

Jan Rautalin

Moottorin esilämmityksen vaikutukset

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinööriytyö

24.9.2013

Tekijä Otsikko	Jan Rautalin Moottorin esilämmityksen vaikutukset
Sivumäärä Aika	45 sivua 24.9.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	autosähkötekniikka
Ohjaajat	Lehtori Vesa Linja-aho Erikoistutkija Juhani Laurikko, VTT
<p>Tutkimuksen tarkoitus oli selvittää nykyaikaisten polttomoottorien esilämmittämisen vaikutuksia ajoneuvon energiankulutukseen ja pakokaasupäästöihin kylmissä olosuhteissa. Tehtävänä oli vertailla tarjolla olevia esilämmitintyyppisiä ja niiden vaikuttavuutta. VTT:n toimeksiannosta tehty tutkimus toteutettiin kirjallisuusselvityksenä, asiantuntijahaastatteluna sekä VTT:n ajoneuvolaboratoriossa tehdyin mittauksin.</p> <p>Kokeellinen osuus jaettiin kahteen vaiheeseen. Aluksi tutkittiin valittujen esilämmittimien toimintaa mittaamalla lämmitysaikaa ja lämpötiloja moottorista eri ulkolämpötiloissa. Toisessa vaiheessa valituille autoille tehtiin standardin mukaiset energiankulutus- ja päästömittaukset (lämpötiloissa 0, -7 ja -20 °C) sekä ilman esilämmitystä että esilämmitettynä.</p> <p>Mittaustulosten perusteella nykyaikaisen polttomoottorin esilämmittäminen säästää jonkin verran polttoainetta ensimmäisen neljän ajokilometrin aikana. Vertailtaessa kylmää (-20 °C ja -7 °C) ja esilämmitettyä moottoria bensiiniä säästy keskimäärin n. 5 %, dieseliä n. 11 % ja E85:tä n. 9 %. Yhdessäkään tämän tutkimuksen tapauksista esilämmityksen tuoma polttoaineen säästö ei kuitenkaan riittänyt kattamaan säästön synnyttämiseen tarvittavan energian kulutusta.</p> <p>Mittaustulosten perusteella esilämmittämisellä on suotuisa vaikutus kylmäkäynnistystä seuraavien neljän ensimmäisen ajokilometrin aikana tapahtuviin pakokaasupäästöihin. Terveydelle erityisen haitallisena pidettyjen palamattomien hiilivetyjen (HC) päästöt alenivat määrällisesti etenkin bensiiniä ja E85:tä käyttävissä autoissa. Kylmissä lämpötiloissa (-20 °C ja -7 °C) HC-päästöt alenivat keskimäärin suhteellisesti 56 % (bensiini), 74 % (diesel), 42 % (E85) ja 57 % (hybridi). Leudommassa 0 °C:n lämpötilassa tehdyissä mittauksissa HC-päästöt alenivat keskimäärin 33 % (bensiini), 50 % (diesel) ja 42 % (hybridi).</p> <p>Esilämmityksellä näyttää tutkimustulosten valossa olevan myös partikkelipäästöjä ensimmäisen neljän ajokilometrin aikana merkittävästi alentava vaikutus. Kylmissä lämpötiloissa (-20 °C ja -7 °C) suorasuihkutteisen bensiinimoottorin PM-päästöt alenivat keskimäärin suhteellisesti 63 % ja 0 °C:ssa noin 23 %.</p>	
Avainsanat	moottori, esilämmitys, lohkolämmitin, kontaktilämmitin, kylmäpäästöt, lähipäästöt, kylmäkäynnistys

Author(s) Title	Jan Rautalin The Effects of Preheating Automotive Engines
Number of Pages Date	45 pages 24 September 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Electronics Engineering
Instructor(s)	Vesa Linja-aho, Senior Lecturer Juhani Laurikko, Principal Scientist, VTT
<p>The focus of this Bachelor's thesis was to evaluate the effects of engine preheating units on the energy consumption and exhaust emissions of current type internal combustion engines in cold climate conditions. Different types of preheaters and their effects were compared. The study was commissioned by VTT and it is based on literature, expert interviews, selected previous studies and laboratory testing implemented at VTT vehicle laboratory.</p> <p>During the first of two phases of laboratory testing various preheaters were used in different ambient temperatures. Engine temperatures from selected engine locations were monitored in order to determine optimal heating cycles for each type of preheater. During the second phase a series of standardised exhaust emission tests were carried out for both cold and preheated engines in three different ambient temperatures (0, -7 and -20 °C).</p> <p>According to test results, preheating has some positive effects on fuel consumption during the first four kilometres following the start. In cold conditions (-20 °C and -7 °C) the average savings were 5% (petrol), 11% (diesel) and 9% (E85). However, in all tests the amount of energy consumed by the preheater was greater than the amount saved by using it.</p> <p>Moreover, preheating has positive effects on exhaust emissions during the first four kilometres. Especially the reduction of harmful hydrocarbons (HC) was significant in engines that use either petrol or E85. In cold conditions (-20 °C and -7 °C) the average HC reductions were 56% (petrol), 74% (diesel), 42% (E85) and 57% (hybrid). In milder conditions of 0 °C the average HC reductions were accordingly 33% (petrol), 50% (diesel), and 42% (hybrid).</p> <p>The study also shows that preheating significantly reduces the amount of particulate matter (PM) in the exhaust emissions of current petrol engines using direct injection technology (DISI). During the first four kilometres following the start the PM reduction in cold conditions (-20 °C and -7 °C) was approximately 63%. In milder conditions of 0 °C the average PM reduction was about 33%.</p>	
Keywords	engine preheating, electric preheater, exhaust emissions

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Laitteistokatsaus	1
2.1	Esilämmityslaitteiden ryhmittely	2
2.2	Sähkölämmittimet	3
2.3	Nestelämmittimet (230 V)	4
2.4	Kontaktilämmittimet (230 V)	5
2.5	Huomioitavaa käytettäessä sähkölämmittimiä	6
2.6	Sähkölämmittimien asennuksesta	6
2.7	Polttoainekäyttöiset lämmittimet	7
2.8	Huomioitavaa käytettäessä polttoainekäyttöistä lämmitintä	8
2.9	Polttoainekäyttöisen lämmittimen asennuksesta	9
3	Koejärjestelyt ja -menetelmät	10
3.1	Mittausten valmistelu	11
3.2	Alustadynamometri ja kylmäkoetila	11
3.3	Moottorien lämpötilamittaukset esilämmityskokeissa	13
3.4	Ajoneuvon sähköjärjestelmästä tehdyt mittaukset	14
3.5	Verkkovirran (230 V) kulutusmittaukset	17
3.6	Polttoainekäyttöisen lämmittimen kulutusmittaukset	18
3.7	Testiajoneuvojen tekniset tiedot	19

4	Aikaisemmin tehdyt vertailumittaukset	20
5	Mittaustulokset	22
5.1	Lämmityslaitteiden lämmitys- ja virrankulutuskokeet	22
5.2	Lämmityslaittekokeiden tulosten soveltaminen energiankulutus- ja päästömittauksiin	26
5.3	Energiankulutus kylmällä ja esilämmitetyllä moottorilla	26
5.4	Palamattomien hiilivetyjen (HC) päästöt kylmällä ja esilämmitetyllä moottorilla	31
5.5	Partikkelipäästöt (PM) kylmällä ja esilämmitetyllä moottorilla	33
6	Mittaustulosten analysointi	35
6.1	Polttoaineen kulutus	35
6.2	Pakokaasupäästöt	38
6.3	Verkkovirran kulutus	38
6.4	Polttoainetoimisen esilämmittimen kulutus	40
6.5	Testiajoneuvon n:o 1 lämmityslaittekokeet	40
6.6	Vertailu vuoden 2003 mittaustuloksiin	40
7	Yhteenveto ja suositukset	42
	Kiitokset	44
	Lähteet	45

Lyhenteet

NEDC	New European Drive Cycle. Standardoiduissa päästötesteissä käytetty ajosykli
EUDC	Extra Urban Drive Cycle. NEDC-ajosyklin lopussa oleva maantieajoa simuloiva osuus.
ECE	(UN/ECE) United Nations Economic Commission for Europe. Kansainvälisillä sopimuksilla perustettujen elinten antamia säädöksiä hallinnoiva toimielin.
OBD	On-Board Diagnostics. Ajoneuvon sisäinen valvontajärjestelmä
HC	Hydrocarbons. Palamattomat hiilivety-yhdisteet pakokaasuissa.
PM	Particulate Matter. Pakokaasujen hiukkaspäästöt.
DPF	Diesel Particulate Filter. Dieselhiukkassuodatin.
PTC	Positive Temperature Coefficient. Esimerkiksi PTC-vastus on vastus, jonka resistanssi kasvaa lämpötilan noustessa.
DISI	Direct Injection Spark Ignition. Polttoaineen suorasuihkutus (bensiinimootoreissa).

1 Johdanto

Tutkimuksen tarkoitus oli selvittää nykyaikaisten polttomoottorien esilämmittämisen vaikutuksia ajoneuvon energiankulutukseen ja pakokaasupäästöihin kylmissä olosuhteissa. Tehtävänä oli vertailla tarjolla olevia esilämmitintyyppisiä ja niiden vaikuttavuutta. Tutkimuksessa tarkasteltiin myös esilämmityksen vaikutuksia ajoneuvon sähköjärjestelmän kuormitukseen.

Tutkimus toteutettiin VTT:n toimeksiannosta kirjallisuusselvityksenä, asiantuntijahaastatteluina sekä VTT:n ajoneuvolaboratoriossa tehdyin mittauksin.

Teoriaosuudessa on käsitelty aikaisempia tutkimustuloksia sekä kartoitettu markkinoilla olevia, uusiin autoihin tarkoitettuja esilämmittämiä sekä ohjausjärjestelmiä.

Kokeellinen osuus jaettiin kahteen vaiheeseen. Aluksi tutkittiin valittujen esilämmittimen toimintaa mittaamalla lämmitysaikaa ja lämpötiloja moottorista eri ulkolämpötiloissa (+5, -5, -10, -15, -20 °C). Mittausten tavoitteena oli löytää kullekin lämmitintyypille ns. tasapainolämpötila. Käytännössä tämä tarkoittaa optimaalisten lämmitysaikojen määrittämistä, joiden ylittäminen ei enää nosta moottorin lämpötilaa.

Kokeellisen osuuden toisessa vaiheessa valituille autoille tehtiin standardin mukaiset energiankulutus- ja päästömittaukset (lämpötiloissa 0, -7 ja -20 °C) ensin ilman esilämmitystä ja myöhemmin edellä määritettyyn tasapainolämpötilaan esilämmitettynä.

Tuloksina on esitetty esilämmityslaitteiden optimaalinen käyttöaika eri lämpötiloissa, teknisesti erilaisten lämmityslaitteiden käyttäytyminen sekä esilämmityksen vaikutus ajoneuvon päästöihin, energiankulutukseen sekä sähköjärjestelmän kuormitukseen eri lämpötiloissa.

2 Laitteistokatsaus

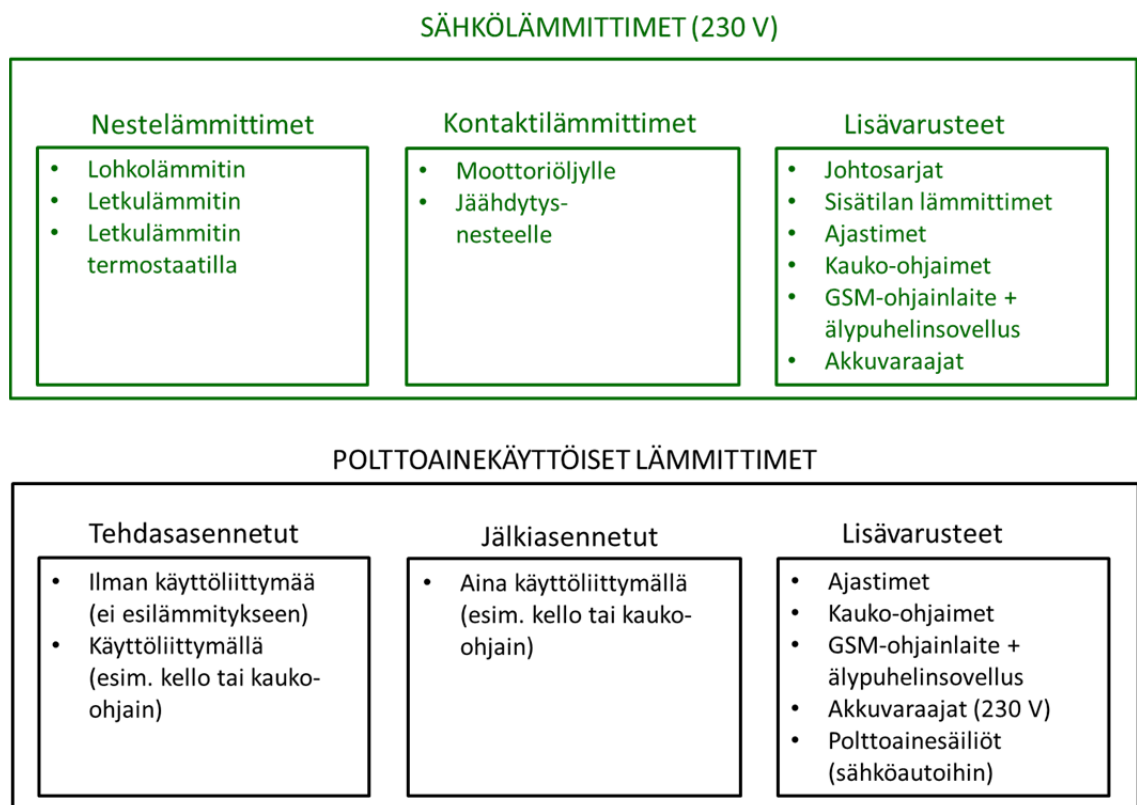
Tehokkain tapa esilämmittää auton polttomoottoria kylmissä olosuhteissa on lämmittää sen jäähdytysnestettä. Tämä voidaan tehdä joko verkkovirtaan liitetyillä sähkövastukseen perustuvilla moottorinlämmittimillä tai viime vuosina yleistyneillä polttoainekäyttöisillä lämmittimillä. Mikäli jäähdytysnestettä ei moottorin rakenteesta johtuen voida läm-

mittää, on toissijaisena mahdollisuutena käyttää moottorin ulkopintaan kiinnitettyä kontaktilämmitintä, jollaisella pyritään lähinnä lämmittämään moottoriöljyä, joskus myös jäähdytysnestettä.

Varsinkin dieselkäyttöisissä autoissa voi olla polttoainekäyttöinen lämmityslaite vakiovarusteena. Automallista riippuen laite voi kuitenkin olla tarkoitettu vain moottorin lisälämmön tuottamiseen sen käydessä, eikä sitä näin ollen voi käyttää esilämmitykseen.

2.1 Esilämmityslaitteiden ryhmittely

Moottorin esilämmitykseen käytettävät laitteet voidaan ryhmitellä kuvion 1 esittämällä tavalla.



Kuvio 1. Moottorin esilämmittimien ryhmittely

2.2 Sähkölämmittimet

Tutkimuksessa selvitettiin, minkä tyyppisiä sähkölämmittimiä on tarjolla tällä hetkellä myytäviin uusiin autoihin. Tarkastelu pohjautuu vuoden 2013 ensimmäisen vuosineljänneksen rekisteröintitilastojen perusteella tehtyyn arvioon suosituista automalleista. Rekisteröintitilastojen perusteella ei kuitenkaan käy ilmi, miten myynti on kunkin mallin osalta jakautunut eri moottori- ja varusteluvaihtoehtoihin. Tässä kohdin on taulukoissa 1 ja 2 turvauduttu ainoastaan arvioon siitä, mitkä bensiini- ja dieselpersot ovat olleet myydyimpiä.

Taulukko 1. Suosituihin bensiinikäyttöisiin autoihin saatavilla olevia lämmitintyyppisiä ja niiden tehoja.

Automalli	Lohkolämmitin	Säteilylämm.	Säteilylämm. (öljy)	Letkulämmitin
NISSAN QASHQAI 1.6 (2012–)			300 W	
VOLKSWAGEN GOLF 1.2 TSI (2013–)			300 W	
TOYOTA AVENSIS 1.8 (2012–)			300 W	
TOYOTA AURIS 1.33 (2013–)		300 W		
SKODA OCTAVIA 1.2 TSI (2010–)		300 W		
HONDA CR-V 2.0 i-VTEC (2013–)	600 W			
VOLKSWAGEN PASSAT 1.4 TSI (2013–)			300 W	
FORD FOCUS 1.0 EcoBoost (2012–)			300 W	
TOYOTA YARIS 1.0 (2011–)		300 W		
VOLVO V40		300 W	300 W	
KIA CEED 1.4/1.6 (2010–)			300 W	
BMW 320i (2012–)				600 W
AUDI A4 1.8 TFSI (2012–)				600 W
KIA RIO 1.2 (2012–)			300 W	
VOLVO V70			300 W	
OPEL ASTRA J 1.4 (2010–)			300 W	
FORD FIESTA 1.0 Ecoboost (2013–)			300 W	
BMW 528i (2011–)				600 W
VOLVO V60 1.6 T3 (2011–)			300 W	
HYUNDAI I30 1.4/1.6 (2010–)			300 W	

Taulukko 2. Suosituihin dieselkäyttöisiin autoihin saatavilla olevia lämmitintyyppejä ja niiden tehoja.

Automalli	Lohkolämmitin	Säteilylämm.	Säteilylämm. (öljy)	Letkulämmitin
NISSAN QASHQAI 1.6 dCi (2011–)			300 W	550 W
VOLKSWAGEN GOLF 1.6 TDI (2013–)			300 W	550 W
TOYOTA AVENSIS 2.2 D-4D (2012–)		300 W		600 W
TOYOTA AURIS 1.4 D-4D (2013–)			300 W	
SKODA OCTAVIA 1.6 TDI (2010–)				600 W
HONDA CR-V 2.2 i-DTEC (2013–)	600 W			
VOLKSWAGEN PASSAT 2.0 TDI (2011–)				600 W
FORD FOCUS 1.6 TDCi (2011–)	600 W			
TOYOTA YARIS 1.4 D-4D (2011–)			300 W	
VOLVO V40 D3 (2013–)				550 W
KIA CEED 1.6 CRDi (2012–)				550 W
BMW 316d (2012–)			300 W	
AUDI A4 2.0 TDI (2013–)			300 W	
KIA RIO 1.4 CRDi (2012–)				550 W
VOLVO V70 2.0 D3 (2010–)				550 W
OPEL ASTRA J 1.7 CDTi ecoFLEX (2012–)			300 W	
FORD FIESTA 1.6 TDCi (2009–)	600 W			
BMW 525d (2011–)			300 W	
VOLVO V60 2.0 D3 (2011–)				550 W
HYUNDAI I30 1.6 CRDi (2012–)				550 W

Taulukoista 1 ja 2 nähdään, että tyypilliset lämmitinvaihtoehdot suosittuihin bensiini-käyttöisiin automalleihin ovat moottoriöljyä lämmittävä kontaktilämmitin teholtaan 300 W sekä dieselkäyttöisiin 550 watin tehoinen jäähdytysvesiletkuun kiinnitettävä malli ilman omaa termostaattia.

