

Antti Heikinniemi

Ladattavien hybridiautojen energiankulutusmittaukset

Insinöörityö

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (amk)
Auto- ja kuljetustekniikka
Opinnäytetyö
2.11.2012

Tekijä(t) Otsikko	Antti Heikinniemi Ladattavien hybridiautojen energiankulutusmittaukset
Sivumäärä Aika	24 sivua + 2 liitettä 2.11.2010
Tutkinto	Insinööri (amk)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Autosähkötekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Sami Ruotsalainen Projekti-insinööri Harri Miinin
<p>Tässä insinööriyössä kerrotaan, miten verkkovirralla ladattavien hybridiautojen sähköinen ja polttoaineen energiankulutus mitataan ja lasketaan virallisissa mittauksissa. Nämä tiedot perustuvat amerikkalaiseen SAE ja eurooppalaiseen EN-standardiin.</p> <p>Ladattavilla hybridiautoilla on kaksi toimintatilaa: latauksen purkutila ja vakiovaraustila. Latauksen purkutilassa puretaan akun varausta ja ajetaan pääsääntöisesti pelkällä sähköllä. Vakiovaraustilassa akun varaustila on hyvin matala ja kaikki energia otetaan polttomoottorista. Eurooppalainen ajosykli sekä viisi amerikkalaista ajosykliä ajetaan näillä molemmilla toimintatiloilla. Näillä ajosykleillä on tarkoitus mitata auton toimintaa erilaisissa todellisuutta mukailevissa ajotilanteissa ajamalla autoa mittauslaboratorion dynamometrillä.</p> <p>Tulosten laskemista varten pitää määrittää mitattavalle autolle sen sähköinen ajomatka. Tämä tehtiin ajamalla standardin määrittelemää ajosykliä, kunnes auton ajoakku oli saavuttanut alhaisimman varaustasonsa.</p> <p>Tämän työn toisessa osa-alueessa suoritettiin käytännön energiankulutusmittaukset eurooppalaisen standardin mukaan käyttäen Toyota Prius -hybridiautoa. Tälle autolle on jälkikäteen lisätty ylimääräinen akkupaketti, jota voidaan ladata sähköverkosta ja näin ollen muutettu se ladattavaksi hybridiautoksi.</p> <p>Mittauksissa mitattiin polttoaineen- ja sähköenergiankulutus molemmissa toimintatiloissa. Mittaukset suoritettiin Metropolia ammattikorkeakoulun autolaboratoriossa. Lisäksi mitattiin sähköverkosta otetun energian määrä latauksen aikana.</p> <p>Tulokset osoittivat polttoaineen ja sähköenergian kulutuksen olevan tyypillisen suuruisia ladattavalle hybridiautoille.</p>	
Avainsanat	Ladattava hybridiauto, energiankulutus

Author(s) Title	Antti Heikinniemi Energy consumption measurements of plug-in hybrids
Number of Pages Date	24 pages + 2 appendices 2 November 2012
Degree	Bachelor of Engineering (BE)
Degree Programme	Automotive Engineering
Specialisation option	Automotive Electronics
Instructor(s)	Sami Ruotsalainen, Senior Lecturer Harri Miinin, Project Engineer
<p>This Bachelor's thesis describes how energy consumption of plug-in hybrid electric cars is measured in official tests. This information is based on the American SAE and the European EN standards.</p> <p>Plug-in hybrid electric cars have two operation modes: Charge depleting mode and Charge sustaining mode. New European driving cycle and five American driving cycles are driven in both of these operation modes. The purpose of these driving cycles is to measure a car's performance in reality imitating driving situations. Driving cycles are driven on the chassis dynamometer of an automotive laboratory.</p> <p>In order to calculate results, it is necessary to determine the electric range for the car that is being tested. It was done by driving the driving cycle determined by the standard until the car's battery reached its lowest state-of-charge level.</p> <p>In the second section of this thesis practical energy consumption measurements were carried out according to the European EN-standard using a Toyota Prius hybrid electric car. An extra battery package was added afterwards in this car. It can be charged from electric power network.</p> <p>Fuel and electric energy consumption in both operation modes were measured in the practical test. These measurements were carried out in the Automotive Laboratory of Helsinki Metropolia University of Applied Sciences. Transferred energy from the electric power network was also measured during the charge.</p>	
Keywords	Electric plug-in hybrid, energy consumption

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Määritelmiä ja käsitteitä	1
2.1	Hyötykerroin UF	1
2.2	Käytettyjä termejä	4
3	Hybridiajoneuvojen energiankulutuksen ja päästöjen mittaaminen SAE -normin mukaan	5
3.1	Valmistelut ja tarvittava välineistö	5
3.2	Vakiovaraustila	6
3.2.1	UDDS	6
3.2.2	HFEDS	7
3.2.3	US06	7
3.2.4	SC03	8
3.2.5	Kylmä UDDS	9
3.3	Latauksen purkutila	10
3.4	Tulosten ilmoittaminen ja laskeminen	10
3.4.1	Pakokaasupäästöt	10
3.4.2	Polttoaineen ja sähköenergiankulutus	11
4	Hybridiajoneuvojen energiankulutuksen ja päästöjen mittaaminen EN-normin mukaan	13
4.1	Valmistelut	13
4.2	Latauksen purkutila	14
4.3	Vakiovaraustila	15
4.4	Tulosten ilmoittaminen	15
4.5	Sähköisen toimintamatkan määrittäminen	17
4.5.1	Testin olosuhteet	17
4.5.2	Sähköisen ajomatkan määrittäminen	17
5	Käytännön mittaukset	17
5.1	Toyota Prius	17
5.1.1	Yleistietoa autosta	17
5.1.2	Valmistelut	18

5.1.3	Mittaukset	20
5.1.4	Tulokset	21
5.1.5	Päätelmät	23
	Lähteet	24
	Liitteet	
	Liite 1. Dewetron 201 -mittalaitteella logattua mittausdataa	
	Liite 2. Mittausdataa lisäakun latauksesta	

1 Johdanto

Päästöihin perustuva autojen käytön ja omistamisen verotus kannustaa ihmisiä valitsemaan vähäpäästöisiä ja vähän fossiilisia polttoaineita kuluttavia autoja. Hybridiautot ovat tähän yksi hyvä ratkaisu, ja niitä onkin ollut markkinoilla jo useita vuosia. Ladattavat hybridiautot ovat tästä vielä askel eteenpäin. Niillä on mahdollista ajaa sähköllä huomattavasti pidempiä matkoja, kuin perinteisillä hybrideillä. Tämä vähentää auton omistajan polttoainekuluja, koska kun ajoakussa on riittävästi energiaa varastoituna, polttomoottoria ei tarvita välttämättä lainkaan tai korkeintaan kiihdytyksissä ja korkeilla nopeuksilla. Kun ladattavalla hybridiautolla on kiihdyttänyt vauhdin matkanopeuteen, on mahdollista ajaa pelkällä sähköllä kymmeniä kilometrejä.

Tämän insinööriyön tarkoituksena on kertoa, miten ladattaville hybridiautoille tulisi suorittaa energiankulutusmittaukset koskien sähköistä energiaa sekä polttoainetta. Työssä esitellään olennaiset kohdat ladattavien hybridiautojen energiamittauksia käsittelevästä SAE-standardista hyvän yleiskäsityksen saamiseksi. Vastaavan EN-standardin sisältö esitellään yksityiskohtaisemmin. Sitä voi käyttää ohjeena mittausten suorittamiseen. Lisäksi tässä työssä tarkastellaan pakokaasupäästöjen laskeminen eri toimintatiloille.

Tämän työn lopussa kerrotaan miten on suoritettu käytännön mittaukset Toyota Prius -hybridiautolle, joka on muutettu ladattavaksi lisäämällä jälkiasenteinen akkupaketti.

2 Määritelmiä ja käsitteitä

2.1 Hyötykerroin UF

Hyötykerroin (Utility Factor) kertoo, kuinka suuri osa päivittäisestä ajamiseen käytetystä polttoaineen energiasta voidaan korvata sähköenergiasta keskimäärin tietyllä ajoneuvolla. Luku voi vaihdella nollan ja yhden välillä. Mitä lähempänä yhtä luku on, sitä suurempi osa tarvittavasta energiasta voidaan korvata sähköllä. Hyötykerroin on sähköisen ajomatkan funktio, ja kertoimia voidaan määrittää myös esim. kaupunki- ja

maantieajoon erikseen. Hyötykerroin on määritelty perustuen oletukseen, että ajoneuvolla lähdetään liikkeelle akku täyteen ladattuna.

