

**Pekka Nevalainen**

**Sähköauto talviolosuhteissa ja osana älykästä sähköverkkoa**

**Opinnäytetyö**

**CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU**

**Sähkötekniikan koulutusohjelma - Energiatekniikan suuntautuminen**

**Huhtikuu 2013**

## TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

|   |                              |   |
|---|------------------------------|---|
| <b>Yksikkö</b><br>Ylivieskan yksikkö  | <b>Aika</b><br>Huhtikuu 2013 | <b>Tekijä/tekijät</b><br>Pekka Nevalainen |
| <b>Koulutusohjelma</b><br>Sähkötekniikan koulutusohjelma  |                              |   |
| <b>Työn nimi</b><br>SÄHKÖAUTO TALVIOLOSUHTEISSA JA OSANA ÄLYKÄSTÄ SÄHKÖVERKKOA  |                              |   |
| <b>Työn ohjaaja</b><br>Sakari Nokela, WintEVE projektipäällikkö<br>Yrjö Muilu, Lehtori, Centria AMK   |                              | <b>Sivumäärä</b><br>52                    |
| <b>Työelämäohjaaja</b><br>Miika Oksanen, projekti-insinööri Centria AMK   |                              |   |
| <p>Työn aiheena on tutkia sähköauton ja käyttäytymistä kylmissä olosuhteissa osana WintEVE -tutkimusprojektia.</p> <p>Työssä tutustutaan aluksi sähkö- ja hybridautojen tekniikkaan ja Suomessa yleisesti käytössä oleviin lataustekniikoihin. Sähköauton latauksen yhteydessä tutkitaan vallitsevan lämpötilan vaikutusta latausaikoihin, sekä latauksen ottamaan energiamäärään ja ajokilometreihin. Akkujen kestoa tutkitaan käytännön ajotesteillä, sekä tutkitaan ilmastoinnin vaikutusta saavutettaviin ajokilometreihin. Näiden tulosten pohjalta tehdään päätelmiä, soveltuuko sähköauto osaksi sähköverkon varavoimajärjestelmää talvella.</p> <p>Mittaustuloksista voi selvästi huomata niin latauslämpötilan, ajolämpötilan, sekä ilmastoinnin lämpötilan vaikutuksen ajokilometreihin. Tulosten perusteella huomattiin, että alle -10°C ulkolämpötila lyhentää ajomatkaa huomattavasti.</p> |                              |   |

### Asiasanat

Sähköauto, Hybridauto, Talvi, Lataus

**ABSTRACT**

|  |                           |                                   |
|--|---------------------------|-----------------------------------|
| <b>CENTRIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES</b>  | <b>Date</b><br>April 2013 | <b>Author</b><br>Pekka Nevalainen |
| <b>Degree programme</b><br>Electrical engineering  |                           |                                   |
| <b>Name of thesis</b><br>ELECTRIC CAR IN WINTER CONDITIONS AND AS A PART OF A SMART ELECTRIC GRID  |                           |                                   |
| <b>Instructor</b><br>Sakari Nokela, WintEVE project manager<br>Yrjö Muilu  |                           | <b>Pages</b><br>52                |
| <b>Supervisor</b><br>Miika Oksanen, project engineer Centria AMK   |                           |                                   |
| <p>The subject of this thesis was to study, as a part of WintEVE project, how an electric car will manage in cold winter conditions.</p> <p>At first in the thesis electric- and hybrid car technology and commonly used charging techniques in Finland were discussed. Related to charging an electric car also the effect of climate on charging times as well as on the energy charged and the driving range were studied. Battery life was explored by practical driving tests and also the effect of air conditioning on driving range was tested. Based on these tests and results conclusions on how suitable electric cars are for being part of a smart grid emergency power system in winter drawn.</p> <p>There were obvious effects seen in metering results that showed that the temperature of charging, climate and air conditioning temperature affects the driving range. Based on the results outdoor temperature of lower than minus ten degrees Celsius will shorten the driving range dramatically.</p> |                           |                                   |
| <b>Key words</b><br>Electric car, Hybrid car, Winter, Charging   |                           |                                   |

## KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

SOC = State Of Charge. Akun varaustilan ilmoittava luku, 0-100(%).

kW = kilowatti. Tehon yksikkö.  $W \times 10^3$

MW = megawatti. Tehon yksikkö.  $W \times 10^6$

kWh = kilowattitunti. Kilowatin tehon, tunnin aikana kuluttama energiamäärä.

A = ampeeri. Sähkövirran yksikkö.

Smart Grid = älykäs sähköverkko. Etäohjattavista- ja valvottavista laitteista koostuva sähköverkko.

V2G = vehicle to grid. Sähkön siirto auton akusta sähköverkkoon.

EV = electric vehicle. Sähköauto

HEV = Hybrid electric vehicle. Hybridisähköauto.

PHEV = Plug in hybrid electric vehicle. Verkosta ladattava hybridisähköauto.

E-REV = Laajennetun käyttösäteen sähköauto(Extended range electric vehicle)

WintEVE = yksi Tekesin EVE – Sähköisten ajoneuvojen järjestelmät – ohjelman viidestä konsortioista. Sen toimintaa koordinoi Centria Tutkimus ja Kehitys.

Tekes = Tekes on yritysten, yliopistojen, korkeakoulujen ja tutkimuslaitosten haastavien tutkimus- ja kehitysprojektien ja innovaatiotoiminnan rahoittaja ja aktivoija.

INCA = tutkimusprojekti, jossa kehitettiin interaktiivista asiakasliityntää älykkään sähköverkon tarpeisiin.

Range extender = "taipaleenpidentäjä" .Opelin nimitys bensiinimoottorin ja generaattorin yhdistelmälle, jota käytetään E-REV Opel Amperassa.

Schuko = nimitys suomessa ja monissa Euroopan maissa käytössä olevalle maadoitetulle, tyypin F pistorasialle.

CAN -väylä = autoissa ja koneissa käytettävä automaation tiedonsiirtoväylä.

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>JOHDANTO</b>                                      | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>SÄHKÖAUTOT</b>                                    | <b>2</b>  |
| 2.1      | ELECTRIC VEHICLE - EV                                | 3         |
| 2.2      | HYBRID ELECTRIC VEHICLE - HEV                        | 5         |
| 2.3      | PLUG-IN HYBRID ELECTRIC VEHICLE - PHEV               | 7         |
| 2.4      | EXTENDED RANGE ELECTRIC VEHICLE - E-REV              | 8         |
| 2.5      | OPEL AMPERAN JA CHEVROLET VOLTIN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ | 8         |
| <b>3</b> | <b>SÄHKÖAUTOJEN LATAUS</b>                           | <b>13</b> |
| 3.1      | LATAUSASEMAT   | 13        |
| 3.2      | HIDAS LATAUS   | 14        |
| 3.3      | PIKALATAUS   | 17        |
| <b>4</b> | <b>ÄLYKÄS SÄHKÖVERKKO ELI SMART GRID</b>             | <b>18</b> |
| 4.1      | PALVELUT AUTOSTA VERKKOON PÄIN                       | 19        |
| 4.2      | VERKON TARJOAMAT PALVELUT AUTOON PÄIN                | 23        |
| <b>5</b> | <b>CASE HERRFORS - OPEL AMPERA</b>                   | <b>24</b> |
| 5.1      | LATAUSMITTAUKSIA                                     | 27        |
| 5.2      | AJOMITTAUKSIA  | 32        |
| 5.3      | ENERGIANKULUTUS AJETTAESSA                           | 35        |
| <b>6</b> | <b>CENTRIAN NISSAN LEAF - TÄYSSÄHKÖAUTO</b>          | <b>37</b> |
| <b>7</b> | <b>TULOSTEN POHDINTAA JA HAVAINTOJA AIHEESTA</b>     | <b>40</b> |
| 7.1      | TAVOITTEITA JA TULOKSIA                              | 40        |
| 7.2      | KEHITYSAJATUKSIA SÄHKÖAUTOIHIN TALVEA AJATELLEN      | 42        |
| 7.3      | SÄHKÖAUTO VARAVOIMANA                                | 42        |
| 7.4      | MUIDEN VASTAAVIEN TUTKIMUSTEN TULOKSIA               | 43        |
|          | <b>LÄHTEET</b>                                       | <b>50</b> |

## 1 JOHDANTO

Tässä työssä on tarkoituksena tutkia, kuinka sähköautot ja osaksi sähköä käyttävät autot toimivat talvisissa ja arktisissa olosuhteissa, sekä mitä vaikutuksia kylmällä ilmastolla on akkujen lataamiseen ja niiden kestävyys. Työssä on myös tavoitteena tutkia ja pohtia, kuinka Smart Grid- ja sähköautot voivat tukea toisiaan. Sähköverkon kannalta sähköautojen kyky varastoida suuriakin määriä sähköenergiaa, on täysin uusi mahdollisuus. Sähkön varastointia ja takaisin verkkoon syöttöä pohditaan ja pyritään selvittämään talviolosuhteissa tapahtuvan edestakaisen sähkönsiirron kannattavuutta.

Autoilla on tehty testiajoja talvisissa keleissä, monissa eri lämpötiloissa ja tietynlaisilla ajoreiteillä, sekä tutkittu ulkolämpötilan vaikutusta latauksen keston ja hyötysuhteeseen. Käyttökokemuksia on kerätty Oy Herrfors Ab:n päivystysautona jokapäiväisessä työkäytössä toimivasta hybridisähköautosta, Opel Amperasta, sekä Centria tutkimus ja kehityksen Nissan Leaf -täyssähköautosta.

## 2 SÄHKÖAUTOT

Sähköautojen historia alkaa yli sadan vuoden takaa. Sähköautojen alkuaikoina niiden määrä oli jopa kaksinkertainen polttomoottorilla varustettuihin autoihin verrattuna. Tuohon aikaan toimintasäde ei ollut vähäisten tiekilometrien takia niin merkittävässä roolissa, kuin nykypäivänä. Kun teiden rakentaminen eteni ja sähköisten starttien yleistyminen polttomoottoriautoissa alkoi, menetti sähköauto asemaansa polttomoottoriautolle. Polttomoottoriauton pitkä toimintasäde ja polttoaineen edullisuus ja helppo tankkaaminen aiheuttivat lopulta sähköautojen lähes täydellisen katoamisen markkinoilta 1930-luvulla seuraavaksi kuudeksi vuosikymmeneksi. (Pillai, 2010, 16)

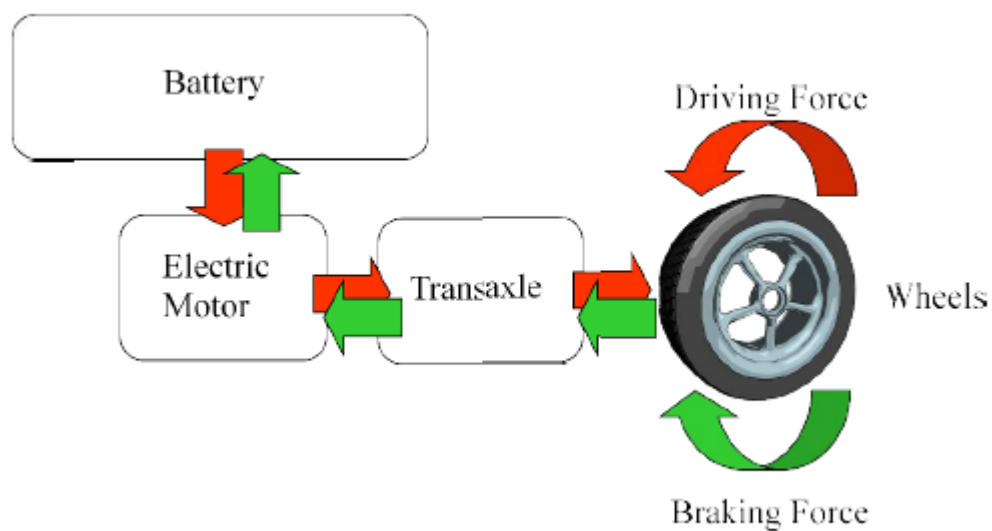
Tultaessa 90-luvulle alkoi sähköautoja ilmestyä markkinoille autovalmistajilta ympäri maailmaa. Tämä oli seurausta ilmastolainsäädännön ja päästöjen säännöstellyn muutoksista, joilla pyrittiin ohjaamaan valmistajia kehittämään polttoainetaloudellisempia ja vähemmän saastuttavia automalleja. Vaikka suurin osa merkittävästä autovalmistajista toi markkinoille sähköautomallin, eivät ne onnistuneet luomaan pysyvää asemaa markkinoilla, johtuen lähinnä lyhyestä toimintamatkasta ja akkujen huonosta suorituskyvystä. Malleista suurimman osan valmistus lopetettiin muutamana vuoden sisällä. (Pillai, 2010, 16)

Nyky sukupolven sähköautojen laajamittaisempi hyväksyntä on saanut alkunsa korkeasta polttoaineiden hinnoista sekä polttomoottoreiden ilmaa ja luontoa saastuttavasta maineesta. Suuri vaikutus on myös akkuteknologian kehityksellä. Nykyaikaisissa Litium-ioni akuissa on paljon suurempi energiatiheys sekä parempi energiataloudellisuus.

Sähköauto-sanana käsitetään usein tarkoittavan pelkästään sähköllä toimivaa autoa. Kuitenkin nykyään on paljon erilaisia autoja, joissa sekä sähkö että polttomoottori on yhdistetty samaan autoon, ja tätä kokoonpanoa käsitellään sähköautona. Nämä autot eroavat toisistaan yleensä joko vetotavan tai primäärisen energiantuotantotavan suhteen.

## 2.1 Electric vehicle - EV

EV -lyhenteellä tarkoitan tässä työssä täyssähköautoja, jotka toimivat pelkästään akkuun ladatun energian voimalla. Täyssähköautossa ei ole muuta energialähdettä, kuten polttomoottoria. Energian akku saa ulkoisesta sähköverkosta, joko valtakunnallisesta sähköverkosta tai pienemmästä itsenäisestä verkosta. (Biomeri Oy, 2009, 12) Verkkoon kytketty latauslaite syöttää autoon vaihtovirtaa, jonka autossa oleva muuntaja muuntaa tasavirraksi ja lataa auton akun. Toinen tapa on syöttää tasavirtaa niin sanotulla pikalatauslaitteella suoraan akkuun.



KUVIO 1. Täyssähköauton energiavirrat ja toimintaperiaate. (Rautiainen 2012.)

Täyssähköautoissa on suuri akkupaketti polttoainetankin tilalla ja polttomoottorin sijasta niissä on sähkömoottori. Akuista saatava sähköenergia käytetään sähkömoottorissa tuottamaan mekaanista energiaa. Seuraavaksi mekaaninen energia siirretään vaihteiston kautta renkaalle, jolloin energia muuttuu auton kineettiseksi energiaksi. (Rautiainen 2012.)

Joissakin autoissa veto on toteutettu suoraan sähkömoottorilta renkaaseen, jolloin voimansiirron hyötysuhdetta on saatu parannettua voimaa tarvitsevan vaihteiston jäädessä pois. Myös ajotuntuma on aivan erilainen kuin perinteisellä vaihteistolla varustetuissa autoissa. (Tiainen 2011, 8-9.)

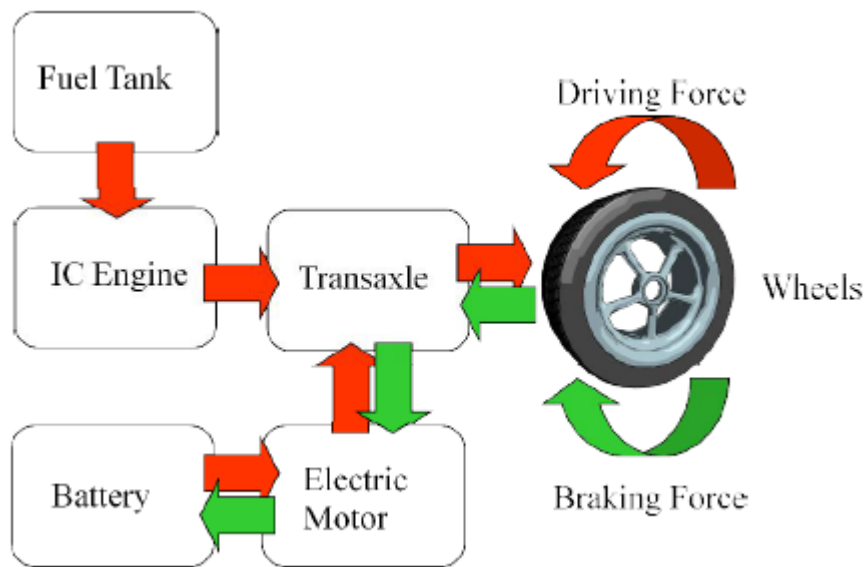


Sähköautoissa on eräs mielenkiintoinen ominaisuus, mahdollisuus muuttaa auton kineettinen energia jarrutustilanteissa sähköenergiaksi ja ladata se akkuun. Kyseinen operaatio on nimeltään rekuperatiivinen jarrutusenergian talteenotto, tai regeneratiivinen jarrutus. Regeneratiivisessa jarrutuksessa energian suunta on päinvastainen verrattuna normaaliin ajotilanteeseen. (Rautiainen, 2012)

Jarrutus tai rullaamistilanteessa talteen otettu energia kasvattaa akun varausta, mutta se ei riitä akun lataamiseen muulloin kuin mahdollisesti pitkissä alamäissä, jolloin auton sähkömoottoria ei tarvitse käyttää auton liikuttamiseen. Käytännössä liike-energian talteenotolla saadaan osa auton kiihdyttämiseen tarvitusta energiasta talteen auton vauhdin hiljentämisen, tai pysäyttämisen yhteydessä.

