



SUOMEN
ILMASTOPANEELI
The Finnish Climate
Change Panel

SÄHKÖAUTOILUN SÄHKÖMARKKINA-
AJURIT JA HAJAUTETTU VARASTOINTI

MARIA KOPSAKANGAS-SAVOLAINEN JA TEEMU MERILÄINEN

Suomen ilmastopaneeli
Raportti 1/2018

ALKUSANAT

Tämä raportti on osa Suomen Ilmastopaneelin toteuttamaa Sähköautoistumisen ajurit -hanketta. Hanke toteutettiin syksyn 2017 ja kevään 2018 välisenä aikana. Hankkeessa olivat mukana Oulun yliopisto, Valtion taloudellinen tutkimuskeskus (VATT) ja Tampereen teknillinen yliopisto.

Hankkeen tavoite on tuottaa tietoa ja herättää keskustelua

- sähköautoistumisen verotuksesta, tuista ja informaatio-ohjauksesta
- sähköautoistumiseen liittyvistä teknisistä valmiuksista ja latausinfrastruktuurista ja
- sähköautoistumisen tarjoamasta jousto- ja varastointipotentiaalista sähkömarkkinoilla.

Tämän raportin lisäksi hankkeessa on tuotettu kaksi policy brief -katsausta, joista toinen keskittyy sähköautoistumisen taloudelliseen ohjaukseen ja toinen latausinfrastruktuurin kehittämistarpeisiin. Tässä raportissa käymme läpi sähköautoistumisen vaikutuksia sähkömarkkinoihin ja tarkastelemme, miten sähköautoistuminen hyödyttäisi parhaiten ilmaston lisäksi koko sähköverkkoa. Tarkastelun kohteena ovat erityisesti sähköautojen lataus, vaikutukset sähkönkulutukseen sekä sähköautojen akkujen potentiaali sähkön joustossa ja varastoinnissa.

Oulussa 17.8.2018

Maria Kopsakangas-Savolainen ja Teemu Meriläinen

Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ	4
ENGLISH SUMMARY	5
1 SANASTO JA LYHENTEET	6
2 JOHDANTO	6
3 SÄHKÖAUTOISTUMINEN SUOMESSA.....	7
4 SÄHKÖMARKKINOIDEN MUUTOS	8
5 SÄHKÖNKULUTUKSEN KASVU JA AJOITUS	9
5.1 Sähköautoilun vaikutukset sähkönkulutukseen	9
5.2 Latauksen vaikutus sähkönkulutukseen	10
5.3 Sähköautojen lataus Suomessa	11
5.4 Sähköautoilun vaikutukset sähköverkkoon.....	15
6 ÄLYKÄS LATAUS.....	17
7 SÄHKÖAUTOJEN KÄYTTÖ HAJAUTETTUNA VARASTONA.....	19
8 YHTEENVETO	20
LÄHDELUETTELO.....	21

Tiivistelmä

Tässä raportissa tarkastellaan liikenteen sähköistymisen vaikutuksia sähköverkon ja -markkinoiden toimintaan. Tarkastelun kohteena ovat erityisesti sähköautojen lataus, vaikutukset sähkönkulutukseen sekä sähköautojen akkujen potentiaali sähkön joustossa ja varastoinnissa.

Suomen hallitus linjaa energia- ja ilmastostrategiassaan, että sähköautojen osuutta Suomen autokannasta tulee kasvattaa. Tavoite on, että Suomessa olisi 250 000 sähköautoa vuoteen 2030 mennessä. Käytimme tavoitetta perusskenaariona laskelmissamme, joissa arvioimme sähköautokannan aiheuttamaa lisäystä sähkönkulutukseen ja sähköautojen latauksen vaikutusta sähköverkon toimintaan.

Liikenteen sähköistyessä fossiilisten polttoaineiden kulutus korvataan sähköllä. Vaikka liikenteen sähköistyminen kasvattaa sen sähkönkulutusta, ei sähkön kokonaiskulutuksen määrä välttämättä nouse merkittävästi. Käytetyillä oletuksilla tavoitellun kokoinen sähköautokanta lisää sähkönkulutusta noin yhden terrawattitunnin (TWh) verran vuodessa. Vaikka kaikki Suomen noin 2,6 miljoonaa henkilöautoa olisivat sähkökäyttöisiä, sähkönkulutus ei tyypillisenä vuotena nousisi huomattavasti yli huippuvuoden 2007 tason, jolloin sähköä kulutettiin yhteensä yli 90 TWh.

Sähköautojen aiheuttama sähkönkulutuksen kasvu ajoittuu sen mukaan, miten ihmiset liikkuvat ja lataavat autojaan. Koska sähköautojen määrä on Suomessa vielä pieni, lataustottumuksista ei ole laajasti tietoa. Sähköautojen latauksen ajoittuminen samoille huippuhetkille muun sähkönkulutuksen kanssa voi lisätä tarvetta sähköverkon uusille investoinneille ja aiheuttaa lisäkustannuksia. Lisäksi latauksen huono ajoitus voi lisätä kalliimpien ja saastuttavampien laitosten käyttöä sähköntuotannossa ja näin kasvattaa tuotannon päästöjä. Kun sähköautojen määrä kasvaa, on niiden älykkääseen eli kontrolloituun lataamiseen kiinnitettävä huomiota.

Osana Sähköautoistumisen ajurit -hanketta kokosimme yksinkertaisen autojen latausprofiilin, joka perustuu Liikenneviraston vuosien 2010–2011 henkilöliikennetutkimusten tietoihin. Laskettu malli toimii pohjana arvioille sähkön kulutuksesta sekä lataustarpeen koosta ja ajoituksesta. Sähkönsiirrosta syntyviä häviöitä ei ole huomioitu laskelmissa. Esimerkkiprofiilit osoittavat, että jos autoja ladataan mahdollisimman pian matkan jälkeen voi lataus pahimmassa tapauksessa ajoittua muun sähkönkulutuksen huipputunneille. Parhaassa skenaariossa sähköautojen akkuja käytetään kaksisuuntaisesti, jolloin niistä vapautetaan esimerkiksi yöllä ladattua energiaa takaisin verkkoon kulutuksen huipputuntien aikana. Tämä helpottaa verkon kuormitusta ja vähentää sähköntuotannon päästöjä. Älykäs lataus myös auttaa uusiutuvan energian tuotannon integroinnissa ja vähentää uusien verkon investointien tarvetta.

Tulevaisuudessa liikenne ja sähköjärjestelmä kytkeytyvät toisiinsa entistä tiukemmin. Kuluttajille suunnattujen palveluiden, latausinfrastruktuurin, sähköntuotannon ja sähkömarkkinoiden yhteispeli onkin suunniteltava kokonaisvaltaisesti. Sähköautojen hankinnan ja omistamisen tukien ja esimerkiksi sähkön hinnan tulee ohjata kuluttajia joustavuuteen sähköautojen latauksessa. Informaatiolla ja helpoilla palveluilla tulee myös madaltaa käyttäjien kynnystä hyödyntää älykästä ja kaksisuuntaista latausta. Tällöin sähköautoistuminen voi hyödyttää ympäristöä, kuluttajia ja koko sähköverkon toimintaa.

English summary

This report examines the effects of growing electric vehicle (EV) fleet on the Finnish electricity grid. The review focuses in particular on the EV charging profiles, effects on electricity consumption and the potential electricity storage and grid services EVs could provide.

The Finnish government has set a goal in its energy and climate strategy to increase the share of electric vehicles in the Finnish car fleet. The stated target is 250,000 electric vehicles in Finland by 2030. We used this target as our baseline scenario in our calculations in which we estimate the increase in electricity consumption caused by a fleet of this size and the possible impact of charging timing on the operation of the power grid.

As the car fleet becomes electrified, the consumption of fossil fuels is replaced more and more by electricity. Although the growing electric car fleet will need electricity, the total electricity consumption may not be significantly increased. An electric car fleet of this size would increase electricity consumption by about one terawatt hour (TWh) per year, given our assumptions. Even if all 2.6 million cars in Finland were electric vehicles, the electricity consumption would not increase significantly beyond the peak level of total electricity consumption reached in 2007, when a total of 90 TWh of electricity was consumed.

If electric cars are charged at the peak hours of electricity consumption, they may increase the need for new electricity grid investments and thus generate additional costs. In addition, poor timing of charging may increase the need to use more expensive and more polluting plants for power generation and thereby increase emissions from production. It can also degrade the operation of the entire power grid. Also locally, the load from charging can rise too high for the optimal performance and longevity of the local grid if it is not controlled.

As part of this report, we created a simple charging profile based on the data from the Finnish Transport Agency's 2010–2011 National Travel Survey. The profile served as a basis for estimates of electricity consumption as well as the load and timing of charging. Losses from electricity transmission were not taken into account in the calculations. These profiles show that, in the worst-case scenario, charging of electric cars would coincide with the peak hours of electricity consumption if cars were charged as soon as possible (e.g. the increase in availability of charging points could increase opportunistic charging). In the best scenario, charging would be managed away from peak hours and batteries would be used bi-directionally, for example, to store electricity during the night and release it back to the grid during the daytime peak hours of consumption. Smart charging would benefit both the network and reduce the emissions of electricity production. In addition, intelligent charging helps integrate renewable energy production to the grid with smaller costs and reduces the need for new network investments compared to an unmanaged charging scenario.

In the future, transport and electricity systems will be more closely interlinked and there needs to better cooperation between services, charging infrastructure, power generation and the electricity market. Then the possible subsidies, new services and price together would guide consumers towards more flexible electricity consumption, and the electrification of the car fleet would benefit the environment, the consumers and the electricity grid.

SÄHKÖAUTOILUN SÄHKÖMARKKINA-AJURIT JA HAJAUTETTU VARASTOINTI

1 Sanasto ja lyhenteet

BEV, Battery Electric Vehicle = täyssähköauto

G2V, Grid-to-Vehicle = sähköauton lataus verkosta

PEV, Plug-in Electric vehicle = ladattava sähköauto

PHEV, plug-in hybrid electric vehicle = pistoräyhäbridi

V2G, Vehicle-to-Grid = sähkönsyöttö sähköautoista verkkoon

V2H, Vehicle-to-Home = sähkönsyöttö sähköautosta kotiin

VRES, variable renewable energy sources = vaihtelevan tuotannon uusiutuvat energianlähteet

2 Johdanto

Ilmastonmuutoksen hillintä vaatii merkittäviä toimenpiteitä kaikilla talouden sektoreilla. Energiamarkkinoilla ja liikenteessä siirrytään fossiilista polttoaineista uusiutuvaan energiaan. Käytännössä tämä tarkoittaa liikenteen sähköistymistä ja osittaista siirtymistä biopohjaisiin polttoaineisiin, mutta myös liikenteen käyttämisen muutosta. Uudenlaiset jakamiskokeilut ja yhteisautopalvelut sekä liikenteen ja ajomäärien ohjauksen digitalisoituminen muuttavat koko toimialaa.