2.3 Nestelämmittimet (230 V)

Sähkökäyttöinen moottorinlämmitin, toisinaan lohkolämmittimeksi kutsuttu, on vuosikymmenten ajan ollut moottorin lohkon, mahdollisimman alhaalla jäähdytysnestekanavistossa olevaan reikään kiinnitetty sähkövastus (teho noin 500–600 W). Moottoreiden valmistustekniikan kehittyessä näitä alun perin lohkon valmistuksessa tarvittuja reikiä ei välttämättä enää esiinny, joten suoraan nestetilaan asennettavat lämmitimet ovat uusissa moottorikonstruktioissa käyneet harvinaisiksi.

Sähkölämmitin voidaan nykyään toteuttaa myös jäähdytysvesiletkuun kiinnitettävänä mallina (teho tyypillisesti 550 W). Letkumallista lämmitintä voidaan käyttää sellaisissa

moottoreissa, joissa lämpö pääsee esteettä siirtymään (alhaalta ylöspäin) lämmitysvas-
tukselta jäähdytysnestekanaavistoon. Lämmitysvastus voi sijaita joko kokonaan vesilet-
kun osuudella tai se voi työntyä letkuyhteen kautta osittain moottorin sisällä olevaan
vesitilaan. Käytön esteenä voi olla moottorin konstruktiosta riippuen elektronisesti oh-
jattu nykyaikainen jäähdytysjärjestelmä, jossa nesteen kiertoa ja ohivirtausta sääde-
tään useilla termostaateilla, venttiileillä ja pumpuilla moottorin lämpötilan sekä kuormi-
tuksen mukaan. Näissä tapauksissa letkumallisen sähkölämmittimen tuottama lämpö-
energia siirtyisi ainoastaan sähkövastuksen välittömässä läheisyydessä olevaan, esim.
venttiilien rajoittamaan pienehköön nestetilavuuteen eikä kulkeutuisi nestekierron mu-
kana muihin moottorin osiin. Samalla neste ylikuumenisi ja lämmitin vaurioituisi. Joi-
hinkin automalleihin on tarjolla omalla termostaatilla varustettuja letkulämmittämiä.

2.4 Kontaktilämmittimet (230 V)

Sellaisiin moottoreihin, joissa ei voida käyttää jäähdytysnestettä lämmittäviä sähkövas-
tuksia, voidaan asentaa kontaktilämmitin (myös säteilylämmittimeksi kutsuttu). Kontak-
tilämmitin on sähkövastus (teholtaan tyypillisesti 300 W), joka on valettu automallikoh-
taisesti muotoillun alumiinikappaleen sisään. Lämmityselementin kiinnityspaikaksi on
valittu sellainen kohta moottorin ulkopinnalla, jota vasten saadaan aikaan mahdolti-
simman hyvä kontakti, jolloin lämpö pääsee johtumaan lämmittimestä moottoriin. Kon-
taktilämmittimellä pyritään ensisijaisesti lämmittämään moottorin öljytilaa. Suunniteltu
toiminta edellyttää virheetöntä asennusta ja tiivistä kosketusta kahden metallipinnan
välillä. Lämmön johtuminen pyritään varmistamaan liitospintojen huolellisella puhdis-
tamisella sekä käyttämällä pintojen välissä lämpöä hyvin johtavaa asennustahnaa (pii-
rasvaa) ja riittävän tiukkaa kiristysmekanismia lämmittimen pitämiseksi paikallaan.
Suoraan jäähdytysnesteessä olevaan sähkövastukseen verrattuna pienemmästä te-
hosta ja huonommasta hyötysuhteesta johtuen on kontaktilämmittimen tarvitsema
lämmitysaika oleellisesti pidempi.

Myös suoraan moottoriöljyn kanssa kosketuksiin tulevia sähkövastuksia on olemassa,
mutta ne ovat öljynvalmistajien pintalämpötilavaatimusten takia teholtaan vaatimatto-
mia ja siten harvoin käytettyjä.

Sähkölämmitysjärjestelmien päälle/pois-ohjaus voi tapahtua monella eri tavalla. Ylei-
simpiä ovat erilaiset ajastimet, jollaisia voi olla asennettuina kiinteistöjen sähkökeskuk-
siin, pistorasioihin tai ns. autonlämmityspylväisiin. Ajastin voi olla myös asennettuna

autoon, jolloin verkkovirran syöttöä ei tarvitse ajastaa. Ajastus voi joissakin tapauksissa tapahtua myös älypuhelinsovelluksella.

Joissakin virransyöttöjärjestelmissä (yleensä suuremmissa kiinteistöissä tai taloyhtiöissä) voi olla myös ulkolämpötilaan perustuva ohjaus. Myös yhtä autoa kohden varatun pistorasian maksimivirta (sulakekoko) voi olla rajoitettu, etenkin vanhoissa asennuksissa.

2.5 Huomioitavaa käytettäessä sähkölämmittimiä

Joissakin kiinteistöissä autonlämmityksen sähkönsyötössä käytetään ulkolämpötilan mukaan säätyvää pulssiohjausta. Tällainen sähkövirran katkonainen syöttäminen saattaa rasittaa sähkövastusta poikkeavalla tavalla. Moottorinlämmittimen takuu ei välttämättä korvaa, mikäli lämmitin vaurioituu ko. tavalla ohjatussa käytössä.

Moottorin jäähdytysneste voi olla likaista, jolloin lika saostuu sähkövastuksen pintaan ja heikentää sen tehoa. Seurauksena voi olla ylikuumeneminen ja vaurioituminen.

Moottorissa voi olla liian vähän jäähdytysnestettä (tai ilmaa sen joukossa), jolloin sähkövastus pääsee ylikuumentamaan.

2.6 Sähkölämmittimien asennuksesta

Väärin sijoitettu moottorinlämmitin voi esilämmityksen seurauksena aiheuttaa moottorinohjausjärjestelmää harhaanjohtavia tilanteita esim. auton omien lämpötila-anturien välityksellä. Mainittu tapahtuma, jossa moottorin lämpötila nousee merkittävästi ilman että moottoria käytetään, voi johtaa moottorin vikavalon syttymiseen, vikakoodien talentumiseen tai erilaisiin käyntihäiriöihin ja jopa moottorin rikkoutumiseen.

Mikäli moottorinlämmittimen yhteydessä käytetään myös sisätilan lämmitintä, tulee lämmittimen tehon valinnassa ottaa huomioon käytettävissä olevan pistorasian sulakekoko. Sähkölämmitysjärjestelmää hankittaessa on mahdollista lisätä järjestelmään elektroninen akkuvaraaja.

Sähkökäyttöinen, automallikohtainen lämmityslaitte tai -järjestelmä asennetaan yleisimmin tavanomaisessa autokorjaamossa. Asennus ei vaadi sähköpätevyyttä, mikäli asennus tehdään lämmittimen valmistajan ohjeiden mukaan valmiita komponentteja ja asennustarvikkeita käyttäen.

2.7 Polttoainekäyttöiset lämmittimet

Polttoainekäyttöinen lämmityslaitte voi olla autoon tehtaalla asennettu vakio- tai lisävaruste. Se voi myös olla jälkikäteen maahantuojan tai auton omistajan toimesta asennettu. Kaikki polttoainekäyttöiset lämmittimet eivät ole tarkoitettuja esilämmittämiseen, siis käytettäviksi ajoneuvon ollessa pysähdyksissä. Useissa tapauksissa, etenkin nykyaikaisten dieselmootoreiden ollessa kyseessä, moottori ei normaalissa ajossa tuota tarpeeksi hukkalämpöä lämmittämään matkustamo talviaikana (koskee etenkin tila- ja pakettiautoja, joissa on suuri ilmatilavuus). Polttoainekäyttöinen lämmitin voi siten olla tehtaalla autoon asennettuna ainoastaan tuottaakseen lisälämpöä ajon aikana. Mallista ja tapauksesta riippuen voi tällaiseen lämmittimeen olla lisävarusteena tai jälkiasennettavana saatavissa ohjainlaite, kuten ajastinkello tai kauko-ohjain, jonka avulla lämmitintä voi käyttää myös moottorin esilämmittämiseen. Kaikkia erillisellä ohjainlaitteella varustettuja lämmittimiä voidaan käyttää myös ajon aikana.

Polttoainekäyttöiset lämmittimet on toteutettu siten, että ne pystyvät itsenäisesti kierrättämään lämmittämäänsä jäähdytysnestettä moottorin kanavistossa sekä matkustamon lämmityslaitteen kennossa ilman ulkoista verkkovirtaa. Lämmitysenergia tuotetaan polttamalla auton omasta polttoainesäiliöstä annostelupumpulla imettyä polttoainetta laitteen palotilassa. Bensiini- ja dieselkäyttöisille autoille on omat lämmitinversionsa, mutta laitteiden toimintaperiaate on sama (E85-polttoaineelle virallisesti sertifioituja laitteita ei toistaiseksi ole). Nykyisin käytetyin polttotekniikka on ns. hehkusauvaan ja metallihöyrystimeen perustuva. Palotilan ympärillä olevassa lämmönvaihtimessa kuumentunut jäähdytysnestettä kierrätetään auton akkuvirralla toimivalla kiertovesipumpulla moottorin nestekanavistoon, jolloin moottori vähitellen lämpenee ja jäähtynyt neste palaa jälleen lämmittimeen. Matkustamo voidaan valinnaisesti lämmittää samaan aikaan käyttäen hyväksi ajoneuvon omaa lämmityslaitteen puhallinta, jonka ohjaus on kytketty polttoainetoimisen lämmittimen ohjauslogiikkaan.

Polttoainekäyttöinen lämmitin on sähkölämmittimiin verrattuna tehokkaampi. Tyypillinen lämpöteho täydellä teholla on ajoneuvon (henkilö- ja pakettiautot) ja lämmittimen

kokoluokasta riippuen n. 4 tai 5 kW ja osateholla n. 2,5 kW . Polttoaineen lisäksi kuluu auton omaa akkuvirtaa n. 100 watin edestä lämmityslaitteen, kiertovesipumpun ja auton oman lämmityslaitteen puhaltimen käyttämiseen. Suuresta tehosta ja akkuvirran kulutuksesta johtuen valmistajien suosittelema lämmitysaika on sähkölämmitykseen verrattuna lyhyempi, yleensä 15–30 minuuttia (enintään yksi tunti). Laitteiston ohjaus tapahtuu tyypillisesti autoon asennetulla ajastinkellolla tai radiokauko-ohjaimella sekä joissakin tapauksissa tekstiviestillä tai älypuhelinsovelluksella (jotka vaativat lämmitysjärjestelmään liitetyn GSM-ohjaimen ja SIM-kortin).

Polttoainekäyttöisistä lämmitimistä on olemassa myös nesteen sijasta ilmaa lämmittäviä versioita (esim. retkeilyautoihin), mutta ne eivät sovellu moottorin esilämmitykseen.

2.8 Huomioitavaa käytettäessä polttoainekäyttöistä lämmitintä

Polttoainekäyttöisiä lämmitimiä voidaan käyttää olosuhteissa, joissa ei ole ulkoista sähkövirtaa (verkkovirtaa) käytettävissä. Niiden tuottaman pakokaasun takia niitä ei kuitenkaan saa käyttää suljetuissa sisätiloissa, joiden tuuletuksesta ei ole huolehdittu. Lämmittimen oman, yleensä auton alle johdetun pakoputken takia ei myöskään paikoissa, joissa auton alla tai läheisyydessä on palavia materiaaleja, tule käyttää polttoainekäyttöistä lämmitintä.

Polttoainekäyttöisen esilämmittimen (tai ajonaikaisen lisälämmittimen) kuluttama polttoaine eivätkä sen tuottamat päästöt ole mukana normien mukaan ilmoitetuissa ajoneuvokohtaisissa arvoissa.

Jos lämmityslaitetta käytetään usein ja ajomatkat kylmänä vuodenaikana ovat lyhyitä, saattaa akun varaustila vähitellen laskea. Tilanteesta ja käytöstä riippuen verkkovirtakäyttöisen akkuvaraajan käyttö voi olla perusteltua ja suotavaa.

Koska laitteessa oleva polttoaine ajan myötä haihtuu, mikäli laitetta ei käytetä, tulisi polttoainetoimista lämmitintä käyttää silloin tällöin myös kesäkaudella.

Polttoainekäyttöisen lämmittimen käyttö matkustamon sisäilman esilämmitykseen edellyttää käyttäjältä vastaavan sähkölämmittimen käyttöä enemmän opettelua. Auton oman lämmityslaitteen säätimien tulee olla tietyllä tavoin aseteltu, jotta polttoainekäyt-

töisestä lämmittimestä saataisiin toivottu lämmitysteho. Jos kyseessä on tehdasasennettu laitteisto, ohjeet löytyvät ko. auton käyttöohjekirjasta.

Olipa autossa käsisäätoinen tai automaattinen lämmityslaite, tulisi toimia seuraavasti. Ennen pysäköintiä, auton vielä käydessä, lämmityslaitteen lämpötila tulee asettaa korkeimpaan asetusarvoonsa. Ilmavirran suuntaus valitaan halutusti, esim. tuulilasille ja jalkatilaan. Asetusten jälkeen tulee odottaa 20–30 sekuntia, jotta sähköisesti ohjatut kanaviston ohjausläpät asettuvat haluttuihin asentoihinsa (toiminta yleensä korvin kuultavissa). Puhaltimen nopeudeksi valitaan 1- tai 2-asento (minimoidaan akkuvirran kulutus). Vasta tämän jälkeen auto sammutetaan.

Joissakin premium-luokan automalleissa tehdasasennetun polttoainekäyttöisen esilämmittimen (myös tauko- tai pysäköintilämmityksenä tunnettu) ohjauksen integrointi automaatti-ilmastointiin on viety niin pitkälle, että em. asetuksia ei tarvitse erikseen tehdä, vaan laitteisto asettuu oikeaan tilaan esilämmityksen alkaessa. Tässäkin tapauksessa on syytä perehtyä auton käyttöohjekirjaan.

Samasta laitevalmistajasta huolimatta autotehtaalla asennettu laite voi olla erilainen, kuin jälkiasennettuna hankittu. Lämmitinvalmistajat toimittavat merkittäville autotehtaille lämmittimiä, joissa voi olla autonvalmistajien määrittelemiä, vakiotuotannosta poikkeavia ominaisuuksia tai komponentteja, kuten ohjainosa. Jälkiasennettuun laitteeseen saatavana olevat lisävarusteet, kuten esim. kauko-ohjaus, eivät välttämättä sovi tietyn automerkin tehdasasennettuun laitteeseen. Automerkitä riippuen polttoainekäyttöiseen lämmittimeen voi varaosien saatavuus olla rajoitettua, huonoimmassa tapauksessa koko lämmitin on uusittava sen mahdollisesti vikaantuessa.

Polttoainekäyttöinen lämmitin voidaan asentaa myös sähköajoneuvoon, jolloin kuitenkin tarvitaan erillinen polttoainesäiliö.

2.9 Polttoainekäyttöisen lämmitin asennuksesta

Etenkin hyötyajoneuvoja uutena hankittaessa on joissakin tapauksissa polttoainekäyttöisen lämmitin yhteyteen mahdollista tilata samalla suurempikapasiteettinen akku tai kaksoisakkujärjestelmä sekä tehokkaampi laturi.

Polttoainelämmittimellä varustettuihin autoihin voi lisäksi asentaa myös sähkökäyttöisen lämmitysjärjestelmän, jollaiseen voi liittää automaattisen akkuvaraajan. Myös pelkän akkuvaraajan asentaminen on mahdollista.

Asennusfilosofia poikkeaa jossakin määrin sähkökäyttöisten lämmittimien asennuksesta. Koska työssä joudutaan tekemään liitoksia auton sähkö- ja polttoainejärjestelmiin, asennuksen tekee lähes aina siihen erikoistunut huoltoliike, jolla on myös laitteen käyttönotossa tarvittavat testi- ja säätölaitteet mm. polttoaineen seossuhteen säätämiseen.

Toisin kuin sähkölämmittimiä, joita valmistetaan satoja erilaisia autokohtaisia malleja, on polttoainelämmittimiä tarjolla ainoastaan muutamia eri versioita. Järjestelmän ydin eli itse lämmityslaite valitaan lähinnä teholuokan perusteella. Mallikohtaisuus puolestaan perustuu asennussarjoihin ja -ohjeisiin, mutta niistä huolimatta asennus ei ole ehdottoman yksiselitteistä. Automallien useista variansseista ja mahdollisista muista asennetuista lisävarusteista tai käyttäjän erityistoiveista johtuen asennusta tekevällä on mahdollisuus ja joskus myös tilanteesta aiheutuva tarve soveltaa asennustapaa kokemuspohjaisesti. Myös laitteiden asennussarjat on koottu tätä silmällä pitäen; esim. vesilettoa ei ole ennakolta katkottu määrämittäisiin osiin.

3 Koejärjestelyt ja -menetelmät

Kokeellinen osuus eli laboratoriomittaukset jaettiin kahteen vaiheeseen. Aluksi tutkittiin valittujen esilämmittimen toimintaa mittaamalla lämpötiloja moottorista lämmitysajan funktiona eri kylmäkoetilan lämpötiloissa (+5, -5, -10, -15 ja -20 °C). Mittausten tavoitteena oli löytää kullekin lämmitintyypille ns. tasapainolämpötila. Käytännössä tämä tarkoitti optimaalisten lämmitysaikojen määrittämistä, joiden ylittäminen ei enää sanotavasti nostanut moottorin lämpötilaa.

Mittausten toisessa vaiheessa valituille autoille tehtiin standardiin (ks. kohta 3.2) pohjautuvat energiankulutus- ja päästömittaukset eri kylmäkoetilan lämpötiloissa (0, -7 ja -20 °C) ensin ilman esilämmitystä ja myöhemmin edellä kuvattuun tasapainolämpötilaan esilämmittetyinä.