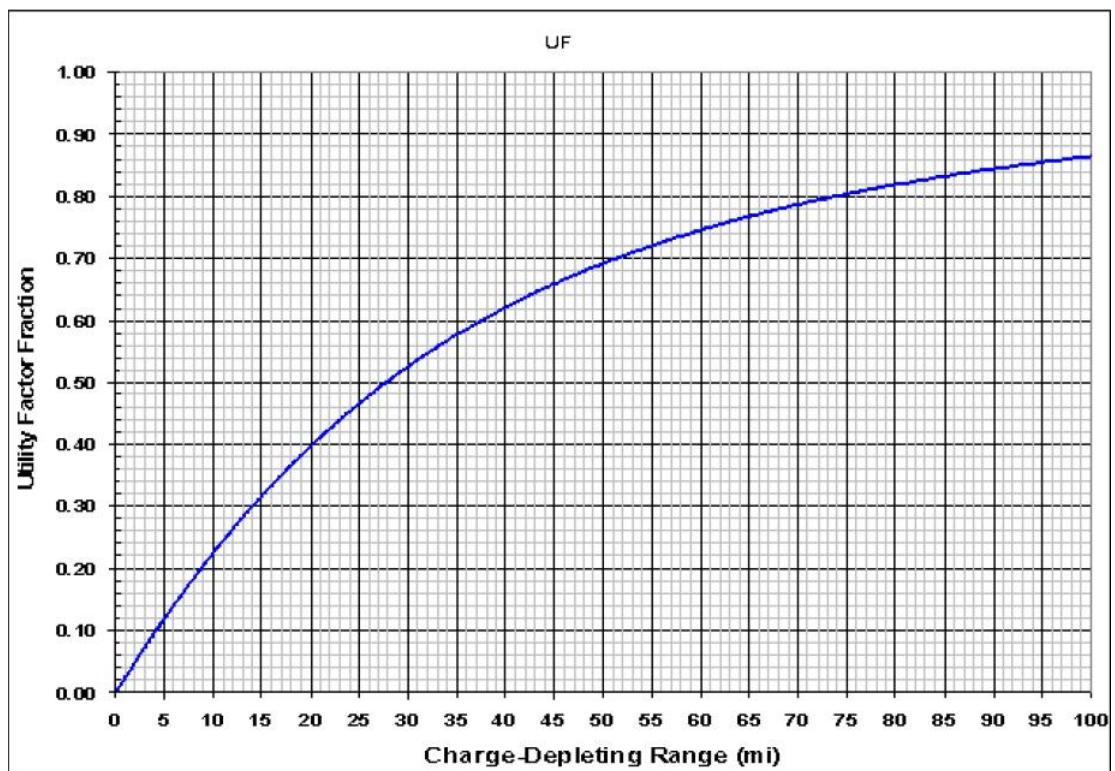
Jos autolle, jonka sähköinen ajomatka on 40 kilometriä, lasketaan hyötykerroin jakamalla sähköisesti ajettavat matkaosuudet kokonaismatkalla. Se onnistuu seuraavalla kaavalla.

$$UF(40) = \frac{30 + 40 + 40 + 40 + 40}{30 + 40 + 50 + 60 + 80}$$

Esimerkissä viisi eri kuljettajaa tai sama kuljettaja ajaa eripituisen matkan, ja tulokseksi tulee 0,73. Kaksi ensimmäistä matkaa voidaan ajaa kokonaan sähköllä, seuraavalla kolmella vain osaksi.

Amerikkalainen hyötykerroin on laskettu kotitalouksille lähetetyn ajomatkakyselyn perusteella. Lyhyitä matkoja ajetaan eniten ja pitkiä vähiten. Ladattava hybridi-auto on sitä käyttökelpoisempi, mitä pidempään sillä voidaan ajaa purkutilassa. Tällaisessa tilanteessa käytetään vähemmän polttomoottoria ja autolle määritetty hyötykerroin on suurempi.

Jos ladattavan hybridi-auton sähköinen ajomatka on 20 mailia, sen hyötykerroin olisi 0,4. Silloin 40 % keskimääräisen amerikkalaisen matkoista voitaisiin ajaa sähköenergiaa hyödyntäen tällä autolla, kuten seuraavasta kuvasta (kuvio 1) nähdään.

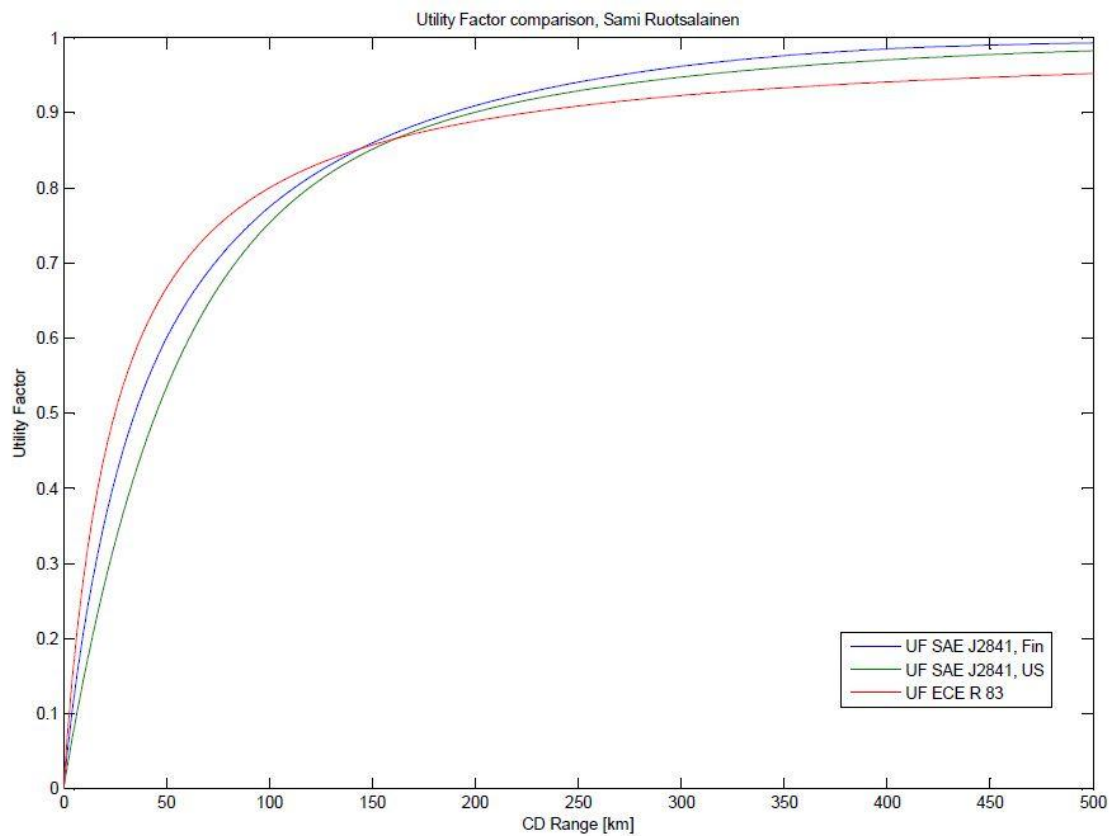


3

Kuvio 1. Amerikkalainen hyötykerroin [2]

Myös Suomelle on laskettu omat hyötykertoimensa, jotka näkyvät kuvassa (kuvio 2).

Se perustuu Henkilöliikennetutkimus 2004–2005 aineistoon. [1, s. 2–4.]



Kuvio 2. Suomalainen, amerikkalainen hyötykerroin ja vertailun vuoksi ece r83:n mukainen käyrä [3]

2.2 Käytettyjä termejä

Vakiovaraustilalla tarkoitetaan tässä työssä tilaa, jossa ei käytetä sähköverkosta ladattua energiaa ja auto liikkuu kokonaan polttoaineen voimalla. Akku voi välillä latautua ja siitä voidaan ottaa virtaa, mutta keskimääräinen varaustaso ei muutu. Perinteiset hybridiajoneuvot toimivat vain tässä tilassa. Englanniksi vakiovaraustila on Charge Sustaining mode.

Latauksen purkutilalla tarkoitetaan tilaa, jossa auto liikkuu joko kokonaan tai osittain akusta saatavalla energialla sähkömoottorin avulla. Kun akun energia on käytetty loppuun, auto siirtyy vakiovaraustilaan. Englanniksi varauksen purkutila on Charge Depleting mode.

Sähköisellä ajomatalla (englanniksi Charge-Depleting Range) tarkoitetaan etäisyyttä testin alusta purkutilassa kunnes auton toimintatila muuttuu vakiovaraustilaan. Sähköinen ajomatka mitataan ajamalla mitattavaa ajosykliä niin monta kertaa, että akun varaus ei enää laske ja auto siirtyy vakiovaraustilaan. Sähköisestä ajomatasta käytetään myös lyhennettä R_{CD} esimerkiksi kaavoissa.