Liikenne on yksi suurimmista päästöjä aiheuttavista sektoreista globaalisti: Vuonna 2014 se esimerkiksi tuotti 14 prosenttia kaikista kasvihuonekaasupäästöistä (IPCC 2014). Uudet liikkumisen ratkaisut ovat olennaisia päästöjen hillinnässä, ja yksi niistä on siirtyä polttomoottoriautoista sähköautoihin. Sähköautojen suurimpana etuna on pidetty niiden vähäpäästöisyyttä, joka riippuu siitä, miten autojen käyttämä sähköenergia on tuotettu. Sähköautojen haaste on polttomoottoriautoja lyhyempi toimintamatka, joka riippuu akun koosta, ajonopeudesta ja ulkoilman lämpötilasta.

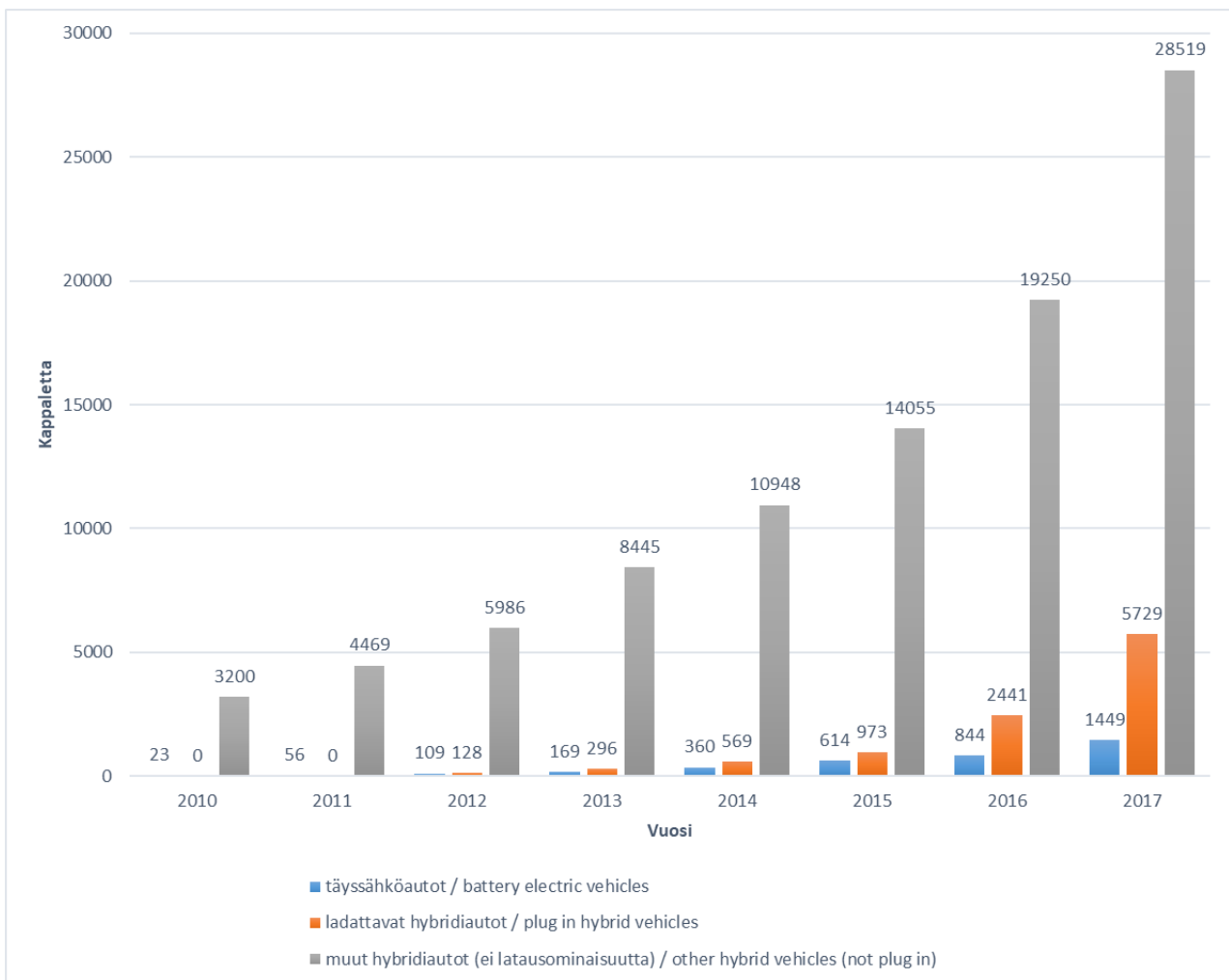
Sähköautojen osuus autokannasta on kasvanut voimakkaasti viime vuosina ympäri maailmaa. Uusien sähkö- ja hybridi-autojen rekisteröinnit kasvoivat 70 prosenttia vuosien 2014 ja 2015 välillä, jolloin myytiin 550 000 uutta sähköautoa. Alueelliset ja maiden väliset erot sähköautoistumisessa ovat kuitenkin huomattavat. Vuonna 2015 90 prosenttia sähköautojen myynnistä keskittyi kahdeksaan maahan: Kiinaan, Yhdysvaltoihin, Hollantiin, Norjaan, Isoon-Britanniaan, Japaniin, Saksaan ja Ranskaan. Euroopan unionissa kasvu on ollut viime vuosina nopeinta Hollannissa, jossa sähköautojen markkinaosuus oli 10 prosenttia vuonna 2015. Globaalisti kehitys on ollut vilkkainta Norjassa, jossa sähköautojen markkinaosuus oli samana vuonna 23 prosenttia. Suomessa liikennekäytössä oli 1658 täyssähköistä henkilöautoa maaliskuun 2018 lopussa (Trafi 2018a). Maiden väliset suuret erot sähköautokannassa johtunevat latausinfrastruktuurin lisäksi erilaisesta verotus- ja tukipolitiikasta.

Uusiutuviin energianlähteisiin siirryttäessä yhä suurempi osuus energiantuotannosta, kuten esimerkiksi tuuli- tai aurinkovoima, on riippuvaista säästä. Kun sähköä ei ole tarjolla yhtä paljon kaikkina vuorokauden- ja vuodenaikoina, kasvaa tarve sähkön joustavalle kysynnälle ja varastoinnille. Tässä raportissa tarkastellaan sähkömarkkinoiden ja sähköautoistumisen välisiä yhteyksiä. Sähköautoistuminen lisää sähkön kysyntää, mutta tämän lisäksi se voi vaikuttaa sähkömarkkinoihin muun muassa sähkön kysynnän ajoituksen sekä alueellisten erojen kautta. Toisaalta sähköautot voivat auttaa sähkönkysynnän joustossa esimerkiksi varastoimalla sähköä.

Raportin luvussa 3 tarkastellaan sähköautoistumisen tämänhetkistä tilaa Suomessa ja käydään läpi niitä liikenteen sähköistymisen piirteitä, jotka voivat vaikuttaa sähkönkulutukseen ja sähköverkon toimintaan. Luvussa 4 käydään läpi sähkömarkkinoiden nykyistä tilannetta ja meneillään olevan murroksen piirteitä. Luvussa 5 tarkastellaan sähköautojen käytön ja latauksen ajoituksen vaikutuksia sähkönkulutukseen. Lisäksi luvussa pohditaan sähköautojen latauksen mahdollisia vaikutuksia sähköverkon toimintaan. Luvussa 6 perehdytään sähköautojen latauksen älykkääseen hallintaan ja sen mahdollisuuksiin. Luvussa 7 tarkastellaan sähköautojen käyttöä hajautettuna varastona ja vertaillaan niiden potentiaalia muihin sähkönvarastoinnin muotoihin. Luvussa 8 vedetään yhteen raportin sisällöt.

3 Sähköautoistuminen suomessa

Suomessa oli vuoden 2017 lopussa Trafín tietojen mukaan 2 668 930 autoa, joista täyssähköautoja oli 1449 ja hybridejä 5729 (Trafi2018a). Täyssähkö- ja hybridautojen myyntimäärät ovat kuitenkin kasvaneet Suomessa nopeasti, ja sähköautojen määrän arvioitiin ylittävän 10 000 kappaleen rajan jo vuoden 2018 alkupuolella (Teknologiateollisuus 2018a). Suomen hallitus linjaa energia- ja ilmastostrategiassaan, että sähköautojen osuutta Suomen autokannasta tulee kasvattaa. Tavoite on, että Suomessa olisi 250 000 sähköautoa vuoteen 2030 mennessä, johon on vielä matkaa. Täyssähköautojen osuus sähköautokannasta oli noin 18 prosenttia vuoden 2018 ensimmäisellä neljänneksellä, ja noin kolmannes niistä on yrityskäytössä (Teknologiateollisuus 2018a).



Kuvio 1: Liikennekäytössä olevien sähkö- ja hybridautojen määrä (kpl) vuosittain loppuvuodesta (Autoalan tiedotuskeskus 2018).

Sähköautot ovat selkeästi energiatehokkaampia kuin vastaavat polttomoottoriautot ja pystyvät siten vähentämään liikenteen energiankulutusta. Toisaalta sähköautojen akkujen energiatiheys ei ole yhtä korkea kuin polttoaineilla, joten sähköautot kulkevat lyhyempiä matkoja kuin polttomoottoriautot. Sähköautot eivät tuota pakokaasuja, mikä on varsinkin kaupungeissa tärkeä terveydellinen peruste liikenteen sähköistämiseksi. Sähköistämisen tärkein peruste on kuitenkin ilmastonmuutosta kiihdyttävien hiilidioksidipäästöjen vähentäminen. Tulevaisuuden päästötavoitteiden saavuttaminen vaatii henkilöautokannan sähköistämistä (Liimatainen & Viri 2017).

Sähköautot ja niiden akkuteknologiat kehittyvät nopeasti. Eri valmistajien tarjoamien sähköautojen akkujen kapasiteetti ja esimerkiksi latauksen maksimiteho vaihtelee suuresti. Sähköautot voi jakaa karkeasti kahteen luokkaan: täyssähköautoihin (BEV, Battery Electric Vehicle) ja erilaisiin hybrideihin. Sähköverkon toiminnan kannalta hybridisähköautoista kiinnostavia ovat vain niin kutsutut pistokehybridit (PHEV, Plug-in Hybrid Electric Vehicle), joita voi ladata ulkoisessa virtalähteessä.

Sähköautojen yleistymistä vaikeuttaa polttomoottoriautoja lyhyempi kantama eli matka, jonka auto voi kulkea ilman latausta tai tankkausta. Suomessa ja muissa Pohjoismaissa päivittäiset ajomatkat eivät tosin ole erityisen pitkiä. Kaikissa Pohjoismaissa ajetaan keskimäärin alle 50 kilometriä päivässä (Liu ym. 2015). Saatavilla olevien sähköautojen kantama riittää jo nyt päivittäiseen ajamiseen. Lisäksi yli 200 kilometriä kerralla kulkevien sähköautojen tarjonta kasvaa koko ajan.