3.1 Mittausten valmistelu

Mittausten valmisteluihin kuului sopivilla lämmittimillä varustettujen testiajoneuvojen hankkiminen, mittausjärjestelyjen suunnittelu, tiettyjen mittalaitteiden kalibrointi sekä tarvittavien antureiden ja mittajohtojen kiinnittäminen ajoneuvoihin. Koska kokeita tehtiin talviolosuhteita jäljitellen kylmäkoetilassa, tuli ajoneuvojen polttoainejärjestelmät tyhjentää ja huuhdella sekä täyttää sopivilla talvilaatuisilla polttoaineilla. Ennen kokeita ajoneuvojen akut ladattiin 7 A:n maksimivirtaa käyttävillä älylatureilla.

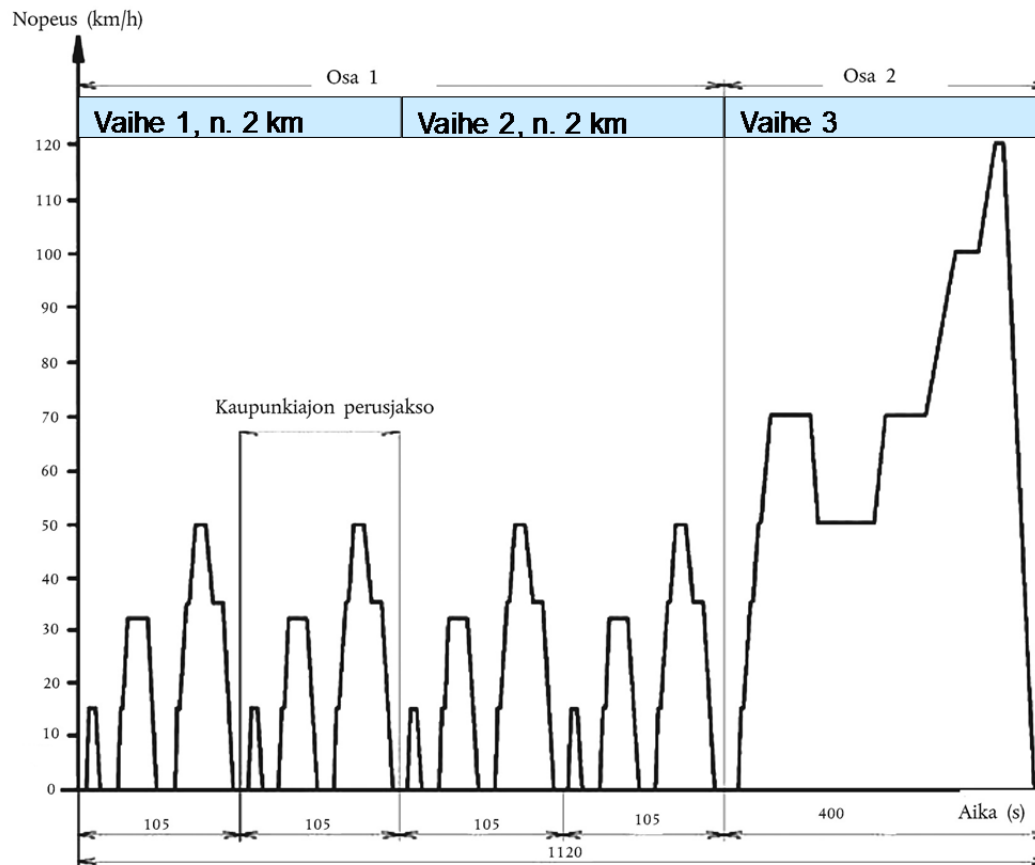
Alustadynamometrillä tehtäviä päästömittauksia edelsi ajoneuvoilla huoneenlämpötilassa ajettu yksi ajosykli ilman mittauksia eli nk. preppausajo, jonka jälkeen moottoria ei enää saanut käynnistää ennen varsinaista mittausajoa. Preppauksen tarkoitus on varmistaa, että autoa on juuri ennen mittauksia käytetty tavanomaiseen ajoon käyntilämpötilan ollessa riittävä ja että sen toiminta on kaikin puolin normaalia. Ajoneuvojen annettiin asettua kylmäkoetilan määriteltyyn lämpötilaan yön yli.

3.2 Alustadynamometri ja kylmäkoetila

Tehdyt energiankulutus- ja päästömittausmenetelmät perustuvat pääosin VTT:n menetelmäkuvaukseen (MK01ec4v6) ja sitä vastaavaan mittausohjeeseen (M01.01.v8), joiden perusteella FINAS on myöntänyt VTT:lle (testilaboratorion tunnus T259) akkreditoinnin henkilöautojen pakokaasupäästöjen mittauksille. (Akkreditointitodistus 2013.) Mainittu menetelmäkuvaus pohjautuu YK:n Euroopan talouskomission sääntöön n:o 83 (Sääntö nro 83 2011).

Laboratorion kylmäkoetilassa on alustadynamometri (Froude Consine, 100 kW, 160 km/h), jäähdytyslaitteisto (alin lämpötila -30 °C) sekä ajoviimalaitteisto (max. 100 km/h).

Ajo-ohjelmana alustadynamometrikokeissa oli ajoneuvojen tyyppihyväksynnässä käytettävä New European Drive Cycle (NEDC), joka on esitetty kuviossa 2.



Kuvio 2. NEDC (New European Drive Cycle) ajosykli ja sen eri vaiheet (Sääntö nro 83 2011, soveltaen).

Mainittu ajo-ohjelma eli ajosykli kestää n. 20 minuuttia, joka vastaa noin 11 km:n pituis-
ta ajoa. Sykli on jaettu kolmeen vaiheeseen. Ensimmäinen vaihe on ns. kylmä kau-
punkiajosykli (2 x ECE-15), toinen vaihe on kaupunkiajosykli hieman lämmenneellä
moottorilla (2 x ECE-15) ja kolmas vaihe on syklin maantieajo-osuus (EUDC).

Autovalmistajien ilmoittama kaupunkikulutus on keskiarvo 1. ja 2. vaiheiden kulutuksista.
Vastaavasti ilmoitettu maantieajokulutus on 3. vaiheen tulos. Yhdistetty kulutuslu-
kema on ajettulla matkalla painotettu keskiarvo kaikista kolmesta vaiheesta.

Kylmäästöt (-7°C) mitataan virallisesti vain yllä kuvatuista 1. ja 2. vaiheista ilman
maantiesykliä. Tämän tutkimuksen mittauksissa ajettiin kuitenkin siis kaikki kolme vai-
hetta.

3.3 Moottorien lämpötilamittaukset esilämmityskokeissa

Esilämmittimien lämmitysajan määrittämisessä mitattiin moottorien lämpötilaa kolmesta valitusta kohdasta. Lämpötila-anturit asetettiin moottoriöljyyn öljytikun paikalle, kussakin ajoneuvossa erikseen tarkoin harkittuun kohtaan jäähdytysvesiletkun pintaan sekä sylinterikannen pintaan imusarjan puolelle. Polttoainetoimisella lämmittimellä varustetun auton sisätilan lämpötilaa mitattiin keskeltä niskatukien välistä, arviolta kuljettajan pään korkeudelta.

Jäähdytysveden lämpötilan mittaaminen osoittautui haasteelliseksi, koska nykyaikaisten moottorien jäähdytysnesteen kierto on aiempaa pelkästään yhdellä mekaanisella termostaattilla ohjattua monimutkaisempi. Nesteen kiertoa ohjataan nykyisin sähköisesti termostaateilla, venttiileillä ja pumpuilla moottorin lämpötilan sekä kuormituksen mukaan. Jäähdytysnesteen kiertojärjestelyillä tavoitellaan mm. moottorin nopeaa lämpenemistä kylmäkäynnistyksen jälkeen, tärkeiden osien (kuten ahdin) jäähdyttämistä kuormittavan ajon jälkeen moottorin ollessa jo pysäytetty sekä optimaalista käyntilämpötilaa eri kuormitustilanteissa. Mittauskohdan valinta ei yllä olevan perusteella ollut aivan yksiselitteistä. Testiautojen maahantuojilta saatiin tekniset kuvaukset kunkin testattavan auton jäähdytysjärjestelmän toimintaperiaatteesta. Niitä apuna käyttäen valittiin jokaisesta autosta sellainen jäähdytysvesiletku, jossa esilämmityksen vaikutuksen arveltiin parhaiten olevan mitattavissa.

Öljytilan ja sylinterikannen sekä tietyissä tapauksissa myös auton sisätilan lämpötilojen mittauksiin käytettiin 3 mm:n paksuisia sauvamaisia K-tyyppin mittapäitä. Jäähdytysvesiletkun pintaan kiinnitettiin K-tyyppin termoparijohdin ja mittauskohta lämpöeristettiin solumuovilla ja alumiiniteipillä. Anturit oli liitetty kylmäkoetilan valvomon AMA-tiedonkeruulaitteistoon. Kokeen aikana lämpötilat tallennettiin tiedostoihin kultakin anturilta kerran sekunnissa.

Yllämainittujen erillisillä mittapäillä tehtyjen mittausten ohella kunkin lämmityskokeen päätteeksi kytkettiin testiautojen OBD-diagnostiikkaliittimeen lukijalaite, jonka avulla luettiin ajoneuvon oman jäähdytysnesteen lämpötila-anturin lukema kyseisellä hetkellä.

3.4 Ajoneuvon sähköjärjestelmästä tehdyt mittaukset

Autojen omista sähköjärjestelmistä mitattiin virrankulutusta ja akkujännitettä. Polttoainekäyttöistä lämmitintä käytettäessä mitattiin virtaa ja jännitettä sekä kokeiden ensimmäisen vaiheen aikana koko esilämmityksen ajan että toisen vaiheen aikana esilämmityksen alkamisesta ajosyklin loppuun saakka. Sähkölämmittimiä käytettäessä mitattiin ajoneuvojen sähköjärjestelmää ainoastaan kokeellisen osuuden jälkimmäisessä vaiheessa moottorin käynnistyshetkestä ajosyklin päättymiseen saakka.

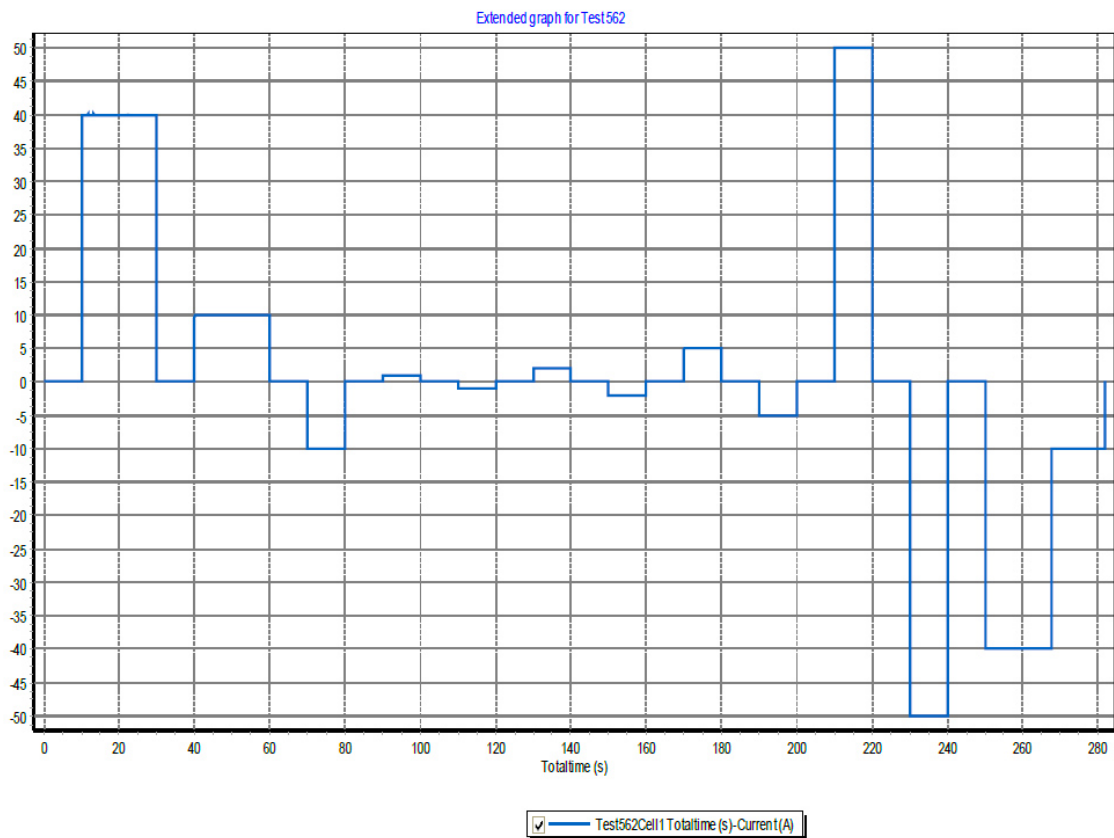
Ajoneuvoissa olevien akkujen ominaisuudet on esitetty taulukossa 3 (kohta 3.7 Testiajoneuvojen tekniset tiedot).

Virtojen mittaamiseen käytettiin akun maakaapelin ympärille keskeisesti asetettuja LEM HTR 100-SB 100 A virta-antureita (kuva 1), jotka kykenevät mittaamaan enintään 100 ampeerin virtoja. Kyseisten antureiden ulkoinen käyttöjännite on ± 15 voltia ja signaalijännite ± 4 voltia. Ennen mittauksia antureiden toiminta tarkastettiin kalibrointimittauksilla, joiden tuloksista saatiin laskettua tarvittavat korjauskertoimet lopullisia mittauksia varten.



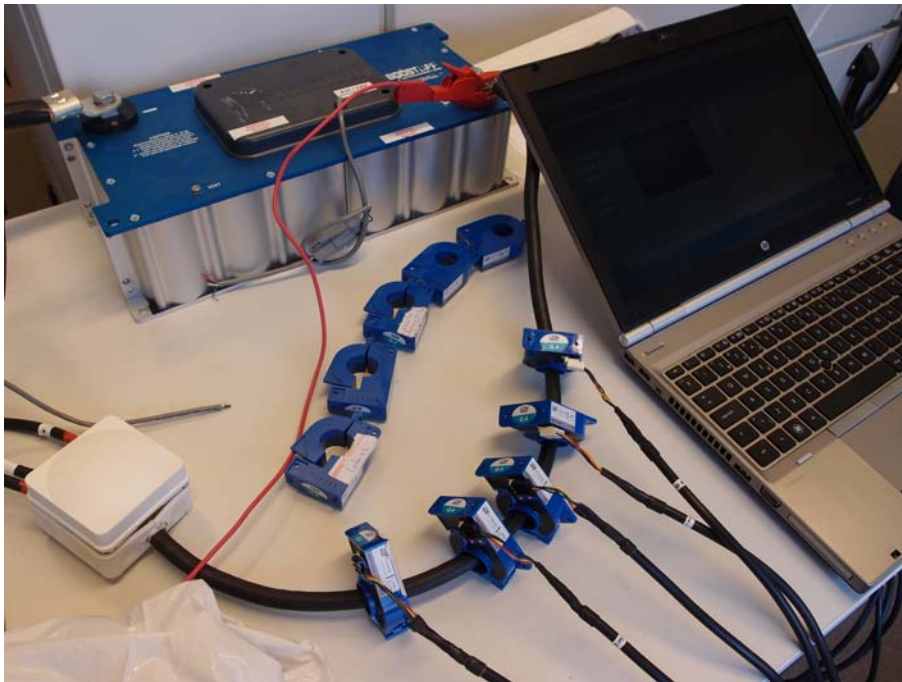
Kuva 1. LEM virta-anturi (max 100 A) asennettuna ja keskitettynä akun maajohtimen ympärille.

Kalibroitimittaukset tehtiin VTT:n akkulaboratoriossa. Akkujen moduulitesterin (PEC Cell Tester) avulla ladattiin ja purettiin 83 faradin kondensaattoria 48 voltin jännitteellä kuvion 3 mukaisen virtakuvaajan virroilla (1, 2, 5, 10, 40 ja 50 A).



Kuvio 3. Virta-anturitestissä käytetty virtasykli.

Virta-antureiden kalibroitijärjestely on esitetty kuvassa 2. Kuvassa 3 on esitetty virta-antureiden kytkennässä käytettyjä oheislaitteita. Antureille johdetussa moninapaisessa koaksiaalikaapelissa kulkee sekä ulkoinen käyttöjännite että anturin tuottama signaalijännite, joka on johdettu USB-keskittimessä oleviin jännitteenmuuntimiin (jännitteen alennus neljästä viiteen volttiin). USB-keskitin puolestaan on liitetty kylmäkoetilan valvomossa olevan tietokoneen Labview-sovellukseen, joka tallentaa antureiden lukemat 100 kertaa sekunnissa.



Kuva 2. Virta-antureiden kalibrointijärjestely. Kuvan vasemmassa yläkulmassa näkyy 83 faradin kondensaattori.



Kuva 3. Virta-antureiden käyttöjännitteen syöttö (oikealla) ja signaalimuuntimet (vasemmalla) USB-keskittimeen kiinnitettyinä.

Ajoneuvojen akkujännitettä mitattiin akun navoilta, joilta jännite johdettiin jännitteenmuuntimien (kuva 4) kautta kylmäkoetilan valvomossa olevan, em. virtamittauksissakin käytetyn tietokoneen Labview-sovellukseen, joka tallentaa lukemat 100 kertaa sekunnissa.

