






Henkilöauton moottorin esilämmityksen vaikutus päästöihin ja energian kulutukseen

Kirjoittajat: Jan Rautalin, Jukka Nuottimäki

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi	
Henkilöauton moottorin esilämmityksen vaikutus päästöihin ja energian kulutukseen	
Projektin nimi	Projektin numero/lyhytnimi
Hyötyajoneuvot 2012	80200, Hyötyajoneuvot 2012
Raportin laatija(t)	Sivujen/liitesivujen lukumäärä
Jan Rautalin ja Jukka Nuottimäki	31 s. + liitteet 6
Avainsanat	Raportin numero
moottori, esilämmitys, lohkolämmitin, kontaktilämmitin, pakokaasu-päästöt, kylmäpäästöt, lähipäästöt, kylmäkäynnistys	VTT-R-06328-13
Tiivistelmä	
<p>Moottorin esilämmityksellä on havaittu useita eri hyötyjä aiemmissa tutkimuksissa, joista viimeisin on vuodelta 2003. Ajoneuvojen moottoritekniikka on kehittynyt voimakkaasti koko 2000 luvun ajan ja samalla kun markkinoille on tullut kokonaan uusia polttoaineita. Myös moottorien esilämmityslaitteet ovat kokeneet muutoksia moottoritekniikan kehityksen myötä.</p> <p>Tämä tutkimus tehtiin Trafín aloitteesta ja tavoitteena oli päivittää tutkimustietoa moottorin esilämmityksen vaikutuksista suorittamalla mittauksia nykyaikaisilla ajoneuvoilla. Tutkimustuloksia hyödynnetään moottorin esilämmityksen ohjeistuksessa mm. Motivan "Vältä kylmäkäynnistystä, muista esilämmitys" –oppaassa.</p> <p>Tutkimus toteutettiin maaliskokuun 2013 välisenä aikana ja varsinaiset laboratoriomittaukset kahdessa vaiheessa kesä-heinäkuun 2013 välisenä aikana. Mittausten ensimmäisessä osiossa tutkittiin eri esilämmitintyyppien tehokkuutta mittaamalla lämmön leviämistä moottorissa lämpötiloissa +5°C, -5°C, -10°C, -15°C ja -20°C. Samalla määriteltiin suositeltava lämmitysaika eri esilämmitintyypeille. Mittausten toisessa osiossa ajoneuvoille tehtiin päästö- ja polttoaineen kulutusmittaukset kylmäkäynnisteisellä ja esilämmitetyllä moottorilla lämpötiloissa 0°C, -7°C ja -20°C. Moottorien esilämmitysajat valittiin mittausten ensimmäisen vaiheen tulosten perusteella.</p> <p>Tulosten perusteella esilämmitys alentaa tehokkaasti palamattomien hiilivetyjen päästöjä. Useissa tapauksissa nämä haitalliset päästöt laskivat alle puoleen esilämmitetyllä moottorilla verrattuna lämmittämättömään moottoriin. Myös polttoaineen kulutus väheni, joskin nykyisissä bensiiniautoissa aiempaa tutkimusta vähemmän. Dieselmootoreissa esilämmityksen tuoma säästö polttoaineen kulutukseen on sen sijaan hieman kasvanut verrattuna aiempaan, kymmenen vuotta sitten tehtyyn tutkimukseen..</p>	
Luottamuksellisuus	julkinen
Espoossa 5.11.2013	
Laatija	Tarkastaja
	
Jan Rautalin Tutkija	Jukka Nuottimäki Tutkija
Hyväksyjä	
	Juhani Laurikko, Principal Scientist
	Jukka Lehtomäki, Technology Manager
VTT:n yhteystiedot	
Jakelu (asiakkaat ja VTT)	
VTT kirjaamo, TransEco johtoryhmä	
<p>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</p>	

Alkusanat

Ajoneuvojen voimansiirto- ja moottoritekniologia on kehittynyt voimakkaasti 2000-luvulla, samalla kun ajoneuvojen pakokaasujen jälkikäsitteily ja moottorin jäähdytysjärjestelmänkin tekninen monimutkaisuus on lisääntynyt. Myös kokonaan uudenkaltaiset polttoaine- ja voimalinjavaihtoehdot ovat löytäneet tiensä markkinoille uudella vuosituhannella. Ajoneuvojen teknisen kehityksen rinnalla myös moottorien sähkötoimiset esilämmityslaitteet ovat kokeneet murroksen, kun perinteiset lohkolämmittimet ovat vaihtuneet nykyisin valtaosin käytössä oleviin säteily- ja letkulämmittämiin. Myös polttoainetoimiset lämmittimet ovat yleistyneet käytössä.

Suomen oloissa moottorien esilämmityslaitteiden tutkimiselle on ollut aiemminkin mielenkiintoa, johtuen pitkästä talvesta, laitteiden käytön yleisyydestä ja sekä tosiasiaista että suurella osalla autoilijoista on pääsy lämmityslaitteiden vaatimalle sähkötolpalle. Aiemmissa, vanhemmalla ajoneuvokalustolla suorite- tuissa tutkimuksissa, moottorin esilämmityksen hyödyt sekä energian kulutuksen että lähipäästöjen vähenemisen suhteen ovatkin kiistattomat.

Tämä tutkimus toteutettiin liikenteen turvallisuusvirasto Trafín aloitteesta, sillä ajoneuvojen ja moottoreiden esilämmityslaitteiden teknisen kehityksen johdosta koettiin tarve moottoreiden esilämmitykseen liittyvän tutkimustiedon päivitykselle. Tutkimuksen tuloksia hyödynnetään Motivan koostamassa uudessa moottoreiden esilämmitysohjeistuksessa.

Tutkimuksen johtoryhmä koostui Trafín, VTT:n, Motivan, Oy Kaha Ab:n sekä Defa AS:n edustajista, jotka antoivat palautetta, tarjosivat uusia näkökulmia aiheeseen ja näin ollen omalla arvokkaalla panoksellaan mahdollistivat tutkimuksen toteutuksen. Tutkimuksen toteutettiin maaliskuun 2013 ja lokakuun 2013 välisenä aikana. Tutkimuksen käytännön ajoneuvomittaukset tehtiin VTT:n ajoneuvolaboratoriossa kesä-heinäkuussa 2013.

Raportin kirjoittavat haluavat kiittää tutkimuksen johtoryhmää panoksestaan tutkimuksen toteutuksessa, autoja hankkeeseen lainanneita ajoneuvomaahantuoja ja Oy Kaha Ab:n ja Defa AS:n edustajia lämmityslaitteiden tekniikkaan liittyvästä konsultoinnista. Myös käytännön mittaukset tehnyttä VTT:n henkilökuntaa on kiittäminen hyvin suoritetusta työstä.

Espoossa 5.11.2013

Jan Rautalin ja Jukka Nuottimäki

Sisällysluettelo

Alkusanat.....	2
Sisällysluettelo.....	3
1 Johdanto.....	4
2 Tavoite.....	4
3 Kohteen kuvaus.....	5
3.1 Katsaus esilämmityslaitteisiin.....	5
3.1.1 Sähkölämmittimet.....	5
3.1.2 Polttoainekäyttöiset nestelämmittimet.....	6
3.2 Laboratoriokokeissa käytetyt ajoneuvot ja esilämmityslaitteet.....	7
3.3 Laboratoriokokeissa käytetyt polttoaineet.....	7
4 Rajaukset.....	8
5 Menetelmät.....	8
5.1 Moottorien lämpötilamittaukset esilämmityskokeissa.....	8
5.2 Polttoainekäyttöisen lämmittimen kulutusmittaukset.....	9
5.3 Energiankulutus ja päästöt.....	9
5.4 Alustadynamometri ja kylmäkoetila.....	10
6 Tulokset.....	11
6.1 Lämmityslaitteiden lämmityskokeet (testiajoneuvot n:o 1, 2 ja 3).....	11
6.2 Lämmityslaitteiden energiankulutuskokeet (testiajoneuvot n:o 1, 2 ja 3).....	13
6.3 Lämpötilamittaukset ajokokeiden aikana (testiajoneuvot 1–6).....	15
6.4 Polttoaineen kulutus.....	17
6.5 Palamattomien hiilivetyjen (HC) päästöt.....	18
6.6 Hiilimonoksidipäästöt (CO).....	18
6.7 Typenoksidipäästöt (NO _x).....	19
6.8 Hiilidioksidipäästöt (CO ₂).....	19
6.9 Hiukkasmaiset päästöt (PM).....	20
6.10 Kokonaisenergian kulutus.....	20
7 Tulosten tarkastelu.....	21
7.1 Tulosten luotettavuus.....	21
7.2 Esilämmitysaika.....	22
7.3 Muutokset polttoaineen kulutuksessa.....	22
7.4 Esilämmityksen vaikutus energian kokonaiskulutukseen.....	23
7.5 Muutokset palamattomien hiilivetyjen (HC) päästöissä.....	25
7.6 Muutokset hiilimonoksidipäästöissä (CO).....	27
7.7 Muutokset typenoksidipäästöissä (NO _x).....	27
7.8 Muutokset hiilidioksidipäästöissä (CO ₂).....	28
7.9 Muutokset hiukkasmaisissa päästöissä (PM).....	28
8 Johtopäätökset.....	29
8.1 Vertailu vuoden 2003 mittaustuloksiin.....	29
9 Yhteenveto.....	30
Lähdeviitteet.....	31
Liitteet.....	31

1 Johdanto

Tutkimuksen tavoite oli selvittää nykyaikaisten polttomoottorien esilämmittämisen vaikutuksia ajoneuvon energiankulutukseen ja pakokaasupäästöihin kylmissä olosuhteissa. Samalla tutkimuksen tarkoituksena oli vertailla tarjolla olevia esilämmitintyyppisiä ja niiden vaikuttavuutta käytännön laboratoriokokeilla.

Tutkimus toteutettiin Trafin toimeksiannosta kirjallisuusselvityksenä, asiantuntijahaastatteluina sekä VTT:n ajoneuvolaboratoriossa tehdyin mittauksin. Projektin aikana saatuja mittaustuloksia on tutkimuksessa vertailtu myös soveltuvien osin aikaisempiin vuonna 2003 tehtyihin vastaaviin mittauksiin sekä VTT:n Tekniikan Maailmalle tekemien talvitestien tuloksiin vuosilta 2003–2013.

Mittauksiin valittiin kuusi henkilöautoa, joista kolme käytti polttoaineena bensiiniä, yksi korkeaseosetanolia (E85) ja kaksi dieseliä. Yksi bensiiniä polttoaineena käyttävistä ajoneuvoista oli hybridauto. Moottorin esilämmityslaitteista mukana oli yksi polttoainetoiminen lisälämmitin, kolme letkulämmitintä sekä kaksi säteilylämmitintä.

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

Kokeellisen osuuden toisessa vaiheessa mittauksiin valituille autoille tehtiin tyyppihyväksyntämenetelmää mukailien energiankulutus- ja päästömittaukset (lämpötiloissa 0, -7 ja -20 °C) sekä ilman esilämmitystä että edellä määritetyn tasapainolämpötilaan esilämmitettynä.

Tuloksina on esitetty sekä erityyppisten lämmityslaitteiden lämpötilakäyttäytyminen että esilämmityksen vaikutus teknisesti erilaisten ajoneuvojen päästöihin ja energiankulutukseen.

2 Tavoite

Tavoitteena oli aluksi kartoituksen avulla selvittää minkä tyyppisiä moottorin esilämmittimiä on tarjolla tällä hetkellä myytäviin uusiin autoihin.

Tutkimuksen mittausosion ensimmäisessä vaiheessa selvitettiin miten erityyppiset lämmityslaitteet käyttäytyvät eri lämpötiloissa, eripituisilla lämmitysaajoilla ja kuinka lämmittimen tuottama lämpöenergia siirtyy moottoriin. Lämmityslaitteiden esilämmityskokeiden perusteella valittiin käytettävät lämmitysaajat kokeellisen tutkimusten toiseen vaiheeseen, jonka tavoitteena oli mitata valittujen ajoneuvo-esilämmityslaitteiden polttoaineen kulutus ja päästöt kylmänä sekä esilämmitettynä.

Moottoritekniikka sekä esilämmittimet ovat muuttuneet voimakkaasti noin 10 vuoden aikana. Projektin perimmäisenä tarkoituksena oli päivittää esilämmittimien käyttöön liittyvää tietoa nykyisten teknisten vaihtoehtojen mukaisiksi. Tuloksia on hyödynnetty mm. Motivan lokakuussa 2013 julkaistussa oppaassa (Vältä kylmäkäynnistystä, muista esilämmitys).

3 Kohteen kuvaus

3.1 Katsaus esilämmityslaitteisiin

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 tai jäähdytysjärjestelmän rakenteesta johtuen voida lämmittää, on toissijaisena mahdollisuutena käyttää moottorin ulkopintaan kiinnitettyä kontaktilämmitintä, jolla pyritään lähinnä lämmittämään moottoriöljyä.

Varsinkin dieselkäyttöisissä autoissa voi olla polttoainekäyttöinen lämmityslaitteisto vakiovarusteena. Automallista riippuen, laite voi kuitenkin olla tarkoitettu vain avustamaan moottoria lämmön tuottamisessa sen käydessä, eikä sitä näin ollen voi käyttää moottorin esilämmitykseen.

3.1.1 Sähkölämmittimet

Tutkimuksessa selvitettiin, minkä tyyppisiä sähkölämmittimiä on tarjolla tällä hetkellä myytäviin uusiin autoihin. Tarkastelu pohjautuu vuoden 2013 ensimmäisen vuosineljänneksen ensirekisteröintitilastojen perusteella tehtyyn arvioon suosituista automalleista.

Taulukoista 1 ja 2 nähdään, että tyypilliset lämmitinvaihtoehdot suosittuihin bensiinikäyttöisiin automalleihin ovat moottoriöljyä lämmittävä kontaktilämmitin teholtaan 300 W sekä dieselkäyttöisiin 550 watin tehoinen jäähdytysvesiletkuun kiinnitettävä malli ilman omaa termostaattia. Myös tässä projektissa päädyttiin käyttämään mittauksissa näitä lämmitintyyppisiä.

Taulukko 1. Suosittuihin 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. Suosittuihin 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

3.1.2 Polttoainekäyttöiset nestelämmittimet

Polttoainekäyttöinen lämmityslaite voi olla autoon tehtaalla asennettu vakio- tai lisävaruste. Se voi myös olla jälkikäteen maahantuojan tai auton omistajan toimesta asennutettu. Kaikki polttoainekäyttöiset jäähdytysnestettä lämmittävät lämmitimet eivät ole tarkoitettuja esilämmittämiseen, siis käytettäviksi ajoneuvon moottorin ollessa sammutettuna. Moottorien energiatehokkuuden kehityksestä johtuen, etenkin nykyaikaisten dieselmoottoreiden tapauksessa, moottori ei normaalissa ajossa välttämättä tuota tarpeeksi hukkalämpöä lämmittämään matkustamoalviaikana. Tämä 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 lämmitimiä voidaan kuitenkin käyttää myös ajon aikana.

Polttoainekäyttöiset nestelämmittimet 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 anostelupumpulla 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 metallihöyrytimeen perustuva. Palotilan ympärillä olevassa lämmönvaihtimessa kuumentunutta jäähdytysnestettä kierrätetään auton akkuvirralla toimivalla kiertovesipumpulla moottorin nestekanavistoon, jolloin moottori vähitellen lämpenee ja jäähtynyt neste palaa jälleen lämmittimeen. Matkustamoalviaikana voidaan valinnaisesti lämmittää samaan aikaan käyttäen hyväksi ajoneuvon omaa lämmityslaitteen puhallinta, jonka ohjaus on kytketty polttoainetoimisen lämmitimen ohjauslogiikkaan.

Polttoainekäyttöisen lämmitimen tyypillinen lämpöteho täydellä teholla on ajoneuvon (henkilö- ja pakettiautot) ja lämmitimen kokoluokasta riippuen n. 4 tai 5 kW ja osateholla n. 2,5 kW. Polttoaineen lisäksi kuluu auton omaa akkuvirtaa n. 80–100 watin edestä lämmityslaitteen, kiertovesipumpun ja auton oman lämmityslaitteen puhaltimen käyttämiseen. Suuresta lämmitystehosta ja akkuvirran kulutuksesta johtuen valmistajien suosittelema lämmitysaika on sähkölämmitykseen verrattuna lyhyempi, yleensä 15–30 mi-

nuuttia (enintään yksi tunti). Laitteiston ohjaus tapahtuu tyypillisesti autoon asennetulla ajastinkellolla tai radiokauko-ohjaimella.

Tässä tutkimuksessa mitattiin dieselpolttoaineella toimivaa, lisävarusteena jälkiasennettua, autoon asennetulla ajastinkellolla ohjattua 5 kW:n tehoista lämmitintä.

3.2 Laboratoriokokeissa käytetyt ajoneuvot ja esilämmityslaitteet

Laboratoriomittauksissa käytettiin autojen maahantuojilta lainaksi saatuja esittelyautoja, joihin oli asennettu VTT:n määrittelemät esilämmittimet mittauksia varten. Autojen ja asennettujen esilämmittimen tekniset ominaisuudet on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Laboratoriokokeissa käytettyjen autojen ja esilämmityslaitteiden tekniset 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	benssiini	diesel	benssiini	diesel	E85	benssiini
Mootorin 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
Lämmitystyyppi	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 benssiini, 144 g/km etanoli

3.3 Laboratoriokokeissa käytetyt polttoaineet

Polttoaineet eivät olleet tutkimuksen kohteena, mutta kylmässä tehdyt mittaukset asettivat omat vaatimuksensa käytettäville polttoaineille. Polttoaineen vaikutus tuloksiin pyrittiin minimoimaan tekemällä kaikki päästömittaukset kaupallista laatua vastaavilla talvilaadun polttoaineilla. Mittausten ajankohdasta johtuen talvilaadun polttoaineita ei ollut jakeluasemilta saatavilla, vaan polttoaineet tilattiin suoraan valmistajilta. Yhteenvedo polttoaineista on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Laboratoriokokeissa käytetyt polttoaineet

Polttoaine toimittaja	Kaupallinen nimi	Laskennassa käytetty teoreettinen lämpöarvo [kWh/l]
Neste Oil	95 E10 (talvilaatu)	8,6
Neste Oil	Diesel -29/-34	10,0
St1	RE 85 (talvilaatu)	6,4

4 Rajaukset

Tutkimukseen ei sisällynyt ajoneuvojen sisätilojen lämmityksen tarkastelua. Esilämmityksen energiankulutuksessa ei näin ollen ole mukana mahdollisen sähkökäyttöisen sisätilan lämmityslaitteen kuluttamaa sähköenergiaa, jolla on vaikutusta esilämmityksen aiheuttamaan energian kokonaiskulutukseen.

