

Älykkään latauksen soveltaminen sähköautoille
Application of smart charging for electric vehicles
Ismo Tirronen

TIIVISTELMÄ

LUT-yliopisto
LUT School of Energy Systems
Sähkötekniikka

Ismo Tirronen
Kandidaatintyön nimi

2020

Kandidaatintyö.
21 s.
Tarkastaja: Ville Tikka

Tässä tutkimuksessa selvitetään sähköajoneuvojen (EV) latauksen ohjaamisesta omakotitaloissa. Esitely ohjausmenetelmä sähköautojen lataukseen hyödyntää reaaliaikaisia mittauksia ja muistiin tallennettuja huipputeho kulutuksia sopivan lataustehon määrittämiseksi. Ohjausmenetelmän tarkoituksena on välttää turhia huipputehopiikkejä ja tasoittaa kulutusta asiakkaan tarpeiden mukaisesti, sekä varmistaa sähköauton riittävä lataus. Tällainen ohjausmenetelmä voisi johtaa kustannussäästöihin, jos jakeluverkon tariffiin sisällytetään kuukausittaiseen huipputehoon perustuva hintakomponentti. Jotkut suomalaiset siirtoverkohtaltijat ovat ottaneet käyttöön tällaisen tehopohjaisen jakelutariffin myös pienimuotoisille asiakkaille. Simulaatiot osoittavat, että sähköautoa voidaan ohjausmenetelmän avulla ladata nostamatta kuukausittaisia huipputehoja tai säätelemättä talon muuta kuormaa.

ABSTRACT

LUT University
LUT School of Energy Systems
Electrical Engineering

Ismo Tirronen

Application of smart charging for electric vehicles

2020

Bachelor's Thesis.

21 p.

Examiner: Ville Tikka

This study investigates the controlling of electric vehicle (EV) charging and its profitability in single-family homes. The introduced control method for charging electric cars utilizes real-time measurements and peak power consumption stored in memory to determine the appropriate charging power. The purpose of the control method is to avoid unnecessary peak powers and to smooth the consumption according to the customer's needs, and to ensure sufficient charging of the electric car. Such a control method could lead to cost savings if a price component based on monthly peak power is included in the distribution network tariff. Some Finnish distribution system operators (DSO) have also launched such a power-based distribution tariff for small-scale customers. The simulation shows that the electric car can be charged using the control method without raising the monthly peak power or controlling the other loads of the property.

SISÄLLYSLUETTELO

Käytetyt merkinnät ja lyhenteet

1. Johdanto.....	6
2. Sähköinen liikenne ja lataus	7
2.1 Sähköautojen määrän kasvu.....	7
2.2 Lataustavat	8
3. Älykkään latauksen sovellus kotitalouskäytössä	11
3.1 Kustannukset	11
3.2 Tehoperusteinen hinnoittelu ja säästö mahdollisuudet	13
3.3 Energia- ja tehoerusteisen hinnoittelun vertailu.....	15
4. Yhteenveto ja johtopäätökset.....	19
Lähteet.....	19

Liitteet

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

P	teho
t	aika
H	siirtohinta
W	energia

Alaindeksit

e,siirto	energiaperusteinen siirtohinta
k,a	kulutus vuodessa
päivä	päiväkulutus
yö	yökulutus

1. JOHDANTO

Sähköautojen yleistyessä ja tullessa entistä suosittumiksi, on niiden lataukseen alettu kiinnittämään enemmän huomiota. Suomen hallitus on asettanut tavoitteeksi, että suomessa on 250 000 sähköautoa vuoteen 2030 mennessä (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2016).

Tällainen määrä nostaa sähköautojen latauksen tarvetta ja kontrolloimaton lataaminen tuottaa välttämättä ongelmia jakeluverkolle (Qian et al, 2010). Latausta voidaan siis optimoida älykkään latauksen avulla ja keinoja on joko minimoimalla huippukuormitusta kotitalousjärjestelmästä tai sähkön kustannuksia. Älykäs lataus huippukuormituksen vähentämiseksi perustuu siihen, että sähköautojen lataustila olisi tiedossa ja milloin sähköautot ovat lähdessä taas liikkeelle, tämä ei kuitenkaan ole yleensä tiedossa (Kütt et al, 2014), (Reiner et al, 2012).

Viime vuosina Euroopassa on ollut paljon keskustelua siirtoverkon operaattoreiden jakelu tariffien muuttamisesta enemmän tehopohjaiseen suuntaan. Tämän tarkoituksena on, että perinteisen energiapohjaisen (€/kWh) laskutuksen mukaan otettaisiin lisäksi tai sijaan käyttöön tehopohjainen (€/kW) mukainen laskutus järjestelmä. Tehoon perustuvien jakelu tariffien käyttöönoton mahdollistaa taloihin liitetyt älymittarit, jotka seuraavat tehon kulutusta. Suomessa älykkäitä mittareita on mittaamassa yli 99%:n verkon kuluttajan sähkön kulutusta (Energiavirasto, 2018). Suomessa osa jakeluverkko operaattoreista on jo ottanut käyttöön tehoon perustuvia jakelutariffeja pienasiakkaille. Sähköautojen latauksen epäoptimaalinen hallinta voi tuottaa tarpeetonta käyttökustannuksen kasvua, siksi on järkevää perehtyä vaihtoehtoihin, joissa sähköauto ladataan mahdollisimman pienellä huipputehon kasvulla.

Sähköautojen latauksen huippukuormituksen hallinta asunnoissa voi johtaa kustannussäästöihin jokaiselle asunnonomistajalle. Jokaisessa asunnossa kuuluisi olla sähkömittari, jotta asiakkaat voivat jakaa koko rakennuksen verkosta ostaman sähkön kustannukset. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/72/EY määrittelee, että jokaisella asiakkaalla täytyy olla mahdollisuus tehdä tarjouskilpailua eri vähittäiskauppioiden välillä (Euroopan unionin virallinen lehti, 2009).

Tässä työssä selvitetään sähköautojen latauksen ohjausta ja erilaisia ohjausmenetelmiä, minkä pääajatuksena on rajoittaa huippukuormituksia ja ohjata latausta syöttölaitteen vapaan tehokapasiteetin perusteella. Tätä ohjausmenetelmää voidaan soveltaa sähköajoneuvojen lataukseen eli lataustehoa pienennetään tai kasvatetaan tarvittaessa, latausta voidaan myös jatkaa energian varastointijärjestelmällä esimerkiksi akulla. Ohjausmenetelmän hyötyjä kotitaloudessa on tarkasteltu kustannusten osalta vertaamalla energia- ja tehopohjaisten sähkönsiirtohintojen eroja.

