) Tähän vaikuttavat etenkin jatkuvasti tiukentuvat polttomoottoriautojen päästörajotukset sekä sähköautojen määrän kasvu.

Euroopan autonvalmistajien liiton mukaan vuoteen 2030 mennessä on investoitava yhteensä jopa 280 miljardia euroa julkisten ja yksityisten latauspisteiden asentamiseen, sähköverkon uudistamiseen ja uusiutuvan energian tuotantokapasiteetin rakentamiseen. (Acea, 2022)

Älykäs lataus tarkoittaa järjestelmää, jossa sähköajoneuvo ja latauslaite jakavat datayhteyden. Ohjatun latauksen avulla latausaseman omistaja voi seurata, hallita ja rajoittaa laitteidensa käyttöä energiankulutuksen optimoimiseksi. Tällöin latausaseman ohjaa latausta sähkön hintaan, energian saatavuuteen ja kuljettajan tarpeisiin perustuen.

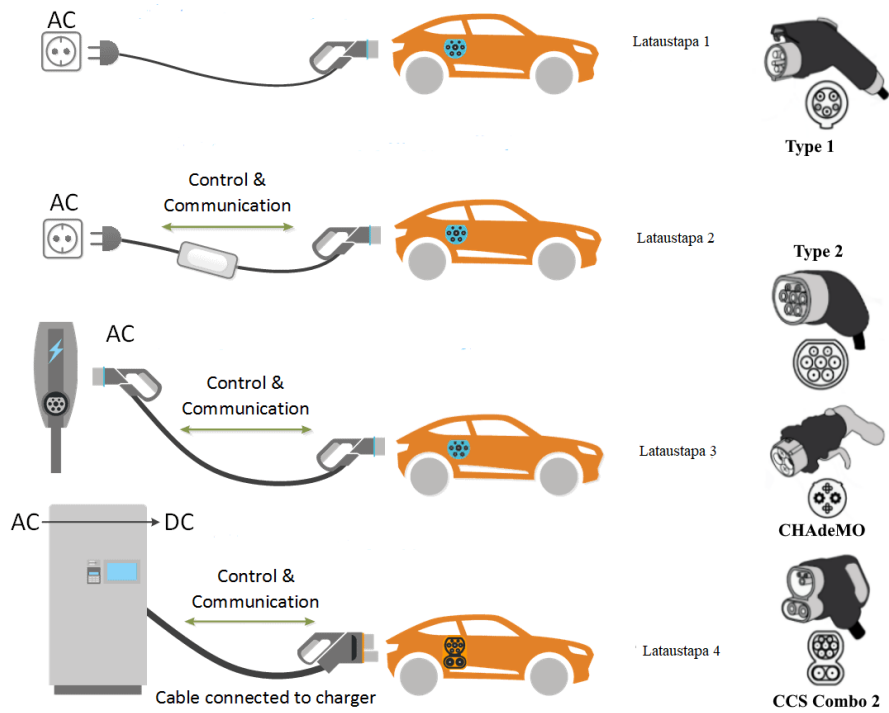
Perinteisessä ohjaamattomassa latausasemassa näitä ominaisuuksia ei ole. Ohjaamattomalla latauksella latausasema heti sähköautoon kytkettyään aloittaa lataaminen suurimmalla saatavilla latausteholla, kunnes lataustavoite on saavutettu. Tämä on omakotitalon sähköverkolle riski, koska ruuhkaisimmille tunneille sijoittuva lataus voi kodin muun kulutuksen kanssa ylittää kodin pääsulakkeiden virtarajan.

2.1 Lataustavat

Seskon lataussuosituksen mukaan sähköauton lataustavat voidaan jakaa neljään eri päätyyppiin. Lataustapa 1 on käytössä kevyillä ja pienikokoisilla sähköajoneuvoilla. Lataustyyppiä 2, 3 ja 4 käytetään sähköautojen lataamiseen. Lataustavassa 1 laturia syötetään maadoitetusta 230V vaihtosähköllä kotitalouspistorasiasta, joka on suojattu 30mA vikavirtasuojalla. Lataustavassa 2 ajoneuvoa ladataan kotipistorasiasta (suko) ja latauskaapelissa on latausvirranrajoitus. Tätä lataustapaa suositellaan vain tilapäiseen käyttöön, kuten matkustaessa. Standardisarjassa SFS 6000 on määritetty, että pitkäaikainen latausvirta lataustavalla 2 on rajoitettava 8 ampeeriin. Lataustavassa 1 ja 2 riskejä aiheuttaa kotipistorasian kestävyys ja kunto. (Sesko 2021; Motiva 2018.)

Lataustapa 3, eli peruslataus on suositeltavin sähköautojen lataustapa kotitalouksissa. Lataustavalla 3 tarkoitetaan sähköautolle tarkoitettua latausasemaa, joka sisältää latauspistokkeen ja tiedonsiirtoväylän. Tiedonsiirtoväylän avulla latausasema kommunikoi sähköauton ja laturin välillä. Tämän kommunikaation avulla auto esimerkiksi kertoo sen valmiudesta latauksen aloittamiseen, jolloin tolppa kertoo autolle suurimman latausvirran. Suurinta sallittua latausvirtaa voidaan muuttaa kesken latauksen ja auto seuraa tätä ohjetta. Lataustapa käyttää latausvirtana maksimissaan 100 A ja 43 kW lataustehoa. Peruslataus käyttää latauslaitteena Type-2 liitintä tai kiinteää latauskaapelia. (Sesko 2021; Motiva 2018.)

Lataustapa 4, eli teholataus on laajasti käytössä julkisilla latausasemilla. Teholataus tarkoittaa satojen ampeerien suuruisella tasavirralla toteutuvaa latausta. Lataustehot ovat tyypillisesti 50 kW – 350 kW välillä, mutta voivat olla myös suurempia. Lataustapa käyttää standardina CHAdeMO- tai CCS-liitintä. Tiedonsiirtoväylässä siirtyy tietoa esimerkiksi latauksen tasosta. Lataustavassa 4 latausjohto on kiinteästi asennettu latausasemaan kiinni. (Sesko 2021; Motiva 2018.) Kuvassa 1 on esitetty kokonaisuudessa lataustavat 1–4.



Kuva 1. Lataustavat 1–4 ja niiden tyypillisesti käyttämät latauspäät. Lataustavoissa 2–4 nähtävillä viesti- ja hallintayhteys latausaseman ja sähköauton välillä. (Evsepower, muokattu)

3 Älykkäät latausasemat

Älykäs sähköauton latausasema, jossa on kehittyneitä ominaisuuksia ja teknologiaa sähköautojen latausprosessin optimoimiseksi. Näitä ominaisuuksia voivat olla esimerkiksi etäseuranta ja -hallinta, useiden ajoneuvojen yhtäaikaisten lataaminen, sähköenergiahinnan muutoksiin sopeutuminen sekä kyky viestiä muiden laitteiden ja järjestelmien kanssa.

Euroopassa internettiin yhdistettyjen latauspisteiden määrän on arvioitu kasvavan vuosittaisella 33 % kasvuvauhdilla vuoden 2020 2,3 miljoonasta 9,7 miljoonaan latauspisteeseen vuoteen 2025 mennessä. (Jansson, 2021)

Tavallisin latausskenaario sähköautojen lataamiseen on kytke ja lataa-metodi. Tällöin latausprosessi alkaa heti, kun käyttäjä saapuu latausasemalle ja kytkee pistokkeen sähköautoon kiinni. Tämä on omakotitalon sähköverkolle raskasta, etenkin jos lataus sijoittuu sähkönkäytön ruuhkaisimmille tunneille. Tämä on myös kuluttajalle kalliimpaa, koska sähkönhinta on korkeimmillaan ruuhkaisimmilla ajanhetkillä.

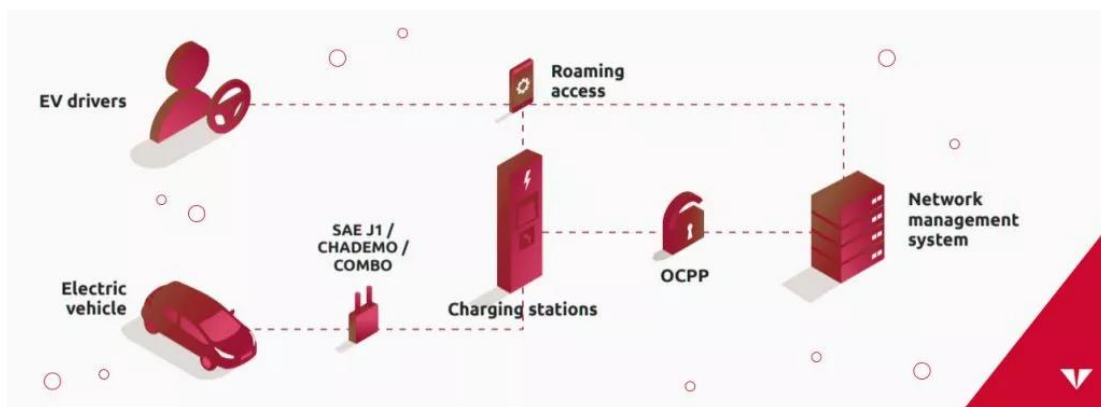
Älykäs latausasema pyrkii lataamaan sähköauton mahdollisimman optimoidulla ja omakotitalon sähköverkon kuormituksen huomioivalla tavalla. Markkinoilla on valmiita ratkaisuja latausjärjestelmistä, jotka räätälöidään kuluttajan tarpeisiin. Järjestelmä valvoo sähköverkon käyttöä ja kuluttajan lataustottumuksia optimoidakseen latausprosessin. Tällöin latausprosessista tulee dynaamisempi ja datakeskeisempi, joka mahdollistaa omakotitalossa asuvalle mahdollisemman energiatehokkaan ja edullisen latauksen.