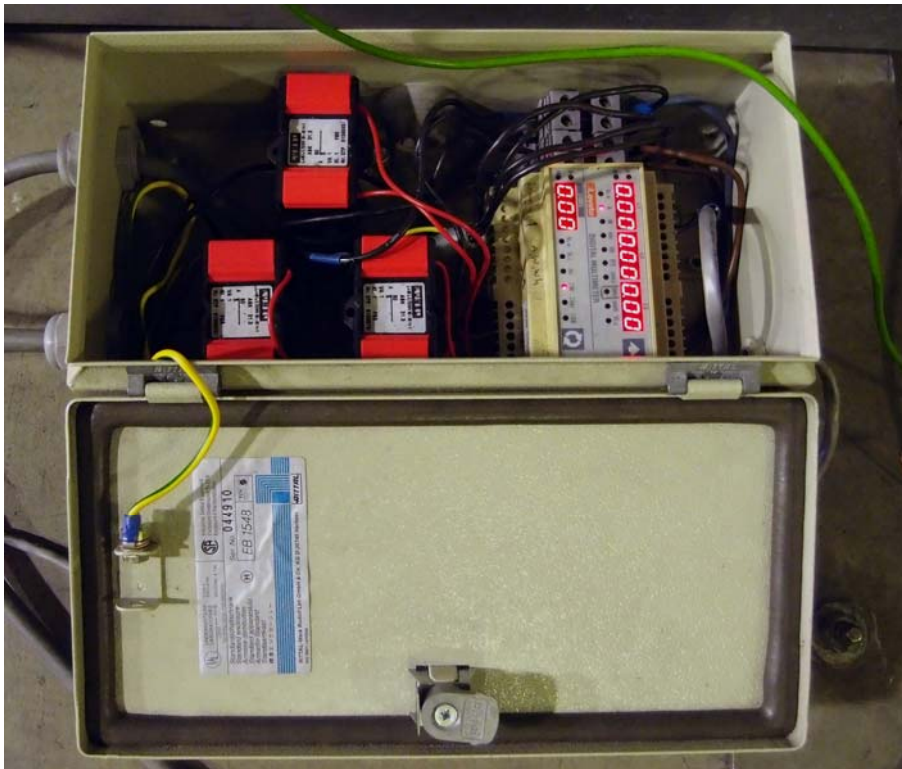


Kuva 4. Ajoneuvojen akkujännitteiden mittaamisessa käytetyt jännitteenmuuntimet (numerot 1, 2 ja 3).

3.5 Verkkovirran (230 V) kulutusmittaukset

Kokeissa mitattiin sähkölämmittimien verkkovirran kulutusta sekä polttoainekäyttöisen lämmittimen käytön jälkeen tehdyssä auton akun varaamisessa käytetyn älylaturin kuluttamaa verkkovirtaa.

Verkkovirran kulutus mitattiin Lovato-mittarilla (kuva 5), joka mittaa erikseen jokaisen kolmen vaiheen virtoja ja jännitteitä sekä vaiheiden yhteenlaskettua energiankulutusta.



Kuva 5. Lovato-mittari verkkovirran kulutuksen mittauksiin.

Myös Lovato-mittari on liitetty kylmäkoetilan valvomossa olevan tietokoneen Labview-sovellukseen, joka tallentaa mittarilukemat 10 sekunnin välein.

3.6 Polttoainekäyttöisen lämmittimen kulutusmittaukset

Polttoainekäyttöisen lämmittimen kuluttamaa polttoainemäärää mitattiin kuvassa 6 esitetyllä järjestelyllä. Lämmittimen polttoaineen syöttöä varten ajoneuvoon oli polttoainesäiliöksi asennettu 1000 ml:n mittalasi, joka täytettiin ennen jokaista koetta. Mittasteikon alku- ja loppulukemien erotus oli kokeen kuluttama polttoainemäärä.

Polttoainekäyttöisellä lämmittimellä varustetun auton oman lämmityslaitteen (ns. ”automaatti-ilmastointi”) lämpötila asetettiin tehdyissä mittauksissa aina 20 celsiusasteeseen, puhallus ohjattiin tuulilasille ja puhaltimen tehoksi asetettiin 2/7 maksimitehosta.



Kuva 6. Polttoainekäyttöisen lämmittimen polttoainemäärän mittaus mittalasilla.

Kokeessa käytettiin talvilaadun dieselpolttoainetta, jota varastoitiiin samassa lämpötilassa, kun testiajoneuvoakin.

3.7 Testiajoneuvojen tekniset tiedot

Laboratoriomittauksia varten saatiin usealta autojen maahantuojalta lainaksi esittelyautoja, joihin oli asennettu tarvittavat lämmittimet kokeita varten. Autot ja niiden ominaisuuksia on koottu taulukkoon 3.

Taulukko 3. Laboratoriokokeissa käytetyt testiajoneuvot ja niiden tiedot

Auto n:o	1	2	3	4	5	6
Merkki	Audi	Nissan	Ford	Skoda	Volkswagen	Toyota
Malli	A4	Qashqai	Fiesta	Octavia	Passat Multifuel	Prius +
Vuosimalli	2013	2013	2013	2013	2012	2013
Käyttövoima	bensiini	diesel	bensiini	diesel	E85	bensiini
Moottorin iskutilavuus [l]	1.798	1.598	0.998	1.598	1.39	1.789
Teho [kW]	125	96	92	77	118	73
CO ₂ [g/km] ilmoitettu 1)	139	119	99	102	2)	96
Vaihteisto	CVT	M6	M5	DSG7	DSG7	CVT
Testipolttoaine	95 E10 talvilaatu	DI -29/-34	95 E10 talvilaatu	DI -29/-34	RE85 talvilaatu	95 E10 talvilaatu
Lämmityntyyppi	letku	polttoaine	kontakti	letku	letku	kontakti
Lämmittimen teho	500 W	5 kW	300 W	500 W	550 W	300 W
Akun kapasiteetti	92 Ah	80 Ah	60 Ah	-	-	-
Akun maksimikylmäkäynnistysvirta (CCA)	520 A DIN	780 A D26(JIS)	590 A CCA	-	-	-
Mukana lämmityslaittekoikeissa	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei	Ei
Mukana päästömittauksissa	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä

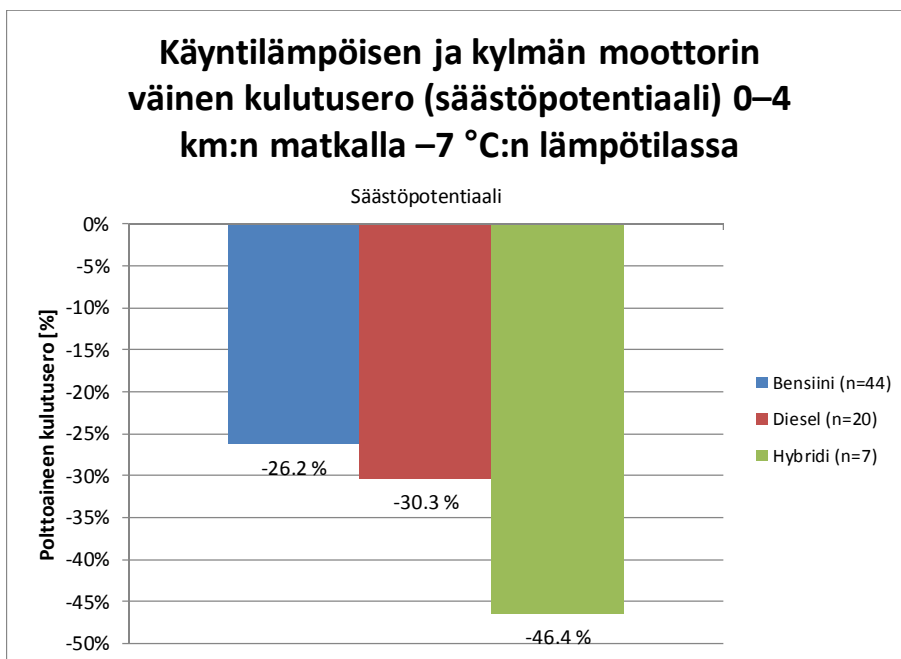
1) rekisteriotteesta

2) 155 g/km bensiini, 144 g/km etanoli

4 Aikaisemmin tehdyt vertailumittaukset

Projektin tulosten arvioimisen tukena käytettiin vertailutietona VTT:n Tekniikan Maailmalle aikaisemmin tekemien talvitestien mittaustuloksia, joihin VTT:llä on artikkeleiden julkaisun jälkeen käyttöoikeus. Suuresta mittaustulosten määrästä johtuen kyseisiä testituloksia tarkasteltiin varsin valikoiden. Käsillä olevan tutkimuksen kannalta oleellista oli tarkastella muutaman viime vuoden (2010–2013) aikana kylmässä tehtyjen energiankulutus- ja päästömittausten tuloksista johdettuja laskennallisia säästöpotentiaaleja.

Standardiin perustuvassa kylmäpäästömittauksessa (kohta 3.2 ja kuvio 2) ajetaan n. 4 km:n mittainen kaupunkiajositykli sekä n. 6 km:n maantieajositykli peräkkäin -7 °C :n lämpötilassa. Tekniikan Maailman testeissä ajetaan edellisestä poiketen lisäksi vielä kaupunkiajositykli (kuvio 2 vaiheet 1 ja 2) uudelleen. Tässä kuvattu laskennallinen säästöpotentiaali on kylmästä moottorista (ensimmäisestä kaupunkiajosityklistä) mitatun ja täysin käyntilämpöisestä moottorista (jälkimmäisestä ylimääräisestä kaupunkiajosityklistä) tehdyn mittauksen erotus. Kuviossa 4 näkyvät eri polttoaineille lasketut säästöpotentiaalit kuvaavat moottorin lämpiämisen vaikutusta auton polttoaineen kulutukseen 0–4 km:n matkalla -7 °C :n lämpötilassa.



Kuvio 4. Vuosina 2010–2013 tehdyistä Tekniikan Maailman kylmäkulutusmittauksista laskettu polttoaineenkulutuksen säästöpotentiaali.

Polttoaineen kulutuksen lisäksi tarkasteltiin päästökomponenteista lähinnä palamattomien hiilivetyjen (HC) määrän riippuvuutta moottorin lämpenemisestä käytettäessä polttoaineena bensiiniä. Vastaavista TM:n kylmäpäästömittauksista vuosilta 2010–2013 arvioitiin palamattomien hiilivetyjen säästöpotentiaaliksi bensiinimoottorien (n = 44) osalta 99,4 % sekä bensiinihybridien (n = 7) osalta 99,7%.

Tutkimuksen tekohetkellä voimassaolevat Motivan esilämmityssuosituksset (Vinkit ennen ajoon lähtöä 2013) puolestaan perustuvat mm. vuonna 2003 tehtyihin vastaaventyypisiin mittauksiin (Test Report Engine pre-heaters 2013). Nyt tehtyjä mittauksia vertaillaan soveltuvin osin tuolloin tehtyihin mittauksiin kohdassa 6.6.

5 Mittaustulokset

5.1 Lämmityslaitteiden lämmitys- ja virrankulutuskokeet

Tutkimuksen kokeellisen osuuden ensimmäisessä vaiheessa tutkittiin testiajoneuvoihin n:o 1, 2 ja 3 asennettujen esilämmittimen vaikutusta mittaamalla lämpötiloja testiajoneuvojen moottoreiden kohdassa 3.3 kuvatuista mittauspisteistä suhteessa lämmitysaikaan. Kokeisiin oli valittu kohdan 2 laitteistokatsauksen pohjalta sähkökäyttöiset letkulämmitin (500 W) ja kontaktilämmitin (300 W) sekä polttoainetoiminen lämmitin (5 kW). Kussakin kylmäkoetilan lämpötiloista (+5, -5, -10, -15 ja -20 °C) tehtiin yksi mittaustaus jokaiselle testiajoneuvolle ja lämmitintyypille. Mittausten aikana seurattiin moottoreiden mittauspisteiden lämpötilojen kehitystä ja lämmitys keskeytettiin, kun lämpötiloissa ei tapahtunut enää merkittävää nousua tai jos lämmitysaika muuten muodostui merkittävästi nykyistä suositusta pidemmäksi (Vinkit ennen ajoon lähtöä 2013). Pisin sähkölämmityskoe kesti siten viisi tuntia. Polttoainekäyttöistä lämmitintä käytettiin kuitenkin valmistajan ohjeiden mukaan 30–60 minuuttia, kymmenen minuutin asetustarkkuudella.

Esilämmityksen aikana mitattiin kohtien 3.4–3.6 mukaan myös sekä ajoneuvon akkuvirran että verkkovirran kulutusta. Mittausten keskeisimmät tulokset on koottu taulukoihin 4 ja 5.

Taulukko 4. Lämmityslaitetekokeiden tulosten koonti 1/2

Testi n:o	13308	13309	13310	13311	13312	13313	13314	13315
Testilämpötila [°C]	-5	-5	-5	-10	-10	-10	-20	-20
Testiajoneuvo n:o	2	1	3	1	3	2	2	1
Lämmityslaitteen tyyppi	p-a	letku	kontakti	letku	kontakti	p-a	p-a	letku
Lämmityslaitteen ilmoitettu teho [W]	5000	500	300	500	300	5000	5000	500
POLTOAINETOIMINEN LÄMMITYS								
Lämmityksen asetusaika [min]	30	-	-	-	-	30	30	-
Lämmitimen käyntiaika [hh:mm:ss]	0:33:19	-	-	-	-	0:33:30	0:33:43	-
Kulutettu polttoaine [l]	0,30	-	-	-	-	0,32	0,29	-
Polttoaineen kulutus keskim. [l/h]	0,54	-	-	-	-	0,58	0,51	-
Akkuvirran kulutus keskim. [A]	6,7	-	-	-	-	6,4	7,0	-
Akkuvirran kuluttajien keskim. teho [W] 1)	81,6	-	-	-	-	85,0	83,4	-
Energiankulutus akusta [Wh]	45,3	-	-	-	-	43,3	46,9	-
AKKUVIRTA								
Akun uudelleenvarausaika [hh:mm]	2:00	-	-	-	-	2:29	3:18	-
Akkuvaraajan ottoteho (220V) keskim. [W]	48,3	-	-	-	-	30,2	27,9	-
Akun lataukseen kulunut energia (220V) [Wh]	96,6	-	-	-	-	75,0	92,1	-
SÄHKÖLÄMMITYS								
Sähkölämmityksen kesto-aika [hh:mm]	-	2:30	2:30	3:19	3:19	-	-	5:06
Sähkölämmitykseen kulunut energia [kWh]	-	1,25	0,75	1,67	1,00	-	-	2,60

2)

1) polttoainetoimisen lämmittimen ohjausyksikkö, paloilmapumppu, polttoainepumppu, kiertovesipumppu sekä auton sisätilan puhallin

2) polttoainetoimisen lämmittimen kellon ajastus 30 min

Taulukko 5. Lämmityslaitetekokeiden tulosten koonti 2/2

Testi n:o	13316	13317	13318	13319	13320	13321	13322	13323
Testilämpötila [°C]	-20	-20	-15	-15	-15	+5	+5	+5
Testiajoneuvo n:o	3	2	2	1	3	1	3	2
Lämmityslaitteen tyyppi	kontakti	p-a	p-a	letku	kontakti	letku	kontakti	p-a
Lämmityslaitteen ilmoitettu teho [W]	300	5000	5000	500	300	500	300	5000
POLTOAINETOIMINEN LÄMMITYS								
Lämmityksen asetusaika [min]	-	60	50	-	-	-	-	30
Lämmitimen käyntiaika [hh:mm:ss]	-	1:01:00	0:52:49	-	-	-	-	0:32:30
Kulutettu polttoaine [l]	-	0.62	0.50	-	-	-	-	-
Polttoaineen kulutus keskim. [l/h]	-	0.60	0.51	-	-	-	-	-
Akkuvirran kulutus keskim. [A]	-	6.7	6.4	-	-	-	-	5.8
Akkuvirran kuluttajien keskim. teho [W] 1)	-	81.0	78.0	-	-	-	-	72.2
Energiankulutus akusta [Wh]	-	82.4	69.0	-	-	-	-	39.2
AKKUVIRTA								
Akun uudelleenvarausaika [hh:mm]	-	3:07	4:16	-	-	-	-	2:05
Akkuvaraajan ottoteho (220V) keskim. [W]	-	41.6	29.1	-	-	-	-	45.7
Akun lataukseen kulunut energia (220V) [Wh]	-	129.6	124.2	-	-	-	-	95.2
SÄHKÖLÄMMITYS								
Sähkölämmityksen kesto-aika [hh:mm]	5:06	-	-	4:06	4:06	1:00	1:00	-
Sähkölämmitykseen kulunut energia [kWh]	1.58	-	-	2.11	1.29	0.51	0.31	-

3)

4)

1) polttoainetoimisen lämmittimen ohjausyksikkö, paloilmapumppu, polttoainepumppu, kiertovesipumppu sekä auton sisätilan puhallin

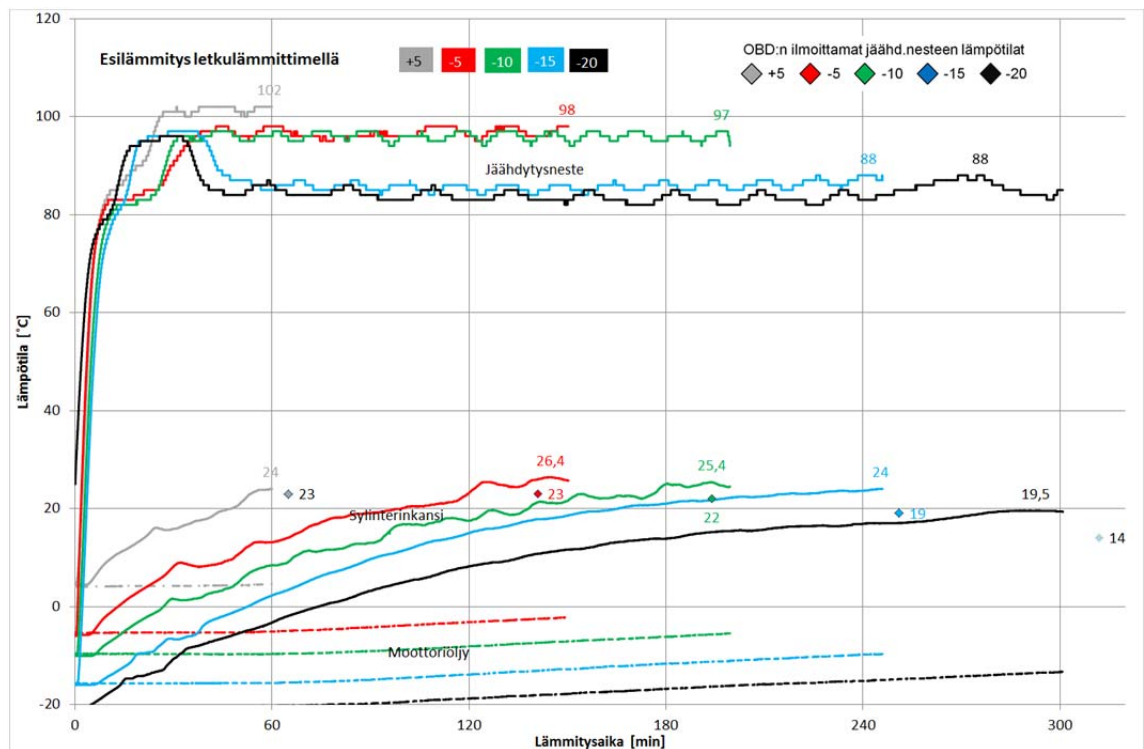
3) kuten testi n:o 13314, mutta polttoainetoimisen kellon ajastus 60 min

