

# 2013

## Sähköauto ja talvi



Tuomo Kupiainen

Centria

5/20/2013

## Sisällysluettelo

1	Johdanto .....	2
2	Testiautot .....	3
2.1	Nissan Leaf .....	3
2.2	Opel Ampera E-REV .....	3
3	Testaaminen .....	4
3.1	Ajotestaus .....	4
3.2	Lataustestaus .....	5
4	Lämpötilojen vaikutus sähköauton käytölle .....	6
5	Sähkönkulutus .....	7
6	Kustannustietoa sähköautoilusta eri olosuhteissa .....	7
7	Talvi- / kesäajon eroja .....	7
8	Suosituksia taloudelliseen ajoon .....	8
9	Ajokokemuspalautteita .....	8
10	Johtopäätöksiä sähköauton talvikäytettävyydestä .....	8
11	Toimenpide-ehdotuksia .....	8
	Lähteet .....	10
	LIITE A .....	11



## 1 Johdanto

Tässä raportissa luodaan katsaus sähköautoiluun talviolioissa. Asiaa lähestytään Centria tutkimus ja kehityksen Nissan Leaf täyssähköauton sekä Oy Herrfors Ab:n Opel Ampera hybridisähköauton testi- ja käyttökokemusten kautta. Lisäksi huomioidaan RekkEVIDde-projektin testituloksia analyysin ja johtopäätösten teossa.

Erilaisissa talviolosuhteissa tehtyjen mittausten avulla selvitetään sähköauton käyttöön vaikuttavia tekijöitä (mm. toimet ennen ajoon lähtöä, ulkolämpötila, muut ajo-olosuhteet, auton sisälämmitys, toimenpiteet ajon aikana).

Pyritään myös antamaan relevanttia kustannustietoa sähköautoilusta eri olosuhteissa, suoritettujen testien perusteella.

Yhteenvedonomaaisesti verrataan sähköautoilua talvella ja kesällä, niiden yhtäläisyyksiä ja eroja.

Lopuksi tehdään pohdintaa ja johtopäätöksiä sähköauton talvikäytettävyydestä kyselyihin, raportteihin ja asiakaspalautteisiin perustuen sekä annetaan toimenpide-ehdotuksia jatkoa varten koskien sähköautoiluun liittyviä lisätestejä, kehittämiskohteita yms.



## 2 Testiautot

### 2.1 Nissan Leaf



Kuva 1. Nissan Leaf

Nissan Leaf on täyssähköauto ja sen voimanlähteenä on sähkömoottori, jonka teho on 58 kW. Akkuna Leafissa on laminoitu litium-ioniakku, jonka kapasiteetti/virta on 24 kWh / yli 90 kW. Toimintamatka on 175 km (NEDC). Jarrutusjärjestelmä Leafissa on regeneratiivinen eli se lataa sähköä takaisin akkuun jarrutettaessa tai hidastettaessa.

### 2.2 Opel Ampera E-REV



Kuva 2. Opel Ampera E-REV

Kyseessä on hybridisähköauto, jonka voimanlähteenä on kaksi eri sähkömoottoria. Ne on kytketty samaan voimansiirtolinjaan. Moottoreiden yhteenlaskettu teho on 111 kW. Lisäksi autossa on siis bensiinimoottori, ns. Range Extender, kooltaan 1,4 litraa ja teholtaan 64 kW. Bensiinimoottorin avulla pyritetään 54 kW:n generaattoria, jolla tuotetaan sähköenergiaa sähkömoottoreille moottorin käydessä. Opel Amperassa on



nestejäähdytetty/-lämmitetty litium-ioniakku, jonka nimellisjännite on 360 V ja paino 180 kg.

### 3 Testaaminen

Testaamista on tehty monipuolisesti sekä olosuhteiden että valmistelevien toimien osalta, jotta mahdollisimman hyvin olisi saatu erilaiset käyttötilanteet huomioitua. Testaamista on tehty normaalissa työkäytössä (Opel Ampera) ja erityisillä testiajoilla (Nissan Leaf ja Opel Ampera). Testien ajallinen ja km-määräinen pituus on ollut vaihteleva ja näin on saatu hyvin toteutettua testaamisen kattavuus tältäkin osin.

Paitsi ajotestausta niin myöskin akkujen lataustestausta on suoritettu erilaisissa oloissa ja vaihtelevilla ajanjaksoilla.