5 Menetelmät

5.1 Moottorien lämpötilamittaukset esilämmityskokeissa

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

Lämpötila-anturit asetettiin moottoriöljyyn öljytikun paikalle, kussakin ajoneuvossa erikseen tarkoin harkittuun kohtaan jäähdytysvesiletkun ulkopintaan sekä sylinterinkannen ulkopintaan imusarjan puolelle. Polttoainetoimisella lämmittimellä varustetussa autossa mitattiin lisäksi sisätilan lämpötilaa keskeltä niskatukien välistä, arviolta kuljettajan pään korkeudelta.

Jäähdytysveden lämpötilan mittaaminen osoittautui haasteelliseksi, koska nykyaikaisten moottorien jäähdytysnesteen kierto on aiempaa, pelkästään yhdellä mekaanisella termostaateilla 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 maahan tuojilta 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 kultaakin 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.

5.2 Polttoainekäyttöisen lämmittimen kulutusmittaukset

Polttoainekäyttöisen lämmittimen kuluttamaa polttoainemäärää mitattiin kuvassa 1 esitetyllä järjestelyllä. Lämmittimen polttoaineen syöttöä varten ajoneuvon oli polttoainesäiliöksi asennettu 1000 ml:n mittalasi, joka täytettiin ennen jokaista koetta. Mitta-asteikon alku- ja loppulukemien erotuksen avulla määritettiin polttoainekäyttöisen lämmittimen kokeessa kuluttama polttoainemäärä. Olosuhteiden vakioimisen vuoksi 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 1. Polttoainekäyttöisen lämmittimen polttoainemäärän mittaus mittalasilta.

Kokeessa käytettiin talvilaadun dieselpolttoainetta, jota varastoititiin samassa lämpötilassa kuin testiajoneuvoakin.

5.3 Energiankulutus ja päästöt

Kokeellisten mittausten toisessa vaiheessa ajoneuvoille tehtiin tyyppihyväksyntämenettelyä (ks. kohta 5.4) mukailevat energiankulutus- ja päästömittaukset eri lämpötiloissa (0, –7 ja –20 °C) sekä ilman esilämmitystä että esilämmitetyllä moottorilla. Moottorien esilämmitysajat valittiin päästömittauksia edeltävien moottorien esilämmitysmittausten avulla (ks. kohta 7.2). Ajoneuvojen pakokaasuista mitattiin kaasumaiset päästöt (CO, HC, NO_x, CO₂) ja hiukkasmassa. Ajoneuvojen polttoaineen kulutus on laskettu kaasumaisista päästöistä ns. hiilitasapainoyhtälöllä, ja energiankulutus edelleen polttoaineen teoreettisen lämpöarvon perusteella. Jokainen mittaus tehtiin vain yhteen kertaan.

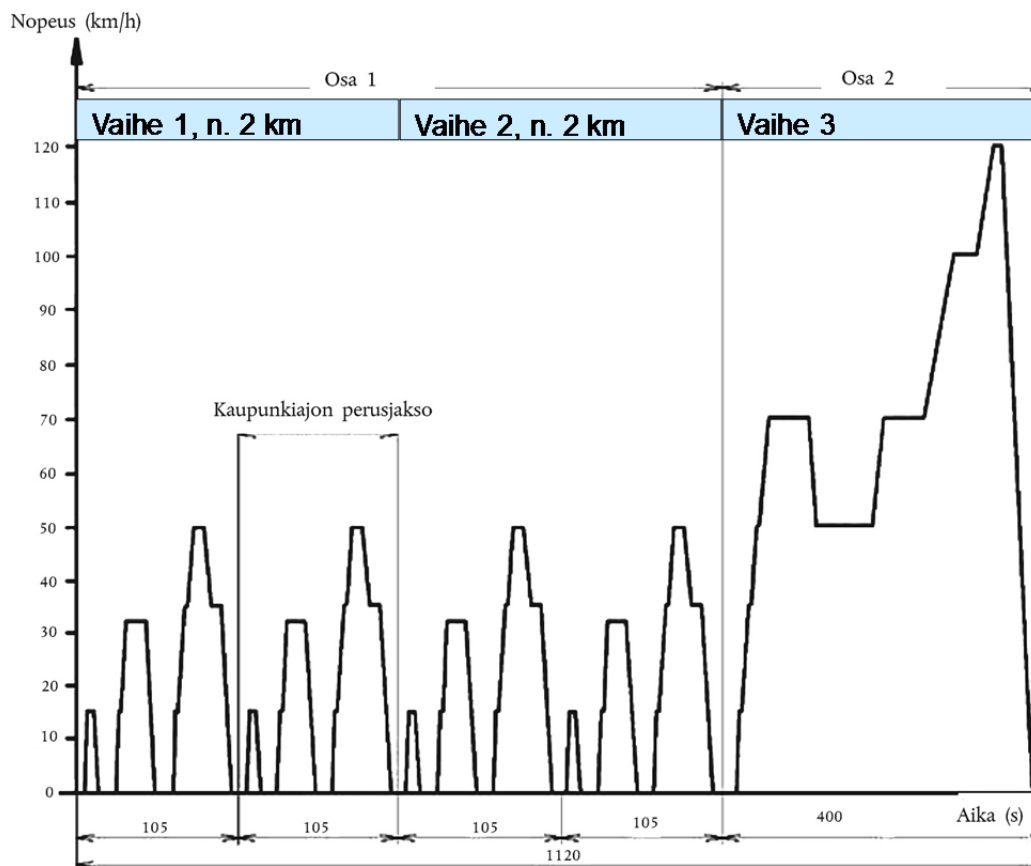
5.4 Alustadynamometri ja kylmäkoetila

Tehdyt energiankulutus- ja päästömittausten menetelmät 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 /2/. Mainittu menetelmäkuvaukseen pohjautuu YK:n Euroopan talouskomission sääntöön n:o 83 /3/.

Mittausmenetelmän mukaisesti pakokaasupäästöjen mittaukset tehdään laboratoriokokeissa, kuormittaen ajoneuvon moottoria ajamalla mitattavaa autoa alustadynamometrillä määrätyn ajo-ohjelman mukaisesti. Dynamometrillä voidaan simuloida eri ajotilanteita vastaavat ajovastukset, jotka vastaavat autoon tieliikenteessä kohdistuvia ajovastauksia. Alustadynamometrin avulla muun liikenteen sekä tienpinnan muutosten vaikutus voidaan eliminoida tuloksista. Ainoastaan laboratorio-olosuhteissa voidaan ajoneuvon mittaukseen vaikuttavat tekijät vakioida, tai ainakin niiden vaihteluväliä voidaan hallita rajoittamalla vaihtelu halutulle välille. Tyypillisesti tuloksiin vaikuttavia vakioitavia muuttujia ovat ilman lämpötila sekä kosteus.

Näissä mittauksissa hyödynnettiin VTT:n ajoneuvolaboratorion kylmäkoetilan alustadynamometriä (Froude Consine, 100 kW, 160 km/h), jäähdytyslaitteistoa (alin lämpötila -30 °C) sekä ajoviimalaitteistoa (max. 100 km/h).

Ajo-ohjelman alustadynamometrikokeissa oli ajoneuvojen tyyppihyväksynnässä käytettävä New European Drive Cycle (NEDC), joka on esitetty kuvaajassa 1.



Kuvaaja 1. NEDC ajosykli eri vaiheineen

NEDC ajo-ohjelma kestää 1180 sekuntia, eli n. 20 minuuttia ja ajo-ohjelman aikana ajetaan n. 11 km:n pituinen matka. Sykli on jaettu kaupunki- ja maantieajoa kuvaaviin osuuksiin. Kaupunkiajo-osuus koostuu neljästä peräkkäin toistuvasta alkeissyklistä (ECE15). Tässä tutkimuksessa NEDC ajo-ohjelman kaupunkiajo-osuus on jaettu kahteen vaiheeseen. Ensimmäinen vaihe on ns. kylmä kaupunkiajosykli (2 x ECE-15) ja toinen vaihe on kaupunkiajosykli hieman lämmenneellä moottorilla (2 x ECE-15). Kolmas vaihe on syklin maantieajo-osuus (EUDC).

Autovalmistajien ilmoittama norminmukainen kaupunkikulutus on keskiarvo 1. ja 2. vaiheiden kulutuksista. Vastaavasti ilmoitettu maantieajokulutus on 3. vaiheen tulos. Autolle ilmoitettu yhdistetty kulutuslukema on ajomatalla painotettu keskiarvo kaikista kolmesta vaiheesta.

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

Mittauksissa ajoneuvojen vastusarvoina käytettiin niiden omamassojen mukaan valittuja hitausmassa-arvoja sekä vastaavan kokoisille ja muotoisille autoille määritettyjä ajovastusarvoja, jotka sisältyvät pakokaasusäädökseen. Ajovastusarvoilla simuloidaan dynamometrillä suoritettavissa kokeissa auton rullaus- ja ilmanvastusarvoja. Tämä vastusarvojen valintamenetelmä on YK:n Euroopan talouskomission säännön n:o 83 mukainen. Mittauksissa dynamometrillä käytetyt vastusarvot on esitetty mittausautoittain taulukossa 5.

Valittujen vastusarvojen mahdollinen poikkeaminen ajoneuvon todellisista vastusarvoista ei vaikuta eroihin eri mittauksen välillä, joten mittausmenetelmän avulla voidaan tutkia luotettavasti esilämmityksen vaikutusta auton päästöihin ja energian kulutukseen. Dynamometrin vastusarvot vaikuttavat kylläkin moottorin kuormitustasoon ja sitä kautta polttoaineen kulutukseen. Tuloksia tarkasteltaessa onkin huomioitava, että vastusarvoista sekä alhaisista mittauslämpötiloista johtuen mittaukselliset tulokset eivät ole suoraan verrannollisia valmistajien autoille ilmoittamiin kulutuslukemiin. Valmistajien ilmoittamat ajoneuvojen kulutuslukemat määritellään $+20...+30^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa tapahtuvissa mittauksissa, ja niissä käytetään valmistajan autolle määrittämiä ajovastusarvoja..

Taulukko 5. Päästömittauksissa mittausautoille käytetyt dynamometrin vastusarvot.

Auto n:o	Merkki	Malli	Inertia [kg]	F0	F1	F2
1	Audi	A4	1590	7	0	0,0515
2	Nissan	Qashqai	1700	8	0	0,0536
3	Ford	Fiesta	1130	6	0	0,0433
4	Skoda	Octavia	1360	7	0	0,0481
5	Volkswagen	Passat	1590	7	0	0,0515
6	Toyota	Prius +	1590	7	0	0,0515

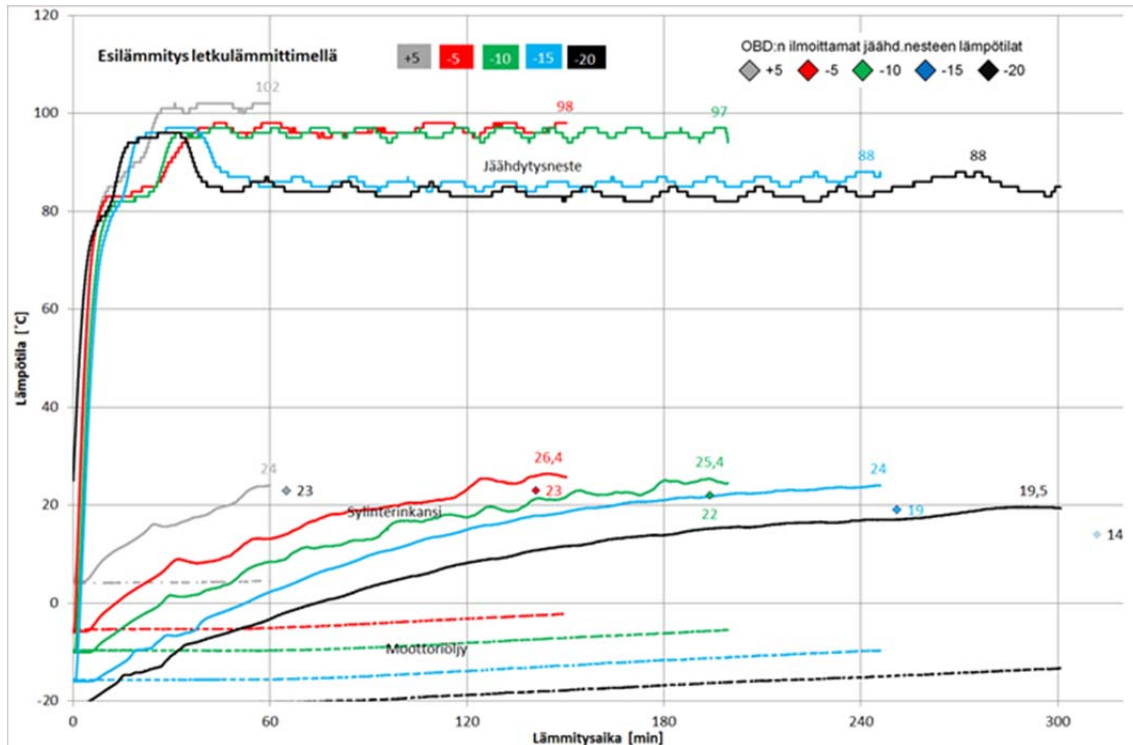
6 Tulokset

6.1 Lämmityslaitteiden lämmityskokeet (testiajoneuvot n:o 1, 2 ja 3)

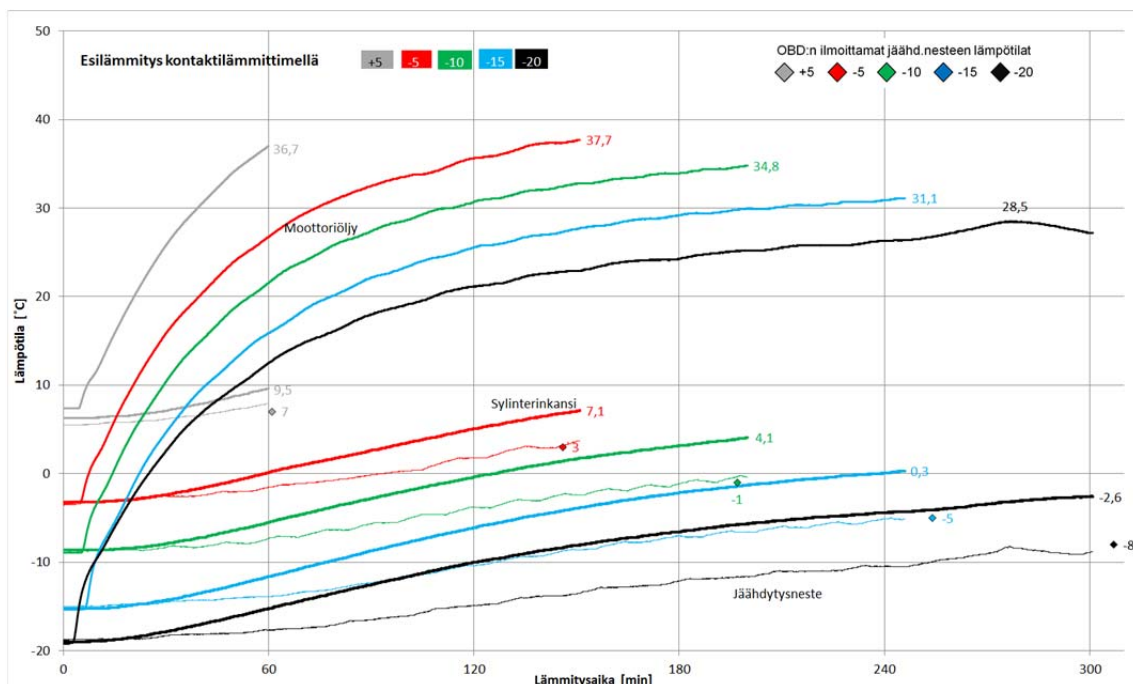
Lämpötilojen kehittyminen moottorin eri osissa käytettäessä letkulämmitintä on esitetty kuvaajassa 2. Kylmäkoetilan eri lämpötiloissa tehdyt mittaukset on kuvattu erivärisillä käyrillä. Lisäksi erivärisinä pisteinä on kuvattu OBD-lukijalla mitatut ajoneuvon oman jäähdytysnesteen lämpötila-anturin ilmoittamat lukemat kunkin lämmityskokeen lopussa. Vastaavasti kontaktilämmitintä käytettäessä lämpötilojen kehittyminen moottorin eri osissa on esitetty kuvaajassa 3.

Kahden eri sähkölämmitintyyppin lisäksi tehtiin vastaavat lämpötilamittaukset polttoainekäyttöisellä lämmitimellä. Kyseisten mittausten tulokset on esitetty kuvaajassa 4. Koska polttoainetoiminen lämmitin oli oh-

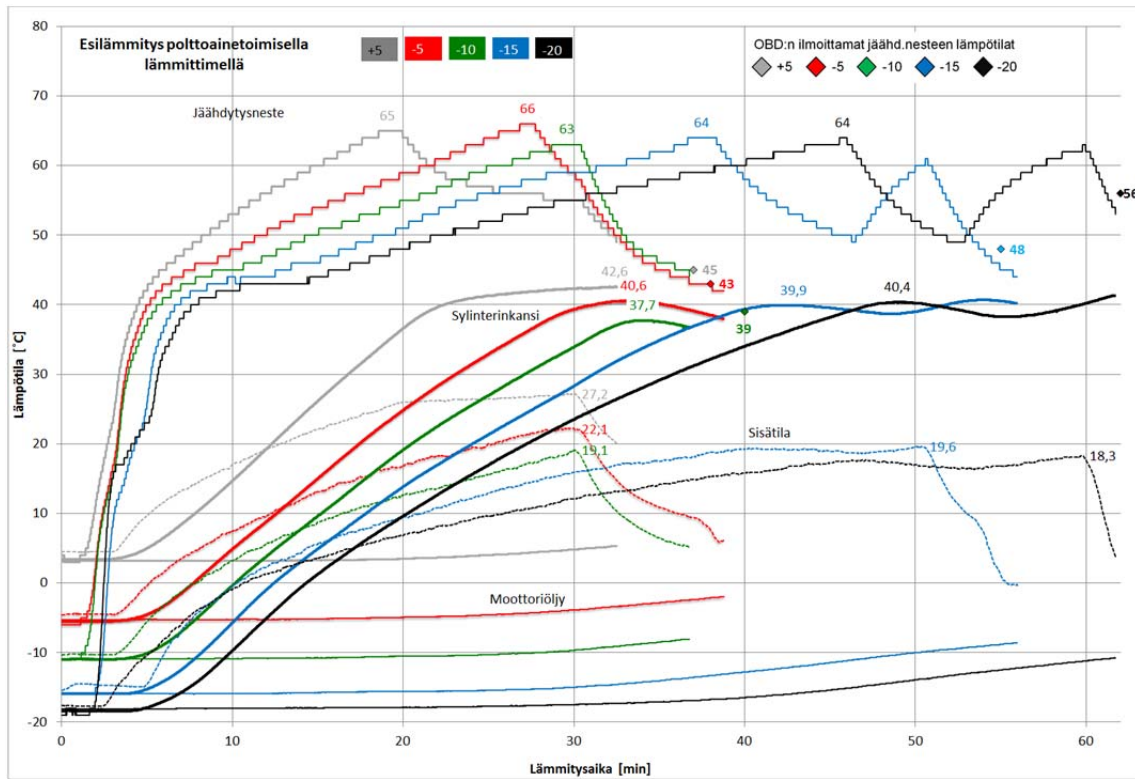
jelmoitu lämmittämään moottorin ohella myös auton sisätiloja, oli tässä tapauksessa yksi ylimääräinen lämpötilan mittauspiste sijoitettu matkustamoon.