## 2.2 Hybrid electric vehicle - HEV

Hybridi-sähköautoja on olemassa pääasiassa kahdella eri tekniikalla toteutettuna riippuen siitä, kuinka voima siirretään vetoakselille. Tällä hetkellä yleisempi lukumääräisesti on rinnakkaishybridiauto, jossa polttomoottori on pääasiallinen voimanlähde, ja sen tuottama energia siirretään vaihteiston ja vetoakseleiden välityksellä renkailla. Polttomoottorin rinnalla on sähkömoottori, joka saa voimansa akusta ja on kytketty myös vaihteistoon. Molemmat voimanlähteet voivat toimia joko yksistään, tai ne voivat toimia yhdessä täydentäen toinen toistaan.

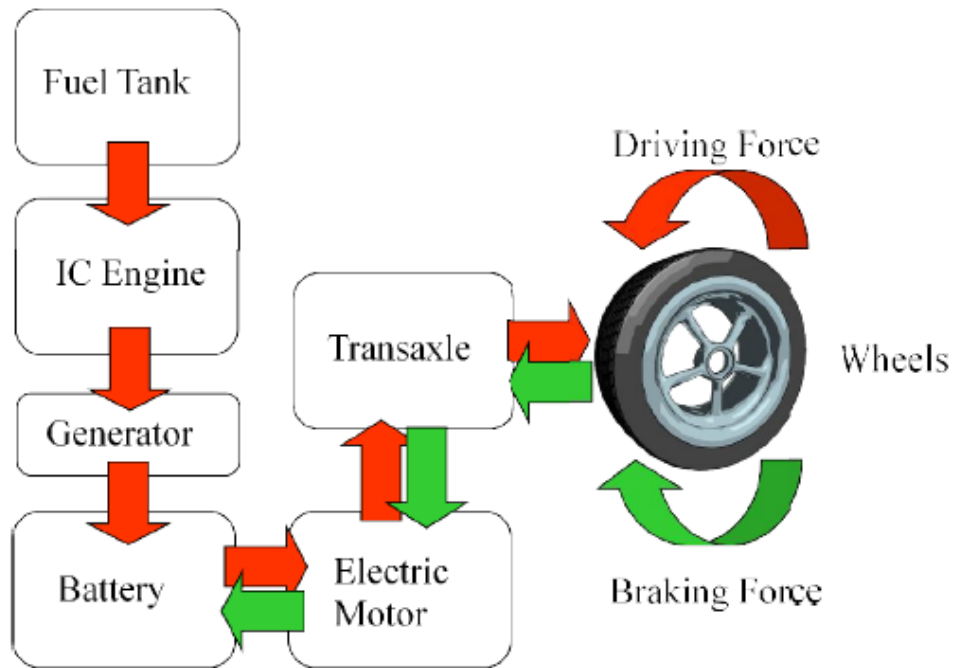


KUVIO 2. Rinnakkaishybridin energiavirrat ja toimintaperiaate. (Rautiainen 2012.)

Sähköisellä voimalinjalla on kaksi päätehtävää. Ensinnäkin, sitä käytetään optimoimaan polttomoottorin toiminta käyttämällä sähkömoottoria niin että polttomoottori voi toimia mahdollisimman taloudellisesti. Toinen tarkoitus on jarrutusenergian talteenotto

On tärkeää huomata, että hybridi autossa kaikki auton käyttämä energia on otettu nestemäisestä polttoaineesta, bensasta tai dieselistä, joka on säilöttyinä polttoainetankkiin. Akku toimii ainoastaan energiapuskurina, joka väliaikaisesti säilöo energiaa ja sitten syöttää takaisin pyörille. Näin auton polttoaineenkulutusta saadaan pudotettua. (Rautiainen 2012.)

Toinen hybriditekniikka on sarjahybridiauto, jossa polttomoottori on myös pääasiallinen voimalähde, mutta sen tuottama energia muunnetaan generaattorin avulla sähköenergiaksi ja siirretään akkuun.



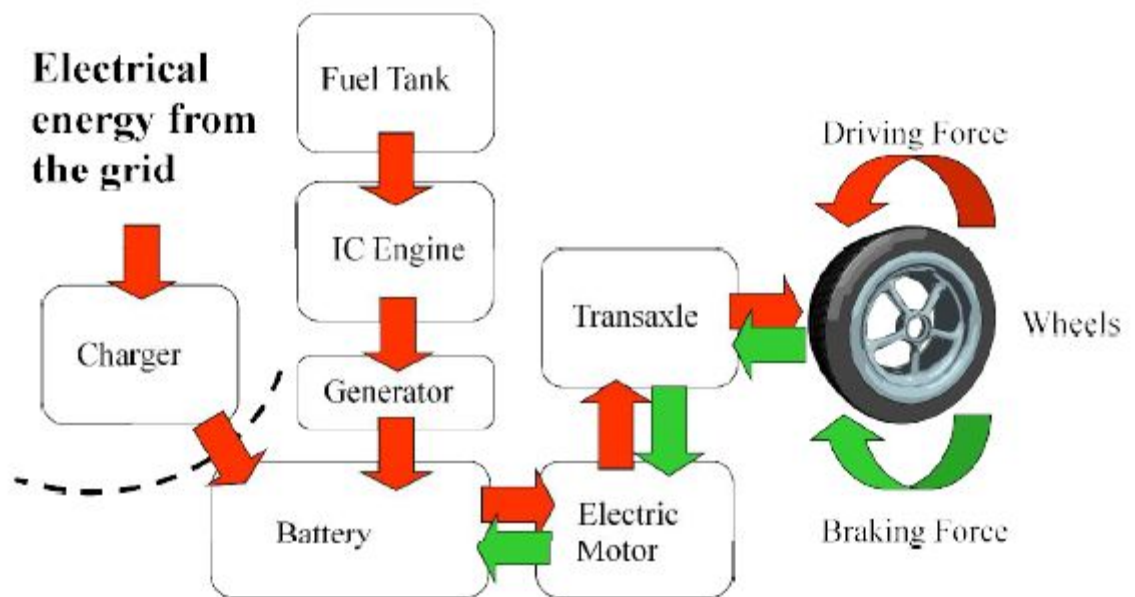
KUVIO 3. Sarjahybridiauton energiavirrat ja toimintaperiaate. (Rautiainen 2012.)

Polttomoottori toimii kuten sähköä tuottava voimalaitos, tuottaen sähkövoimaa edellisen kuvan kaltaiselle kokoonpanolle. Sähköenergia kulkee akun kautta autoa liikuttavalle sähkömoottorille. Sarjahybridin ja rinnakkaishybridin ero on polttomoottorin yhteydessä vetoakseleihin. Sarjahybridissä polttomoottori ei ole mekaanisesti yhdistetty vetoakseleihin, vaan kaikki energian siirto tapahtuu sähköisesti, jolloin kaikki mekaaninen energia tuotetaan sähkömoottorilla. (Rautiainen 2012.)

### 2.3 Plug-in hybrid electric vehicle - PHEV

Hybridi-sähköautoon verrattuna PHEV-autossa on yleensä paljon suurempi akkukapasiteetti, suurempi kuin 10kWh. Toinen merkittävä ero on auton latausmahdollisuus sähköverkosta, jossa auto kytketään latausmuuntajan kautta suoraan sähköverkkoon.

Tämä on merkittävä asia, koska nyt osa energiasta jonka auto käyttää, voidaan ottaa sähköverkosta. Tämä tarkoittaa, että osa bensasta tai dieselistä voidaan korvata sähköllä. (Rautiainen, 2012)



KUVIO 4. Plug-in sarjahybridin energiavirrat ja toimintaperiaate. (Rautiainen 2012.)

Kuviosta 4 näkyy, kuinka polttoainetta ei tarvita välttämättä laisinkaan sähkön tuottamiseen, jos akuissa on tarpeeksi virtaa. Akkujen ehtyessä ne ladataan suoraan sähköverkosta. Kuviosta näkee myös, että kaikissa hybridijärjestelmissä on sama toimintaperiaate, eli polttomoottorin työtä helpotetaan sähkömoottorilla ja liikeenergia otetaan jarrutuksissa talteen. PHEV- autot voivat toimia myös akkujen pito-tilassa, jolloin akkujen varaustaso pyritään pitämään halutulla tasolla. Vaikka hybridi- autoa käytetään pito-tilassa, käytetään samalla myös sähkömoottoria, mikä alentaa akkujen varausta. Tämä vajuus pyritään saamaan takaisin jarrutuksissa,

sekä joissakin malleissa tasaisessa matka-ajossa myös ohjaamalla pieni osa generaattorin tuottamasta energiasta akkuun.

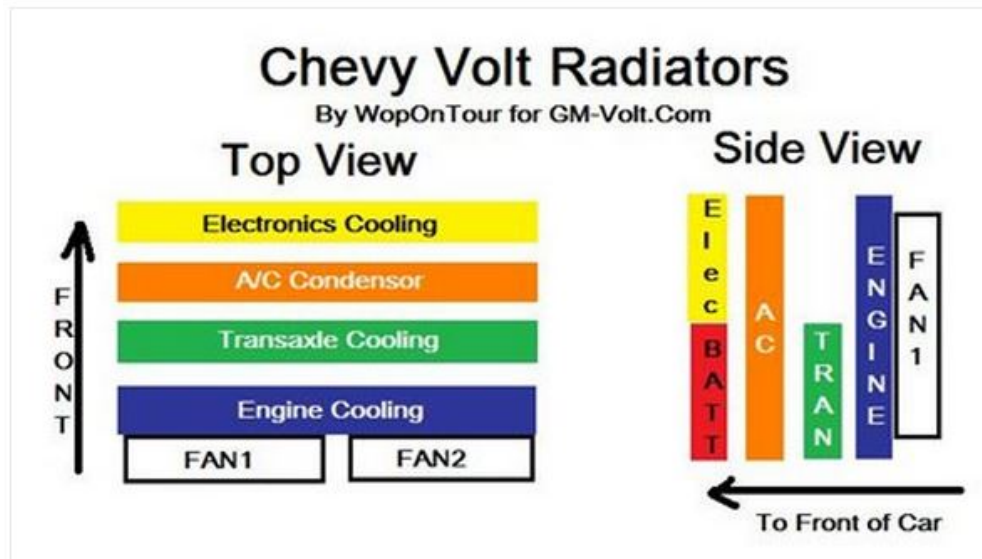
Plug-in rinnakkaishybridissä periaatekuva on kuten kuvio 2, mutta lisänä ennen akkua on latauslaite. Näin akku voidaan ladata suoraan verkosta.

## **2.4 Extended range electric vehicle - E-REV**

PHEV-mallista kehittyneempi versio on E-REV, jossa akun kapasiteetti on suurempi kuin PHEV-mallissa, joten pelkällä akulla voidaan ajaa pidempiä matkoja, ja auto toimii kuin täyssähköauto. Myös sähkömoottorin teho on yleensä suurempi kuin PHEV-mallissa, jolloin auton liikuttamiseen pelkällä sähköllä on tarjolla suurempi teho. Energian virtausten ja laitteiden sijainnin periaatekuva on käytännössä sama kuin kuvio 4. Tällä hetkellä paras esimerkki E-REV:stä on Opel Ampera (Herrforsin testiauto) ja sen sisarmalli Chevrolet Volt. (Electric drive transportation association 2013.)

## **2.5 Opel Amperan ja Chevrolet Voltin lämmitysjärjestelmä**

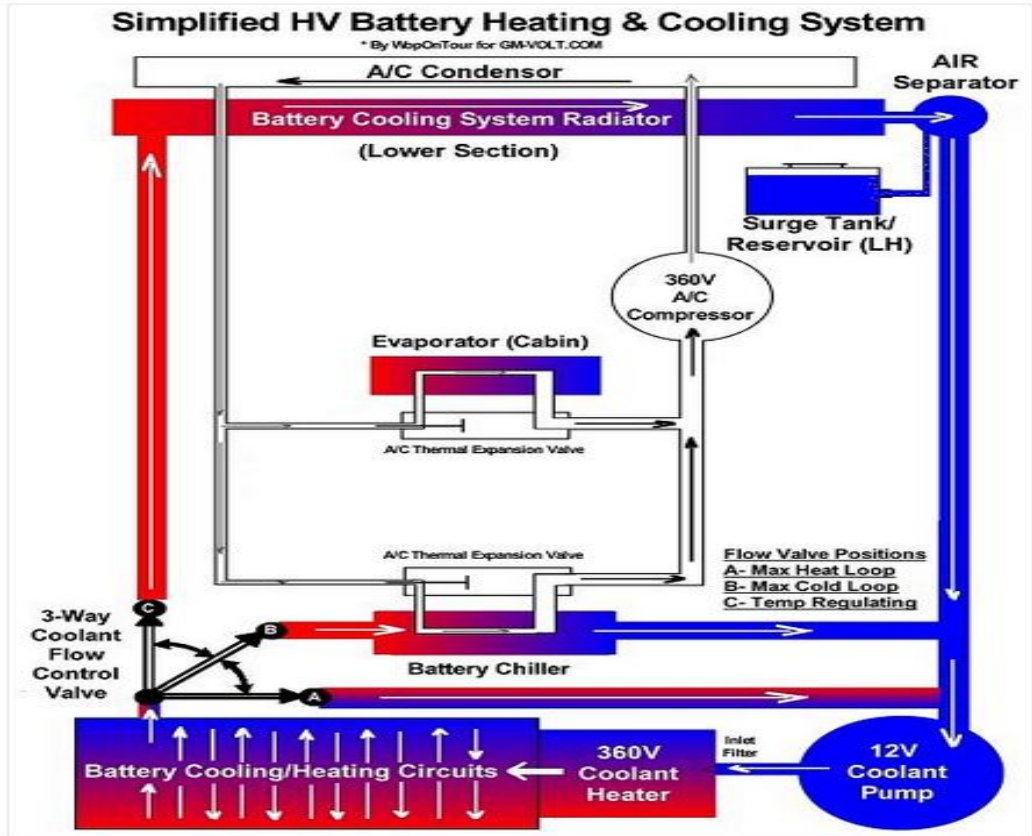
Amperan ja Voltin jäähdytys/lämmitysjärjestelmä koostuu neljästä itsenäisestä nestekierrosta ja niiden sähköisistä lämmittimistä, sekä ilmastointijärjestelmän kierrosta. Normaalissa polttomoottoriautossa on yleensä vain moottorin ja matkustamon lämmittämiseen/jäähdyttämiseen tarkoitettu nestekierto ja mahdollinen ilmastoinnin kierto. Amperassa matkustamolle ja moottorille on oma kiertonsa, kuten perinteisissä polttomoottoriautoissa, lisätynä sähköisellä lämmityksellä. Auton tehoelektronikka vaatii oman jäähdytysjärjestelmänsä, kuin myös moottorin pyörittämät kaksi generaattoria. Akulla on myös oma sähköisesti lämmitettävä nestekiertonsa. (WopOnTour 2010)



KUVIO 5. Voltin ja Amperan nestekiertojen jäähdytinjärjestelmä. (Wopontour 2010.)

Amperassa ja Voltissa akuilla kylmässä ilmastossa ajettavaa matkaa on pyritty pidentämään akkujen lämmityksellä sekä matkustamon lämmityksen optimoinnilla. Kun ulkolämpötila laskee alle -4 celsiusasteen, käynnistyy autossa oleva poltto-moottori aika-ajoin, jotta akkujen lämmitykseen käytettävän nesteen ja matkusta-mon lämmittämiseen riittäisi sähköenergiaa. Nestettä ei kierrätetä moottorin ja akun välillä, vaan akulla on oma nestejärjestelmä, jota käytetään talvella lämmit-tämiseen ja kesällä jäähdyttämiseen. Jäähdytys hoidetaan perinteiseen tapaan auton keulalla olevan jäähdyttimen avulla, sekä hyvin kuumalla ilmalla auton il-mastointilaitteen avustuksella. Lämmitys tapahtuu 360 voltin jännitteellä muuttuva-tehoisen sähkölämmittimen avulla, joka kykenee tarkasti lämmittämään nestettä tarvittavan määrän akun vallitsevan lämpötilan mukaan. (Wopontour 2010.)

Kuviossa 6 on yksinkertaistettu esitys akun lämmitys/jäähdytyskierosta ja sen toi-minnasta. Neste voi kiertää mahdollisimman lyhyttä reittiä sähkölämmittimen ja akun välillä, tai vaihtoehtoisesti jäähdytystarkoituksessa auton keulalla sijaitsevan jäähdyttimen tai ilmastoinnin jäähdyttämän jäähdyttimen kautta. Kolmitieventtiili ohjaa nesteen kulkua näiden vaihtoehtojen välillä. (Wopontour 2010.)

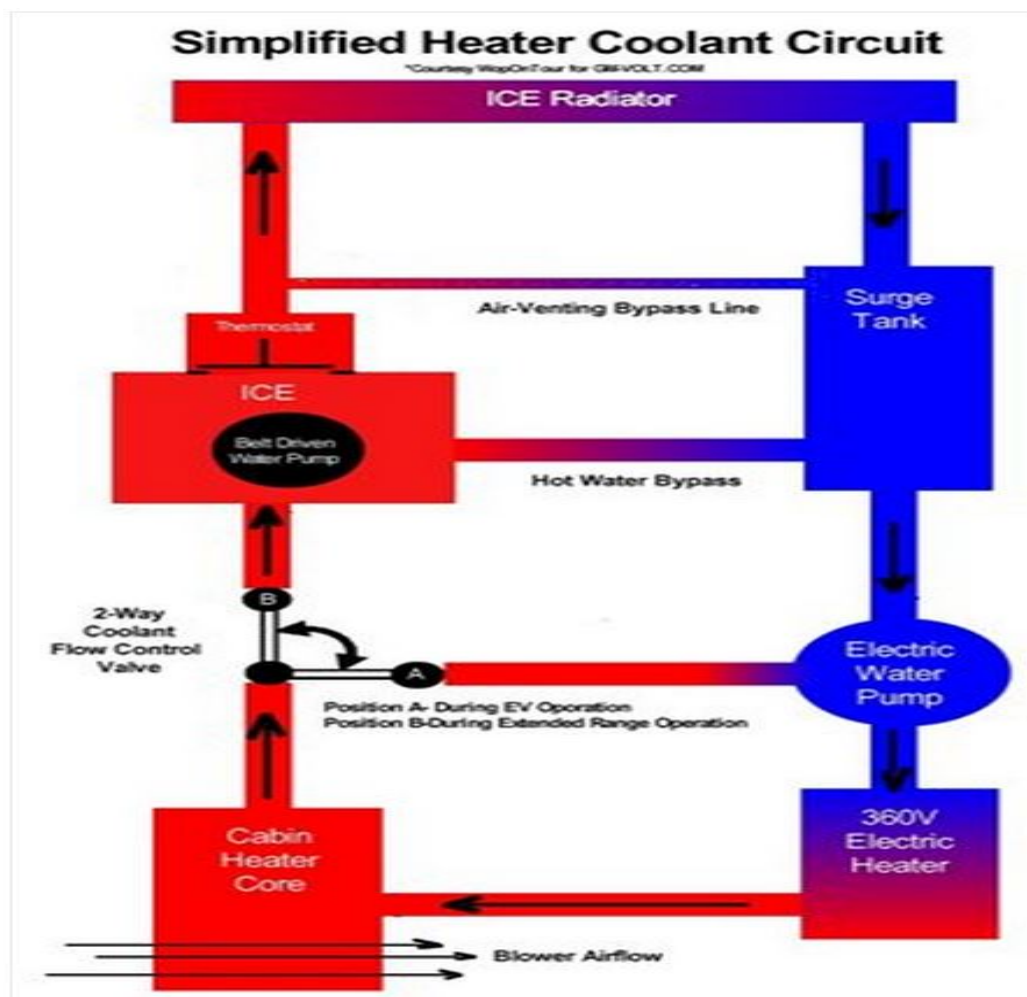


KUVIO 6. Akun nestekiertojärjestelmä. (Wopontour 2010.)