Testaustuloksia tarkastellessa on pidettävä mielessä, että osa niistä on saatu hybridisähköautosta, jolloin testin aikana on myös bensiinimoottori voinut olla käynnissä. Tulokset Amperalla ovat kuitenkin saman suuntaisia toisen testiauton eli Nissan Leafin kanssa ja näistäkin testeistä saatavat kokemukset ja tulokset ovat tärkeitä sähköautoilun kehittämisen kannalta.

#### 3.1 Ajotestaus

Tässä raportissa huomioitua talviajotestit on tehty joulukuusta 2012 helmikuuhun 2013 ulottuvalla ajanjaksolla. Keliolot ovat vaihdelleet tyypillisen talven mukaan, eli on ollut pikkupakkasta ja nollakeliäkin vesisateineen ja toisaalta myös kovia pakkasia ja lumisateisia ajokelejä.

Ajotesteissä suoritetuissa mittauksissa on tallennettu seuraavia asioita: lähtö-/latauslämpötila (°C), ajettu kokonaismatka (ajosäde) (km), keskinopeus (km/h), ulkolämpötila (°C), esilämmitys (kyllä/ei), ilmastoinnin tila (on/off) ja lämpötilasäätö (°C), ilmastointilaitteen kulutus (kWh), kokonaisenergiankulutus (kWh), akuston jännite (V), akuston varaustila (SOC, State of Charge) (%), akustosta otetun virran määrä (A), bensiinimoottorin käynnistymisten lukumäärä ja sen avulla ajettu matka (Opel Ampera).

Leaf: Mittauksissa on tutkittu kuinka ulkoilman lämpötila, ilmastoinnin käyttäminen ja auton esilämmitys vaikuttavat akun keston ja ajosäteeseen eri mittaisilla ja toisaalta eri tyyppisillä reiteillä. On ajettu lyhyttä reittiä useaan kertaan peräkkäin yhdellä latauksella ja otettu tulokset talteen ajojen välillä. Tai on ajettu pidempi reitti (42,3 km)



ja huomioitu lähtötietojen lisäksi esim. 10 km jälkeen tiedot sekä lopputiedot. Lisäksi Leafillä tehtiin vielä muutamaaan kertaan ns. akku tyhjäksi-testi eli ajettiin, kunnes auton järjestelmän ilmoittamana jäljellä oleva ajosäde oli 0 km ja akuston varaus 0 %. Leafin energiankulutus on laskettu ajettujen kilometrien ja akun SOC-lukeman mukaan, eikä otettu suoraan auton ilmoittamasta lukemasta. Auton oma järjestelmä ja CAN-väylästä tehdyt mittaukset antoivat hieman erilaisia tuloksia mm. akuston varauksesta.

Ampera: Mittauksissa on tutkittu vallitsevan ulkolämpötilan ja latauslämpötilan vaikutusta pelkän akun varassa ajettavaan ajomatkaan. Myös sisätilan lämmityksen vaikutusta kilometreihin on arvioitu ajojen yhteydessä käyttämällä ilmastointijärjestelmää eri tehoilla ja lämpötiloilla. Ajoreitti (testireitti) on pyritty pitämään samana ja ajonopeudet normaalin liikenteen mukaisina. Työtehtävien suuntautuessa muualle, on ajotapa ja muut olosuhteet pidetty mahdollisuuksien mukaan samanlaisina kuin ns. testireitillä.

### 3.2 Lataustestaus

Molempien testiautojen kohdalla suoritettiin myös lataustestausta.

Nissan Leafin osalta tehtiin ns. lyhyitä latauksia kolmessa eri ulkolämpötilassa:  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja  $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Latausten kesto oli n. neljä tuntia ja siinä ajassa akun varaus auton oman järjestelmän mukaan oli 83,3 % tuossa kylmimmän ilman mittauksessa. Tosin CAN-väylän mittauksen mukaan varauksen taso oli 79 %.

Opel Amperan kohdalla lataustestauksissa tutkittiin lämpötilan vaikutusta latauksen kestoon ja verkosta otetun energian määrään. Amperalla tehtiin ns. lyhyitä ja pitkiä lataustestejä sekä sisä- että ulkotiloissa. Lämpötilat vaihtelivat  $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$  välillä.

Amperan lyhyissä testeissä latausta jatkettiin niin kauan kunnes auton järjestelmä ilmoitti akun olevan täynnä. Latausajat vaihtelivat melko vähän. Lyhimmän ja pisimmän latausajan ero oli vain n. 13 min. Kylmimmän ja lämpimimmän lämpötilan latausajan ero oli vain 10 min. Verkosta otetun energian määrä kasvoi suhteessa lämpötilan laskuun vaikka erot eivät olleetkaan mitenkään huomattavat. Pienimmän ja suurimman latausenergian määrät olivat 12,3 kWh ( $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ja 12,9 kWh ( $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).  $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$  lämpötilassa tehty lataus otti energiaa 12,5 kWh. Erot kylmässä tehdyissä latauksissa voivat johtua esim. siitä, onko autolla ajettu juuri ennen latausta ja sitä lämmitetty sisältä, jolloin akun lämpötilakin on korkeampi.