Latauspisteiden määrä on kasvanut nopeasti sähköautokannan mukana. Julkisten latauspisteiden määrä oli kasvanut noin 90 prosenttia vuodessa vuoden 2018 ensimmäiseen neljännekseen mennessä. Saman vuoden maaliskuun lopussa pisteitä oli jo yli 520. (Teknologiaetollisuus 2018a.) Kattava latausverkko on olennainen jo pelkästään sähköautojen käyttöönoton kannalta, mutta lisäksi se mahdollistaa sähköauton lataamisen missä ja milloin vain. Autoilijoiden kannalta kattava verkosto vähentää auton kantamaan liittyvää huolta.

Liikenteen sähköistyminen voi vaikuttaa autoilla ajettavaan matkaan eli ajosuoritteeseen. Keskimäärin henkilöautoilla ajetaan Suomessa noin 16 857 kilometriä vuodessa (Valta 2017). Hyödynsimme Trafín avointa dataa laskeaksemme henkilöautoiksi luokitelluilla sähköautoilla vuodessa keskimäärin ajatut matkat. Suuntaa-antava tulos oli noin 16 213 kilometriä, joka saatiin jakamalla sähköautojen viimeisimmässä katsastuksessa kirjattu ajomatka ajalla, jonka sähköautot olivat olleet käytössä. Aineistosta ei poistettu poikkeavia havaintoja, eli hyvin paljon tai vähän käytettyjä autoja. Norjalaisessa tutkimuksessa havaittiin, että sähköautoilla ajetaan hieman enemmän kuin polttomoottoriautoilla (Figenbaum & Kolbenstvedt 2016).

Tarkastelimme myös henkilöliikennetutkimuksia, joista saimme tietoja suomalaisten matkustustottumuksista ja eri kulkuneuvoilla ajetuista matkoista. Liikenneviraston (2012) henkilöliikennetutkimuksen mukaan henkilöautoilla ajettiin keskimäärin noin 1,7 matkaa ja 29,9 kilometriä päivässä henkilöä kohden vuonna 2011. Kuljettajana näistä ajettiin 1,25 matkaa ja noin 20,8 kilometriä (Liikennevirasto 2012). Vuonna 2016 matkoja tehtiin henkilöautolla 1,6 kappaletta ja noin 31,1 kilometriä päivässä henkilöä kohden. Kuljettajana näistä tehtiin 1,24 matkaa ja 23,4 kilometriä (Liikennevirasto 2018). Henkilöliikennetutkimusten tulokset eivät ole vertailukelpoisia keskenään, sillä niissä käytetyt tutkimusmenetelmät ovat erilaisia keskenään.

4 Sähkömarkkinoiden muutos

Sähkömarkkinat muuttuvat, ja muutokseen vaikuttaa kolme toisiinsa linkittyvää tekijää. Ensimmäinen on ilmastonmuutos. Maapallon keskilämpötila on kohonnut kiihtyvään tahtiin viimeisen sadan vuoden aikana. Ilmastonmuutoksen pysäyttämiseksi energiantuotantoa ja -kulutusta tulee tarkastella täysin uudella tavalla. Toinen sähkömarkkinoita muuttava tekijä on fossiilisten energianlähteiden ehtyminen ja niiden käytön negatiivinen vaikutus ilmastoon. Vaikka fossiilisten polttoaineiden varannot vähenevät, niiden käyttö on lähes kaksinkertaistunut vuoden 1990 jälkeen. Kolmas tekijä liittyy teknologiaan. Perinteisesti esimerkiksi sähköverkot ovat toimineet vain yhteen suuntaan, jolloin tyypillisesti suurissa yksiköissä tuotettu sähkö virtaa verkkoa pitkin kulutukseen. Niin kutsutut älykkäät verkot mahdollistavat sähkön kulun kahteen suuntaan. Tämä tarkoittaa sitä, että yhtenä hetkenä yksikkö voi toimia kuluttajana ja toisena tuottaa sähköä verkkoon. Tämä mahdollistaa hajautetun energiantuotannon, mikä tarkoittaa, että suurten tuotantolaitosten lisäksi esimerkiksi kotitaloudet voivat kuluttamisen lisäksi tuottaa sähköä.

Yksi sähkömarkkinoiden muutoksista on vaihtelevan energiantuotannon kasvu. Vaihtelevalla tuotannolla tarkoitetaan tyypillisesti sääolosuhteisiin sidoksissa olevaa tuotantoa, kuten tuuli- ja aurinkovoimaa. Perinteisen energian, kuten yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon sekä ydinvoiman osalta energiaa on tuotettu markkinoille silloin, kun sitä on tarvittu. Vaihtelevassa tuotannossa sää määrittelee, milloin energiaa voi tuottaa. Sähköntuotannolta ja -kysynnältä vaaditaan joustavuutta, jotta vaihtelevasti tuotettu energia hyödynnetään mahdollisimman tehokkaasti. Kysynnän joustoon voi kuitenkin liittyä intressiristiriitä sähköä myyvien ja sähköverkkoa hallinnoivien yhtiöiden välillä. Markkinahintaan reagoiva kysynnän jousto voi lisätä verkon kulutushuippuja, eli jos sähkön hinta laskee, sen kysyntä nousee. Ratkaisuksi tähän on ehdotettu muun muassa sähkön tehoon perustuvia maksuja. (Järventausta ym. 2015.) Ne voivat kuitenkin tarpeettomasti vähentää kysyntää silloin, kun vaihtelevaa tuotantoa on paljon tarjolla. Kun sähkömarkkinoille kehitetään uusia ratkaisuja, olisi tärkeää tarkastella niiden hyötyjä ja haittoja koko sähköverkon toiminnan kannalta.

Sähköautot asettavat sähkömarkkinoille sekä haasteita että mahdollisuuksia. On arvioitu, että Suomessa ja muissa Pohjoismaissa sähköntuotantoon ei kohdistuisi liian suurta painetta, vaikka maiden koko henkilöautokanta sähköistyisi. Tulevaisuudessa sähkön hinnanvaihtelut voivat kuitenkin lisääntyä uusiutuvan, vaihtelevan energiantuotannon kasvaessa.

Hallitsematon eli heti kytkettäessä käynnistyvä sähköauton lataus voi olla sähköverkon kannalta haitallista. Näin käy silloin, jos akkujen latauksesta johtuva lisäkulutus tapahtuu samaan aikaan kun sähköä kulutetaan muutenkin paljon. Kun ihmiset palaavat töistä kotiin, moni todennäköisesti laittaa autonsa lataukseen varsinkin, jos lataus ei näy sähkön hinnassa.

Älykkäällä, sähköverkon tarpeet huomioivalla latauksella voitaisiin tasoittaa kulutuspiikkejä ja hyödyttää koko verkkoa. Niin kutsutulla Vehicle-to-Grid (V2G) -järjestelmällä verkkoon voi syöttää sähköä vastaamaan kysyntään. Kun autoa ei ajeta, sen akkua voidaan hyödyntää esimerkiksi sähkön varastointiin tai varakapasiteettina. Älykkään latauksen tarve on huomioitu liikenne- ja viestintäministeriön raportissa jo vuonna 2011. Raportissa mainitaan, että sähköautojen kasvava määrä vaatii tulevaisuudessa latauksen älykästä ohjausta, jotta latauksen myötä sähköverkon vahvistamista ja sähkökapasiteetin nostamista ei tarvita (LVM 2011).

5 Sähkökulutuksen kasvu ja ajoitus

Autokannan sähköistyminen lisää sähkönkulutusta. Sähköautoihin liittyvän sähkönkulutuksen ajoittuminen riippuu siitä, miten ihmiset liikkuvat, milloin he lataavat sähköautojaan ja minkälaisia ohjausmenetelmiä lataukselle asetetaan. Jos latauksen ajoitusta ei ohjata älykkäästi, sähkön kysynnän kasvu voi keskittyä tiettyihin ajankohtiin ja vaikuttaa koko sähköjärjestelmän toimintaan negatiivisesti.

Loimme suomalaisiin liikennetutkimuksiin ja muihin sähköautoja käsitteleviin tutkimuksiin perustuvan yksinkertaisen sähköautojen kulutusprofiilin. Profiili havainnollistaa sähköautojen latauksesta johtuvia sähkönkulutuksen piikkejä. Raportin myöhemmissä luvuissa käsittelemme latauksen ajoittamisen älykästä kontrollointia, jonka avulla kulutuspiikkien haitalliset vaikutukset voi minimoida.

5.1 Sähköautoilun vaikutukset sähkönkulutukseen

Liikenteen sähköistyessä fossiilisia polttoaineita korvataan kasvattamalla sähköntuotantoa. Sähkönkulutuksen ja -tuotannon yleinen kehitys määrittelee, missä määrin liikenteen sähköistyminen lopulta vaikuttaa sähkön riittävyyteen. Vaikka liikenteen sähköistyminen nostaa liikenteen sähkönkulutusta, ei kokonaiskulutuksen määrä välttämättä nouse merkittävästi, jos esimerkiksi energiatehokkuus paranee tai muu sähkönkulutus vähentyy.

Perusskenaariona laskelmissamme käytimme Suomen hallituksen asettamaa tavoitetta 250 000 sähköautosta vuoteen 2030 mennessä. Jos keskimääräinen kulutus on noin 0,2 kilowattituntia (kWh) kilometriltä ja autolla ajettu määrä eli ajosuorite on nykyisen kaltainen, lisäävät sähköautot sähkönkulutusta noin yhden terrawattitunnin (TWh) verran. Vaikka kaikki Suomen noin 2,6 miljoonaa henkilöautoa olisivat

sähkökäyttöisiä, sähkönkulutus ei tyypillisenä vuotena nousisi huomattavasti yli huippuvuoden 2007 tason, jolloin sähköä kulutettiin yhteensä yli 90 TWh (Jäppinen 2016).

Sähköautojen kulutus ei siis lisää merkittävästi sähkön kokonaiskulutusta. Mahdolliset sähköntuotantoon ja -jakeluun liittyvät investoinnit riippuvat kuitenkin sähköautojen määrän kasvusta ja latauksesta. Älykäs eli hallittu lataus voi helpottaa vaihtelevan tuotannon hyödyntämistä. Heti kytkettäessä käynnistyvä, hallitsematon lataus voi lisätä perinteisen sähköntuotannon tarvetta.