2. SÄHKÖINEN LIIKENNE JA LATAUS

Sähköajoneuvot ovat ajoneuvoja, jotka käyttävät yhtä tai enempää sähkömoottoria tai muuta sähkökäyttöistä voiman lähdettä ajoneuvon liikuttamiseen. Pistokkeeseen kytkettäviä (PEV) sähköajoneuvoja ovat kaikki ajoneuvot, joita voidaan ladata ulkoisesta sähkölähteestä ja sähkö varastoidaan ladattaviin akkuihin, joista sitä käytetään ajon aikana. Pistokkeeseen kytkettävät ajoneuvot (PEV) on niin sanottu alaluokka, johon sisältyy täyssähköajoneuvot (FEV) tai akku sähköajoneuvot (BEV), pistokkeeseen kytkettävä lataushybridit (PHEV) ja sähköauto muunnokset hybridi-autoista ja polttoajoneuvoista. Akku sähköajoneuvot ovat sähköajoneuvoja, jotka käyttävät ladattaviin akkuihin varastoitua kemiallista energiaa. Pistokkeeseen kytkettävät hybridi-sähköautot ovat hybridi ajoneuvoja, joiden akut voidaan ladata ulkoisesta virtalähteestä tai niiden mukana olevilla moottorilla ja generaattorilla. Sähköautoja ovat pääasiassa moottoriteillä liikkuvat ajoneuvot, jotka liikkuvat sähköä avulla. Kun taas sähköajoneuvo viittaa mihin tahansa ajoneuvoon, joka käyttää sähkömoottoreita liikkumiseen.

Suomessa sähköisen liikenteen määrä ja sähköautokanta on lähtenyt lähiaikoina suureen kasvuun vuoteen 2018 verrattuna. Täyssähköautojen mallivalikoiman laajentuminen on näkynyt jo vuoden 2019 alkuvuoden rekisteröintimäärissä. Kiinnostusta nostaa autojen pidentynyt toimintamatka sekä edullisempien mallien ilmestyminen, kuitenkin pitkät toimitusajat ulkomailta hidastavat kasvua Suomessa. Käytettyinä maahantuotujen hybridiautojen osuus on kasvanut merkittävästi, vuonna 2019 Suomessa olevista ladattavista hybrideistä yli puolet on hankittu käytettynä ulkomailta. (Trafin tilastokanta, 2019)

2.1 Sähköautojen määrän kasvu

Sähköautoja on ollut Suomessa vuonna 2015 noin 1580 kappaletta, tästä 614 kappaletta oli täyssähköautoja, kuitenkin vuoden 2018 loppuun mennessä oli täyssähköautoja jo 2404 kappaletta ja ladattavien hybridien määrä oli kasvanut jopa 13 095 kappaleeseen. Suomessa sähköauto kanta on siis lähtenyt viime vuosina isoon kasvuun, Suomessa sähköautojen määrille on asetettu jo tavoitteita. Vuoteen 2030 mennessä Suomessa on tarkoitus olla jo 250 000 sähköautoa, välitavoite tähän on 20 000 autoa vuoteen 2020 mennessä. Vuoden 2020 tavoite on jo saavutettu vuonna 2019, Kuvassa 2.1 näkyy että Suomessa on ollut vuoden 2019 puolivälissä noin 21 600 sähköautoa, joista täyssähköautoja on 3 500 kappaletta.

Sähköisen liikenteen kasvun edistämiseksi on erilaisia tukimekanismeja, kuten asuinrakennuksille asennettavien sähköautojen latauspisteiden lataamiselle myönnetään rahallista tukea. Täyssähköauton ostamista ja pitkäaikaisvuokraamista kannatetaan maksamalla hankintatukea vuosina 2018-2021. Varsinkin ladattavien hybridien määrä on jopa kaksinkertaistunut joka vuosi sitten 2015 ja täyssähköautojenkin määrä on näyttänyt selvää kehitystä. Esimerkiksi ladattavien hybridien kanta on kasvanut 90% ja täyssähköautojen 88% vuosien 2018-2019 välillä (Teknologiateollisuus, 2019).



Kuva 2.1 Sähköautokannan kasvu neljännesvuosittain. (Teknologiateollisuus, 2019)

2.2 Lataustavat

Sähköautot jaetaan eri kategorioihin eli täyssähköautoihin, lataushybrideihin ja kevyisiin sähköajoneuvoihin. Näiden ajoneuvojen lataamiseen sähköverkoissa noudatetaan pienjänniteasetuksia standardin SFS 6000 mukaan (SFS 6000, 2017). Sähköajoneuvoille on määritelty eri lataustapoja. Sähköajoneuvoja on erilaisia ja siksi niille on kehitelty neljä erilaista lataustapaa, lataustapa 1 on tarkoitettu kevyiden sähköajoneuvojen lataamiseen, kuten sähköpolkupyörille tai skoottereille. Lataustapa 2 on varmaan eniten käytetty lataustapa sähköautoille ja soveltuu enemmän vain väliaikaiseen lataamiseen kuten matkoille, eikä sen takia sovellu pitkäaikaiseen lataukseen. Lataustapa 3 on sähköajoneuvoille suositeltavin lataustapa ja se tapahtuu erillisellä latauslaitteella. Lataustapa 4 on sähköajoneuvoille käytettävä niin sanottu pikalataus, jossa sähköajoneuvon akustoa syötetään tasasähköllä suurella virralla auton ulkopuolella olevasta tasasähkölaturista.

Lataustavassa 1 laturia syötetään tavanomaisesti maadoitetusta 230V vaihtosähköllä normaalista kotitalouspistorasiasta, joka on suojattu 30mA vikavirtasuojalla. Tyypillisesti kotitalouspistorasia ja syöttöjohto ei välttämättä ole mitoitettu kestävästi jatkuvaa suurta kuormitusta, minkä takia on riski, että pistorasia tai syöttöjohto kuumenee liikaa.

Lataustavassa 2 erona lataustapaan 1 on latauskaapelissa sijaitseva suoja- ja ohjauslaiteyksikkö. Tähän laitteeseen sisältyy vikavirtasuojaja ja kommunikaatiomoduli, joka osaa kertoa auton laturille, että latausvirtaa pitää rajoittaa. Ajoneuvo liitetään latauspisteeseen vaatimusten mukaisella latausjohdolla, jossa on standardin SFS-EN 62752 mukainen ohjaus- ja suojauslaiteyksikkö (SFS-EN 62752, 2016). Sähköajoneuvoa ladataan vaihtosähköllä joko standardin SFS 5610 mukaisesta kotitalouspistorasiasta (Suomen standardisoitumislaitos SFS 5610, 2015) tai standardin SFS-EN 60309 mukaisesta teollisuuspistorasiasta vaihtosähköllä esimerkiksi auton lähellä olevasta lämmityspistorasiasta (SFS 60309, 2000). Kotitalouksissa pistorasiat on usein suojattu 10A sulakkeella tai johdonsuojakatkaisijalla. Vuosien aikana on huomattu, että kotipistorasiat eivät kestä jatkuvasti 16A mitoitusvirtaansa, vaikuttavia tekijöitä ovat myös pistorasian puhtaus ja kontaktijousien jännitys (Sesko, 2019). Teollisuuspistorasioita voidaan kuormittaa mitoitusvirrallaan pidempiäkin aikoja.

Lataustapa 3 on sähköajoneuvoille suositeltavin lataustapa, lataus suoritetaan autonvalmistajan hyväksymän kiinteän latauslaitteen avulla, joita on yleensä asennettu työpaikoille tai kotiin. Latausvirta voi olla näillä latauslaitteilla 63A ja sillä voidaan saavuttaa maksimissaan 43kW latausteho. Käytävissä olevasta sähkötehosta riippuen pistorasiaa voidaan myös käyttää pienemmillä virroilla (Sesko, 2019).