Kuvaaja 2. Lämpötilojen kehittyminen moottorin eri kohdissa ajan funktiona käytettäessä esilämmitykseen 500 W:n tehoista letkulämmittin.



Kuvaaja 3. Lämpötilojen kehittyminen moottorin eri kohdissa ajan funktiona käytettäessä esilämmitykseen 300 W:n tehoista kontaktilämmittintä.



Kuvaaja 4. Lämpötilojen kehittyminen moottorin eri kohdissa sekä ohjaamoja ajan funktiona käytettäessä esilämmitykseen 5 kW:n tehoista polttoainetoimista lämmitintä.

6.2 Lämmityslaitteiden energiankulutuskokeet (testiajoneuvot n:o 1, 2 ja 3)

Esilämmityksen aikana mitattiin kohdissa 5.1 ja 6.1 mainittujen moottorin lämpötilojen lisäksi sähkökäyttöisten lämmitinien verkkovirran kulutusta. Testiajoneuvosta n:o 2, jossa oli polttoainekäyttöinen lämmitin, mitattiin lämmitin käyttämän polttoaineen ja auton oman akkuvirran kulutusta sekä akun uudelleenvaraukseen käytetyn verkkovirran määrää (akkuvaraajan maksimi latausvirta 7A). Mittausten keskeisimmät tulokset on koottu taulukoihin 6 ja 7.

Taulukko 6. 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 asetus aika [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, kierto vesipumppu sekä auton sisätilan puhallin

2) polttoainetoimisen lämmittimen kellon ajastus 30 min

Taulukko 7. 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 asetus aika [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, kierto vesipumppu sekä auton sisätilan puhallin

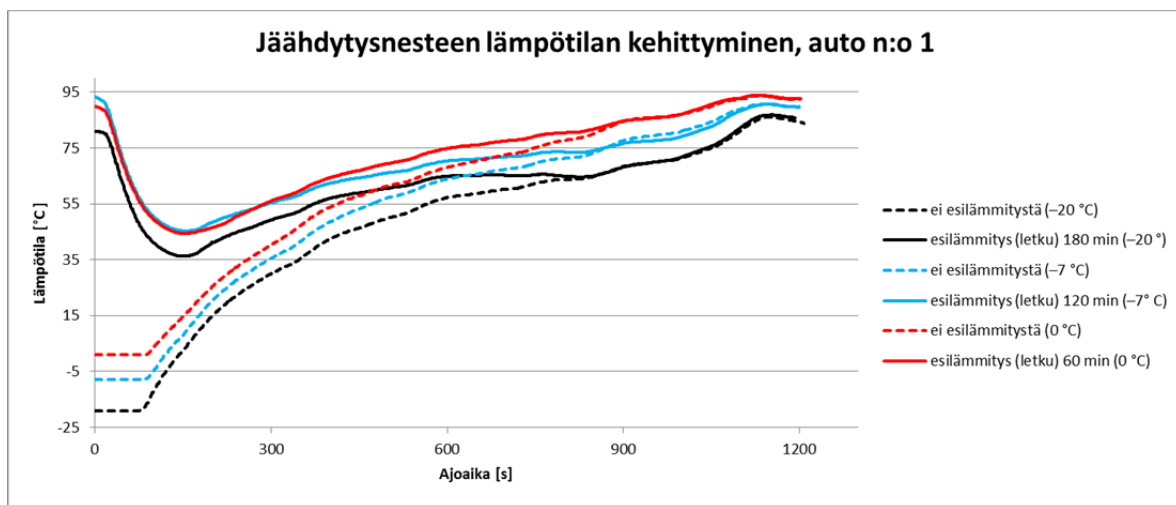
3) kuten testi n:o 13314, mutta polttoainetoimisen kellon ajastus 60 min

4) polttoainetoimisen lämmittimen polttoaineenkulutusta ei mitattu

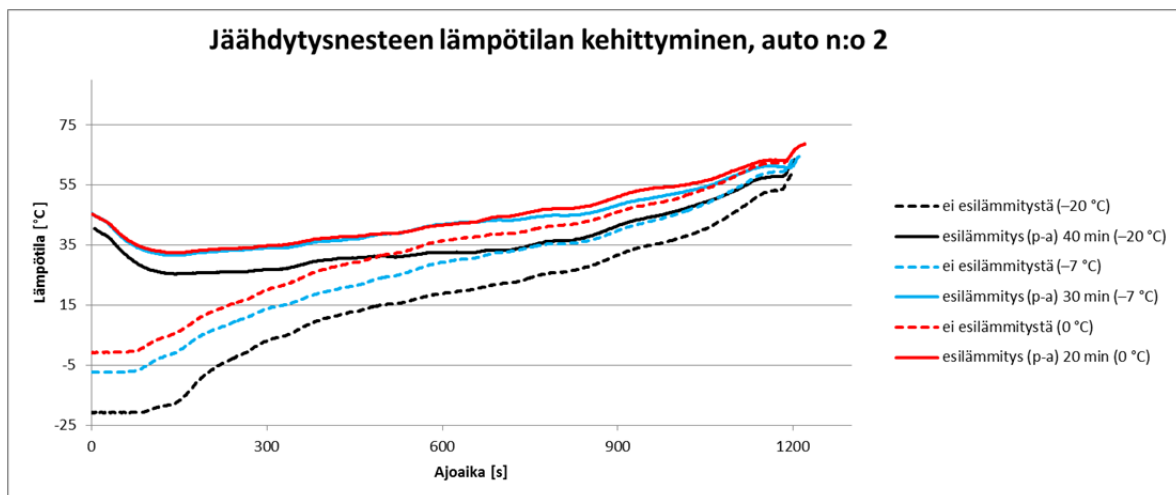
6.3 Lämpötilamittaukset ajokokeiden aikana (testiajoneuvot 1–6)

Myös dynamometrillä tehtyjen päästömittausten aikana mitattiin lämpötiloja moottoreista kohdassa 5.1 kuvatulla tavalla. Jäähdytysnesteen lämpötilojen kehittyminen ajosyklin aikana testiajoneuvoissa 1–6 on kuvattu kuvaajissa 5–10. Vastaavat kuvaajat moottoriöljyn lämpötilojen kehittymiselle on esitetty liitteessä 1.

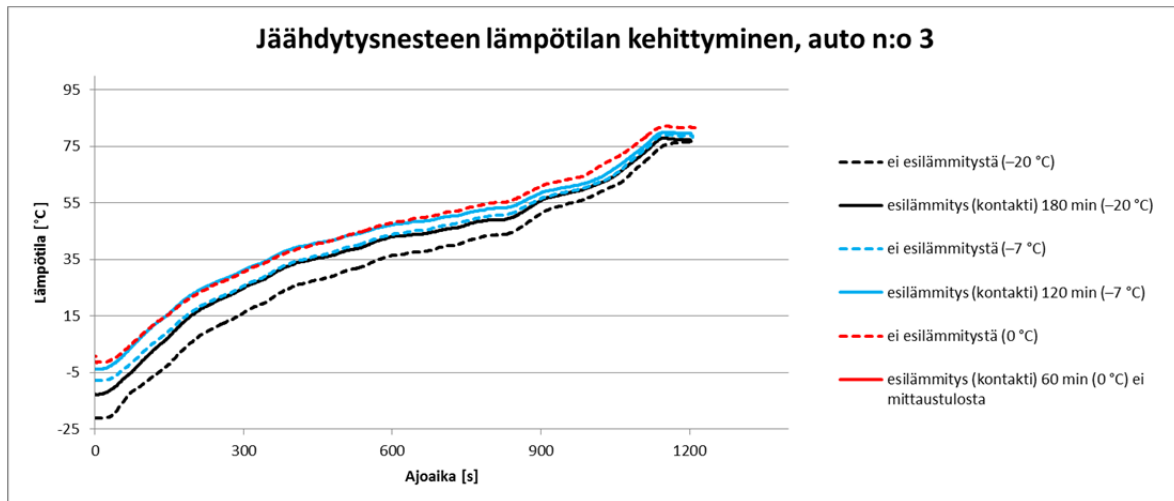
Ajokokeita edeltävissä esilämmityksissä käytetyt lämmitysajat johdettiin kohdan 6.1 tuloksista ja ne on esitetty kappaleessa 7.2 taulukossa 15.



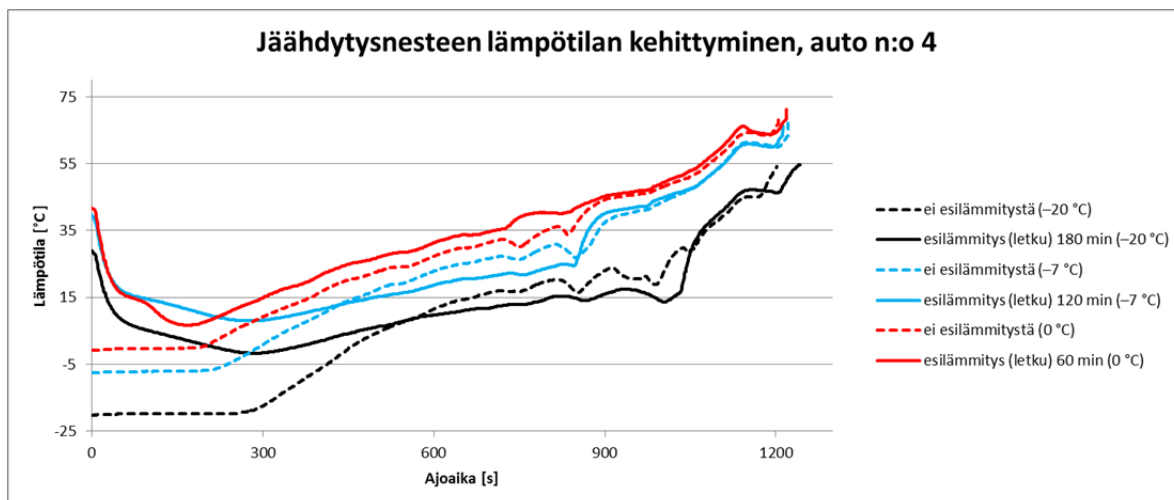
Kuvaaja 5. Jäähdytysnesteen lämpötilakuvaajat päästömittausten aikana (testiauto 1).



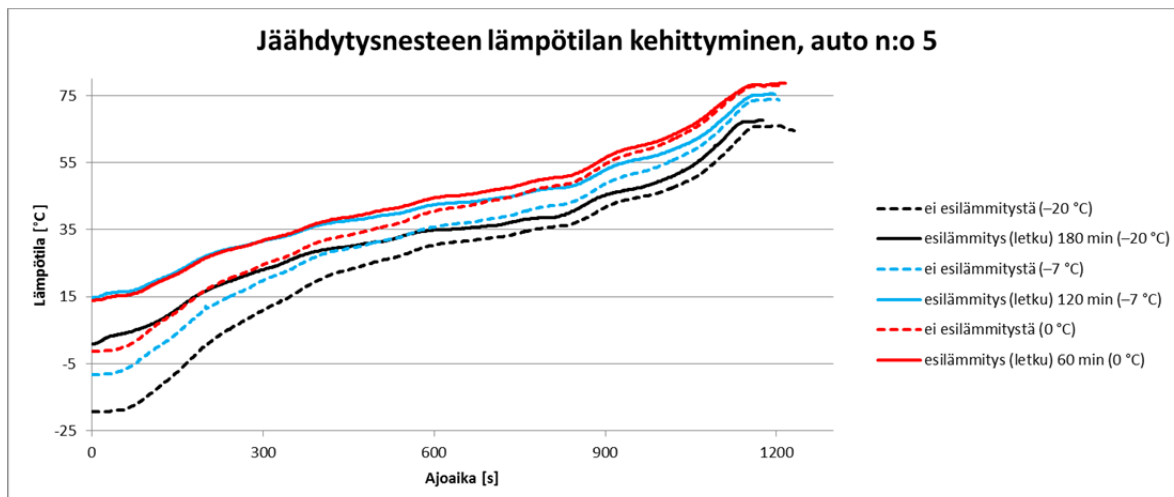
Kuvaaja 6. Jäähdytysnesteen lämpötilakuvaajat päästömittausten aikana (testiauto 2).



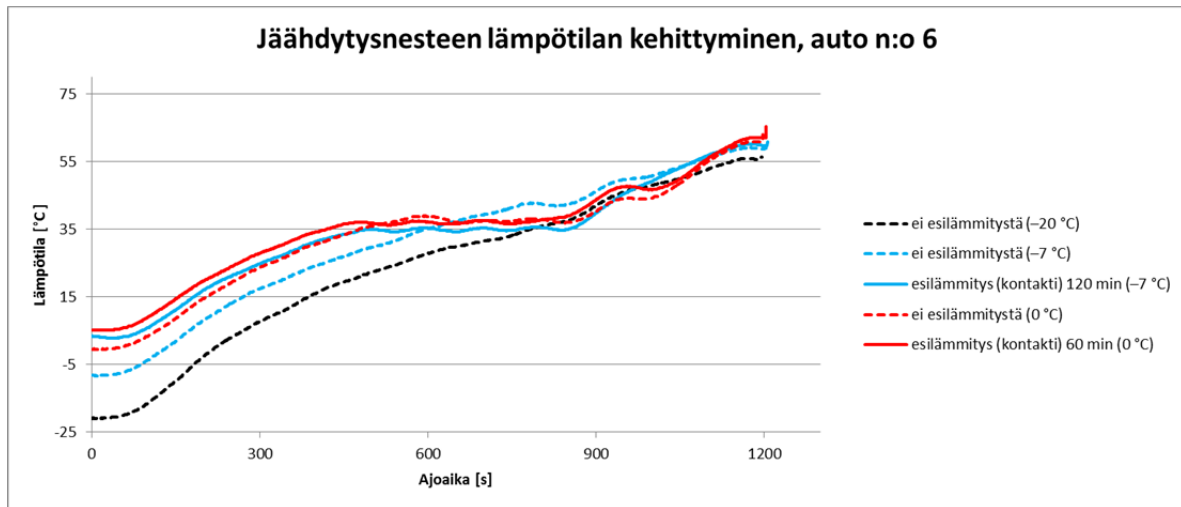
Kuvaaja 7. Jäähdytysnesteen lämpötilakuvaajat päästömittausten aikana (testiauto 3). Esilämmitetyn moottorin jäähdytysnesteen lämpötilan mittausta epäonnistui anturivian takia 0 °C:ssa.



Kuvaaja 8. Jäähdytysnesteen lämpötilakuvaajat päästömittausten aikana (testiauto 4).



Kuvaaja 9. Jäähdytysnesteen lämpötilakuvaajat päästömittausten aikana (testiauto 5).



Kuvaaja 10. Jäähdytysnesteen lämpötilakuvaajat päästömittausten aikana (testiauto 6). Mittausta esilämmitetyllä moottorilla ei voitu tehdä -20 °C:ssa lämmityslaitteen asennusvirheen johdosta.

6.4 Polttoaineen kulutus

Taulukossa 8 on esitetty ajosyklin eri vaiheiden aikana polttoaineen kulutuksessa tapahtuneet muutokset vertailtaessa kylmää ja esilämmitettyä moottoria lämpötiloissa 0, -7 ja -20 °C. Tulokset eivät sisällä moottorin esilämmittämiseen kulunutta energiaa.

Taulukko 8. Muutokset polttoaineen kulutuksissa vertailtaessa kylmää ja esilämmitettyä moottoria eri lämpötiloissa.

				Lämmittämätön/esilämmitetty, polttoaineen kulutus, muutos (l / 100 km)			
				Vaihe			
				Yhdistetty	0-2 km	2-4 km	Maantie
auto 1	BE	letkulämm. 0,5 kW	-20 °C	-0,15 (-1,34%)	-1,16 (-6,35%)	0,06 (0,48%)	0,07 (0,84%)
auto 1	BE	letkulämm. 0,5 kW	-7 °C	-0,32 (-3,11%)	-1,05 (-6,97%)	-0,36 (-2,93%)	-0,13 (-1,55%)
auto 1	BE	letkulämm. 0,5 kW	0 °C	0,03 (0,37%)	0,27 (2,09%)	-0,27 (-2,38%)	0,05 (0,68%)
auto 2	DI	p-a lämm. 5 kW	-20 °C	-0,91 (-9,7%)	-3,07 (-20,01%)	-1,17 (-9,98%)	-0,21 (-3,03%)
auto 2	DI	p-a lämm. 5 kW	-7 °C	-0,83 (-9,86%)	-1,90 (-15,2%)	-1,27 (-11,81%)	-0,38 (-5,84%)
auto 2	DI	p-a lämm. 5 kW	0 °C	-0,62 (-7,8%)	-2,28 (-18,66%)	-0,51 (-5,09%)	-0,17 (-2,73%)
auto 3	BE	kontaktiämm. 0,3 kW	-20 °C	-0,57 (-6,96%)	-1,54 (-11,84%)	-0,45 (-4,64%)	-0,34 (-5,2%)
auto 3	BE	kontaktiämm. 0,3 kW	-7 °C	-0,09 (-1,25%)	-0,45 (-4,16%)	-0,05 (-0,65%)	0,01 (0,15%)
auto 3	BE	kontaktiämm. 0,3 kW	0 °C	0,04 (0,59%)	0,07 (0,68%)	0,15 (1,9%)	0,00 (0,06%)
auto 4	DI	letkulämm. 0,5 kW	-20 °C	-0,47 (-5,74%)	-1,64 (-12,76%)	-0,55 (-5,69%)	-0,09 (-1,4%)
auto 4	DI	letkulämm. 0,5 kW	-7 °C	-0,19 (-2,68%)	-0,70 (-6,64%)	-0,14 (-1,64%)	-0,06 (-1,04%)
auto 4	DI	letkulämm. 0,5 kW	0 °C	-0,22 (-3,26%)	-0,58 (-5,94%)	-0,28 (-3,51%)	-0,09 (-1,73%)
auto 5	E85	letkulämm. 0,5 kW	-20 °C	-0,76 (-5,56%)	-2,21 (-10,29%)	-0,96 (-6,16%)	-0,27 (-2,45%)
auto 5	E85	letkulämm. 0,5 kW	-7 °C	-0,66 (-5,54%)	-2,07 (-12,36%)	-0,75 (-5,62%)	-0,21 (-2,08%)
auto 5	E85	letkulämm. 0,5 kW	0 °C	-0,23 (-2,04%)	-0,95 (-6,26%)	-0,13 (-1,07%)	-0,04 (-0,4%)
auto 6	BE/hyb.	kontaktiämm. 0,3 kW	-20 °C	mittausta ei tehty			
auto 6	BE/hyb.	kontaktiämm. 0,3 kW	-7 °C	-0,39 (-4,78%)	0,58 (5,56%)	-3,03 (-29,62%)	0,11 (1,57%)
auto 6	BE/hyb.	kontaktiämm. 0,3 kW	0 °C	-0,19 (-2,64%)	-0,32 (-3,32%)	-0,98 (-13,81%)	0,09 (1,43%)

Varsinaiset mittaustulokset on esitetty taulukossa 20 (liite 2).