Amperan pitkissä lataustesteissä tutkittiin energianottoa verkosta, kun auto on



latauksessa pidempään kuin on tarpeen akun täyteen lataamiseksi. Näissä latauksissa kylmillä ilmoilla tuli latauspiikkejä, joilla järjestelmä pyrkii pitämään akun lämpötilan riittävänä pakkasilmoilla käyttäen erillistä sähkölämmitystä. Pitkissä testeissä näkyi selvästi kylmän ilman vaikutus verkosta ladatun energian määrään. Eli mitä kylmempi ilma sitä enemmän energiaa otetaan. Samoin latauspiikkien määrässä näkyy selvä kasvu, kun ilma kylmenee.

#### 4 Lämpötilojen vaikutus sähköauton käytölle

Sähköauton käyttö talvioloissa on selvästi haastavampaa kuin muina vuodenaikoina. Lähinnä lämpötilan laskeminen reilusti pakkasen puolelle (alle  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) aiheuttaa sähköauton käytölle jossain määrin jopa ongelmia. Ajosäteen radikaali pieneneminen on suurin ongelma, sillä akun varaus laskee nopeasti, kun joudutaan käyttämään energiaa myös sisätilan lämmittämiseen paitsi mukavuus- niin myös ennenkaikkea turvallisuussyistä. Näkyvyys auton sisältä kun ei saa heiketä ikkunoiden huurtumisen takia. Huurtumisongelman esiintymistä ei erikseen testattu, mutta lähtökohtaisesti kylmässä ilmassa ilmastoinnin/lämmityksen käyttämättömyys, ainakin pidemmällä matkalla, saa aikaan sen, että huurtumista alkaa esiintymään samalla tavoin kuin tavallisella autollakin ajettaessa.

Ennen ajoa tehtävän latauksen kanssa yhtäaikaan suoritettava auton esilämmitys, joka sisältää myös akuston lämmityksen, vaikuttaa kuitenkin pienentävästi akuston virran kulutukseen ajon aikana, varsinkin sen alussa. Ilmastoinnin asetustämmön laskulla on myös pienentävä vaikutus energian kulutukseen ajon aikana.

Testien tulosten perusteella ei voi suoraan määrittellä sitä, miten pitkiä matkoja jonkin tietyn ulkolämpötilan vallitessa voi sähköautolla ajaa. Ajosäteeeseen kun vaikuttavat myös muut tekijä kuin vain vallitseva ulkolämpötila (esilämmityksen käyttö, sisätilan lämmitys (ilmastoinnin käyttö) ja mihin lämpötilaan se säädetään, muiden laitteiden käyttö ajon aikana).

Muut olosuhteet (lumisade, tienpinnan laatu – lumen/jäinen/kuiva asfaltti) eivät merkittävästi muuta sähköauton käytettävyyttä olipa lämpötila samalla millainen vain.

Tässä on huomattava hybridi-auton etu täyssähköautoon verrattuna. Eli hybridissä bensiinimoottori alkaa ajon aikana antamaan lisäenergiaa sitä herkemmin mitä kylmempi ilma on. Toisin sanoen sen käynnistymiskertojen määrä lisääntyy.



## 5 Sähkönkulutus

Energiankulutuksesta voi huomioda, että talviajossa kulutus on keskimäärin suurempaa kuin kesäajossa. Paitsi ajon aikana kuluvaan energiaan, myös lataamisen aikana otetun energian määrä kasvaa, kun olosuhteet ovat talviset. Tässä kohtaa huomataan talvioloissakin eroavaisuutta: kun mennään alle  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n lämpötiloihin kulutuksessa tapahtuu selkeä kasvu. Tämä huomio tuli ilmi sekä täyssähköauton että hybridin kohdalla. Hybridissä tällöin tulee bensiinimoottori enemmän apuun ja lisää merkittävästi ajosädettä.

Nissan Leafissä testiajojen aikana käytössä ollut sisätilan lämmityslaitte vei sähköä 0,8 – 5 kWh. Kulutuksen suuruus on riippuvainen monesta tekijästä: auton esilämmitys, ajon aikaisen lämmityksen taso, ulkolämpötila. Ulkolämpötilaan ei voi vaikuttaa, mutta muihin tekijöihin voi ja niillä saadaan kulutusta pienennettyä merkittävästi.

