

SÄHKÖAUTON REAALIAIKAINEN ENERGIANHALLINTA



Centria. Raportteja ja selvityksiä, 2

Ari Lehtiniemi & Sakari Nokela

SÄHKÖAUTON REAALIAIKAINEN ENERGIANHALLINTA

Centria-ammattikorkeakoulu 2015

JULKAISIJA:

Centria-ammattikorkeakoulu
Talonpojankatu 2, 67100 Kokkola

JAKELU:

Centria kirjasto- ja tietopalvelu
kirjasto.kokkola@centria.fi, p. 040 808 5102

Taitto: Centria-ammattikorkeakoulun markkinointi- ja viestintäpalvelut
Kannen kuva: Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH

Centria. Raportteja ja selvityksiä, 2
ISBN 978-952-6602-89-9
ISSN 2342-933X

SISÄLLYS

JOHDANTO	4
1. TAUSTAA	4
2. SÄHKÖAUTON ENERGIANHALLINTA	5
2.1 Simulaatio	5
2.1.1. Simulaatio case 1	6
2.2 Mittaus CAN-väylästä	6
2.2.1. Mittaus CAN-väylästä case 1	7
2.2.2. Mittaus CAN-väylästä case 2	9
2.2.3. Valmiit sovellukset	10
2.3 Suora mittaus	10
2.3.1. Suora mittaus case 1	11
2.3.2. Suora mittaus case 2	12
2.3.3. Kaupalliset ratkaisut	14
3. Suoritetut testit ja tulokset	15
3.1 CAN-väylästä luku	15
3.2 Valmiin sovelluksen käyttö	15
3.2.1. Huomioita OBD-lukijoista	16
4. JOHTOPÄÄTÖKSET JA EHDOTETUT TOIMENPITEET	17

Lähteet

JOHDANTO

Tässä teknologiakartoituksessa luodaan katsaus sähköautojen reaaliaikaisiin energianhallintajärjestelmiin ja perehdytään eri tapoihin toteuttaa sähköauton kulutusmittaus. Tavoitteena on kartoittaa olemassa olevat tutkimukset ja selvittää erilaisten vaihtoehtojen perusteella onko jo olemassa jotain varteenotettavaa vaihtoehtoa energianmittauksen toteuttamiseen. Erityisesti kiinnitetään huomiota siihen, miten jo tehdyissä energianhallintajärjestelmissä on paneuduttu lisälaitteiden energiankulutukseen. Lisäksi pyritään löytämään uusia toimintatapoja kyseisen järjestelmän toteuttamiselle. Taustatutkimuksen lisäksi työ pyritään pitämään käytännönläheisenä: suoritetaan käytännön testejä sekä peilataan niiden pohjalta tehtyjä havaintoja muiden tutkimusten tuloksiin. Kartoituksen pohjalta pyritään saamaan hyvä käsitys sähköautojen kulutuksen reaaliaikaisen mittauksen nykytilanteesta.

Järjestelmältä toivotaan tietynlaisia ominaisuuksia: sen tulisi toimia reaaliaikaisesti, kulutus pitäisi pyrkiä erottelemaan lisälaittekohtaisesti sekä saatava tieto tulisi näyttää käyttäjälle havainnollisella tavalla. Olisi myös suureksi eduksi, jos järjestelmästä saataisiin mahdollisimman laitteisto – ja alustariippumaton, jotta sitä voitaisiin hyödyntää useilla eri päätelaitteilla useissa eri sähköautoissa. Lisäksi kartoitetaan Centrian valmiudet energianhallintaratkaisun toteuttamiseen, sekä selvitetään voitaisiinko WintEVE- ja EVGA-hankkeissa jo kehitettyä mittaussysteemiä hyödyntää uuden tai olemassa olevan järjestelmän käytössä.

1. TAUSTAA

Liikenteen turvallisuusvirasto Trafin tilastojen mukaan Suomen sähköautokanta kaksinkertaistui vuoden 2014 aikana. Kansainvälisestikin mitattuna sähköisten ajoneuvojen määrän on ennustettu kasvavan tasaisesti tulevina vuosina. Kuitenkin yhtenä suurimmista esteistä sähköautojen lopulliselle läpilyönnille pidetään käyttösäteen lyhyttä ja siitä johtuvaa epävarmuutta käyttäjälle (ns. "range anxiety"). Akkuteknologian kehitys, energiatehokkaammat autot sekä latauspisteverkoston laajeneminen ovat tekijöitä jotka on selkeästi tunnistettu tämän ongelman ratkaisun avaimiksi. Infrastruktuurin rakentaminen sekä uusien teknologioiden saapuminen tutkimuslaboratoriosta kuluttajan käytettäväksi asti vie aina kuitenkin aikansa.

Pohjoisen kylmät olosuhteet ovat tavallista vaativampia sähköiselle ajoneuvolle kuin perinteiselle polttomoottoriautolle. Talvisissa olosuhteissa korostuu auton turvallisuuden sekä käyttömukavuuden varmistaminen erilaisten lisälaitteiden avulla. Nämä lisälaitteet voivat osaltaan kuluttaa huomattavan määrän energiaa, erityisesti auton ohjaamon lämmittämisen vaikutus käyttösäteeseen on suuri koska sähkömoottorista ei saada talteen hukkalämpöä kuten polttomoottorista. Sisäilma joudutaankin lämmitämään manuaalisesti, useimmissa tapauksissa siis suoraan sähköenergialla. Käytäntö onkin osoittanut, että sähköauton ohjaamon lämmittämiseen käytettävä energia voi jo maltillisellakin pakkasella (n. $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$) lyhentää käyttösädettä jopa puolella [1].

Mukavan käyttökokemuksen kannalta on ilmeisten mukavuustekijöiden kuten lämpötilan lisäksi tärkeää, että ajoneuvosta on saatavilla tarpeeksi tietoa sen eri toiminnoista sekä matkan etenemisestä. Kuljettajalla on oltava muun muassa käsitys siitä, kuinka

pitkälle jäljellä olevalla polttoaineella – tai täyssähköauton tapauksessa latauksella – vielä pääsee. Epävarmuus matkanteon jatkumisesta on stressaavaa, ja käyttöasteen lyhyys sekä siitä johtuva epävarmuus ovatkin suurimpia kuluttajia epäilyttäviä asioita sähköauton hankintaa harkittaessa.

Yleisesti ottaen autoissa on kohtuullisen hyvin näytetty arvio kokonaiskulutuksesta sekä jäljellä olevasta kilometrimäärästä. Sähköautojen tapauksessa статистиikkaa saattaa olla tarkemmin, esimerkiksi arvio jäljellä olevista kilometreistä sekä moottorin, ilmastoinnin ja muiden lisälaitteiden arvioidut kulutustiedot kilowattitunteina. Tarkempien energiatietojen näyttämistä havainnollisesti voisi kuitenkin useimmissa tapauksissa olla hyötyä. Reaaliaikainen, lisälaittekohtaisesti eroteltu kulutusseuranta auttaisi kertomaan käyttäjälle mitkä laitteet kuluttavat ja paljonko mikäkin vaikuttaa käyttöasteeseen. Parempi tietoisuus kulutuksesta sekä auttaisi lieventämään epävarmuutta että kannustaisi taloudellisempaan ajoon. Tällaisesta järjestelmästä hyötyjiin kuuluisivat sekä nykyisten että tulevien sähköautojen kuljettajien lisäksi ammattilaiset, jotka työskentelevät sähköautojen tai niihin liittyvien järjestelmien testaamisen ja kehittämisen parissa.

On siis selvää, että helppokäyttöiselle, reaaliaikaiselle energianhallintajärjestelmälle olisi käyttöä. Tämän kartoituksen tarkoitus onkin selvittää erilaisia tapoja järjestää sähköauton kulutuksen mittaus sekä tämän käytännön toteutus mahdollisimman helposti ja kevyesti.