6.5 Palamattomien hiilivetyjen (HC) päästöt

Taulukossa 9 on esitetty ajosyklin eri vaiheiden aikana palamattomien hiilivetyjen (HC) päästöissä tapahtuneet muutokset vertailtaessa kylmää ja esilämmitettyä moottoria lämpötiloissa 0, -7 ja -20 °C.

Taulukko 9. Muutokset HC-päästöissä vertailtaessa kylmää ja esilämmitettyä moottoria eri lämpötiloissa.

				Lämmittämätön/esilämmitetty HC-muutos (g/km)			
				Vaihe			
				Yhdistetty	0-2 km	2-4 km	Maantie
auto 1	BE	letkulämm. 0,5 kW	-20 °C	-0,314 (-65,94%)	-1,679 (-68,01%)	-0,013 (-54,76%)	-0,002 (-6,7%)
auto 1	BE	letkulämm. 0,5 kW	-7 °C	-0,144 (-70,23%)	-0,793 (-74,49%)	-0,009 (-60,69%)	-0,001 (-4,23%)
auto 1	BE	letkulämm. 0,5 kW	0 °C	-0,095 (-58,7%)	-0,518 (-64,41%)	-0,003 (-29,33%)	0,005 (31,94%)
auto 2	DI	p-a lämm. 5 kW	-20 °C	-0,093 (-69,5%)	-0,419 (-79,34%)	-0,066 (-44,24%)	-0,007 (-43,02%)
auto 2	DI	p-a lämm. 5 kW	-7 °C	-0,056 (-67,98%)	-0,233 (-73,21%)	-0,043 (-55,9%)	-0,008 (-52,81%)
auto 2	DI	p-a lämm. 5 kW	0 °C	-0,017 (-40,4%)	-0,082 (-51,78%)	-0,005 (-11,52%)	-0,002 (-25,06%)
auto 3	BE	kontaktilämm. 0,3 kW	-20 °C	-0,331 (-48,49%)	-1,778 (-49,84%)	-0,021 (-46,08%)	-0,003 (-10,03%)
auto 3	BE	kontaktilämm. 0,3 kW	-7 °C	-0,089 (-30,18%)	-0,478 (-31,91%)	0,000 (0,73%)	0,001 (2,68%)
auto 3	BE	kontaktilämm. 0,3 kW	0 °C	-0,001 (-0,79%)	-0,012 (-1,27%)	0,001 (3,44%)	0,002 (8,6%)
auto 4	DI	letkulämm. 0,5 kW	-20 °C	-0,059 (-90,42%)	-0,238 (-89,97%)	-0,035 (-92,65%)	-0,014 (-90,81%)
auto 4	DI	letkulämm. 0,5 kW	-7 °C	-0,026 (-61,15%)	-0,083 (-71,38%)	-0,019 (-43,81%)	-0,011 (-54,81%)
auto 4	DI	letkulämm. 0,5 kW	0 °C	-0,018 (-51,52%)	-0,063 (-68,36%)	-0,012 (-30,33%)	-0,006 (-38,87%)
auto 5	E85	letkulämm. 0,5 kW	-20 °C	-0,339 (-23,07%)	-1,445 (-21,51%)	-0,091 (-15%)	-0,065 (-30,79%)
auto 5	E85	letkulämm. 0,5 kW	-7 °C	-0,280 (-59,43%)	-1,467 (-62,16%)	-0,029 (-28,03%)	-0,003 (-12,17%)
auto 5	E85	letkulämm. 0,5 kW	0 °C	0,056 (28,45%)	0,268 (27,32%)	0,034 (82,61%)	0,001 (6,4%)
auto 6	BE/hyb.	kontaktilämm. 0,3 kW	-20 °C	mittausta ei tehty			
auto 6	BE/hyb.	kontaktilämm. 0,3 kW	-7 °C	-0,125 (-56%)	-0,670 (-57,42%)	-0,004 (-31,33%)	0,002 (28,94%)
auto 6	BE/hyb.	kontaktilämm. 0,3 kW	0 °C	-0,028 (-40,2%)	-0,153 (-41,17%)	-0,001 (-45,51%)	0,001 (29,08%)

Varsinaiset mittaustulokset on esitetty taulukossa 18 (liite 2).

6.6 Hiilimonoksidipäästöt (CO)

Taulukossa 10 on esitetty ajosyklin eri vaiheiden aikana hiilimonoksidipäästöjen (CO) määrissä tapahtuneet muutokset vertailtaessa kylmää ja esilämmitettyä moottoria lämpötiloissa 0, -7 ja -20 °C.

Taulukko 10. Muutokset CO-päästöissä vertailtaessa kylmää ja esilämmitettyä moottoria eri lämpötiloissa

				Lämmittämätön/esilämmitetty CO-muutos (g/km)			
				Vaihe			
				Yhdistetty	0-2 km	2-4 km	Maantie
auto 1	BE	letkulämm. 0,5 kW	-20 °C	-0,452 (-55,12%)	-2,531 (-62,02%)	0,018 (22,12%)	0,020 (25,47%)
auto 1	BE	letkulämm. 0,5 kW	-7 °C	-0,254 (-51,46%)	-1,438 (-61,54%)	-0,005 (-7,24%)	0,007 (7,4%)
auto 1	BE	letkulämm. 0,5 kW	0 °C	0,317 (78,46%)	-0,811 (-44,61%)	0,018 (31,9%)	0,742 (867,9%)
auto 2	DI	p-a lämm. 5 kW	-20 °C	-0,226 (-32,69%)	-1,148 (-32,05%)	0,053 (225,85%)	-0,039 (-75,86%)
auto 2	DI	p-a lämm. 5 kW	-7 °C	-0,438 (-65,86%)	-2,196 (-65,96%)	-0,159 (-64,78%)	-0,002 (-32,38%)
auto 2	DI	p-a lämm. 5 kW	0 °C	-0,159 (-47,05%)	-0,988 (-54,79%)	0,119 (889,43%)	0,000 (4,99%)
auto 3	BE	kontaktilämm. 0,3 kW	-20 °C	-1,442 (-39,69%)	-7,505 (-41,58%)	-0,191 (-32,24%)	-0,057 (-17,56%)
auto 3	BE	kontaktilämm. 0,3 kW	-7 °C	-0,326 (-16,95%)	-1,710 (-18,48%)	-0,013 (-5,84%)	-0,005 (-2,06%)
auto 3	BE	kontaktilämm. 0,3 kW	0 °C	0,099 (7,72%)	0,372 (6,21%)	0,013 (10,36%)	0,048 (20,54%)
auto 4	DI	letkulämm. 0,5 kW	-20 °C	-0,397 (-87,04%)	-2,177 (-89,06%)	0,015 (100,64%)	0,001 (21,65%)
auto 4	DI	letkulämm. 0,5 kW	-7 °C	-0,261 (-76,12%)	-1,313 (-80,47%)	-0,048 (-34,69%)	-0,018 (-62,3%)
auto 4	DI	letkulämm. 0,5 kW	0 °C	-0,180 (-65,54%)	-0,947 (-71,83%)	-0,035 (-26,53%)	-0,002 (-14,66%)
auto 5	E85	letkulämm. 0,5 kW	-20 °C	0,156 (3,23%)	1,593 (6,15%)	-0,062 (-38,96%)	-0,029 (-22,35%)
auto 5	E85	letkulämm. 0,5 kW	-7 °C	-0,408 (-30,48%)	-2,111 (-30,59%)	-0,025 (-48,2%)	-0,010 (-13,57%)
auto 5	E85	letkulämm. 0,5 kW	0 °C	0,728 (167,06%)	3,971 (184,44%)	0,022 (77,42%)	-0,011 (-20,88%)
auto 6	BE/hyb.	kontaktilämm. 0,3 kW	-20 °C	mittausta ei tehty			
auto 6	BE/hyb.	kontaktilämm. 0,3 kW	-7 °C	-0,644 (-63,85%)	-3,352 (-68,29%)	-0,070 (-50,86%)	-0,008 (-7,69%)
auto 6	BE/hyb.	kontaktilämm. 0,3 kW	0 °C	-0,137 (-48,22%)	-0,707 (-58,95%)	-0,037 (-87,33%)	0,003 (3,2%)

Varsinaiset mittaustulokset on esitetty taulukossa 18 (liite 2).

6.7 Typenoksidipäästöt (NO_x)

Taulukossa 11 on esitetty ajosyklin eri vaiheiden aikana typenoksidien (NO_x) päästöissä tapahtuneet muutokset vertailtaessa kylmää ja esilämmitettyä moottoria lämpötiloissa 0, -7 ja -20 °C.

Taulukko 11. Muutokset NO_x-päästöissä vertailtaessa kylmää ja esilämmitettyä moottoria eri lämpötiloissa

				Lämmittämätön/esilämmitetty NO _x -muutos (g/km)			
				Vaihe			
				Yhdistetty	0-2 km	2-4 km	Maantie
auto 1	BE	letkulämm. 0,5 kW	-20 °C	-0,027 (-14,26%)	-0,088 (-10,93%)	0,000 (0,65%)	-0,017 (-32,28%)
auto 1	BE	letkulämm. 0,5 kW	-7 °C	-0,074 (-52,1%)	-0,468 (-72,49%)	-0,023 (-65,84%)	0,022 (72,71%)
auto 1	BE	letkulämm. 0,5 kW	0 °C	-0,074 (-62,61%)	-0,427 (-74,82%)	0,006 (208,23%)	0,007 (35,97%)
auto 2	DI	p-a lämm. 5 kW	-20 °C	0,041 (2,46%)	-0,153 (-8,17%)	0,242 (15,52%)	0,039 (2,36%)
auto 2	DI	p-a lämm. 5 kW	-7 °C	-0,050 (-2,98%)	0,045 (2,85%)	0,105 (6,55%)	-0,122 (-7,18%)
auto 2	DI	p-a lämm. 5 kW	0 °C	-0,054 (-3,33%)	-0,160 (-9,96%)	-0,142 (-8,13%)	0,004 (0,22%)
auto 3	BE	kontaktilämm. 0,3 kW	-20 °C	0,010 (8,65%)	-0,075 (-18,66%)	0,003 (35,46%)	0,036 (58,3%)
auto 3	BE	kontaktilämm. 0,3 kW	-7 °C	-0,032 (-26,89%)	-0,185 (-44,96%)	-0,001 (-3,53%)	0,004 (6,64%)
auto 3	BE	kontaktilämm. 0,3 kW	0 °C	0,011 (13,25%)	0,007 (3,3%)	0,016 (95,5%)	0,011 (16,71%)
auto 4	DI	letkulämm. 0,5 kW	-20 °C	-0,170 (-9,47%)	-0,251 (-9,76%)	-0,075 (-3,51%)	-0,171 (-11,74%)
auto 4	DI	letkulämm. 0,5 kW	-7 °C	-0,113 (-11,19%)	0,061 (2,86%)	-0,697 (-38,23%)	0,007 (1,55%)
auto 4	DI	letkulämm. 0,5 kW	0 °C	-0,121 (-14,95%)	-0,050 (-2,5%)	-0,644 (-57,65%)	0,010 (2,6%)
auto 5	E85	letkulämm. 0,5 kW	-20 °C	0,017 (24,34%)	-0,048 (-23,1%)	0,083 (205,98%)	0,017 (41,59%)
auto 5	E85	letkulämm. 0,5 kW	-7 °C	0,102 (173,89%)	0,435 (354,45%)	0,146 (1202,02%)	-0,008 (-15,75%)
auto 5	E85	letkulämm. 0,5 kW	0 °C	-0,009 (-6,61%)	-0,030 (-6,72%)	0,123 (562,2%)	-0,042 (-46,92%)
auto 6	BE/hyb.	kontaktilämm. 0,3 kW	-20 °C	mittausta ei tehty			
auto 6	BE/hyb.	kontaktilämm. 0,3 kW	-7 °C	-0,021 (-77,6%)	-0,084 (-74,45%)	-0,026 (-97,15%)	0,000 (-5,27%)
auto 6	BE/hyb.	kontaktilämm. 0,3 kW	0 °C	-0,010 (-13,07%)	-0,041 (-9,85%)	-0,011 (-81,4%)	-0,001 (-58,02%)

Varsinaiset mittaustulokset on esitetty taulukossa 19 (liite 2).

6.8 Hiilidioksidipäästöt (CO₂)

Taulukossa 12 on esitetty ajosyklin eri vaiheiden aikana hiilidioksidipäästöissä (CO₂) tapahtuneet muutokset vertailtaessa kylmää ja esilämmitettyä moottoria lämpötiloissa 0, -7 ja -20 °C.

Taulukko 12. Muutokset CO₂-päästöissä vertailtaessa kylmää ja esilämmitettyä moottoria eri lämpötiloissa

				Lämmittämätön/esilämmitetty CO ₂ -muutos (g/km)			
				Vaihe			
				Yhdistetty	0-2 km	2-4 km	Maantie
auto 1	BE	letkulämm. 0,5 kW	-20 °C	-1,886 (-0,71%)	-18,306 (-4,35%)	1,520 (0,48%)	1,698 (0,83%)
auto 1	BE	letkulämm. 0,5 kW	-7 °C	-6,667 (-2,77%)	-20,258 (-5,75%)	-8,457 (-2,92%)	-3,021 (-1,56%)
auto 1	BE	letkulämm. 0,5 kW	0 °C	0,633 (0,28%)	9,262 (3,1%)	-6,513 (-2,39%)	0,088 (0,05%)
auto 2	DI	p-a lämm. 5 kW	-20 °C	-23,060 (-9,5%)	-76,491 (-19,58%)	-30,175 (-9,95%)	-5,453 (-2,98%)
auto 2	DI	p-a lämm. 5 kW	-7 °C	-20,724 (-9,52%)	-45,119 (-14,18%)	-32,712 (-11,69%)	-9,908 (-5,83%)
auto 2	DI	p-a lämm. 5 kW	0 °C	-15,892 (-7,67%)	-57,465 (-18,28%)	-13,440 (-5,15%)	-4,366 (-2,73%)
auto 3	BE	kontaktilämm. 0,3 kW	-20 °C	-10,310 (-5,49%)	-19,044 (-7,1%)	-10,208 (-4,5%)	-7,897 (-5,16%)
auto 3	BE	kontaktilämm. 0,3 kW	-7 °C	-1,296 (-0,79%)	-6,436 (-2,72%)	-1,249 (-0,64%)	0,213 (0,16%)
auto 3	BE	kontaktilämm. 0,3 kW	0 °C	0,791 (0,5%)	1,012 (0,47%)	3,553 (1,9%)	-0,002 (0%)
auto 4	DI	letkulämm. 0,5 kW	-20 °C	-11,280 (-5,38%)	-38,543 (-11,68%)	-14,201 (-5,65%)	-2,237 (-1,38%)
auto 4	DI	letkulämm. 0,5 kW	-7 °C	-4,495 (-2,43%)	-15,815 (-5,85%)	-3,465 (-1,58%)	-1,509 (-1%)
auto 4	DI	letkulämm. 0,5 kW	0 °C	-5,326 (-3,07%)	-13,297 (-5,32%)	-7,203 (-3,47%)	-2,431 (-1,72%)
auto 5	E85	letkulämm. 0,5 kW	-20 °C	-12,179 (-5,62%)	-36,022 (-11,99%)	-15,648 (-6,08%)	-4,250 (-2,35%)
auto 5	E85	letkulämm. 0,5 kW	-7 °C	-9,668 (-4,99%)	-27,951 (-10,66%)	-12,265 (-5,58%)	-3,435 (-2,07%)
auto 5	E85	letkulämm. 0,5 kW	0 °C	-5,028 (-2,75%)	-22,503 (-9,18%)	-2,321 (-1,13%)	-0,621 (-0,39%)
auto 6	BE/hyb.	kontaktilämm. 0,3 kW	-20 °C	mittausta ei tehty			
auto 6	BE/hyb.	kontaktilämm. 0,3 kW	-7 °C	-7,784 (-4,1%)	21,089 (8,97%)	-71,975 (-29,61%)	2,536 (1,57%)
auto 6	BE/hyb.	kontaktilämm. 0,3 kW	0 °C	-4,115 (-2,47%)	-5,956 (-2,65%)	-23,222 (-13,78%)	2,132 (1,43%)

Varsinaiset mittaustulokset on esitetty taulukossa 19 (liite 2).

6.9 Hiukkasmaiset päästöt (PM)

Taulukossa 13 on esitetty ajosyklin eri vaiheiden aikana hiukkasmaisissa päästöissä (PM) tapahtuneet muutokset vertailtaessa kylmää ja esilämmitettyä moottoria lämpötiloissa 0, -7 ja -20 °C.