Kansainvälisen lainsäädännön mukaan näissä julkisissa vaihtosähkö latausasemissa on oltava standardin SFS-EN 62196-2 mukaisen tyypin 2 pistorasiassa tai ajoneuvopistoke ja niissä tulee mahdollisuuksien mukaan käyttää älykästä latausjärjestelmää (SFS 62196-2, 2017). Ajoneuvon lataaminen kestää noin 1-6 tuntia, tähän kuitenkin vaikuttaa laturin koko, akun koko ja akun varaustila. Tämän tyypin latausjärjestelmissä on tiedonsiirto väylä, jonka avulla voidaan varmistaa, että ajoneuvo on kytketty latauspisteeseen oikein ja turvallisesti. Tiedonsiirtoväylän avulla voidaan myös ohjata kuormitusta ja virran syöttöä (Sesko, 2019).



Kuva 2.3 Tyypin 2 pistorasia ja pistoke, jota käytetään lataustavoissa 2 ja 3.

Lataustapa 4 on sähköajoneuvon pika- / tehollataus keino, jossa autoa ladataan tasasähköllä auton ulkopuolisesta tasavirtalaturista. Latausjohto on latausaseman osa ja latausjohdon ajoneuvopistoke on standardin SFS-EN 62196-3 mukaista rakennetta FF eli niin sanotusti kuvan 2.4 mukainen CCS- pistoke. Kansallisen lainsäädännön määritelmän mukaan lataustavan 4 julkisissa latausasemissa on oltava tyypin 2 pistorasian tai ajoneuvopistokkeen lisäksi tai sijaan standardin SFS-EN 62196-3 mukainen tyypin FF ajoneuvopistoke ja niissä tulee olla mahdollisuus käyttää älykästä latausjärjestelmää (SFS-EN 62196, 2016) (Sesko, 2019).

Sähköajoneuvoja voidaan myös ladata johdottomasti siirtämällä energiaa induktiivisesti tienpintaan tai muuhun alustaan upotetun käämin ja ajoneuvon alle asennetun käämin välillä. Tämän johdottoman latausjärjestelmän turvallisuusvaatimuksia käsittelee standardisarja IEC 61980 (IEC 61980, 2017).



Kuva 2.4 CCS-pistoke ja pistorasia, jota käytetään lataustavassa 4.

Autoon syötettävät lataustehot on saatu nykyään jo 22-300 kW:n, koska tasavirrat ovat nostettu jo satoihin ampeereihin. Koska pikalataus pisteet pystyvät lataamaan akun 80%:iin noin puolessa tunnissa, on osa julkisista latauspisteistä pikalatauspisteitä. Nämä latauspisteet eivät kuitenkaan ole yleisin vaihtoehto, koska kaikki ajoneuvot eivät sovellu pikaladattaviksi. (Plugit, 2019)

3. ÄLYKKÄÄN LATAUKSEN SOVELLUS KOTITALOUSKÄYTÖSSÄ

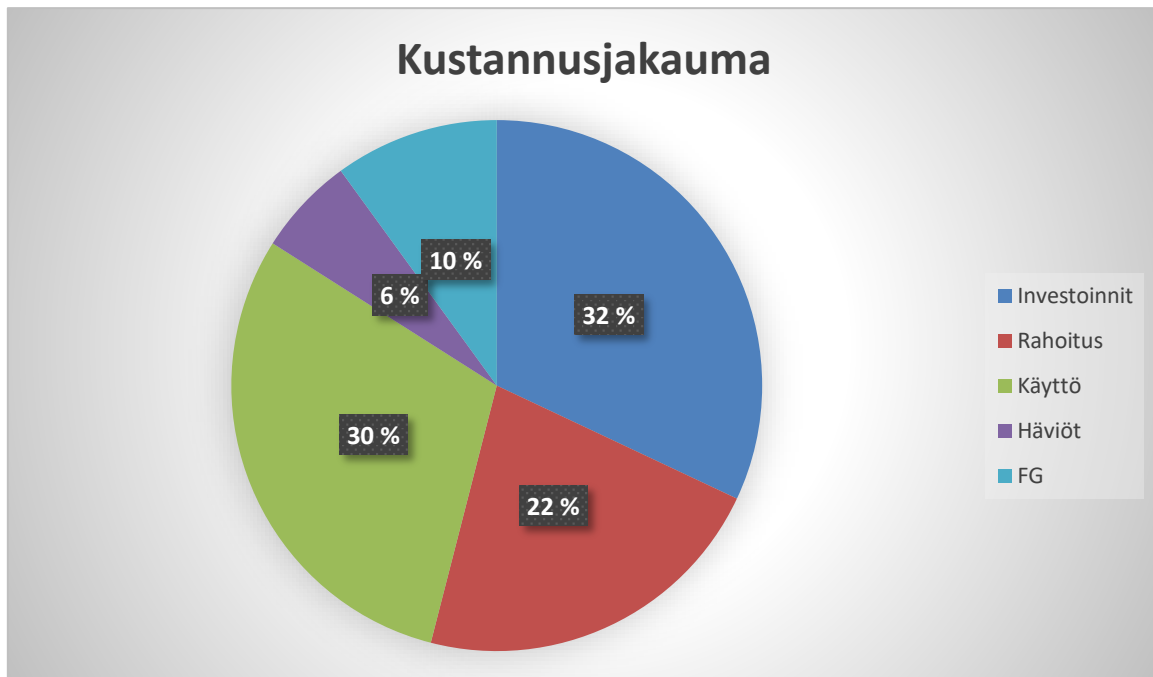
Tässä luvussa käsitellään älykkään latauksen sovellusta kotitalousympäristössä perehtymällä ensin tarkastelemaan asiakkaan sähkölaskun muodostumista ja simulaatioiden kautta tarkastelemalla energia- ja tehoperusteisen sähkölaskun eroja ja säästö mahdollisuuksia älykkään latauksen avulla. Käyttämällä sulaketta tai kaapelia ainoana kapasiteettia rajoittavana tekijänä sähköajoneuvojen lataukselle, saattaa koko kiinteistön huipputeho nousta huomattavasti ja siksi sähköajoneuvon latauksen käyttökustannukset saattavat myös nousta. Tässä työssä esitetään siis kustannusten muodostumista kotitalousasiakkaan näkökulmasta. Sen jälkeen vertailemme energia- ja tehoperusteisen laskutusten suuruutta kotitalous asiakkaan näkökulmasta, kun talouteen kuuluu sähköauto ja sen latauspiste.

Sähköauton latauksesta johtuvien huipputehojen kasvamisen vähentämiseksi tutkitaan tässä työssä älykkään latauksen mahdollisuutta ratkaista tämä ongelma. Älykkäällä latauksella tarkoitetaan latausjärjestelmää, jossa latausasemat voivat seurata, ohjata ja rajoittaa lataustehoa, jotta energian kulutus voidaan optimoida. Verrattuna hallitsemattomaan lataukseen älykäs lataus tasoittaa sähkönkäyttöä siirtäen latauksesta johtuvaa huipputehon kasvua muulle ajalle kaiken muun kulutuksen vuoksi.

3.1 Kustannukset

Verkkoyhtiön näkökulmasta tariffien täytyy varmistaa kaiken kattava ja ennustettava tulomuodostus, joka varmistaa asiakkaiden ja toimintaympäristön tarvitseman jakeluverkon rakentamisen, käyttämisen ja ylläpitämisen. Jakeluverkkoon kuuluvat komponentin, kuten muuntajat ja johtimet mitoitetaan sähköverkon tehotarpeen mukaan. Näihin arvoihin vaikuttaa yksittäisten asiakkaiden tehotarpeet, sekä suuren asiakasryhmän huipputeho, johon taas vaikuttaa tehon risteily eri asiakkaiden välillä.