2. SÄHKÖAUTON ENERGIANHALLINTA

Aihepiiri kokonaisuutena on suhteellisen hyvin tutkittu - sähköautojen kulutuksen mittaukseen, analysointiin ja arvioimiseen liittyen löytyy suuri määrä erilaisia tutkimuspereita ja julkaisuja. Vuosien 2000 ja 2014 välillä julkaistiin erään koontitutkimuksen mukaan 212 tieteellistä julkaisua pelkästään sähköauton eri parametrien arviointiin ja ennustamiseen liittyen [2].

Kulutuksen mittauksen kannalta hahmottuu kolme toisistaan erilaista lähestymistapaa: datan simulointi, mittaus auton CAN-väylästä saatavien tietojen perusteella, sekä mittaus suoraan auton akustosta tai virransyötöstä.

2.1 Simulaatio

Yllättävänkin useassa tapauksessa sähköauton kulutusmittaukset- ja testit on suoritettu simulaatiotesteinä. Mallintamalla järjestelmän eri komponentit on testaaminen voitu suorittaa ohjelmallisesti, oikean maailman tilanteita simuloiden. Tämän lähestymistavan etuna on kustannustehokkuus – tulosten saamiseksi ei ole tarvinnut välttämättä ollenkaan hankkia fyysistä laitteistoa kuten autoa eikä mittausvälineitä. Konkreettisesti oikealla autolla testaaminen on lisäksi suhteellisen työlästä, jos ajettavana on esimerkiksi useita eri testausyklejä tai -kokonaisuuksia. Toisaalta, simuloidun testin tulokset riippuvat hyvin pitkälti luotujen mallien tarkkuudesta. Lisäksi fyysiset reunaehdot kuten käytettävyys, laitteiston asennusmahdollisuudet sekä käytännön mittaustoimenpiteet jäävät simulaatiomalleissa yleensä täysin huomiotta. Simuloidun datan avulla suoritettavat testit vaikuttavat keskittyvän pääasiassa sähköauton kokonaiskulutuksen arviointiin.

Simulointi ei siis ymmärrettävistä syistä sovellu sellaisenaan reaaliaikaiseen kulutuksen mittaukseen. Toisaalta, hyvät simulaatiot perustuvat tarkkaan laskettuihin malleihin ja parametreihin ja ne voivat täydentää ns. "oikeaa" mittausta, joten esimerkiksi sähköauton akun suorituskyvyn malli lämpötilan suhteen voisi olla hyvinkin hyödyllinen apuväline reaaliaikaisen energianhallintajärjestelmän tarpeisiin.

2.1.1 Simulaatio case 1

Ranskalaisen IFPEN:n tutkimuspaperi perehtyy geneerisen sähköauton kulutukseen vaikuttaviin tekijöihin simulaatiomallien sekä sähköautojen moottoreita varten tehdyn testipenkin avulla. Tutkittuja asioita olivat mm. ajo-olosuhteiden, ajotyylin sekä lisälaitteiden käytön vaikutusta sähköauton kokonaiskulutukseen. Lisäksi tutkimuksessa perehdyttiin energiaa talteen ottavan jarrutusjärjestelmän merkitykseen kokonaiskulutuksen kannalta. Tuloksia on lisäksi verrattu IFPEN:n ja ADEME:n yhteistyössä tekemän aiemman CONSOVEX-hankkeen tekemiin käytännön testeihin sähköauton kulutukseen liittyen, jonka avulla auton kulutuksesta muodostettu malli todettiin kohtuullisen tarkaksi [3].

Tämän teknologiakartoituksen osalta kyseisen tutkimuksen mielenkiintoisin osa on luonnollisesti lisälaitteiden kulutusseuranta. Lisälaitteiden vaatima teho on mallinnettu melko pelkistetyksi kolmena kiinteänä vaihtoehtona: 250, 500 ja 1000 wattia. Lisälaitteiden kulutuksen todetaan olevan 15 – 40 % kokonaiskulutuksesta, jos auton nopeus on keskimäärin 20 km/h. Ikävä kyllä tutkimus keskittyy lähinnä kokonaiskulutukseen ja simulaatiomallin tarkkuuden arviointiin joten lisälaittekohtainen kulutus jätetään suhteellisen pienelle huomiolle [3].

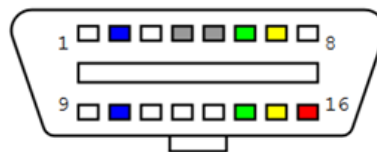
2.2 Mittaus CAN-väylästä

Nykystandardien mukaisesti myös sähköautoissa on mahdollista käyttää useita erilaisia viestintäkeinoja laitteiden välillä. Erilaisia standardeja, rajapintoja ja protokollia on lukuisia, mutta näistä selkeästi tärkeimmät tässä asiayhteydessä ovat CAN sekä OBD-II.

CAN-väylä (Controller Area Network) on viestipohjainen standardi, jota käytetään laajalti mahdollistamaan laitteiden kommunikointi keskenään ilman isäntälaitetta. Väylässä liikkuvat viestit lähetetään kaikille siihen yhdistetyille laitteille, ja vastaanottava laite päättää kuuluuko viesti sille. Moderneissa autoissa on lukuisia erilaisia laitteita, jotka käyttävät CAN-väylää tiedonsiirtoon laitteiden välillä. CAN-väylää käytetään sen monikäyttöisyyden johdosta ajoneuvojen lisäksi myös teollisuuden koneissa.

OBD-II (On-Board Diagnostic, versio 2) on ajoneuvojen itsediagnostiikan ja raportoinnin standardi, joka käsittää määrittelyt sekä fyysisistä liitännöistä että käytettävistä protokollista. Käytettävä laitteistorajapinta on 16-pinninen J1962-naarasliityntä, jonka määrittelyssä osa pinneistä on ajoneuvovalmistajan päätettävissä, mahdollistaen valmistajakohtaisen kustomoinnin (Kuva 1). Yleensä puhuttaessa OBD-mittauksesta, viitataan juurikin CAN-väylästä saatavien tietojen lukemiseen OBD-lukijalla [4].

Pinni nro	Selite	Pinni nro	Selite
1	Ajoneuvovalmistajan päätettävissä	9	Ajoneuvovalmistajan päätettävissä
2	SAE J1850 Väylän positiivinen linja (PWM ja VPW)	10	SAE J1850 Väylän negatiivinen linja (vain PWM, ei SAE J1850 VPW)
3	Ajoneuvovalmistajan päätettävissä	11	Ajoneuvovalmistajan päätettävissä
4	Runko maadoitus	12	Ajoneuvovalmistajan päätettävissä
5	Signaalin maadoitus	13	Ajoneuvovalmistajan päätettävissä
6	CAN- <u>High</u> (ISO15765-4 ja SAE 12284)	14	CAN- <u>Low</u> (ISO15765-4 ja SAE J2284)
7	K- Linja (ISO9141-2 ja 14230-4)	15	L- Linja (ISO9141-2 ja ISO14230-4)
8	Ajoneuvovalmistajan päätettävissä	16	Akun jännite

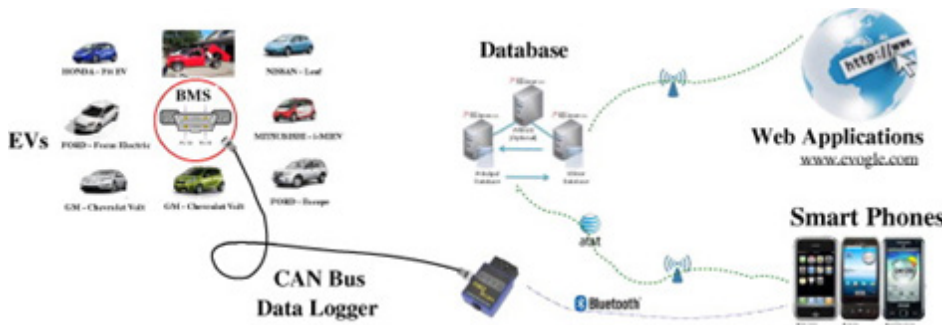


Kuva 1. SAE-J1962:n mukainen pinnijärjestys. Lähde: Mukaillen Wikipedia - On-board diagnostics

2.2.1 Mittaus CAN-väylästä case 1

Beihangin yliopistossa Kiinassa vuonna 2014 tehtyä tutkimusta varten rakennettuun konversiosähköautoon asennettiin datankeruujärjestelmä ja dataa kerättiin 5 kuukauden ajan. Konversioautona toimi vuoden 1987 Nissan D21 lava-auto, johon oli asennettu 50 hp ja 120V vaihtovirtamoottori. Akusto oli toteutettu useasta solusta, kokonaiskapasiteetiltaan 180 Ah akusto toimi 115V jännitteellä ja akustonvalvontajärjestelmän virkaa toimitti Elithion-merkkinen BMS-ratkaisu [5].