Taulukko 13. Muutokset PM-päästöissä vertailtaessa kylmää ja esilämmitettyä moottoria eri lämpötiloissa

				Lämmittämätön/esilämmitetty PM-muutos (g/km)			
				Vaihe			
				Yhdistetty	0-2 km	2-4 km	Maantie
auto 1	BE	letkulämm. 0,5 kW	-20 °C	-0,0134 (-74,75%)	-0,0661 (-79,14%)	-0,0007 (-38,79%)	-0,0017 (-48,78%)
auto 1	BE	letkulämm. 0,5 kW	-7 °C	-0,0042 (-66,14%)	-0,0232 (-78,65%)	0,0006 (299,41%)	-0,0002 (-11,47%)
auto 1	BE	letkulämm. 0,5 kW	0 °C	0,0005 (14%)	-0,0030 (-26,52%)	0,0000 (-0,28%)	0,0016 (109,76%)
auto 2	DI	p-a lämm. 5 kW	-20 °C	-0,0007 (-32,15%)	-0,0014 (-48,32%)	-0,0013 (-57,87%)	-0,0002 (-14,46%)
auto 2	DI	p-a lämm. 5 kW	-7 °C	0,0000 (-0,51%)	0,0002 (13,92%)	-0,0002 (-15,83%)	0,0000 (-0,83%)
auto 2	DI	p-a lämm. 5 kW	0 °C	0,0003 (20,07%)	0,0009 (59,9%)	0,0005 (46,46%)	0,0000 (-0,34%)
auto 3	BE	kontaktilämm. 0,3 kW	-20 °C	-0,0110 (-47,55%)	-0,0548 (-55,86%)	-0,0026 (-40,52%)	-0,0007 (-11,79%)
auto 3	BE	kontaktilämm. 0,3 kW	-7 °C	-0,0034 (-32,76%)	-0,0163 (-43,61%)	-0,0003 (-11%)	-0,0005 (-10,24%)
auto 3	BE	kontaktilämm. 0,3 kW	0 °C	-0,0011 (-15,09%)	-0,0031 (-13,72%)	-0,0032 (-61,33%)	0,0002 (7,4%)
auto 4	DI	letkulämm. 0,5 kW	-20 °C	0,0004 (60,55%)	0,0007 (119,02%)	0,0006 (121,9%)	0,0002 (33,62%)
auto 4	DI	letkulämm. 0,5 kW	-7 °C	-0,0003 (-32,55%)	-0,0001 (-9,56%)	-0,0010 (-90,99%)	-0,0002 (-18,62%)
auto 4	DI	letkulämm. 0,5 kW	0 °C	-0,0001 (-14,83%)	-0,0001 (-20,56%)	-0,0009 (-100%)	0,0001 (13,16%)
auto 5	E85	letkulämm. 0,5 kW	-20 °C	0,0003 (5,21%)	0,0000 (0,22%)	0,0004 (31,7%)	0,0004 (22,17%)
auto 5	E85	letkulämm. 0,5 kW	-7 °C	-0,0003 (-18,54%)	-0,0049 (-71,28%)	0,0003 (38,5%)	0,0008 (118,85%)
auto 5	E85	letkulämm. 0,5 kW	0 °C	-0,0002 (-15,15%)	-0,0004 (-17,71%)	0,0003 (61,19%)	-0,0003 (-21,6%)
auto 6	BE/hyb.	kontaktilämm. 0,3 kW	-20 °C	mittausta ei tehty			
auto 6	BE/hyb.	kontaktilämm. 0,3 kW	-7 °C	0,0005 (33,65%)	0,0013 (134,48%)	0,0006 (142,07%)	0,0002 (12,36%)
auto 6	BE/hyb.	kontaktilämm. 0,3 kW	0 °C	0,0000 (-3,07%)	0,0002 (20,45%)	0,0000 (-0,36%)	-0,0001 (-9,15%)

Varsinaiset mittaustulokset on esitetty taulukossa 20 (liite 2).

6.10 Kokonaisenergian kulutus

Taulukossa 14 on esitetty esilämmityslaitteiden laskennallisesti kuluttama energia kilowattitunteina. Sähkökäyttöisten esilämmittimien energiankulutus on laskettu käyttämällä laitteiden ilmoitettuja nimellistehoja ja taulukossa 15 esitettyjä esilämmitysaikoja. Polttoainetoimisen lämmittimen energiankulutus on laskettu käyttäen lämmittimen kuluttamaa polttoainemäärää ja taulukon 4 mukaista dieselpolttoaineen energiasäiltöä.

Polttoainetoimisen lämmittimen yhteydessä auton akusta kuluneen energian määrä koostuu kulutetusta akkuvirrasta sekä kokeen alussa täyteen varatun akun uudelleenvaraamiseen kuluneesta verkkosähköstä.

Säästynyt polttoainemäärä on muunnettu kilowattitunneiksi käyttäen taulukon 4 mukaisia polttoaineiden energiasäiltöjä.

Taulukko 14. Esilämmityksen johdosta säästetyn polttoaine-energian ja esilämmitykseen kuluneen energian vertailu.

Energiatase -20°C	Energian kulutus (kWh)				Erotus (+/- tase)
	Polttoaineen säästö (kWh)	Esilämmitys, sähkö	Esilämmitys, polttoaine	Auton akkuvirta ¹⁾	
auto 1, BE, letkulämm. 500 W	0,18	-1,50			-1,32
auto 2, DI, p-a lämm. 5 kW	0,88		-4,30	-0,20	-3,62
auto 3, BE, kontaktilämm. 300 W	0,33	-0,90			-0,57
auto 4, DI, letkulämm. 500 W	0,48	-1,50			-1,02
auto 5, E85, letkulämm. 550 W	0,40	-1,65			-1,25
auto 6, BE, hybr., ei mittaustulosta	x	x			x
Energiatase -7°C					
auto 1, BE, letkulämm. 500 W	0,19	-1,00			-0,81
auto 2, DI, p-a lämm. 5 kW	0,66		-3,00	-0,15	-2,49
auto 3, BE, kontaktilämm. 300 W	0,09	-0,60			-0,51
auto 4, DI, letkulämm. 500 W	0,17	-1,00			-0,83
auto 5, E85, letkulämm. 550 W	0,37	-1,10			-0,73
auto 6, BE, hybr., kontaktilämm. 300 W	0,44	-0,60			-0,16
Energiatase 0°C					
auto 1, BE, letkulämm. 500 W	-0,00	-0,50			-0,50
auto 2, DI, p-a lämm. 5 kW	0,58		-2,00	-0,10	-1,52
auto 3, BE, kontaktilämm. 300 W	-0,03	-0,30			-0,33
auto 4, DI, letkulämm. 500 W	0,19	-0,50			-0,31
auto 5, E85, letkulämm. 550 W	0,16	-0,55			-0,39
auto 6, BE, hybr., kontaktilämm. 300 W	0,23	-0,30			-0,07

¹⁾ sisältää auton akusta kuluneen energian ja sen korvaamisen akun uudelleenvaraukseen kuluneella verkkosähköllä

Taulukon viimeinen sarake kuvaa kulutetun ja säästetyn energian suhdetta eli esilämmityksen kokonaisenergiankulutusta.

7 Tulosten tarkastelu

7.1 Tulosten luotettavuus

Tutkimuksen taloudellisten ja ajallisten resurssien maksimoimiseksi, projektin johtoryhmä päätti asettaa mittauksissa teknisten vaihtoehtojen suuremman lukumäärän tutkimisen vaihtoehtona olleen suppeamman teknisten vaihtoehtojen otannan ja toistomittausten edelle. Järjestelyn tavoitteena oli, että mittauksilla katettaisiin mahdollisimman moni polttoaine ja moottorin esilämmitysvaihtoehto. Mittauksissa satunnaisen virheen mahdollisuus on aina olemassa, mutta toistomittausten puuttuessa satunnaisen virheen havaitseminen vaikeutuu. Dynaamisessa kuormitusilanteessa ajoneuvot eivät toimi aina samalla tavalla, vaikka olosuhteet sekä ajo-ohjelma onkin vakioitu. Kahden identtisen päästömittauksen välillä voi siis olla eroja ilman satunnaista virhettäkin. Aiempien tutkimusten tulosaineiston perusteella tällainen vaihtelu on tyypillisesti noin $\pm 5\%$ kaasumaisille päästöille (CO, HC, NOx), ja noin $\pm 1\%$ polttoaineen kulutukselle. Tätä suurempia eroja voidaan siis pitää merkityksellisinä.

Tässä tutkimuksessa olosuhteiden ja esilämmityksen käytön eri variaatiot mitattiin vain kertaalleen, joten mahdollisen ajoneuvoperäisen tai satunnaisen virheen johdosta pelkkä yksittäisten tulosten vertaaminen voi johtaa virheelliseen analyysiin. Tämän vuoksi tuloksia tarkasteltaessa on syytä painottaa yksittäisen ajoneuvon tulosten sijaan mittaussarjasta erottuvia trendejä.

7.2 Esilämmitysaika

Lämmityslaitteiden lämmitysaikakokeiden perusteella (kuvaajat 2–4) valittiin taulukon 15 mukaiset esilämmitysaikat käytettäväksi ennen dynamometrillä (ks. kohta 5.4) tehtäviä ajokokeita.

Taulukko 15. Ensimmäisen vaiheen mittaustuloksista toisen vaiheen mittauksiin johdetut esilämmitysaikat.

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
Lämmitystyyppi	letku	polttoaine	kontakti	letku	letku	kontakti
Lämmittimen teho	500 W	5 kW	300 W	500 W	550 W	300 W

7.3 Muutokset polttoaineen kulutuksessa

Taulukkoon 8 kerättyjen mittaustulosten perusteella nykyaikaisen polttomoottorin esilämmittäminen säästää jonkin verran polttoainetta ensimmäisten neljän ajokilometrin aikana. Vertailtaessa kylmää ja esilämmitettyä moottoria tällä ajomatalla -20 °C:n lämpötilassa bensiiniä säästy keskimäärin n. 6 %, dieseliä n. 12 % ja E85:tä n. 8 %.

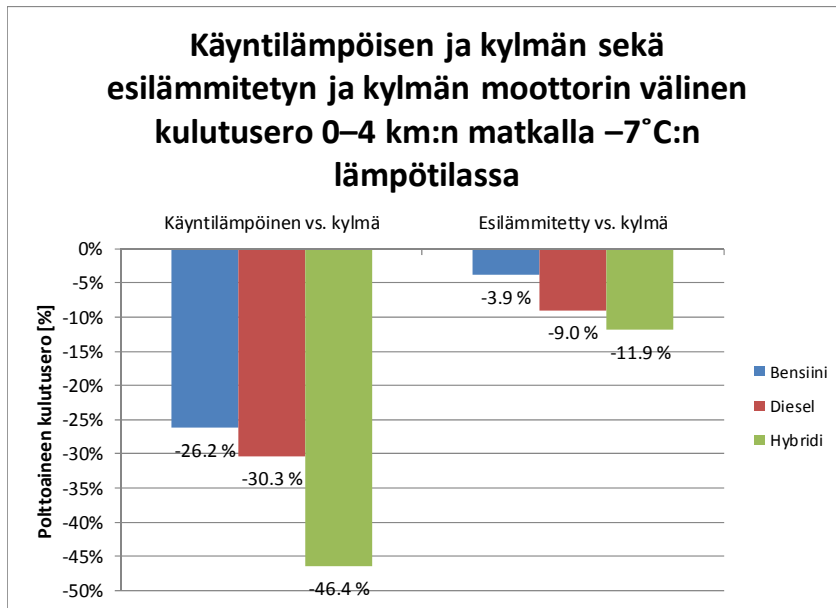
Vertailtaessa kylmää ja esilämmitettyä moottoria -7 °C:n lämpötilassa bensiiniä säästy keskimäärin n. 4 %, dieseliä n. 9 % ja E85:tä n. 9 % ensimmäisten neljän ajokilometrin aikana.

Leudommassa 0 °C:n lämpötilassa tehdyissä mittauksissa vastaavalla 0–4 km:n ajomatalla bensiiniä ei juuri säästynyt, mutta dieseliä säästy keskimäärin 8 % ja E85:tä n. 4 %.

Esilämmitetyn hybridi-auton bensiininkulutus väheni ensimmäisen neljän ajokilometrin aikana -7 °C:ssa n. 12 % ja 0 °C:ssa n. 8 % verrattuna kylmään autoon. Esilämmityksellä saavutettu kulutushyöty painottui hybridi-autolla kaupunkiajo-osuuden 2. vaiheeseen, eli ajomatalle 2–4 kilometriä. Moottorin esilämmityksen johdosta hybridi-auton jäähdytysnesteen lämpötila saavuttaa tavoitearvonsa nopeammin, mikä mahdollistaa polttomoottorin sammuttamisen ja täyssähköisen ajamisen osuuden kasvattamisen. Hybridi-auton mittaus -20 °C:ssa epäonnistui esilämmityslaitteeseen liittyneen asennusongelman vuoksi.

Vaikka suhteellista vähennystä polttoaineen kulutuksessa on nähtävissä, ovat säästyneet polttoainemäärät verraten pieniä (kaikissa mittauksissa välillä 11–88 ml, keskimäärin 41 ml). Tulos on ymmärrettävissä, kun huomioidaan ajoneuvojen energiatehokkuuden yleinen kehittyminen. Suhteellisesta kulutuserosta huolimatta absoluuttinen kulutusero pienenee, koska ajoneuvojen polttoaineen kulutuksen lähtötaso on laskenut.

Polttoaineen kulutuksen osalta on tehty myös vertailua aikaisempiin Tekniikan Maailman toimeksiannosta tehtyihin talvitesteihin (v. 2010–2013) ja niistä laskettuun mahdolliseen säästöpotentiaaliin. Kuvaajassa 11 on vertailtu mainittua säästöpotentiaalia sekä tässä tutkimuksessa toteutuneita säästöjä.



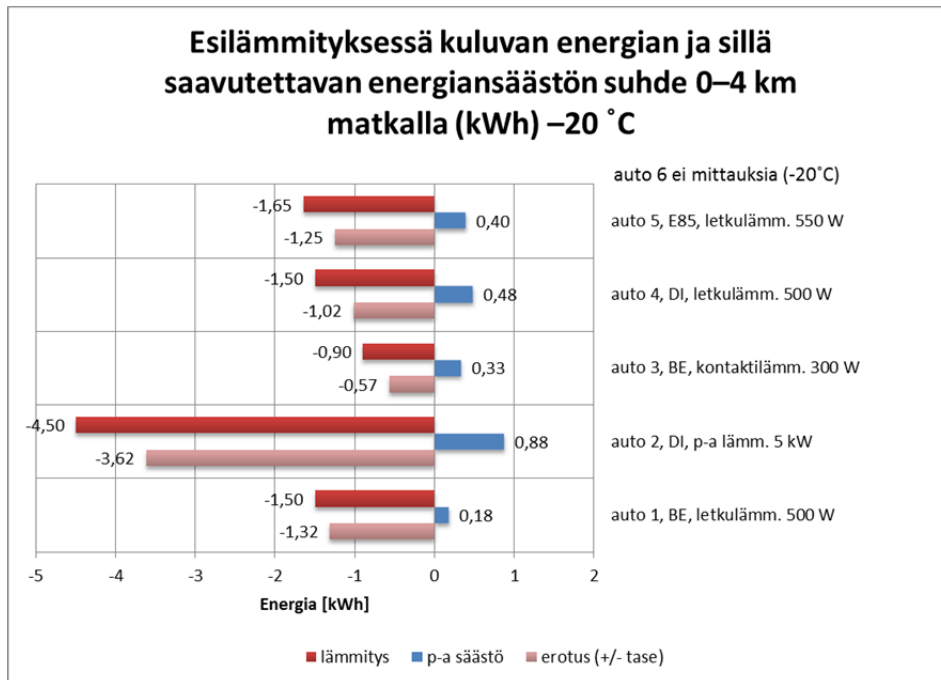
Kuvaaja 11. Kylmän ja käyntilämpöiseksi ajatun sekä kylmän ja esilämmitetyn moottorin väliset kulutuserot.

Kuten kuvaajasta 11 havaitaan, pelkällä sähkö- tai polttoainetoimisella esilämmityksellä ei saavuteta samaa luokkaa olevaa polttoaineen kulutuseroa (säästöpotentiaalia) kuin voidaan saavuttaa kylmän ja ajamalla käyntilämpöiseksi saatetun moottorin välillä. Tuloksia vertailtaessa on tosin huomioitava kuvaajan 11 tuloksiin vaikuttavan moottorin lämpiämisen lisäksi myös voimansiirtolinjan, laakereiden sekä renkaiden lämpiäminen.

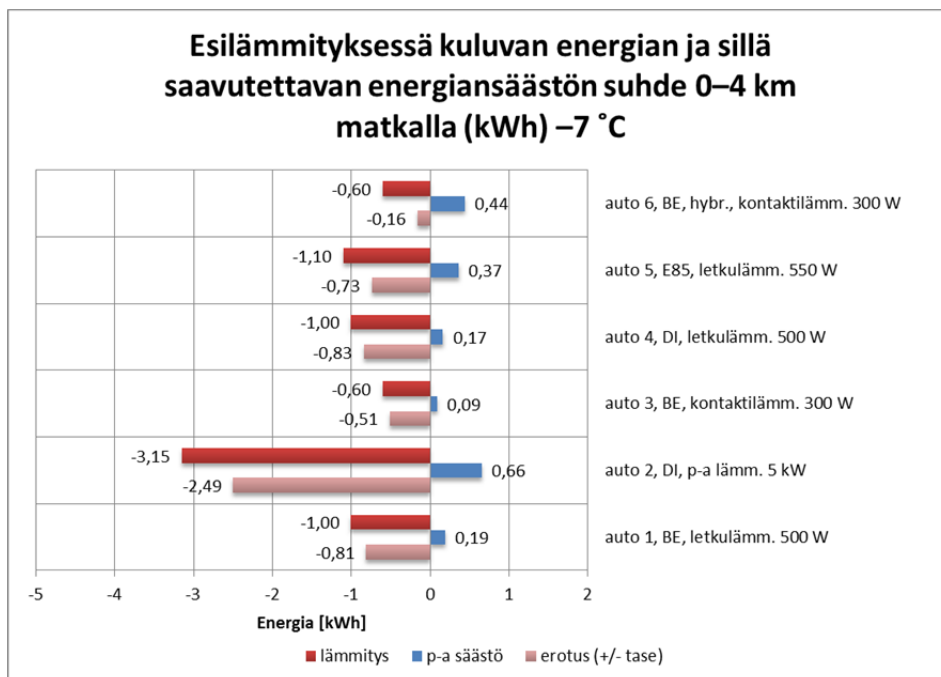
7.4 Esilämmityksen vaikutus energian kokonaiskulutukseen

Kun huomioidaan esilämmittämiseen tarvittava energia joko polttoaineen tai sähkön muodossa, voidaan esilämmityksessä kuluvan energian ja sillä saavutettavan energiansäästön suhdetta kuvata kuvaajien 12–14 energiataseilla. Vertailulaskelmissa on käytetty polttoaineille taulukon 4 mukaisia energiasäilytyksiä: 8,6 kWh/l (benssiini), 10 kWh/l (diesel) ja 6,4 kWh/l (E85). Polttoainetoimisen lämmittimen energiankulutuksessa on huomioitu käytetyn polttoaineen lisäksi auton akun uudelleenvaraukseen kulunut sähköenergia.