Pienasiakkaiden nykyinen siirtomaksun suuruus riippuu asiakkaalle siirretystä sähköenergian (kWh) määrästä. Siirtomaksuun kuuluu energiankäyttöön perustuvaan maksun osaan myös kiinteä perusmaksu, jonka suuruus riippuu osalla verkkoyhtiöistä taloissa olevan pääsulakkeen koosta. Kuvassa 3.1 nähdään jakeluverkkoyhtiön tyypillinen kustannusjakauma. Kuvasta on nähtävissä, että yli puolet kuluista on tehosta riippuvia pääomakustannuksia (investoinnit ja rahoitus). Tämän takia on ongelmallista, että siirtomaksut ovat energiasidonnaisia ja olisi perusteltua kytkeä asiakkaille kohdistettavat siirtomaksut sähköverkkoyhtiön todellisiin kustannuksiin, jotka riippuvat pitkällä aikavälillä sähkönsiirtoon varattuun kapasiteettiin eli tehoon (kW). Vaikka sulakepohjaiseen perusmaksuun sisältyy teho riippuvuus, ja on siltä osin kustannusvastaavampi kuin kiinteä perusmaksu, on sen ohjausvaikutus käytännössä melko heikko (Honkapuro et al, 2017).



Kuva 3.1 Sähköverkkoyhtiön tyypillinen kustannusjakauma.

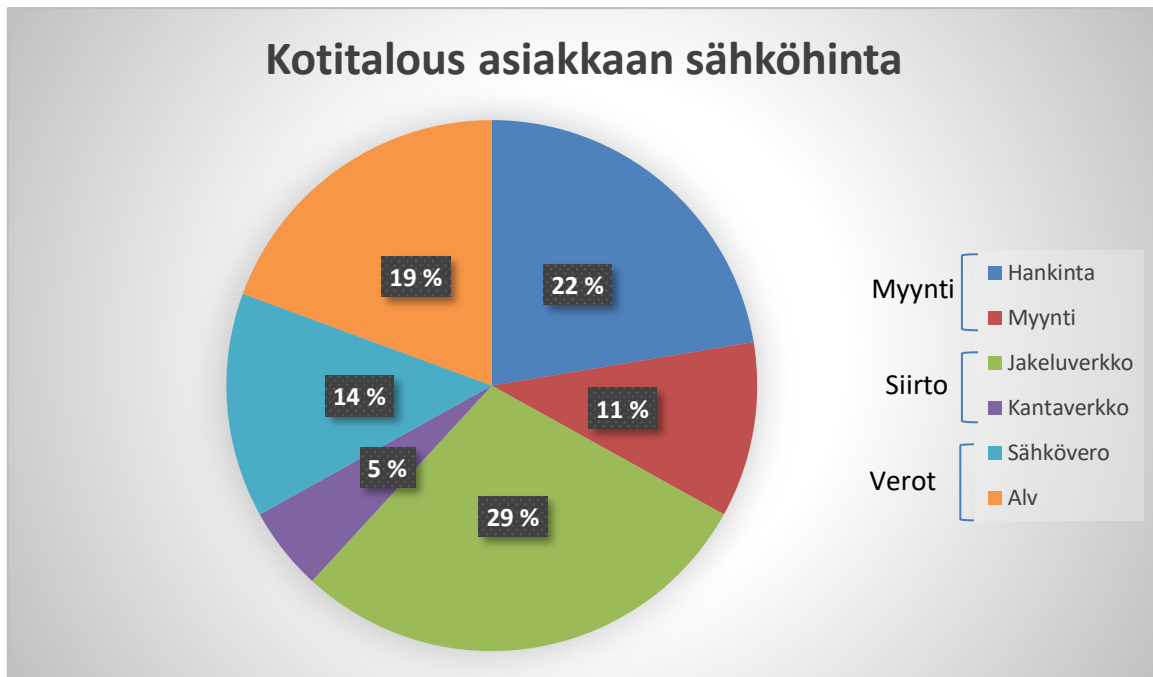
Tulonmuodostuksen kanssa tulee huomioida myös hinnoituksen ohjausvaikutus. Jos asiakkaiden hinnoittelu perustuu energia tai tehopohjaiseen hinnoitteluun, ohjaa se asiakkaita optimoimaan sähkökäyttöä ja alentamaan kustannuksiaan. Verkkoyhtiön tavoitteena on siten suunnitella tariffirakenne, joka ohjaa asiakkaita säättämään sähkönkäyttöään jakeluverkolle optimaaliseen suuntaan.

Energiaviraston selvityksen (Energiavirasto 2017) mukaan tariffien kiinteän maksun osuus on selvästi kasvanut viime vuosikymmenen aikana, mikä kertoo tariffirakenteen muutostarpeista. Erilaisia tyyppikäyttäjiä ovat esimerkiksi seuraavat:

- K1, Kerrostalohuoneisto, ei sähkökiuasta, pääsulake 1x25 A, sähkön käyttö 2 000 kWh/v
- K2, Pientalo, ei sähkölämmitystä, sähkökiuas, pääsulake 3x25 A, sähkön käyttö 5 000 kWh/v
- L1, Pientalo, suora sähkölämmitys, pääsulake 3x25 A, sähkön käyttö 18 000 kWh/v
- L2, Pientalo, osittain varaava sähkölämmitys, pääsulake 3x25 A, sähkön käyttö 20 000 kWh/v
- T1, Pienteollisuus, tehontarve 75 kW, sähkön käyttö 150 000 kWh/v

Koska sulakkeen koko muodostaa kiinteän rajan teholle, ei joustavuus ole siksi kannustettavaa.

Asiakkaiden sähkölasku muodostuu kolmesta osuudesta, sähkön myynnistä, sähkön siirrosta ja veroista. Kuvasta 3.2 on nähtävissä, että jokainen näistä osista on noin kolmas osa sähkölaskusta. (Valtioneuvosto, 2018)



Kuva 3.2 Kotitalous asiakkaan sähköhinnan muodostuminen, 5000 kWh/vuosi

Sähkön myynnin verkkohinnoittelussa pienasiakkaiden tariffi koostuu kulutetun energian määrästä (snt/kWh), minkä lisäksi hintaan saattaa sisältyä perusmaksun (€/kk), joka kattaa toiminnasta johtuvia yleiskustannuksia. Esimerkiksi Helenillä sähkön myyntihinta on 7,97 €/kWh ja perusmaksu 3,84 €/kk. Sähkölaskun sisältämä vero osuus koostuu sähkön hintaan lisättävästä arvolisäverosta ja sähköverosta, jotka laskutetaan asiakkailta siirtomaksun yhteydessä. Sähkövero on 1.7.2018 alkaen pienasiakkaille sähköveroluokan 1 mukainen 2,79372 snt/kWh (sisältää arvolisäveron 24 %).