Älykäs latausasema muodostaa langattoman yhteyden, tyypillisesti Bluetoothin tai Internetin kautta. Tämä yhteys mahdollistaa reaaliaikaisen kommunikaation latausaseman, auton, sähköauton kuljettajan ja kodin sähköpiirin välillä. Tätä kommunikaatiota pystyy seuraamaan älypuhelimelle tai tietokoneelle saatavalla sovelluksella.

3.1 Latausaseman ja sähköauton välinen kommunikaatio

ISO 15118 on standardi, joka määrittelee viestintäprotokollat ja sähköajoneuvojen latauksessa käytettävät tietorakenteet. Standardin mukaan latausasemien viestinnässä on kaksi tasoa: type 1 ja type 2. Type 1 tasossa järjestelmä käyttää yhtä viestintäkanavaa ajoneuvon ja latausjärjestelmän välillä. Type 1-kommunikaatio toteutetaan yleensä Bluetoothiin tai WiFin avulla. (Solid Studio) Type 1-kommunikaatio huolehtii lataustapahtuman turvallisuudesta ja muista ominaisuuksista, kuten akuston lataustilan välittämisestä latauslaitteelle. Auton hallintajärjestelmä lähettää latausjärjestelmälle tasaisin väliajoin tiedon akuston varaustasosta, jolloin latausjärjestelmä ohjaa lataustehoa kysynnän mukaan. Type 2-kommunikaatiossa on käytössä kaksi viestintäkanavaa; ohjauskanava ja tehokanava. Ohjauskanavaa käytetään tiedonsiirtoon ajoneuvon ja laturin välillä, kun taas tehokanavaa käytetään sähköenergian jakeluun latausjärjestelmästä ajoneuvoon. (Solid Studio) Type 2-kommunikaatiossa järjestelmän ja sähköauton väliseen kommunikaatioon lisätään ominaisuuksia, kuten lataajan tunnistautuminen, laskutus ja latauksen ohjaus. Nämä ominaisuudet ovat yleisemmin käytössä julkisilla latausasemilla.

OCPP tarkoittaa avoimeen lähdekoodiin perustuvaa alustaa latausaseman käyttöliittymän rakentamiseen. (Becker, 2022) OCPP:n päätehtävä on kommunikoida taustajärjestelmien, latausasemien ja käyttäjien kanssa. Kuvassa 3.1 on esitettyä Sähköauton, latausaseman ja käyttäjän välinen dataliikenne. OCPP mahdollistaa latausasemalta saapuvan datan tulkinna ja siirron esimerkiksi kuljettajan älypuhelimien sovellukseen internetin välityksellä.



Kuva 3.1 Sähköauton, latausaseman ja käyttäjän välinen dataliikenne (Becker)

3.2 Spot-ohjattu lataus

Sähkön spot-hinta muodostuu sähköpörssissä tarjonnan ja kysynnän mukaan, tällöin spot-hinnan olevan edullisinta etenkin yöaikaan kysynnän laskiessa. Älykkään latausaseman avulla latauksen ajankohtaa voidaan ohjata sähkön hinnan mukaan. Tällöin latausasema seuraa reaaliaikaisesti sähkön hintaa, laskien tai nostaten lataustehoa hinnan mukaan. Lisäksi latausteho voidaan laskea kokonaan nolleen kalleimpien tuntien aikana.

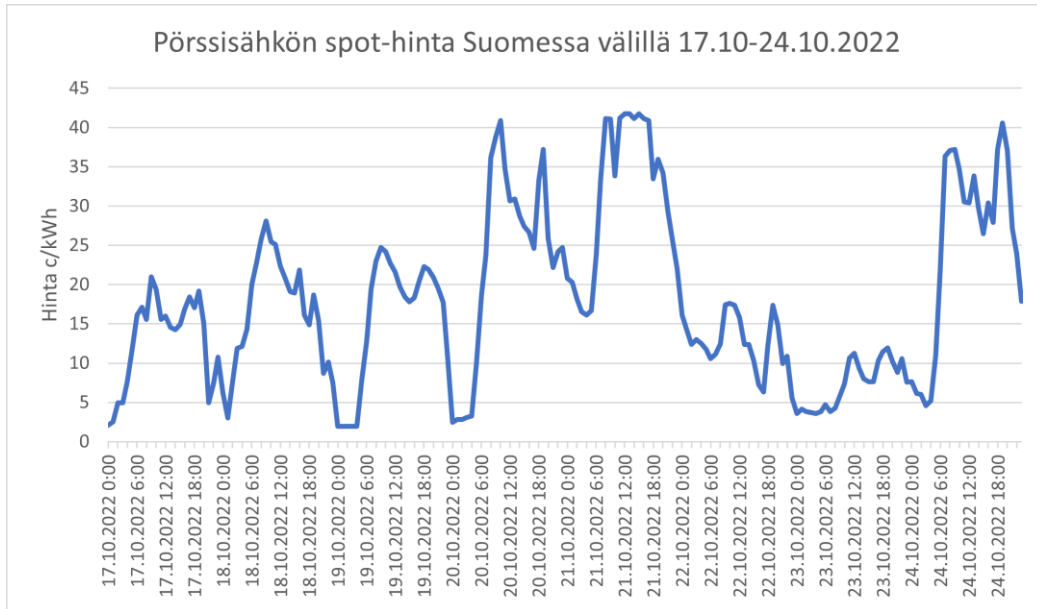
Sähkötariffi on hinnoittelumalli, jolla sähköenergian jakelu- tai tuotantoyhtiöt hinnoittelevat sähköenergian myyntiä asiakkaille. Tariffin hinta perustuu suoraan sähkön spot-hintaan. Tariffeja voi olla useita erilaisia, esimerkiksi tietyn ajanjakson mukaan vaihtuvia tai käyttömäärään perustuvia. Hinnat muodostuvat 24 tuntia etukäteen, jolloin kuormanohjaus on helppoa.

Sähkön käyttöajankohdat voidaan jakaa kolmeen luokkaan:

Taulukko 1. Sähkönkäytön luokat ja käyttöajankohdat (Unitil)

Luokka	Ajankohta
Osittainen ruuhka-aika (mid-peak)	Maanantai – Perjantai klo. 06–15.
Ruuhka-aika (on-peak)	Maanantai – Perjantai klo. 15–20.
Ruuhka-ajan ulkopuolella (off-peak)	Maanantai – Perjantai klo. 20–06 ja Viikonloput.

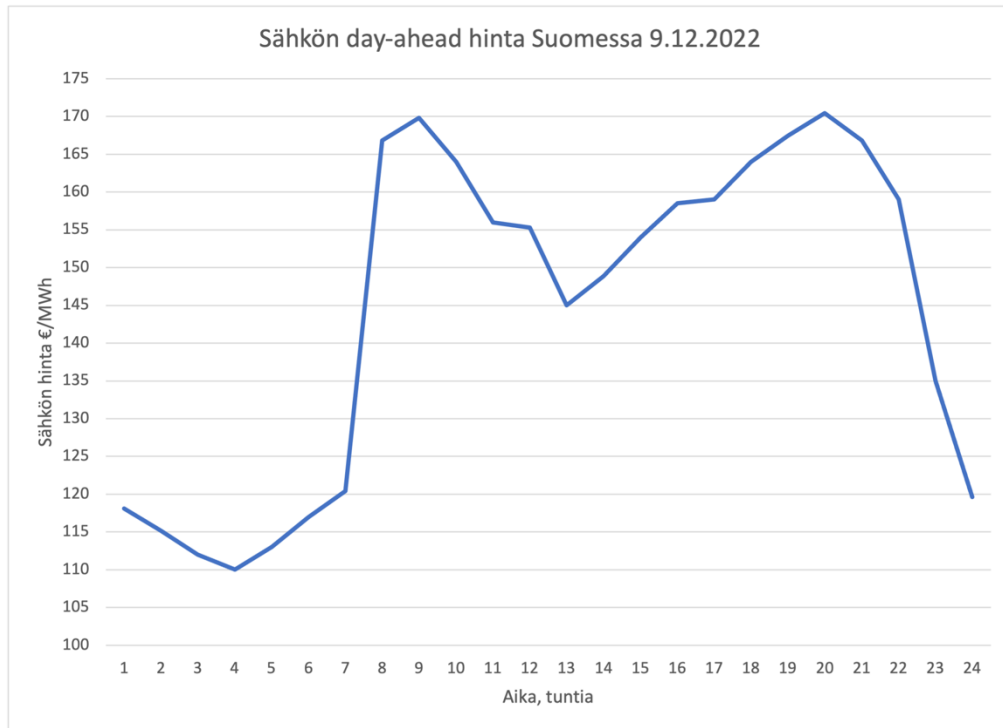
Kuvassa 3.2 on esitettyä pörssisähkön spot-hinnan vaihteluita viikon ajalta. Hinta ruuhka-ajan ulkopuolella on noin 50–60 % ruuhkahintaa alhaisempi. Osittaisen ruuhka-ajan alkaessa hinta nousee jopa 14-kertaiseksi ruuhka-ajan ulkopuoliseen hintaan verrattuna.



Kuva 3.2. Pörssisähkön spot-hinta Suomessa välillä 17.10-24.10.2022. Arvot saatu sähkö.tk

ENTSO-E on sähkömarkkinoiden läpinäkyvyysalusta, joka julkaisee sähkömarkkinoihin liittyvää dataa, kuten sähköntuotannon ja -kulutuksen määrän Euroopassa sekä sähkön seuraavan päivän (day-ahead) hinnan. (ENTSO-E) Läpinäkyvyysalustan tarjoamaa API-rajapintaa pystyy hyödyntämään latausasemien latauksenhallinnassa. API-rajapinta mahdollistaa integroitavuuden alustalla olevan datan ja latausasemassa olevan latauksenohjauksen kanssa.