Autosta oli kerätty ajon aikana kulutukseen ja ajamiseen liittyviä tietoja, tärkeimpinä: akun varaus (state of charge eli SOC), virta, jännite ja aikaleima. Akustonvalvontajärjestelmästä tiedot luettiin CAN-väylään liitetyllä OBD2-lukijalla joka lähetti datan edelleen Bluetoothin välityksellä älypuhelimelle. Sijaintitieto saatiin myös älypuhelimien GPS-ominaisuutta hyödyntäen, kulutustiedot synkronoitiin täsmäämään sijaintidatan kanssa ja nämä tiedot lähetettiin vielä palvelimelle 3G- tai WiFi-verkon ylitse (Kuva 1).



Kuva 2. Beihangin yliopiston konversiosähköauton mittausjärjestelmän toimintakaavio. Lähde: Wu ym. 2015 [5]

Tutkimuksen tavoitteena olikin ollut rakentaa mittausjärjestelmä konversiosähköauttoon, kerätä sekä analysoida ajon aikana kerättyä kulutusdataa. Tässäkään tutkimuksessa kulutusta ei tosin eroteltu lisälaittekohtaisesti, eikä se oikeastaan suuremmin ottanut kantaa lisälaitteiden kulutukseen muutenkaan. Tutkimuksessa kuitenkin näytetään esimerkinomaisesti yhdenlainen tapa rakentaa mittausjärjestelmä.

Wu yms. esittivät tutkimuksessaan kuitenkin myös pari erittäin mielenkiintoista toissijaista huomiota. Vaikka he onnistuivatkin luomaan tarkasti toimivan mallin sähköauton energiankulutuksesta, sen mainittiin olevan laskennallisesti niin vaativa ja aikaa vievä prosessi, että reaaliaikainen hyödyntäminen on käytännössä mahdotonta. Tutkimuksessa esitettiin siksi tästä mallista johdettua, huomattavasti yksinkertaisempaa mallia jonka avulla voitaisiin reaaliaikaisesti laskea hetkellinen kulutus. Tämä malli vaatisi esisyötettyjen, auton muuttumattomien parametrien lisäksi reaaliaikaisen tiedon vain auton nopeudesta, kiihtyvyydestä sekä tien kaltevuudesta. Tämän yksinkertaistetun mallin todettiin tutkimuksessa kykenevän antamaan suhteellisen hyvän arvion sähköauton hetkellisestä kulutuksesta. Tämä pointti on siksikin merkityksellinen, koska jos raa'an mittausdatan käsittelyyn joudutaan käyttämään kovin monimutkaisia algoritmeja ja siten paljon laskentatehoa, aiheuttaa se järjestelmään viivettä. Tämä vielä korostuu, jos pääasiallisena päätelaitteena käytetään jonkinlaista mobiililaitetta jonka laskentateho jää helposti kovinkin vaatimattomaksi. Reaaliaikaista järjestelmää tavoiteltaessa pitäisikin luonnollisesti pyrkiä minimoimaan eri vaiheista aiheutuvien viiveiden määrää.

Toinen mielenkiintoinen huomio liittyi testiajot suorittaneeseen kuljettajaan, joka siis käytti autoa päivittäisiin ajoihinsa 5 kuukauden testijakson ajan. Tutkijoiden näytettyä kuljettajalle tietoa auton kulutuksesta, energiatehokkuudesta sekä reittikohtaisista eroista, kuljettaja muutti ilman ohjeistusta tai opastusta ajoreittejään ja ajotyylään oma-aloitteisesti selkeästi taloudellisempaan suuntaan. Vaikka Wu yms. toteavatkin, että kyseessä on vain yksi kuljettaja eikä ilmiöstä voida siksi vetää tieteellisiä johtopäätöksiä, toimii tämä rohkaisevana esimerkkinä siitä, millainen merkitys tarkemman kulutustiedon saamisella voi olla kuljettajan ajotottumuksiin ja siten suoraan energiankulutukseen [5].

2.2.2 Mittaus CAN-väylästä case 2

Tämän kategorian toinen esimerkkitutkimus, "Experimental Analysis of the Auxiliaries Consumption in the Energy Balance of a Pre-series Plug-in Hybrid-electric Vehicle" on tehty Italiasa, Sapienzan ja Marconin yliopistoissa Roomassa vuonna 2014. Tutkimus perehtyy esituotanto-mallin hybridi-auton kulutukseen vaikuttaviin tekijöihin. Erityisesti tarkasteltiin lisälaitteiden käytön vaikutusta auton kokonaiskulutukseen sekä käyttöäteeseen, vaikka huomionarvoista on kuitenkin se, että tutkimuksessa mitattiin vain ohjaamon ilmastointijärjestelmän vaatima energia. Muiden lisälaitteiden osalta kulutuksen katsottiin olevan niin merkityksetön ilmastointiin verrattuna, että siihen ei kiinnitetty huomiota. Mitattuja suureita olivat esimerkiksi kuljettu matka, nopeus, moottorin kierros-luku sekä akun lataus ja jännite. Tutkimusta varten rakennettu mittausjärjestelmä koostui kannettavasta tietokoneesta, PCAN-USB-liittimestä sekä tutkijoiden tekemästä LabVIEW-ohjelmasta, jonka CAN-väylästä lukema data tallennettiin tietokoneelle tekstimuotoisena. Datankeruujärjestelmän komponentteihin ei kuitenkaan tutkimuksessa perehdytty sen tarkemmin, eli itse järjestelmän osaset jäivät hieman epä-määräisiksi [6].

Ajotestit suoritettiin käytännön ajokokeina kaupunkiolosuhteissa, jotta tulokset antaisivat hyvän kuvan realistisesta ajotilanteesta dynamometrissä testaamisen sijaan. Testejä suoritettiin sekä kesällä että talvella, jotta vuodenajan ja lämpötilan vaikutus lisälaitteiden energiantarpeeseen saatiin kartoitettua.

Hybridi-auton tapauksessa pelkän sähkön osuuden päättely auton kokonaisenergiantarpeesta on monimutkaisempaa, varsinkin jos otetaan huomioon ohjaamon lämmittäminen. Tämän tutkimuksen autolla oli mahdollista ajaa pelkkää sähkömoottoria hyödyntäen noin 20 kilometrin matkan verran. Polttomoottoria hyödynnettiin vasta joko akuston ehtyessä tai jos autolla ajettiin yli 85 km/h. Jommankumman ehdon täytyessä polttomoottori siis käynnistyy ja sen tuottamaa hukkalämpöä voidaan hyödyntää osaltaan ohjaamon lämmittämiseen. Tutkimuksessa esitettiin kuitenkin muiden kulutuslukemien pohjalta lasketut lukemat pelkällä sähköenergialla saavutettavalle ajomatalle ilmastoinnin eri käyttötavoilla (Kuva 3).