Sähkölaskun myyntihinta koostuu asiakkaan käyttämästä sähköenergiasta, joka sisältää energiatuotannon voimalaitokselle sekä sähkön myynnistä johtuvat kustannukset. Sähkön siirtohinta puolestaan koostuu valtakunnallisesta kantaverkkosiirrosta sekä paikallisesta jakeluverkkosiirrosta, joihin kuuluva arvolisävero on lähinnä tehoerusteinen. Kantaverkko ja jakeluverkko ovat alueellisia monopoleja, joiden hinnoittelun kohtuutta Suomessa valvoo Energiavirasto.

Asiakkaan liittyessä sähköverkkoon hän maksaa liittymismaksun, joka kattaa liittymän rakentamisen kustannukset. Asiakas maksaa myös verkkopalvelumaksua, joka kattaa jakeluverkon kehittämiseen ja kunnossapitämiseen liittyvät pääoma- ja operatiiviset kustannukset ja verkkoyhtiön muut kustannukset, kuten hallinto, asiakaspalvelu sekä häviöenergiasta johtuvat hankintakustannukset. Näiden kustannusten lisäksi kerätään loppuasiakkailta verkkopalvelumaksussa kantaverkkoyhtiön siirtomaksut. Sähköauton omaavan kotitalouden tapauksessa sähkölaskun lisäksi kustannuksia muodostuu latauslaitteenhankinnasta.

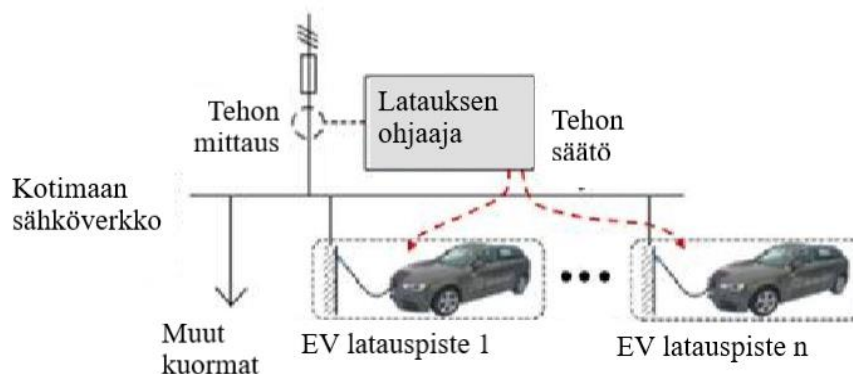
3.2 Tehoperusteinen hinnoittelu ja säästö mahdollisuudet

Tehoperusteisessa hinnoittelussa siirtomaksu perustuu asiakkaan kuluttamaan energiaan päivä ja yöaikana, mutta myös verkosta otettuun huipputehoon tietyinä aikajaksona tai verkkoyhtiön kanssa sovittuun tilaustehoon. Tehoperusteinen hinnoittelu on nykyään pääasiassa käytössä vain suuremmilla asiakkailta, mutta Suomessa se on jo käytössä pienasiakkaille

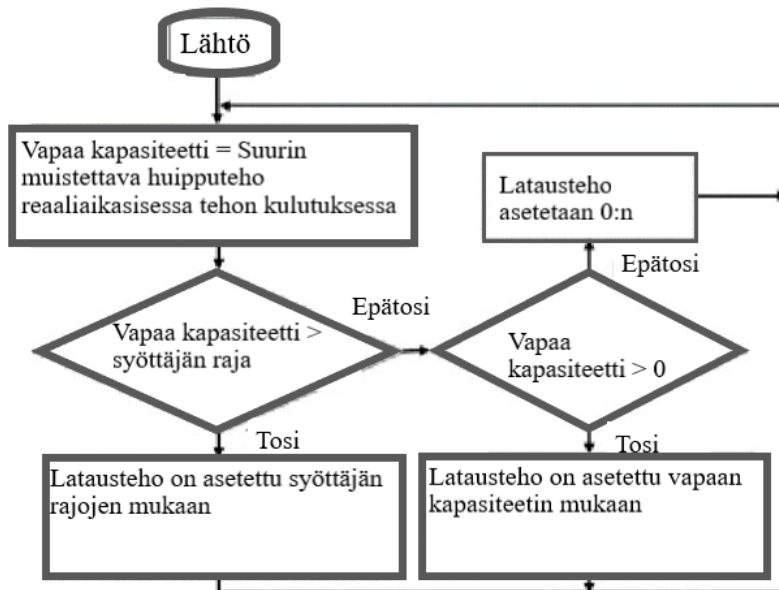
muutamalla sähköyhtiöllä. Suomessa esimerkiksi Helen Oy on tarjonnut tehoerusteista hinnoittelua jo asiakkailleen. Helen Oy:n verkkomaksu koostuu aikasiirrosta perusmaksusta (17,50 €/kk veroineen) ja tehomaksusta (1,59 €/kW, kk veroineen). Tehomaksu määräytyy joka kuukauden kolmanneksi suurimman mitatun tunnin keskitehon mukaan. Tehotariffi on käytännön kannalta verkkoyhtiölle kustannusvastaava, koska hinnoitteluperuste on sama kuin keskeisin kustannusperuste sähkönjakelussa. Tehopohjaisessa hinnoittelussa siirtotulojen ennustettavuus on parempi kuin energiapohjaisessa hinnoittelussa, koska esimerkiksi vuotuiset keskilämpötilojen vaihtelut vaikuttavat vähemmän vuotuisiin huipputehoihin kuin siirrettävään energiaan. Sekä rakenteelliset muutokset, kuten ilmalämpöpumpun asentaminen, vaikuttaa vähemmän tehoon kuin energiaan. Tämänkaltainen hinnoittelu ohjaisi asiakkaita huipputehon pienentämiseen, joka vähentää energiankulutusta ja tuottaa kustannussäästöjä, mikä tarkoittaisi sähkönjakelun energiatehokkuuden paranemista.

Tehokaista on tehopohjaisen hinnoittelun kehittyneempi siirtohinnoittelumalli. Tehokaistahinnoittelusta on hyviä puolia asiakkaiden, verkkoyhtiöiden ja koko sähkömarkkinakentän kannalta. Esimerkiksi tehokaista voisi edistää liukuvaa tehohinnoittelua paremmaksi vuosittain tasaisesta verkkoliiknevaihdosta sekä asiakkaiden samansuuruisesta kuukausittaisesta siirtomaksusta. Kaistan käsite on muodostunut tietoliikenneyhteyksien nopeutta kuvaavasta kaistan käsitteestä, eli asiakas tilaisi verkkoyhtiöltä tahtomansa määrän tehoa eli toisin sanoen sähkön siirtokapasiteetin. Siirtohinnoittelusta siirtyminen kaistahinnoitteluun voisi muuttaa sähkölaskun ymmärtävyyttä selkeämmäksi.