Auton sisätiloja lämmitetään neste, jota voidaan lämmitellä sähköllä muuttuvatehoisen lämmittimen avulla, tai lämpöenergia voidaan ottaa moottorista sen käydessä ja ollessa tarpeeksi lämmin. (WopOnTour, 2010)

Sisätilan lämmitys voi ottaa suurimmillaan noin 5kW:n tehon, jolloin bensiinimoottori käynnistyy ja generaattorin tuottamaa sähköä käytetään sekä sisätilan lämmitykseen, että auton liikuttamiseen. (Matthé 2012.)

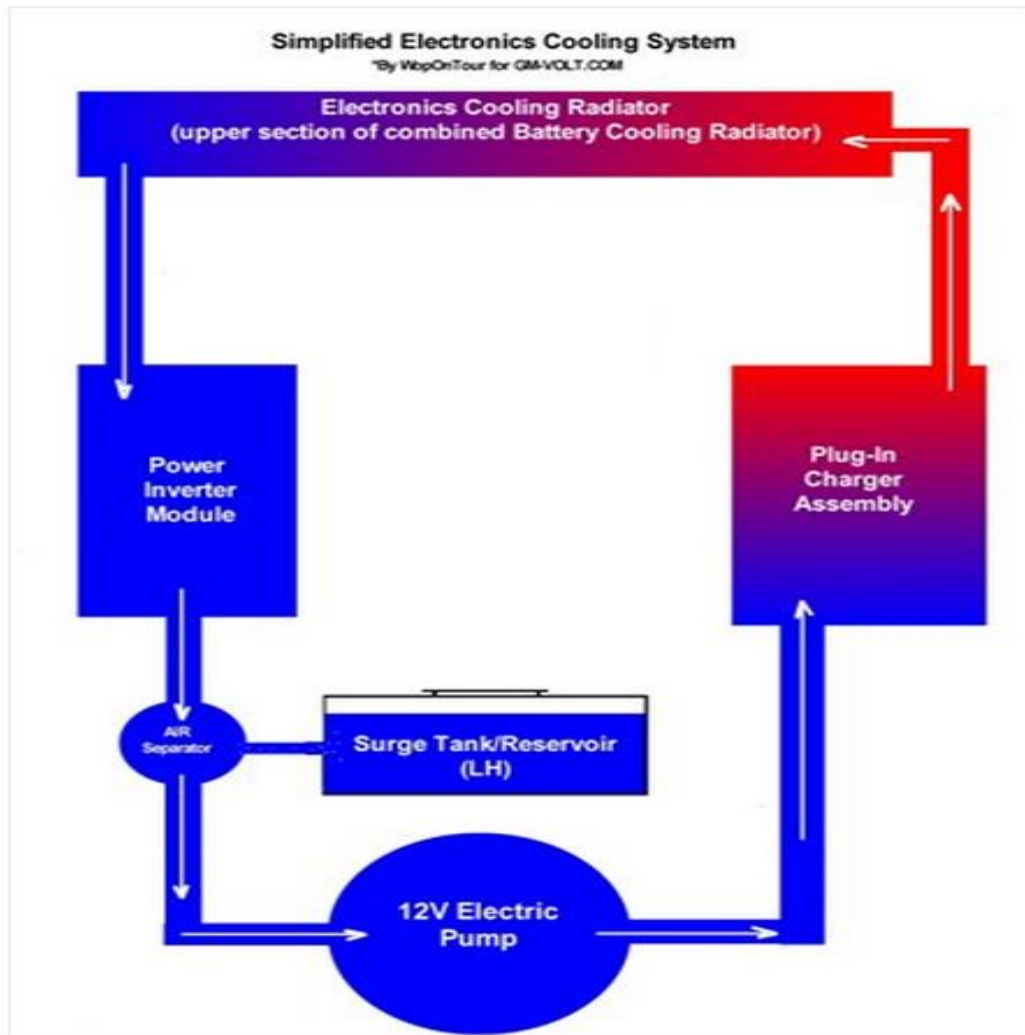
Käytännössä moottorin tuottamaa lämpöä ei käytetä ohjaamon lämmittämiseen muulloin kuin pitkillä ajomatkoilla, jolloin bensiinimoottori käy yhtenä ja lämpee riittävästi. Muulloin ohjaamon ja moottorin nestekierrat ovat periaatteessa erilliset. Ainoastaan silloin, kun 2-tie venttiili, joka ohjaa nesteen kulkua, kääntyy asentoon B (KUVIO 7) on nestekierrat käytännössä yhdessä. (WopOnTour 2010.)



KUVIO 7. Moottorin ja ohjaamon lämmityksen nestekierto. (Wopontour 2010.)



Tehoelektronikka vaatii myös oman jäähdytyskiertonsa. AC/DC muunnin ja muu sähkön muuntamiseen liittyvä elektronikka tuottavat suuren määrän lämpöä. Nestekiertoinen jäähdytys on luotettava tapa pitää elektronikan lämpö sallituissa rajoissa. (WopOnTour 2010.)



KUVIO 8. Tehoelektronikan jäähdytyskierto. (Wopontour 2010.)

### 3 SÄHKÖAUTOJEN LATAUS

Suomessa sähkö- ja hybridautojen lataukselle on olemassa pienimuotoinen latausverkosto autojen lämmitystolppien muodossa. Nämä mahdollistavat kuitenkin vain yksityisen lataamisen, ja sähköautokannan lisääntyminen vaatisi etenkin kaupunkialueille laajan julkisten latauspisteiden verkoston. Eräs vaihtoehto lataukselle olisi akkujen vaihtopalvelu, jossa vajaan akun tilalle vaihdettaisiin valmiiksi täyteen ladattu akku muutamassa minuutissa. Tämä voisi tapahtua huoltoasemalla tai siihen tarkoitusta varten rakennetulla akunvaihtoasemalla.

Akkujen latauksen julkiseen liikenteeseen tarkoitetuissa kulkuneuvoissa on esitetty toimivan mahdollisesti langattomasti. Esimerkiksi lähiliikenteen bussien tapauksessa, pysäkkien kohdalla asfaltissa olevan induktiivisen latauslaitteen avulla ja lataus tapahtuu matkustajien lastauksen ja purkamisen yhteydessä. Saksassa tällaisia latausasemia on jo testikäytössä tietyillä reiteillä. (Barry 2013.)

#### 3.1 Latausasemat

Sähköautojen lataus sähköverkosta vaatii aina jonkinlaisen latausaseman, joka keskustelee sähköisesti sähköauton kanssa ja toimii rajapintana sähköverkon ja auton välillä. Latausasemat on jaettu karkeasti kahteen pääryhmään, hitaan latauksen ja nopean latauksen mukaan. Yleisesti nopea latausasema muuttaa sähkön oikeaan muotoon ennen kuin syöttää sen autoon, ja hidas latausasema toimii rajapintana ja ohjaa sähkön kulkua auton omalle muuntajalle. Hitaassa ja nopeassa latauksessa on lisäksi omat pistoketyypinsä auton ja latausaseman välissä

Hidas latausasema ei ole todellisuudessa latausasema, vaan se on kytkentäjohto, ja itse laturi sijaitsee auton rakenteissa. Kytkenäjohto sisältää erilaisia ohjaus ja suoja-releitä ja varmistaa lataustapahtuman turvallisuuden. Tässä työssä kytkentäjohtoa ja auton omaa laturia kutsutaan hitaaksi latausasemaksi, koska ne yhdessä muodostavat latauskokonaisuuden.

### 3.2 Hidas lataus

Hitaat latausasemat kytketään verkkoon normaalilla Schuko-pistokkeella, yleensä 10 A:n latausvirtoihin asti. Siitä ylimenevillä latausvirroilla latausasema on kiinteästi asennettavaa mallia.

Sähköajoneuvojen ensisijaiseksi lataustavaksi on tarkoitettu lataustapa 3, jossa sähköauton latausjohto on kytketty vaihtosähköverkkoon tarkoituksenmukaisen latauspistorasian, tai -tolpan kautta (IEC 62196-2 Standardi). Tässä lataustavassa itse laturi sijaitsee autossa, ja latausjärjestelmä on varustettu valvontajärjestelmällä, joka huolehtii, että kytkennät on asianmukaisesti liitetty paikoilleen. Lataustavan 3 latausvirta voi olla jopa 64 A latauspistokkeen mitoitusvirran mukaan. Lataustahtumassa latausvirraksi valitaan ja rajoitetaan syöttävän verkon mukaan esimerkiksi 16A tai 32A. (Sesko ry 2012.)



KUVIO 9. Schneider kiinteästi asennettava 30a:n latausasema, lataustapa 3. (Schneider 2013.)



Suomen olosuhteisiin soveltuva lataustavan 3 pistorasiarakenne (tyyppi 2).

KUVIO 10. (Sesko ry 2012.)

Vaihtoehtoinen tapa ladata sähköautoa hitaalla latauksella on lataustapa 2, jossa hidasta latausasemaa syötetään normaalista Schuko pistorasiasta (nimellisvirta 16A) tai voimapistoriasta (nimellisvirta 16A, tai 32A), joka sijaitsee ulkona ja on varustettu vikavirtasuojalla. Schuko pistorasian ollessa kysymyksessä, latausvirta on yleensä rajoitettu 6-10 A:iin, jotta pistorasia ei ylikuormittuisi pitkällä aikavälillä. Lataustapa 1 on lähes samanlainen, mutta lataus tapahtuu vain Schuko pistorasiasta. (Sesko ry 2012.)

Vaikka normaali Schuko-pistorasia on mitoitettu 16 A:n virroille, ei niistä voi kuitenkaan suorittaa sähköauton latausta 16 A:n virralla. Latausajat ovat niin pitkiä, että pistorasiat eivät kestä niin pitkää aikaa täyttä nimellisvirtaa. (Kaarlampi 2012.)



KUVIO 11. Opel Amperan kiinteästi asennettava yksivaiheinen 16 A:n latausase-  
ma, Oy Herrfors Ab. Lataustapa 3.



KUVIO 12. Opel Ampera 6-10A:n matkalatausasema Schuko-pistokkeella. Lataus-  
tapa 1.

### 3.3 Pikalataus

Pikalataus tapahtuu tasasähköllä ja sitä varten tarvitaan poikkeuksetta erillinen pikalatausasema. Näitä pikalatausasemia on markkinoilla monilta eri valmistajilta. Lataustapa 4 tarkoittaa pikalatausta, jossa tasasähköä syötetään sähköauton akkuun suurella virralla latausasemasta, jossa on kiinteä johto liitettäväksi auton latauspistokkeeseen. Liitäntäjohtoa ja auton pistoke ovat standardin IEC 62196-3 mukaisia. (Sesko ry 2012.)

Pikalatauksessa on käytössä tällä hetkellä 50kW:n teho, joka tarkoittaa 40kWh:n akun latautuvan 80 prosentin varaukseen noin 15–30 minuutissa (Rae, Latausstandardit 2012.) Pikalataus on käytössä lähinnä täyssähköautoissa, joissa on yleensä suurempi akkukapasiteetti kuin hybrideissä. Hybrideissä pikalataus ei toisaalta ole edes välttämätöntä, koska matkaa voi jatkaa toisen voimanlähteen turvin.



KUVIO 13. Julkisia pikalatauspisteitä. (Rae, Latausstandardit, 2012)

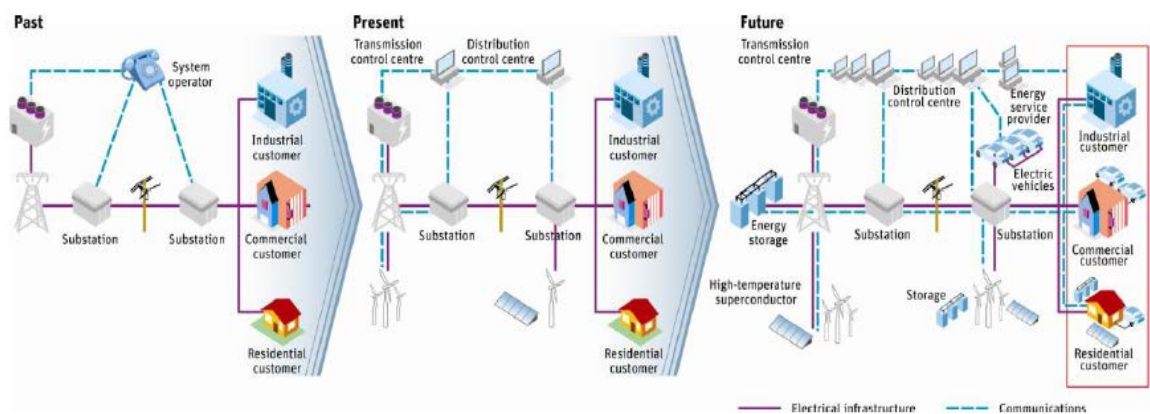
## 4 ÄLYKÄS SÄHKÖVERKKO ELI SMART GRID

Älykkäästä sähköverkosta käytetään yleisesti sen englanninkielistä nimeä Smart grid, jota aion käyttää jatkossa myös tässä työssä. Smart grid nimi viittaa suoraan sähköverkon älykkääseen kykyyn seurata ja ohjata sähkön kulkua.

Älykkäät sähköverkot koostuvat kolmesta eri osa-alueesta: sähkömittarien etälukuratkaisuista, eli älykkäästä laskutuksesta; älykkäästä sähköverkosta, eli verkon rakenteesta ja hallinnasta sekä sähkölaitosten IT-ratkaisuista (Siemens, 2013).

Smart grid mahdollistaa paremman koordinoinnin kaikkien sähkön tuottajien, verkko-operaattoreiden, loppukäyttäjien ja sähkömarkkinoiden osakkeenhaltijoiden tarpeiden ja kykyjen välillä, käyttämällä verkon kaikkia osia mahdollisimman energiatehokkaasti, minimoimalla kuluja ja ympäristön vaikutuksia, samalla maksimoiden järjestelmän luotettavuuden, sietokyvyn ja vakauden. (Morgan, 2012, s. 8)

Edellisen mukaista Smart grid verkkoa ei kokonaisuudessaan ole suuressa mittakaavassa käytössä, mutta tuohon ideaaliin tilanteeseen ollaan tähtäämässä ja verkkoa kehitetään sekä investointeja tehdään monilla alueilla. Energian siirto maksaa paljon, ja uusien kalliiden investointien odotetaan pienentävän noita kustannuksia pitkällä tähtäimellä. Kuviossa 5 näkyy, kuinka verkko kehittyi siihen liittyvien energiantuotantomuotojen ja teollisuuden intressien, sekä teknologian kehityksen tarpeiden mukaan. (Morgan 2012, 8.)



KUVIO 14. Sähköverkon kehitys. (Morgan 2012.)