4) polttoainetoimisen lämmittimen polttoaineenkulutusta ei mitattu

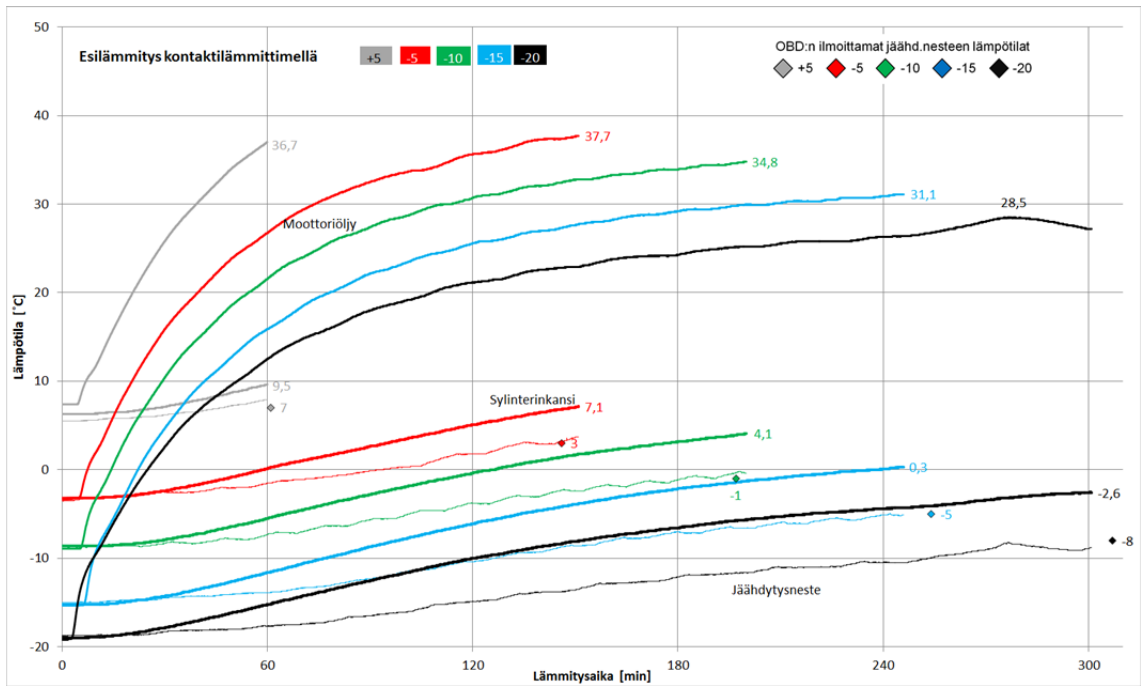
Lämpötilojen kehittyminen moottorin eri osissa käytettäessä letkulämmitintä on esitetty graafisesti kuviossa 5. Kylmäkoetilan eri lämpötiloissa tehdyt mittaukset on kuvattu erivärisillä käyrillä. Lisäksi erivärisinä pisteinä on kuvattu OBD-lukijalla mitatut ajoneuvon oman jäähdytysnesteen lämpötila-anturin ilmoittamat lukemat kunkin lämmityskokeen lopussa.

Vastaavasti lämpötilojen kehittyminen moottorin eri osissa kontaktilämmitintä käytettäessä on esitetty graafisesti kuviossa 6.

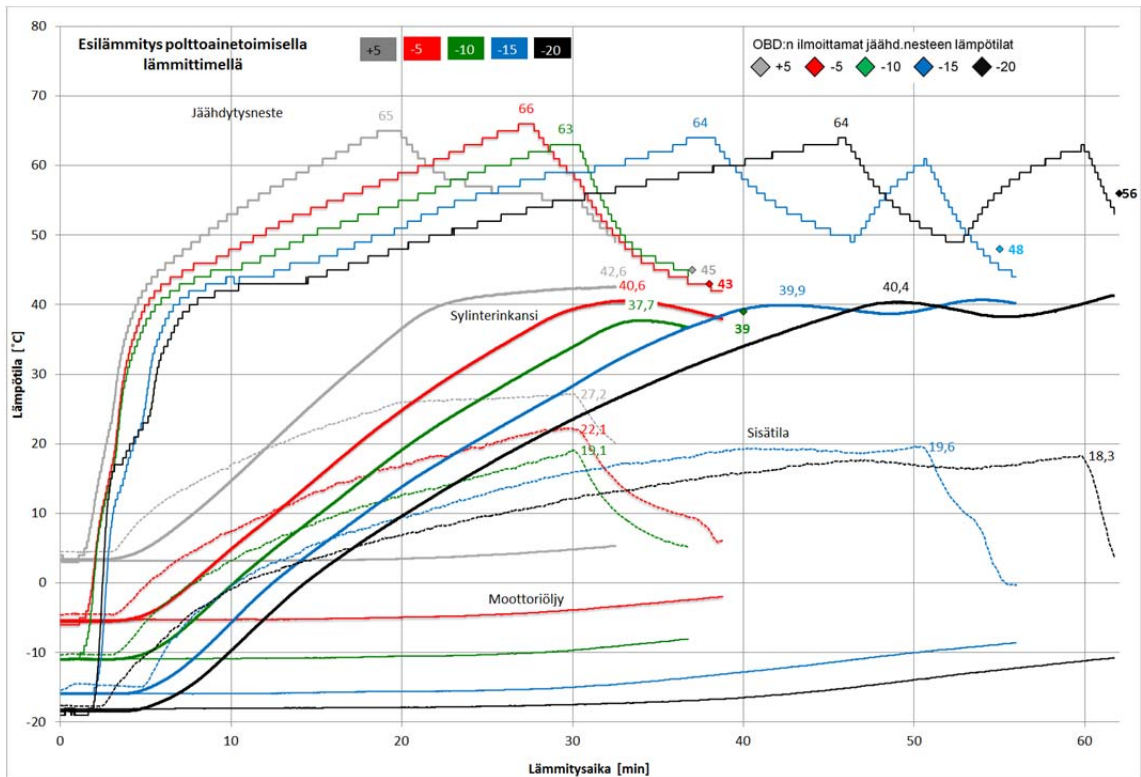
Kahden eri sähkölämmitystyyppin lisäksi tehtiin vastaavat lämpötilamittaukset polttoainekäyttöisellä lämmittimellä. Kyseisten mittausten tulokset on esitetty graafisesti kuviossa 7. Koska polttoainetoiminen lämmitin on ohjelmoitu lämmittämään moottorin ohella myös auton sisätiloja, oli tässä tapauksessa yksi ylimääräinen lämpötilan mittauspiste sijoitettu matkustamoon.



Kuvio 5. Lämpötilojen kehittyminen eri kohdissa moottoria ajan funktiona käytettäessä esilämmitykseen 500 W:n tehoista letkulämmitintä.



Kuvio 6. Lämpötilojen kehittyminen eri kohdissa moottoria ajan funktiona käytettäessä esilämmitykseen 300 W:n tehoista kontaktilämmittintä.



Kuvio 7. Lämpötilojen kehittyminen eri kohdissa moottoria sekä sisätilaa ajan funktiona käytettäessä esilämmitykseen 5 kW:n tehoista polttoainetoimisella lämmittimellä.

5.2 Lämmityslaitetekokeiden tulosten soveltaminen energiankulutus- ja päästömittaukseen

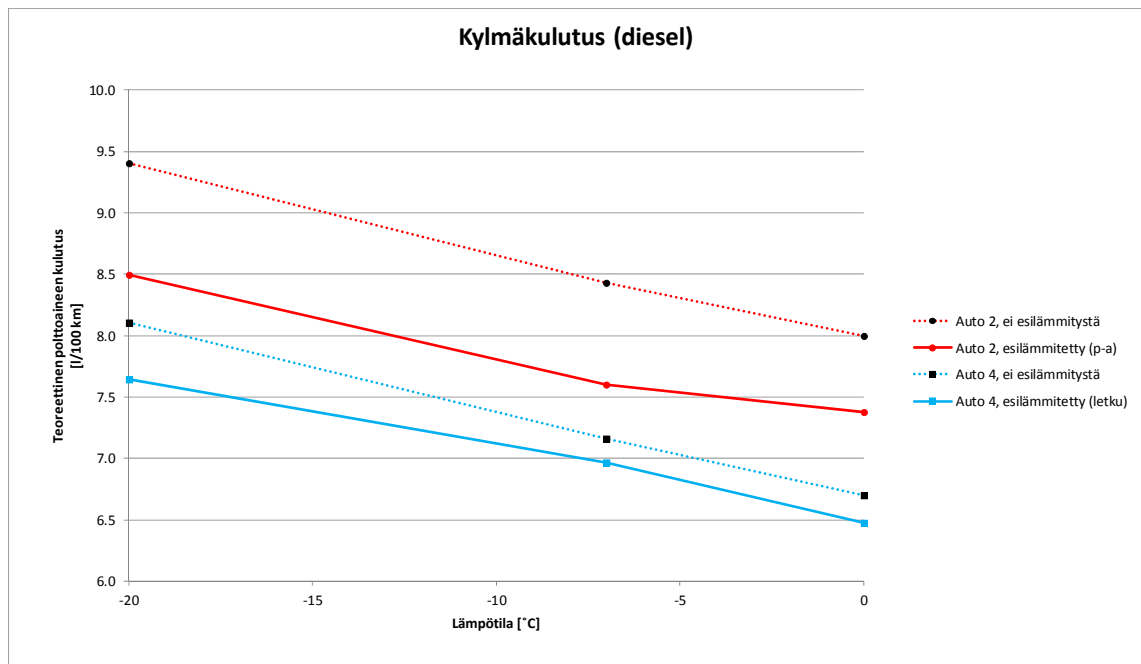
Kohdan 5.1 mittaustulosten perusteella johdettiin tämän tutkimuksen kokeellisen osuuden jälkimmäisessä vaiheessa eli dynamometrillä tehtävissä päästömittauksissa käytettävät esilämmitysajat. Mittaustulosten ohella tarkasteltiin myös aiempia lämmityskasuosituksia vuodelta 2003 (Vinkit ennen ajoon lähtöä 2013). Kokeissa käytetyt esilämmitysajat on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Ensimmäisen vaiheen mittaustuloksista johdetut esilämmitysajat toisen vaiheen mittauksia varten.

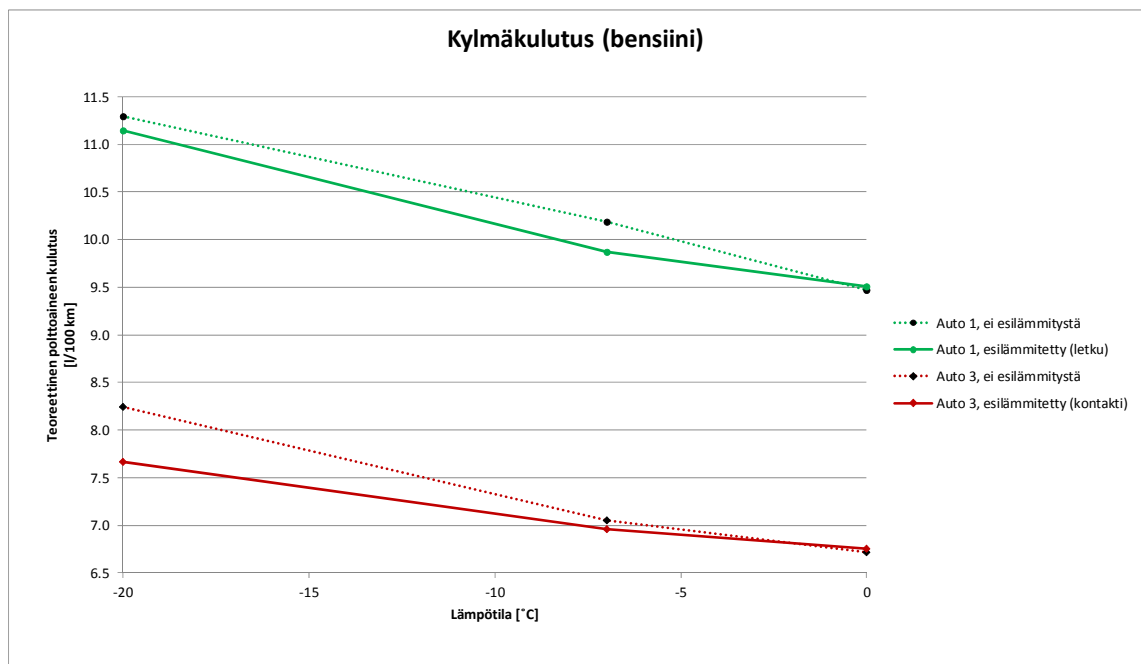
Auto n:o	1	2	3	4	5	6
Esilämmitysaika (0°C)	60 min	20 min	60 min	60 min	60 min	60 min
Esilämmitysaika (-7°C)	120 min	30 min	120 min	120 min	120 min	120 min
Esilämmitysaika (-20°C)	180 min	40 min	180 min	180 min	180 min	180 min
Lämmittintyyppi	letku	polttoaine	kontakti	letku	letku	kontakti
Lämmittimen teho	500 W	5 kW	300 W	500 W	550 W	300 W

5.3 Energiankulutus kylmällä ja esilämmitetyllä moottorilla

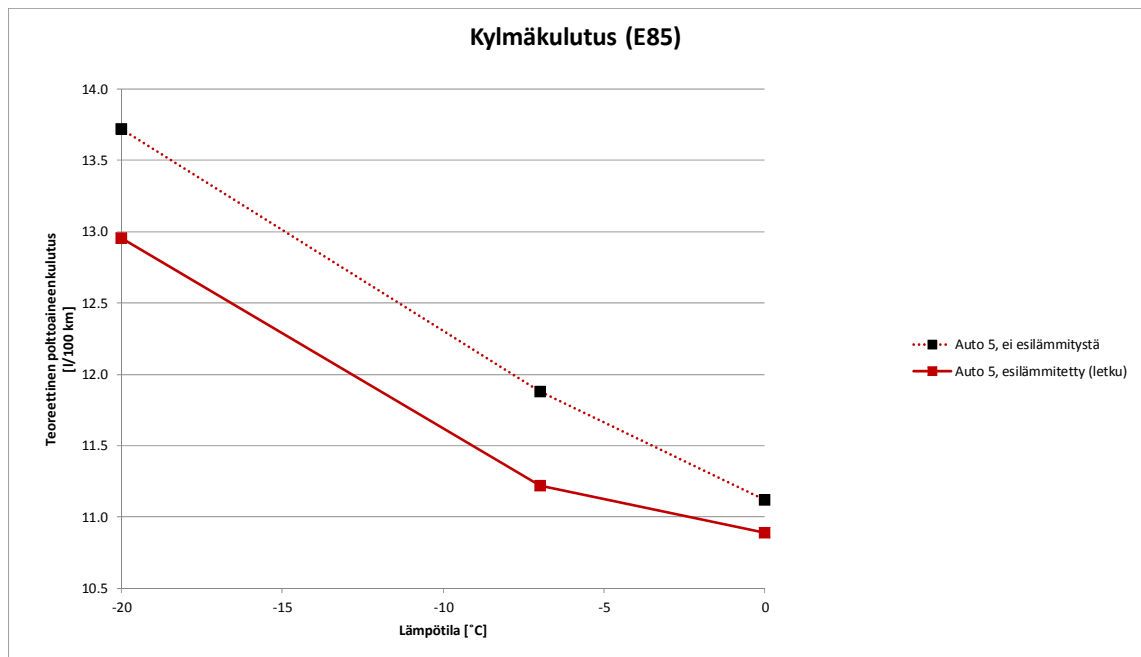
Kokeellisten mittausten toisessa vaiheessa ajoneuvoille tehtiin standardin (ks. kohta 3.2) mukaiset energiankulutus- ja päästömittaukset eri kylmäkoetilan lämpötiloissa (0, -7 ja -20 °C) sekä ilman esilämmitystä että taulukon 6 mukaisen esilämmitysajan jälkeen. Päästöinä mitattiin kaasumaiset ja hiukkaspäästöt. Energiankulutus on laskettu kaasumaisista päästöistä, eli polttoaineen kulutusta ei mitattu punnitusmenetelmällä. Esilämmityksen vaikutus teoreettiseen polttoaineen kylmäkulutukseen on esitetty kuvioissa 8–11.



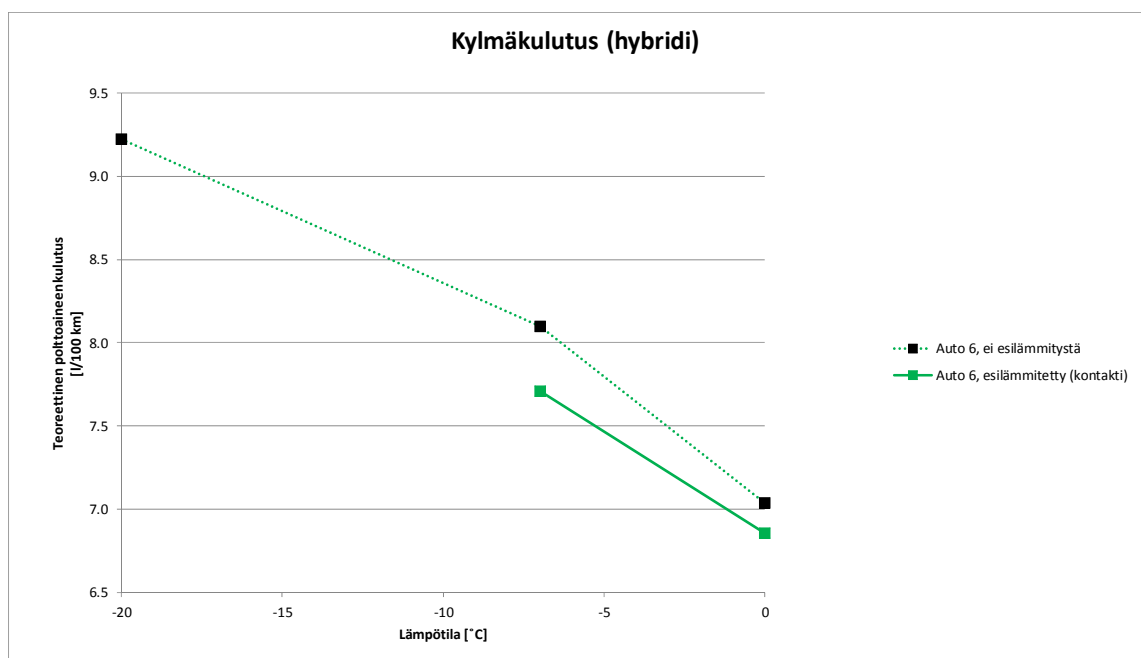
Kuvio 8. Esilämmityksen vaikutus dieselmoottoristen testiajoneuvojen teoreettiseen polttoaineen kulutukseen.