Distance practicable in electric mode [km]	
Without AUX	19,91
With AUX Heating	16,73
With AUX Cooling	14,12

Kuva 3. Ilmastoinnin käytön vaikutus EV-moodissa saavutettavaan ajomatkan pituuteen.

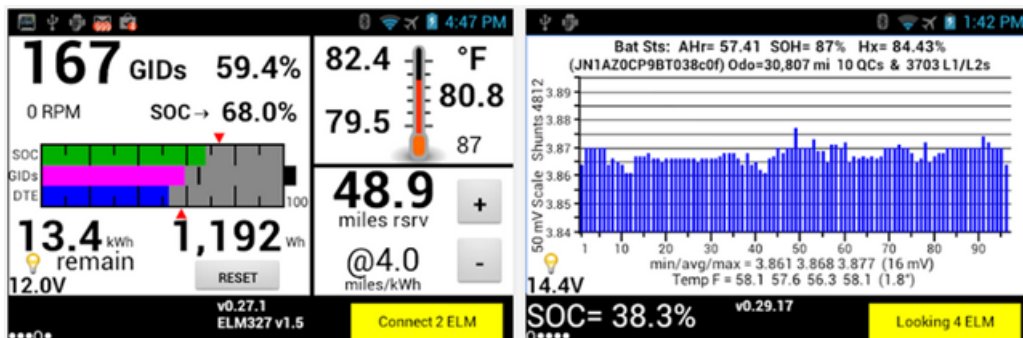
Lähde: Santiangeli ym. 2014 [6].

Kuten mainittua, hybridi-auton tapauksessa ilmastoinnin energiantarve saattaa olla pienempi, ja polttomoottorin käyttö vaikeuttaa kokonaiskulutuksen arviointia. Erilaisten sähköautotyyppien väliset erot tulisikin siis ottaa huomioon energianhallintajärjestelmää suunniteltaessa: varsinkin hybridien ja täyssähköautojen välillä voi olla suuriakin eroja siinä, miten sähkökulutusta voidaan tarkasti seurata.

2.2.3 Valmiit sovellukset

OBD-liitännän "harrastelijakäyttö" auton diagnostiikkaan ja muihin tarkoituksiin on nykyään yleistynyt kovasti. Esimerkiksi Googlen Android-käyttöjärjestelmän sovelluskaupassa Google Play:ssa tehty haku termillä "OBD2" palauttaa yli 200 tulosta [7]. Käytännössä kaikille suurimmille mobiilikäyttöjärjestelmille on suuri valikoima erilaisia sovelluksia, jotka osaavat kommunikoida auton järjestelmien kanssa OBD-liitännän kautta. Tällaisilla generisillä sovelluksilla ei kuitenkaan yleensä saada ilman muutoksia kulutuksen mittauksen kannalta hyödyllisiä tietoja ulos ja niiden avulla saatavat tiedot voivatkin riippua useasta tekijästä, kuten auton valmistajasta ja mallista, käytetystä laitteistosta sekä käytetystä sovelluksesta.

Saatavilla on myös joitakin erikoistuneempia sovelluksia, jotka on voitu tehdä toimimaan vaikkapa tietyn autovalmistajan tai automallin kanssa. Esimerkiksi Androidille saatava, kolmannen osapuolen tekemä sovellus Leaf Spy toimii nimensä mukaisesti Nissan Leafin kanssa. Kyseinen sovellus osaakin kertoa huomattavasti yksityiskohtaisempia tietoja autosta kuin mitä auton omat laitteistot oletuksena näyttävät (Kuva 3). Ominaisuudet ovat luonnollisesti sovelluskoh- taisia, joten esimerkiksi mittausdatan tallentaminen lokitiedostoon tai tietokantaan saattaa kuulua sovelluksen tuettuihin ominaisuuksiin.

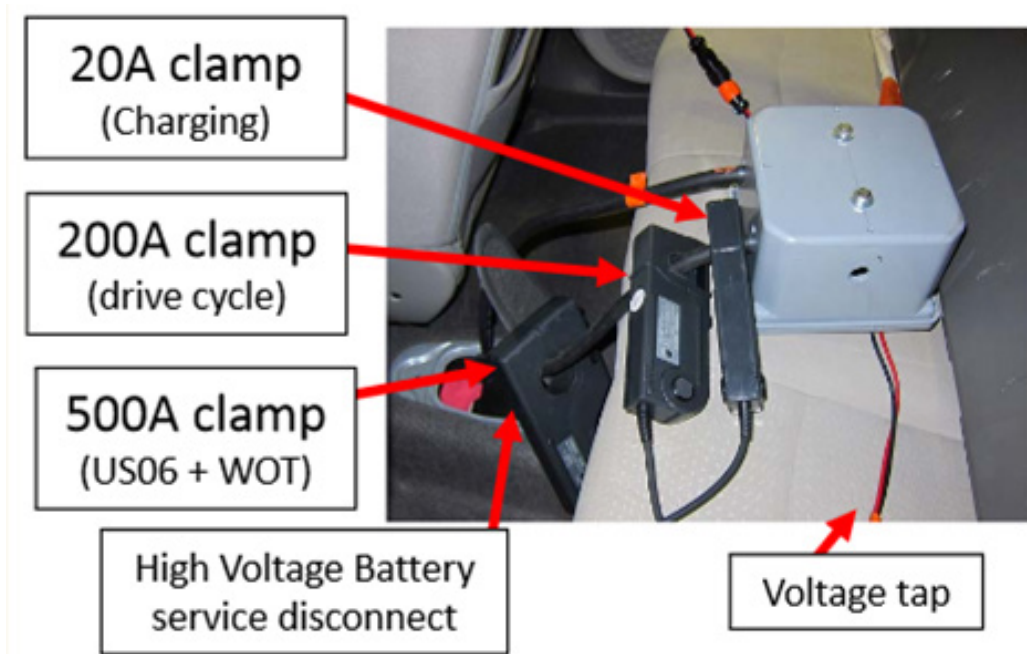


Kuva 4. Leaf Spy-sovellus Androidille. Lähde: Google Play [7].

Tällaisten sovellusten ilmeinen haittapuoli onkin niiden sidonnaisuus tiettyyn automerkkiin tai malliin. Vaikka valmiin sovelluksen käyttö olisi potentiaalisesti hyvin helposti lähestyttävä tapa saada autosta reaaliaikaista kulutusdataa, taistelee niiden luonne laitteistoriippumattomuuden tavoittelua vastaan.