Tutkimuksissa on arvioitu sähköautoista johtuvan sähkönkulutuksen kasvua ja vaikutuksia sähköverkon toiminnalle eri skenaarioissa. Euroopan talousalue EEA (2017) arvioi, että sähkönkulutuksen kasvu EU28-maissa voisi vuonna 2050 olla noin 9,5 prosenttia kokonaiskysynnästä. Sähkönkulutuksen kasvua on tutkittu myös Pohjoismaisen sähköverkon osalta. Graabak ym. (2016) arvioivat kasvun olevan Pohjoismaissa yhteensä noin 7,5 prosentin ja 30 TWh:n luokkaa, jos koko autokanta sähköistetään.

Jos sähköautojen aiheuttama lisäkulutus on merkittävä, voi se nostaa sähkön jakelukustannuksia. Jos lisäkulutus jää pieneksi, voi siirtohinta laskea. (Lassila ym. 2012, Tikka ym. 2011.)

5.2 Latauksen vaikutus sähkönkulutukseen

Osana hanketta kokosimme yksinkertaisen autojen latausprofiilin, joka perustuu Liikenneviraston vuosien 2010–2011 henkilöliikennetutkimuksiin.

Pelkkä sähkönkulutuksen kasvu ei välttämättä aiheuta ongelmia sähköverkon ja -markkinoiden toiminnalle. Jos sen sijaan sähköautojen latauksesta syntyy selkeitä, huonosti ajoittuvia kulutuspiikkejä, voi se lisätä tarvetta infrastruktuuria kehittäville investoinneille. Nykyinen sähköverkko ei välttämättä riitä, jos kulutuspiikit kasvavat merkittävästi.

Liikenteen ja sähkönkulutuksen välillä on tähän asti ollut selkeä yhteys, sillä liikkueessa ihmiset eivät kuluta sähköä verkossa olevilla laitteilla. Osa energian- ja sähkönkulutuksesta, kuten lämmitys ja jatkuvasti päällä olevat laitteet, tapahtuu toki myös ilman ihmisten läsnäoloa. Sähköautojen yleistyminen lisää liikenteen ja sähkönkulutuksen välisen korrelaation tutkimisen tärkeyttä. Sähköautojen aiheuttama sähkönkulutuksen kasvu ajoittuu sen mukaan, miten ihmiset liikkuvat ja lataavat autojaan. Koska sähköautojen määrä on Suomessa vielä pieni, lataustottumuksista ei ole laajasti tietoa. Sähköautojen latauksen ajoittuminen samoille huippuhetkille muun sähkönkulutuksen kanssa voi lisätä tarvetta sähköverkon uusille investoinneille ja aiheuttaa siten lisäkustannuksia. Lisäksi huono ajoitus voi lisätä tarvetta käyttää sähköntuotantoon kalliimpia ja saastuttavampia laitoksia ja näin kasvattaa tuotannon päästöjä. Se voi myös huonontaa koko sähköverkon toimintaa.

Tulevien sähköautoilijoiden käyttäytymisen arvioimista vaikeuttaa se, että tutkimusten kohteena ovat vain nykyiset käyttäjät. Heistä suurin osa on sähköautoilun pioneereja (early adopters), jotka eroavat mieltymysiltään ja motivaatioiltaan myöhemmästä niin sanotusta suuresta massasta (mainstream). (Sovacool 2017.)

Suomalaiset liikkuvat talvella vähemmän, jolloin myös matkat ovat lyhyempiä kuin muulloin. Liikkumisen kausittainen vaihtelu näkyy myös sähköautojen sähkönkulutuksessa. Sähköautot kuluttavat kylmällä säällä hieman enemmän energiaa kuin lämpimällä, koska sitä kuluu liikkumisen lisäksi auton lämmitykseen. Norjassa on lisäksi havaittu, että sähköautojen latausmäärät ja -ajat voivat kasvaa talvella. (Figenbaum & Kolbenstvedt 2016.)

Kausittaisen vaihtelun lisäksi autolla ajettu matka vaihtelee pelkästään yhden viikon sisällä: viikonpäivinä ja viikonloppuina ajetaan eri määriä. Suomessa ajomatkat ovat pidempiä viikonloppuisin, kun muissa Pohjoismaissa ero on päinvastainen (Liu ym. 2015).

Norja on Euroopan johtava ja yksi maailman johtavia maita sähköautoistumisessa, ja siellä on kerätty kokemuksia ja tietoja pidemmälle edenneestä liikenteen sähköistymisestä. Täyssähköautojen päivittäinen ajomatka on Norjassa 24 kilometriä henkilöä kohden, kun polttoainemoottori- ja hybridi-autoilla vastaava luku on 17 kilometriä (Figenbaum & Kolbenstvedt 2016). Ajomäärät ovat Suomessa samankaltaisia.

Ilta Rautiainen (2012) on tarkastellut sähköautojen latauksen ajoittumista. Hänen tutkimuksensa perusteella latauksen suosituin aika ajoittuu kello 18 tienoille eli työpäivän jälkeen. Tämä on myös muun sähkönkulutuksen yksi suosituimmista ajankohdista. Figenbaum & Kolbenstvedt (2016) puolestaan tutkivat latauksen ajoittumista Norjassa. Myös siellä latauksen piikki on samaan aikaan muun sähkönkulutuksen huipun kanssa eli noin kello 16–20 välillä. Talvella Norjan latauspiikki kestää pidempään, noin kello 16–23, ja lataajia on enemmän. (Figenbaum & Kolbenstvedt 2016.)

Fluhr ym. (2010) simuloivat autojen saatavuutta Vehicle to Grid -käyttöön eli sähkön syöttämiseksi autoista verkkoon stokastisella, sattumanvaraisesti etenevällä mallilla. Heidän arvionsa sähköauton kulutuksesta on 3,9–4,1 kilometriä per kilowattitunti eli 0,24–0,26 kilowattituntia kilometriltä. Simulaatioiden perusteella yli neljännes autoista on pysäköitynä kotona parkissa työpäivien aikana. Jos käyttäjät lataavat autoa niin kutsutulla asfap-strategialla (as fast as possible eli niin nopeasti kuin mahdollista), lisääntyneen kulutuksen piikki kohdistuu iltaan noin kello 19 aikoihin. Akkujen vapaa kapasiteetti on Fluhrin ja kumppaneiden (2010) mukaan pienimmillään heti aamulla kuuden aikoihin, kun kaikki autot on ladattu täyteen.

Kuten edellä on mainittu, dataa on toistaiseksi saatavilla vain sähköautoilun edelläkävijöistä eli pioneereista. Uusia teknologioita ensimmäisenä käyttävien pioneerien mieltymykset ja käyttötottumukset voivat erota myöhempien käyttäjien vastaavista. Sähköautojen osalta tämä voi näkyä esimerkiksi erilaisina ajo- ja lataustottumuksina. Kypsän markkinan käyttäjät voivat vaatia nopeampaa latausta, ladata autojaan useammin ja ajaa pidempiä matkoja kuin autojen ensimmäiset käyttäjät. Pioneerit saattavat aluksi sopeutua sähköautojen toiminnallisuuksiin, kuten lyhyempään kantamaan ja hitaampaan latausnopeuteen. Näiden erojen vuoksi tieteellisessä kirjallisuudessa on painotettu aineiston keräämistä myös "normaaleista" käyttäjistä sekä nykyhetken keskittyvän tutkimuksen tärkeyttä (ks. Sovacool ym. 2017).

5.3 Sähköautojen lataus Suomessa

Laskimme kuljettajana toteutettujen ajojen määrän ja matkojen keskimääräisen pituuden avulla, miten matkat jakautuvat eri ajankohdille eri viikonpäivinä. Matkaprofiilit jaettiin neljään kategoriaan viikonpäivien mukaan: maanantai–torstai, perjantai, lauantai ja sunnuntai. Autokohtainen kilometrien jakautuminen eri ajankohdille saatiin jakamalla henkilöauton keskimääräinen vuosittainen ajomatka ensin eri kuukausille ja sitten viikonpäiville. Laskettu malli toimi pohjana arvioille sähkön kulutuksesta sekä lataustarpeen suuruudesta ja ajoituksesta. Sähkönsiirrosta syntyviä häviöitä ei ole huomioitu laskelmissa.

Arvion auton vuodessa keskimäärin ajamista kilometreistä otimme Trafín tutkimuksesta (Valta 2017). Sen lisäksi laskimme Trafín avoimesta datasta erikseen henkilöliikennekäytössä olevien sähköautojen keskimääräiset ajokilometrit. Laskelma tehtiin ensirekisteröinnin päivämäärän ja viimeisimmässä katsastuksessa merkityn matkamittarilukeman avulla. Jos auto esimerkiksi rekisteröitiin viisi vuotta sitten, ja matkamittarissa on 20 000 kilometriä, tarkoittaa se, että autolla ajetaan keskimäärin 4000 kilometriä vuodessa. Arvio ei eronnut huomattavasti muiden lähteiden arvioista, joissa tarkasteltiin koko autokannan keskimääräistä vuosittaista ajomatkaa. Esimerkiksi Norjasta on kuitenkin saatu tuloksia, joiden mukaan sähköautoilla ajettaisiin enemmän kuin polttomootoriautoilla (Figenbaum & Kolbenstvedt 2016).

Latausprofiileja luodessamme käytimme seuraavia oletuksia:

- Sähköautojen keskimääräinen ajomäärä vuodessa on 16 213 kilometriä (Trafi 2018b). Vertailun vuoksi kaikkien henkilöautojen keskimääräinen ajomäärä on vuodessa 16 857 kilometriä (Valta 2017).
- Sähköautojen oletettu sähkönkulutus on 0,2 kilowattituntia kilometriltä (Tikka ym. 2011; Kiviluoma & Meibom 2011).
- Profiili on laskettu 250 000 sähköautolle.

Aiemmissä tutkimuksissa oletukset sähkönkulutuksesta ja käytettävissä olevasta lataustehosta ovat vaihdelleet. Sähköautojen kulutukseksi on arvioitu jotain 0,15 kWh/km ja 0,3 kWh/km väliltä (Rautiainen 2012; Tikka ym. 2011, Kiviluoma & Meibom 2011). Tavallisimpien sähköautojen latausnopeudet ovat noin 3

kW ja 10 kW välillä (Rautiainen 2012). Lassila ym. (2012) arvioivat Vehicle to Grid -sähkövarastojen käytön taloudellisuutta jakeluverkossa käyttäen akkukapasiteetin oletuksena 30 kWh per auto ja purkutehon oletuksena 3,6 kW per auto.

Taulukkoon 1 on koottu esimerkkejä aiempien tutkimusten oletuksista.