Kuvio 9. Esilämmityksen vaikutus bensiinikäyttöisten testiajoneuvojen teoreettiseen polttoaineen kulutukseen.



Kuvio 10. Esilämmityksen vaikutus E85:tä polttoaineenaan käyttävien testiajoneuvojen teoreettiseen polttoaineen kulutukseen.

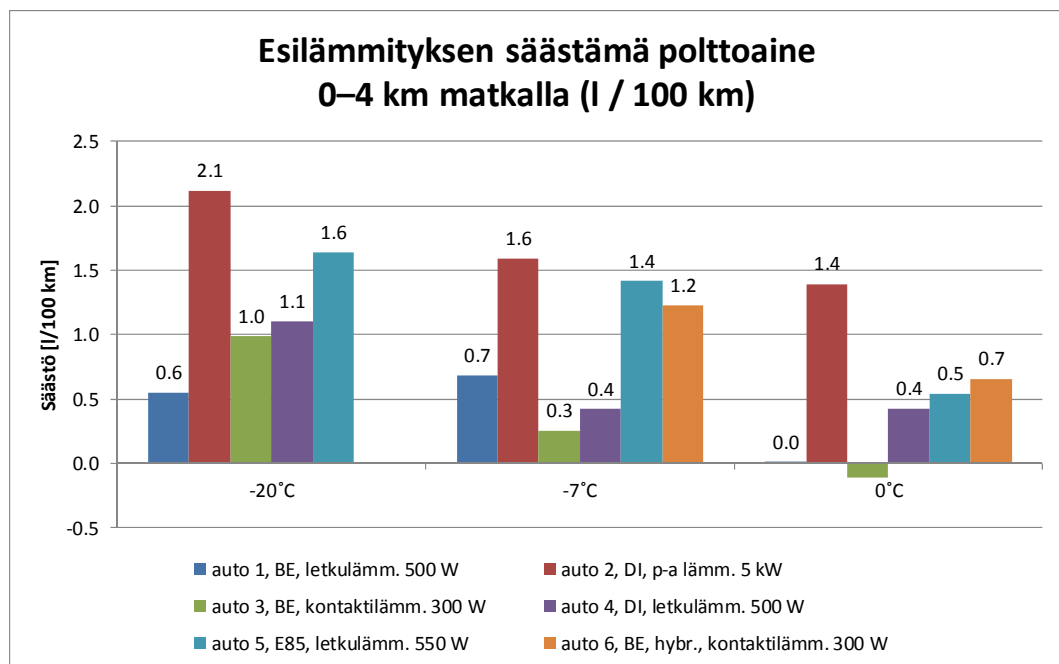


Kuvio 11. Esilämmityksen vaikutus hybriditestiajoneuvojen teoreettiseen polttoaineen kulutukseen.

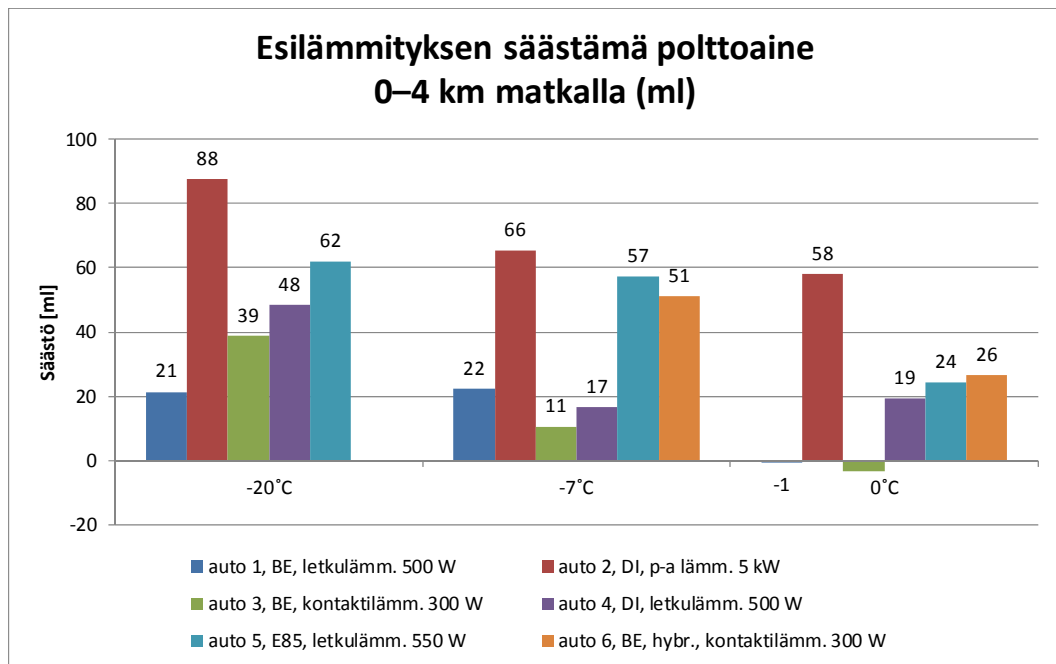
Hybridiajoneuvon osalta mittauksessa oli epäonnea. Sähkökäyttöisen esilämmittimen panssarikaapeli oli tuntemattomasta syystä irti lämmitinelementistä. Valitettavasti tämä huomattiin siinä vaiheessa mittausohjelmaa, että kyseistä päästömittausta -20°C :n lämpötilassa esilämmitetyllä moottorilla ei ollut enää mahdollista uusaa.

Kuvioissa 8–11 esiintyvät kulutuslukemat on laskettu koko NEDC-ajosyklin matkalle sisältäen myös kaupunkiajo-osion. Kuitenkin sekä tässä tutkimuksessa saatuja että luvussa 4 mainittuja aikaisempia mittaustuloksia tarkasteltaessa huomio kohdistui siihen, että merkittävimmät erot polttoaineen kulutuksessa sekä päästöissä tulevat esiin jo 0–4 km:n ajomatalla. Jäljempänä onkin tarkasteltu yksinomaan kyseisen kaupunkiajo-osion aikana syntyneitä eroja mittaustuloksissa.

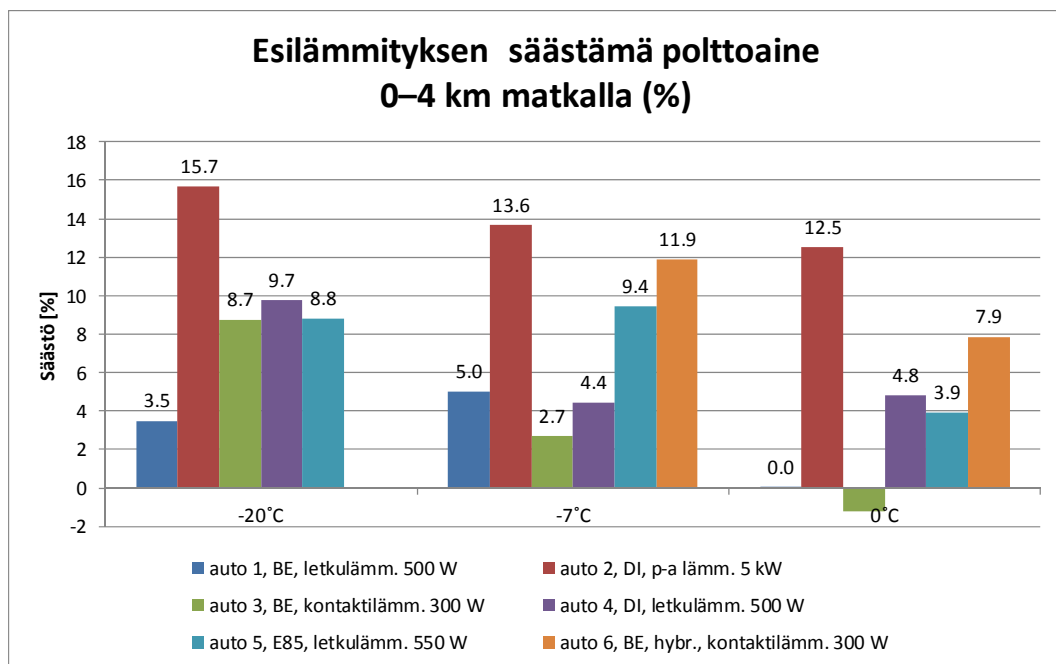
Kuviossa 12 on esitetty taulukon 6 mukaisilla esilämmityksillä aikaansaadut säästöt polttoaineen kulutuksessa sataa kilometriä kohden. Kuviossa 13 ja 14 näkyvät vastaavat tulokset polttoainemäärinä (ml) sekä suhteellisina säästöinä (%).



Kuvio 12. Moottorin esilämmityksen säästämä polttoaine 0–4 km:n matkalla (l / 100 km)



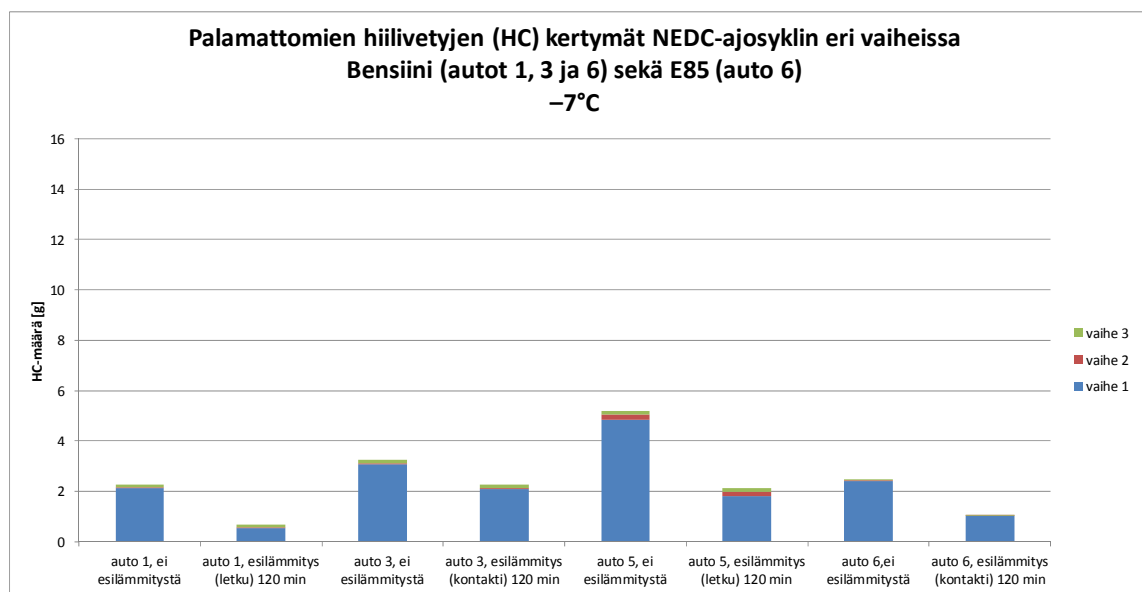
Kuvio 13. Moottorin esilämmityksen säästämä polttoaine 0–4 km:n matkalla (ml).



Kuvio 14. Moottorin esilämmityksen säästämä polttoaine 0–4 km:n matkalla (%).

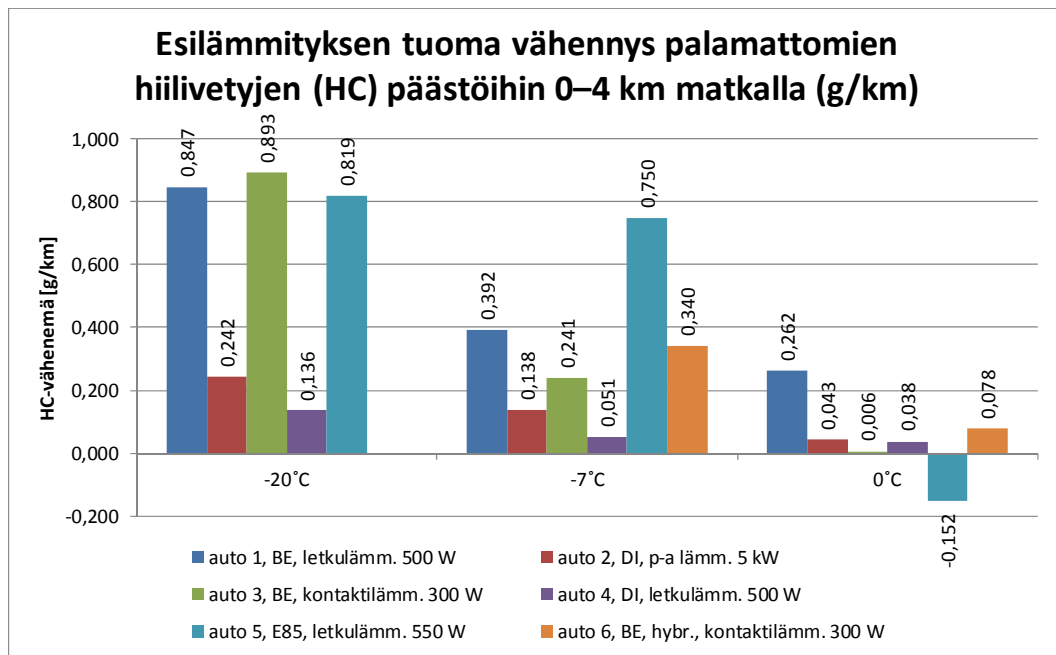
5.4 Palamattomien hiilivetyjen (HC) päästöt kylmällä ja esilämmitetyllä moottorilla

Tarkasteltaessa palamattomien hiilivetyjen (HC) päästöjen kertymistä ajosyklin eri vaiheissa, käy selvästi ilmi, että ensimmäiset kaksi kilometriä ovat merkityksellisimmät, olipa moottoria esilämmitetty tai ei. Kuviossa 15 on esitetty esimerkkinä HC-kertymät -7°C :n lämpötilassa.

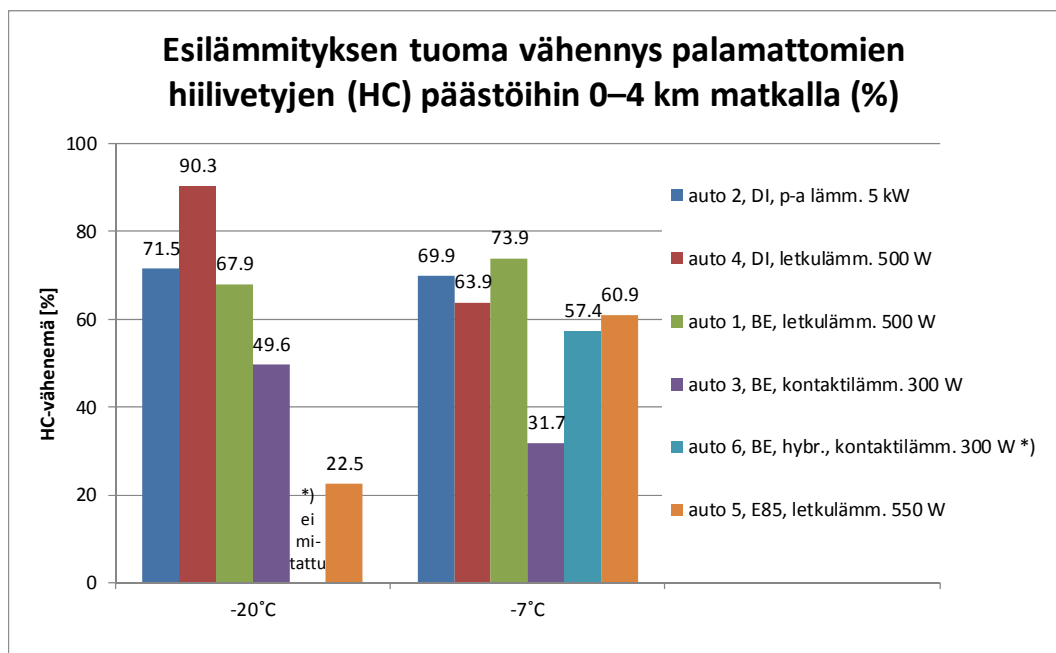


Kuvio 15. Valtaosa palamattomien hiilivetyjen (HC) päästöistä muodostuu jo 0–2 km:n ajomat-
kalla (vaihe 1). Vaiheet 1 ja 2 muodostavat NEDC-ajosyklin kaupunkiajo-osion 0–4
km.

Seuraavassa on esitetty päästömittaustuloksia palamattomien hiilivetyjen (HC) osalta. Tässä yhteydessä kiinnostavina on pidetty nimenomaan bensiiniä tai E85:tä polttoai-
neenaan käyttävien autojen päästöjä. Dieselmootoreilla mitatut tulokset ovat saman-
suuntaisia, mutta määrät selvästi alhaisempia. Kuviossa 16 on esitetty HC-päästöjen
vähentäminen 0–4 km:n matkalla grammoina kilometriä kohden ja kuviossa 17 prosent-
teina.