Tulevaisuudessa sähköautojen määrän odotetaan kasvavan ja niiden latausinfrastrukturi tulee olemaan iso osa Smart Grid-verkkoa, latausasemien ja älykkäiden toimintojen muodossa. Sähköautot vaativat älykkäitä toimintoja latauksen laskutuksen ja aikataulutuksen järjestämiseksi. Tämänhetkinen tilanne on, että sähkö-



autojen omistajat lataavat autonsa tullessaan kotiin, huippukulutuksen aikaan, kun kotien muutkin sähkölaitteet ovat yleensä päällä. (Morgan, 2012, s. 11)

#### 4.1 Palvelut autosta verkkoon päin

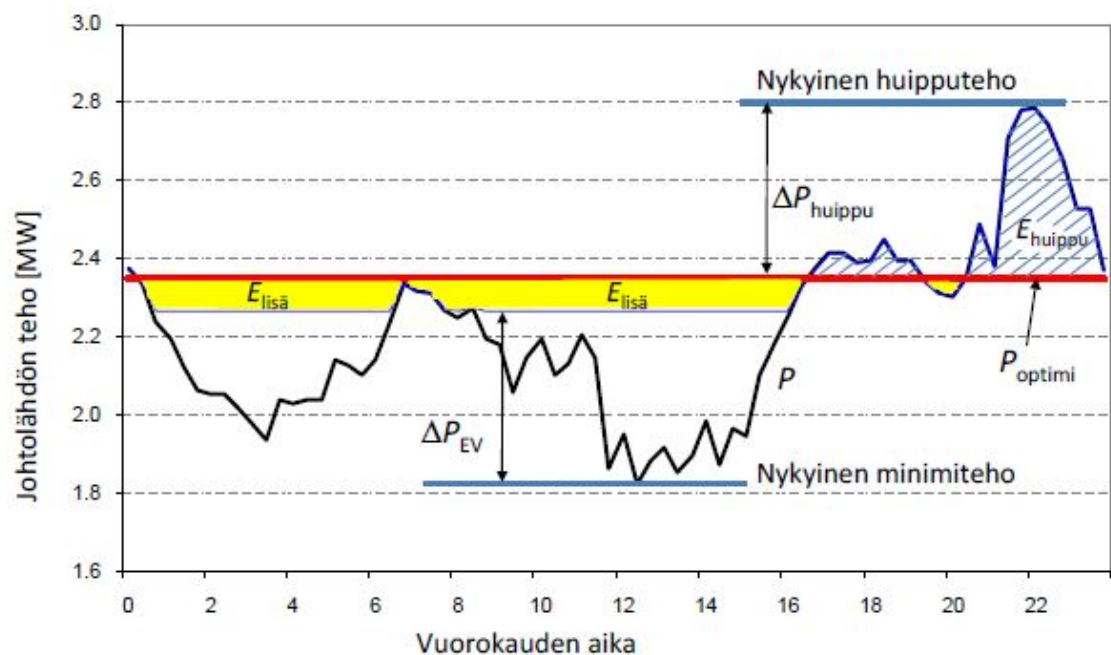
Sähköautot eivät vielä kilpaile, eivätkä todennäköisesti vielä useisiin vuosiin tule kilpailemaan polttomoottoriautojen kanssa käytön helppouden suhteen, pidemmillä (>200 km) matkoilla. Sähköautoilla on toisaalta yksi suuri etu ajatellen omistajaa ja sähköverkkoa, nimittäin suuri sähkön varastointikapasiteetti. Tällaista kapasiteettia, minkä sähköautojen määrän kasvaminen tulee mahdollistamaan, sähkön varastointiin ei ole ollut koskaan. Käytännössä tämä on täysin uusi tilanne, koska sähköä ei ole suuressa mittakaavassa kannattanut varastoida tähän mennessä. Sähköyhtiöillä ja sähköautojen omistajilla on mahdollisuudet hyötyä tästä uudesta tilanteesta ja samalla auttaa toisiaan säästämään kustannuksissaan.

Autosta Verkon suuntaan tapahtuvaa sähköenergian siirtämistä kutsutaan yleisesti V2G:si (Vehigle to grid). V2G tarkoittaa käytännössä auton toimivan sähköverkon akkuna tai pienenä varavoimalana, silloin kun se on kytketty latauslaitteeseen, jossa on kahdensuuntainen sähkönsiirtomahdollisuus. Lisääntyvän uusiutuvan energian tuotannon johdosta, verkko tarvitsee tehon säätöön varmoja energianlähteitä, josta tehoa saadaan silloin kun sitä kipeimmin tarvitaan. Sähköautojen on todettu toimivan hyvin juuri tehon säädössä kulutushuippujen ja tuotanto-, sekä toimituskatkosten hetkellä. Varsinkin Tanskassa on innokkaasti kehitetty älykästä sähköverkkoa V2G yhteensopivaksi, suuren tuulivoimakapasiteetin säätövoimaksi. (Pillai & Bak-Jensen, Electric vehicles based battery storages for future power system regulation services, 1-2.)

Lappeenrannan teknillisen yliopiston professorin, Jarmo Partasen mukaan sähkökatkojen määrä vähenee, tai voi jopa loppua kokonaan älykkään sähköverkon ansiosta. Sähköauton akun kapasiteetti on tällä hetkellä täyssähköautoissa noin 20-30 kWh, mikä on enemmän kuin normaalin omakotitalon vuorokauden kulutus. Kun tällainen sähköauto on kytketty talon sähköverkkoon, ei sähkökatkoa jakeluverkossa välttämättä enää huomaa. (Turku Energia 2010.)

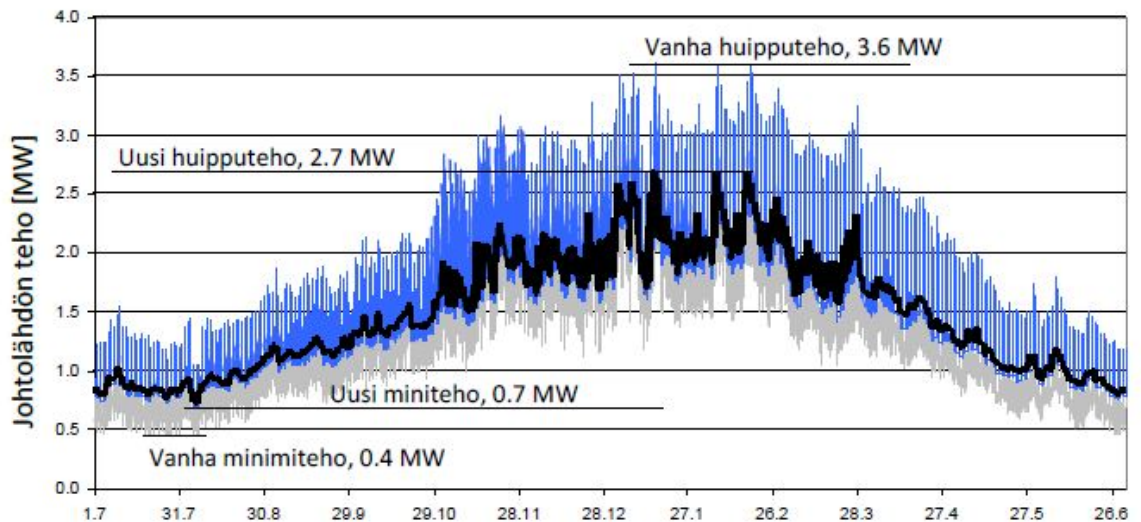


Seuraavassa Tekesin rahoittaman INCA - tutkimusprojektin havaintoja sähköautojen käyttämisestä sähköverkon varavoimana. "Taulukossa 1 on esitetty periaate, jossa sähköautojen akkuihin varastoidaan ajamiseen tarvittavan sähköenergian lisäksi akun kapasiteetin sallimissa rajoissa ylimääräistä energiaa, jota puretaan takaisin verkkoon päin silloin, kun autoa ei käytetä ja verkossa esiintyy korkeita teho-piikkejä. Kuvassa esitetty lisäenergia  $E_{\text{lisä}}$ , vastaa pinta-alaltaan huipputehon pienentämiseen tarvittavaa energiaa  $E_{\text{huippu}}$ . (Järventausta, Partanen & Koponen, 2010, 33)"



KUVIO 15. Sähköauton vaikutus verkon huipputehoon, käytettäessä autoja sähköverkon akkuina huipputehon leikkaamiseksi. (Järventausta, Partanen & Koponen, 2010, 33)

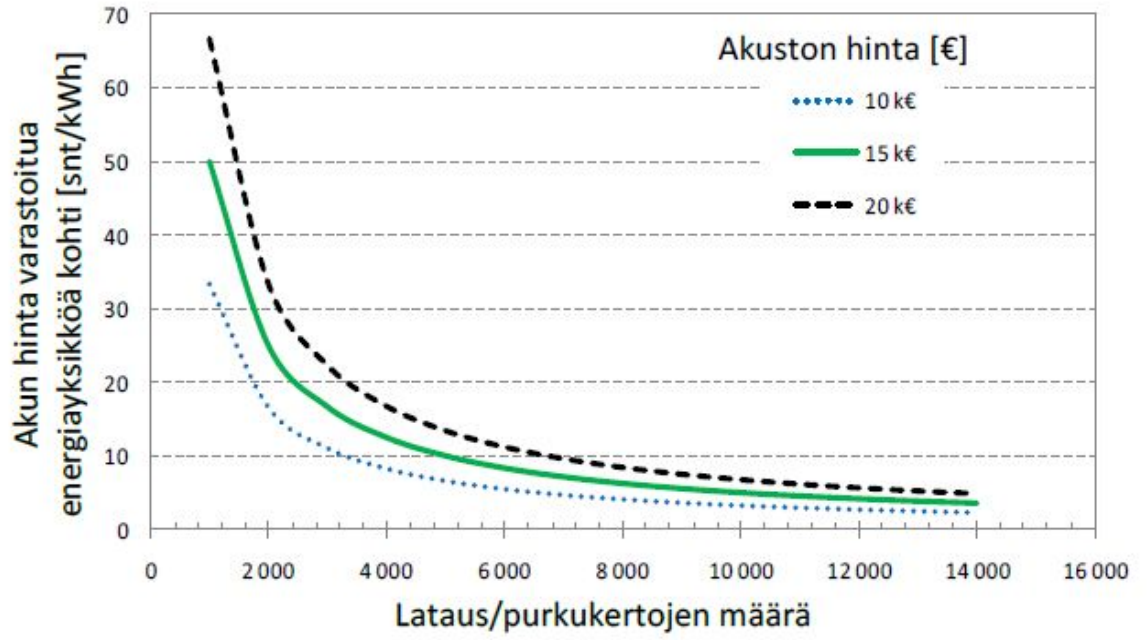
Tutkimuksen mukaan edellisen taulukon tilannetta tarkasteltaessa erään todellisen keskijännitelähdön, koko vuoden tehon osalta, voidaan todeta että kyseisen keskijännitelähdön huipputehoa voitaisiin leikata 3,6MW:sta 2,7MW:iin. Tilannetta rajoittaa ainoastaan autojen siirtokapasiteetti verkkoon päin, sekä autojen määrä verkossa.



KUVIO 16. Sähköautojen vaikutus keskijänniteverkon huipputehoon, kun niitä käytetään energiavarastoina huipputehon leikkaamiseksi. (Järventausta, Partanen & Koponen 2010, 41)

Akkujen hinta ja niiden kesto lataussykliä määrässä mitattuna on ratkaiseva asia verkon varavoimakäytön hintaa ajateltaessa. Akkujen hinnan voidaan sanoa hidastavan varavoimakäytön yleistymistä ja sen kiinnostavuuden lisääntymistä.

Kuviossa 16 on havainnollistettu, millä tavoin akussa käytetyn energian hinta (snt/kWh) riippuu akun lataus/purkukierrosten määrästä ja akuston investointihinnasta. Jos akuston hinnaksi oletetaan 10 000–20 000 € (30 kWh) ja elinikä on 2 000–4 000 lataus/purkukierrosta, vaihtelee akussa käytetyn energian hinta välillä 8–33 snt/kWh. (Järventausta;Partanen;& Koponen, 2010)



KUVIO 17. Taulukko akun hinnan ja purkaussyklien määrän vaikutuksesta akkuun varastoidun energian hintaan. (Järventausta, Partanen & Koponen, 2010)

## 4.2 Verkon tarjoamat palvelut autoon päin

Verkosta ladattavien sähkö- ja hybridautojen yleistyessä tulee ongelmaksi sähkön riittävyys kaikkien autojen lataamiseen, jos ei latausta aikatauluteta pienen kulutuksen aikaan. Tällainen aikataulutus on käytännössä mahdollista vain älykkään sähköverkon toimintojen avulla. Myös latauksen hintaan voi vaikuttaa aikatauluksella.

Koska sähkön hinta vaihtelee sähköpörssissä vuorokaudenaikojen ja kulutushuipujen mukaan, on sähköauto mahdollista ladata halvan sähkön aikaan ja toisaalta luovuttaa sähköä korvausta vastaan korkean kulutuksen aikaan. Lähitulevaisuudessa, kun sähköverkon automatisoituminen ja älykkäät toiminnot yleistyvät ja edellä mainittu ominaisuus sähköautoille tulee mahdolliseksi, on se vahva markkinointivaltti sähköautoille. (Rinta, 2012)

Tekesin rahoittamassa INCA- tutkimusprojektissa on tutkittu sähköautojen liittymistä sähköjakeluverkkoon, sähköautojen koordinoitua verkossa, sekä älykkäiden lataustapojen ja sähkömarkkinamekanismien toteuttamista latauksen yhteydessä. Älykkäässä latauksessa on karkeasti kaksi eri luokkaa, ensimmäinen tarvitsee yhteyden ylätasojen järjestelmään latauksen ohjauksen toteuttamiseksi ja toinen ei tarvitse kuin paikallisen yhteyden. Paikallisesti latausta voitaisiin ohjata esimerkiksi vuorottelemalla kiinteistön paljon energiaa kuluttavia kohteita, jotta kiinteistön verkkoon liittymisteho pysyisi maltillisena. Taajuusriippuvainen ohjaus olisi myös mahdollinen, jolloin seurattaisiin tietyn verkon osan taajuutta ja annettaisiin latauslupa taajuuden ollessa tarvittavassa arvossa. (Järventausta, Partanen & Koponen, 2010, 33.)

Mahdollisimman dynaamiset optimointimenetelmät sähköautojen latauksen kohdalla, jotka mahdollistavat hyvän toiminnan sähköverkon hallinnassa ja sähkömarkkinoilla, voidaan toteuttaa vain järjestämällä latauspisteestä kommunikaatioyhteys ohjauksien toteuttamiseksi. Tämä voisi mahdollistaa myös asiakkaan valita, keneltä ja millaista sähköä ostaa latausaseman kautta. Tällaiset järjestelmät ovat kuitenkin kalliita toteuttaa, ja ongelmana nähdään infrastruktuurin puute, sekä sähkön myyjän ja paikallisen verkkoyhtiön omat vaatimukset laskutuksen suhteen. (Järventausta, Partanen & Koponen, 2010, 34-35.)

## 5 CASE HERRFORS - OPEL AMPERA

Oy Herrfors Ab hankki elokuussa 2012 Ylivieskan voimalaitokselle työ- ja päivystysautoksi Opel Ampera E-REV auton. Auton hankkiminen liittyy osana Tekesin ja WintEVE-konsortion tutkimukseen, jossa tutkitaan sähköautojen käyttäytymistä ja niiden tarvitsemia palveluja talviolosuhteissa. Auto on hankittu leasing-sopimuksella ja sen mukana olo tutkimuskäytössä on mahdollistanut siihen saadun valtion energiatuen.

Autoon olisi pitänyt alun perin tulla melko kattava, energiatuen myöntämisen edellyttämä mittausjärjestelmä, joka olisi lähettänyt tietoja reaaliaikaisesti langattoman yhteyden avulla laitetoimittajan serverille, josta tietoja olisi voinut seurata tietokoneella ja älypuhelimella. Tämän järjestelmän valmistuminen kuitenkin viivästyi, eikä sitä ehditty asentaa testiautoon ennen käytännön ajotestejä. Tämä vaikeutti oleellisesti talviolosuhteiden vaikutusten tutkimista, koska autosta ei saatu kaikkia tietoja, mitä olisi ollut mahdollista saada ulos. Laitteiston toimittaja on tiedottanut mittausdatan palvelunäkymän olevan Opelin (General Motors) käsittelyssä ja hyväksyttävänä. Käsittely on kirjoitushetkellä kestänyt noin 2 kuukautta, eikä aikataulusta ole mitään tarkempaa tietoa.

Herrfors oli lähtenyt projektiin mukaan alun perin pelkästään periaatteella, että ajokokemuksia luovutetaan tutkimuskäyttöön ja autoon asennetaan pelkästään energiatuen vaatimuksen mukaiset mittalaitteet. Näin ollen omia mittalaitteita ei myöskään alettu autoon kiinnittämään tai yritetty saada tietoja auton järjestelmästä maahantuojaan hyväksymättömillä menetelmillä, jotta takuu ei olisi rauennut.

Amperaa liikuttaa sähkökäytöllä kaksi eri sähkömoottoria, jotka on kytketty samaan voimansiirtolinjaan. Tehoa moottoreissa on yhteensä 111 kW. Bensiinimoottori, valmistajan kutsumana Range extender, on 1.4 litrainen ja siinä on tehoa 64 kW. Bensiinimoottori pyörittää 54 kW:n generaattoria, joka tuottaa sähköenergiaa sähkömoottoreille moottorin käydessä. Auton akku on litium-ioni akku, joka on nestejäähdytetty/-lämmitetty. Akun nimellisjännite on 360 volttia, ja se painaa 180 kiloa. (Stenger 2011.)



KUVIO 18. Oy Herrfors Ab:n päivystysautona toimiva Opel Ampera talvisessa ilmastossa.



Kuvioissa 19 ja 20 näkyy Amperan tietokoneen informaationäyttöjen sivuja, joilta auton tietoja on kerätty.



KUVIO 19. Infonäyttö energiankulutuksesta.



KUVIO 20. Infonäyttö ohjaamon lämmityksestä.

## 5.1 Latausmittauksia

Amperassa on mukana vakiovarusteena 10 A:n matkalatauslaite, jolla autoa voi ladata mistä tahansa Schuko pistorasiasta, kuten autonlämmitystolpista. Tämä matkalatauslaite ei kuitenkaan ole tarkoitettu ensisijaiseksi latauslaitteeksi autolle, vaan autoon tulisi hankkia kiinteästi asennettava 16 A:n kotilatausasema. Herrforsille kyseisen tyyppinen latausasema on hankittu ja asennettu voimalaitoksen parkkipaikalle erilliseen kaappiin. Koska työssä käytetty mittauslaitteisto vaati kuivat ja suojaiset paikat, suoritettiin mittaukset matkalatauslaitteella, sekä ulko- että sisätiloissa. Mittauksissa käytettiin analogista yksivaiheista kWh mittaria ja virta, sekä tehotietoja luettiin Fluke 43B-tehoanalysointorilla. Tulosten tallentamiseen ja lukemiseen käytettiin FlukeView-tietokoneohjelmaa.