Kulutus (kWh/km)	Latausteho (kW)	Lähde
0,18	3,68	Graabak ym. 2016
0,24–0,26		J. Fluhr ym. 2010
0,21–0,29	6,6 kW, 10kW ja 22kW	Tarroja ym. 2016
0,2		Tikka ym. 2011; Kiviluoma & Meibom 2011
	3–10 kW	Rautiainen 2012

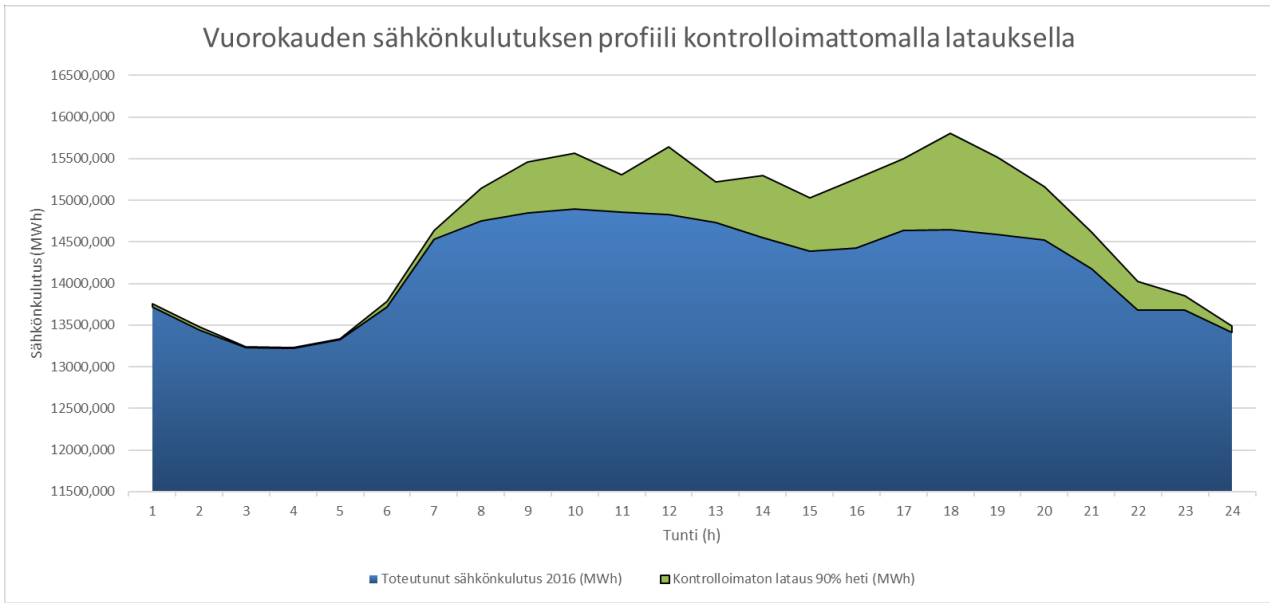
Taulukko 1: Yhteenveto aiempien tutkimusten kulutus- ja lataustehoarvoista.

Taulukossa 2 vedetään yhteen käytetyn aineiston muuttujat. Sähkönkulutuksen ja -tuotannon tiedot ovat vuodelta 2016.

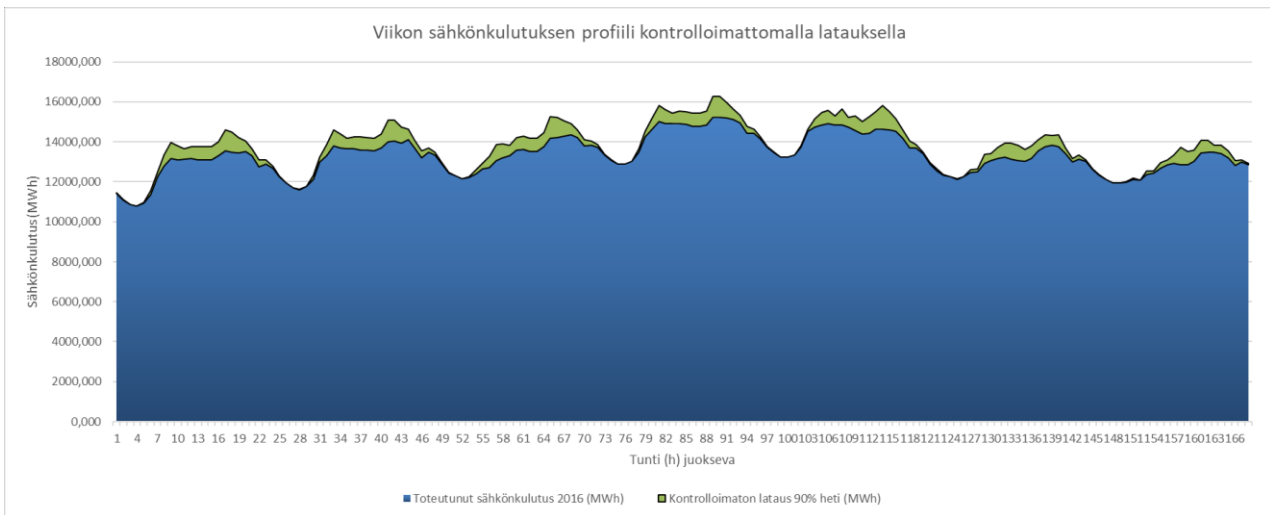
Muuttuja	N	Keskiarvo	Keskihajonta	Min	Max
Sähkönkulutus (MWh)	8 784	9 686,37	1 674,45	5 533,93	15 229,19
Lataus (1 h siirto)	8 783	407,88	328,01	0	1 390,94
Lataus 90 % (MWh)	8 782	416,68	326,26	0	1 353,43

Taulukko 2: Yhteenveto käytetyistä kulutuksen (Energiateollisuus 2017) ja latauksen muuttujista.

Kontrolloimatonta latausta kuvaa kaksi yksinkertaista profiilia. Niistä ensimmäisessä autojen kuluttama sähkö ladataan takaisin heti seuraavalla tunnilla. Toisessa kulutus korvataan 90 prosentissa tapauksista lataamalla auto heti matkaa seuraavan tunnin aikana ja 10 prosentissa vasta sitä seuraavalla tunnilla. Kaikista äärimmäisissä latausprofiileissa on yötunteja, jolloin autoja ei ladata lainkaan. Tällaisissa profiileissa täysi lataaminen tapahtuu heti ajon jälkeen, ja ne ovat sähköverkon kannalta pahimpia mahdollisia skenaarioita. Tällöin suurimmat latauspiikit ovat keskellä päivää tehtävien työmatkojen jälkeen eli noin puoliltapäivän ja alkuillasta töistä kotiin palattaessa. Latausverkoston kasvava latausnopeus voisi pahimmillaan lisätä suosituimpaan aikaan tapahtuvaa latausta, sillä autoja voisi ladata aina pysäköitäessä. Tällöin tarve ladata auto yöllä matalan kulutuksen tunteina vähentyisi.

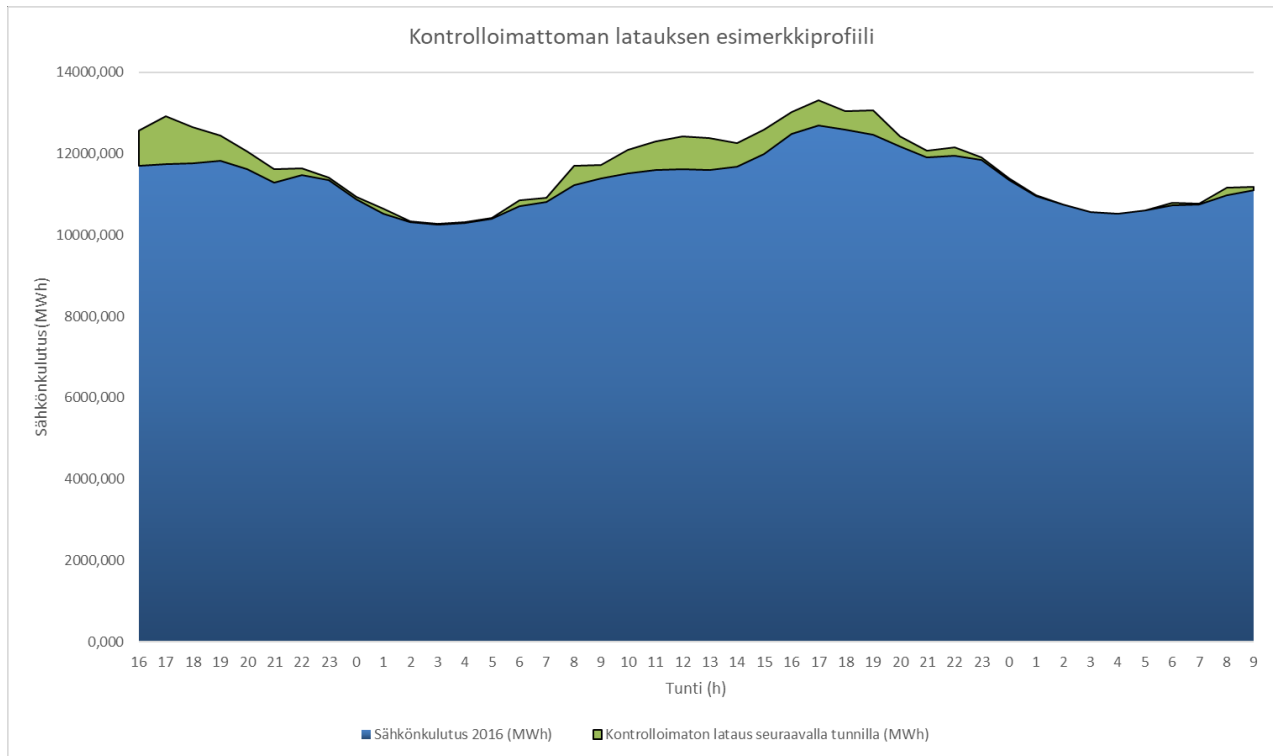


Kuvio 2: Toteutuneen sähkönkulutuksen (Energiateollisuus 2017) ja kontrolloimattoman latauksen esimerkkiprofiili, tammikuu 2016, viikko 1, perjantai.