2.3 Suora mittaus

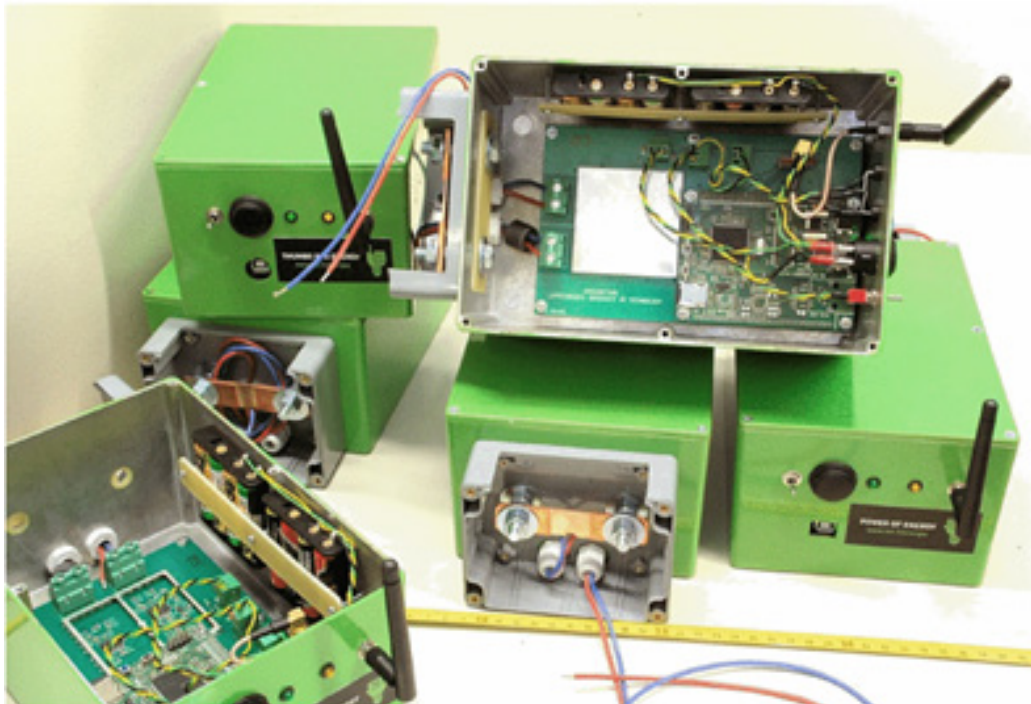
Kolmas, ja ehkä perinteisin tapa mitata järjestelmän virtaa ja jännitettä olisi kytkeä mittauslaitteisto suoraan auton virransyöttöön. Muissa tutkimuksissa tyypillisiä tapoja olivat pihtivirtamittarin tai shunttivastuksen käyttö mittaamiseen; shunttivastuksella oli yleensä saavutettu tarkempia tuloksia, mutta joissakin tilanteissa pihtimittarityyppinen ratkaisu voi olla huomattavasti käytännöllisempi toteuttaa, kuten kuvan 4 tapauksessa. Pihtivirtamittarin tapaista "ulkoista" anturia käytettäessä ei tarvitsekaan katkaista suurjännitejohtoja, jolloin asennuksesta saadaan luonteeltaan kevyempi ja turvallisempi, vaikka tarkkuus hieman kärsisikin.



Kuva 5. Esimerkki pihtivirtamittareiden käytöstä mittausslaitteiston antureina Nissan Leafissa. Lähde: Duoba ym. 2012 [1].

2.3.1 Suora mittaus case 1

Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa 2012 tehty tutkimus kuvaa puolestaan leikkimielistä kilpailua (Lappeenranta GP) varten rakennettua mittaussjärjestelmää ja sen toimintaa. Koska kilpailussa oli mukana toisistaan suuresti eroavia kulkuvälineitä, piti laitteen olla helppokäyttöinen, suhteellisen pienikokoinen ja hyvin monenlaisiin käyttökohteisiin soveltuva. Tutkijat päätyivät rakentamaan itse oman mittausslaiteratkaisunsa ja tuloksena oli kompakti kokonaisuus, kuten kuvasta 5 näkyy. Laitteiston tarkoituksena oli mitata eri kilpailijoiden kulkuneuvojen energiankulutusta [8].



Kuva 6. Lappeenranta GP-kilpailua varten tehdyt mittausslaitteet. Lähde: Talvitie ym. 2013 [8].

Toiminnaltaan tämäkin ratkaisu on aika yksinkertainen: järjestelmä mittasi jännitteen ja virran, ja saadut lukemat ajettiin suodatinten ja tarvittaessa signaalinvaimenninten kautta AD-muunnajalle. Saadusta digitaalisesta datasta voitiin laskea käytetty teho mikrokontrollerin avulla, ja data voitiin tallentaa laitteen SD-kortille tai siirtää radioteitse tai USB-kaapelin kautta tietokoneelle. Laitteiston puolella tutkijat päätyivät käyttämään shunttivastusta sähkövirran mittaamiseen, koska heidän tarkoituksiinsa Hall-sensorin virhemarginaali oli liian korkea.

Tutkijoiden rakentama laitteisto toimi hyvin ja he saivat mitattua energiankulutuksen vain 0.6 % heitolla verrattuna laskemalla saatuun arvoon. Talvitie ym. mainitsevat, että parannettavaakin kuitenkin jäi. 16-bittinen AD-muunnin muodostui yhdenlaiseksi pullonkaulaksi ja parempaa muunninta käyttämällä olisi päästy tarkempiin tuloksiin [8].

Tässä tutkimuksessa testatuista ajoneuvoista ei yksikään ollut kaupallinen sähköauto, vaan kilpailuun osaa ottaneista osa oli joko kaksi- tai kolmipyöräisiä, itse rakennettuja sähköllä liikuvia kulkupelejä tapahtuman luonteesta johtuen. Mukana oli myös yksi henkilöautosta rakennettu konversiosähköauto, joten yhden ja saman testauslaitteiston piti kyetä mittaamaan virtaa ja jännitettä melkoisen suurella vaihteluvälillä. Vaikka näin suuri eroavaisuus testattavien ajoneuvojen välillä ei välttämättä olekaan ihan arkipäiväinen kuvaus kulutustestaamisesta, toimii tämä hyvänä esimerkkinä siitä millaisia haasteita voidaan kohdata skaalautuvaa mittausjärjestelmää suunniteltaessa ja toteutettaessa.

2.3.2 Suora mittaus case 2

Argonne National Laboratoryn usean tutkimuksen koontipresentaatio osoittautui yhdeksi niistä valitettavan harvoista lähteistä, jossa oli testattu tarkemmin myös lisälaittekohtaista

kulutusta. Tutkijat olivat testanneet kahta Nissan Leafia dynametrin avulla ja käyneet läpi melkoisen kattavan määrän testejä. Testattuja asioita olivat muun muassa koko auton yleinen kulutus, akun suorituskyky sekä lisälaitteiden kulutus eri lämpötiloissa [1].

Meidän kannaltamme erityisen mielenkiintoista tässä tutkimuksessa on mittauksen käytännön toteutus sekä tulokset, erityisesti lisälaitteiden osalta. Testausympäristönä toimi siis laboratorio, jonka lämpötilaa säätämällä tutkijat pystyivät testaamaan lämpötilan vaihteluiden vaikutusta auton kulutukseen. Testit suoritettiin dynamometrillä oikeiden ajotestien sijaan, mutta sen käyttö ei ole merkityksellistä tässä tapauksessa. Tutkijoiden mukaan auton anturointi jätettiin suhteellisen kevyeksi ja väliaikaiseksi myöhempiä testejä silmälläpitäen, kappaleessa 3.3 näkyvän kuvan 4 mukaisesti. Jännitteen ja virran lukemiseen käytetyt anturit (20A, 200A sekä 500A pihtivirtamittarit sekä jännitteelle oma anturi) oli kytketty tehomittariin. Näiden suorien mittausten tueksi luettiin CAN-väylästä auton itse ilmoittamat tiedot kaasupolkimen asennosta, moottorin nopeudesta sekä akun virrasta ja jännitteestä [1].

Lisälaitekohtaisesti erotellut kulutustiedot löytyvät kuvasta 7.

Action	Net Power [W]	
Vehicle ON	280	
The power numbers below this row are in addition to the base 280W load		
Brakes	10	
Further detail on climate control power consumption is provided later		
	Peak	Settled
AC ON max cool auto	2000	1800
	Pulse min	Pulse max
Heater Cabin warm up	4000	6000
Maintaining cabin temperature	2000	4000
	Pulse min	Pulse max
Front window defroster* (pulsing)	1420	3420
		Tested at 20F
Rear window defroster	200	
	Peak	Settled
Panic brake	457	70
Running lights	10	
Full lights	60	
Full bright	190	

Kuva 7. Argonne National Laboratoryn mitaamat arvot Nissan Leafin lisälaitteiden kulutukselle. Lähde: Lohse-Busch ym. 2012 [1].

Kuten kuvasta 7 näkyy, on ilmastoinnin ja ohjaamon lämmittämisen osuus lisälaitteiden kulutuksesta selkeästi suurin, seuraavaksi eniten kuluttaa ilmastoinnin käyttäminen ohjaamon viilentämiseen. Muista lisälaitteista oikeastaan vain tuulilasin lämmittäminen kuluttaa mainitsemisen arvoisesti energiaa. Ajovalojen, takalasin lämmittimen sekä muiden laitteiden vaatima teho jää sen verran pieneksi, että ne voitaneen useimmissa tapauksissa joko jättää periaatteessa huomiotta, tai niiden keskiarvoinen kulutus voitaisiin esimerkiksi laskea mukaan jonkinlaisena kertoimena.