Latauksen purkutilan ajosykli toimintamatalla (englanniksi Charge-Depleting Cycle Range) tarkoitetaan ajosyklien pituutta, jotka ajetaan purkutilassa ja myös sitä ajosykliä, jonka aikana auton toimintatila vaihtuu purkutilasta vakiovaraustilaan. Esimerkiksi autolla ajetaan kolme nedc-ajosykliä purkutilassa ja neljännessä toimintatila vaihtuu vakiovaraustilaan. Latauksen purkutilan ajosykli toimintamatka on siis esimerkissä neljän ajosyklin pituus. Tästä käytetään kaavoissa lyhennettä R_{CDC} . [4, s. 6–7.]

3 Hybridiajoneuvojen energiankulutuksen ja päästöjen mittaaminen SAE -normin mukaan

3.1 Valmistelut ja tarvittava välineistö

SAE-normin mukaisessa testissä on viisi erilaista ajosykliä, joiden tarkoituksena on simuloida erilaisia ajotilanteita. Ajoneuvo testataan normaaleilla varusteilla, ja sen paino on omapaino lisättyä 136,1kg. Renkaina käytetään valmistajan suosittelemaa renkaita ja ilmanpaineita. Renkailla on saanut ajaa 100km ja niissä tulee olla yli puolet kulutus-pinnasta jäljellä.

Jos ajoneuvossa käytetään regeneratiivista jarrutusta, se saa olla kytkettynä päälle. Luistonestojärjestelmä ja lukkiutumattomat jarrut tulee kytkeä pois, jos ne vaikeuttavat dynamometrillä ajoa.

Auton ajoakua tulee ladata sen sisäisellä latauslaitteella sen suurimmalla teholla. Jos sitä ei ole, silloin käytetään valmistajan suosittelemaa ulkoista laturia. Jos akusto on vahingoittunut tai sen kapasiteetti on alle valmistajan arvojen, se tulee vaihtaa uuteen. Testissä tarvitaan mittalaite, joka mittaa tasajännitettä, virtaa ja kulutettua sähköenergiaa (sähkötehoanalysaattori). Akuston virta ja jännite mitataan suoraan tämän laitteen avulla. Mittari asennetaan mittaamaan kaikki akulta saapuvat ja lähtevät virrat ja akun napajännite. Näin saadaan tietää, paljonko akusta kuluu mittauksen aikana energiaa. Ampeeritunti mittauksen tulee käyttää alle 0,05 sekunnin integraatioaikaa. Jännitemittauksen mittatarkkuuden tulee olla $\pm 1\%$ lukemasta. Latauslaitteelta sähköverkosta tuleva latausteho mitataan sähkötehoanalysaattorilla, jonka kokonaistarkkuus on 1 % tai parempi.

US06 -ajosykliä varten tarvitsee tietää kaasupolkimen asento dynamometrin vastuksen säätämiseen. Tämän saa kätevimmin tietoonsa auton tietoväylästä diagnoosipistokkeelta.

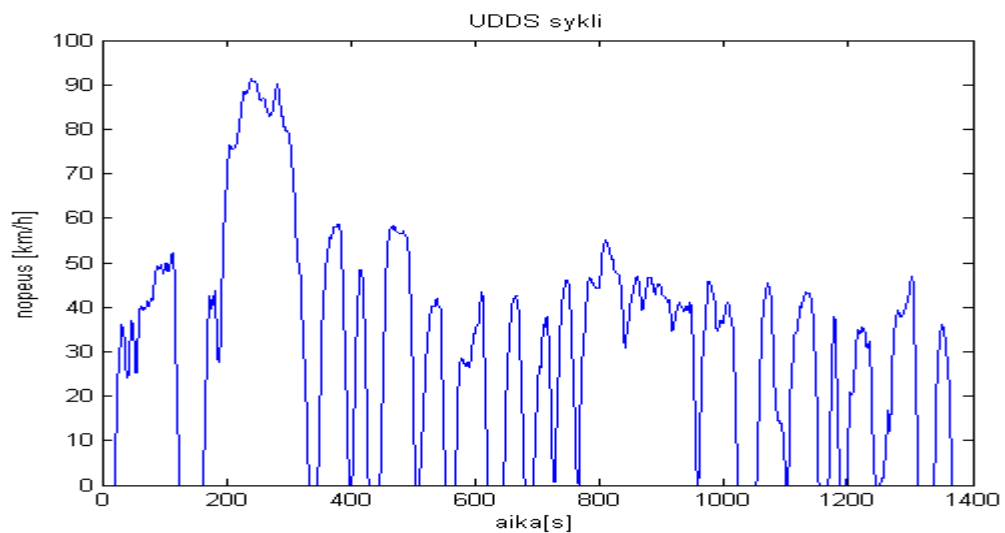
Testin tuloksena saadaan pakokaasupäästöt ja polttoaineen kulutus. Ne mitataan jokaisen testivaiheen kohdalla. Todellinen ajettu matka mitataan dynamometrin rullalta. Ajoakun varaustila mitataan tarvittavilla mittavälineillä. Mittaus tehdään alussa, lopussa

ja niissä vaiheissa missä pakokaasujenmittaamisessa vaihdetaan näytepussia. [4, s. 17–21.]

3.2 Vakiovaraustila

3.2.1 UDDS

UDDS-ajosykli on yleisimmin käytetty Amerikassa, ja sen kuvaaja (kuvio 3) on seuraavana. Kirjaimet UDDS tulevat englanninkielien sanoista Urban Dynamometer Driving Cycle. UDDS-ajosykli kestää 22 minuuttia ja se on tarkoitettu ilmentämään kaupunkiajoa. Ennen testiä autolla ajetaan UDDS -syklin mukaista ajoa dynamometrillä, kunnes akussa on alle prosentti varausta jäljellä. Sen jälkeen auto on 12–36 tuntia käyttämättä. Valmistelujen ja korkeintaan 36 tunnin jälkeen auto työnnetään tai hinataan dynamometrille. Matka saa kuitenkin olla korkeintaan 1,6 km, jotta voimansiirto-osat eivät lämpenisi.



Kuvio 3. UDDS-ajosyklin kuvaaja [5]

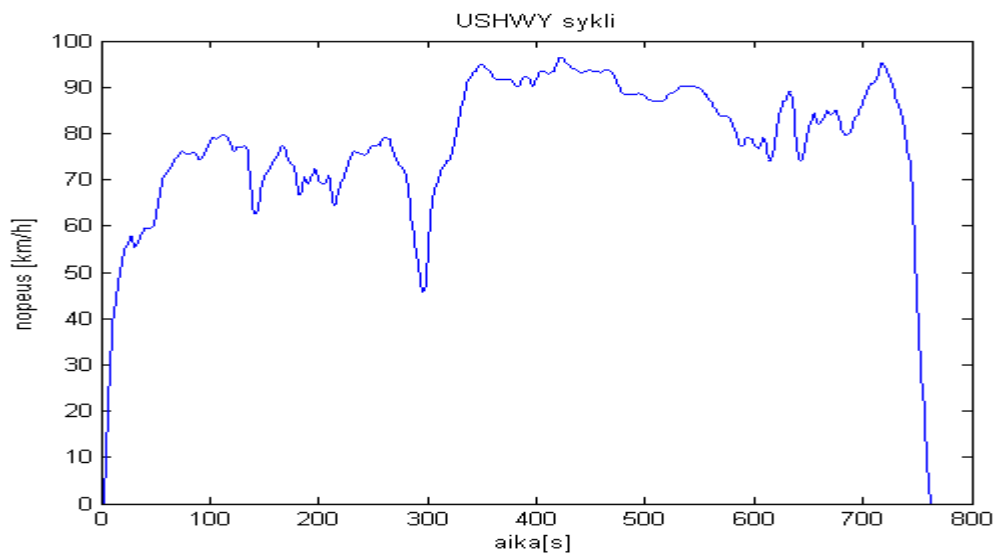
Testitilan lämpötilan tulee olla 20 ja 30 celsiusasteen välillä. Dynamometrijon aikana auton lisälaitteet sammutetaan ja säätävänopeuksinen tuuletin asetetaan auton eteen puhaltamaan ilmavirtaa jäähdyttimen läpi.

Heti kun auton moottori käynnistyy, testi aloitetaan. Testissä ajetaan kaksi UDDS -ajosykliä, joiden välissä on 10 ± 1 minuutin tauko auto sammutettuna. Tauon aikana

akkua ei saa ladata ulkoisesta virtalähteestä. Molemmista sykleistä kerätään pakokaasut näytteenottopusseihin. [4, s. 21–22.]

3.2.2 HFEDS

HFEDS-ajosykli, jonka kuvaaja seuraavana (kuvio 4), kestää 12 minuuttia ja 45 sekuntia ja sen on tarkoitus ilmentää maantieajoa. Jokaisen syklin pituus on 16,51 km. Ajoakun tyhjentämiseksi ajetaan UDDS- ajosykli (tarvittaessa enemmän), ja sen jälkeen auto on koskematta korkeintaan kolme tuntia.