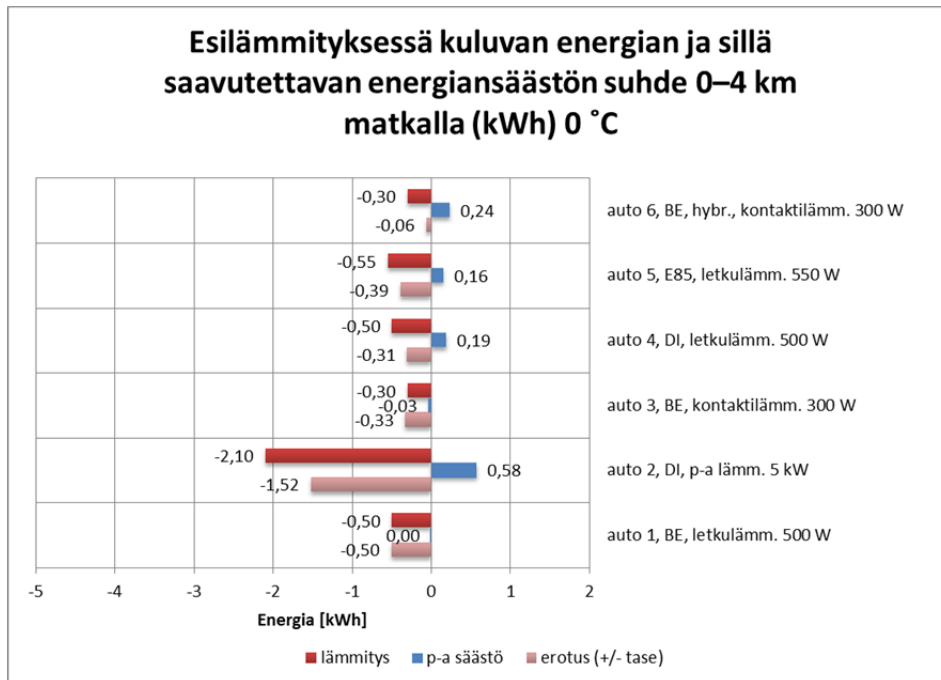
Energiataseita tarkasteltaessa havaitaan, että moottorin esilämmitykseen käytetty energia kasvattaa hieman kokonaisenergiankulutusta, vaikka esilämmityksen avulla polttoaineen kulutus useimmissa tapauksissa laskeekin. Lähimmäksi positiivista energiatasetta ylsi hybridivoimansiirrolla varustettu auto nro 6. Tulos selittyy sillä, että esilämmittämisen johdosta hybridiautolla voitiin ajaa suurempi osuus matkasta sähkömoottorilla ennen polttomoottorin käynnistymistä. Kylmissä olosuhteissa hybridiauton polttomoottori käynnistyy herkästi tuottaakseen lämpöä ajoneuvon ohjaamoon.



Kuvaaja 12. Esilämmityksen energiatase –20 °C:ssä (kWh).



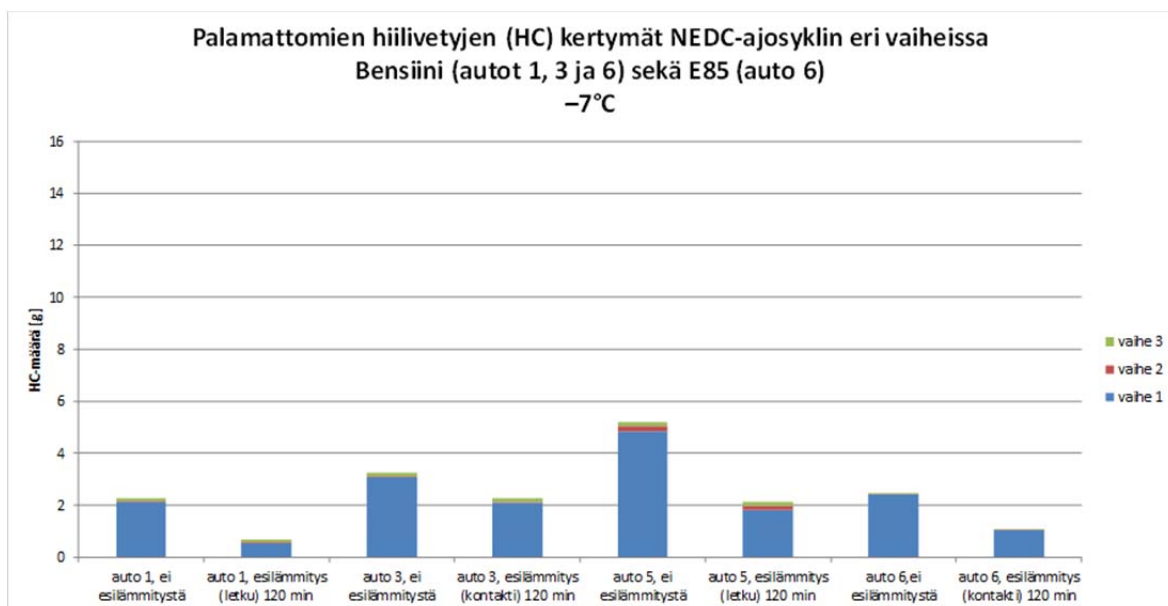
Kuvaaja 13. Esilämmityksen energiatase –7 °C:ssä (kWh).



Kuvaaja 14. Esilämmityksen energiatase -0°C :ssä (kWh).

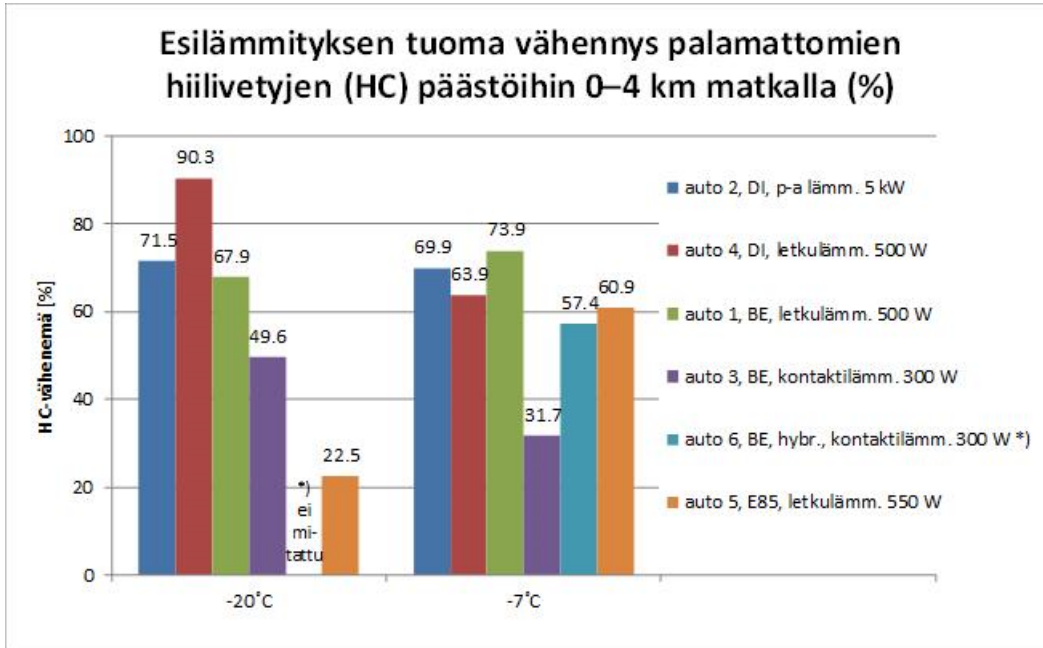
7.5 Muutokset palamattomien hiilivetyjen (HC) päästöissä

Tarkasteltaessa palamattomien hiilivetyjen (HC) päästöjen kertymistä ajosyklin eri vaiheissa (taulukko 18, liite 2), käy selvästi ilmi, että ensimmäiset kaksi ajokilometriä ovat merkityksellisimmät, olipa moottoria esilämmitetty tai ei. Kuvaajassa 15 on esitetty esimerkkinä HC-kertymät -7°C :n lämpötilassa.



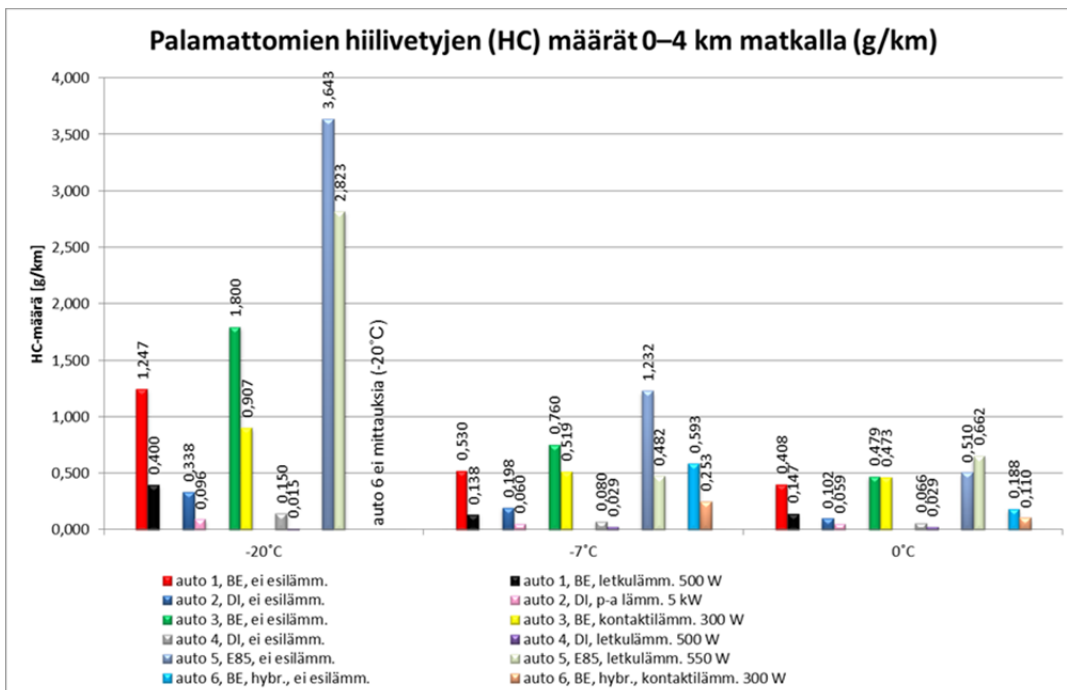
Kuvaaja 15. Valtaosa palamattomien hiilivetyjen päästöistä muodostuu 0-2 km:n ajomatalla, eli vaiheen 1 aikana. Vaiheet 1 ja 2 muodostavat NEDC-ajosyklin kaupunkiajo-osion 0-4 km.

Tässä yhteydessä kiinnostavina on pidetty nimenomaan bensiiniä tai E85:tä polttoaineenaan käyttävien autojen päästöjä. Dieselmootoreilla mitatut tulokset ovat samansuuntaisia, mutta määrät selvästi alhaisempia (taulukko 9). Kuvaajassa 16 on esitetty HC-päästöjen suhteellinen väheneminen 0–4 km:n matkalla.



Kuvaaja 16. Palamattomien hiilivetyjen väheneminen 0-4 km:n matkalla (%).

Kuvaajassa 17 on puolestaan havainnollistettu palamattomien hiilivetyjen mitattuja määriä grammoina kilometriä kohden pylväspareina siten, että ensimmäinen pylväs osoittaa päästömäärän kylmällä moottorilla ja toinen pylväs vastaavan määrän esilämmitetyllä moottorilla.



Kuvaaja 17. Palamattomien hiilivetyjen määrät kylmillä ja esilämmitetyillä moottoreilla eri lämpötiloissa 0-4 km:n ajomatalla.

Terveydelle erityisen haitallisena pidettyjen palamattomien hiilivetyjen (HC) päästöt alenivat määrällisesti etenkin bensiiniä ja E85:tä käyttävissä autoissa.

Lämpötilassa -20 °C mitattujen HC-päästöjen suhteelliset alenemat olivat 0–2 km:n matkalla keskimäärin 59 % (bensiini), 85 % (diesel) ja 22 % (E85).

Lämpötilassa -7 °C mitattujen HC-päästöjen suhteelliset alenemat olivat 0–2 km:n matkalla keskimäärin 53 % (bensiini), 72 % (diesel), 62 % (E85) ja 57 % (hybridi).

Leudommassa 0 °C :n lämpötilassa tehdyissä mittauksissa HC-päästöt alenivat 0–2 km:n matkalla keskimäärin 33 % (bensiini), 60 % (diesel) ja 41 % (hybridi). Testiautossa n:o 5 (polttoaine E85) HC-päästöt kuitenkin kasvoivat noin 30%. Toistokokeiden puuttuessa syy tähän yksittäiseen, muista mittauksista poikkeavaan, tulokseen jäi epäselväksi.

7.6 Muutokset hiilimonoksidipäästöissä (CO)

Valtaosa hiilimonoksidipäästöistä muodostuu ensimmäisen kahden kilometrin aikana (liite 2, taulukko 18). Lämpötilassa -20 °C tehdyissä mittauksissa hiilimonoksidipäästöt (taulukko 10) alenivat esilämmityksen johdosta ajosyklin ensimmäisen vaiheen (0–2 km) aikana keskimäärin suhteellisesti 52 % (bensiini), 61 % (diesel), 6 % (E85) sekä 68 % (hybridi).

Lämpötilassa -7 °C tehdyissä mittauksissa hiilimonoksidipäästöt (taulukko 10) alenivat esilämmityksen johdosta ajosyklin ensimmäisen vaiheen (0–2 km) aikana keskimäärin suhteellisesti 40 % (bensiini), 73 % (diesel), 31 % (E85) sekä 68 % (hybridi).

Leudommassa (0 °C) lämpötilassa tehdyissä mittauksissa CO-päästöt vähenivät vastaavasti 19 % (bensiini), 63 % (diesel) sekä 59 % (hybridi). Testiautossa n:o 5 (polttoaine E85) CO-päästöt kuitenkin kasvoivat esilämmityksen johdosta noin 2,5 kertaisiksi ensimmäisen vaiheen (0–2 km) aikana. Toistokokeiden puuttuessa syy myös tähän toiseen yksittäiseen, muista mittauksista poikkeavaan, tulokseen jäi epäselväksi.

7.7 Muutokset typenoksidipäästöissä (NO_x)

Typenoksidien osalta (taulukko 11) on tarkasteltu koko NEDC-ajosyklin matkalta yhdistettyjä tuloksia. Typenoksidipäästöt eivät yleisesti ottaen testitulosten (liite 2, taulukko 19) valossa painotu ensimmäisille kilometreille, kuten esim. HC-päästöt. Bensiinimoottoreilla kylmässä (-20 ja -7 °C) tehdyissä mittauksissa päästöt kuitenkin näyttäisivät painottuvan jonkin verran 0–2 km:n ajomatalle.

Lämpötilassa -20 °C tehdyissä mittauksissa typenoksidipäästöt alenivat esilämmityksen johdosta NEDC-ajosyklin aikana keskimäärin 3 % (bensiini) ja 4 % (diesel).

Lämpötilassa -7 °C tehdyissä mittauksissa typenoksidipäästöt alenivat esilämmityksen johdosta NEDC-ajosyklin aikana keskimäärin 39 % (bensiini), 7 % (diesel) sekä 78 % (hybridi).

Testiautossa n:o 5 (polttoaine E85) NO_x-päästöt kuitenkin kasvoivat -7 °C lämpötilassa esilämmityksen johdosta lähes kolminkertaisiksi NEDC-ajosyklin aikana. Ero kaventui -20 °C :n lämpötilassa, mutta esilämmitetty moottori tuotti vielä noin 29 %, eli 20 mg/km suuremmat NO_x-päästöt kylmäkäynnisteiseen moottoriin verrattuna. Käytettävissä olevien tietojen valossa ja toistokokeiden puuttuessa syy tähän muista poikkeavaan tulokseen jäi epäselväksi.

Leudommassa (0 °C) lämpötilassa tehdyissä mittauksissa NO_x-päästöt vähenivät vastaavasti 25 % (benssiini), 9 % (diesel), 6 % (E85) sekä 13 % (hybridi).

7.8 Muutokset hiilidioksidipäästöissä (CO₂)

Taulukon 12 mittaustulosten perusteella nykyaikaisen polttomoottorin esilämmittäminen alentaa jonkin verran hiilidioksidipäästöjä ensimmäisen neljän ajokilometrin aikana.

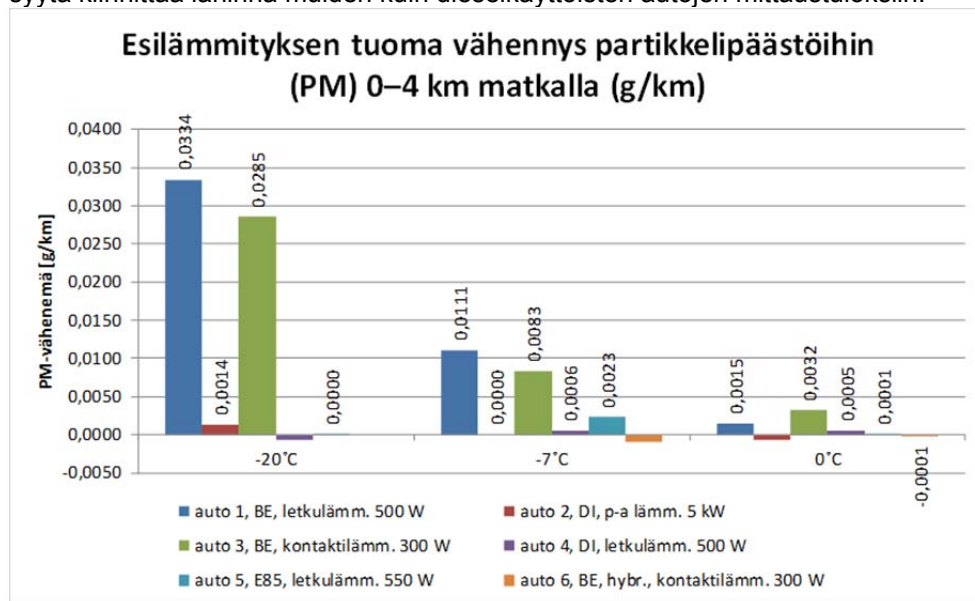
Vertailtaessa kylmää ja esilämmitettyä moottoria –20 °C:ssa hiilidioksidipäästöt alenivat keskimäärin 4 % (benssiini), 12 % (diesel) ja 9 % (E85).