Kuvassa 3.3 on esitetty sähkö day-ahead hinta Suomessa. Day-ahead hinnat tulevat aina edellisenä päivänä saataville, jolloin älykäs latausasema pystyy API-rajapinnan avulla etsimään alimman hinnan tunnit valmiiksi ja suunnitella latausta näiden perusteella etukäteen.

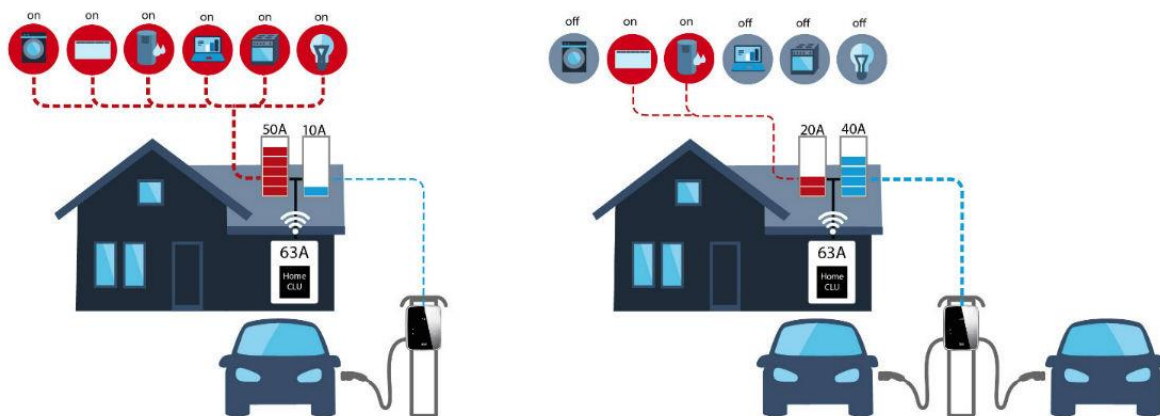


Kuva 3.3. Sähkön day-ahead hinta Suomessa. (ENTSO-E)

3.3 Dynaaminen kuormanhallinta

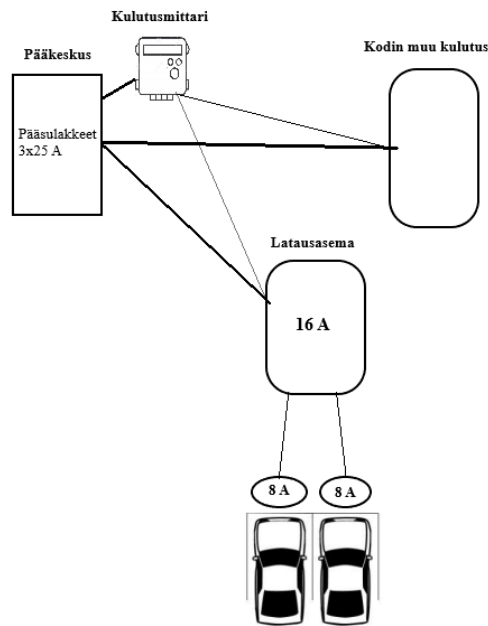
Dynaamisen kuormanhallinta on keskeinen osa nykyaikaisia älykkäitä latausjärjestelmiä. Sen tarkoituksena on suojata paikallinen sähköverkko ylikuormitukselta, tasaamalla kuormitus latausjärjestelmän ja muun kiinteistön välillä. Kuormanhallinta auttaa varmistamaan tasaisen energiansyötön, mikä varmistaa kytkettyjen laitteiden ja autojen tehokkaan toiminnan ja latauksen. Latauskuormituksen muodostumiseen vaikuttavat useat tekijät, kuten latausajankohta, ladattavan energian määrä ja käyttäjän latauskäyttäytyminen.

Latausjärjestelmän sisältäessä kaksi tai useampaa latauspistoketta, dynaaminen kuormitus huolehtii tasaisesta tehon jakautumisesta myös pistokkeiden välillä. Kuvassa 3.4 on esitettyä esimerkkikuva yhden ja kahden sähköauton kotitaloudesta, jossa dynaaminen kuormanhallinta on käytössä.



Kuva 3.4. Havainnekuva dynaamisesta kuormanhallinnasta (Defa)

Omakotitalojen latauksen kuormanhallintaa varten kiinteistön sähkökeskukseen liitetään erillinen kulutusmittari, joka mittaa kiinteistön muun kulutuksen. Latausasema ohjaa autolle annettavaa lataustehoa käytettävissä olevan kapasiteetin mukaan siten, että kiinteistön muu sähkönkulutus, kuten lämmitys, liesi ja sauna on aina etusijalla pääsulakkeiden ollessa suojattuna. (Korttelilataus). Dynaamisella kuormanhallinnalla voidaan aktiivisesti mitata rakennuksen huipputehoa ja säätää kotitalouden vaatimat tehot tämän mukaiseksi. Tällöin koko tietyllä hetkellä käytössä olevaa kapasiteettia voidaan hyödyntää. Kulutusmittarin ohjaamasta kuormanhallinnasta nähdään esimerkki kuvassa 3.5. Esimerkissä auton lataukseen on varattu 16 A virtaa.



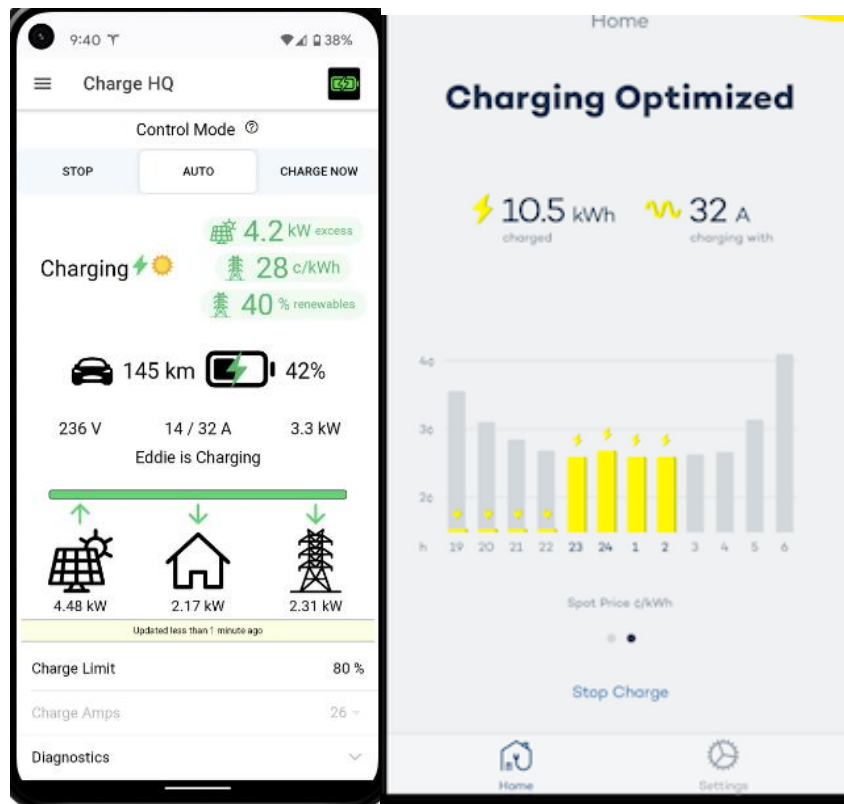
Kuva 3.5. Dynaamisen kuormanhallinnan järjestelmä. Kuvassa käytetty 3x25 A pääsulakkeita, jotka ovat yleisesti omakotitalossa käytettävät pääsulakkeet, sekä 16 A latausasemaa, joka on yleinen nimellisvirtamäärä sähköauton latausasemassa.

Tehonsäädön toteutukselle auton ja latausaseman välillä on monia keinoja aseman ja auton välillä kulkevista viestikaapeleista pilvipalveluihin. Tehonsäätö tapahtuu muuttamalla latausaseman lähettämää ohjaussignaalia, jolloin latausteho kasvaa tai pienenee. Tehonsäätö tapahtuu hyvin nopeasti, jolloin sähköverkko on suojassa mahdollisilta tehopiikeiltä.

3.4 Sovelluskäyttö

Sähköisen ajoneuvon lataussovellus on ohjelmisto, jonka avulla käyttäjät voivat hallita ja ohjata sähköauton latausta etänä. Näitä sovelluksia voi käyttää latausistuntojen aikatauluttamiseen ja aloittamiseen, latausistunnon tilan seuraamiseen ja sähköauton energiankulutuksen seurantaan. Joissain lataussovelluksissa käyttäjät voivat myös maksaa latausistunnot suoraan sovelluksen kautta ja saada ilmoituksia latausistuntojen tilasta.

Lataussovellukset voivat esimerkiksi helpottaa sähköauton omistajien latausajan hallintaa ja varmistaa, että ajoneuvo on aina ladattu ja valmis käytettäväksi. Lisäksi lataussovellukset tarjoavat käyttäjille kätevän tavan seurata energiankulutusta ja kustannuksia, mikä voi olla hyödyllistä budjetoinnin ja suunnittelun kannalta. Lataussovellukset ovat tärkeä työkalu niille, jotka haluavat hyödyntää sähköautoaan mahdollisimman tehokkaasti. Esimerkki latausasemien puhelinsovelluksien käyttöliittymistä esitettyinä kuvissa 3.6 ja 3.7.