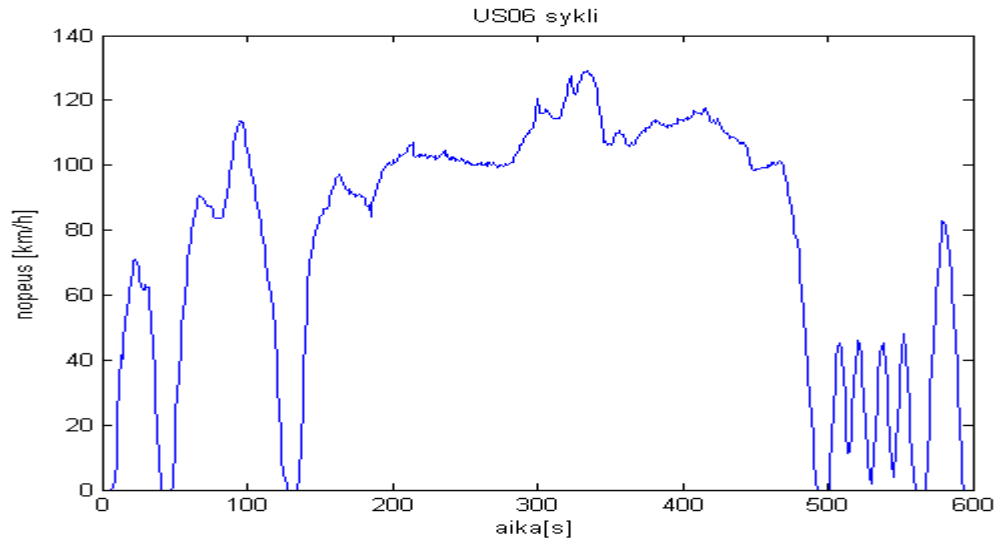


Kuvio 4. HFEDS-ajosyklin kuvaaja [5]

Suurin osa vaatimuksista ja ehdoista testin suorittamiselle ovat samoja kuin UDDS-ajosyklin kohdalla. Dynamometrillä ajetaan kaksi HFED-ajosykliä, joiden välissä on 15 sekunnin tauko. Tauon aikana moottori pidetään käynnissä ja nopeus nollassa. Mittaukset ja pakokaasujen näytteenotto aloitetaan kuitenkin vasta toisesta ajosyklistä. [4, s.22–23]

3.2.3 US06

US06-ajosykli kestää 10 minuuttia, ja sen kuvaaja (kuvio 5) on seuraavana.



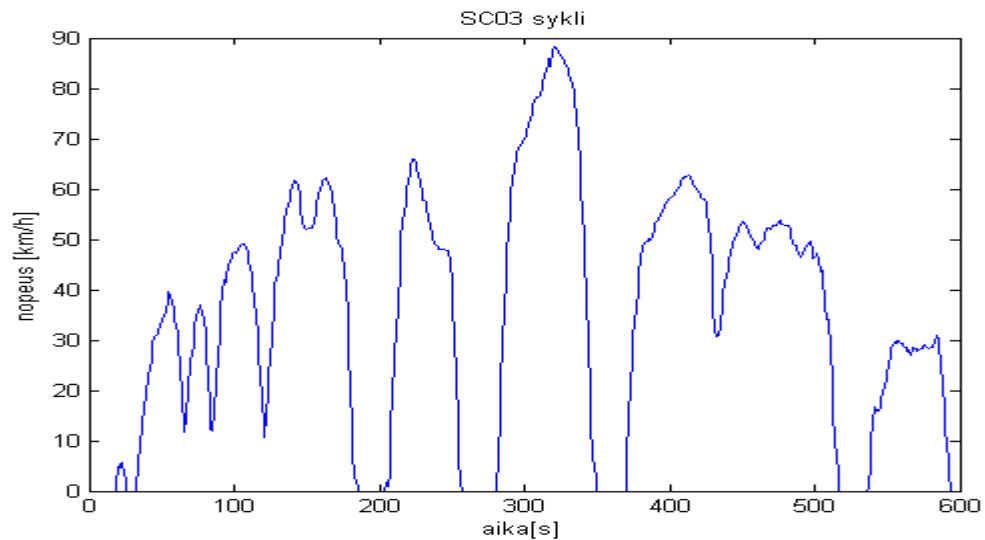
Kuvio 5. Ajosyklin US06-ajosyklin kuvaaja [5]

Ajosyklin tarkoituksena on ilmentää nopeita kiihdytyksiä ja suuria ajonopeuksia. Auton akun tilalle ei tarvitse tehdä valmistelutoimenpiteitä, jos sillä on ajettu alle 72 tuntia sitten jokin ajosykli ja auto on sen jälkeen ollut laboratorio-olosuhteissa.

Suurin osa vaatimuksista ja ehdoista testin suorittamiselle ovat samoja kuin UDDS - ajosyklin kohdalla. Testissä ajetaan kaksi US06- ajosykliä, joiden välissä on 90 ± 30 sekunnin tauko. Mittaukset ja näytteenotto aloitetaan vasta toisesta ajosyklistä. [4, s. 23–24.]

3.2.4 SC03

SC03 -ajosykli kestää 10 minuuttia, ja se ilmentää ajoneuvon toimintaa ilmastointi kytkettynä päälle. Suurin osa vaatimuksista ja ehdoista testin suorittamiselle ovat samoja kuin US06-ajosyklin kohdalla. Ajosyklin kuvaajasta (kuvio 6) näkee sykliin sisältyvän paljon pysähdyksiä ja kiihdytyksiä, mutta nopeudet ovat pienempiä kuin US06-ajosyklissä.



Kuvio 6. SC03-ajosyklin kuvaaja [5]

Ilman lämpötilan tulee olla 35 celsiusastetta, ilmankosteuden 100 graania vettä paunalle kuivaa ilmaa ja auringon lämpökuorman 850 W/m^2 . Auton ikkunoiden tulee olla suljetut, ja autoa viilentävän ilmavirran tulee säätää proportionaalisesti ajonopeuden mukaan.

Dynamometrillä ajetaan kaksi SC03-ajosykliä, joiden välissä on 10 ± 1 minuutin tauko. Tauon aikana moottori on sammutettu. Mittaukset ja näytteenotto aloitetaan vasta toisesta ajosyklistä. [4, s. 24–25.]

3.2.5 Kylmä UDDS

Tämä ajosykli on sama kuin tavallinen UDDS -ajosykli, mutta se ajetaan kylmissä olosuhteissa. Akun tyhjentämiseksi ajetaan UDDS -ajosykli $-7 \pm 2,8$ celsiusasteen lämpötilassa ja sen jälkeen auton tulee olla 12–36 tuntia käyttämättä. Ilmankosteus pitää asettaa riittävän pieneksi, jotta vesi ei tiivistyisi dynamometrin rullalle.

Varsinaisen testin aikana oleva keskimääräinen lämpötilan tulee olla $-7 \pm 2,8$ astetta. Suurin poikkeama saa olla $-12,2$ ja pienin $-1,1$ astetta. Testin alussa lämmittimen puhallus pitää suunnata tuulilasille parhaan huurteenpoiston aikaansaamiseksi. Ilmavirta-

uksen lähteen tulee olla ulkoa tuleva ilma, tuulettimen pyörintänopeus säädetty pienelle teholle ja lämpötila kuumimmalle mahdolliselle. Testin toisella tyhjäkäyntiosuudella tuulettimen nopeus tulee asettaa suurimpaan asentoonsa, jotta moottori karruttaisi lämpöä. Kuudennella tyhjäkäyntiosuudella tuulettimen nopeus asetetaan pienimpään asentoon. Jos autossa on automaatti-ilmastointi, lämpötila asetetaan 72 fahrenheitasteeseen ja puhallustila huurteenpoistolle. Jos autossa on useampia vyöhykkeitä ilmastoinnille, ne kaikki asetetaan samalla tavalla.

Kahden ajosyklin välissä pidetään 10 minuutin tauko moottori sammutettuna. Kaikkien vaiheiden aikana kerätään pakokaasunäytteet ja tehdään mittaukset. [4, s. 26–27.]

3.3 Latauksen purkutila

Menettelytavat latauksen purkutilassa ovat suurimmaksi osaksi samat kuin vakiovaraustilassa. Erot koskevat ajoakun lataamista ja tyhjentämistä. Ennen testiä akku ladataan täyteen. Aikaa lataukseen käytetään vähintään 12 tuntia ja lopetetaan, kun laturi ilmoittaa akun olevan täynnä. Verkkovirrasta tuleva vaihtosähköinen energia lasketaan mukaan kokonaisenergiankulutukseen.

Autolla ajetaan niin monta ajosykliä kuin on tarpeen, kunnes akku on tyhjä. Sykliä välissä pidetään asianmukaiset tauot. Mittaukset ja pakokaasujen näytteenotto kerätään jokaisesta ajosyklistä.