Kustannusten minimoimiseksi voitaisiin lataus toteuttaa ohjaus menetelmällä, joka perustuu kuukausittaisen huipputehon kulutuksen muistamiseen, sekä rakennuksen nykyisen tehon kulutuksen mittaamiseen ja rakennuksen käytettävissä olevan tehokapasiteetin laskemiseen. Sähköajoneuvon lataustehoa tulisi siis ohjata saatavilla olevan tehon perusteella. Ohjausmenetelmän perusrakenne esitellään kuvassa 3.3 ja sen yksinkertaistettu toimintaperiaate esitellään kuvassa 3.4. Tämän mukaisella ohjausmenetelmä on mahdollista lataustavan 3 latauksessa standardin IEC 61851-1 mukaan, jossa latausasema voi rajoittaa ja säätää maksimi AC latausvirtaa 6 A:n ja 80 A:n välillä (SFS-EN IEC, 2019). Kuvassa 3.4, syöttöraja on olemassa sen varmistamiseksi, ettei latausteho ylitä sähköajoneuvon laturin johtimen tai sulakkeen rajoja. Jotta edellisen kuukauden vaikutus uuden kuukauden huipputehoon, suurin muistiin tallennettu huipputeho tulisi nollata aina kunkin kuukauden alussa. Nollausmenetelmällä on selvä vaikutus sähköajoneuvon ladattavaan energian määrään. Asettamalla aloitus arvo liian pieneksi, autoon ei ehkä saada ladattua tarpeeksi suurta kapasiteettia. Ja jos arvo asetetaan liian suureksi, kuukauden huipputeho arvo saattaa nousta yli tarpeellisen rajan ja vaikuttaa täten sähkölaskun suuruuteen.

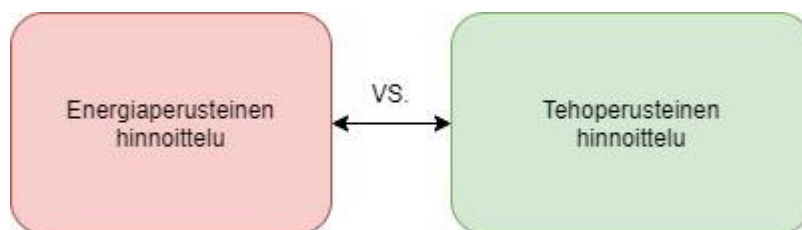


Kuva 3.3 Perus asetelma sähköautojen latauksen ohjausmenetelmälle.



Kuva 3.4 Yksinkertaistettu lohkokkaavio latausmenetelmästä.

3.3 Energia- ja tehoperusteisen hinnoittelun vertailu



Kuva 3.5 Energiaperusteinen hinnoittelu vastaan tehoperusteinen hinnoittelu.

Tässä kohdassa esitetään eroavaisuuksia kiinteistön sähkön siirtohinnan kustannuksista verraten energiaperusteista hinnoittelua tehoperusteiseen hinnoitteluun. Sähköauton latauspisteen lisääminen kiinteistöön nostaa tässä esimerkissä olevan omakotitalon energiankulutusta, joka nostaa suorassa vaikutuksessa energiapohjaisen sähkölaskutuksen suuruutta. Mutta kun kulutusta katsotaan tehoperusteisesta laskutus näkökulmasta eivät huipputehot välttämättä nouse, kun käytössä on älykäs lataus.

Tutkimuskohteena tässä tilanteessa toimii vuonna 2010 rakennettu omakotitalo, jossa on käytössä 3 x 25 A pääsulakkeet. Talon vuosittainen energiakulutus on saatu sähköverkkoyhtiöltä vuodelta 2018 tuntienenergia mittauksina. Siirtohintojen kustannus eroja tutkitaan kolmena eri skenaariona, sähköauton latauksesta koituvat energiakulutukset simuloidaan eli lisätään 2018 energiakulutukseen.

Skenaario 1 on tutkimuskohteena olevan talon vuosikulutus vuonna 2018 ja antaa näin käsityksen omakotitalon kulutuksesta ja sähkölaskun koosta ilman sähköajoneuvoa. Skenaarioissa 2 ja 3 taloon on simuloitu sähköauton latauspiste. Skenaariossa 2 oletetaan että sähköauton lähtevän samaan aikaan aamusta ja palaavan aina samaan aikaan iltaapäivästä. Lähtöajaksi on valittu klo. 06.00 ja paluuajaksi klo. 17.00, jolloin sähköauto liitettäisiin myös

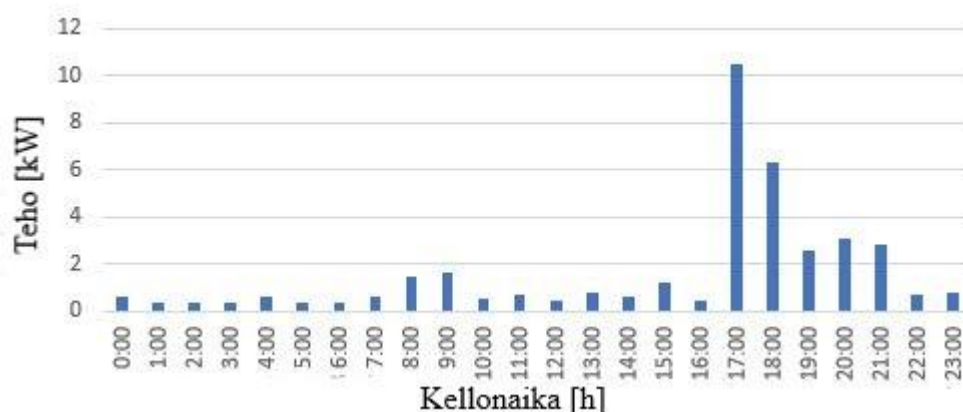
heti lataukseen klo 17.00-22.00. Tämä on huipputeho pohjaisesta tarkastelukulmasta huonoin mahdollinen aika, koska talon sähkönkulutus on tähän aikaan pahimmillaan, ja latauksen takia hetkellinen huipputeho kulutus kasvaa, joka vaikuttaa heti sähkölaskun kasvamiseen.

Skenaariossa 3 on käytössä sama oletus, että auto lähtee aamusta klo. 06.00 ja palaa klo. 17.00, mutta erona on, että auton latausta ohjataan älykkään latauksen avulla, minkä takia auto alkaa ladata itseään simulaation mukaisesti vasta klo. 22.00. Koska auto alkaa ladata itseään vasta tuohon aikaan, on talon muu kulutus hyvin pientä ja aikasiirrosta halvempi yösiirron hinnoittelu on voimassa. Näin on varmistettu mahdollisimman optimaalinen tilanne ladata sähköautoa, koska huipputehot eivät nouse tänä aikana ja käytössä on sähkön halvin hinta.

Taulukossa 3.1 on esitetty kolme eri skenaariota. Simulaation yksinkertaistamiseksi lataus toteutetaan yhteisenä 5 tunnin latauksena, skenaariossa 2 latausväli on klo 17-22 ja skenaariossa 3 käytössä on älykäs lataus, jonka avulla lataus toteutetaan parhaimpaan mahdolliseen latausaikaan klo 22-03. Taulukon 3.1 ensimmäisellä rivillä näkyvät eri skenaarioiden vuosittaiset energiakulutukset, toisella rivillä on esitetty energiapohjaiset yleissiirron mukaiset sähkönsiirto kustannukset ja viimeisellä rivillä tehopohjaiset aikasiirto kustannukset.

	Skenaario 1	Skenaario 2	Skenaario 3
Energiakulutus [MWh]	11,216	14,866	14,870
Energiaperusteiset kustannukset [€/vuosi]	522,65	671,21	671,37
Tehoperusteiset kustannukset [€/vuosi]	612,57	739,46	664,46

Taulukko 3.1 Vuosittaiset energiakulutukset ja niiden mukaiset kustannukset energia- ja tehoperusteisesti.