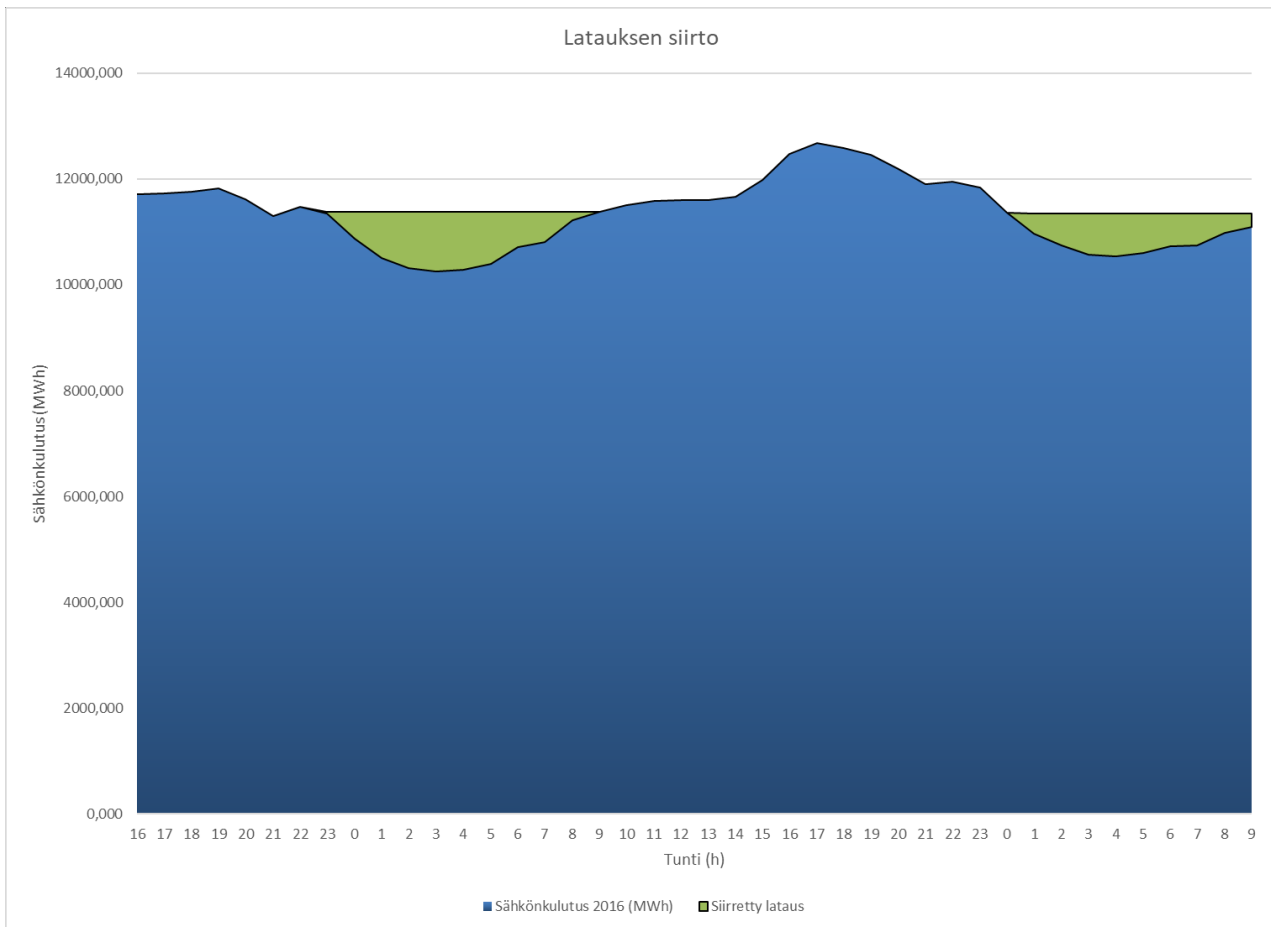


Kuvio 3: Toteutuneen sähkönkulutuksen (Energiateollisuus 2017) ja kontrolloimattoman latauksen esimerkkiprofiili, tammikuu 2016, viikko 1.

Esimerkki profiilit osoittavat, että pahimmassa tapauksessa sähköautojen latauksen piikit ajoittuvat samaan aikaan muun sähkönkulutuksen piikkien kanssa. Todellisuudessa ison osan latauksesta voi toteuttaa yöllä, jolloin lataus itse asiassa tasoittaa kokonaissähkönkulutusta. Optimaalisimmassa skenaariossa sähköautojen akkuja voisi käyttää kaksisuuntaisesti, jolloin niistä vapautettaisiin esimerkiksi yöllä ladattua energiaa takaisin verkkoon suosituimpien kulutustuntien aikana. Tällöin sähköautot kompensoisivat piikkituntien kulutusta. Tämä hyödyttäisi sekä verkon kuormitusta että sähköntuotannon päästöjä.



Kuvio 4: Esimerkki kahden yön sähkönkulutuksen profiileista kontrolloimattomalla latauksella, tammikuu 2016, viikko 53.



Kuvio 5: Esimerkki kahden yön sähkönkulutuksen profiileista latauksen siirrolla, tammikuu 2016, viikko 53.

5.4 Sähköautoilun vaikutukset sähköverkkoon

Sähköautojen vaikutukset sähköverkon toiminnalle eivät rajoitu pelkästään sähkön kokonaiskulutuksen kasvuun tai ajoitukseen. Varsinkin aluksi sähköautojen käyttöönotto voi keskittyä alueellisesti, mikä voi lisätä investointien tarvetta paikallisverkkoihin. Lisäksi sähköautojen lataus ja kaksisuuntainen, älykäs lataus voivat vaikuttaa sähköverkkoon myös sähkömarkkinoiden kautta. Sähköautojen määrän kasvun vaikutuksia sähköverkolle on tutkittu muun muassa simulaatiomallein ja paikallisia kokeita hyödyntäen. Sähköautojen keskittyminen voi nostaa kuormitusta liikaa paikallisesti ja esimerkiksi nopeuttaa jakelumuuntajan kulumista (esim. Muratori 2018; Alahäivälä 2012). Simulointien perusteella latauksen ei kuitenkaan normaalitilanteessa pitäisi vaatia jakeluverkon mitoituksen muuttamista, varsinkaan, jos lataus on älykästä (Järventausta ym. 2015).

Jos sähköautojen käyttöönotto keskittyy varsinkin alkuvaiheessa tietyille alueille, voi latauksen aiheuttamista sähkön kysyntäpiikeistä ja lisääntyneestä kuormasta syntyä paikallisia ongelmia. Sähköautojen lyhyemmät kantamat voivat rajoittaa ostohalukkuutta erityisesti harvempaan asutuilla alueilla, joissa välimatkat ovat pidempiä. Suomessa onkin havaittu, että sähköautoja halutaan ostaa vähemmän maaseudulla ja haja-asutusalueilla (Ruostesaari ym. 2016). Sähköautot yleistyvät todennäköisesti ensin suuremmissa kaupungeissa, ja kaupungeissakin niiden yleistyminen voi keskittyä alueellisesti.

Sähköautojen hallitsematon kotilataus lisää kokonaissähkönkulutusta hillitysti, mutta kulutuksen muoto muuttuu merkittävämmän. Nopeampi lataus kasvattaa sähkönkulutusprofiiliin kohdistuvaa vaikutusta. Jos sähköautojen käyttö keskittyy pienille alueille, voivat paikalliset siirtoverkkoon kohdistuvat vaikutukset olla suurempia. (Muratori 2018.)

Heti kytkettäessä käynnistyvä lataus voi kasvattaa sähköverkon kuormitusta, kun ohjattavan latauksen vaikutukset verkkoon ovat pieniä tai olemattomia (Järventausta ym. 2015; Tikka ym. 2011). Älykäs ja kaksisuuntainen lataus voivat myös vaikuttaa verkon toimintaan positiivisesti. Ne voivat muun muassa vähentää vaihtelevan uusiutuvan energiantuotannon tuottamia kustannuksia (Chandrashekar ym. 2017). Kuviossa 6 on yhteenveto sähköautojen vaikutuksista sähköverkon toiminnalle.



Kuvio 6: Sähköautojen vaikutukset sähköverkon toimintaan.

6 Älykäs lataus

Sähköautojen lataus voi olla hallittua (niin kutsuttu älykäs lataus) tai kontrolloimatonta eli heti kytkettäessä käynnistyvää (niin kutsuttu tyhmä lataus). Älykkäällä, verkon tarpeet huomioivalla latauksella voi tasoittaa sähkönkulutuksen piikkejä ja hyödyttää koko verkkoa. Vehicle-to-grid (V2G) -järjestelmä mahdollistaa palvelujen tarjoamisen verkkoon. Kun autolla ei ajeta, sen akkua voidaan käyttää varastona tai varakapasiteettina.

Akkukapasiteettia voi siis hallita älykkäästi myös kaksisuuntaisesti (Vehicle-to-Grid tai Grid-to-Vehicle), jolloin latauksen ajoituksen lisäksi sähköautot voivat tarvittaessa syöttää energiaa takaisin sähköverkkoon (Jäppinen 2016).



Kuvio 7: Älykkään latauksen muodot.

Jo yksisuuntainen, ajastettu lataus voi olla hyödyllinen. Jos autojen lataus siirretään yön matalan kysynnän tunneille, ovat autot käyttövalmiita heti aamun työmatkaa varten, ja kasvanut sähkönkulutus ei kohdistu iltapäivän piikkitunneille.

Autojen ja lataustekniikan ominaisuudet rajoittavat älykkään latauksen määrää. Lisäksi vaatimukset ajokantamasta ja käyttömukavuudesta rajaavat sitä, kuinka paljon auton akkua voi käyttää kaksisuuntaisesti. Huomioitavaa on lisäksi, että sähköauton akun käyttö kaksisuuntaisesti ei tuota suuria rahallisia kompensatioita auton omistajalle, koska kaksisuuntainen käyttö kuluttaa auton akkua ja saattaa lyhentää ajettavien matkojen määrää.

Kiinteistöt voivat tarvita sähköjärjestelmien kuormittumisen älykästä hallintaa, koska akkujen kasvaessa ja sähköautojen määrän lisääntyessä kiinteistön sähköjärjestelmän rajat voivat tulla vastaan (Teknologiateollisuus 2018b).

Tällä hetkellä kaikkia käytössä olevia sähköautoja ei voi hyödyntää kaksisuuntaiseen lataukseen, ja on epäselvää, kuinka suurta osaa tulevista sähköautoista voi tarkoitukseen käyttää (Teknologiateollisuus 2018c). Toisaalta suurin osa kaksisuuntaisen latauksen hyödyistä saadaan, vaikka vain osa sähköautoista pystyisi siihen. (Kiviluoma & Meibom 2011, Chandashekar ym. 2017). Teknologian kustannusten vuoksi voi

olla jopa tehokkaampaa, että vain osa autoista varustetaan tarvittavilla ominaisuuksilla (Kiviluoma & Meibom 2011).

Sähköauton latauksen ajoittaminen ja oman sähköntuotannon ja -kulutuksen säätely ovat sähköauton omistajalle selkeimmät taloudelliset hyödyt. Tällöin ainoa omistajalle koitua haitta on ajomatkan pituuden rajautuminen. Jos auton akku kytketään sähköverkkoon, haittoja on vaikeampi arvioida. Huomioon tulisi ottaa muun muassa akun kuluminen ja sähkömarkkinoilta kaksisuuntaisesta latauksesta saatavat korvaukset. Älykkään latauksen tuottama rahallinen hyöty ei kuitenkaan ole niin suuri, että se merkittävästi ohjaisi ihmisten toimintaa. Kuluttajien asenteissa on eroa esimerkiksi säästöjen ja ympäristön osalta, ja toiset ovat halukkaampia osallistumaan sähköautojen ohjattuun lataukseen kuin toiset (Bailey & Axsen 2015).