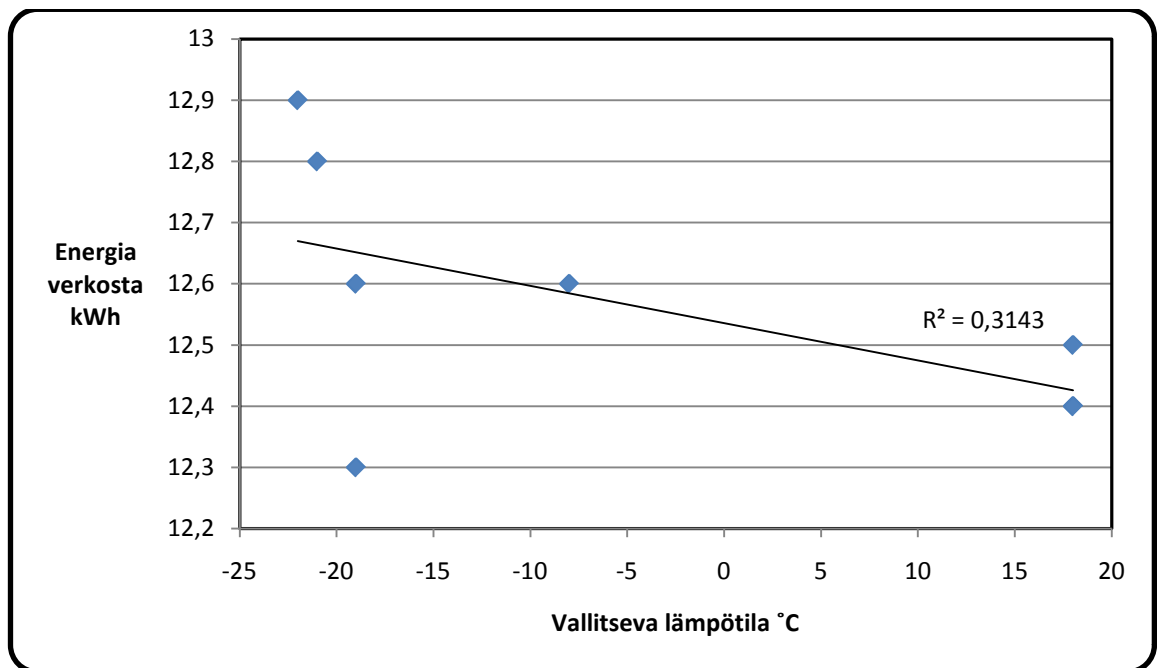
Mittauksissa oli tarkoitus tutkia lämpötilan vaikutusta latauksen verkosta ottaman energian määrään sekä latausaikoihin. Ulkolämpötilat luonnollisesti vaihtelivat säiden mukana, mutta sisälatauksessa lämpötila oli vakio 18°C. Taulukossa 1 on mitaistuloksia, joista ilmenee lataukseen käytetty aika, siihen asti kun auton tietokone ilmoittaa akun olevan ladattu täyteen, sekä mittauslaitteistosta nähdään latausvirran laskeneen nolnaan. Lataukseen käytetty energia on ilmoitettu kWh:na ja latauksessa vallinnut ympäristön lämpötila celsius asteina.

TAULUKKO 1. Taulukko testien aikana suoritetuista latausmittauksista.

| Testilataukset |      |                      |           |      |
|----------------|------|----------------------|-----------|------|
| pvm.           | Amp. | ympäristön lämpötila | kesto     | kWh  |
| 10.tammi       | 10   | -21                  | 5h 43min  | 12,8 |
| 12.tammi       | 10   | -19                  | 5h 40min  | 12,6 |
| 14.tammi       | 10   | 18                   | 5h 34min  | 12,4 |
| 16.tammi       | 10   | 18                   | 5h 36min  | 12,4 |
| 18.tammi       | 10   | -22                  | 5h 47 min | 12,9 |
| 19.tammi       | 10   | 18                   | 5h 37min  | 12,5 |
| 20.tammi       | 10   | -19                  | 5h 34min  | 12,3 |
| 21.tammi       | 10   | -8                   | 5h 35min  | 12,6 |



Latausajoista nähdään, että pisimmän ja lyhyimmän latausajan välillä ei ole kuin 13 minuutin ero ja vallitsevien lämpötilojen ero on jopa 40°C. Kuitenkin huomataan verkosta otetun energiamäärän olevan keskimäärin suhteessa ympäröivään lämpötilaan. Ero latauksen energiankulutuksessa on pieni mutta kuitenkin huomattavissa. Kuvio 21 osoittaa ladatun energiamäärän laskevan lämpötilan noustessa. Tämä lasku tietenkin pysähtyy, kun lämpötila on tarpeeksi korkea. Kylmissä olosuhteissa tapahtuvat erot kWh määrissä voivat selittyä esimerkiksi sillä, onko autolla ajettu ja sitä lämmitetty sisältä juuri ennen latauksen aloitusta. Tällöin akun lämpötila voi olla korkeampi, eikä lataushäviöt ja akkujen lämmitykseen käytetty energiamäärä ole niin suuri. Akut on myös hyvin eristetty, joten peräkkäin tehtävissä latauksissa akun lämpötila ei ole välttämättä ehtinyt laskemaan niin alas, että akut tarvitsisivat sähköenergiaa lämmitykseen.



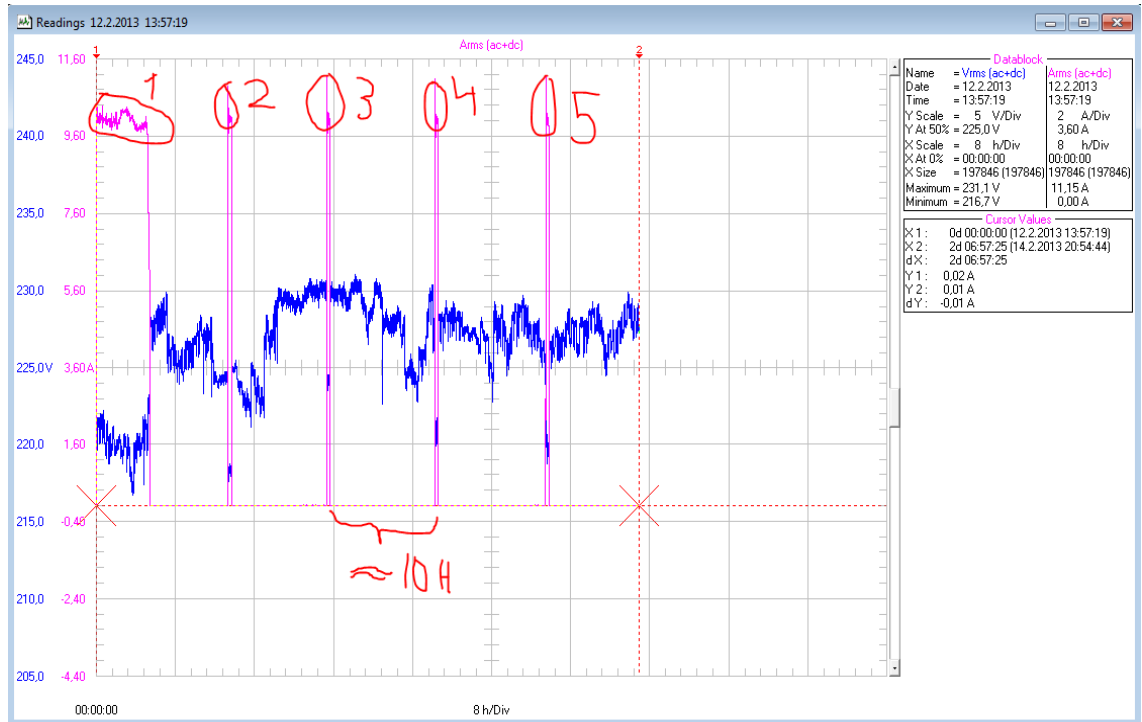
KUVIO 21. Vallitsevan lämpötilan vaikutus verkosta otettuun energiaan yhden latauksen aikana.

Yhtenä osa-alueena mittauksissa oli tutkia kuinka paljon energiaa sähköauto ottaa verkosta jos se on kytkettynä pidempään latauslaitteessa. Jos sähköautoja käytetään sähköverkon tilapäis- tai varavoima akkuina, on sekä auton omistajan että sähköyhtiön hyvä tietää, kuinka paljon auton verkkoon kytkettynä pitäminen kuluttaa energiaa. Taulukossa 2, on mittaustiedot pidemmistä mittauksista, joissa auto on ollut kytkettynä pidemmän ajan latauslaitteeseen, kuin mitä akkujen täytyminen on vaatinut.

TAULUKKO 2. Tiedot pitkistä latauksista.

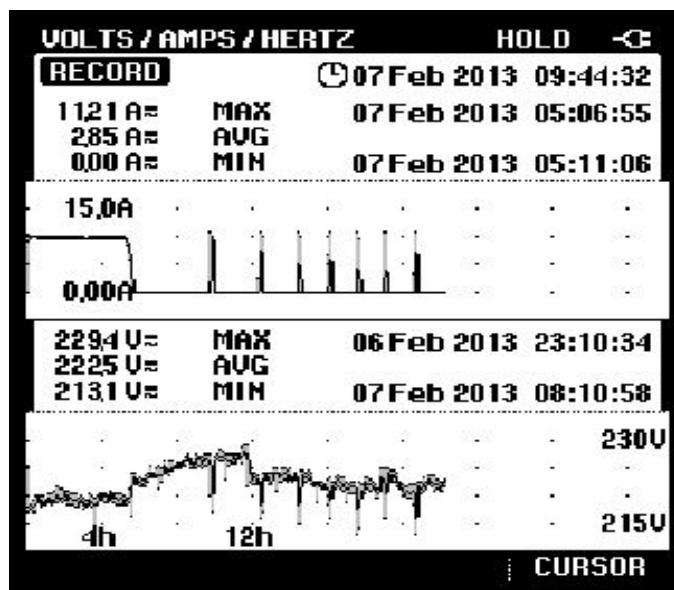
| Pitkät lataukset |      |                         |            |       |              |
|------------------|------|-------------------------|------------|-------|--------------|
| pvm.             | Amp. | ympäristön lämpötila °C | kesto      | kWh   | latauspiikit |
| 5.helmi          | 10   | -10                     | 9h 29min   | 12,9  | 1            |
| 6.helmi          | 10   | -14                     | 22h 15min  | 14,35 | 7            |
| 7.helmi          | 10   | 18                      | 23h 57 min | 12,75 | 0            |
| 13.helmi         | 10   | -8                      | 54h 57min  | 15,25 | 4            |

Mittaustuloksista on selvästi nähtävissä kylmän ilman vaikutus auton ottaman sähköenergian kasvuun. Kylmä ilma ja pitkä kytkentäaika laturiin saavat auton ottamaan energiaa sähköverkosta useita lyhyempiä kertoja sen jälkeen, kun akku on jo ladattu täyteen. Tämän ilmiön voi osaksi selittää akkujen tarvitsema lämmitysenergia, joka tuotetaan 360 V:n sähkölämmittimellä. Kun auto on pitkään kylmässä ulkoilmassa, pääsee akun lämpötila laskemaan niin alas, että akun lämmitykseen käytettävää nestettä lämmitetään akuista otettavalla sähköllä.



KUVIO 22. Latausvirta 12-14.2.2013, -8°C, 55h.

Kuvion 22 osoittamassa mittaustuloksessa näkyy kohdassa 1 latausaika, jolloin akku latautuu täyteen. Kohdissa 2,3,4 ja 5 on latauspiikki, jotka toistuvat noin 10 tunnin välein.



KUVIO 23. Latausvirta 6-7.2.2013, -14°C, 22h.

Kuviossa 23 näkyy myös selvästi, kuinka latauksessa on tullut selviä piikkejä, kun sähköauto on ollut kytkettynä latauslaitteeseen pidemmän aikaa. Jos katsotaan, että keskimääräinen latauksen aikana kulutettu sähköenergia on noin 12,5 kWh, niin voidaan yhden latauspiikin energiamäärä -14°C:ssa laskea seuraavasti:

$$\frac{(14.35 - 12.5)kWh}{7} = 0.26 kWh/latauspiikki$$

Hieman lämpimämmässä eli -8°C:ssa, latauksen yhden piikin aikana ottama energia on:

$$\frac{(15.25 - 12.5)kWh}{4} = 0.69 kWh/latauspiikki$$

-8°C:ssa latauspiikkejä oli melko harvassa, keskimäärin noin kymmenen tunnin välein, kun taas -14°C:n lämpötilassa niitä oli hieman vajaan 18 tunnin sisällä 7 kappaletta, eli alle kahden tunnin välein.

Akkujen lämmittäminen voi hyvin selittää latauspiikkien ottaman tehon ja niiden esiintymisvälin yhteyden. Kun lämpötila on korkeampi, riittää tehokas lämmitys harvemmillä aikaväleillä pitämään akun riittävän lämpimänä. Toisaalta kovemmassa pakkasessa lämmönhukka akuissa voi olla paljon nopeampi hyvästä eristyksestä huolimatta, Tuolloin lämmön pitäminen riittävällä tasolla hoituu pienemmällä teholla ja tiheämmillä lämmityskerroilla.

## 5.2 Ajomittauksia

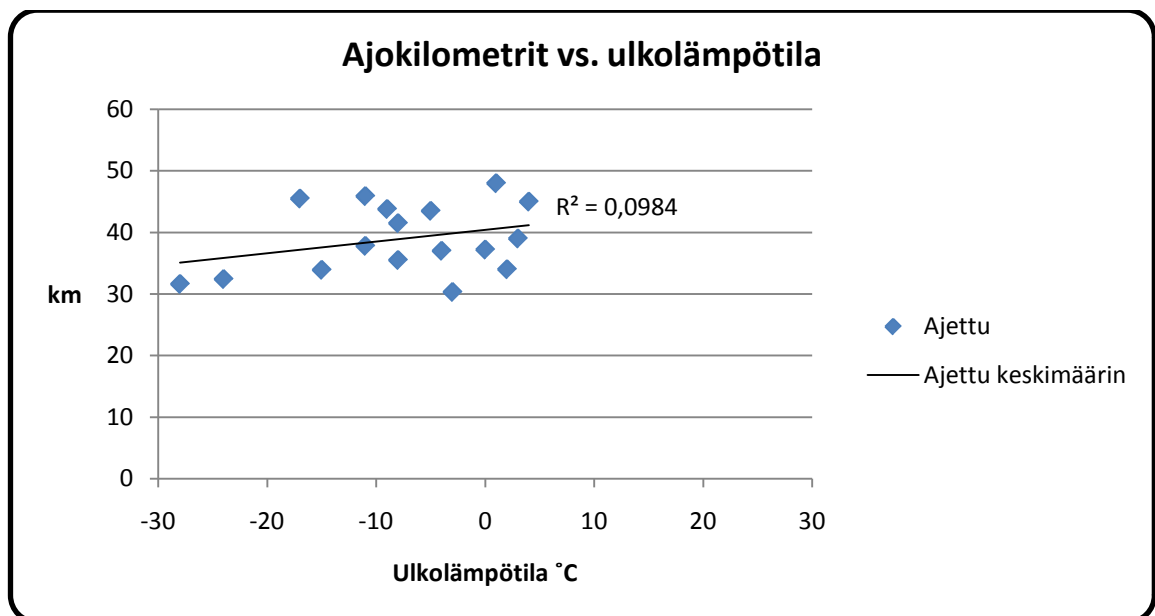
Työssä tehtiin Herrforsin Opel Amperalla käytännön ajolenkkejä, joissa tutkittiin niin vallitsevan ulkolämpötilan vaikutusta pelkän akun varassa ajettavaan ajomatkkaan, sekä latauslämpötilan vaikutusta akuilla ajettavaan matkaan. Myös auton sisätilojen lämmityksen vaikutusta kilometreihin arvioitiin ajosuoritteiden yhteydessä. Sisätilojen lämmityksen tutkimiseen ei ollut käytössä erillisiä mittalaitteita, vaan käytettiin auton omaa ilmastointijärjestelmää eri tehoilla ja lämpötiloilla ja arvioitiin sen vaikutusta. Ajoreitti pyrittiin pitämään lähes samana ja ajonopeus taas pidettiin normaalin talviliikenteen mukaisena, eli 75–85 km/h. Työtehtävien suuntautuessa jonkin muualle, kuin testireitin suuntaan, pyrittiin ajotapa ja muut olosuhteet pitämään mahdollisimman samanlaisina muihin ajokertoihin verrattuna. Kylmässä ilmassa Ampera antaa käyttää akun kapasiteetista noin 10 kWh sähköä, mikä johdetaan litium akkujen vaatimasta niin sanotusta state of chargesta (SOC). Litium akut eivät saa tyhjäntyä liikaa kylmässä, jotta ne eivät menetä varauskykyään.

TAULUKKO 3. Opel amperalla ajettujen lenkkien tietoja.

| Ajomittaukset |        |              |                       |             |                |  |
|---------------|--------|--------------|-----------------------|-------------|----------------|--|
| pvm.          | ajettu | Käytetty kWh | Lähtö/lataus lämpö °C | Ulkoilma °C | Ilmastointi °C |  |
| 2.helmi       | 30,3   | 10           | -3                    | -3          | 23             |  |
| 16.tammi      | 31,6   | 9,5          | -24                   | -28         | 25             |  |
| 17.tammi      | 32,4   | 9,5          | -24                   | -24         | 18             |  |
| 6.helmi       | 33,9   | 9,9          | -13                   | -15         | 21             |  |
| 29.tammi      | 34     | 9,9          | 2                     | 2           | 22             |  |
| 21.tammi      | 35,5   | 9,9          | -8                    | -8          | 23             |  |
| 13.tammi      | 37     | 10,2         | -4                    | -4          | 23             |  |
| 16.helmi      | 37,2   | 10           | 0                     | 0           | 22             |  |
| 6.tammi       | 37,8   | 10,2         | -13                   | -11         | 23             |  |
| 22.loka       | 39     | 10,2         | 3                     | 3           | 22             |  |
| 12.helmi      | 41,5   | 9,8          | -7                    | -8          | 22             |  |
| 5.helmi       | 43,5   | 10,2         | 18                    | -5          | 21             |  |
| 20.tammi      | 43,8   | 10,1         | -9                    | -9          | 22             |  |
| 23.loka       | 45     | 10,2         | 4                     | 4           | 22             |  |
| 7.helmi       | 45,5   | 10,2         | 18                    | -17         | 21             |  |
| 8.helmi       | 45,9   | 9,8          | 18                    | -11         | 21             |  |
| 23.loka       | 48     | 10,1         | 22                    | 1           | 22             |  |

Taulukossa 3, on esitetty mitattuja arvoja ja vallitsevia olosuhteita mittaushetkellä, kWh:t on luettu auton omalta informaationäytöltä, kuten myös lämpötilat ja matkat, katso kuviot 16 ja 17.