Kuvat 3.6 ja 3.7. Esimerkkejä latausasemien puhelinsovelluksien käyttöliittymästä. (Chargehq.) (Virta)

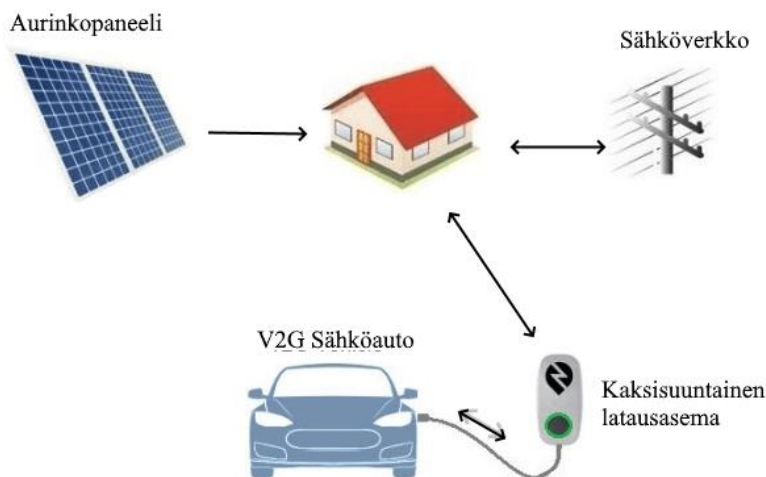
3.5 Vehicle to grid (V2G)

On arvioitu, että vuoteen 2030 mennessä liikenteessä on noin 200 miljoonaa sähköautoa, joista suurin osa viettää suuren osan ajastaan käyttämättömänä ja kytkettynä laturiin. (Britto, Kranich)

V2G, eli Vehicle to Grid, on osa älykästä latausjärjestelmää, jonka avulla sähköauton akussa olevaa ladattua energiaa pystytään siirtämään myös sieltä pois. V2G mahdollistaa auton akkuihin ladatun tehon siirron hetkellisesti takaisin verkkoon energiantuotannon ja -kulutuksen

vaihteluiden tasapainottamiseksi. Päätös ajoneuvon lataamisesta tai purkamisesta tehdään ajoneuvon lataustason ja sähköverkon tilanteen perusteella.

V2G tarvitsee toimiakseen latausaseman, joka tukee kaksisuuntaista tehonsyöttöä, sekä sähköauton joka tukee kyseistä tekniikkaa. Omakotitalon energianlähteenä olevista aurinkopaneeleista voidaan niiden keräämä aurinkoenergia kerätä talteen sähköauton akustoon ja myydä myöhemmin takaisin sähköyhtiölle. Energian siirto aurinkopaneelien, kodin, auton ja sähköverkon kanssa on esitettyinä kuvassa 3.8.



Kuva 3.8. Esimerkkikuva V2G toiminnasta ja energian kulusta aurinkopaneelien, auton, kodin ja sähköverkon välillä.

V2G-tekniikalla on potentiaalia tarjota useita etuja, mutta sen laajamittaisen käytön edellyttämiseksi on myös ratkaistava useita haasteita. Suurimmat ongelmat tekniikan käyttöönotossa liittyvät huonoon sähköverkkoinfrastruktuuriin sekä mahdolliseen verkon ruuhkautumiseen. Myös sähköauton akkujen säännöllinen lataaminen ja purkaminen voi ajan myötä johtaa akkujen heikkenemiseen, mikä voi vähentää niiden kokonaiskäyttöikää.

4 Simuloinnit

Simuloinneissa sähköautona käytetään Volkswagen ID.4 Pure - mallia. Auton akussa on 52 kWh nettokapasiteetti ja sen latausteho vaihtovirralla ladatessa on 7.2 kW (Volkswagen). Valitaan simuloinneissa vuosittaiseksi ajomääräksi 20 000 km, joka on hieman suurempi kuin keskiporto Suomessa rekisteröidyillä henkilöautoilla ajettu määrä (14000 km) (Lahtinen, 2018). Tällöin päivittäinen ajomatka on

$$\frac{20000 \text{ km}}{365} = 54.7945 \approx 55 \text{ km}$$

ID.4 Pure - auton sähkönkulutukseksi ilmoitetaan 16.9 kWh/100 km (Volkswagen). Päivittäisen ajomatkan (55 km) sähkönkulutus on tällöin

$$\frac{16.9 \text{ kWh}}{100} * 55 \text{ km} = 9.295 \text{ kWh}$$

Kotiin saapumisajaksi valitaan klo 16. Tämän jälkeen sähköauton käyttäjä kytkee auton laturiin heti kotiin saavuttuaan. Vaatimuksena sähköauto täytyy olla ladattuna täyteen klo 7 mennessä. Klo 16 jälkeistä satunnaista autoilua ei huomioida simuloinneissa.

Omakotitalon, jossa käytössä 3x25 A pääsulakkeet ja 230 V jännite, suurin kolmivaihesähköteho P saadaan yhtälöllä:

$$P = U * (3 * I) \tag{1}$$

Jossa P on sähköteho, U on jännite, I on virta

Tällöin kolmivaiheteho P on:

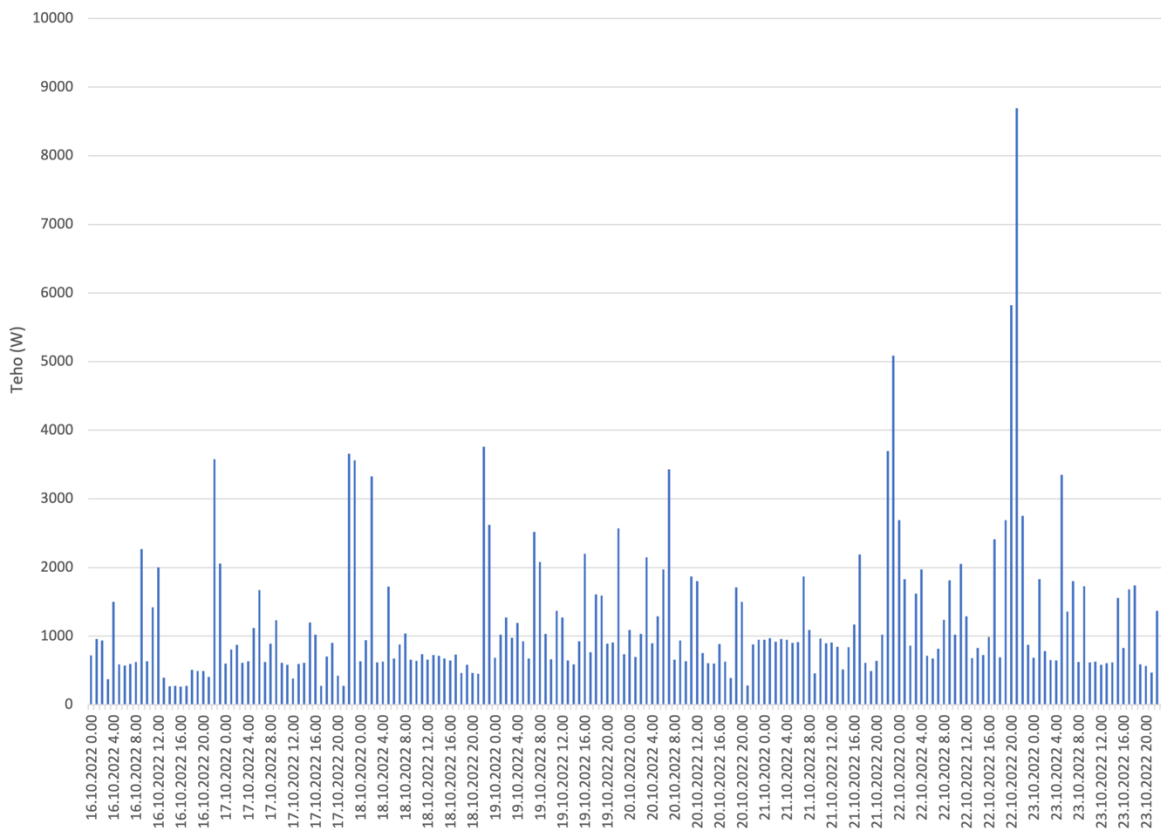
$$P = 230 \text{ V} * (3 * 25 \text{ A})$$

$$P = 17250 \text{ W}$$

Pääsulakkeiden teoreettinen maksimi P on 17250 W. Tämä on mahdollista saavuttaa vain symmetrisellä kuormituksella.