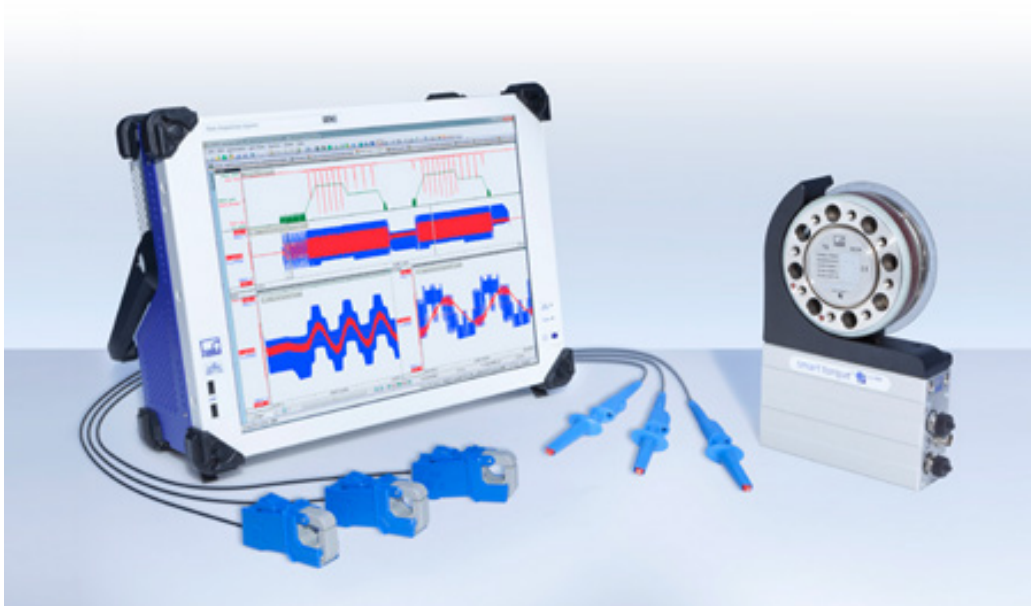
Tutkimuksesta ei kuitenkaan selviä, kuinka lisälaitteiden kulutus saatiin käytännössä mitattua – niiden (ainakin hyvin suuntaa antavien arvojen) mittaaminen onnistuisi kuitenkin helposti kokonaiskulutusta seuraamalla. Ensinnäkin selvitetään auton peruskulutus, jonka auto kuluttaa vain

pelkästään päälle laitettaessa. Sitten yksi kerrallaan kytketään lisälaitteita päälle, mitataan kokonaiskulutus ja vähennetään tästä lukemasta peruskulutus. Näin saadaan eristettyä kulutus lisälaittekohtaisesti, ja jotain tämän tyylistä tekniikkaa hyvin luultavasti olivat tutkijat hyödyntäneet tässäkin tapauksessa. Toisaalta, pelkästään kokonaiskulutusta seuraamalla ei saada varmuutta siitä, mikä lisälaitte on milloinkin päällä.

2.3.2 Kaupalliset ratkaisut

Juuri tämän kartoituksen kriteerit täyttävää, valmista kaupallista ratkaisua ei yksinkertaisesti tunnu vielä olevan olemassa. Kuitenkin joitakin erittäin lupaava oloisia ratkaisuja, jotka on suunniteltu erityisesti sähköautojen testausta ja mittausta varten, on saatavilla. Tällaisten valmiiden laite – ja ohjelmistoratkaisujen hyödyntäminen sellaisenaan tai osana omaa kokonaisuutta voisi olla yksi lähestymistapa. Mittauslaitteistoja on markkinoilla lukuisia, joten ei ole tarkoituksenmukaista pyrkiä keräämään tähän kattavaa listausta niistä, mutta alempana on kuitenkin jokunen esimerkki mielenkiintoisen näköisistä ratkaisuista.

Esimerkiksi saksalaisen HBM:n eDrive Testing on sähköisten moottoreiden ja niiden järjestelmien mittaamiseen erikoistunut kokonaisuus. EDrive koostuu kuvassa 8 näkyvästä GEN3i-datankerulaiteistosta, joka on käytännössä erikoisvalmisteinen PC-tietokone kosketusnäytöllä ja antureille varatuilla liitännöillä, sekä ohjelmistosta, jota käytetään mitatun datan näyttämiseen ja analysointiin [9].



Kuva 8. HBM:n eDrive-kokonaisuuteen kuuluva GEN3i-datankerulaite. Lähde: Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH [9].

Toinen saksalainen yritys Dewetron tarjoaa myös samantyyllistä laiteratkaisua. Dewetron DE-WE-510-E-Mobile-1000 – laitteistoa mainostetaan nimenomaan sähköautojen mittaukseen tarkoitetuksi, ja siihen voidaan kytkeä sekä ulkoisia antureita että CAN-väylän lukijoita yhtäai-

kaisen datankeruun mahdollistamiseksi [10].

Jokin tämän tyyppinen vaihtoehto olisi vielä jotenkuten mobiili ratkaisu. Sekä HBM:n että Dewetronin mainitut laitteet ovat kooltaan suurehkon salkun luokkaa. Pelkkä CAN-lukija sekä mobiililaitte olisi tietysti huomattavasti kompaktimpi kokonaisuus, mutta pelkästään CAN-väylästä saatava tieto on huomattavasti rajoitetumpaa kuin mitä voitaisiin saada erillisellä mittauslaitteistolla.

On olemassa myös joitain esimerkkejä erikseen myytävästä dedikoidusta pienestä mittalaitteesta sekä sen kanssa käytettävästä mobiililaitteella käytettävästä ohjelmistosta, kuten EMotorWerksin jo myynnistä poistunut EV Dashboard [11].

3. SUORITETUT TESTIT JA TULOKSET

Tässä kappaleessa on koottuna joitakin käytännön huomioita sähköauton kulutusmittauksesta. Testit on suoritettu pääasiassa Nissan Leaf – täyssähköautolla ja CAN-väylästä lukemiseen on käytetty pääasiallisesti WintEVEN ja EVGAN tarpeisiin tehtyä mittausjärjestelmää, jolla on suoritettu lukuisia testejä.

3.1 CAN-väylästä luku

Hankkeiden aikana kehitetty mittausjärjestelmä toimii Windows 7- tai Windows 8- ympäristöissä, ja sillä onkin suoritettu testejä niin kannettavilla tietokoneilla kuin Windows-tableteillakin. Lisäksi on käytetty testiautona toimineeseen Nissan Leafiin asennettua tietokonetta sekä salkkumallista, kannettavaa mittausyksikköä, joka myös toimii Windows-alustalla. CAN-väylästä saadaan tietoa joko langattoman tai langallisen lukijan avulla tilanteesta ja tarpeesta riippuen, ja mitattua dataa voidaan tarkastella reaaliajassa sekä analysoida myöhemmin erillisellä sovelluksella. Järjestelmää on käytetty esimerkiksi kokonaiskulutuksen seurantaan talviolosuhteissa [12].

Käytännössä mittaukset ovat toimineet hyvin ja kaikilla eri laitteilla, joilla järjestelmää on suunniteltu käytettävän, suoritettujen testien tulokset ovat antaneet onnistunutta mittausdataa. CAN-väylästä saataviin mittauksiin pohjautuen, järjestelmästä ei tällä hetkellä ole saatavilla lisälaittekohtaisesti eroteltua kulutustietoa. Tässä onkin yksi tämän kartoituksen tärkeimmistä kysymyksistä – voitaisiinko tähän olemassa olevaan järjestelmään lisätä tuki tälle, tai voitaisiinko sen pohjalta rakentaa uusi kokonaisuus joka täyttäisi kriteerit.