Kun ajokilometrejä ja ulkolämpötilaa tarkastellaan, huomataan niiden välillä olevan yhteys. Mitä kylmempi ilma on, sitä lyhyemmäksi ajettu matka jää. Kuvio 24 kertoo tuon suhteen tarkemmin. Trendiviivan korrelaatio kerroin ( $R^2$ ) on suurempi kuin nolla, joka osoittaa kilometrien ja lämpötilan välillä olevan jonkin verran riippuvuutta.



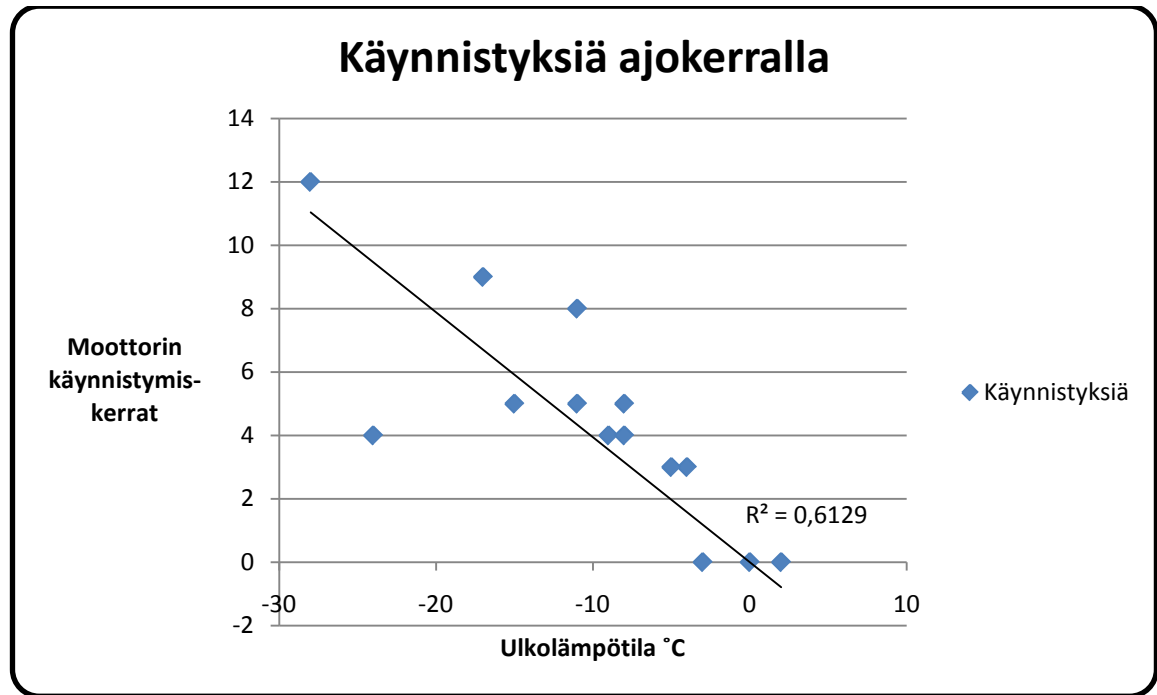
KUVIO 24. Ulkolämpötilan vaikutus saavutettuihin ajokilometreihin täydellä latauksella.

Ulkolämpötilan ja ajokilometrien välinen korrelaatio ei ole mittauksien perusteella kovin suuri. Tätä voi osaltaan selittää taulukko 4, joka kertoo ulkolämpötilan vaikutuksesta bensiinimoottorin käynnistymiskertoihin. Autossa oleva bensiinimoottori pyörittää generaattoria, josta auto saa sähköenergiaa kulkemiseen sekä sisätilojen lämmittämiseen. Kun välillä ajetaan generaattorin tuottaman sähkön varassa ja lämmitetään samalla sisätiloja, ei akuista kulu niin paljon energiaa sisätilan lämmitykseen mitä pelkällä akkuvirralla ajettaessa.

TAULUKKO 4

| Ulkolämpötilan vaikutus moottorin käynnistymisiin |             |                |                              |                       |
|---|-------------|----------------|------------------------------|-----------------------|
| Ajettu km   | Ulkoilma °C | Ilmastointi °C | Moottori käynnistynyt kertaa | Ajettu moottorilla km |
| 37,8  | -11         | 23             | 5                            | 7,4                   |
| 37  | -4          | 23             | 3                            | 5,9                   |
| 31,6  | -28         | 25             | 12                           | 19,9                  |
| 32,4  | -24         | 18             | 4                            | 5,3                   |
| 43,8  | -9          | 22             | 4                            | 6                     |
| 35,5  | -8          | 23             | 4                            | 5,4                   |
| 34  | 2           | 22             | 0                            | 0                     |
| 30,3  | -3          | 23             | 0                            | 0                     |
| 43,5  | -5          | 21             | 3                            | 4,1                   |
| 33,9  | -15         | 21             | 5                            | 7,4                   |
| 45,5  | -17         | 21             | 9                            | 10,9                  |
| 45,9  | -11         | 21             | 8                            | -                     |
| 41,5  | -8          | 22             | 5                            | 11,4                  |
| 37,2  | 0           | 22             | 0                            | 0                     |

Taulukon 4 tietojen perusteella saadaan Kuvion 25 mukainen kuvaaja, jossa korrelaatiokerroin ( $R^2$ ) on 0,6129, mikä kertoo vahvasta korrelaatiosta ulkolämpötilan ja moottorin käynnistymiskertojen välillä. Yksi huomattavan selkeä poikkeus on lämpötilan  $-24^{\circ}\text{C}$  kohdalla, joka selittyy ohjaamon lämpötila-asetuksella, joka on ollut  $18^{\circ}\text{C}$ . Ohjaamo ei ole tarvinnut lämmitystä niin paljoa, että generaattorin olisi tarvinnut tuottaa sähköä akkujen tyhjentyessä liian nopeaan. Kun ulkolämpötila laskee alle  $-4^{\circ}\text{C}$ :n, Amperassa käynnistyy ajoittain bensinimoottori, joka pyörittää generaattoria, tuottaen sähköenergiaa ohjaamon ja akun lämmitykseen, sekä auton liikuttamiseen. Generaattori tuottaa energiaa juuri sen verran, kuin auto kuluttaa, eli akkujen varaus pysyy lähes muuttumattomana. Koska ohjaamon lämmitys voi ottaa enimmillään noin 5kW:n sähkötehon, täytyy moottorin käynnistyä ja generaattorin tuottaa sähköä, jotta ajomatka akuilla pysyisi kohtuullisissa rajoissa. Taulukossa 10 näkyy selvästi, kuinka kovalla pakkasella moottori käynnistyy tiheään.



KUVIO 25. Ulkolämpötilan vaikutus moottorin käynnistymiskertoihin ajokerralla.

### 5.3 Energiankulutus ajettaessa

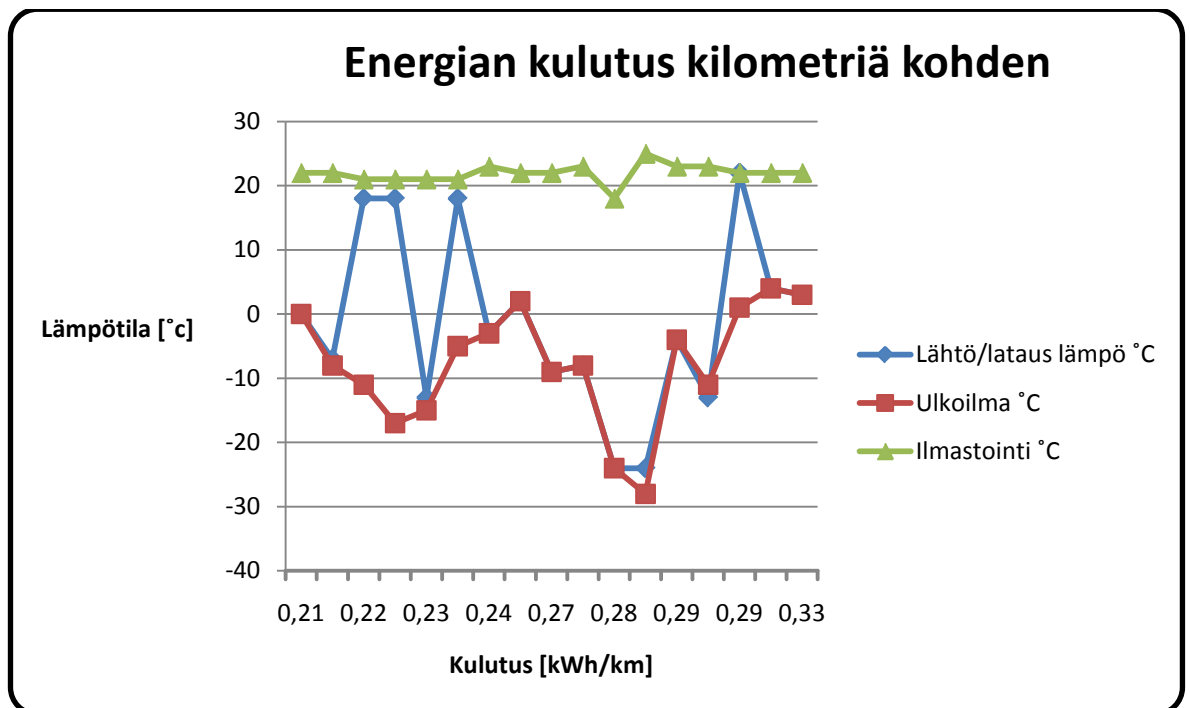
Amperan sähkönkulutusta ajotilanteissa tarkasteltaessa voi hyvin huomata, kuinka vallitsevalla latauslämpötilalla on suuri vaikutus heti latauksen suorittamisen jälkeen tapahtuvan ajon sähkönkulutukseen. Koko auto on latauksen ajan lämpimässä, niinpä sisätilat ovat myös lämpimät. Keskimäärin 40 km ajosuoritteen ajamiseen kuluu maantienopeuksilla aikaa puolesta tunnista tuntiin, joten sisätilat eivät ole vielä tuossa ajassa ehtineet jäähtyä kovin paljon pakkasen puolelle. Tuo seikka vaikuttaa auton ohjaamon lämmöntarpeeseen vähentäen sitä. Näin ollen noin 10 kWh:n käytettävissä olevalla sähköenergialla päästään pidempi matka.

Taulukosta 5 on luettavissa latauslämpötilan myönteinen vaikutus energiankulutukseen. Vaikka vallitseva ulkoilma ajotapahtumassa on runsaasti pakkasella, päästään kuitenkin alle keskiarvokulutuksen, joka on 0,26 kWh/km. Kun latauslämpötila on sama, tai lähes sama kuin ajolämpötila, nousee kulutus yli keskiarvon. Taulukosta ei suoraan voi päätellä ilman lämpötilan vaikutusta, vaan täytyy tuntea Amperan tekniikkaa ja lämmitysjärjestelmää, joka on selitetty aiemmin tässä työssä.



TAULUKKO 5. Kilometrikulutus eri lämpötiloissa.

| Energian kulutus  |                          |             |                |
|-------------------|--------------------------|-------------|----------------|
| Kulutus<br>KWh/km | Lähtö/lataus lämpö<br>°C | Ulkoilma °C | Ilmastointi °C |
| 0,21              | 0                        | 0           | 22             |
| 0,21              | -7                       | -8          | 22             |
| 0,22              | 18                       | -11         | 21             |
| 0,23              | 18                       | -17         | 21             |
| 0,23              | -13                      | -15         | 21             |
| 0,23              | 18                       | -5          | 21             |
| 0,24              | -3                       | -3          | 23             |
| 0,26              | 2                        | 2           | 22             |
| 0,27              | -9                       | -9          | 22             |
| 0,27              | -8                       | -8          | 23             |
| 0,28              | -24                      | -24         | 18             |
| 0,28              | -24                      | -28         | 25             |
| 0,29              | -4                       | -4          | 23             |
| 0,29              | -13                      | -11         | 23             |
| 0,29              | 22                       | 1           | 22             |
| 0,30              | 4                        | 4           | 22             |
| 0,33              | 3                        | 3           | 22             |



KUVIO 26. Energian kulutus kilometrillä.

## 6 CENTRIAN NISSAN LEAF - TÄYSSÄHKÖAUTO



KUVIO 27. Centria tutkimus ja kehityksen Nissan Leaf. (WINTEVE, 2013)

Nissan Leaf on otsikon mukaisesti täyssähköauto, jossa ei ole muuta voimanlähdettä kuin sähkömoottori, joka saa energian akusta. Sähkömoottori on teholtaan 58 kW ja akun kapasiteetti on 24 kWh. (Nieminen, 2012)

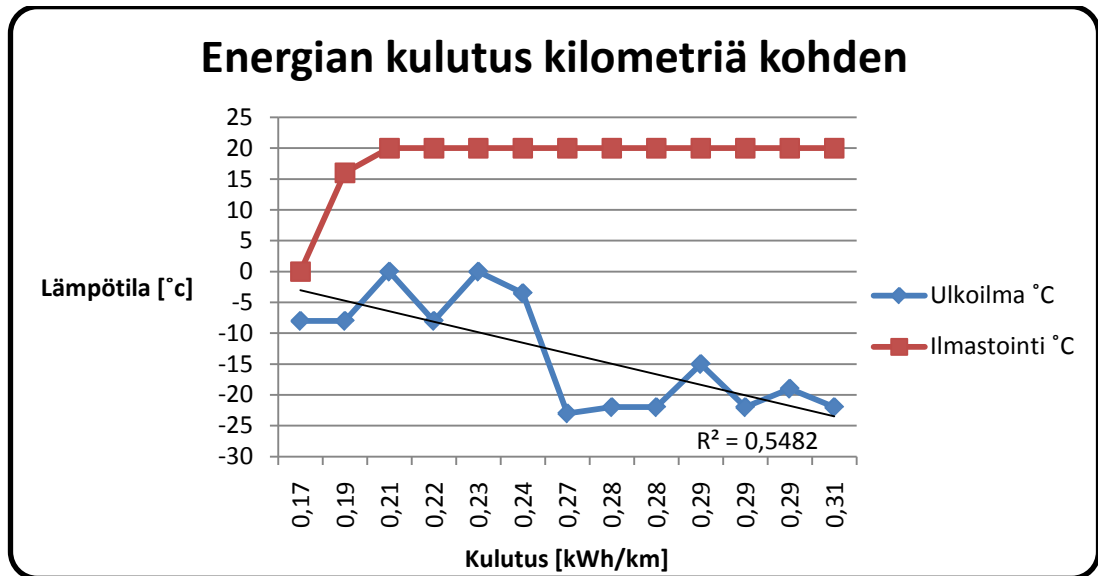
Centria tutkimus ja kehitys on tehnyt talvella 2012-2013 mittauksia Nissan Leafin talvikäyttäytymisestä. Mittauksissa on tutkittu, kuinka ulkoilman lämpötila, ilmastoinnin käyttäminen ja auton esilämmitys vaikuttavat Leafin akun keston ja ajosäteeseen eri mittaisilla ja tyyppisillä ajoreiteillä. Osa ajoista on tehty lyhyellä reitillä, ajaen reitti useasti yhdellä latauksella ja ottamalla lukemia ylös ajojen välillä. Osassa taas on ajettu tietty, muutaman kymmenen kilometrin matka ja pari mitausta on tehty ajaen akku tyhjäksi.

TAULUKKO 6. Nissan Leafin energiankulutus.

| Energian kulutus - Nissan Leaf |                   |             |             |                |
|--------------------------------|-------------------|-------------|-------------|----------------|
| pvm.                           | Kulutus<br>KWh/km | Esilämmitys | Ulkoilma °C | Ilmastointi °C |
| 15.1.2013                      | 0,173             | Kyllä       | -8          | 0              |
| 15.1.2013                      | 0,192             | Kyllä       | -8          | 16             |
| 29.1.2013                      | 0,213             | Kyllä       | 0           | 20             |
| 15.1.2013                      | 0,225             | Ei          | -8          | 20             |
| 29.1.2013                      | 0,227             | Ei          | 0           | 20             |
| 10.1.2013                      | 0,243             | Kyllä       | -3,5        | 20             |
| 17.1.2013                      | 0,271             | Kyllä       | -23         | 20             |
| 17.1.2013                      | 0,277             | Ei          | -22         | 20             |
| 17.1.2013                      | 0,282             | Ei          | -22         | 20             |
| 11.1.2013                      | 0,288             | Ei          | -15         | 20             |
| 17.1.2013                      | 0,290             | Ei          | -22         | 20             |
| 16.1.2013                      | 0,294             | Ei          | -19         | 20             |
| 17.1.2013                      | 0,305             | Ei          | -22         | 20             |

Taulukossa 6 on esitetty Leafin energiankulutus kilometriä kohti pienimmästä kulu-  
tuksesta suurimpaan. Energiankulutus on laskettu ajettujen kilometrien ja akun  
SOC:n avulla, eikä suoraan tietokoneen ilmoittamasta kulutetusta kWh määrästä,  
toisin kuin Opel Amperan mittauksissa. Tuloksista on helppo huomata ilmastoinnin  
asetuslämpötilan laskemisen vähentävän selvästi kilometrikulutusta.

## TAULUKKO 7



KUVIO 28. Nissan Leafin energiankulutus kilometrillä eri lämpötiloissa.

Kuviossa 28 on havainnollistettu, kuinka ulkoilman lämpötila ja ilmastoinnin asetettu lämpötila vaikuttavat kulutukseen. Kaikkein pienin kulutus on saavutettu, kun ilmastointi on ollut kytkettynä pois käytöstä, jolloin se ei ole kuluttanut sähköä ollenkaan. Kulutus on ollut hieman suurempi, kun ilmastointi on pidetty 16°C:ssa, mikä on alhaisempi kuin normaali sisälämpötila autolla ajettaessa.