## 6 Kustannustietoa sähköautoilusta eri olosuhteissa

Tässä selvitetään kustannuksia, jotka aiheutuvat energian kulutuksen perusteella, kun tiedetään keskimääräinen kulutus ajettuja kilometrejä kohden (kWh/km) ja energian hinta (€/kWh). Luvut on saatu Nissan Leafin testeistä kerätyn tilastotiedon perusteella.

### Talvikuukaudet 2012-2013 (joulu-, tammi- ja helmikuu)

Keskilämpötila oli näinä kuukausina  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n alapuolella. Energiatohokkuus eli kulutus ajokilometriä kohti oli 0,25 kWh/km tai korkeampi. Käytetyn kokonaisenergian hinta, käyttäen hintana 0,13 €/kWh, vaihteli sataa kilometriä kohti laskettuna 3,23 – 5,06 €:n välillä.

### Muut kuukaudet 2012 (kesäkuu - marraskuu) ja 2013 (maalis- ja huhtikuu)

Keskilämpötila oli näinä kuukausina nollassa tai sen yläpuolella, paitsi maaliskuussa 2013, jolloin se oli  $-10,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Energiatohokkuuden vaihdella välillä 0,15-0,23 kWh/km, käytetyn kokonaisenergian hinta sataa kilometriä kohden vaihteli välillä 1,93 - 3,04 €.

## 7 Talvi- / kesäajon eroja

Saadun tutkimustiedon ja muun palautteen pohjalta talvi- ja kesäautoilun erot eivät silti ole kovin suuret verrattuna tavallisiin autoihin. Ainoastaan ajomatkojen radikaali





lyheneminen on sellainen merkittävä ero, joka myös aiheuttaa suurimmat esteet sähköautojen käytettävyydelle talven pakkasissa. Muut ajo-ominaisuudet ovat samansuuntaiset kesä- ja talviautoilussa sähköautoilla.

## 8 Suosituksia taloudelliseen ajoon

Taloudellisen ajon peruslähtökohta on samanlainen kuin normaaleilla autoillakin. Ennakoiva ajo, rauhallisuus ja suunnitelmallisuus takaavat myös sähköautoilussa taloudellisia ajokilometrejä.

Talvioloissa ennen ajoa tehtävä esilämmitys ja ajon aikainen sisälämmön säätäminen normaalia alemmaksi, mutta kuitenkin ajoturvalliselle tasolle auttavat laskemaan energian kulutusta.

## 9 Ajokokemuspalautteita

Ajokokemuspalautteet sekä asiakkailta että testaajiltamme ovat olleet samansuuntaisia. Sähköautolla ajaminen on koettu pääosin positiiviseksi kokemukseksi. Ajamisen helppoutta on kiitetty. Melutasoa auton sisällä on pidetty alhaisempana kuin tavallisessa autossa varsinkin kaupunkiajossa hitaammissa nopeuksissa. Maantieajossa rengasmelun kuuluminen auton sisälle on samansuuntainen tavalliseen autoon verrattuna. Hallittavuus on tuntunut hyvä tai jopa erittäinkin hyvältä.

Negatiivisimpana asiana tuli esiin toimintasäteen riittävyys pidemmässä ajossa.

## 10 Johtopäätöksiä sähköauton talvikäytettävyydestä

Kuten jo tehty huomioidut kesä-/talviautoilun eroista sähköautoilla antavat ymmärtää, ei sähköauton käyttö talvioloissa ole mitenkään vaikeaa tai ylipääsemätöntä. Talvioloissa sähköauton käyttöä pitää suunnitella hieman enemmän ja ottaa paremmin huomioon olosuhteet ja sähköauton kohdalla "tankkausmahdollisuudet". Kuitenkin sähköauton talvikäytettävyys muuten on samalla tasolla kuin tavallisen auton käytettävyys. Ja kaupunkioiloissa sähköauton käyttäminen on ketterämpää talvellakin kiihtyvyyden ja ajamisen helppouden takia.

## 11 Toimenpide-ehtotuksia

Tähän raporttiin huomioitujen sähköautojen testit antoivat jo hyvän kuvan siitä, millä tavalla talviolosuhteet vaikuttavat sähköauton käyttöön ja kapasiteettiin. Lyhyillä



matkoilla, kaupunkioissa ajaminen ei ole ongelmallista, jos ajatellaan akuston energian riittävyyttä. Toki talvioloissa tarvitaan myös kaupungissa ajaessa välilataamista, kun ajokilometrejä kertyy enemmän.