4.1 Ohjaamaton lataus

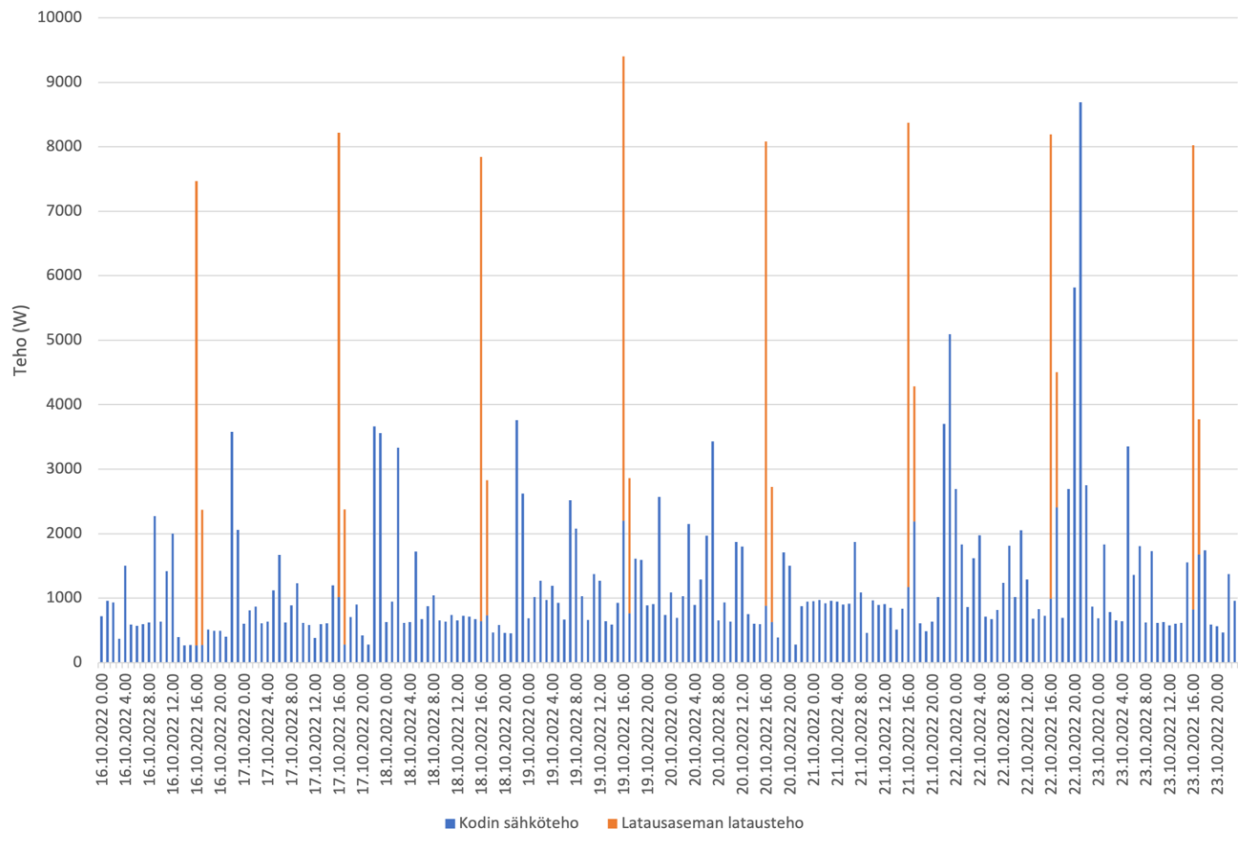
Kuvassa 4.1 on esitettyä omakotitalon sähköteho viikon ajalta. Kuvassa vasemmalla näkyy sähköteho watteina ja alhaalla ajanhetki neljän tunnin välein. Sinisillä pystypalkeilla on merkitty kodin sähköteho. Kuvassa on nähtävissä ajoittain tehopiikkejä, jotka johtuvat esimerkiksi kuikaan tai monen eri sähkölaitteen samanaikaisesta päällä olosta. Kuvan sähkötehossa ei ole mukana sähköauton latausasemaa.



Kuva 4.1. Omakotitalon sähköteho ajalta 16.10 – 23.10.2022

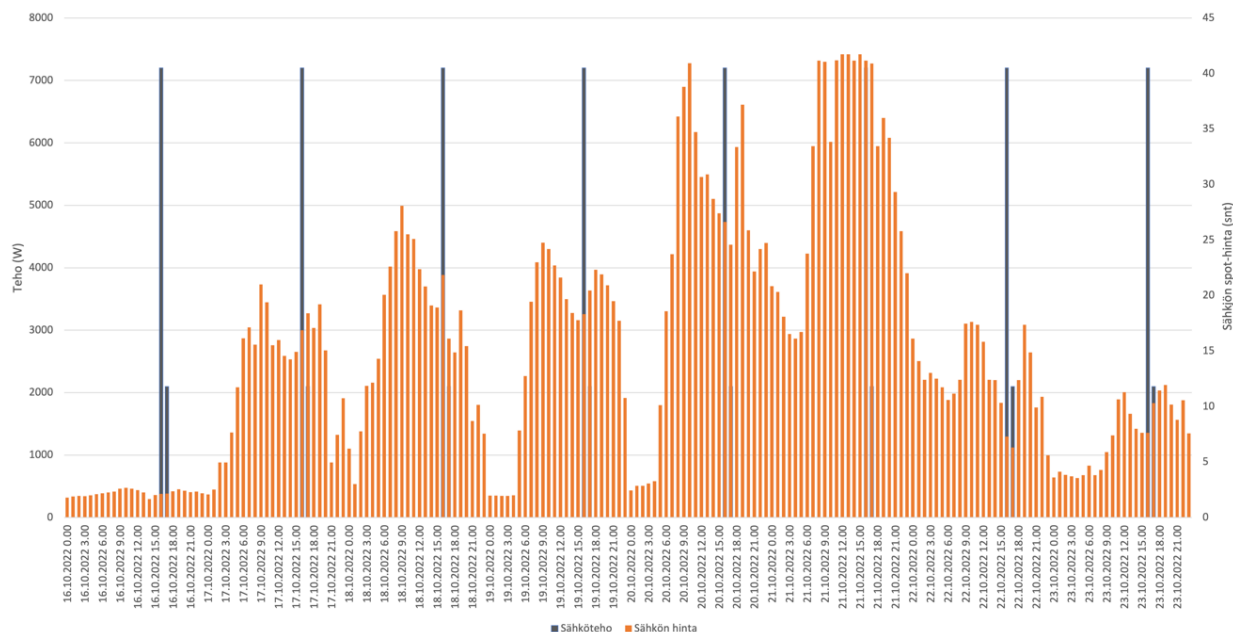
Kuvassa 4.2 on esitettyä omakotitalon sähkötehon lisäksi latausaseman latausteho. Kuvassa vasemmalla on teho watteina ja alhaalla ajanhetki neljän tunnin välein. Sinisillä pystypalkeilla on merkitty kodin sähköteho ja oransseilla latausaseman latausteho. Kuvassa latausasema on ohjaamaton latausasema, eli lataus alkaa heti, kun käyttäjä kytkee pistokkeen sähköautoon kotiin päästyään (Klo 16). Lataus jatkuu niin kauan, kunnes sähköauto on ladattu täyteen. Päivittäisen ajomatkan kulutukseksi oli laskettu 9.295 kWh, jolloin lataus kestää 7.2 kW lataustehollla $\frac{9.295 \text{ kWh}}{7.2 \text{ kW}} = 1.290 \dots \approx 1.3 \text{ tuntia}$. Tällöin ohjaamaton latausasema lataa klo 16

suurimmalla latausaseman sallimalla latausteholla (7.2 kW) ja klo 17 akun täyteen $9.295\text{ kW} - 7.2\text{ kW} = 2.095\text{ kW}$ teholla.



Kuva 4.2. Omakotitalon kokonaissähköteho, mukana latausasema

Kuvassa 4.3 on esitettynä latausaseman latausteho ja sähkön spot-hinta ajalta 16.10 – 23.10.2022. Sähkäteho on merkitty sinisillä pystypilareilla ja sähkön spot-hinta oransseilla. Kuvassa vasemmalla on sähkäteho watteina ja oikealla sähkön hinta sentteinä. Alhaalla on ajanhetki kolmen tunnin välein. Kuvasta voidaan havaita, että ohjaamattoman latauksen lataus-sessio sijoittuu lähes aina ajanhetkelle, jolloin spot-hinta on korkeimmillaan.



Kuva 4.3. Latausaseman sähkäteho ja sähkön spot-hinta 16.10 – 23.10.2022, lataus alkoi klo 16.

Lasketaan ohjaamattoman latauksen hinta viikon ajalta, kun lataus alkaa joka päivä kello 16 ja loppuu, kun akku on ladattu täyteen.

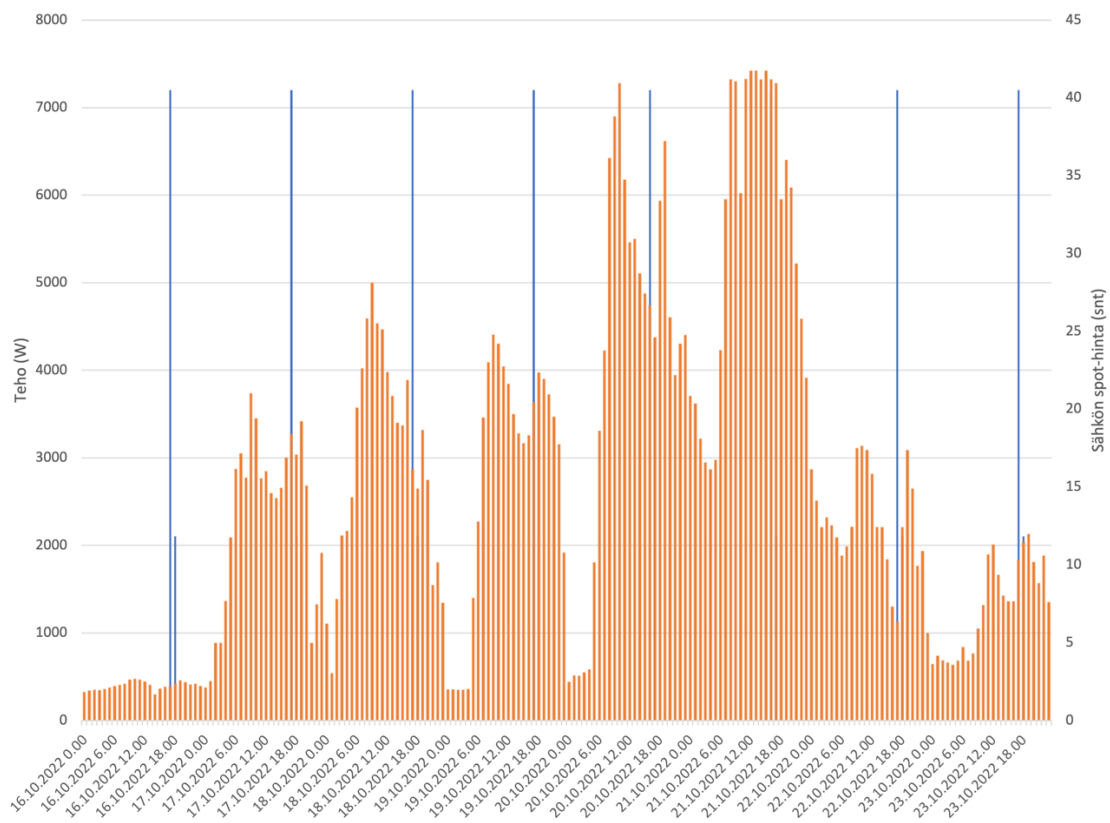
Taulukko 2. Sähköautoon ladattu energia ja sähkön hinta klo 16 ja 17 ajalta 16.10 – 23.10.2022. Sähkön hinta saatu sahko.tk sivulta.