Kulutus on selvästi alkanut nousemaan, kun sisälämpötila on nostettu 20°C:een, vaikka ulkolämpötila on noin 0 - (-10)°C:n paikkeilla. Pienet heitot kulutuksissa saattavat johtua osaltaan myös esilämmityksestä, kuten 29.1.2013 ajetuissa testeissä (taulukot 13 ja 14). Niissä kulutus eroaa kahden samoissa lämpötiloissa ajettujen testien välillä, erona on vain esilämmitys.

Selvä nousu kilometrikulutuksessa tulee, kun ulkolämpötila tippuu alle -10°C:n. Tulosten perusteella ei ole niin suurta väliä onko pakkasta lähemmäs -30°C, vai -15°C. Kun ulkolämpötila on kyllin matala, on kulutus enemmänkin riippuvainen ajo-reitistä ja sisätilan lämmityksestä.

## 7 TULOSTEN POHDINTAA JA HAVAINTOJA AIHEESTA

Työn alussa toimeksiantajan puolelta oli toivomusta myös latauslaitteiden sähköverkolle aiheuttamien häiriöiden tutkimisesta sekä älykkään sähköverkon ja sähköauton toimintojen laajemman yhdistämisen, kuten uusiutuvan energiantuotannon ja sähköautojen yhteistoiminnan tutkimisesta. Työn aikana kuitenkin halusin jättää kyseiset aiheet työn ulkopuolelle niiden laajuuden vuoksi. Koska älykästä sähköverkkoa ei kovin suuressa mittakaavassa ole vielä toteutettu, olisi aiheen tutkiminen todella työlästä ja samalla antoisaa omana tutkimuksenaan. Häiriömitauksissa taas tulisi tutustua laajasti sähköverkonverkon laitteisiin ja niitä mahdollisesti vahingoittaviin sähkönlaadun poikkeavuuksiin, eikä työhöni enää mielestäni mahtunut niin laajaa osa-aluetta. Aiheesta on tehtykin kattavia tutkimuksia, varsinkin keskijänniteverkkoa ajatellen. Uusituvan energiantuotannon ja sähköautojen yhdistämisen tarkemmasta tutkimisesta saisi myös vähintään yhden insinööriyön.

### 7.1 Tavoitteita ja tuloksia

Työn tavoitteena oli tutkia sähköautojen käyttäytymistä talvisissa olosuhteissa ja niiden soveltuvuutta Smart Gridiin liitettäviksi varavoimanlähteiksi sekä huippukulutus, että häiriötilanteissa. Tutkimuksissa sain tuloksia, jotka eivät ainakaan tyreä mää sähköautojen käyttöä talvella. Kuitenkin talvi tekee sähköautoilun vähemmän kannattavaksi kuin kesällä, tai ainakin hankalammaksi, sillä ajokilometrit yhdellä latauksella voivat jäädä jopa alle puoleen kesän vastaavasta. Julkisen latausverkon tulisi olla hyvin tiheä, jotta talvella voisi ajaa pidempiä matkoja kaupunkien ulkopuolella.

E-REV-auto Opel Amperan tapauksessa, tuli vastaan latausmittausten yhteydessä tilanne, että kylmässä tapahtuvan latauksen loputtua ja auton ollessa kytkettynä verkkoon tapahtuu latauspiikkejä. Latauspiikkien aikana sähköenergiaa kuluu noin 0,25-0,7 kWh/piikki. Näille piikeille löytyy selitys Amperan akkujen lämmitysjärjestelmästä, joka pitää akut litium teknologian edellyttämässä vähimmäislämpötilassa. Latausaikoihin kylmällä ilmastolla ei lopulta näyttänyt olevan merkittävää vaikutusta. Latauksen energiamäärä kasvoi kovissa, noin -10 - (-25)° C:n pakkasissa, muutamia kilowatin kymmenyksiä, mikä ei ole mitenkään suuri kasvu. Tuo ener-

giamäärä kului todennäköisesti akun lämmittämisessä kerran latauksen aikana, tai latauksen hyötysuhteen tippuessa ilman kylmetessä.

Käytännön ajotesteissä pyrittiin selvittämään latauslämpötilan ja samalla ajoon lähtö lämpötilan, sekä auton ilmastoinnin asetusten vaikutusta saavutettaviin kilometreihin, pelkällä akulla ajettaessa. Nämä tulokset olivat melko yksiselitteisiä täyssähköauton osalta, mutta hybridissä tuloksien yksiselitteisyyttä sekoitti moottorin automaattikäynnistymiset alle  $-4^{\circ}\text{C}$ :n lämpötilassa. Yksi asia, joka tuli molempien testattujen autojen tuloksista selvästi ilmi, oli selvä kulutuksen lisääntyminen alle  $-10^{\circ}\text{C}$ :n lämpötiloissa, Amperan kohdalla tosin tulokset pitää osata tulkita oikein. Moottorin käynnistymiskertojen määrä osoittaa suoraan kulutuksen lisääntymistä, vaikka se ei kulutustaulukosta selvästi näy. Vaikka sähköautoissa akku eristetään hyvin, alkaa kylmä ilma jäähdyttää sitä, jolloin tarvitaan sähköä lämmitykseen. Latauksessaikin tuo noin  $-10^{\circ}\text{C}$ :n raja tuli esille, kun katsoo taulukon 6 tuloksia pitkien latauksien tehopiikkien määrästä.

Myös auton sisätilat alkavat kylmetä nopeampaa ja niiden pääasiallinen lämmitys on molemmissa autoissa toteutettu sähköllä. Amperassa matkaa pidentää kuitenkin polttomoottorin pyörittämä generaattori, joka käynnistyy kylmissä oloissa tietyn väliajoin, jotta jopa 5 kilowatin tehon vaativa sisätilojen lämmitys ei kuluttaisi akkua niin nopeasti tyhjäksi. Kun auton sisätilat on saatu lämmitettyä generaattorin tuottamalla sähköllä, sammuu moottori ja matka jatkuu akun voimalla. Näin akun varassa ajettu kulutus vastaa lämpimämmän ilman kulutusta.

Testattujen autojen sähkönkulutus vaihteli testien aikana välillä  $0,17 \text{ kWh/km}$  -  $0,33 \text{ kWh/km}$ , joten kulutukset autojen välillä ovat melko samansuuruisia. Leaf kulutti hieman vähemmän johtuen mahdollisesti sen pienemmästä painosta. Ampera olisi mahdollisesti voinut kuluttaa vielä enemmänkin, jos moottorin käynnistymiset olisi voinut jotenkin estää.

## 7.2 Kehitysajatuksia sähköautoihin talvea ajatellen

Amperassa tuli testien aikana vastaan auton ohjelmistossa ja toiminnoissa oleva puute. Autossa olisi toivonut olevan ajastettu, tai lämpötilaohjattu sisätilan lämmitys, kun auto on kytkettynä verkkoon. Kyseinen toiminto olisi lähes välttämätön kylmässä ilmastossa talvella. Se säästäisi polttoainetta, kun moottorin ei tarvitsisi käydä usean kilometrin matkaa lähdeettäessä kylmällä autolla liikenteeseen. Tällä hetkellä autossa on vain kaukosäätimestä kytkettävä lämmitys ennen ajoon lähtöä ja silloinkin auton bensiinimoottori käynnistyy. Ehdotukseni onkin, että Suomessa myytävät sähköautot tulisi varustaa verkkovirtatoimisella sisätilanlämmityksellä, joka olisi ajastettavissa ja ohjelmoitavissa lämpötilaa ylläpitäväksi. Näin sähköautojen ajosädetä saataisiin kasvatettua ja hybriditoimisten autojen polttoaineenkulutusta vähennettyä. Toinen vaihtoehto olisi lisätä pieni polttoainekäyttöinen lisälämmitin kylmimpiä olosuhteita ajatellen, jonka voisi tarvittaessa kytkeä toimintaan. Myös vetypolttokeino tai vastaava kehittyvän teknologian tuote voisi toimia lämmittimen energialähteenä, jolloin fossiilisia polttoaineita ei tarvitsisi välttämättä käyttää.

En huomannut Opel Amperassa muuta talvikäyttöä hankaloittavaa asiaa, kuin lausapistokkeen luukun jäätyneen välillä kiinni ja välillä luukku ei tahtonut lukittua kiinni asentoon jään takia. Jopa  $-29^{\circ}\text{C}$ :n pakkasessa auto toimi moitteettomasti, eivätkä kovat lumimyrätkäkään haitanneet auton toimintaa millään tavalla.

## 7.3 Sähköauto varavoimana

Sähköverkon varavoimaksi sähköautoista voisi hyvinkin olla. Tekniikkaa millä tuo toteutettaisiin, en lähtenyt työssä käsittelemään. Siitä saisi kokonaan oman tutkimuksen, kuten myös sähköautojen verkosta ottaman ja sinne syöttämän sähköenergian riittävydestä. Tällä hetkellä mielestäni paras keino vähentää energiankulutusta sähköautojen avulla, olisi syöttää huippukulutuksen aikana autosta sähköä kiinteistöön, missä auto on kytkettynä verkkoon. Siihen riittäisivät tällä hetkellä yleisesti käytettävät 6-16 ampeerin kotilaturit ja nykyisten autojen akkukapasiteetti. Suuremman mittakaavan häiriö akustoina toimiminen vaatisi suurta tehonsiirtokapasiteettia. Se edellyttää sähköauton kytkemistä pikalaturiin, joka toimii kahteen suuntaan. Lisäksi kylmissä olosuhteissa autot tulisi olla lämpimissä tiloissa, jotta

energiaa ei tuhlaantuisi akkujen lämmittämiseen auton ollessa kytkettynä sähköverkkoon. Toisaalta, akun tiheä purkaminen ja lataaminen kylmässä, voi pitää akun paremmin toimintakykyisenä, kuin pelkkä varattuna pitäminen.

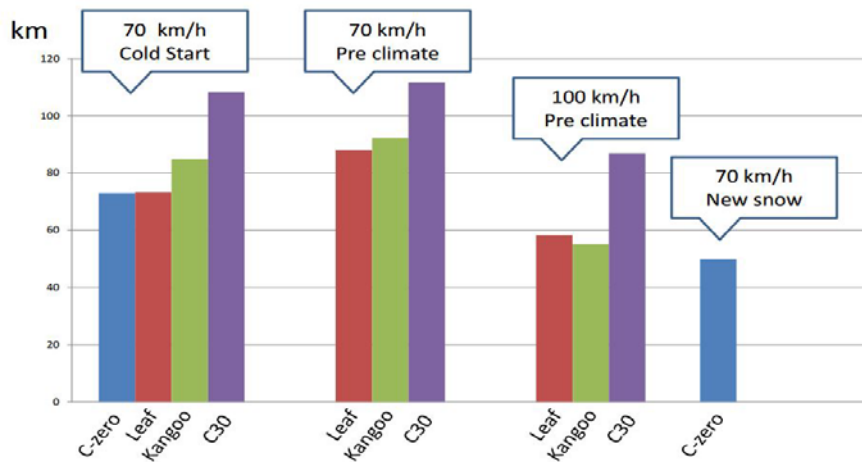
Koska autojen akut kestävät rajallisen määrän lataus/purkaussyklejä, pitäisi autojen omistajille maksaa korvausta auton toimimisesta akkuna verkolle. Tämä täytyisi ottaa huomioon sähkön hinnassa, mitä verkkoyhtiö maksaa autosta ottamastaan sähköstä. Auton kytkemisestä osaksi Smart Gridiä on muutakin hyötyä, kuin pelkkä varavoimatoiminto. Kun verkko kehittyy ja latausjärjestelmät kehittyvät, voidaan sähköautojen latausta ajoittaa sähkönkulutuksen hiljaisimpaan aikaan ja näin voidaan mahdollisia sähköautoista aiheutuvia kulutuspiikkejä välttää päiväsaikaan. Myös autojen omistajat voivat hyötyä tilanteesta, lataamalla autonsa halvemman sähkön aikaan. Tämä tosin on mahdollista Amperassa jo nyt, kun vain ohjelmoi sähkön hintatiedot ajotietokoneeseen.

#### **7.4 Muiden vastaavien tutkimusten tuloksia**

Tällä hetkellä sähköautoja tutkitaan paljon, ja erityisesti Pohjoismaissa ollaan tällä hetkellä kiinnostuneita sähköautojen talviominaisuuksista, mihin tämäkin työ on keskittynyt. Yksi yhteispohjoismainen tutkimushanke on nimeltään RekkEVIDde, jota koordinoi suomalainen Greenet ja laboratoriotestejä suorittaa VTT. Ratates-tausta tutkimuksessa tehdään Ruotsin lapissa. Seuraavassa esitellään osa hankkeessa saaduista tuloksista, keskittyen Nissan Leaf sähköautoon, josta työssäni on vertailutuloksia. Tuloksissa ei vielä ilmoiteta kaikkia tarkkoja mittaustilanteita, mutta niistä saa hyvän vertailupohjan tämän työn mittauksiin.

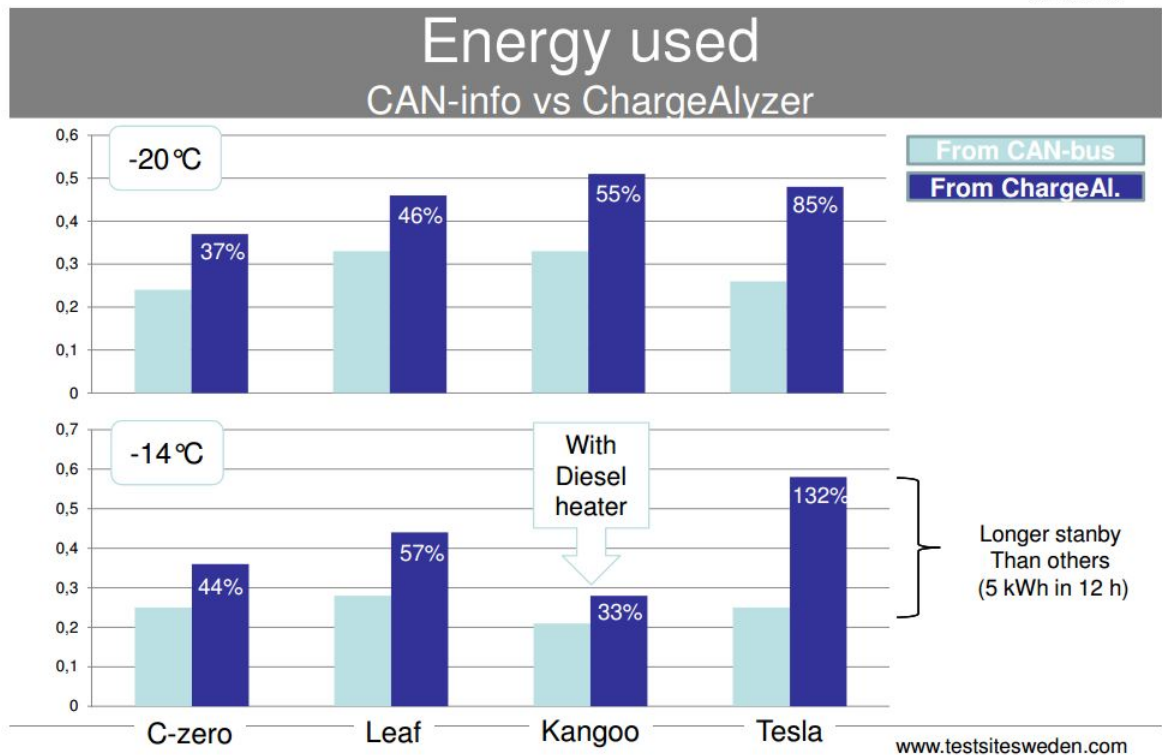


## Range from battery depletion test



KUVIO 29. Ajosäde akun ehtymiskokeessa, eri nopeudella ja ilman lämmitystä sekä lämmityksellä. (Greenet 2013.)

Kuviosta 29 näkee selvästi, kuinka paljon pidemmälle esilämmitetyllä autolla voidaan ajaa verrattuna liikkeellelähtöön kylmällä autolla. Samansuuntainen trendi oli Opel Amperan tutkimuksissa huomattavissa, vaikka en tehnytkaan varsinaisia mittauksia auton esilämmityksen vaikutuksista. Sisällä suoritettu lataus vastasi käytännössä kuitenkin esilämmitystä. Myös ajonopeuden vaikutus ajosäteeseen näyttää olevan hyvin suuri. Talvella Suomessa on pienemmät nopeusrajoitukset kesään verrattuna, mikä auttaa hieman ajosäteen säilymisessä.

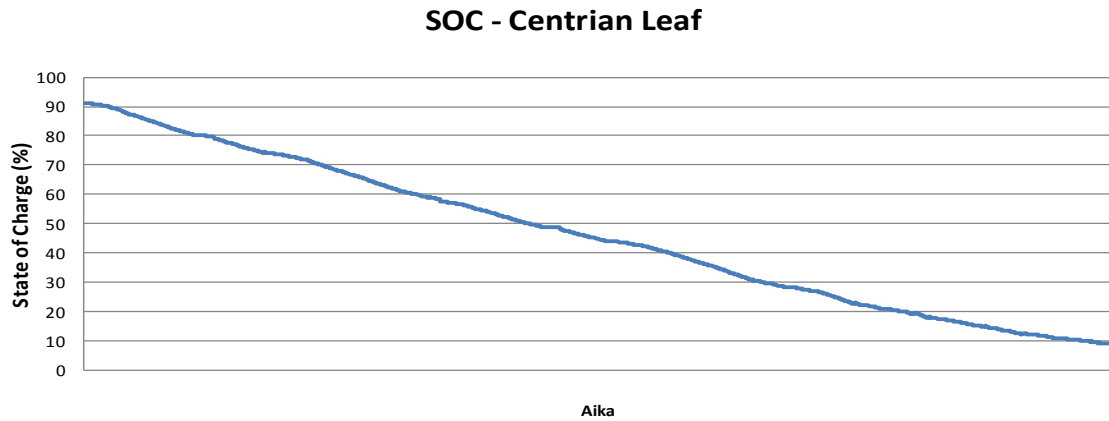


KUVIO 30. Energiaa käytetty. (Greenet 2013.)