3.2 Valmiin sovelluksen käyttö

Valmiiden sovellusten käytännöllisyyttä kokeiltiin hankkimalla Android-käyttöjärjestelmälle jo aiemmin mainittu, maksullinen Leaf Spy-sovellus. Valmistajan mukaan sovelluksella on tarkoitus saada tarkempia tietoja Nissan Leafin akun toiminnasta ja kulutuksesta, sekä siinä on jotain pieniä etäkäyttöominaisuuksia. Leaf Spy tukee myös datan tallentamista lokitiedostoon, jolloin tallennettua dataa voidaan jällenpäin tarkastella tietokoneella.

Sovelluksen todettiin ajavan pääasiallinen tehtävänsä kohtuullisen hyvin – testeissä siihen saatiin yhteys langattomalla OBD-lukijalla ja mitatut arvot siirtyivät mobiililaitteen ruudulle pääasiassa ongelmitta lähes reaaliajassa. Akuston tilasta ja toiminnasta sai näkyville hyvin paljon erilaista tietoa, ehkä jopa liikaakin, sillä sovellus tuntui kärsivän yhdenlaisesta informaatioah-

kystä. Karusta, täyteen ahdetusta ja välillä kömpelöstä käyttöliittymästä huolimatta dataa oli saatavilla paljon.

Date/Time	Gids	SOC	AHr	Pack Volts	Pack Amps	12v Bat Amps	12v Bat Volts	RegenWh	BLevel	Motor Pwr(100w)
03/13/2015 14:17:32	215	759414	642355	386.30	3	0.87	35400	-44	99	45
03/13/2015 14:17:44	215	759178	642355	386.40	42127	0.87	35400	-44	99	67
03/13/2015 14:17:54	215	758494	642355	382.66	42149	42309	35400	-44	99	165
03/13/2015 14:18:03	214	757576	642355	383.04	14	0.38	42107	-44	99	55
03/13/2015 14:18:12	214	756268	642355	382.46	38	42309	42107	-44	99	85

Kuva 9. Otanta joistakin Leaf Spy-sovelluksen lokitiedostoon tallentamista arvoista.

Mittausdatan tallennus lokitiedostoon onnistui, mutta toistuvista yrityksistä huolimatta lokiin tallentui mittauksia vain noin kerran 10 sekunnissa (Kuva 8), joka on tarkkaan kulutuksen seurantaan ja arviointiin auttamatta liian harvoin. Sovelluksen tosin luvattiin pystyvän tallentamaan mittauksia noin 1hz näytteenottotaajuudella, mutta luultavasti joko ohjelmiston toimintavirheen tai jonkin laitteistoristiriidan vuoksi tämä jäi saavuttamatta.

Tässä korostuukin valmiin mobiilisovelluksen käytön haittapuolet. Ongelmatilanteen sattuessa vikaa voi olla erittäin hankala paikallistaa, ja vaikka se löytyisikin, ei sen korjaaminen itse ole useimmiten mahdollista. Sovelluksesta saa dataa juuri sen verran ja siinä muodossa, kuin se asettamisessa rajoissa mahdollistaa, eli muokattavuus on yleensä hyvin heikolla tasolla. Leaf Spy:n tapauksessa tulee kuitenkin muistaa, että kyseessä ei ole ammattilaiskäyttöön tarkoitettu työkalu, vaan se on lähinnä autostaan hieman enemmän kiinnostuneelle harrastelijalle suunnattu sekä harrastelijavoimin tehty sovellus, jonka kyllä huomaa toimivuudessa.

3.2.1 Huomioita OBD-lukijoista

Testeissä huomattiin, että OBD-lukijoiden välillä voi olla suuriakin eroja. Joissakin tapauksissa käytetyn lukijan valinta vaikutti siihen, mitä mittauksia järjestelmästä saatiin ulos, vaikka kaikki muut komponentit pysyivät samoina: auto, päätelaitteet, ohjelmiston versiot ja niin edelleen. Testattujen lukijoiden olisi ominaisuuksiensa puolesta pitänyt tukea samoja standardeja ja protokollia, mutta siitä huolimatta havaittavissa oli pieniä eroja saatavien mittausten lukumäärässä.

Lisäksi havaittiin, että käytettävän langattoman standardin valinnallakin voi olla merkitystä. Testeissä kokeiltiin muun muassa kahta lähes keskenään identtistä ELM-327-piirillä varustettua OBD2-lukijaa, joista toinen käytti WLANia ja toinen Bluetoothia (Kuva 10).



Kuva 10. Testaamiseen käytettyjä ELM 327 OBD2-lukijoita, WLAN- ja Bluetooth-versiot.

Bluetooth-versio todettiin huomattavasti epäluotettavammaksi kuin vastaava, WLAN-yhteyttä käyttävä versio. Yhteys päätelaitteeseen oli epävarma ja välillä jo pelkkä yhdistäminenkin tuotti vaikeuksia. Puhuttaessa kuitenkin vain yksittäisistä tai muutamista kappaleista ei voida vetää lopullisia johtopäätöksiä, mutta ainakin kyseisen lukijan tapauksessa WLAN osoittautui selkeästi vakaammaksi ja luotettavammaksi vaihtoehdoksi. Erilaisia langattomia standardeja on lukuisia, ja langattomaan ratkaisuun päädyttäessä tuleekin valinta eri vaihtoehtojen välillä luonnollisesti tehdä tapauskohtaisesti. Joissakin tutkimuksissa on esimerkiksi päädytty käyttämään ZigBeetä järjestelmän langattoman tiedonsiirron perustana [13].

Joka tapauksessa, jos päädytään käyttämään kaupallista OBD-lukijaa järjestelmän osasena, tulisi valinta tehdä huolellisesti, jotta voidaan varmistua mahdollisimman hyvästä laitteistoyhteensopivuudesta sekä toimintavarmuudesta.

4. JOHTOPÄÄTÖKSET JA EHDOTETUT TOIMENPITEET

Jo vastaan tulleen materiaalin määrästä pystyi helposti päättelemään, että sähköautojen energiamittaus on hyvin tutkittu aihealue. Kuitenkin suurin osa tutkimuksista tuntuu keskittyvän lähinnä sähköauton kokonaiskulutukseen, ja lisälaitteiden kulutukseen perehtyneet testit olivat huomattavasti harvinaisempia. Sitäkin harvalukuisempi oli joukko jossa oli suoritettu reaaliaikaista mittausta sekä datan näyttöä.

Tästä välittyy helposti sellainen mielikuva, että jos reaaliaikainen, lisälaittekohtaisesti eroteltu kulutuksen seuranta olisi haasteetonta tehdä, sellainen olisi jo toteutettu. Tiivistettynä voisikin todeta, että mitään yksittäistä, hyväksi todettua tapaa toteuttaa sitä ei ole tällä hetkellä olemassa. Tämä kuitenkin osoittaa, että aiheeseen liittyen olisi tilaa uusille innovaatioille.

Itsessään sähköauton eri komponenttien kulutuksen selvittäminen ei siis olekaan suuri haaste – kuten todettua, tarvittavien suureiden mittaamiseen on useita käyviä vaihtoehtoja. Helpoimmillaan hetkellisen kulutuksen voi saada selville parinkymmenen euron arvoisella OBD-lukijalla ja jollain ilmaisella älypuhelinsovelluksella. Yksityiskohtaisemman kulutusseurannan tuoma lisäarvo on kuitenkin hyvin helposti perusteltu – tarkempi tieto auttaisi sekä testaaajia ja kehit-

täjiä luomaan energiatehokkaampia ratkaisuja, että loppukäyttäjiä ajamaan taloudellisemmin. Yksittäisen lisälaitteen kulutuskin on helppo selvittää kokonaiskulutuksen sekä esimitattujen arvojen perusteella, mutta haastavaksi tilanteen tekee kun halutaan tietää tarkemmin yksittäisten lisälaitteiden kulutuksesta suhteessa muihin varsinkin silloin, kun niitä on useampia päällä yhtä aikaa. Toisin sanoen pitäisi saada jotain kautta selkeä tieto siitä, mitkä lisälaitteet ovat kytkettynä päälle. Autovalmistajasta riippuen tällaista tietoa ei kuitenkaan ole välttämättä saatavilla suoraan CAN-väylästä. Olettaen, että kaikki tarvittava data saadaan luettua, ei pelkkä kulutusdata kuitenkaan ole sellaisenaan kovin hyödyllistä. Tiedon havainnollinen ja selkeä esittäminen on myös äärimmäisen tärkeää, mutta käyttöliittymäsuunnittelu ja datan visualisointi ovatkin taas täysin omia aiheitansa.