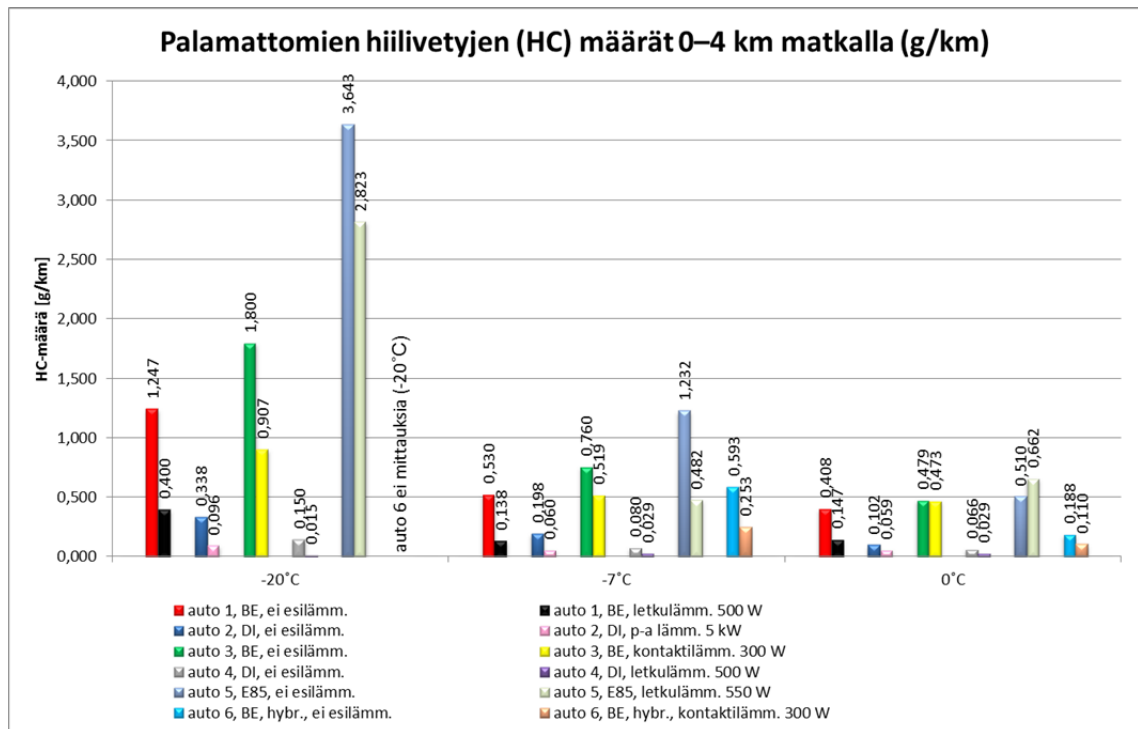


Kuvio 16. Palamattomien hiilivetypäästöjen väheneminen 0–4 km:n matkalla (g/km).



Kuvio 17. Palamattomien hiilivetypäästöjen väheneminen 0–4 km:n matkalla (%).

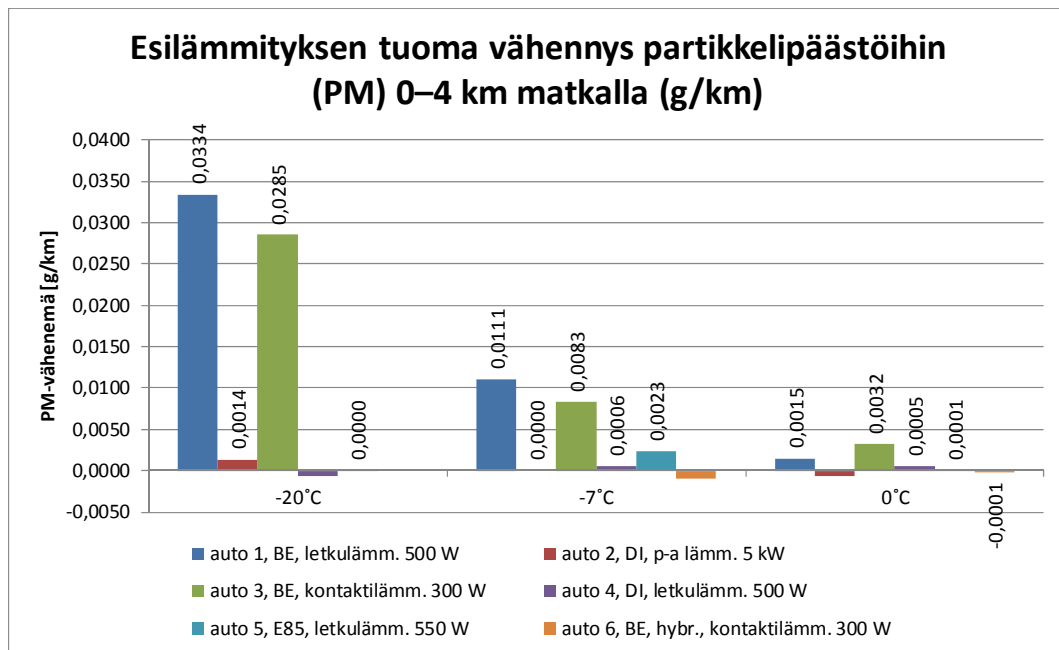
Kuviossa 18 on puolestaan havainnollistettu palamattomien hiilivetyjen mitattuja määriä grammoina kilometriä kohden pylväspareina siten, että ensimmäinen pylväs osoittaa päästö määrän kylmällä moottorilla ja toinen pylväs vastaavan määrän esilämmitetyllä moottorilla.



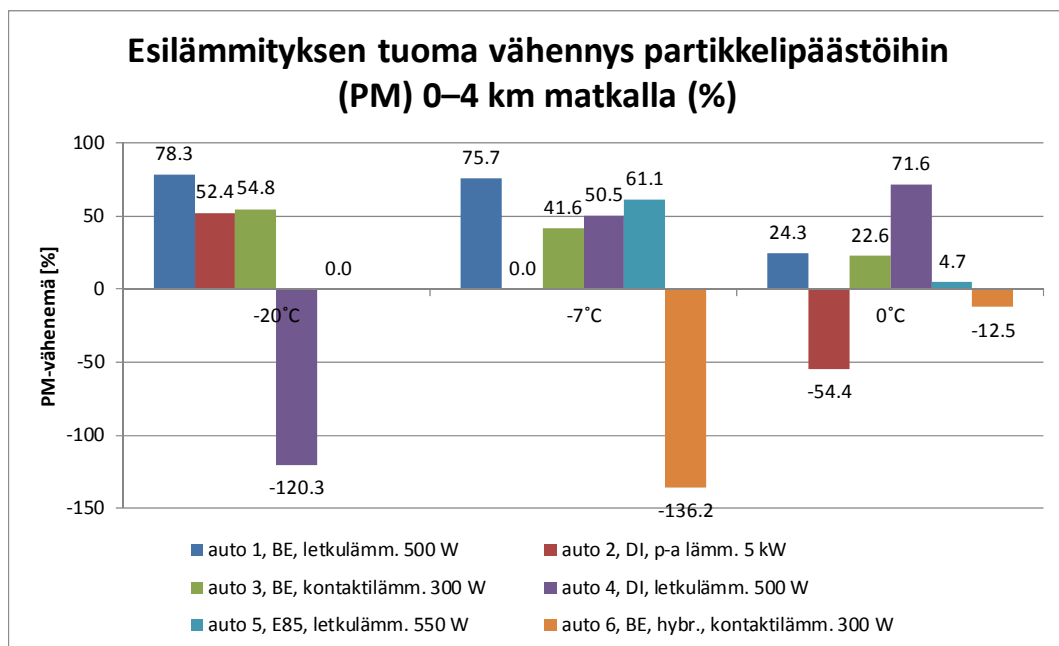
Kuvio 18. Palamattomien hiilivetyjen (HC) määrät eri lämpötiloissa sekä kylmille että esilämmitetyille moottoreille 0–4 km:n ajomatalla (g/km).

5.5 Partikkelipäästöt (PM) kylmällä ja esilämmitetyllä moottorilla

Kuvioissa 19 ja 20 on esitetty partikkelipäästöt (PM) laboratoriomittausten osalta sekä grammoina kilometriä kohden että suhteellisenä vähenemänä. Tässä yhteydessä kannattaa huomata, että kaikissa mitatuissa ajoneuvoissa, joissa oli dieselmoottori, oli myös asennettuna hiukkassuodatin (DPF). Huomio on siksi syytä kiinnittää lähinnä muiden kuin dieselkäyttöisten autojen mittaustuloksiin.



Kuvio 19. Partikkelipäästöjen väheneminen 0–4 km:n matkalla (g/km).



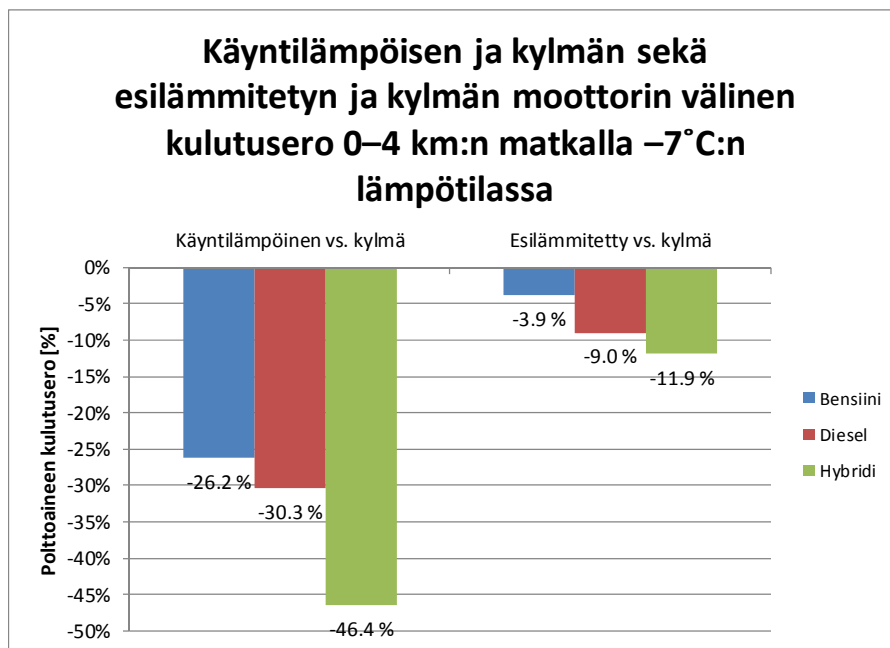
Kuvio 20. Partikkelipäästöjen väheneminen 0–4 km:n matkalla (%).

6 Mittaustulosten analysointi

6.1 Polttoaineen kulutus

Mittaustulosten perusteella nykyaikaisen polttomoottorin esilämmittäminen säästää jonkin verran polttoainetta ensimmäisen neljän ajokilometrin aikana. Vertailtaessa kylmää (-20 °C ja -7 °C) ja esilämmitettyä moottoria bensiiniä säästy keskimäärin n. 5 %, dieseliä n. 11 % ja E85:tä n. 9 %. Leudommassa 0 °C :n lämpötilassa tehdyissä mittauksissa bensiiniä ei juuri säästynyt, mutta dieseliä säästy keskimäärin 9 % ja E85:tä n. 4 %. Esilämmitetyn hybridauton bensiininkulutus väheni -7 °C :ssa n. 12 % ja 0 °C :ssa n. 8 % verrattuna kylmään autoon (-20 °C :ssa mittausta ei tehty). Vaikka suhteellista vähennystä polttoainemäärissä on nähtävissä, ovat säästyneet polttoainemäärät verrattain pieniä (kaikissa mittauksissa välillä 11–88 ml, keskimäärin 41 ml).

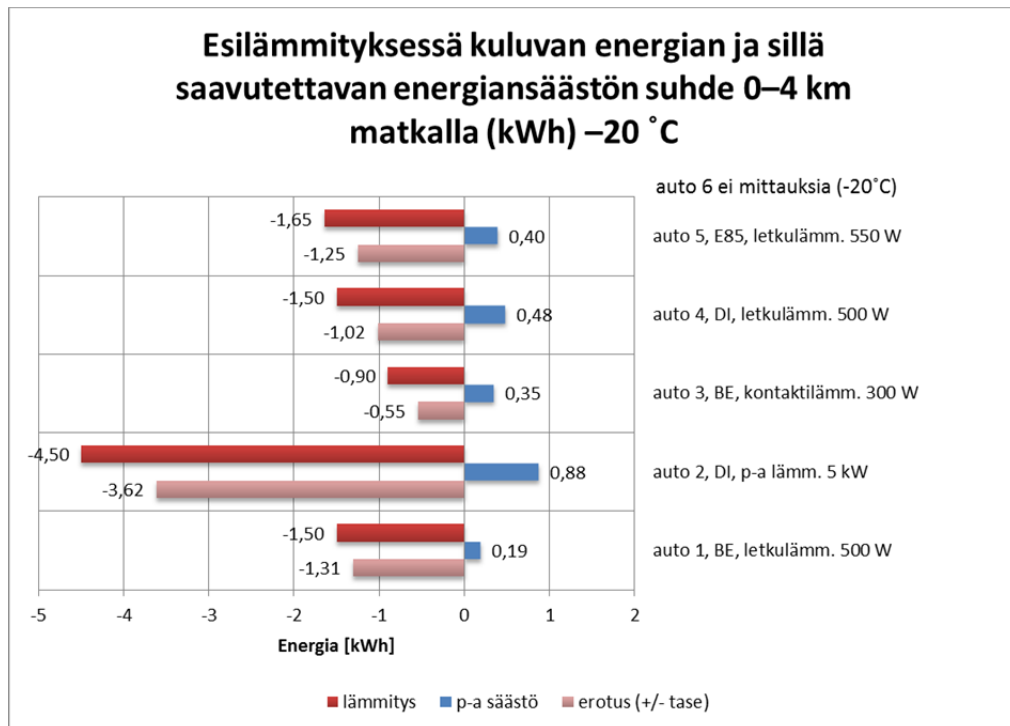
Polttoaineen kulutuksen osalta on tehty myös vertailua aikaisempiin Tekniikan Maailman talvitesteihin (kohta 4) ja niistä laskettuun mahdolliseen säästöpotentiaaliin. Täydentämällä kuviota 4 tässä tutkimuksessa toteutuneilla säästöillä saadaan aikaan kuvion 21 esittämä vertailu.



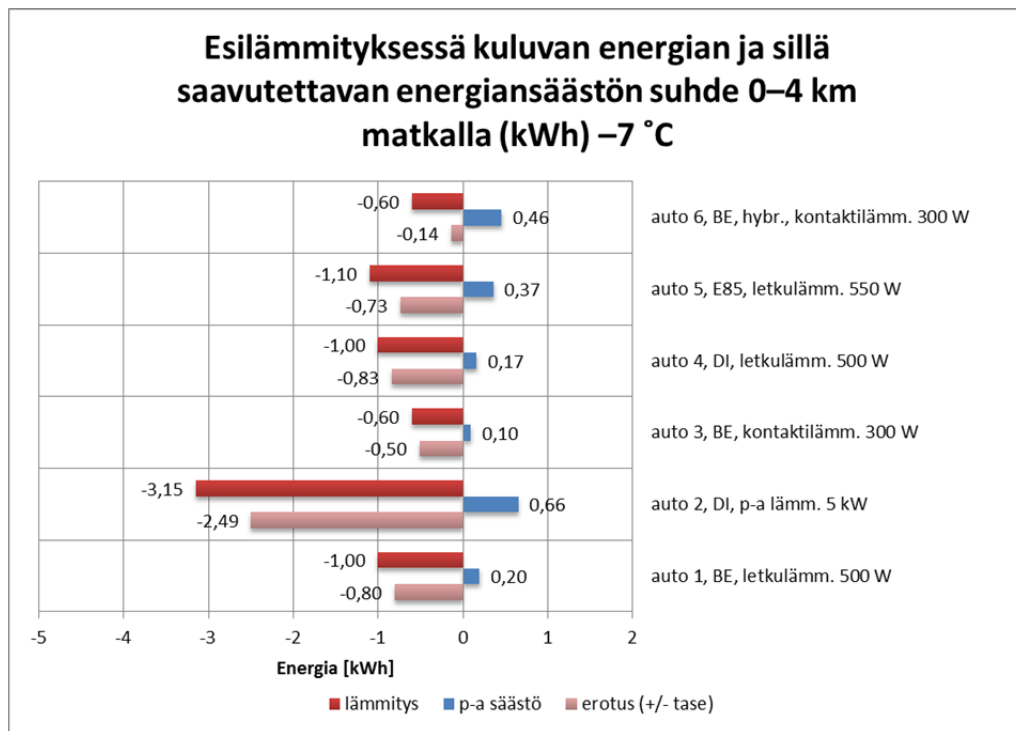
Kuvio 21. Kylmän ja käyntilämpöiseksi ajatun sekä kylmän ja esilämmitetyn moottorin väliset kulutuserot.

Kuten kuviosta 21 selvästi havaitaan, pelkällä sähkö- tai polttoainetoimisella esilämmityksellä ei saavuteta samaa luokkaa olevaa polttoaineen kulutuseroa (säästöpotentiaalia) kuin voidaan saavuttaa kylmän ja käyntilämpöiseksi ajetun moottorin välillä.

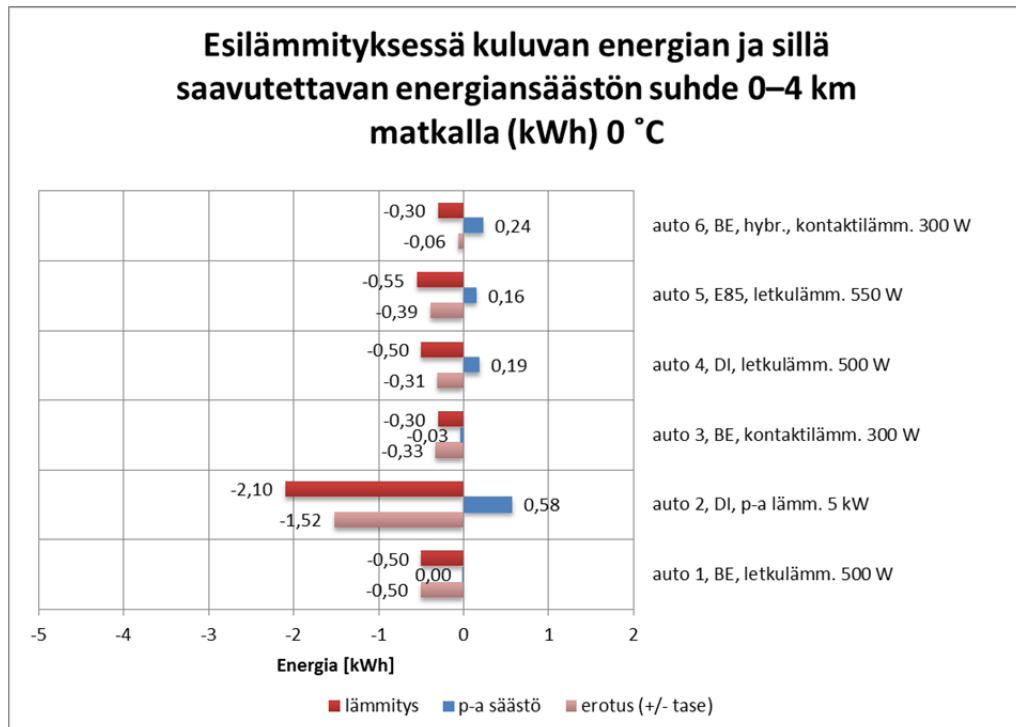
Kun huomioidaan esilämmittämiseen tarvittava energia joko polttoaineen tai sähkön muodossa, voidaan esilämmityksessä kuluvan energian ja sillä mahdollisesti saavutettavan energiansäästön suhdetta kuvata kuvioiden 22–24 tapaan energiataseena. Vertailulaskelmissa on käytetty polttoaineille seuraavia energiasäilytyksiä: 9 kWh/l (benssiini), 10 kWh/l (diesel) ja 6,4 kWh/l (E85). Polttoainetoimisen lämmittimen tapauksessa energiankulutukseen on laskettu käytetyn polttoaineen lisäksi auton akun uudelleenvaraukseen kulunut sähköenergia.