Vertailtaessa kylmää ja esilämmitettyä moottoria –7 °C:ssa hiilidioksidipäästöt alenivat keskimäärin 3 % (benssiini), 8 % (diesel), 8 % (E85) sekä 10 % (hybridi).

Leudommassa 0 °C:n lämpötilassa tehdyissä mittauksissa hiilidioksidipäästöt alenivat keskimäärin 8 % (diesel), 5 % (E85) sekä 8 % (hybridi). Bensiinimoottoreissa ei havaittu esilämmityksen alentavan hiilidioksidipäästöjä 0 °C:n lämpötilassa.

7.9 Muutokset hiukkasmaisissa päästöissä (PM)

Kuvaajassa 18 on esitetty esilämmityksen aiheuttama partikkelipäästöjen (PM) vähenemä grammoina kilometriä kohden ensimmäisten neljän kilometrin ajomatkan osalta. Tässä yhteydessä kannattaa huomata, että kaikissa mitatuissa dieselajoneuvoissa oli asennettuna hiukkassuodatin (DPF). Huomio on siksi syytä kiinnittää lähinnä muiden kuin dieselkäyttöisten autojen mittaustuloksiin.



Kuvaaja 18. Partikkelipäästöjen väheneminen 0-4 km:n matkalla.

Moottorin esilämmityksen vaikutus oli selkein polttoaineen suorasuihkutustekniikkaa hyödyntävissä benssiinikäyttöisissä ajoneuvoissa. Polttoaineen suorasuihkutustekniikkaa osittain tai kokonaan käyttävien benssiinimoottoristen testiajoneuvojen 1 ja 3 hiukkaspäästöt vähenivät keskimäärin suhteellisesti 68 % (–20 °C), 61 % (–7 °C) sekä 20 % (0 °C).

8 Johtopäätökset

8.1 Vertailu vuoden 2003 mittaustuloksiin

Edellä luvussa 6 kuvattuja tuloksia on vertailtu taulukossa 16 soveltuvin kohdin vuonna 2003 tehtyjen vastaavien mittausten tuloksiin /4/.

Taulukko 16. Tutkimustulosten 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-vähennys 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 %

Taulukosta 16 havaitaan polttoaineen kulutuksen osalta, että dieselmootoreissa kulutus vähenee nyt suhteellisesti hieman enemmän kuin vuoden 2003 mittauksissa. Bensiinikäyttöisissä autoissa kulutus puolestaan vähenee nyt vähemmän, kuin aiemmissa mittauksissa. Dieselmootoreiden kylmäkulutus ensimmäisellä kahdella kilometrillä (l / 100 km) on pudonnut kymmenessä vuodessa hieman eli noin 7 %:lla, vastaavasti bensiinimootoreilla huomattavasti enemmän eli noin 31 %:lla.

Diesel-mootoreiden palamattomien hiilivetyjen (HC) päästöt vähenevät nyt tehdyissä mittauksissa tehokkaammin kuin aikaisemmissa mittauksissa. Bensiinimootoreiden HC-päästöt eivät vähene suhteellisesti yhtä tehokkaasti kuin vuoden 2003 mittauksissa, mutta moottorin esilämmityksellä saavutetaan edelleen merkittävä vähennys etenkin ensimmäisten neljän ajokilometrin HC-päästöihin.

9 Yhteenveto

Tutkimuksessa selvitettiin nykyaikaisten polttomoottorien esilämmittämisen vaikutuksia ajoneuvon energiankulutukseen ja pakokaasupäästöihin kylmissä olosuhteissa. Tarjolla olevia esilämmitintyyppisiä ja niiden vaikuttavuutta kartoitettiin kirjallisuusselvityksenä, asiantuntijahaastatteluina sekä VTT:n ajoneuvo-laboratoriossa tehdyin mittauksin. Kokeellisessa osuudessa tutkittiin aluksi valittujen esilämmittimien toimintaa mittaamalla tarvittavaa lämmitysaikaa ja saavutettuja lämpötiloja moottorista eri ulkolämpötiloissa. Kokeellisen osuuden toisessa vaiheessa testiajoneuvojen energiankulutus ja päästöt mitattiin lämpötiloissa 0, -7 ja -20 °C sekä ilman esilämmitystä että esilämmitettyinä.

Tehdyn tutkimuksen valossa nykyaikaisen polttomoottorin esilämmittäminen ei ole taloudellisesti kannattavaa, jos verrataan yksinomaan esilämmityksen avulla säästettyä polttoainetta esilämmitykseen kulu-neeseen sähköön tai polttoaineeseen. Säästynyttä polttoainetta merkittävämpänä asiana voidaan kuitenkin pitää esilämmityksen johdosta merkittävästi alentuneita lähipäästöjä. Näitä päästöjä syntyy etenkin kylmäkäynnistystä seuraavien ensimmäisten neljän kilometrin ajomatalla. Esilämmitystä tulisikin pitää suotavana jo pelkästään lähipäästöjen vähentämiseksi. Suoraan mitattavien taloudellisten säästöjen ja vähennysten ohella esilämmityksellä voidaan parantaa autoilun mukavuutta ja turvallisuutta kylminä aikoina, etenkin, mikäli järjestelmä lämmittää ja kuivattaa myös auton sisätiloja. Moottorin esilämmityksen ansiosta ajoneuvon jäähdytysnesteen lämpöä hyödyntävä matkustamon lämmityslaitte kykenee tuottamaan nopeammin lämmintä ilmaa sekä matkustajille että tuulilasille.

Polttoainetoimisella, nimellisteholtaan suurella lämmittimellä tarvittava lämmitysaika on luonnollisesti murto-osa siitä, mitä esim. moottoriöljyä lämmitävällä kontaktilämmitimellä. Tutkimuksen mukaan käytetyllä lämmitinlaitetyypeillä ei muuten ollut erityisen merkittävää vaikutusta lopputuloksiin. Sähkölämmittimen sijoituspaikalla sekä auton oman jäähdytysjärjestelmän toimintaperiaatteella havaittiin olevan vaikutusta lämmittimen toimintaan.

Nykyaikaisissa autoissa on aiempaa huomattavasti enemmän sähkölaitteita, jotka kuluttavat energiaa. Myös akun hyödyntäminen 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, mutta asia korostuu etenkin talvella. Harkittaessa mahdollisen esilämmitysjärjestelmän asentamista autoon kannattaa pohtia myös järjestelmään liitettävän akun ylläpitovaraajan hankkimista. Etenkin polttoainetoimista esilämmitintä käyttävien kannattaa harkita kiinteän tai siirrettävän akkuvaraajaan säännöllistä käyttöä talvikaudella, jotta akussa säilyisi riittävä varaustaso. Siirrettävistä akkuvaraajista kannattaa valita sellainen malli, joka osaa jatkaa latausta automaattisesti uudelleen, mikäli lämmitystolpan ajastinkello välillä katkaisee verkkovirran saannin.

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

Ennen seuraavaa polttoainekäyttöisen lämmittimen käyttökertaa auton oman lämmityslaitteen lämpötilapyynti kannattaa säätää täydelle teholle 20–30 sekuntia ennen moottorin sammuttamista, jotta ilman ohjauksiläpät ehtivät asettua oikeisiin asentoihinsa. Puhallin kannattaa säätää melko matalalle teholle akkuvirran säästämiseksi.

Polttoainekäyttöistä lämmitintä pitäisi kesäaikaankin käyttää lyhyesti 1–2 kertaa kuukaudessa. Muuten polttoaine voi vähitellen haihtua lämmitimestä ja lämmittimen käynnistäminen voi vaatia erikoistoimia tai huollossa käyntiä.

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

Mittausten perusteella määritetyt suositeltavat esilämmitysajat eri lämmitintyypeille on esitetty taulukossa 17.

Taulukko 17. Suositeltavat esilämmitysajat talvioloissa.

Ulkoilman lämpötila	Suositeltava esilämmitysaika 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

Lähdeviitteet

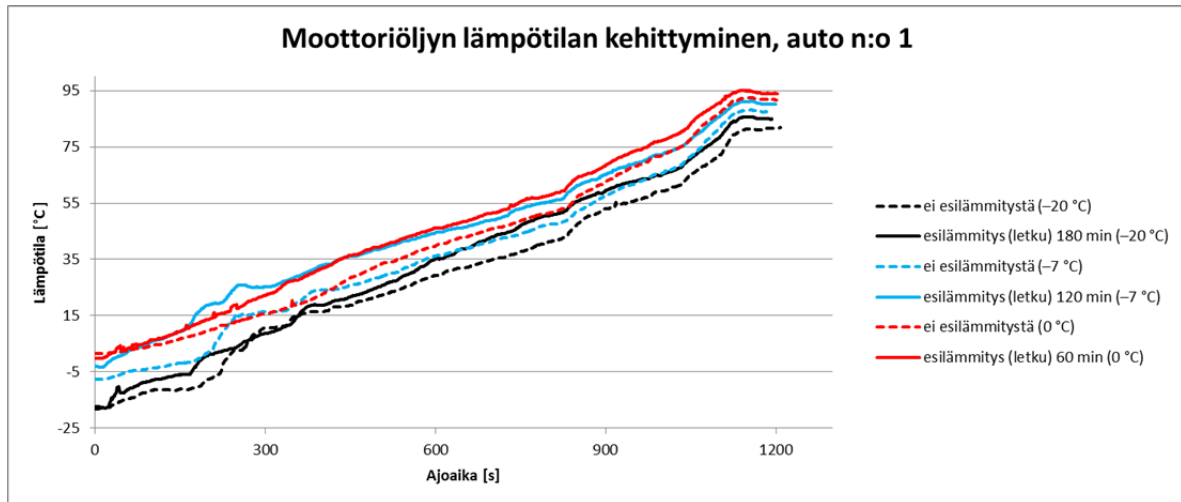
- /1/ Vinkit ennen ajoon lähtöä. 2013. Verkkodokumentti. Motiva. <http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/taloudellinen_ajotapa/vinkit_ennen_ajoon_lahtoa>. Luettu 6.9.2013.
- /2/ Akkreditointitodistus. 2013. Verkkodokumentti. FINAS Finnish Accreditation Service. <http://www.mikes.fi/Scopes/T259_M05_2012.pdf>. Luettu 30.6.2013.
- /3/ 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>>.
- /4/ Test Report Engine pre-heaters. Defa A.S. Test Center Tiililä Oy. 2003.

Liitteet

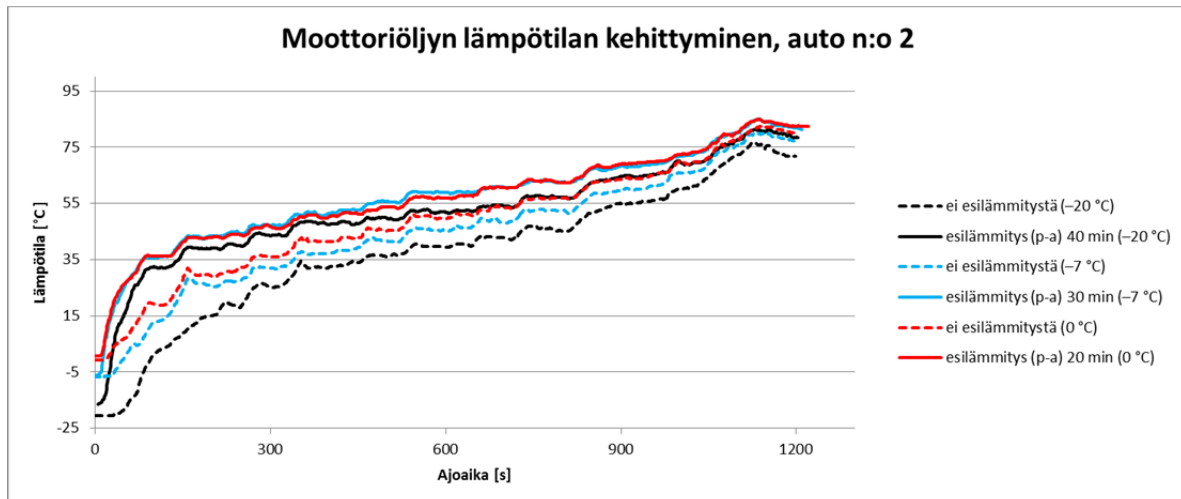
- Liite 1 Testiajoneuvojen 1–6 moottoriöljyn lämpötilojen kehittyminen päästömittausten ajosyklin aikana 0, –7 ja –20 °C:n lämpötiloissa (3 s.)
- Liite 2 Energiankulutus- ja päästömittausten tulokset (3 s.)

LIITE 1

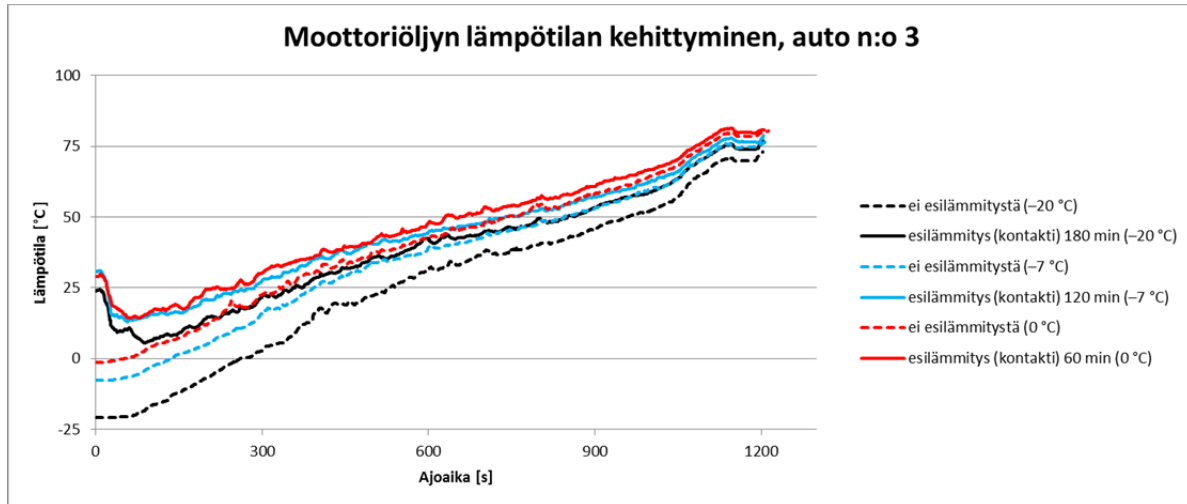
Testiajoneuvojen 1–6 moottoriöljyn lämpötilojen kehittyminen päästömittausten ajosyklin aikana 0, –7 ja –20 °C:n lämpötiloissa



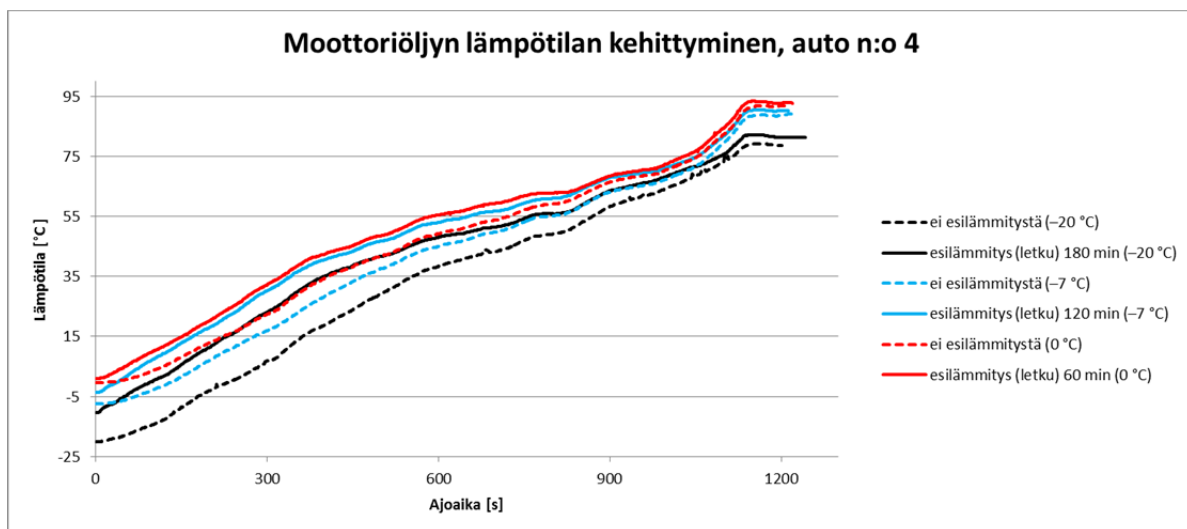
Kuvaaja 19. Moottoriöljyn lämpötilakuvaajat päästömittausten aikana (testiauto 1).



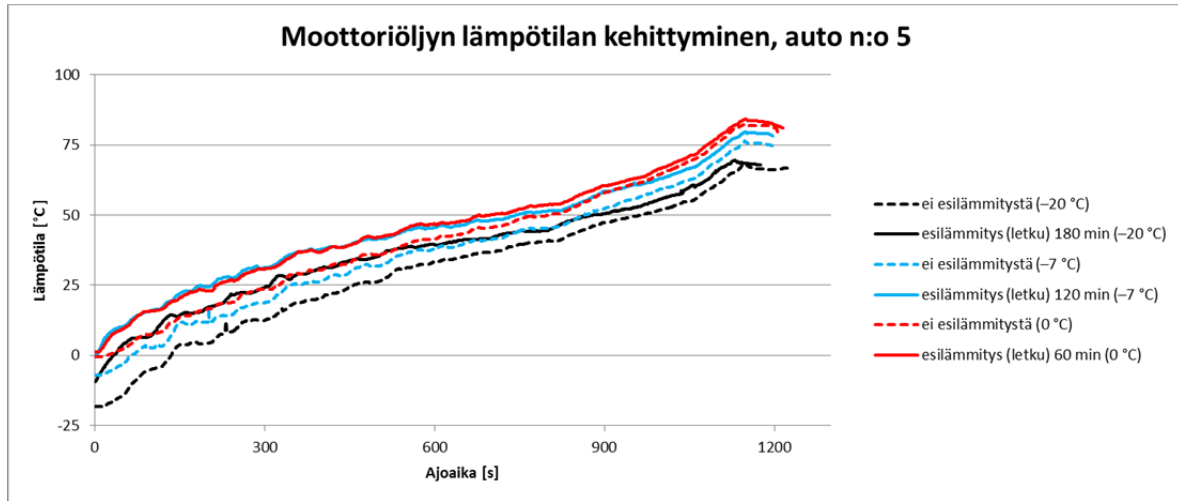
Kuvaaja 20. Moottoriöljyn lämpötilakuvaajat päästömittausten aikana (testiauto 2).