Päivä-määrä	Klo 16 Lataus-teho (kW)	Klo 17 Lataus-teho (kW)	Sähkön spot-hinta klo 16 (snt / kWh)	Sähkön spot-hinta klo 17 (snt / kWh)	Latauk-sen hinta klo 16 (snt)	Latauk-sen hinta klo 17 (snt)	Latauk-sen hinta yhteensä (snt)
16.10	7,2	2,1	2,1	2,2	15,3	4,5	19,8
17.10	7,2	2,1	16,9	18,4	121,5	38,5	160,0
18.10	7,2	2,1	21,9	16,1	157,3	33,7	191,0
19.10	7,2	2,1	18,3	20,4	131,8	42,8	174,6
20.10	7,2	2,1	26,6	24,6	191,8	55,8	247,6
21.10	7,2	2,1	41,2	40,9	296,4	85,7	382,1

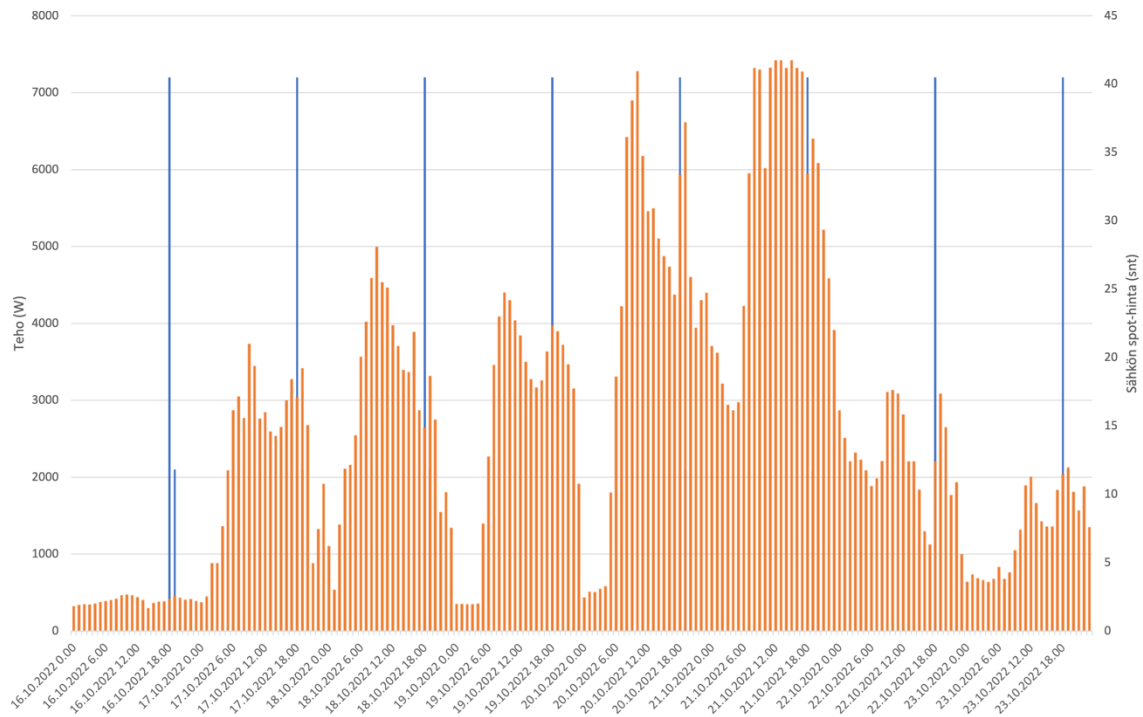
22.10	7,2	2,1	7,3	6,3	52,4	13,2	65,6
23.10	7,2	2,1	7,6	10,3	55,0	21,5	76,5

Sähköauton ohjaamaton lataus maksoi ajalta 16.10–23.10 yhteensä 13.2 €, kun lataus alkoi klo 16 ja loppui kun akku oli ladattu täyteen. Päivittäinen ajomatka oli 55 km ja akkuun ladattava energia 9.295 kWh. Päiväkohtainen keskiarvo oli $\frac{13,17 \text{ €}}{8} = 1,65 \text{ €}$.

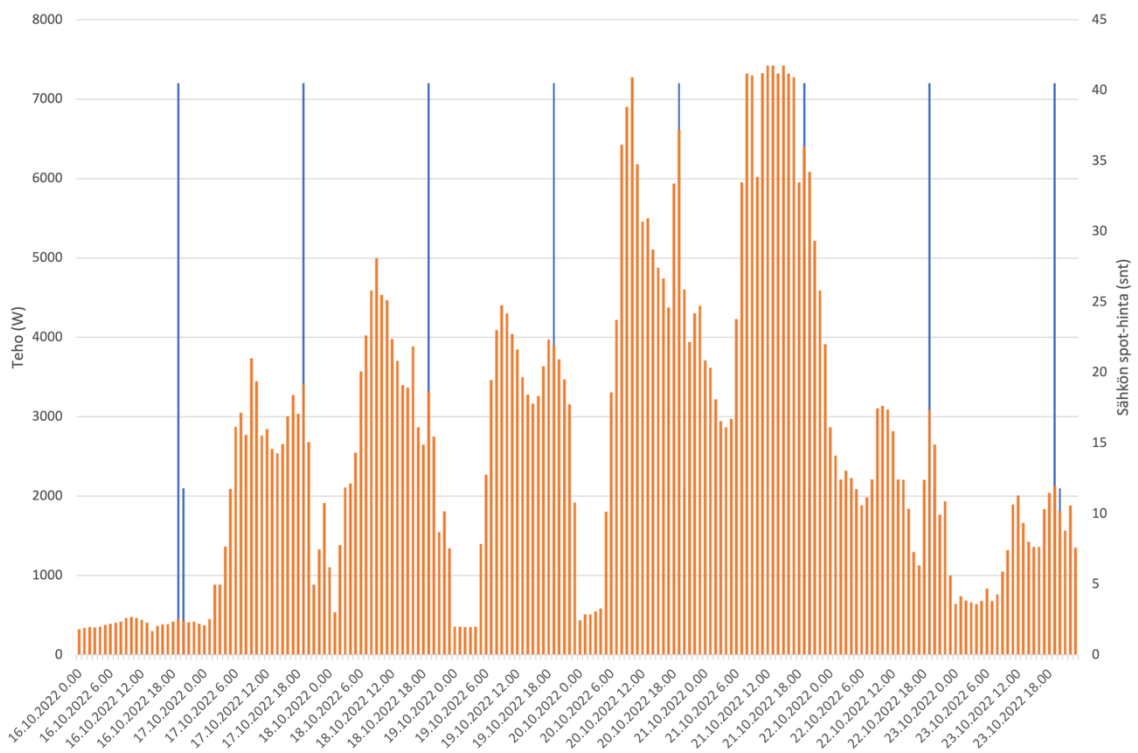
Kuvissa 4.4,4.5 ja 4.6 on latausaseman latausteho ja sähkön spot-hinta ajalta 16.10 – 23.10.2022. Latauksen aloitushetki on kuvassa 4.4 klo 17, kuvassa 4.5 klo 18 ja kuvassa 4.6 klo 19. Sähköteho on merkitty sinisillä pystypilareilla ja sähkön spot-hinta oransseilla. Kuvassa vasemmalla on sähköteho watteina ja oikealla sähkön hinta sentteinä. Alhaalla on ajanhetki kuuden tunnin välein.



Kuva 4.4 Latausaseman sähköteho ja sähkön spot-hinta 16.10 – 23.10.2022, lataus alkoi klo 17.



Kuva 4.5 Latausaseman sähköteho ja sähkön spot-hinta 16.10 – 23.10.2022, lataus alkoi klo 18.



Kuva 4.6 Latausaseman sähköteho ja sähkön spot-hinta 16.10 – 23.10.2022, lataus alkoi klo 19.

Lasketaan ohjaamattoman latauksen hinta viikon ajalta, kun lataus alkaa joka päivä kello 17, kello 18 ja kello 19 ja loppuu, kun akku on ladattu täyteen.

Taulukko 3. Volkswagen ID4 Pure - sähköauton latauksen hinta, kun lataus alkoi klo 17, klo 18 ja klo 19. ajalta 16.10 – 23.10.2022. Sähkön hinta saatu sahko.tk sivulta.