Testin jälkeinen akun lataus aloitetaan kolmen tunnin kuluessa testin päättymisestä. Lataus kestää jälleen vähintään 12 tuntia ja sitä jatketaan, kunnes akku on täynnä. Tässäkin kohdassa siirretty sähköenergia mitataan. [4, s. 27–41.]

3.4 Tulosten ilmoittaminen ja laskeminen

3.4.1 Pakokaasupäästöt

UDDS (ja myös kylmässä UDDS) -testissä vakiovaraustilassa painotetaan ensimmäinen ja toinen ajosykli eri tavalla. Ensimmäinen ajosykli aloitetaan ”kylmällä” autolla ja seuraavassa se on jo lämmennyt. Se lasketaan kaavalla 1:

$$Y_{VT} = 0.43 \cdot \frac{Y_1}{D_1} + 0.57 \frac{Y_2}{D_2} \quad (1)$$

jossa

Y_{VT} = mitatun kaasun punnittu massa grammaa mailia kohti (esimerkiksi hiilidioksidi)

Y_1 = mitatun kaasun massa ensimmäisessä ajosyklissä grammoina

D_1 = ajettu matka ensimmäisessä ajosyklissä maileina

Y_2 = mitatun kaasun massa toisessa ajosyklissä grammoina

D_2 = ajettu matka toisessa ajosyklissä maileina

HFEDS-, US06- ja SC03- testeissä vakiovaraustilassa ei tarvitse painottaa eri ajosyklejä.

Vain jälkimmäinen huomioidaan.

Purkutilassa ei ole tarvetta käyttää painotettuja kertoimia eri ajosykleille.

Hyötykerroimella painotettujen päästötuloksien laskentakaava on

$$Y_{UFW} = UF(R) \cdot Y_{PT} + [1 - UF(R)] \cdot Y_{VT} \quad (2)$$

jossa

Y_{UFW} = hyötykerroimella painotettu mitatun kaasun päästöt grammoina maililla

$UF(R)$ = hyötykerroin yhdellä ajosyklillä

Y_{PT} = päästöt (g/maili) purkutilan testissä

Y_{VT} = vakiovaraustilan päästöjen painotettu massa (g/maili) kuten on laskettu edellisessä kaavassa [4, s. 48–52.]

3.4.2 Polttoaineen ja sähköenergiankulutus

Sähköenergiankulutus lasketaan latauksen yhteydessä. Jotta tätä tietoa voitaisiin hyödyntää, pitää se laskea purkutilan ajosyklin kohdalla erikseen. Laskenta voidaan suorittaa kaavalla numero 3:

$$E_{pti} = \frac{E_{dci}}{\sum_{i=1}^{\text{viimeinen pt sykli}} E_{dci}} \cdot E_{ac} \quad (3)$$

jossa

Viimeinen pt sykli = Viimeinen purkutilan ajosykli, sillä latausenergia on jaettu kaikkien syklien kesken

E_{pti} = i:nnen syklin kulutettu energia wattitunteina.

E_{dci} = kulutettu ajoakun energia i:nnessä syklissä. Se on määritelty ampeeritunneiksi kerrottuna keskimääräisellä akun jännitteellä.

E_{ac} = latauksessa sähköverkosta otettu kokonaisenergia

Kulutettu energia mitataan suoraan niillä mittalaitteilla, joita on aiemmin kerrottu tarvittavan. Keskimääräinen jännite on määritelty alussa ja lopussa olleiden jännitteiden keskiarvona ajosyklissä.

Sähköenergiankulutus voidaan laskea vaihtoehtoisesti myös kaavalla numero 4.

$$WhAC_s = Ah_s \cdot \frac{Wh AC_c}{Ah DC_c} \quad (4)$$

jossa

$WhAC_s$ = yhden syklin aikana kulutettua sähkövarausta vastaava akkuun siirretty energia

Ah_s = yhden syklin aikana kulutettu sähkövaraus

$Wh AC_c$ = latauksessa vaihtosähköisesti verkosta siirretty energia

$Ah DC_c$ = latauksessa akkuun siirretty sähkövaraus

Vakiovaraustilan kohdalla oletetaan, että kaikki tarvittavasta energiasta saadaan polttoaineesta. Polttoaineen kulutus lasketaan samaan tapaan painotetuilla kertoimilla kuin päästötkin tavallisessa ja kylmässä UDDS-ajosyklissä seuraavan kaavan avulla:

$$Y_{CS} = 0.43 \cdot \frac{Y_1}{D_1} + 0.57 \cdot \frac{Y_2}{D_2} \quad (5)$$

jossa

Y_{CS} = kulutettu polttoaine mailia kohti

Y_1 = kulutettu polttoaine ensimmäisessä ajosyklissä gallonina

D_1 = ajettu matka ensimmäisessä ajosyklissä maileina

Y_2 = kulutettu polttoaine toisessa ajosyklissä gallonina

D_2 = ajettu matka toisessa ajosyklissä maileina

Muissa testeissä otetaan huomioon vain jälkimmäinen ajosykli.

Varauksen purkutilassa ei painoteta tuloksia polttoaineen kulutuksesta eri vaiheiden välillä, mutta kokonaistulokset painotetaan hyödyllisyyskertoimen mukaan. Ylemmällä kaavalla lasketaan tulokset polttoaineenkulutukselle ja alemmalla vaihtosähköenergiankulutus.

$$Y_{UFW} = UF(R_{CDC}) \cdot Y_{PT} + [1 - UF(R_{CDC})] \cdot Y_{VT} \quad (6)$$

$$E_{UFW} = UF(R_{CDC}) \cdot E_{PT} + (1 - UF(R_{CDC})) \cdot E_{VT} \quad (7)$$

jossa

Y_{UFW} = hyödyllisyyskertoimella painotettu polttoaineen kulutus gallonaa maililla

E_{UFW} = hyödyllisyyskertoimella painotettu vaihtosähköenergiankulutus [Wh/maili]

$UF(R_{CDC})$ = hyödyllisyyskerroin yhdellä ajosyklillä

Y_{PT} = polttoaineenkulutus [gal/maili] purkutilan testissä

Y_{VT} = polttoaineenkulutus [gal/maili] vakiovaraustilan testissä

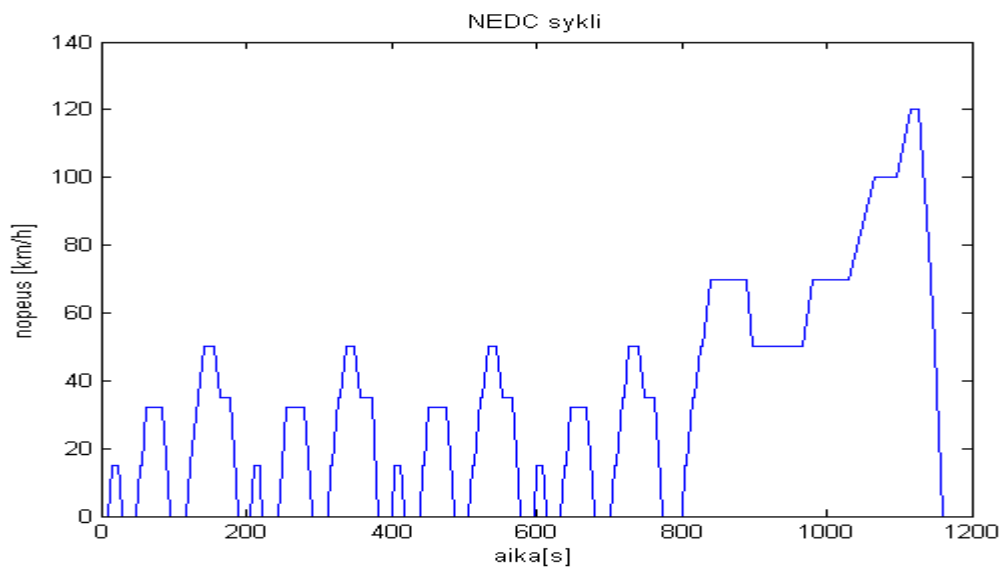
E_{PT} = vaihtosähköenergiankulutus (Wh/maili) purkutilan testissä

E_{VT} = vaihtosähköenergiankulutus (Wh/maili) vakiovaraustilan testissä [4, s.53 ja 6, s.10]

4 Hybridiajoneuvojen energiankulutuksen ja päästöjen mittaaminen EN-normin mukaan

4.1 Valmistelut

EN-normin mukaiset testit ajetaan NEDC-ajosyklillä. Sen alussa on neljä kaupunkiajosykliä, joista yhden kesto 195 sekuntia ja pituus 1,013 km, kuvaajan muoto näkyy seuraavassa kuvassa (kuvio 7). Lopussa on maantieajosykli, joka kestää 400 s ja jonka pituus on 6,955 km. Yhteensä NEDC-syklille tulee ajallista kestoja 1180 s ja pituutta 11,007 km.