Kiviluoma & Meibom (2011) vertailevat ”tyhmien” ja älykkäästi ladattavien sähköautojen vaikutuksia sähköverkon toimintaan. Vuoden 2004–2005 henkilöliikennetutkimuksen tietojen avulla he arvioivat sähköautojen päivittäin kulkeman matkan ja sähkökulutuksen tunnin tarkkuudella. Heidän tulostensa perusteella älykäs lataus laskee ja tyhmä, hallitsematon lataus nostaa sähkön hintaa, kun sähköautojen määrä nousee. Älykkäästi ladattavasta sähköautosta saatava hyöty verrattuna hallitsemattomasti ladattavaan oli vuodessa 227 euroa autoa kohden (Kiviluoma & Meibom 2011).

Parsons ym. (2014) mukaan kuluttajat kokevat V2G-sopimusten haitat suuriksi ja vaativat niistä suurempaa korvausta, kuin mitä markkinoilta nyt saa. Oston yhteydessä maksettava kompensatio olisi Parsonsin ja kumppaneiden mukaan parempi vaihtoehto, sillä se vähentäisi epävarmuutta V2G-käytön taloudellisuuteen liittyen. Heidän mukaansa kuluttajat vaikuttavat diskonttaavan eli alentavan tulevien säästöjensä arvoa huomattavasti vertaillessaan V2G-käytön taloudellisuutta.

Koko sähköverkon kannalta sähköautojen hyödyntämisessä on selkeää potentiaalia. Kaksisuuntainen lataus voi tarjota sähköverkolle hyödyllisiä palveluja ja vähentää esimerkiksi uusiutuviin polttoaineista ylijäävää energiaa sekä kaasun käyttöä (Nunes & Brito 2017). Kaksisuuntaisen latauksen taloudellisuus voi parantua teknologian kehittyessä. Myös esimerkiksi hiilivero voi nostaa sen kannattavuutta (ks. Freeman ym. 2017).

Sähköautojen vaikutukset sähköverkkoon riippuvat maan sähköntuotannosta, kuten tuuli- ja aurinkovoiman määrästä. Suomi kuuluu Euroopassa maihin, joiden tuuli- ja aurinkovoiman osuudet ovat pieniä (Kasten ym. 2016.) Sähköautot voivat auttaa vaihtelevan uusiutuvan energian käyttöön otossa. Esimerkiksi Chandrashekar ym. (2017) arvioivat sähköautojen latauksen hallinnan vaikutuksia tuulivoiman käyttöön simuloimalla sähköautokantaa. Heidän mukaansa tuulivoiman vaihtelevuuden aiheuttamia kustannuksia voi vähentää sähköautojen latauksen ajoitusta hallinnoimalla.

Aurinkoenergiaa tuottavat kotitaloudet voivat sähköauton kaksisuuntaista latausta hyödyntämällä käyttää aurinkoenergiaansa tehokkaammin ja vähentää sähköverkon kulutusta suosituimpiin aikoihin (esim. van der Kam & van Sark 2015). Sähköautojen älykkäästi ajoitettu lataus voi siis lisätä oman sähkön tuotantokapasiteetin käyttöastetta (Giglioli ym. 2014, Foley ym. 2013).

Kester ym. (2018) haastattelivat pohjoismaisia asiantuntijoita V2G-teknologioihin liittyen. Pohjoismaisilla sähköverkkotoimijoilla on haasteita sähkön kysyntäjoustoon liittyen. Asiantuntijat nostivat haastatteluissa esiin rakenteellisia muutoksia, joilla joustavien varastojen taloudellisuutta ja siten V2G:n houkuttelevuutta voisi parantaa. Latauspisteet voisi esimerkiksi huomioida verotuksessa. Yhtenäiset standardit ja eri toimijoiden, kuten verkko-operaattorien, roolien selkiyttäminen olisivat myös tarpeen. (Kester ym. 2018.)

Latausverkoston kasvaessa on tärkeää, että samalla kehitetään älykkään ja kaksisuuntaisen latauksen mahdollisuuksia. Tällöin latauksen voi toteuttaa sähköverkon toiminnan kannalta paremmin ja käyttäjien kannalta helposti. Näin älykkään latauksen potentiaali saadaan valjastettua parhaalla mahdollisella tavalla¹.

¹Kojo ym. (2018) huomauttavat, että jos latausjärjestelmiä tuetaan tulevaisuudessa, tulee myös varmistaa, että latausjärjestelmät mahdollistavat sähköautojen käytön joustopotentiaalina. He esittävät, että tuettavilta järjestelmiltä voisi vaatia kaksisuuntaista siirtoa tai mahdollisuutta avoimeen kommunikaatioon sähköjärjestelmän kanssa.

7 Sähköautojen käyttö hajautettuna varastona

Joidenkin arvioiden mukaan autoja ajetaan vain noin viisi prosenttia ajasta (Liimatainen & Viri 2017). Jäljelle jäävän ajan autot vievät tilaa käyttämättöminä parkkipaikoilla. Ajatus siitä, että autoja voisi hyödyntää myös silloin, kun niillä ei ajeta, on houkutteleva. Kotiin kiinni kytketyllä sähköautolla voisi tuottaa ja varastoida sähköä kotitalouden käyttöön. Tätä kutsutaan Vehicle-to-Home- eli V2H-malliksi.

Jo pieni määrä sähköautoja voi toimia hyvän kokoisena sähkövarastona. Kampman ym. (2011) arvioivat akun keskimääräisen kapasiteetin olevan ladattavilla hybrideillä 13 kWh ja täyssähköautoilla 26,7 kWh. Edellä esittelimme Lassilan ym. (2012) tutkimuksen, jossa he käyttivät oletuksena 30 kWh akkukapasiteettia ja 3,6 kW purkutehoa per auto. Jos käytettävissä on esimerkiksi satoja tuhansia autoja, on akuston kapasiteetti jo gigawattitunnin eli miljoonan kilowattitunnin luokkaa. Jotta tätä varastointikapasiteettia voidaan hyödyntää, on autojen oltava kytkettyinä sähköverkkoon. Lisäksi kapasiteetin täysimääräinen hyödyntäminen vaatii palveluntarjoajia, jotka kokoavat kuluttajien tarjoamista pienistä varastoista suurempia kokonaisuuksia.

Sähköautojen käyttö sähkövarastoina herättää kysymyksen niiden verotuksesta. Älyverkko työryhmän väliraportti (TEM 2017) nostaa esiin, että sähköveroa maksetaan tällä hetkellä sähkövaraston lataamiseen käytetystä sähköstä. Tämä johtaa siihen, että varastoitua sähköä verotetaan kahdesti: sekä varastoitaessa että uudelleen kulutukseen luovutettaessa. (TEM 2017.) Verotuskäytäntöön on jo suunnitteilla muutoksia, jotka voivat myöhemmin siirtyä koskemaan myös sähköautojen akkujen hyödyntämistä varastoina (Valtiovarainministeriö 2018).

Sähköauton akun hyödyntäminen kaksisuuntaisesti V2G-käytössä ei tuota auton omistajalle suuria rahallisia kompensatioita, koska V2G-käyttö kuluttaa auton akkua ja kuluttajalle voi koitua haittaa lyhyemmästä ajomatkasta. Akun kulumisessa on huomioitava myös vallitsevat sääolosuhteet, jotka voivat vaikuttaa latauksen kuluttavuuteen. Nämä asiat voivat rajoittaa kuluttajien halukkuutta hyödyntää sähköautoja kaksisuuntaisesti.

Sähkömarkkinoilla voitaisiin myös tarjota palvelukokonaisuuksia sähköautojaan varastoina käyttäville omistajille. Sähköä myyvä toimija voisi tällöin valita strategisesti parhaan markkinan, jolla myydä varastoimaansa sähköä verkkoon. Kuluttajalle järjestely olisi vaivatonta ja vaatisi vain palvelusopimuksessa mainittujen periaatteiden noudattamista, kuten sitä, että auton on oltava käytettävissä tietyn ajan kuukaudessa. Sähköauton omistaja voisi esimerkiksi saada sähköyhtiöltä hyvitystä sähkölaskustaan vastineeksi sähköautonsa akun käyttöoikeudesta. (ks. esim. Sovacool 2017.) Tulevaisuudessa sähköautoihin voisi ostos yhteydessä kytkeä esimerkiksi sähkösopimuksen tai vaikka aurinkopaneelin hankinnan. Jotta kuluttajat saadaan innostumaan tämänkaltaisista järjestelyistä, on palvelukentän ja tiedonkulun oltava selkeää.

Sähköautojen käyttöön otossa oleellista on, että hintaeroa polttomoottoriautoihin vähennetään hyödyntämällä autoon sitoutunutta pääomaa esimerkiksi sähkövarastona.

8 Yhteenveto

Kansallisen ilmastostrategian tavoite on, että sähköautokanta olisi kasvanut Suomessa 250 000 autoon vuoteen 2030 mennessä. Määrä ei lisää suoraa sähkönkulutusta niin merkittävästi, että sähköverkolle tai sähköntuotannolle koituisi siitä ongelmia. Sähkönkulutuksen kasvun vaikutukset paikallisiin sähköverkkoihin sekä kulutuksen ajoittumisesta syntyvät vaikutukset vaativat kuitenkin lähempää tarkastelua, jota olemme tässä raportissa pyrkineet tekemään.

Liikenteen sähköistymistä kannattaa lähestyä systeemien tasolta eli koko liikenne- ja sähköjärjestelmien kannalta. Myös kulutus on tällöin luonnollisesti osa suurempaa kokonaisuutta, ja kotitalouksien arvojen tunnistaminen ja tutkiminen on ensiarvoisen tärkeää. Esimerkiksi latausinfrastruktuurin tukeminen voi lisätä sähköautojen käyttöä, mutta infrastruktuurin vaikutukset sähkönkulutukselle riippuvat siitä, voiko latauksen tehdä älykkäästi. Sähköjärjestelmän joustavuutta pitäisi pystyä sähköautojen käytön avulla lisäämään tai vähintään säilyttämään samalla tasolla kuin nyt.

Pahimmillaan sähkönkulutus ajoittuu sähköverkon käytön huippukulutustunneille, mikä lisää saastuttavampien sähköntuotantomuotojen käyttöä sekä tarvetta verkon investoinneille. Jotta liikenteen sähköistyminen vaikuttaisi mahdollisimman positiivisesti sähköverkkoon, on tärkeää, että latauksen voi tehdä mahdollisimman joustavasti ja jopa kaksisuuntaisesti. Kuitenkin jo pelkkä älykkäästi ajoitettu lataus hyödyttää sähköverkkoa, sillä se voi tasoittaa sähkön kysyntää. Älykäs lataus laskee sähkön hintaa tulevaisuudessa, kun taas hallitsematon lataus nostaa sitä samalla kun sähköautojen määrä nousee (Kiviluoma & Meibom 2011).