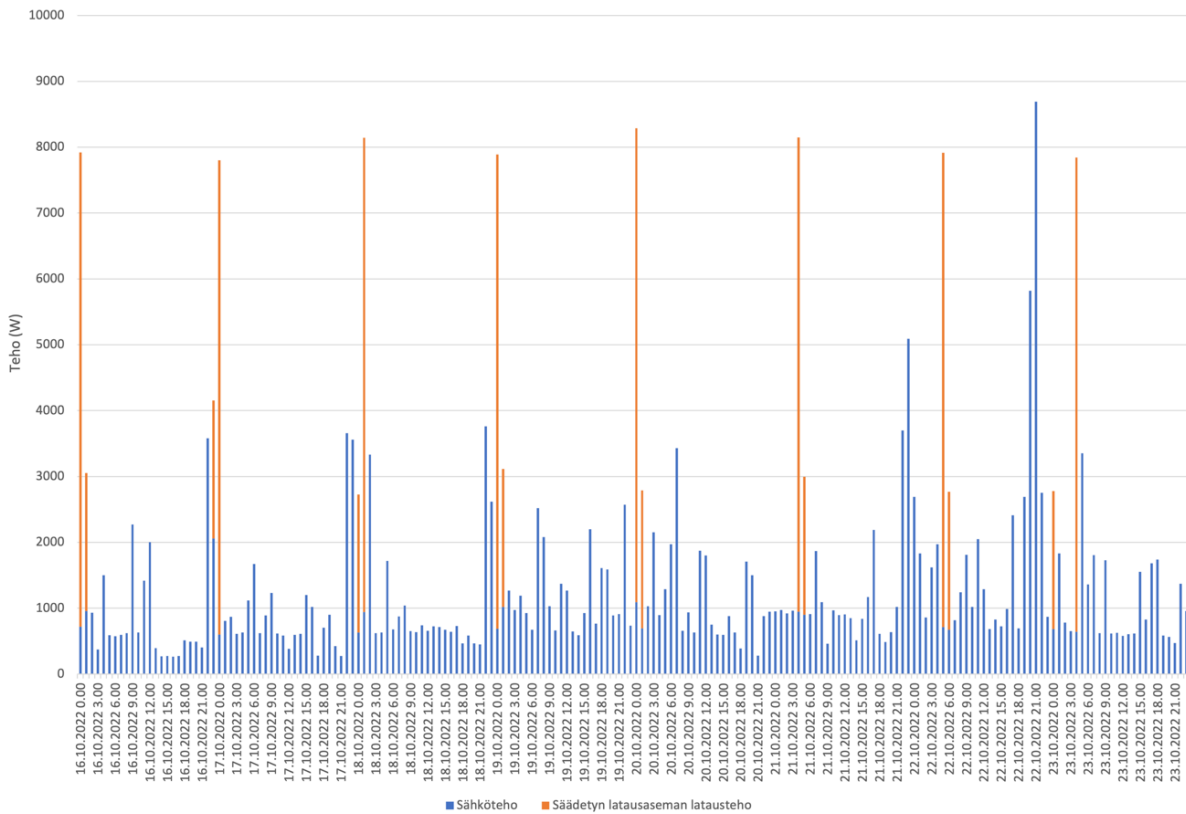
Päivämäärä	Klo 17 alkavan latauksen hinta	Klo 18 alkavan latauksen hinta	Klo 19 alkavan latauksen hinta
16.10	0.21 €	0.22 €	0.24 €
17.10	1.69 €	1.63 €	1.70 €
18.10	1.47 €	1.46 €	1.66 €
19.10	1.94 €	2.06 €	2.02 €
20.10	2.47 €	3.18 €	3.22 €
21.10	3.65 €	3.16 €	3.31 €
22.10	0.71 €	1.26 €	1.56 €
23.10	0.98 €	1.07 €	1.07 €
Yhteensä	13.1 €	14.1 €	14.8 €

Ohjaamattoman latauksen hinta muuttui hieman viikon ajalta, kun latauksen aloituskellonai-kaa muutettiin. Sähkön spot-hinta muuttui aikavälillä 16–19 vähän, joten latauksen hinta ei muuttunut kuin muutamia senttejä. Ohjaamattoman latauksen hinta oli silti moninkertainen ohjatun latauksen hintaan, vaikka latauksen aloitusajanhetkeä muutettiin.

4.2 Ohjattu lataus

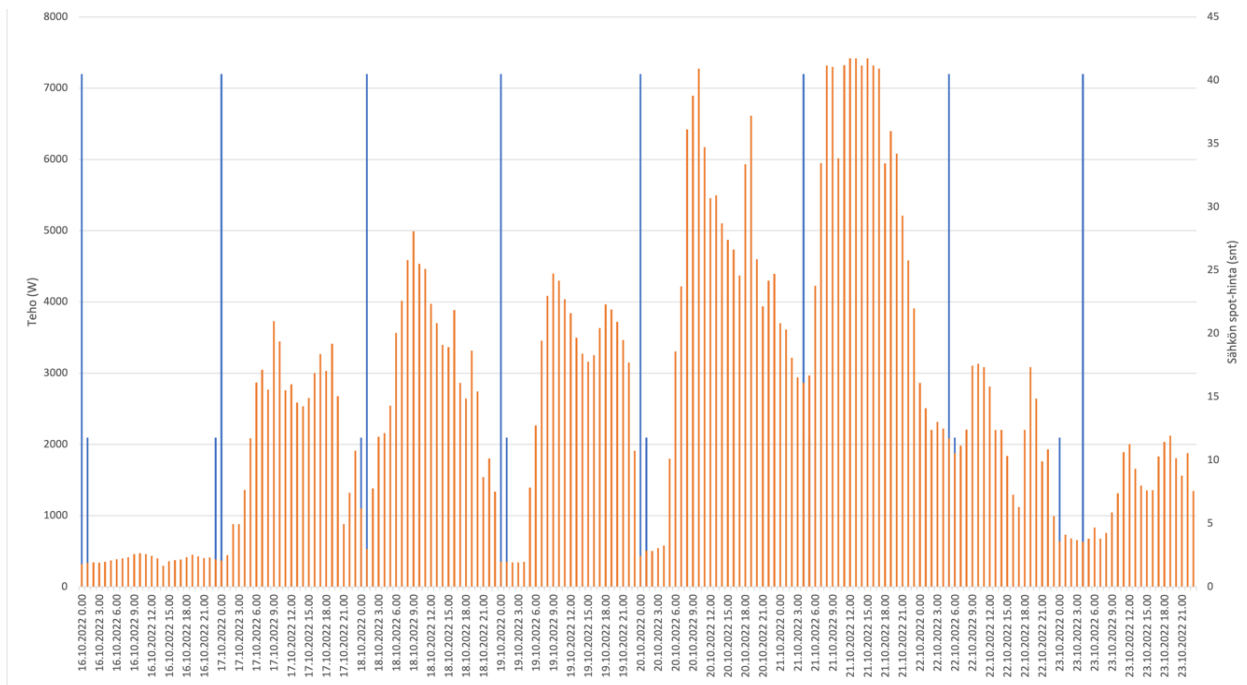
Ohjattu lataus seuraa sähkön hintaa, ja lataa kun sähkön spot-hinta on alhaisimmillaan. Ohjatussa latauksessa käyttäjä kytkee pistokkeen sähköautoon heti kotiin päästyään, mutta lataus ei ala heti, ellei spot-hinta ole hyvin alhaalla.

Kuvassa 4.7 on esitettyä omakotitalon sähkötehon lisäksi ohjatun latausaseman latausteho. Kuvassa vasemmalla on teho ja alhaalla ajanhetki kolmen tunnin välein. Sinisillä pystypalkeilla on merkitty kodin sähköteho ja oransseilla latausaseman latausteho. Kuvassa latausasema on ohjattu latausasema, eli lataus ei ala heti, kun käyttäjä kytkee pistokkeen sähköautoon, vaan lataus alkaa, kun sähkön spot-hinta on alhaisimmillaan. Kuvassa latauksen aloitus sijoittuu päivittäin välille klo 23–05. Kuvasta nähdään, että kokonaistehon määrä ei nouse verrattuna ohjaamattomaan lataukseen, vaan sähköauton latauksesta johtuvat tehopiikit siirtyvät myöhem-
pään ajankohtaan.



Kuva 4.7. Omakotitalon sähköteho ja ohjatun latausaseman latausteho ajalta 16.10 – 23.10.2022

Kuvassa 4.8 on esitettyä latausaseman sähköteho ja sähkön spot-hinta ajalta 16.10 – 23.10.2022. Latausteho on merkitty sinisillä pystypilareilla ja sähkön spot-hinta oransseilla. Kuvassa vasemmalla on sähköteho watteina ja oikealla sähkön hinta sentteinä. Alhaalla on ajanhetki kolmen tunnin välein. Kuvasta nähdään, että ohjatun latauksen lataussessio sijoittuu sähkön spot-hinnan kuoppiin. Nämä kuopat sijoituttavat aikavälille klo 23–05, jolloin sähkön hinta on alimmillaan, kuten työssä aikaisemmin todettiin.



Kuva 4.8. Ohjatun latausaseman latausteho ja sähkön spot-hinta.

Sähköauton ohjatun latauksen hinta ajalta 16.10–23.10.2022 saadaan tarkastelemalla sähkön spot-hintaa kertomalla se tarvittavan lataustehon määrällä. Latauksen hinnan määrittely näkyy liitteessä 1. Ohjatun latauksen hinta ajalta 16.10–23.10.2022 on 4.04 €.

Päiväkohtainen keskiarvo on tällöin $\frac{4.04}{8} = 0.505$ €

Latauksen hinta ohjattuna ajalta 16.10 - 23.10.2022 oli tällöin 13.1 € – 4.0 € = 9.1 € halvempi kuin ohjaamattomana. Teoreettisesti tämä tarkoittaisi kuukausitasolla $4 * 9.1$ € = 36.5 € ja vuositasolla $12 * 36.5$ € = 438 € eroa latauksen hinnassa. Nämä ovat esimerkkejä saatavista säästöistä ja vaihtelevat omakotitalon sähkönkulutuksen ja sähkön hinnan mukaan.