Kuva 3.6 Tehon tarve vuorokauden aikana jokaisen eri tunnin hetkellä.

Kustannuksien laskemiseen on käytetty Helenin sähkön siirtohinnoitusta, käytetyt tariffit ovat energiaperusteinen yleissiirto ja tehopohjaiseen kulutukseen tarkoitettu aikasiirto. Suomessa 2017 keskimääräinen matkustettu matka henkilöautoa kohti oli 14 000 km vuodessa, josta muodostuu noin 38,4 km/päivä (Tilastokeskus, 2018). Lataustehona simulaatioissa on käytetty 2 kW ja sähköauton energia kulutukseksi on oletettu noin 270 Wh/km eli lataustehon tarpeeksi saadaan noin 10 kWh/päivä. Helenin sähkön siirtohinnoitus taulukon mukaan energiaperusteisella yleissiirrolla kustannukset veroineen muodostuvat perusmaksusta 5,51 €/kk

ja energiaperusteisesta siirtomaksusta 4,07 snt/kWh. Vuosittaiset yleissiirron siirtokustannukset tälle talolle voidaan laskea seuraavalla kaavalla

$$H_{\text{yleissiirto}} = \frac{H_{e,\text{siirto}} W_{k,a}}{100} + H_{\text{yleis,perusmaksu}} t \quad (3.1)$$

, jossa $H_{e,\text{siirto}}$ on energiaperusteinen siirtohintaa, $W_{k,a}$ on energiakulutus, $H_{\text{yleis,perusmaksu}}$ on perusmaksun hinta ja t on aika.

Aikasiirto kohdan mukaan asiakkaan koko laskun muodostuu perusmaksusta 17,50 €/kk, tehomaksusta 1,59 €/kW, päiväsiirto siirtomaksusta 2,59 snt/kWh ja yöajan siirtomaksusta 1,35 snt/kWh. Helen määrittelee päiväsiirron olevan voimassa kaikkina päivinä klo 7-22. Yösiirron hinta on voimassa muina aikoina. Aikasiirron vuosi kustannukset voidaan laskea seuraavalla kaavalla.

$$H_{\text{Aikasiirto}} = \frac{H_{\text{päiväsiirto}} W_{\text{päivä}} + H_{\text{yösiirto}} W_{\text{yö}}}{100} + H_{\text{teho}} P_{k,a} + H_{\text{perus}} t \quad (3.2)$$

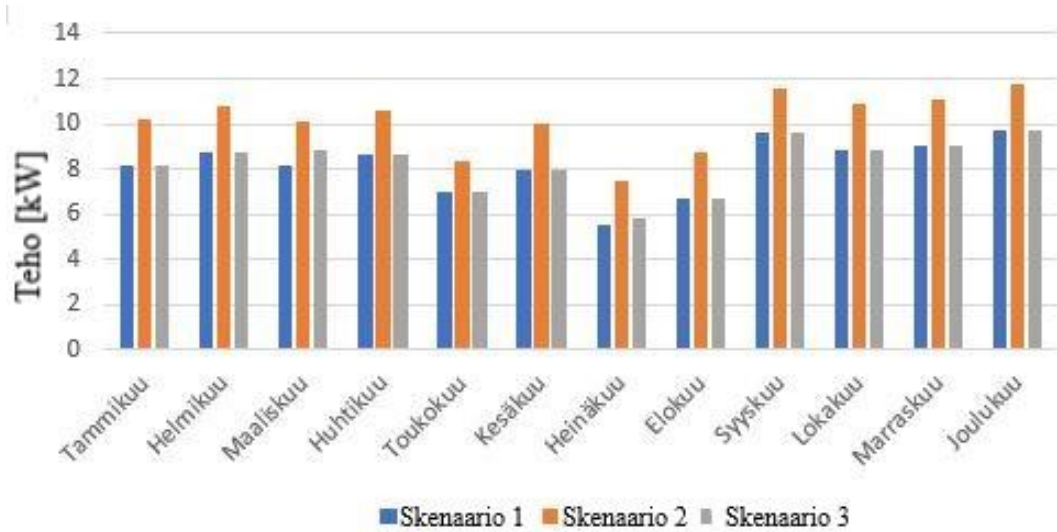
, jossa $H_{\text{päiväsiirto}}$ on päiväsiirron hinta, $W_{\text{päivä}}$ on vuoden aikana klo 7-22 aikana kulunut energia, $H_{\text{yösiirto}}$ yösiirron hinta, H_{teho} on tehon hinta, $P_{k,a}$ on joka kuukauden kolmen suurimman tehon keskiarvojen summa ja H_{perus} on aikasiirron perusmaksu. Aikasiirrossa kokonaisvuosi siirtokustannukset ovat siis tässä talossa 612,57 €. Seuraavassa taulukossa 3.2 on esitelty eri skenaarioiden aikaiset kuukausittaisen kolmen huipputehokien keskiarvot ja niistä yhteenlasketut arvot.

Taulukosta 3.1 on havaittavissa, että energiapohjaisessa hinnoittelussa yleissiirron mukaan energiakulutus on aika samaa luokkaa Skenaarioissa 2 ja 3 eli energiapohjainen sähkönsiirto kustannus on sen takia samaa luokkaa noin 671€.

	Skenaario 1 [kW]	Skenaario 2 [kW]	Skenaario 3 [kW]
Tammikuu	8,2	10,2	8,2
Helmikuu	8,74	10,74	8,74
Maaliskuu	8,19	10,1	8,86
Huhtikuu	8,62	10,62	8,62
Toukokuu	6,99	8,32	6,99
Kesäkuu	7,99	9,99	7,99
Heinäkuu	5,50	7,50	5,80
Elokuu	6,71	8,71	6,71
Syyskuu	9,59	11,59	9,59

Lokakuu	8,87	10,87	8,87
Marraskuu	9,03	11,03	9,03
Joulukuu	9,76	11,76	9,76
Summa	98,19	121,43	99,15

Taulukko 3.2 Kolmen kuukautisen huipputehon keskiarvot, joiden mukaan aikasiirron laskutus määräytyy.



Kuva 3.7 Kolmen kuukautisen huipputehon keskiarvot, eri skenaarioiden mukaan eri kuussa.

4. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Teoreettisten simulointien pohjalta voidaan todeta, että sähköajoneuvoja voitaisiin ladata huolelta omakotitaloissa ilman suurta nousua huipputehoissa, kun käytössä on aiemmin esitelty latauksen ohjaus eli ns. älykäs lataus. Simulaatiossa läpikäytyjen huipputehojen ja kokonaisenergioiden lisänä tarkastellaan kustannuksien osalta vain sähkönsiirto, eikä varsinaista sähköenergian ostoa. Simulaatiossa valittujen alkuoletusten vaikutus tuloksiin on suuri, joten on syytä kiinnittää erityistä huomiota valittaviin parametreihin ja muuttujiin. On myös muistettava, että talon vuosittainen sähkönkulutus ja sähkön hinta, jotka ovat tässä tutkimuksessa keskeisimmät simuloinnin tarkastelu kohteet muuttuvat aina vuosittain ja sen takia tulokset voivat olla tulevaisuudessa parempaan tai huonompaan suuntaan.