Kuviossa 30 näkyy kulutetun energian määrä erään ajotilanteen jälkeen kahdessa eri lämpötilassa. Tulokset on saatu sekä auton CAN-väylästä, että akulta ChargeAlyzer analysointorilla, ja niissä on hieman eroa. Tulokset näyttävät tukevan työntekijöiden tuloksia, joissa kylmä ilma verottaa akkuja enemmän.

Seuraavaksi verrataan akun SOC:n tippumista Centrian Leafin ja Ruotsissa testatun Leafin välillä. SOC:n käyrä näyttäisi käyttäytyvän molemmissa hyvin samalla lailla, mutta lopussa Centrian tuloksissa SOC pysyy korkeammalla tasolla kuin Kuviossa 32. Se voi selittyä SOC:n eri yksiköllä, joka on Centrian taulukossa prosenttia ja RekkEvidden taulukossa kWh

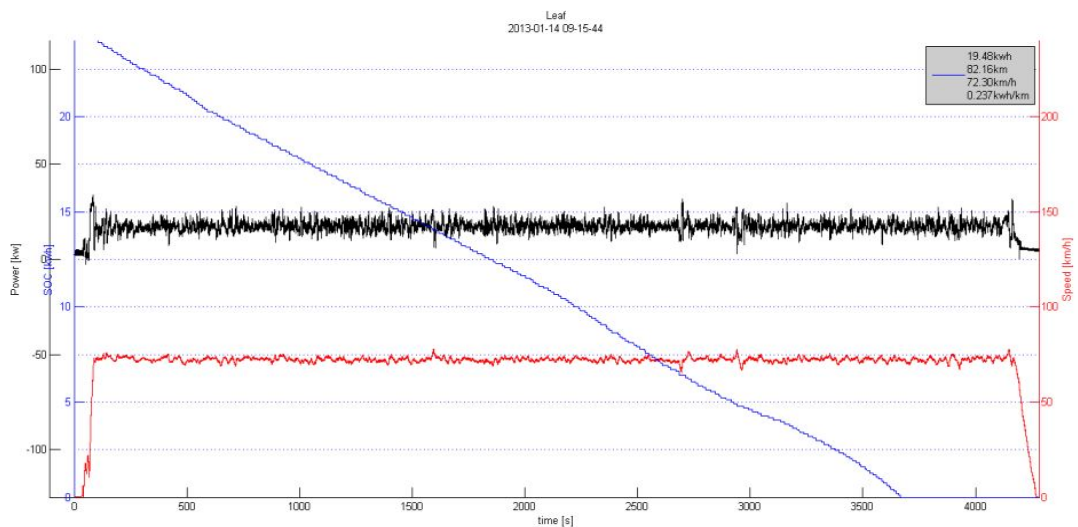
▪



KUVIO 31. Lämpötila ulkona 0°C. Ajosäde 89.8 km. Viivat tulivat mittariin, kun kilometrejä 84.9 ja SOC 12.8 % ja 0 pykälää akun varaus. Ryömintä moodi meni päälle kun ajettu 88.6 km ja SOC 10 %. (Heikkilä 2013.)

**TSS**  
Test Site Sweden

## SOC and Battery depletion: LEAF



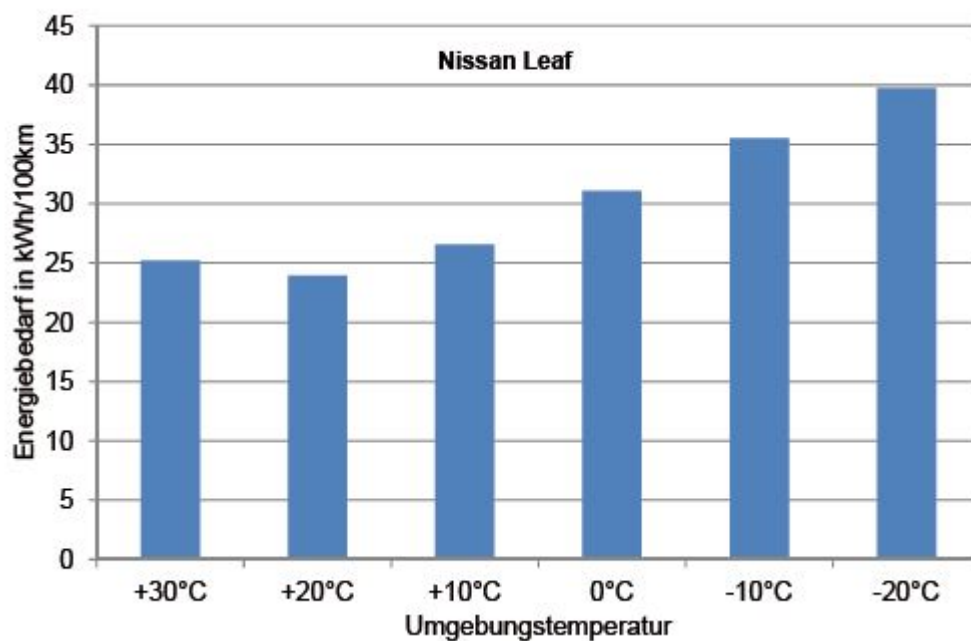
KUVIO 32. RekkEvidden testaustulos. (Greenet 2013.)

Myös Itävallassa on tehty testejä sähköautojen pakkasenkestävyyden selvittämiseksi. Sain seuraavia tutkimustuloksia käyttööni vieraillessani Saksassa ja tava-  
tessani Niederrheinin yliopiston sähköisen liikenteen tutkijan Felix Kirschin, jolle  
seurueemme esitteli WintEVE:ä ja Centrian osuutta siinä. Tutkimukseen osallistuu  
seuraavia tahoja:

Itävaltalainen Society of Automotive Technology (OVK)

Itävallan auto, moottoripyörä ja touring club (ÖAMTC)

The Institute for Powertrains and Automotive Engineering at the Technical Univer-  
sity of Vienna

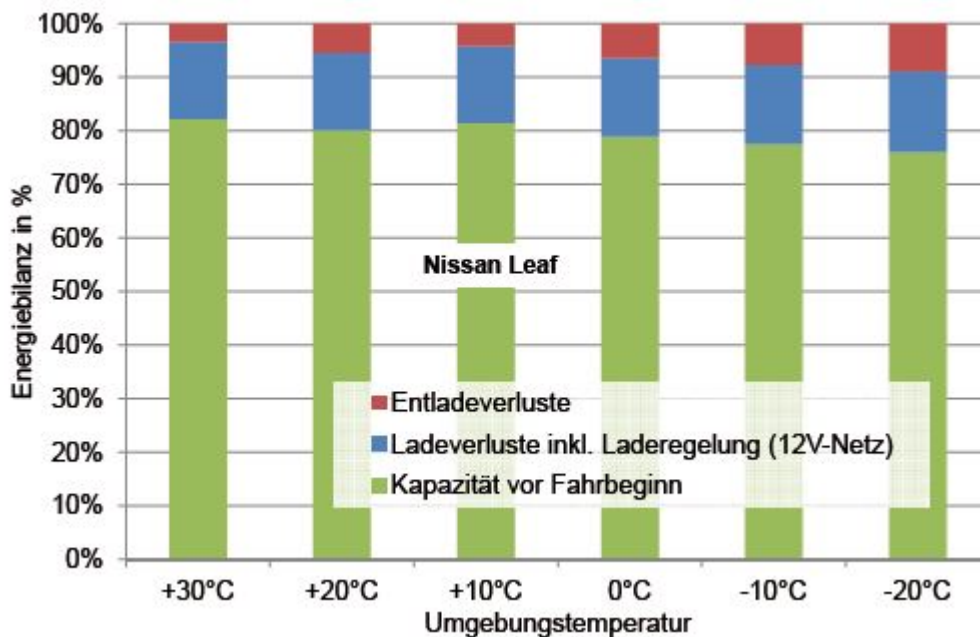


KUVIO 33. Nissan Leafin kulutus eri lämpötiloissa. (Österreichischer verein für  
kraftfahrzeugtechnik 2012.)

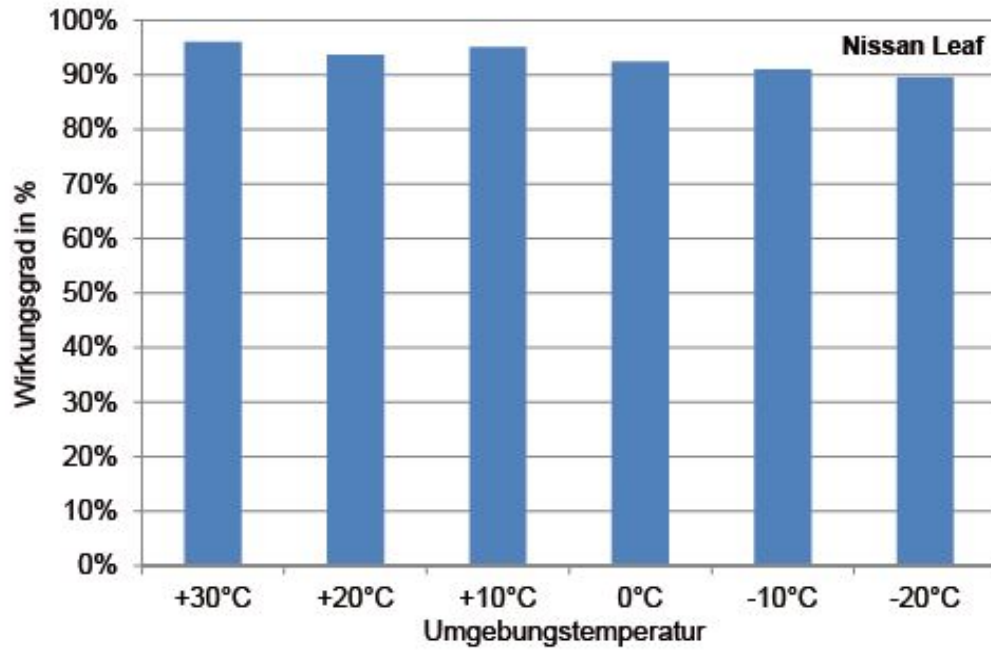
Kuvion 33 kulutukset ovat hieman korkeammat, joita Centrian mittauksissa on saa-  
tu Nissan Leafille. Maantieteelliset erot toki ovat suuret Itävallan ja Suomen poh-  
janmaan välillä, vaikka Itävallan testit on ajettu vain +/-2 %:n tien kaltevuuksia si-  
sältävillä reiteillä.

Seuraavan sivun kuviossa 34 näkyy, kuinka suuri osa akun kapasiteetista jää aja-  
miseen tietyssä lämpötilassa akkuhäviöiden ja 12 voltin järjestelmän lataamisen  
jälkeen. Kuvioista on havaittavissa selvä pudotus, kun ulkolämpötila on alle 0°C:n.

Kuvio 35 kertoo latauksen hyötysuhteen eri lämpötiloissa. Taulukosta on nähtävissä on noin 5 %:n pudotus hyötysuhteessa +30°C:n ja -20°C:n välillä. Pudotus ei ole mielestäni mitenkään suuri ottaen huomioon 50°C:n lämpötilaeron. Sain samansuuntaisia tuloksia Opel Amperan mittausten kanssa, vaikka en hyötysuhdetta määrittänyt niukkojen mittaustietojen vuoksi. Päädyin kuitenkin omista testeistäni siihen, että latauslämpötilalla ei ole suurta merkitystä latauksen aikana kulutettuun energiamäärään, eli hyötysuhde ei muutu kovinkaan paljon.



KUVIO 34. Punainen, akkuhäviöt. Sininen, 12 voltin laitteiden käyttämä osuus akusta. Vihreä, osuus akun varauksesta joka jää ajotilanteeseen. (Österreichischer verein für kraftfahrzeugtechnik 2012.)



KUVIO 35. Lämpötilan vaikutus latauksen hyötysuhteeseen. (Österreichischer verein für kraftfahrzeugtechnik, 2012)

Näissä tuloksissa en huomannut samaa energiankulutuksen nopeaa nousua 10°C:sta kylmemmissä lämpötiloissa, minkä havaitsin omista ja Centrian mittauksista. Tässä voisi olla aihetta jatkotutkimuksiin. Löytyisikö tarkempi lämpötilapiste, missä energiankulutus sähköautoissa nousee selvästi ja kuinka se olisi laskettavissa vieläkin alemmaksi.

## LÄHTEET

Barry, K. 2013. Saatavissa: <http://www.wired.com/autopia/2013/03/wireless-charging-bus-germany/>. Luettu 3.4.2013

Biomeri Oy. 2009. *Sähköajoneuvot Suomessa - selvitys*. Saatavissa: [http://www.tem.fi/files/24099/Sahkoajoneuvot\\_Suomessa-selvitys.pdf](http://www.tem.fi/files/24099/Sahkoajoneuvot_Suomessa-selvitys.pdf). Luettu 26.2.2013.

Electric drive transportation association. 2013. Saatavissa: [http://www.electricdrive.org/index.php?ht=d/Releases/cat\\_id/27078/pid/18324](http://www.electricdrive.org/index.php?ht=d/Releases/cat_id/27078/pid/18324) Luettu 24.1.2013

Greenet. 2013. *EV Field winter testing 2013*. Vantaa: Greenet.

Heikkilä, J. 2013. Sähköpostiviesti. *Nissan Leaf mittaustulokset* . Ylivieska. Luettu 28.3.2013

Järventausta, P.; Partanen, J. & Koponen, P. 2010. *INCA - Tutkimusprojektin loppuraportti*. Tampere, Lappeenranta ja Espoo: Tampereen teknillinen yliopisto (TTY), Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LTY) ja VTT.

Kaarlampi, E. 2012. *Sähköautojen latausjärjestelmät: Koulutuksen kautta hyvään energianhallintaan*. Esiintynyt 25.10.2012 Sähkö- ja energiamessut, Tampere.

Matthé, R. 2012. *www.opel-ampera.com*. Saatavissa: [www.opel-ampera.com/wp\\_en/2012/01/20/the-thermal-management-system-is-key/](http://www.opel-ampera.com/wp_en/2012/01/20/the-thermal-management-system-is-key/). Luettu 26.3.2013.

Morgan, T. 2012. *Smart grids and electric vehicles: Made for each others?* United Kingdom: IEA.

Nieminen, J. 2012. TM koeajo: Nissan Leaf. *Tekniikan Maailma* 10/12 , sivut 122-127.

Pillai, J. R. 2010. Electric vehicle based battery storage for large scale wind power integration in Denmark. Aalborg, Tanska.

Pillai, J. R.;& Bak-Jensen, B. *Electric vehicles based battery storages for future power system regulation services* . Aalborg, Tanska.

Rae, M. 2012. Latausstandardit. Suomi.

Rae, M. 2012. Saatavissa: [www.angelfire.com/pro/auli/vanhat/aineistoja/12sahko\\_rae.pdf](http://www.angelfire.com/pro/auli/vanhat/aineistoja/12sahko_rae.pdf).  
Luettu 19.3.2013

Rautiainen, A. 2012. Lecture notes for course, "New applications in electrical energy engineering". *Electric vehicles in smart grids*. Tampere, Finland: Tampere University of Technology Department of electrical energy engineering.

Rinta, T. 2012. Sähköautoseminaari. *Sähköauton haasteet*. Esiintynyt 25.10.2012 Sähkö- ja energiamessut, Tampere.

Schneider. 2013. *Indoor Electric Vehicle Charging Station*. Saatavissa: <http://products.schneider-electric.us/products-services/products/electric-vehicle-charging-stations/indoor-electric-vehicle-charging-station/>. Luettu 19.3.2013.

Sesko ry. 2012. Sesko ry:n ohjeistus. *Sähköajoneuvojen lataaminen kiinteistöjen sähköverkoissa*. Helsinki: Sesko ry.

Sesko ry. 2012. [www.sesko.fi](http://www.sesko.fi). Saatavissa: [http://www.sesko.fi/portal/fi/standardisointikomiteat/komitealista\\_ja\\_komiteasivut/sk\\_69\\_\\_sahkoautot/](http://www.sesko.fi/portal/fi/standardisointikomiteat/komitealista_ja_komiteasivut/sk_69__sahkoautot/). Luettu 19.3.2013.

Siemens. 2013. *Älykäs sähköverkko*. Saatavissa: [http://www.siemens.fi/fi/siemens\\_osakeyhtio/ymparistoratkaisut/alykas\\_sahkoverkko.htm](http://www.siemens.fi/fi/siemens_osakeyhtio/ymparistoratkaisut/alykas_sahkoverkko.htm).  
Luettu 26.3.2013.

Stenger, D. R. 2011. Electro mobility with batteries and fuel cells.

Tiainen, M.-M. 2011. *Doria*. Saatavissa: <http://doria17-kk.lib.helsinki.fi/bitstream/handle/10024/69936/nbnfi-fe201106231799.pdf?sequence=3>.  
Luettu 26.2.2013.

Turku Energia. 2010. *Valopilkku, Turku Energian asiakaslehti*. Saatavissa: <http://www.turkuenergia.fi/valopilkku/index.php?page=c295ddeef0050e505b84a64c835774>. Luettu 26.3.2013.

WintEVE. 2013. [www.winteve.fi](http://www.winteve.fi).



WopOnTour. 2010. *GM-Volt.com*. Saatavissa: gm-volt/2010/12/09/the-chevrolet-volt-coolingheating-systems-explained. Luettu 25.3.2013.

ÖSTERREICHISCHER VEREIN FÜR KRAFTFAHRZEUGTECHNIK. (2012).  
*Batterieelektrische Fahrzeuge in der Praxis*. Wien: Technische Universität Wien.

ÖSTERREICHISCHER VEREIN FÜR KRAFTFAHRZEUGTECHNIK. (2012).  
*Batterieelektrische Fahrzeuge in der Praxis*. Wien: Technische Universität Wien.