Vaikka tässä tutkimuksessa luotiinkin katsaus tämän hetken tilanteeseen sähköautojen energianhallintajärjestelmiin liittyen, herätti se myös kysymyksiä. Centralilta löytyy jo valmiiksi vahvaa osaamista näihin aiheisiin liittyen joten olisi loogista hyödyntää vahvaa osaamista, aiemmissa saman aihepiiriin hankkeissa kartutettua tietotaitoa sekä yhteistyökumppaniverkkoa uusien ratkaisujen hakemiseen.

Jos järjestelmän asennuksesta ja käytöstä halutaan mahdollisimman helppoa, olisi CAN-väylän hyödyntäminen ehkäpä paras lähtökohta sen yksinkertaisuuden ja standardinomaisuuden vuoksi. Siksi tulisikin perehtyä tarkemmin siihen, onko eri autoista mahdollista saada ongittua esille tieto päällä olevista lisälaitteista, ja tutkia kuinka tästä saataisiin vielä tehtyä kokonaisuus joka toimisi mahdollisimman monien eri autojen kanssa. Olisi myös hyvä miettiä tarkkaan onko tarkoitus kehittää vain ammattilaiskäyttöön suunnattua ratkaisua, vai jotain sellaista mitä peruskuluttaja saattaisi käyttää sähköautossaan – tämä viitekehys antaa nimittäin melko erilaiset raamit sille, minkälainen järjestelmä on vielä tarpeeksi kevyt ja helppo käyttää. Järjestelmää rakennettaessa pitäisi myös kiinnittää huomiota siihen, mitä osia siitä toteutetaan hyödyntäen kaupallisia ratkaisuja. Kaikkea ei luonnollisesti kannata yrittää tehdä itse, esimerkiksi datankeruussa valmiin datankeräyslaitteen käyttö voisi olla hyvinkin hyödyllistä.

Lisäksi tulisi tutustua tarkemmin siihen mitä simulaatiopuolella on tarjottavana. Kuten tässäkin kartoituksessa huomattiin, huolellisesti tehty mallinnus sähköauton akustosta ja moottorista voi antaa käytännössä oikeaa vastaavia arvoja. Tulisi perehtyä siihen, voitaisiinko simuloinnin ja arvioinnin keinoin ikään kuin paikata niitä puutteita, jotka syystä tai toisesta ilmenevät oikeissa mittauksissa. Olisi aiheen kokeilla, saadaanko lisälaitteiden kulutuksesta luotua niin tarkat mallit, että niillä päästäisiin lähelle oikeita kulutuslukemia.

LÄHTEET

- [1] Advanced Powertrain Research Facility AVTA Nissan Leaf testing and analysis. Lohse-Busch, H.; Duoba, M.; Rask, E.; Meyer, M. APRF & Co. Argonne National Laboratory. Luettu 16.5.2015. Saatavilla: http://www.transportation.anl.gov/D3/data/2012_nissan_leaf/AVTALeaftestinganalysis_Major%20summary101212.pdf
- [2] A comprehensive review on estimation strategies used in hybrid and battery electric vehicles. Cuma, M. U.; Koroglu, T. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 42. Julkaisuvuosi: 2015, Sivut: 517-531.
- [3] Evaluation of EVs energy consumption influencing factors, driving conditions, auxiliaries use, driver's aggressiveness. Badin, F.; Le Berr, F.; Briki, H.; Dabadie, J.-C.; Petit, M.; Magand, S.; Condemine, E. Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27), 2013 World. Julkaisuvuosi: 2013.
- [4] On-board diagnostics – artikkeli Wikipediassa. Luettu 9.6.2015. Saatavilla: http://en.wikipedia.org/wiki/On-board_diagnostics
- [5] Electric vehicle's energy consumption measurement and estimation. Wu, X.; Freese, D.; Cabrera, A.; Kitch, W. A. Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 34. Julkaisuvuosi: 2015. Sivut: 52-67.
- [6] Experimental Analysis of the Auxiliaries Consumption in the Energy Balance of a Pre-series Plug-in Hybrid-electric Vehicle. Santiangeli, A.; Zuccari, F.; Dell'Era, A.; Orecchini, F.; D'Orazio, A. Energy Procedia, Volume 45. Julkaisuvuosi: 2014. Sivut: 779-788.
- [7] Google play – sovelluskauppa. Luettu 22.5.2015. Saatavilla: <https://play.google.com/store>
- [8] Designing an energy management system for an electric vehicle competition – From a student project to a successful race. Talvitie, J.P.; Kärkkäinen, T.J.; Koskinen, J.; Niukkanen, M.; Strom, J.-P.; Silventoinen, P.; Kuisma, M. Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2013. Julkaisuvuosi: 2013, Sivut: 528 – 532.
- [9] HMB eDrive testing. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH. Luettu 4.6.2015. Saatavilla: <http://www.hbm.com/en/menu/applications/edrive-testing/>
- [10] DEWE-510-E-Mobile-1000 tuotesivu. Dewetron GmbH. Luettu 3.6.2015. Saatavilla: <http://www.dewetron.com/int/products/dedicated-instruments/automotive/dewe-e-mobile/dewe-510-e-mobile-1000/>
- [11] EV Android Dashboard – tuotesivu. EMotorWerks. Luettu 4.6.2015. Saatavilla: <http://www.emotorwerks.com/products/online-store/product/show/14-ev-android-dashboard-base-edition>

- [12] WintEVE – sähköauton talvitestit. Heikkilä, J. 2013. Centria ammattikorkeakoulu. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-6602-62-2>
- [13] A Battery Management System for electric vehicle based on Zigbee and CAN. Wu, Y. ; Liao, X.; Chen, W.; Chen, D. 2011 4th International Congress on Image and Signal Processing (CISP). Julkaisuvuosi: 2011. Sivut: 2517-2521.

SÄHKÖAUTON REAALIAIKAINEN ENERGIANHALLINTA

Tässä teknologiakartoituksessa luodaan katsaus sähköautojen reaaliaikaisiin energianhallintajärjestelmiin ja perehdytään eri tapoihin toteuttaa sähköauton kulutusmittaus.

Tavoitteena on kartoittaa olemassa olevat tutkimukset ja selvittää erilaisten vaihtoehtojen perusteella onko jo olemassa jotain varteenotettavaa vaihtoehtoa energianmittauksen toteuttamiseen. Erityisesti kiinnitetään huomiota siihen, miten jo tehdyissä energianhallintajärjestelmissä on paneuduttu lisälaitteiden energiankulutukseen. Lisäksi pyritään löytämään uusia toimintatapoja kyseisen järjestelmän toteuttamiselle.

Taustatutkimuksen lisäksi työ pyritään pitämään käytännönläheisenä: suoritetaan käytännön testejä sekä peilataan niiden pohjalta tehtyjä havaintoja muiden tutkimusten tuloksiin. Kartoituksen pohjalta pyritään saamaan hyvä käsitys sähköautojen kulutuksen reaaliaikaisen mittauksen nykytilanteesta.

Centria. Raportteja ja selvityksiä, 2

ISBN 978-952-6602-89-9

ISSN 2342-933X