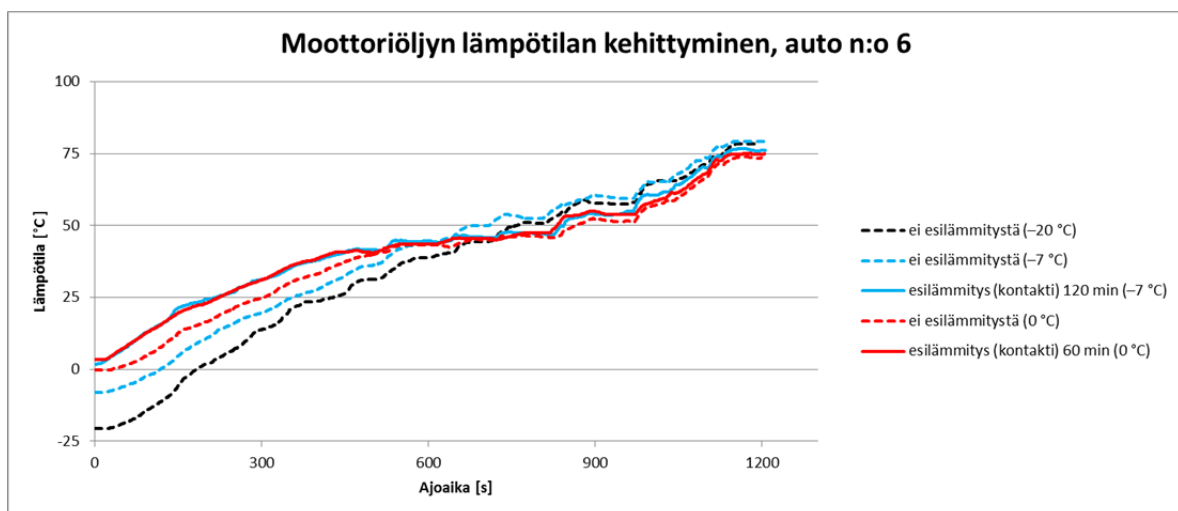
Kuvaaja 21. Moottoriöljyn lämpötilakuvaajat päästömittausten aikana (testiauto 3).



Kuvaaja 22. Moottoriöljyn lämpötilakuvaajat päästömittausten aikana (testiauto 4).



Kuvaaja 23. Moottoriöljyn lämpötilakuvaajat päästömittausten aikana (testiauto 5).



Kuvaaja 24. Moottoriöljyn lämpötilakuvaajat päästömittausten aikana (testiauto 6).

LIITE 2

Energiankulutus- ja päästömittausten tulokset

Taulukko 18. CO- ja HC-päästökomponenttien mittaustulokset.

Koe n:o	P-a	Lämpötila (°C)	Esilämmitys	Auto n:o	CO-päästökomponentti (g/km)				HC-päästökomponentti (g/km)			
					Yhdistetty	Vaihe			Yhdistetty	Vaihe		
						0-2 km	2-4 km	Maantie		0-2 km	2-4 km	Maantie
13340EB	BE	-20	Ei	auto 1	0,8208	4,0806	0,0815	0,0788	0,4766	2,4687	0,0245	0,0233
13335EB	BE	-7	Ei	auto 1	0,4928	2,3368	0,0756	0,0885	0,2054	1,0639	0,0140	0,0164
13328EB	BE	0	Ei	auto 1	0,4034	1,8178	0,0555	0,0855	0,1610	0,8047	0,0097	0,0142
13336EB	BE	-20	180 min	auto 1	0,3684	1,5498	0,0996	0,0989	0,1624	0,7898	0,0111	0,0217
13331EB	BE	-7	120 min	auto 1	0,2392	0,8988	0,0701	0,0950	0,0612	0,2714	0,0055	0,0157
13324EB	BE	0	60 min	auto 1	0,7200	1,0069	0,0732	0,8271	0,0665	0,2863	0,0068	0,0188
13341ED	DI	-20	Ei	auto 2	0,6901	3,5806	0,0235	0,0512	0,1336	0,5277	0,1503	0,0154
13334ED	DI	-7	Ei	auto 2	0,6646	3,3287	0,2448	0,0077	0,0827	0,3188	0,0774	0,0151
13329ED	DI	0	Ei	auto 2	0,3375	1,8028	0,0134	0,0058	0,0429	0,1576	0,0469	0,0083
13337ED	DI	-20	40 min	auto 2	0,4646	2,4330	0,0766	0,0124	0,0408	0,1090	0,0838	0,0088
13330ED	DI	-7	30 min	auto 2	0,2269	1,1330	0,0862	0,0052	0,0265	0,0854	0,0341	0,0071
13325ED	DI	0	20 min	auto 2	0,1787	0,8151	0,1328	0,0061	0,0256	0,0760	0,0415	0,0062
13339EB	BE	-20	Ei	auto 3	3,6326	18,0494	0,5910	0,3260	0,6827	3,5676	0,0462	0,0292
13333EB	BE	-7	Ei	auto 3	1,9238	9,2535	0,2169	0,2648	0,2943	1,4991	0,0170	0,0206
13327EB	BE	0	Ei	auto 3	1,2809	5,9946	0,1207	0,2322	0,1890	0,9401	0,0153	0,0186
13338EB	BE	-20	180 min	auto 3	2,1907	10,5442	0,4005	0,2688	0,3516	1,7895	0,0249	0,0262
13332EB	BE	-7	120 min	auto 3	1,5977	7,5435	0,2042	0,2594	0,2055	1,0207	0,0171	0,0211
13326EB	BE	0	60 min	auto 3	1,3798	6,3668	0,1332	0,2798	0,1875	0,9281	0,0158	0,0203
13344ED	DI	-20	Ei	auto 4	0,4556	2,4442	0,0144	0,0064	0,0653	0,2645	0,0372	0,0155
13350ED	DI	-7	Ei	auto 4	0,3424	1,6317	0,1386	0,0286	0,0418	0,1164	0,0436	0,0197
13358ED	DI	0	Ei	auto 4	0,2753	1,3183	0,1336	0,0168	0,0344	0,0926	0,0403	0,0160
13345ED	DI	-20	180 min	auto 4	0,0591	0,2673	0,0290	0,0078	0,0063	0,0265	0,0027	0,0014
13349ED	DI	-7	120 min	auto 4	0,0818	0,3187	0,0905	0,0108	0,0162	0,0333	0,0245	0,0089
13354ED	DI	0	60 min	auto 4	0,0949	0,3714	0,0981	0,0143	0,0167	0,0293	0,0280	0,0098
13343EA	E85	-20	Ei	auto 5	4,8387	25,8849	0,1587	0,1314	1,4714	6,7170	0,6034	0,2110
13351EA	E85	-7	Ei	auto 5	1,3374	6,9026	0,0526	0,0760	0,4712	2,3602	0,1047	0,0226
13356EA	E85	0	Ei	auto 5	0,4355	2,1529	0,0286	0,0531	0,1968	0,9812	0,0416	0,0132
13346EA	E85	-20	180 min	auto 5	4,9952	27,4781	0,0969	0,1020	1,1320	5,2723	0,5129	0,1460
13347EA	E85	-7	120 min	auto 5	0,9298	4,7911	0,0272	0,0657	0,1912	0,8931	0,0753	0,0198
13355EA	E85	0	60 min	auto 5	1,1631	6,1236	0,0507	0,0420	0,2528	1,2493	0,0760	0,0140
13342EB	BE	-20	Ei	auto 6	5,4235	27,7607	0,2249	0,4428	0,7539	3,9134	0,0394	0,0433
13352EB	BE	-7	Ei	auto 6	1,0081	4,9078	0,1368	0,1096	0,2230	1,1670	0,0117	0,0056
13357EB	BE	0	Ei	auto 6	0,2834	1,1993	0,0420	0,0845	0,0709	0,3716	0,0032	0,0021
13348EB	BE	-7	120 min	auto 6	0,3645	1,5562	0,0672	0,1011	0,0981	0,4969	0,0080	0,0073
13353EB	BE	0	60 min	auto 6	0,1467	0,4923	0,0053	0,0872	0,0424	0,2186	0,0017	0,0027

Taulukko 19. NO_x- ja CO₂-päästökomponenttien mittaustulokset.

Koe n:o	P-a	Lämpötila (°C)	Esilämmitys	Auto n:o	NO _x -päästökomponentti (g/km)				CO ₂ -päästökomponentti (g/km)			
					Yhdistetty	Vaihe			Yhdistetty	Vaihe		
						0-2 km	2-4 km	Maantie		0-2 km	2-4 km	Maantie
13340EB	BE	-20	Ei	auto 1	0,1870	0,8036	0,0270	0,0526	265,51	420,45	314,14	205,61
13335EB	BE	-7	Ei	auto 1	0,1427	0,6453	0,0354	0,0306	240,60	352,18	289,97	194,04
13328EB	BE	0	Ei	auto 1	0,1188	0,5701	0,0029	0,0187	223,98	298,82	272,23	187,42
13336EB	BE	-20	180 min	auto 1	0,1603	0,7158	0,0272	0,0356	263,63	402,15	315,66	207,31
13331EB	BE	-7	120 min	auto 1	0,0683	0,1775	0,0121	0,0528	233,93	331,92	281,52	191,02
13324EB	BE	0	60 min	auto 1	0,0444	0,1436	0,0089	0,0254	224,61	308,08	265,72	187,51
13341ED	DI	-20	Ei	auto 2	1,6795	1,8717	1,5583	1,6592	242,80	390,59	303,18	182,77
13334ED	DI	-7	Ei	auto 2	1,6602	1,5791	1,5988	1,7019	217,64	318,15	279,73	170,08
13329ED	DI	0	Ei	auto 2	1,6083	1,6072	1,7429	1,5691	207,08	314,34	260,77	160,06
13337ED	DI	-20	40 min	auto 2	1,7208	1,7189	1,8002	1,6984	219,74	314,10	273,00	177,32
13330ED	DI	-7	30 min	auto 2	1,6107	1,6240	1,7035	1,5797	196,92	273,03	247,02	160,17
13325ED	DI	0	20 min	auto 2	1,5547	1,4471	1,6012	1,5726	191,18	256,88	247,33	155,70
13339EB	BE	-20	Ei	auto 3	0,1148	0,4026	0,0072	0,0626	187,97	268,31	227,02	153,11
13333EB	BE	-7	Ei	auto 3	0,1186	0,4114	0,0150	0,0627	163,59	236,21	194,19	133,22
13327EB	BE	0	Ei	auto 3	0,0858	0,2169	0,0171	0,0673	156,97	217,10	187,48	130,32
13338EB	BE	-20	180 min	auto 3	0,1248	0,3274	0,0097	0,0991	177,66	249,26	216,81	145,22
13332EB	BE	-7	120 min	auto 3	0,0867	0,2264	0,0145	0,0668	162,29	229,77	192,94	133,43
13326EB	BE	0	60 min	auto 3	0,0971	0,2241	0,0333	0,0785	157,76	218,11	191,03	130,32
13344ED	DI	-20	Ei	auto 4	1,7912	2,5748	2,1437	1,4600	209,66	330,02	251,14	162,50
13350ED	DI	-7	Ei	auto 4	1,0080	2,1432	1,8234	0,4430	185,29	270,41	219,75	150,66
13358ED	DI	0	Ei	auto 4	0,8098	2,0118	1,1168	0,3748	173,41	249,75	207,41	141,57
13345ED	DI	-20	180 min	auto 4	1,6216	2,3235	2,0684	1,2886	198,38	291,47	236,94	160,27
13349ED	DI	-7	120 min	auto 4	0,8952	2,2044	1,1264	0,4498	180,79	254,60	216,29	149,15
13354ED	DI	0	60 min	auto 4	0,6887	1,9614	0,4729	0,3846	168,08	236,45	200,20	139,13
13343EA	E85	-20	Ei	auto 5	0,0718	0,2075	0,0402	0,0419	216,66	300,54	257,31	180,59
13351EA	E85	-7	Ei	auto 5	0,0587	0,1228	0,0121	0,0535	193,75	262,16	219,63	165,93
13356EA	E85	0	Ei	auto 5	0,1429	0,4469	0,0219	0,0896	183,17	245,25	206,15	158,27
13346EA	E85	-20	180 min	auto 5	0,0893	0,1596	0,1230	0,0593	204,48	264,52	241,67	176,34
13347EA	E85	-7	120 min	auto 5	0,1607	0,5582	0,1578	0,0451	184,08	234,21	207,36	162,50
13355EA	E85	0	60 min	auto 5	0,1335	0,4169	0,1448	0,0476	178,14	222,74	203,82	157,65
13342EB	BE	-20	Ei	auto 6	0,0043	0,0177	-0,0007	0,0019	208,24	265,66	273,14	172,51
13352EB	BE	-7	Ei	auto 6	0,0265	0,1132	0,0271	0,0007	190,03	235,14	243,11	161,21
13357EB	BE	0	Ei	auto 6	0,0800	0,4133	0,0136	0,0013	166,58	224,37	168,50	149,01
13348EB	BE	-7	120 min	auto 6	0,0059	0,0289	0,0008	0,0007	182,25	256,23	171,14	163,75
13353EB	BE	0	60 min	auto 6	0,0696	0,3726	0,0025	0,0006	162,46	218,41	145,28	151,14

Taulukko 20. Hiukkasmaisten päästöjen (PM) ja polttoaineenkulutuksen mittaustulokset.

Koe n:o	P-a	npö-tila (Esiläm-mi	Auto n:o	PM-päästökompontti (g/km)			Polttoaineen kulutus (l / 100 km) ¹⁾				
					Yhdis-tetty	Vaihe			Yhdis-tetty	Vaihe		
						0-2 km	2-4 km	Maantie		0-2 km	2-4 km	Maantie
13340EB	BE	-20	Ei	auto 1	0,0180	0,0836	0,0018	0,0034	11,29	18,30	13,23	8,66
13335EB	BE	-7	Ei	auto 1	0,0063	0,0295	0,0002	0,0015	10,19	15,12	12,21	8,18
13328EB	BE	0	Ei	auto 1	0,0032	0,0112	0,0011	0,0015	9,48	12,81	11,46	7,90
13336EB	BE	-20	180 min	auto 1	0,0045	0,0174	0,0011	0,0017	11,14	17,14	13,29	8,74
13331EB	BE	-7	120 min	auto 1	0,0021	0,0063	0,0008	0,0013	9,87	14,07	11,85	8,05
13324EB	BE	0	60 min	auto 1	0,0037	0,0083	0,0011	0,0031	9,51	13,07	11,19	7,95
13341ED	DI	-20	Ei	auto 2	0,0020	0,0030	0,0022	0,0017	9,41	15,32	11,69	7,04
13334ED	DI	-7	Ei	auto 2	0,0013	0,0015	0,0013	0,0013	8,43	12,49	10,79	6,55
13329ED	DI	0	Ei	auto 2	0,0013	0,0015	0,0011	0,0013	8,00	12,23	10,05	6,16
13337ED	DI	-20	40 min	auto 2	0,0014	0,0015	0,0009	0,0015	8,49	12,25	10,53	6,83
13330ED	DI	-7	30 min	auto 2	0,0013	0,0017	0,0011	0,0013	7,60	10,59	9,52	6,17
13325ED	DI	0	20 min	auto 2	0,0015	0,0024	0,0016	0,0013	7,37	9,95	9,54	6,00
13339EB	BE	-20	Ei	auto 3	0,0231	0,0981	0,0063	0,0061	8,24	12,96	9,60	6,47
13333EB	BE	-7	Ei	auto 3	0,0103	0,0373	0,0026	0,0046	7,05	10,75	8,19	5,63
13327EB	BE	0	Ei	auto 3	0,0070	0,0229	0,0053	0,0028	6,72	9,66	7,90	5,50
13338EB	BE	-20	180 min	auto 3	0,0121	0,0433	0,0038	0,0054	7,67	11,43	9,16	6,13
13332EB	BE	-7	120 min	auto 3	0,0069	0,0210	0,0023	0,0041	6,96	10,31	8,14	5,64
13326EB	BE	0	60 min	auto 3	0,0059	0,0197	0,0020	0,0030	6,76	9,73	8,05	5,51
13344ED	DI	-20	Ei	auto 4	0,0006	0,0006	0,0005	0,0007	8,11	12,89	9,67	6,26
13350ED	DI	-7	Ei	auto 4	0,0009	0,0011	0,0011	0,0008	7,16	10,52	8,47	5,80
13358ED	DI	0	Ei	auto 4	0,0008	0,0005	0,0009	0,0008	6,70	9,71	8,00	5,45
13345ED	DI	-20	180 min	auto 4	0,0010	0,0013	0,0011	0,0009	7,64	11,24	9,12	6,17
13349ED	DI	-7	120 min	auto 4	0,0006	0,0010	0,0001	0,0007	6,97	9,83	8,34	5,74
13354ED	DI	0	60 min	auto 4	0,0007	0,0004	0,0000	0,0009	6,48	9,13	7,72	5,36
13343EA	E85	-20	Ei	auto 5	0,0055	0,0217	0,0013	0,0020	13,72	21,44	15,62	10,94
13351EA	E85	-7	Ei	auto 5	0,0018	0,0069	0,0007	0,0007	11,88	16,77	13,27	10,02
13356EA	E85	0	Ei	auto 5	0,0015	0,0025	0,0005	0,0014	11,12	15,13	12,45	9,56
13346EA	E85	-20	180 min	auto 5	0,0057	0,0218	0,0017	0,0024	12,96	19,23	14,66	10,67
13347EA	E85	-7	120 min	auto 5	0,0015	0,0020	0,0010	0,0015	11,22	14,70	12,52	9,81
13355EA	E85	0	60 min	auto 5	0,0012	0,0021	0,0008	0,0011	10,89	14,18	12,31	9,52
13342EB	BE	-20	Ei	auto 6	0,0060	0,0226	0,0012	0,0026	9,22	13,54	11,52	7,30
13352EB	BE	-7	Ei	auto 6	0,0015	0,0010	0,0004	0,0020	8,10	10,38	10,24	6,79
13357EB	BE	0	Ei	auto 6	0,0012	0,0012	0,0007	0,0014	7,04	9,57	7,10	6,28
13348EB	BE	-7	120 min	auto 6	0,0020	0,0024	0,0010	0,0023	7,71	10,95	7,21	6,90
13353EB	BE	0	60 min	auto 6	0,0012	0,0014	0,0007	0,0013	6,85	9,26	6,12	6,37

1) Teoreettinen polttoaineen kulutus on laskettu kaasumaisista päästöistä.