Kuvio 7. Eurooppalaisen ajotestin kuvaaja [3]

Testausprosessi aloitetaan tyhjentämällä auton sähkömoottorin käyttämä ajoakku. Ajoakku ajetaan tyhjäksi testiradalla tai alustadynamometrillä tasaisella nopeudella 50km/h, kunnes polttomoottori käynnistyy ja akun varaus on käytetty. Jos ajoneuvo ei

pysty saavuttamaan nopeutta 50km/h ilman, että polttomoottori käynnistyy kiihdytystä varten, tulee akku tyhjentää pienemmällä tasaisella nopeudella. Kolmas vaihtoehto on noudattaa valmistajan ohjeita. Polttomoottorin tulee sammua kymmenessä sekunnissa siitä kun se käynnistyy. Näin testataan ajoneuvon toiminta, jotta sitä voidaan käyttää varsinaisessa testissä.

Ennen testin aloittamista auto tulee pitää tilassa, jonka lämpötila on 20 ja 30 celsiusasteen välissä. Pienin aika on kuusi tuntia, ja sitä jatketaan kunnes moottorin öljyn ja jäähdytinnesteen lämpötila on kahden kelvinin tarkkuudella sama kuin huoneenlämpötila. [7, s.70–71.]

4.2 Latauksen purkutila

Kun auto halutaan testata täyden latauksen tilassa, tulee akku ladata täyteen ennen testiä. Lataus voidaan suorittaa auton sisäisellä tai ulkoisella latauslaitteella 20–30 celsiusasteen lämpötilassa. Suurin latausaika on 12 tuntia, paitsi jos auton vakiolaitteisto selvästi ilmoittaa kuljettajalle, ettei akku ole vielä täysi. Siinä tapauksessa suurin aika on kolme kertaa ilmoitettu akun kapasiteetti (Wh) jaettuna latauslaitteen teholla (W).

Testi aloitetaan käynnistämällä auto tavallisesti kuljettajalle annetuin keinoin. Näytteenotto aloitetaan auton käynnistämisestä ja lopetetaan viidentenä olevan kaupunkiajosyklin tyhjäkäyntiosioon. Pakokaasut kerätään analysoitavaksi. Hiilidioksidipäästö- ja polttoaineenkulutustiedot otetaan talteen grammoina ja litroina. Jos autossa on säädin, jolla voi valita kuinka paljon käytetään sähkömoottoria vai käytetäänkö ollenkaan, valitaan se tila, jossa se käyttää eniten sähkömoottoria.

30 minuutin kuluessa testin päättymisestä sähköinen ajoakku ladataan täyteen samalla tapaa kuin aikaisemmin. Sähköenergianmittausvälineet kytketään latauspistokkeen ja latauslaitteen väliin. Sillä mitataan autoon siirretyn sähkön määrää. Sähköenergian kulutus täyden latauksen tilassa on e_1 (WhAC). [7, s. 71–72.]

4.3 Vakiovaraustila

Auton testaaminen aloitetaan ajoakku tyhjennettynä ja se lopetetaan kaupunkiajosyklin tyhjäkäyntiosioon. Pakokaasut kerätään analysoitavaksi. Hiilidioksidipäästö- ja polttoainenkulutustiedot otetaan talteen grammoina ja litroina. Jos autossa on säädin, jolla voi valita, kuinka paljon käytetään polttomoottoria vai käytetäänkö ollenkaan, valitaan se tila, jossa se käyttää eniten polttomoottoria.

Testin loputtua akku ladataan täyteen 30 minuutin kuluessa testin päättymisestä samoin kuin latauksen purkutilassa. Siirretty energia e_2 ilmoitetaan wattitunteina. Tämän jälkeen akku tyhjenetään jälleen. 30 minuutin kuluessa tyhjentämisestä ladataan jälleen täyteen. Jälkimmäisen latauksen energia e_3 mitataan latauslaitteen ja latauspistokkeen väliltä, kuten muissakin latauksissa. Energiankulutus e_4 vakiovaraustilalle on: $e_4 = e_2 - e_3$. Tämän tuloksen pitäisi olla nolla, koska auto toimii vakiovaraustilassa ja ajoakun kokonaisvaraus ei muutu. [7, s. 72–73.]

4.4 Tulosten ilmoittaminen

Pakokaasupäästöjen arvot ovat $M_1 = m_1/D_1$ ja $M_2 = m_2/D_2$ [g/km]. D_1 ja D_2 ovat todelliset ajetut etäisyydet purku- ja vakiovaraustiloissa, m_1 ja m_2 ovat näiden osioiden pakokaasupäästöt grammoina.

Painotetut pakokaasupäästöt halutulle komponentille lasketaan seuraavalla tavalla:

$$M = (D_e \cdot M_1 + D_{av} \cdot M_2) / (D_e + D_{av})$$

jossa

M = pakokaasupäästöt grammoja per kilometri

M_1 = pakokaasupäästöt grammoja per kilometri täyteen ladatulla ajoakulla

M_2 = pakokaasupäästöt grammoja per kilometri tyhjällä ajoakulla

D_{av} = 25km (keskimääräinen etäisyys kahden latauksen välillä)

D_e = ajoneuvon sähköinen toimintasäde

Polttoaineen kulutuksen arvot ovat $C_1 = 100 \cdot c_1 / D_1$ ja $C_2 = 100 \cdot c_2 / D_2$ [l / 100km]. D_1 ja D_2 ovat todelliset ajetut etäisyydet purku- ja vakiovaraustiloissa, c_1 ja c_2 ovat näiden osioiden polttoaineen kulutus litroina.

Painotetut polttoaineen kulutuksen arvot lasketaan seuraavasti:

$$C = (D_e \cdot C_1 + D_{av} \cdot C_2) / (D_e + D_{av})$$

jossa

C = polttoaineen kulutus litraa sadalla kilometrillä

C_1 = polttoaineen kulutus litraa sadalla kilometrillä täyteen ladatulla ajoakulla

C_2 = polttoaineen kulutus litraa sadalla kilometrillä tyhjällä ajoakulla

D_{av} = 25km (keskimääräinen etäisyys kahden latauksen välillä)

D_e = ajoneuvon sähköinen toimintasäde

Sähköenergiankulutuksen arvot ovat $E_1 = e_1 / D_1$ ja $E_4 = e_4 / D_2$ [Wh/km]. D_1 ja D_2 ovat todelliset ajetut etäisyydet purku- ja vakiovaraustiloissa, e_1 ja e_4 ovat näiden osioiden sähköenergiankulutus wattitunteina kilometriä kohden.

Painotetut sähköenergian kulutuksen arvot lasketaan seuraavasti

$$E = (D_e \cdot E_1 + D_{av} \cdot E_4) / (D_e + D_{av})$$

jossa

E = sähköenergian kulutus wattitunteja kilometriä kohden

E_1 = sähköenergian kulutus wattitunteja kilometriä kohden täyteen ladatulla ajoakulla

E_4 = sähköenergian kulutus wattitunteja kilometriä kohden tyhjällä ajoakulla

D_{av} = 25km (keskimääräinen etäisyys kahden latauksen välillä)

D_e = ajoneuvon sähköinen toimintasäde

[7, s.74-75]

4.5 Sähköisen toimintamatkan määrittäminen

4.5.1 Testin olosuhteet

Testattavan ajoneuvon renkaitten tulee olla valmistajan ohjeiden mukaisissa ilmanpaineissa ja samassa lämpötilassa kuin ympäröivä ilma. Lisälaitteiden ja tarpeettomien valojen tulee olla pois päältä. Ajoakku tulee ladata täyteen.

Ajoneuvolla tulee olla ajettu vähintään 300 kilometriä viimeisen seitsemän päivän aikana sillä akustolla, joka on asennettu testiautoon. Ulkona suoritettavassa testauksessa ilman lämpötilan tulee olla viiden ja 32 celsiusasteen välillä. Sisätiloissa lämpötilan pitää olla 20–30 astetta. [7, s. 93.]

4.5.2 Sähköisen ajomatkan määrittäminen

Testi aloitetaan täyteen ladatulla ajoakulla. Sähköinen ajomatka määritetään ajamalla EN-normin mukaista ajosykliä varauksen purkutilassa, kunnes ajoakku on tyhjä ja polttomoottori käynnistyy. Silloin testi lopetetaan ja auto sammutetaan. Tämä tapahtuu hidastamalla auton vauhti nopeuteen 5 km/h nostamalla kaasupoljin, ja tämän jälkeen auto jarrutetaan pysähdyksiin.

Testi lopetetaan myös silloin, jos purkutilassa ei enää saavuteta nopeutta 50 km/h tai kiihtyvyys ei enää riitä saavuttamaan ajosyklin tasoa.