Kuvio 22. Esilämmityksen energiatase –20 °C:ssa (kWh).



Kuvio 23. Esilämmityksen energiatase –7 °C:ssa (kWh)



Kuvio 24. Esilämmityksen energiatase 0 °C:ssa (kWh)

Kuten kuvioista 22–24 voi nähdä, yhdessäkään tämän tutkimuksen tapauksista esilämmityksen tuoma polttoaineen säästö ei riitä kattamaan säästön synnyttämiseen tarvittavan energian kulutusta.

6.2 Pakokaasupäästöt

Mittaustulosten perusteella esilämmittämisellä on suotuisa vaikutus myös neljän ensimmäisen ajokilometrin aikana tapahtuviin pakokaasupäästöihin. Terveydelle erityisen haitallisena pidettyjen palamattomien hiilivetyjen (HC) päästöt alenivat määrällisesti etenkin bensiiniä ja E85:tä käyttävissä autoissa. Kylmissä lämpötiloissa (-20 °C ja -7 °C) HC-päästöt alenivat keskimäärin suhteellisesti 56 % (bensiini), 74 % (diesel), 42 % (E85) ja 57 % (hybridi). Leudommassa 0 °C :n lämpötilassa tehdyissä mittauksissa HC-päästöt alenivat keskimäärin 33 % (bensiini), 50 % (diesel) ja 42 % (hybridi).

Suorasuihkutusta käyttävien bensiinimoottorien (DISI) hiukkaspäästöt (PM) ovat hiukkassuodattimilla (DPF) varustettuihin dieselmoottoireihin verrattuna merkittävimpiä. Esilämmityksellä näyttää tutkimustulosten valossa olevan partikkelipäästöjä ensimmäisen neljän ajokilometrin aikana merkittävästi alentava vaikutus. Kylmissä lämpötiloissa (-20 °C ja -7 °C) suorasuihkutteisen bensiinimoottorin PM-päästöt alenivat keskimäärin suhteellisesti 63 % ja 0 °C :ssa noin 23%.

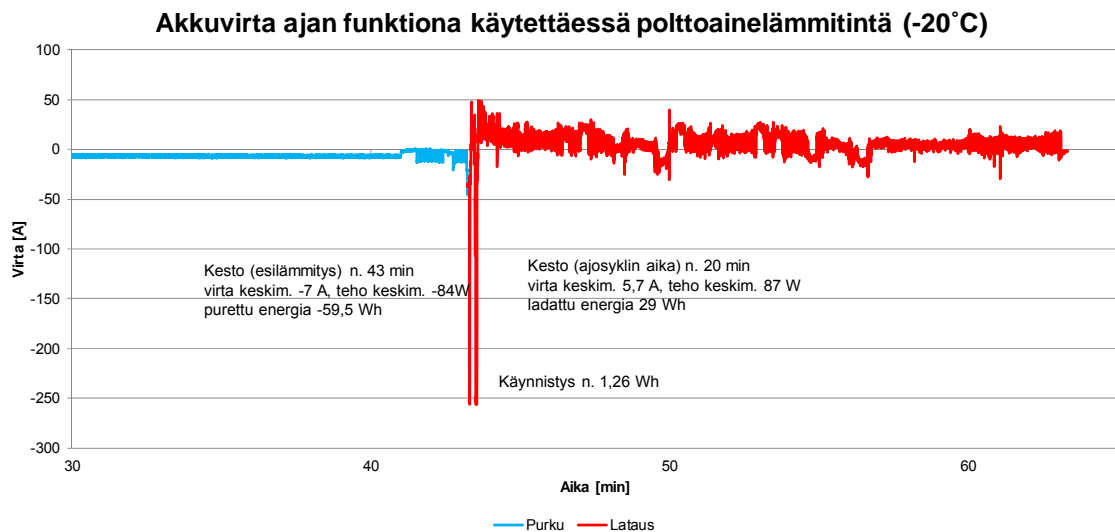
6.3 Verkkovirran kulutus

Kokeissa mukana olleet lämmityslaitteet vastasivat hyvin ilmoitettua nimellistehoaan ja kuluttivat energiaa sen mukaisesti suhteessa lämmitysaikaan.

Lämmityslaittekokeissa mitattiin myös maksimivirraltaan 7 ampeerin akkuvaraajan (ns. älylaturi) kuluttamaa verkkovirtaa. Auton akku purkautui polttoainetoimisen lämmityslaitteen käyttökokeissa 30–60 minuuttia. Kuormana oli nimellislämmitysteholtaan 5 kW:n tehoinen polttoainelämmitin, joka oheislaitteineen sekä auton oma sisäilmapuhallin mukaan lukien muodostivat akulle keskimäärin 85 watin kuormituksen. Esilämmityksen kestosta ja lämpötilasta riippuen akun uudelleenvaraaminen kesti 2–4 tuntia, jonka aikana akkuvaraaja muodosti sähköverkkoon keskimäärin n. 30–50 watin kuormituksen. Taulukoista 4 ja 5 nähdään, että kylmän akun varaaminen on mitaustulosten

perusteella häviöllistä. Akusta kulutetun energian varaaminen sinne takaisin kulutti noin kaksinkertaisen määrän energiaa, kun mitä akusta kulutettiin.

Kuviossa 25 on tarkasteltu akkuvirran käyttäytymistä ajosyklin aikana autossa, jossa käytettiin polttoainetoimista lämmitintä. Sininen osuus käyrästä kuvaa virran kulutusta esilämmityksen aikana ja punainen osuus auton akun varaamista ajosyklin aikana käyttäen auton omaa latausgeneraattoria.



Kuvio 25. Akkuvirran käyttäytyminen polttoainekäyttöisellä lämmitimellä tapahtuvan esilämmityksen (akun purkaminen) aikana ja sitä seuranneen ajosyklin (akun uudelleen varaaminen) aikana.

Yhden mittauksen perusteella akun varaaminen auton omalla generaattorilla ei vaikuttaisi olevan niin häviöllistä, kuin verkkovirtalaturilla. Toisaalta ajosyklin aikana akku myös lämpenee moottorin käydessä tuottaman lämmön vaikutuksesta, jolloin se ottaa kylmää akkua paremmin vastaan varausta.

6.4 Polttoainetoimisen esilämmittimen kulutus

Nimellisteholtaan 5 kW:n polttoainetoimisen lämmittimen polttoaineen kulutus oli mitauksissa keskimäärin n. 100 ml / 10 minuuttia. Arvo oli mittaustarkkuuden puitteissa valmistajan ilmoituksen mukainen.

6.5 Testiajoneuvon n:o 1 lämmityslaittekoeket

Tarkasteltaessa kuviota 5 voidaan havaita seuraavia seikkoja. Jäähdytysveden lämpötila nousee nopeasti hyvin kuumaksi ja pysyy samalla tasolla siitä eteenpäin. Kuvaaja näyttää siltä, kuin lämpötilaa säätelisi termostaatti, vaikkei lämmityslaitteessa sellaista olekaan. Toisaalta lämpötilojen kehittyminen moottorin muissa mittauspisteissä sekä auton oman diagnostiikan (OBD) mukaan vaikuttaisi siltä, kun autossa oleva letkulämmittin ei syystä tai toisesta toimisi optimaalisesti. Toisin sanoen lämmitin lämmittää jäähdytysnestettä pienessä vesitilavuudessa (vesiletkussa) kuumaksi, mutta lämpö ei näyttäisi pääsevän siirtymään eteenpäin jäähdytysnesteessä.

Eräänä arviona on esitetty, että kyseisessä moottorissa olisi valmistajan tietojen mukaan automaatti-ilmastointijärjestelmään kuuluva tietty sulkuventtiili. Auton ilmastoinnin ohjainlaite käyttää tätä venttiiliä sulkeakseen lämmityslaitteen kennolle menevän nestekierron, jottei lämmityslaitteen kotelo kuumenisi turhaan pelkkää jäähdytystä käytettäessä. Auton valmistusajankohdasta riippuen venttiili voi olla joko sähkötoiminen (aukeaa aina, kun virta katkaistaan) tai alipainetoiminen, joka pysyy siinä asennossa, jossa se on ollut autoa viimeksi käytettäessä.

Mittaukset tehtiin heinäkuussa, joten on mahdollista, että autoa on ennen lämmityslaittekoetta ajettu ilmastointi (jäähdytys) päällä, jolloin alipainetoiminen sulkuventtiili olisi jäänyt lämmityslaittekokeen ajaksi kiinni ja siten ehkä estänyt lämmön siirtymisen eteenpäin jäähdytysnesteessä letkulämmittimen valmistajan toivomalla tavalla.

6.6 Vertailu vuoden 2003 mittaustuloksiin

Edellä luvussa 5 kuvattuja tuloksia on taulukossa 7 soveltuvin kohdin vertailtu vuonna 2003 mitattuihin vastaaviin tuloksiin mittauksiin (Test Report Engine pre-heaters 2013).

Taulukko 7. Nyt tehtyjen mittausten vertailu vuonna 2003 tehtyyn vastaavaan tutkimukseen. Kaikki vertailuluvut koskevat $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötilassa tehtyjä mittauksia.

$-20\text{ }^{\circ}\text{C}$	DIESEL		BENSIINI	
	2013 aineisto	2003 aineisto	2013 aineisto	2003 aineisto
Polttoaineen säästö esilämmityksellä [ml]				
0–2 km	-49	-35	-27	-88
2–4 km	-19	-6	-4	-13
Maantie (EUDC)	-12	-7	-10	-5
Yhdistetty	-80	-48	-40	-107
Polttoaineen suhteellinen säästö esilämmityksellä [%]				
0–2 km	-16 %	-11 %	-9 %	-18 %
2–4 km	-8 %	-3 %	-2 %	-5 %
Maantie (EUDC)	-2 %	-2 %	-2 %	-1 %
Yhdistetty	-8 %	-3 %	-4 %	-9 %
Kylmäkulutus [l / 100 km]				
0–2 km	14,1	15,1	15,6	22,7
2–4 km	10,7	11,1	11,4	13,9
Maantie (EUDC)	6,6	6,4	7,6	8,2
Yhdistetty	8,8	8,9	9,8	11,9
Suhteellinen HC-vähennelmä g/km, [%]				
0–2 km	-85 %	-41 %	-46 %	-74 %
2–4 km	-68 %	-24 %	-39 %	-67 %
Maantie (EUDC)	-67 %	-13 %	-16 %	-43 %
Yhdistetty	-80 %	-35 %	-46 %	-73 %

Taulukon 7 perusteella voidaan polttoaineen kulutuksen osalta havaita, että dieselmoottoreissa kulutus vähenee nyt suhteellisesti hieman enemmän kuin v. 2003 mittauksissa. Bensiinikäyttöisissä autoissa kulutus puolestaan vähenee nyt vähemmän, kuin aiemmissa mittauksissa. Dieselmoottoreiden kylmäkulutus ensimmäisellä kahdella kilometrillä (l / 100 km) on pudonnut kymmenessä vuodessa hieman, vastaavasti bensiinimoottoreilla huomattavasti enemmän eli noin 30 %:lla.

Dieselmoottoreiden palamattomien hiilivetyjen (HC) päästöt vähenevät nyt tehdyissä mittauksissa tehokkaammin kuin aikaisemmissa mittauksissa. Bensiinimoottoreiden HC-päästöt eivät kuitenkaan suhteellisesti vähene yhtä tehokkaasti kuin vuoden 2003 mittauksissa.

7 Yhteenveto ja suositukset

Tutkimuksessa selvitettiin nykyaikaisten polttomoottorien esilämmittämisen vaikutuksia ajoneuvon energiankulutukseen ja pakokaasupäästöihin kylmissä olosuhteissa.

Tarjolla olevia esilämmitintyyppisiä ja niiden vaikuttavuutta kartoitettiin kirjallisuusselvityksenä, asiantuntijahaastatteluinä sekä VTT:n ajoneuvolaboratoriossa tehdyin mittauksin. Kokeellisessa osuudessa tutkittiin aluksi valittujen esilämmittimien toimintaa mittaamalla lämmitysaikaa ja lämpötiloja moottorista eri ulkolämpötiloissa. Toisessa vaiheessa valituille autoille tehtiin standardin mukaiset energiankulutus- ja päästömitaukset (lämpötiloissa 0, -7 ja -20 °C) sekä ilman esilämmitystä että esilämmitettynä.

Tehdyn tutkimuksen valossa nykyaikaisen polttomoottorin esilämmittäminen ei ole kannattavaa, jos tarkastellaan yksinomaan auton polttoaineen kulutusta. Säästynyttä polttoainetta merkittävämpänä asiana voidaan kuitenkin pitää esilämmityksen johdosta merkittävästi alentuneita lähipäästöjä, toisin sanoen pakokaasupäästöjä, joita syntyy kylmäkäynnistystä seuraavien ensimmäisten neljän kilometrin ajomatalla. Esilämmitystä tulisikin pitää suotavana jo pelkästään lähipäästöjen vähentämiseksi.

Suoraan mitattavien säästöjen ja vähennysten ohella esilämmityksellä voidaan parantaa autoilun mukavuutta, käytettävyyttä ja turvallisuutta kylminä aikoina, etenkin, mikäli järjestelmä lämmittää ja kuivattaa myös auton sisätiloja.

Polttoainetoimisella, nimellisteholtaan suurella lämmittimellä tarvittava lämmitysaika on luonnollisesti murto-osa siitä, mitä esim. moottoriöljyä lämmittävällä kontaktilämmittimellä. Tutkimuksen mukaan käytetyillä lämmitinlaitetyypeillä ei muuten ollut erityisen merkittävää vaikutusta lopputuloksiin. Sähkölämmittimen sijoituspaikalla osaksi auton jäähdytysjärjestelmää sekä auton oman jäähdytysjärjestelmän toimintaperiaatteella on vaikutusta lämmittimen toimintaan, kuten esim. kohdassa 3.3 ennakkoon epäiltiin.

Nykyaikaisissa autoissa on aiempaa huomattavasti enemmän energiaa kuluttavia sähkölaitteita. Myös akun hyödyntäminen eri tavoin on aikaisempaa intensiivisempää, esimerkkeinä voidaan mainita start-stop-toiminto, sisätilojen lisälämmitys PTC-vastuksella sekä joidenkin aiemmin mekaanisten moottorin apulaitteiden korvautuminen sähköisillä. Autojen akkujen kapasiteetti ei kuitenkaan ole erityisesti kasvanut vuosien saatossa. Akun kunto on nykyaikaisen ajoneuvon toimintavarmuuden kannalta erittäin tärkeää kaikkina vuodenaikoina, varsinkin talvella. Harkittaessa mahdollisen

esilämmitysjärjestelmän asentamista autoon kannattaa aina pohtia myös järjestelmään liitettävän ylläpitovaraajan hankkimista. Etenkin polttoainetoimista esilämmitintä käytävien tulisi harkita kiinteän tai siirrettävän akkuvaraajaan säännöllistä käyttöä talvikaudella, jotta akussa säilyisi riittävä varaustaso. Siirrettävistä akkuvaraajista kannattaa valita sellainen malli, joka osaa jatkaa latausta automaattisesti, vaikka lämmitystolpan ajastinkello välillä katkaisee verkkovirran saannin.

Vähimmäisohjeena akun riittävän toiminnan turvaamiseksi polttoainekäyttöistä esilämmitintä säännöllisesti käytettäessä voidaan pitää seuraava. Autolla tulisi ajaa vähintään esilämmitysjakson pituinen aika, jotta akku varautuisi. Ajoneuvon latausjärjestelmästä, akun tyypistä ja vallitsevista olosuhteista (akun lämpötila) sekä muusta virrankulutuksesta riippuen tämäkään ei kuitenkaan välttämättä riitä turvaamaan akun riittävää varaustasoa.

Aina seuraavaa polttoainekäyttöisen lämmittimen käyttökertaa ennakoiden auton oma lämmityslaitte kannattaa säätää täydelle teholle 20–30 sekuntia ennen moottorin sammuttamista, jotta ilman ohjausläpät ehtivät asettua oikeisiin asentoihinsa. Säädä myös puhallin melko matalalle teholle akkuvirran säästämiseksi.

Kesäaikaankin polttoainelämmitintä pitäisi käyttää lyhyesti 1–2 kertaa kuukaudessa. Muuten polttoaine vähitellen haihtuu lämmittimestä ja lämmittimen käynnistäminen vaatii erikoistoimia tai huollossa käyntiä.

Esilämmittimiä käytettäessä tulee varmistua jäähdytysnesteen puhtaudesta sekä oikeasta täyttömäärästä. Jotkut lämmitintyytit voivat, mikäli lämmitysajat ovat toistuvasti pitkiä, haihduttaa hieman jäähdytysnestettä lämmityskauden aikana.

Suosittelavat esilämmitysajat eri lämmitintyypeille on kerrottu taulukossa 8.

Taulukko 8. Suositellavat esilämmitysajat talvioloissa.

Ulkoilman lämpötila	Suositeltava esilämmitys aika lämmitintyypeittäin	
	Sähköiset esilämmittimet	Polttoainelämmitin
0 ... -5 °C	½–1 tuntia	10–15 minuuttia
-5...-10 °C	1–2 tuntia	15–20 minuuttia
alle -10 °C	2–3 tuntia	20–30 minuuttia

Kiitokset

Haluan lopuksi osoittaa lämpimät kiitokseni VTT:n ajoneuvolaboratorion henkilökunnalle siitä merkittävästä työpanoksesta, jota laboratoriomittausten valmistelu ja toteuttaminen kesellä kuuminta heinäkuuta edellytti.

Lähteet

Akkreditointitodistus. 2013. Verkkodokumentti. FINAS Finnish Accreditation Service.
<http://www.mikes.fi/Scopes/T259_M05_2012.pdf>. Luettu 30.6.2013.

Test Report Engine pre-heaters. Defa A.S. Test Center Tiililä Oy. 2003.

Vinkit ennen ajoon lähtöä. 2013. Verkkodokumentti. Motiva.

<http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/taloudellinen_ajotapa/vinkit_ennen_ajoon_lahtoa>. Luettu 6.9.2013.

Yhdistyneiden Kansakuntien Euroopan talouskomission (UN/ECE) sääntö nro 83. 2011.

<<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:042:0001:0207:FI:PDF>>.