Jatkotoimenpiteitä ja -testejä voisi ajatella esim. perustestit tarkoilla määritteillä, jotka on helppo toistaa. Näin saataisiin testisarja, jota voi käyttää myöhemmin, kun esim. akkutekniikan kehittyminen tuo uusia akkuja käyttöön. Eräs mielenkiintoinen tutkimuskohde voisi olla se seikka miksi sähköauton kulutuksessa tulee selkeä muutos, kun ulkolämpötila putoaa alle  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  -asteen. Myöskin pitäisi jatkossa olla käytössä oikea latausasema, kun tehdään ajotestejä enemmän.

Esilämmityksen käytön vaikutuksia ajosäteeseen olisi hyvä testata lisää, sillä eräessä testissä kovalla pakkasella kävi niin, että esilämmitystä käytettäessä ajosäde oli yllättäen pienempi kuin ilman esilämmitystä.



## Lähteet

Heikkilä Joni. Huhtikuu 2013. WintEVE – Sähköauton talvitestit. *Testiraportti WintEVE – projektille, sähköinen dokumentti.*

Nevalainen Pekka. Huhtikuu 2013. Sähköauto talviolosuhteissa ja osana älykästä sähköverkkoa, *Opinnäytetyö, Centria ammattikorkeakoulu.* [Online]. Haettu 3.5.2013.

Nissan Leafin testiajojen tilastotiedot Carwings-järjestelmästä (liite A)



## LIITE A

Kuukausi	Keski- lämpötila	Ajettu matka (km)	Ajopäiviä (vrk)	Keskimmä- räinen ajomatka päivässä (km)	Maximi- ajomatka /päivä (km)	Energia- tehokkuus (kWh/km)	Sähkön kokonais- käyttö (kWh)	Ladattu sähkö (kulutus) (kWh)	Rege- neroidun sähkön- määrä (kWh)	Energian kokonais- käytön hintaa (€)	Kulutetun energian hintaa/100 km (€)	Regene- roidun sähkön hintaa (€)	Regene- roitu sähkön osuus kok.kulutus (%)	Ajo- kustan- nukset (€/kk)	Ajo- kustannuk- set (€/100 km)	Ajo- kustannuk- set (€/1000 km)
Kesäkuu 2012	12,2	875,40	13	67,34	216,40	0,15	130,00	150,40	20,40	16,90	1,93	2,65	15,7	17	1,93	19,31
Heinäkuu 2012	16,4	1452,10	24	60,50	167,60	0,15	219,90	267,40	47,50	28,59	1,97	6,18	21,6	29	1,97	19,69
Elokuu 2012	14,1	1131,00	18	62,83	254,30	0,15	172,90	205,10	32,20	22,48	1,99	4,19	18,6	22	1,99	19,88
Syyskuu 2012	9,2	897,00	18	49,83	122,20	0,19	165,70	196,40	30,70	21,54	2,40	3,99	18,5	22	2,40	24,01
Lokakuu 2012	2,7	169,00	5	33,80	62,40	0,23	39,50	45,60	6,10	5,14	3,04	0,79	15,4	5	3,04	30,41
Marraskuu 2012	0,0	293,80	7	41,97	76,40	0,23	67,20	76,10	8,80	8,74	2,97	1,14	13,1	9	2,97	29,75
Joulukuu 2012	-12,6	198,90	11	18,08	69,40	0,38	77,30	82,50	5,20	10,06	5,06	0,68	6,7	10	5,06	50,58
Tammikuu 2013	-8,0	445,80	9	49,53	100,80	0,25	110,70	118,00	7,30	14,39	3,23	0,95	6,6	14	3,23	32,28
Helmikuu 2013	-5,4	71,30	6	11,88	24,60	0,33	24,10	26,30	2,20	3,13	4,39	0,29	9,1	3	4,39	43,90
Maaliskuu 2013	-10,6	238,80	6	39,80	74,40	0,23	54,20	59,60	5,40	7,05	2,95	0,70	10,0	7	2,95	29,52
Huhtikuu 2013	4,1	633,50	11	57,59	122,20	0,19	133,20	146,70	13,40	15,81	2,50	1,74	10,1	16	2,50	24,96
<b>Yhteensä</b>		<b>6406,6</b>	<b>128,0</b>				<b>1194,7</b>	<b>1374,1</b>	<b>179,2</b>	<b>153,8</b>	<b>32,4</b>	<b>23,30</b>		<b>154</b>		
<b>Keskiarvoja</b>											<b>6,49</b>					