Eri ajosykliden välissä on lupa pitää kolme taukoa, joiden pitää olla yhteiskestoltaan alle 15 minuuttia. Lopullinen sähköllä ajettu matka eli tulos pyöristetään lähimpään kokonaisnumeroon. [7, s. 94–95.]

5 Käytännön mittaukset

5.1 Toyota Prius

5.1.1 Yleistietoa autosta

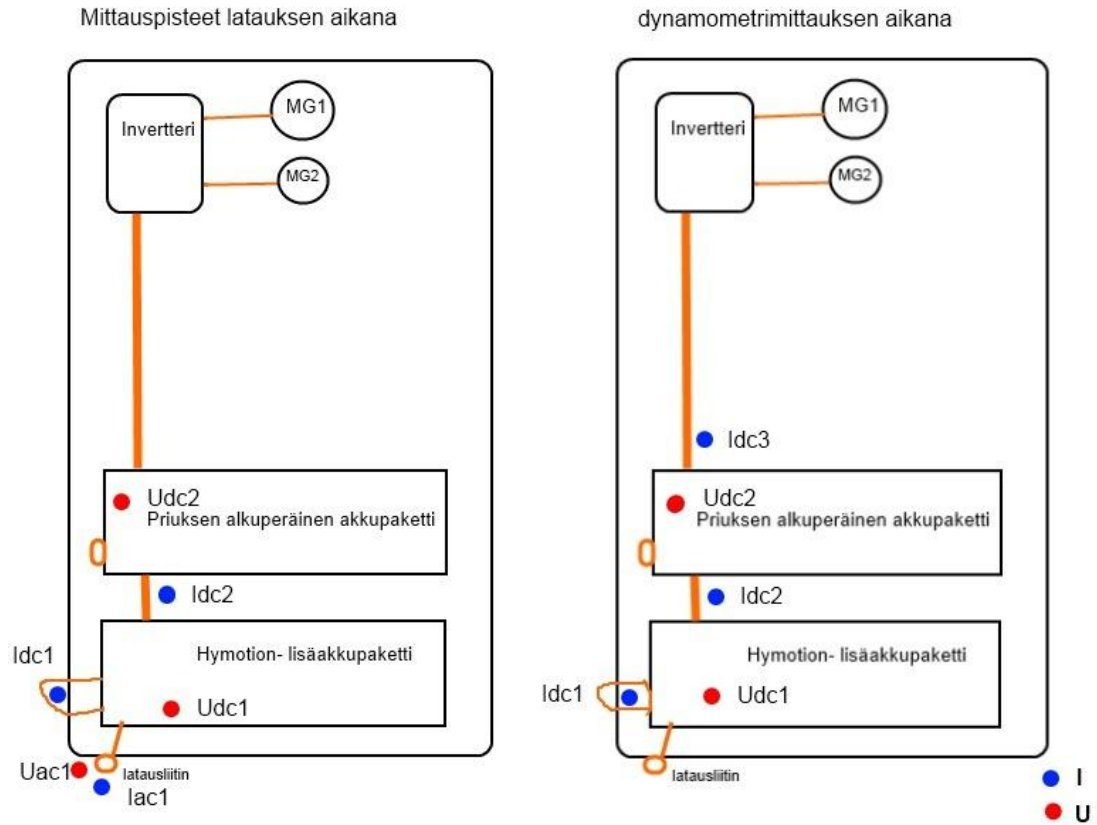
Mittauksissa käytetty auto oli Metropolia Ammattikorkeakoulun omistama Toyota Prius. Kyseistä mallia on valmistettu vuosina 2004–2009, ja se on toinen Prius-malli. Se on

rinnakkaishybridi, jossa on polttomoottori ja kaksi sähkömoottoria. Ensimmäinen sähkömoottori, jonka teho on 50 kW, siirtää tehoa pyörille. Sillä voidaan ajaa pelkästään, tai se avustaa polttomoottoria. Toisen sähkömoottorin tehtävä on käynnistää polttomoottori ja toimia generaattorina auton alkuperäiselle akkupaketille. Polttomoottorina toimii Toyotan iskutilavuudeltaan 1,5 l:n kokoinen Atkinsonin työkiertoa hyödyntävä ottomoottori.

Autossa on kaksi korkeajänniteakkupakettia. Ensimmäinen on Toyotan alkuperäinen, joka sijaitsee autossa aivan takapenkin takana tavaratilan maton alla. Se siirtää energiaa auton invertterille ja sitä kautta sähkömoottorille. Jarrutuksissa regeneroitava sähköenergia siirretään tähän akkuun. Toinen on jälkiasenteinen Hymotion-merkkinen litiumionityyppinen akku, jonka varastointikapasiteetti on noin 5 kWh täyteen ladattuna. Sitä voi ladata yksivaiheisella verkkovirralla, lisäakkupaketti syöttää ajossa virtaa alkuperäisen akun rinnalla DC-DC-muuntimen kautta. Muunnin on yksisuuntainen, eli lisäakkupaketti ei lataudu ajon aikana. Molempien akkujen varaustilaa voi seurata auton omalta näytöltä. Molemmat akut saadaan jännitteettömiksi irrottamalla huoltoerotimen. [8, s. 2–9.]

5.1.2 Valmistelut

Mittauksissa käytettyyn Priukseen piti asentaa kaksi jännitteen- ja virranmittauspistettä. Ensimmäisestä mittauspisteestä mitattiin lisäakuston jännite ja 500 A pihtivirtamittarilla lisäakustolta alkuperäiselle akkupaketille menevä virta. Toisessa mittapisteessä alkuperäistä akkupakettia purettiin ja sen navoille kiinnitettiin mittajohdot jännitteen mittaamiseksi. Alkuperäiseltä akkupaketilta invertterille menevän plus-johdon ympärille asetettiin 500 A:n pihtivirtamittari virran mittaamista varten. Käytettyjen mittapisteiden sijainnit näkyvät seuraavassa kuvassa (kuvio 8).



Kuvio 8. Mittauspisteet autossa

Takapenkki ja osa verhoilusta piti purkaa, jotta akkupaketteihin ja oranssilla merkittyihin korkeajännitejohtoihin päästiin käsiksi. Autoon vaihdettiin kesärenkaat, jotta sillä voitaisiin ajaa dynamometrillä. Renkaiden ilmanpaineet asetettiin valmistajan suositusten mukaisiksi.

Mittauksissa ei käytetty pakokaasun mittausta, vaan asennettiin polttomoottorille menevän bensiinin mittaamista varten virtausmittari. Virtausmittarin asentamiseksi auton polttoaineletku katkaistiin ja virtausmittari liitettiin polttoainelinjan ja polttomoottorin väliin, kuten seuraavasta kuvasta (kuva 1) näkyy. Tuulilasinpyyhkijät ja niiden kotelo piti irrottaa tarvittavan tilan aikaansaamiseksi. Virtausmittari tarvitsee käyttöjännitteen ja se saatiin nelinapaisella kytkevällä mikroreleellä. Heräte releen navalle 87 otettiin oikeanpuolen ajovalon sulakkeelta, koska ajovalot kytkeytyvät automaattisesti päälle kun auto käynnistetään.



Kuva 1. Virtausmittari polttoainelinjaston välissä

5.1.3 Mittaukset

Dynamometrimittauksissa jännite- ja virtatiedot kerättiin Hioki 3390 -tehoanalysaattorilla. Sen jälkeen ne siirrettiin Dewe 201 -dataloggerille. Dataloggerille kytkettiin myös virtausmittarin antamat tiedot, auton väyläjärjestelmän tiedot diagnosiliittimen kautta sekä dynamometrin nopeus ja kuormatieto. Dynamometrin nopeus ja kuormatieto kytkettiin ensin tehoanalysaattorin analogisiin sisääntuloihin BNC-liittimillä ja sen jälkeen ne siirrettiin dataloggerille. Tehoanalysaattorilla kerättiin myös teho ja energiatiedot.

Latauksessa siirrettävää energiaa mitattaessa käytettiin vain Hioki-tehoanalysaattoria, koska väylätietoja ja polttoaineenkulutusta ei mitattu latauksen aikana eikä dataloggaukselle näin ollen ollut tarvetta. Mittausasetelmaa muutettiin hieman verrattuna dynamometrillä tehtyihin mittauksiin. Yhdessä mittauspisteessä mitattiin akkuun ladattavan vaihtosähköisen energian jännite ja virta. Toisessa mittauspisteessä mitattiin lisäakun jännite sekä akun huoltoerottimen tilalle asetetulla virtasilmukalla virta. Virtasilmukka näkyy seuraavassa kuvassa (kuva 2).