Toisaalta simulaatiot on toteutettu pessimistisesti, koska sähköautojen lataus on odotettu vain tapahtuvan kotona. Siispä mitä enemmän sähköauton latausta tapahtuu työpaikoilla ja muilla latauspisteillä, sitä vähemmän latausta tarvitsee suorittaa kotona. Taulukosta 3.2 nähdään, että kun lataus on toteutettu skenaarion 2 mukaan, on huipputeho paljon suurempi kuin skenaariossa 3, koska yleensä 17.00 aikaan kotona on jo koko perhe ja sähkön kulutus suurimmillaan. Mutta kun lataus toteutetaan ohjausjärjestelmällä skenaarion 3 mukaisesti eli parhaimpaan mahdolliseen aikaan huipputehojen ja sähkönhinnan kannalta, on hinnoissa huomattavissa säästöä.

Verratessa skenaarion 2 kustannuksia skenaarion 3 kustannuksiin. Skenaariossa 2 huipputehot kasvoivat selvästi ja, minkä takia sähkölaskun suuruudeksi muodostui 739,38 € koko vuodelle, mutta skenaariossa 3 eli optimaalisin tilanne sähkölaskun summaksi tuli vaan 664,46 €. Säästöiksi näiden skenaarioiden välillä muodostuu 74,92€. Vuotuiseksi säästökseen tämä on hyvin merkittävä ja voi maksaa normaali tapauksessa sähköauton latausaseman takaisin jo 9 vuodessa, koska latausaseman voi saada kotiinsa jo 600-800€.

LÄHTEET

Ministry of Economic Affairs and Employment, "Strategy outlines energy and climate actions to 2030 and beyond," 2016, tiedote julkaisu.

K. Qian, C. Zhou, M. Allan and Y. Yuan, "Modeling of Load Demand Due to EV Battery Charging in Distribution Systems," in IEEE Transactions on Power Systems, vol. 26, no. 2, pp. 802-810, May 2011. [verkkodokumentti]. [viitattu 29.9.2019]. Saatavissa <https://ieeexplore.ieee.org/document/5535237?arnumber=5535237>

U. Reiner, C. Elsinger and T. Leibfried, "Distributed self organising Electric Vehicle charge controller system: Peak power demand and grid load reduction with adaptive EV charging stations," 2012 IEEE International Electric Vehicle Conference, Greenville, SC, 2012, pp. 1-6U. [verkkodokumentti]. [viitattu 29.9.2019]. Saatavissa <https://ieeexplore.ieee.org/document/6183277>

L. Kütt, E. Saarijärvi, M. Lehtonen, A. Rosin and H. Mölder, "Load shifting in the existing distribution network and perspectives for EV charging-case study," IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, Europe, Istanbul, 2014, pp. 1-6.. [verkkodokumentti]. [viitattu 11.10.2019]. Saatavissa <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.cc.lut.fi/document/7028938>

Euroopan unionin virallinen lehti, "EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI 2009/72/EY," 2009. [verkkodokumentti]. [viitattu 20.3.2020]. Saatavissa <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0072&from=EN>

Energiavirasto National report 2018 to the Agency for Cooperation of Energy Regulators and to the European Commission 2018. [verkkodokumentti]. [viitattu 13.10.2019]. Saatavissa <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/13026619/National+Report+2018+Finland.pdf/beeae3e-3fdf-d93c-fec9-9ee21a395fc9/National+Report+2018+Finland.pdf>

Energiavirasto "Sähkön jakelutariffien kehitys 2000-2017." 2017. [verkkodokumentti]. [viitattu 24.12.2019]. Saatavissa <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12862527/2017-Tariffiraportti+2017.pdf/d28724c9-9a59-436e-7c14-ee5919b0bc37/2017-Tariffiraportti+2017.pdf>

International Electrotechnical Commission 61980-1 "Corrigendum 1 - Electric vehicle wireless power transfer (WPT) systems - Part 1: General requirements" 2017. [verkkodokumentti]. [viitattu 2.1.2020].

Sesko "Sähköajoneuvojen lataussuositus." 2019. [verkkodokumentti]. [viitattu 24.12.2019]. Saatavissa https://www.sesko.fi/files/1098/Lataussuositus_2019_2019-05-27.pdf

Suomen standardisoitumisliitto SFS 6000-1:2017 "Pienjännitesähköasennukset. Osa 1: Peruseriaa-teen, yleisten ominaisuuksien määrittely ja määritelmät." 2017. [verkkodokumentti]. [Viitattu 2.1.2020]

Suomen standardisoitumisliitto SFS 5610 "Kotitalouksiin ja vastaaviin käyttöihin tarkoitettut pistokytkimet. Osa 1: Yleiset vaatimukset," 2015. [verkkodokumentti]. [viitattu 9.4.2020]. Saatavissa <https://online-sfs-fi.ezproxy.cc.lut.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/SFS/ID2/5/392560.html.stx>

Suomen standardisoitumisliitto SFS-EN 62752:2016 "In-cable control and protection device for mode 2 charging of electric road vehicles," 2016. [verkkodokumentti]. [viitattu 9.4.2020].

Suomen standardisoitumisliitto SFS-EN 60309:2000 "Teollisuuskäyttöön tarkoitettut voimapistokytkimet." 2000. [verkkodokumentti]. [viitattu 2.1.2020].

Suomen standardisoitumisliitto SFS-EN 62196-2:2017, "Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles - Part 2: Dimensional compatibility and interchangeability requirements for a.c. pin and contact-tube accessories." 2017. [verkkodokumentti]. [viitattu 2.1.2020].

Suomen standardisoitumisliitto SFS-EN 62196-3:2016, "Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles - Part 3: Dimensional compatibility and interchangeability requirements for d.c. and a.c./d.c. pin and contact-tube vehicle couplers." 2016. [verkkodokumentti]. [viitattu 2.1.2020].

S. Honkapuro et al "Jakeluverkon tariffirakenteen kehitysmahdollisuudet ja vaikutukset,"

Honkapuro, Samuli, et al. "Jakeluverkon tariffirakenteen kehitysmahdollisuudet ja vaikutukset–Tariffirakenteiden vaikutusanalyysi." 2017. [verkkodokumentti]. [viitattu 24.12.2019]. Saatavissa https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/143710/Tariffirakennetutkimus_LUT_TUT_raportti_final.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Plugit ”Sähköauton lataustavat” 2019. [verkkodokumentti]. [viitattu 25.12.2019]. Saatavissa <https://latauslaitteet.fi/artikkelit/sahkoauton-lataustavat/>

Valtioneuvosto ”Sähkön siirtohinnot ja toimintavarmuus” 2018. [verkkodokumentti]. [viitattu 7.1.2020]. Saatavissa http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161178/43_18_Sahkonsiirtohinnot_ja_toimintavarmuus.pdf

Tilastokeskus ”Henkilöautoilla ajettiin edellisvuosien lailla – maanteiden tavarankuljetukset tehostuivat” 2018. [verkkodokumentti]. [viitattu 2.3.2020] Saatavissa <https://www.stat.fi/tietotrendit/artikkelit/2018/henkiloautoilla-ajettiin-edellisvuosien-lailla-maanteiden-tavarankuljetukset-tehostuivat/>

Helen ”Sähkön siirtohinnoista” 2018. [verkkodokumentti]. [viitattu 10.2.2020] Saatavissa <https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hinnastot-ja-sopimusehdot/hsv/sahkon-siirtohinnoista.pdf>