Omakotitalon, jossa 3x25 A pääsulakkeet, pääsulakkeiden suurin kolmivaiheteho P on teoreettisesti 17250 W. Simuloinneissa suurin hetkellinen sähköteho nousi korkeimmillaan noin 9500 Wattiin. Omakotitalon pääsulakkeet ovat riittävän kokoiset, jolloin edes sähköauton latauksen aiheuttamat tehopiikit eivät yllä sulakkeiden maksimitehon tasolle. Tulevaisuudessa sähköautojen kasvaessa lataustehon tarve kasvaa. Esimerkiksi jos taloudessa olisi kaksi täyssähköautoa ja niiden lataamiseen olisi kaksi 11 kW tehoista latausasemaa, olisi teoreettinen maksimiteho tällöin 22 kW, jolloin pelkän latausaseman käyttö ylittäisi 3x25A pääsulakkeiden maksimitehon. Tällöin vaatimuksena olisi pääsulakkeiden koon kasvattaminen tai

dynaamisen kuormanhallinnan sisältämän latausaseman käyttö, joka valvoisi maksimitehoa ja ohjaisi aseman syöttämää tehoa sen mukaan.

5 Yhteenveto

Tässä kandidaatintyössä tehdään katsaus älykkäisiin sähköauton latausjärjestelmiin. Työssä tutkitaan mistä osista älykäs latausjärjestelmä koostuu ja kuinka eri osat toimivat osana kokonaisuutta. Työssä selvitetään älykkään latausjärjestelmän osat ja toiminta sekä esitellään älykkään latausaseman ominaisuuksia. Simulointeja tehdään vertailemalla sähköauton latauksen vaikutusta omakotitalon sähkönkulutukseen ilman älykästä latausta ja älykkään latauksen kanssa. Älykkään latausjärjestelmän avulla voidaan lieventää sähköverkon kuormitusta siirtämällä latauskuormitusta pois sähkönkäytön ruuhka-ajoilta, mikä vähentää sähköinfrastruktuuriin tarvittavia investointeja.

Ohjaamaton latausasema voi kuormittaa omakotitalon sähköverkkoa ja lataus on kuluttajalle kalliimpaa ruuhkaisimmilla ajanhetkillä. Älykäs latausasema tarjoaa ratkaisun tähän ongelmaan optimoimalla ja valvomalla latausprosessia ja sen vaikutusta omakotitalon sähköverkkoon. Älykäs latausasema muodostaa langattoman yhteyden ja tarjoaa reaaliaikaista kommunikaatiota latausaseman, auton, sähköauton kuljettajan ja kodin sähköpiirin välillä. Dynaaminen kuormanhallinta mahdollistaa latausasemien ohjata sähköautojen latausnopeutta vastamaan verkkoon kohdistuvia muutoksia.

Simuloinneista huomattiin, että sähköauton lataus on ohjatulla latauksella huomattavasti edullisempaa verrattuna ohjaamattomaan lataukseen. Ohjatussa latauksessa myöskään tehopiikit eivät kasvaneet, vaan ne siirtyivät eri ajankohtiin. Ohjattu lataus valvoi jatkuvasti sähkön spot-hintaa ja ohjasi lataustehoa sen mukaan. Latausasemaan pystyisi myös asettamaan rajan maksimiteholle, jolloin kodin pääsulakkeet olisivat turvassa mahdollisilta tehopiikeiltä. Älykkään latausaseman avulla kuluttajan ei välttämättä tarvitse uusia kodin pääsulakkeita, joka aiheuttaisi kustannuksia, koska sähkökeskukselle täytyisi tehdä muutoksia. Tällöin myös perusmaksu nousisi, koska se määräytyy pääsulakkeiden koon mukaan.

Tutkimusta pystyisi jatkamaan esimerkiksi ottamalla suurempi aikaväli tarkkailuun, tutkimalla sähkön siirtymistä eri vaiheiden välillä sekä ottamalla älykkään latausaseman ominaisuuksien toiminta tarkempaan tarkisteluun.

Lähteet

Acea. 2022. European EV Charging Infrastructure Masterplan. [Pdf-dokumentti.] [Viitattu 30.11.2022] Saatavissa: <https://www.acea.auto/publication/european-electric-vehicle-charging-infrastructure-masterplan/f>

Becker, Mike. 2022. How do charging stations communicate with electric cars?. [Artikkeli.] [Viitattu 22.1.2023] Saatavissa: <https://evadept.com/how-do-charging-stations-communicate-with-electric-cars/>

Britto, Abhay Barnard. Krannich, Kevin. Ei päiväystä. What is vehicle-to-grid (V2G) technology?. [Verkkosivu]. [Viitattu 28.11.2022]. Saatavissa: <https://www.elektrobit.com/trends/vehicle-to-grid-technology/>

Defa. Ei päiväystä. What is full dynamic load balancing?. [Kuva]. [Viitattu 20.11.2022]. Saatavissa: <https://www.defa.com/what-is-full-dynamic-load-balancing/>

ENTSO-E. Ei päiväystä. Entso-e transparency platform. [Verkkosivu]. [Viitattu 9.12.2022] Saatavissa: <https://transparency.entsoe.eu/dashboard/show>

EV Charger OEM. Ei päiväystä. Ev-chargers-cables-and-connectors. [Kuva]. [Viitattu 23.11.2022]. Saatavissa: <https://evsepower.com/index.php/2022/03/09/ev-chargers-cables-and-connectors/>

Jansson, Caspar. 2021. EV Charging Infrastructure in Europe and North America. [Pdf-dokumentti]. [Viitattu 17.11.2022]. Saatavissa: <https://media.bergin-sight.com/2021/08/31205700/bi-EVcharging2-ps.pdf>

Korttelilataus. Ei päiväystä. ÄLYKÄS KUORMANHALLINTA SÄHKÖAUTON LATAUKSEEN. [Verkkosivu]. [Viitattu 20.11.2022]. <https://korttelilataus.fi/info/alykas-latausasemien-kuormanhallinta/>

Motiva. 2018. Sähköautojen latauspisteet kuntoon. [Pdf-dokumentti]. [Viitattu 24.11.2022.] Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot_-_yhdessä_energiatehokkaasti/sahkoautojen_lataus/sahkoautojen_latauspisteet

Precedence Research. Ei päiväystä. Electric Vehicle Charger Market Size, Growth, Report 2022-2030. [Verkkosivu]. [Viitattu 26.11.2022]. Saatavissa: <https://www.precedenceresearch.com/electric-vehicle-charger-market>

Sesko. 2021. Sähköajoneuvojen lataussuositus. [Pdf-dokumentti]. [Viitattu 24.11.2022]. Saatavissa: <https://sesko.fi/standardointi/sahkoautot-ja-latausjarjestelmat/lataussuositus/>

Solid Studio. Ei päiväystä. ISO 15118. [Pdf-dokumentti]. [Viitattu 5.12.2022] Saatavissa: <https://cdn.sanity.io/files/lofvu8al/production/2623ce45c14754ac6c309bcfb7e03fc746d346aa.pdf>

Unitil. 2022. Making the Most of Electric Vehicle Time-of-Use Rates [Blog-kirjoitus]. [Viitattu: 2.1.2023]. Saatavissa: <https://unitil.com/blog/making-most-electric-vehicle-time-use-rates>

Van Heck, Sjoerd. Heineken – Van Dooren, Marierose. 2022. EVBox Mobility Monitor. [Pdf-dokumentti]. [Viitattu 2.1.2023]. Saatavissa: <https://evbox.com/en/mobility-monitor-2022>

Virta. Ei päiväystä. SMART CHARGING OF ELECTRIC VEHICLES. [Verkkosivu]. [Viitattu 24.11.2022]. Saatavissa: <https://www.virta.global/smart-charging>

Sierra I. Spencer, Zhe Fu, Elpiniki Apostolaki-Iosifidou, Timothy E. Lipman. 2021. Evaluating smart charging strategies using real-world data from optimized plugin electric vehicles [Pdf-dokumentti]. [Viitattu 2.12.2022] Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920921003217>

Volkswagen. ID.4 – Hinnasto. 2022. [Pdf-dokumentti]. [Viitattu 15.12.2022] Saatavissa: <https://www.volkswagen.fi/fi/auton-hankinta/hinnastot-ja-esitteet.html>

Ympäristöministeriö. 2022. EU:n ympäristöministerit sopivat ilmastopaketin useista lainsäädäntöehdotuksista – päästökaupan laajentaminen etenee. [Tiedote]. [Viitattu 25.12.2022] Saatavissa: <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/eu-n-ymparistoministerit-sopivat-ilmastopaketin-useista-lainsaadantoehdotuksista-paastokaupan-laajentaminen-etenee>

Liitteet

Liite 1. Ohjatun latauksen hinta ajalta 16.10 – 23.10.2022

Päivämäärä	Latauksen aloitus kellonaika	Lopetus kellonaika	Sähkön hinta aloitushetkellä (snt)	Sähkön hinta lopetushetkellä (snt)	Latausteho aloitushetkellä (kW)	Latausteho lopetushetkellä (kW)	Kokonaishinta täydelle lataukselle
16.10.2022	0:00	1:00	1.8	1.89	7.2	2.095	16.91955
17.10.2022	23:00	0:00	2.19	2.08	2.095	7.2	19.56405
18.10.2022	0:00	1:00	6.2	3.01	2.095	7.2	34.661
19.10.2022	0:00	1:00	1.98	1.98	7.2	2.095	18.4041
20.10.2022	0:00	1:00	2.45	2.86	7.2	2.095	23.6317
21.10.2022	4:00	5:00	16.12	16.71	7.2	2.095	151.07145
22.10.2022	5:00	6:00	11.76	10.58	7.2	2.095	106.8371
23.10.2022	0:00	4:00	3.6	3.56	2.095	7.2	33.174
							Kokonaishinta viikossa
							404.26295
							Euroina:
							4.0426295