Sähkömarkkinoiden näkökulmasta sähköautojen akkujen varastointipotentiali on kiinnostava mahdollisuus. Vaihtelevan uusiutuvan energiantuotannon kasvaessa tarvitaan yhä enemmän sähkön varastointikapasiteettia ja joustavaa kulutusta. Sähköautojen akut voivat olla osa ratkaisua ja vähentää energiantuotannon vaihtelevuudesta aiheutuvia kuluja (Chandrashekar ym. 2017). On kuitenkin pohdittava, missä määrin investoinnit sähköautojen älykkääseen latausteknologiaan kilpailevat suurien, keskitettyjen varastointiratkaisujen kanssa. Älykkään latauksen infrastruktuurien ja palvelujen tukeminen vaatii arviointia koko järjestelmän tasolla. Sähköautojen akkujen käyttöä on tarkasteltava myös suhteessa muihin nykyisiin ja tuleviin sähkönkulutuksen joustoa lisääviin teknologioihin. Tukiratkaisuja mietittäessä tulisi selvittää, mikä olisi Suomen kannalta tehokkain ratkaisu.

Tulevaisuudessa liikenne sekä sähköjärjestelmä ja -markkinat kytkeytyvät toisiinsa entistä tiukemmin. Jotta sähköautojen käyttöönotto ei aiheuttaisi ongelmia sähköverkon toiminnalle, on palvelujen, latausinfrastruktuurin, sähköntuotannon ja sähkömarkkinoiden yhteispeli suunniteltava kokonaisvaltaisesti. Tällöin sähköautojen hankinnan ja omistamisen tukeminen, uudet palvelut ja hinta yhdessä ohjaavat kuluttajia joustavuuteen, ja sähköautoistuminen voi hyödyttää niin ympäristöä, kuluttajia kuin sähköverkon toimintaa.

Lähdeluettelo

Autoalan tiedotuskeskus. (2018). Liikennekäytössä olevat sähkö- ja hybridihenkilöautot.

Bailey, J. ja Axsen, J. 2015. Anticipating PEV buyers' acceptance of utility controlled charging. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 82 (Supplement C): 29–46.

Brioneske, G. ja Wozabal, D. 2017. How do contract parameters influence the economics of vehicle-to-grid? *Manuf Serv Oper Manage* 19(1): 150–164.

Chandrashekar, S., Liu Y. ja Sioshansi, R. 2017. Wind-integration benefits of controlled plug-in electric vehicle charging. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 5(5), 746–756.

Daziano, R. 2013. Conditional-logit Bayes estimators for consumer valuation of electric vehicle driving range. *Resource and Energy Economics*, 35, 429-450.

EEA 2017. Electric vehicles and the energy sector – impacts on Europe's future emissions.

Energiatoteellisuus 2017. Sähkön tuntidata 2016.

Figenbaum, E. ja Kolbenstvedt, M. 2016. Learning from Norwegian Battery Electric and Plug-in Hybrid Vehicle users: Results from a survey of vehicle owners. *TØI report*, (1492/2016).

Fingrid 2015. Sähköautojen käyttöä reserveinä testattiin Lappeenrannassa. Haettu 13.5.2018.

Fluhr, J., Ahlert, K. H. ja Weinhardt, C. 2010. *A Stochastic Model for Simulating the Availability of Electric Vehicles for Services to the Power Grid*. 2010 43rd Hawaii International Conference on System Sciences.: 1–10.

Freeman, GM., Drennen, TE. ja White, AD 2017 Can parked cars and carbon taxes create a profit? The economics of vehicle-to-grid energy storage for peak reduction. *Energy Policy* 106 (Supplement C): 183–190.

Graabak, I., Wu Q., Warland, L. ja Liu, Z. 2016. Optimal planning of the Nordic transmission system with 100% electric vehicle penetration of passenger cars by 2050. *Energy* 107 (Supplement C): 648660.

Hidrue, M., Parsons G., Kempton, W. ja Gardner, M. 2011. Willingness to pay for electric vehicles and their attributes. *Resource and Energy Economics*, 33, 686-705.

IPCC 2014: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., Kriemann, B., Savolainen, J., Schlomer, S., von Stechow, C., Zwickel, T. ja Minx, J.C. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Jäppinen, J. 2016. 250 000 sähköautoa tulee – kaatuuko kantaverkko?. Haettu 11.5.2018.

Järventausta, P., Repo, S., Trygg, P., Rautiainen, A., Mutanen, A., Lummi, K., Supponen, A., Heljo, J., Sorri, J. ja Harsia, P. 2015. *Kysynnän jousto – Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille (DR pooli)*. Tutkimusraportti, TTY, LUT, TAMK.

Kampman, B., van Essen, H., Braat, W., Grünig, M., Kantamaneni, R. ja Gabel, E. 2011. *Impacts of electric vehicles – an overview of electric vehicles on the market and in development*.

Kasten, P., Bracker, J., Haller, M. ja Purwanto, J. 2016. *Assessing the status of electrification of the road transport passenger vehicles and potential future implications for the environment and European energy system.* Specific Contract under Framework Contract EEA/ACC/13/003 LOT-1 Final report – Task 2. Öko-Institut e.V.: Berliini.

Kester, J., Noel, L., de Rubens, G. Z. ja Sovacool, B. K. 2018. Promoting Vehicle to Grid (V2G) in the Nordic region: Expert advice on policy mechanisms for accelerated diffusion. *Energy Policy*, 116, 422–432.

Kiviluoma, J. ja Meibom, P. 2011. Methodology for modelling plug-in electric vehicles in the power system and cost estimates for a system with either smart or dumb electric vehicles. *Energy* 36 (3): 1758–1767.

Kojo, M., Kotilainen, K., Rautiainen, A., Aalto, P., Holttinen, H., Rönkkö, T., Kaivo-oja, J., Björkqvist, T. ja Toivanen, P. 2018. *Miten sähköautopolitiikalla edistetään joustavampaa sähköjärjestelmää?* EL-TRAN analyysi 2/2018.

Lassila, J., Haakana, J., Tikka, V. ja Partanen, J. 2012. Methodology to analyze the economic effects of electric cars as energy storages. *IEEE Transactions on smart grid*, 3 (1), 506–516.

Liikenne- ja viestintäministeriö 2011. Sähköautojen tulevaisuus Suomessa Sähköautot liikenne- ja ilmastopolitiikan näkökulmasta. *Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 12/2011*. LVM, Helsinki.

Liikennevirasto 2012. *Henkilöliikennetutkimus 2010–2011*. Liikennevirasto, Helsinki.

Liikennevirasto 2018. *Henkilöliikennetutkimus 2016 Suomalaisten liikkuminen*. Liikenneviraston tilastoja 1/2018. Haettu 11.5.2018.

Liimatainen, H. ja Viri, R. 2017. Liikenteen päästötavoitteiden saavuttaminen 2030 – politiikkatoimenpiteiden tarkastelu. *Suomen ilmastopaneeli raportti 2/2017*.

Liu, Z., Wu, Q., Christensen, L., Rautiainen, A. ja Xue, Y. 2015. Driving pattern analysis of Nordic region based on National Travel Surveys for electric vehicle integration. *J Mod Power Syst Clean Energy* 3(2): 180–189.

Muratori, M. 2018. Impact of uncoordinated plug-in electric vehicle charging on residential power demand. *Nature Energy*.

Nunes, P. ja Brito, MC. 2017. Displacing natural gas with electric vehicles for grid stabilization. *Energy* 141 (Supplement C): 87–96.

Pasaoglu, G., Zubaryeva, A., Fiorello, D. ja Thiel, C. 2014. Analysis of European mobility surveys and their potential to support studies on the impact of electric vehicles on energy and infrastructure needs in Europe. *Technological Forecasting and Social Change* 87 (Supplement C): 41–50.

Parsons, GR., Hidrue, MK., Kempton, W. ja Gardner, MP. 2014. Willingness to pay for vehicle-to-grid (V2G) electric vehicles and their contract terms. *Energy Economics* 42 (Supplement C): 313–324.

Rautiainen, A., Repo, S., Jarventausta, P., Mutanen, A., Vuorilehto, K. ja Jalkanen, K. 2012. Statistical charging load modeling of PHEVs in electricity distribution networks using national travel survey data. *IEEE Transactions on smart grid*, 3(4), 1650–1659.

Richardson, DB. 2013. Encouraging vehicle-to-grid (V2G) participation through premium tariff rates. *Journal of Power Sources* 243 (Supplement C): 219–224.

Ruostesaari, I., Aalto, P., Kallioharju, K., Kojo, M., Rautiainen, A. ja Toivanen, P. Suomalaiset eivät lämpene sähköautoille – miten kiinnostus sytytetään? *EL-TRAN analyysi 6/2016*.

Tarroja, B., Zhang, L., Wifvat, V., Shaffer, B. ja Samuelson, S. 2016. Assessing the stationary energy storage equivalency of vehicle-to-grid charging battery electric vehicles. *Energy* 106: 673–690.

Teknologiaeollisuus 2018a. *Sähköisen liikenteen tilannekatsaus Q1/2018*. Haettu 11.5.2018.

Teknologiaeollisuus 2018b. Kuormanhallinta tuo älyä sähköautojen lataukseen.

Teknologiaeollisuus 2018c. Kaksisuuntainen lataus syrjäyttää perinteisen latauspisteen muutamassa vuodessa.

TEM 2017. Matkalla kohti joustavaa ja asiakaskeskeistä sähköjärjestelmää. Työ- ja elinkeinoministeriön älyverkkojärjestelmän väliraportti. *Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu: Energia 38/2017*. Helsinki.

Tikka, V., Lassila, J., Haakana, J. ja Partanen, J. 2011, December. Case study of the effects of electric vehicle charging on grid loads in an urban area. In *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe)*, 2011 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on (pp. 1–7). IEEE.

Trafi 2018a. Ajoneuvokanta. Haettu 15.6.2018.

Trafi 2018b. Ajoneuvojen avoin data.

Uddin, K., Dubarry, M. ja Glick, M. B. 2018. The viability of vehicle-to-grid operations from a battery technology and policy perspective. *Energy Policy*, 113, 342–347.

Valta, K. 2017. Tutkimus ympäristöystävällisestä autoilusta. 3–2017. Liikenteen turvallisuusvirasto (Trafi). Helsinki. Viitattu 6.11.2017.

Valtiovarainministeriö 2018. Energiaverotukseen muutoksia vuoden 2019 alusta.

van der Kam, M. ja van Sark, W. 2015. Smart charging of electric vehicles with photovoltaic power and vehicle-to-grid technology in a microgrid; a case study. *Appl Energy* 152: 20–30.

Wang, D., Coignard, J., Zeng, T., Zhang, C. ja Saxena, S. 2016. Quantifying electric vehicle battery degradation from driving vs. vehicle-to-grid services. *Journal of Power Sources* 332 (Supplement C): 193–203.