Kuva 2. Akkuun menevän tasasähköisen virran mittaus virtasilmukalla

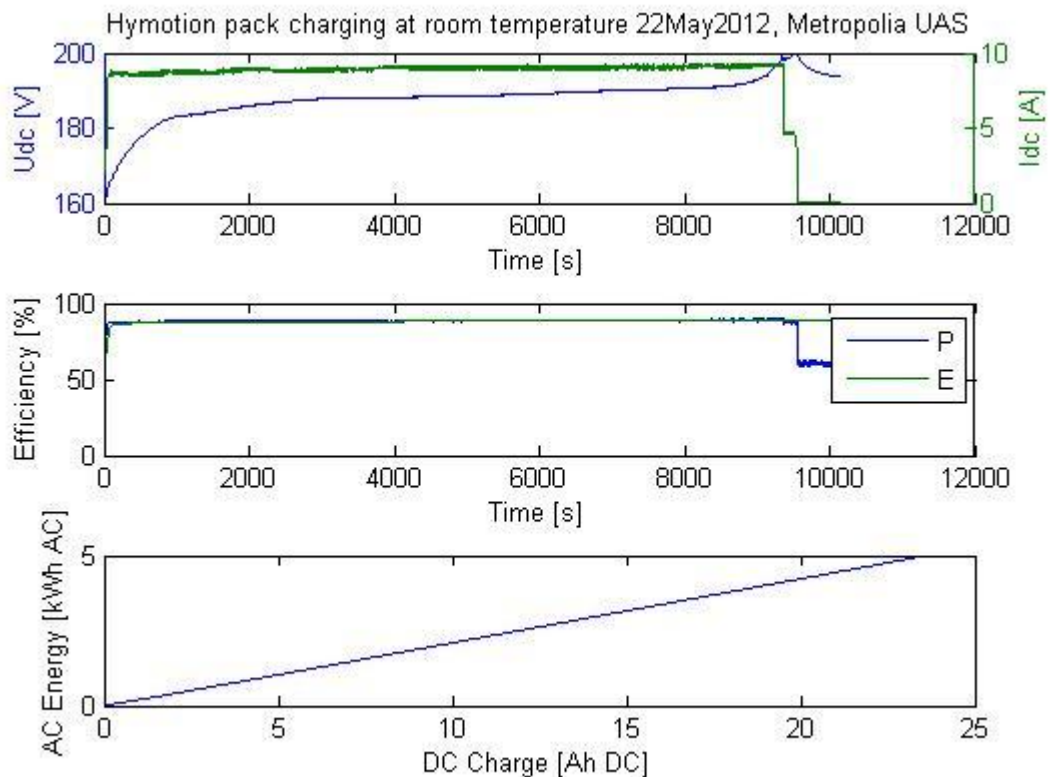
Mittausten aikana mittauslaboratorion lämpötila oli sallittujen rajojen sisällä eli noin 22 celsiusastetta. Auton polttoaineena käytettiin 95-oktaanista bensiiniä.

5.1.4 Tulokset

Sähköisen ajomatkan pituus määritettiin mittausdatasta arvioiden. Sähköinen ajomatka katsottiin käytetyn, kun lisäakustolta alkuperäiselle akulle siirtyvä virta oli nolla. Autolla ajettiin niin monta ajosykliä kuin tarvittiin akun varauksen tyhjentämiseksi. Autolla pysyttiin ajamaan kolme täyttä sykliä ja neljännessä syklissä auto siirtyi latauksen purkutilas-

ta vakiovaraustilaan. Näin ollen sähköinen ajomatka (R_{CD}) mittauksissa käytetylle Toyota Priukselle on lähimpään kokonaisnumeroon pyöristettynä 36 km.

Kaikki dynamometrillä ajettavien mittausten tulokset saatiin viidestä peräkkäin ajettua ajosyklistä. Latauksen purkutilan sähköenergian kulutustiedot saatiin toisesta ajettua ajosyklistä, joka oli vakiovaraustilassa ajettujen kolmen ajosyklin mediaanitulos. Vakiovaraustilan tulokset saatiin viidennestä ajosyklistä. Ajansäästämiseksi ajosykli ajettiin peräkkäin. Näin voidaan menetellä, koska kulutettu tasasähköinen energia vastaa lineaarisessa suhteessa akkuun ladattua vaihtosähköistä virtaa. Yhden ajosyklin virrankulutus vastaa samassa suhteessa kokonaiskulutuksesta akkuun ladatun energian määrää. Jos ensimmäisessä ajosyklissä virrankulutus on 30 % kulutetusta energiasta, se vastaa myös 30 % akkuun ladatusta vaihtosähköisestä energiasta. Kuviossa 9 näkyy alimmas- sa kuvaajassa hyvin kuinka lineaarinen suhde ladatulla vaihtosähköisellä energialla on kulutettuun tasasähköiseen energiaan.



Kuvio 9. Virta ja jännite latauksen aikana, latauksen hyötysuhde, vaihto- ja tasasähköisen energian suhde latauksessa.

Seuraavassa taulukossa (taulukko 1) näkyvät polttoaineen kulutus ja tarvittava sähköenergian määrä. Hiilidioksidipäästöissä on laskettu käytetystä polttoaineesta syntyvät päästöt (2.35 kg/l) sekä käytetyn sähköenergian tuotannosta syntyvät päästöt (292 g/kWh). [9]

Taulukko 1. Mittausten tulokset

Ajotilat erikseen Varauksenpurkutila			Vakiovaraus tila		
Sähkö Wh/ km	Polttoaine l/ 100 km	Hiilidioksidi g/ km	Sähkö Wh/ km	Polttoaine l/ 100 km	Hiilidioksidi g/ km
128,7	2,44	94,9	0	6,12	143,8
Ajotilat yhdistettynä ECE E101			UF - EU		
Sähkö Wh/ km	Polttoaine l/ 100 km	Hiilidioksidi g/ km	Sähkö Wh/km	Polttoaine l/ 100 km	Hiilidioksidi g/km
75,9	3,95	115,0	65,63	4,24	118,88

5.1.5 Päätelmät

Sähköinen ajomatka määritettiin tulosten laskemista varten, mutta se kertoo myös sen, kuinka pitkä matka on täysin mahdollista ajaa sähköisesti. Jos ajaisi tasaisella nopeudella eteenpäin, ei akun varaus riittäisi näin pitkälle matkalle. Normaaleissa ajotilanteissa autolla myös hidastetaan, ja tällöin akkuun regeneroituu lisää energiaa, joten erityisesti kaupunkiajossa tuon 36 kilometrin matkan ajaminen sähköisesti on hyvinkin mahdollista.

Polttoaineenkulutuksen tulos on odotusten mukainen. Sähköinen energiankulutuskin on hybridiautoille tyypillistä. Hiilidioksidipäästöt yhteensä eivät ole mitenkään erityisen pienet vaan jopa hieman suuremmat kuin vastaavan kokoisen dieselkäyttöisen auton. Jos taas otetaan huomioon vain auton tuottamat paikalliset päästöt, hiilidioksidipäästöt ovat alle pienimpien markkinoilla olevien otto- tai dieselmoottoristen autojen. Polttoainetaloudeltaan Toyota Prius, johon on lisätty ylimääräinen akkupaketti, on polttoainetaloudeltaan hyvä etenkin kaupunkiajossa, jossa auton hybridiominaisuuksista on enemmän hyötyä.

Lähteet

- 1 SAE J2841. 2010. Utility Factor Definitions for Plug-In Hybrid Electric Vehicles. SAE International.
- 2 Utility Factor Fraction. Verkkodokumentti. <<http://priuschat.com/attachments/uf-jpg.32138/>>. Luettu 3.6.2012
- 3 Ruotsalainen, Sami. 2009. Utility factor comparison. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 4 SAE J1711. 2010. Recommended Practice for Measuring the Exhaust Emissions and Fuel Economy of Hybrid-Electric Vehicles, Including Plug-In Hybrid Vehicles. SAE International.
- 5 Testing and Measuring Emissions. Verkkodokumentti. U.S. Environmental Protection Agency <<http://www.epa.gov/nvfe/testing/dynamometer.htm>>. Luettu 24.4.2012.
- 6 SAE J2841. 2009. Utility Factor Definitions for Plug-In Hybrid Electric Vehicles. SAE International.
- 7 ECE Regulation 101. 29.4.2005.
- 8 Stenberg ja Marttinen. 2009. Flexifuel- ja plug-in-tekniikan vaikutus CO₂-päästöihin hybridiajoneuvossa. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 9 Duoba, M., Carlson, R. & Bocci, D. 2009. Calculating Results and Performance Parameters for PHVEs. Argonne National Laboratory.
- 10 Ekologinen auto. 2012. Verkkodokumentti. Trafi. <http://www.trafi.fi/ekoautoilu/auton_valinta/ekologinen_auto>. Luettu 29.5.2012.

Dewetron 201 -mittalaitteella logattua mittausdataa

Viisi peräkkäin ajettua Eurooppa-ajosykliä



Mittausdataa lisäakun latauksesta

Keskimääräiset virta ja jännite, siirretty teho, siirretty energia

