

M2T9907

**HENKILÖAUTOJEN
PAKOKAASUPÄÄSTÖT
KYLMISSÄ OLOSUHTEISSA JA
NIIDEN VÄHENTÄMISEN
TEKNIIKAT**

Juhani Laurikko
VTT Energia, Moottoritekniikka ja liikenteen energiankäyttö

MOBILE2-raporttikaavake 2000

Raportointiaika Tammikuu 2001
Raportointikausi 1.1.2000 – 31.12.2000

| | | | |
|-------------------------|--|------------------------|--|
| Projektin koodi | M2T9907 | | |
| Projektin nimi | Henkilöautojen pakokaasupäästöt kylmissä olosuhteissa ja niiden vähentämisen tekniikat | | |
| Vastuuorganisaatio | VTT Energia, Moottoritekniikka ja liikenteen energiankäyttö | | |
| Projektin vastuhenkilö | Juhani Laurikko | | |
| Projektin yhteyshenkilö | Osoite | PL 1601, 02044 VTT | |
| Juhani Laurikko | Sähköpostiosoite | Juhani.Laurikko@vtt.fi | |
| Puhelinnumero | Telefax | | |
| (09) 456 5463 | (09) 460 493 | | |

Muut tahot:

| Organisaatio | Yhteyshenkilö | Puhelinnumero | Sähköpostiosoite |
|--------------|---------------|---------------|------------------|
| | | | |

| Hankkeen alkamisaika | Hankkeen suunniteltu kesto | Hankkeen suunniteltu päättymisaika |
|----------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| 1.4.1999 | Alkup.suunn. 1999-2001 | työ jatkuu vielä vuoden 2001 puolella |

Projektin rahoitus (mk)

| Organisaatio | 1999 | 2000 | 2001* | 2002* | Yhteensä |
|-------------------------------|---------|---------|----------------|-------|----------|
| MOBILE ² -rahoitus | 200 000 | 200 000 | Suunnitelmasta | | 400 000 |
| VTT Energia | 50 000 | 100 000 | Poiketen | | 150 000 |
| | | | Tämä | | |
| | | | hanke | | |
| | | | päätetään | | |
| | | | ja v.2001 | | |
| | | | Siirrytään | | |
| | | | uuteen | | |
| Yhteensä | 250 000 | 300 000 | EU-projektiin. | | 550 000 |

* suunniteltu

Hankkeen tavoite

- Karakterisoidaan nykyistä tarkemmin kylmäkäynnistyksessä syntyviä pakokaasupäästöjä, **ml. hiukkaspäästöt ja eräät ei-säännellyt kaasumaiset yhdisteet.**
- Hyödyntäen aikaisempaa tutkimusaineistoa ja uusia tuloksia, **kehitetään malli kylmäkäynnistyksen osuudelle päästöistä**, jota voidaan käyttää päästöjen määrää laskettaessa.
- Arvioidaan erilaisten tekniikoiden potentiaalia vähentää päästöjä.
- Tuetaan** päästöjä ja energian kulutusta vähentävien **tekniikoiden tuotekehitystä.**

Tutkimus toteutetaan osaksi EU:n 5. puiteohjelman hankkeen (ARTEMIS) alaisuudessa.

Projektin julkaisuluettelo

(MOBILE² -julkaisut ja muut julkaisut projektiin liittyen)

Seminaarit

(Seminaarit ja konferenssit joissa projektia on esitelty, ml. MOBILE²-seminaarit)

- Seurantaryhmäkokous 17.05.2000
- Seurantaryhmäkokous 09.10.2000

Opinnäytteet hankkeeseen liittyen

Ei ole.

Patentit hankkeeseen liittyen

Ei ole.

1. JOHDANTO

VTT Energia on tutkinut henkilöautojen pakokaasupäästöjä kylmissä käyttöolosuhteissa jo yli kymmenen vuoden ajan. Se on ollut eräs tutkimuksen painopistealueista, sillä Suomen kannalta kylmäpäästöillä ja niiden vähentämismahdollisuuksilla on merkittävä asema ja vastaavaa tutkimusta tehdään kansainvälisesti varsin vähän., Siksi tutkimukseen on kansallisesti panostettu varsin paljon.

Tulokset aikaisemmilta vuosilta ovatkin johtaneet tietämyksen karttumiseen, ja eräänä merkittävänä saavutuksena voidaan pitää päätöstä -7°C kylmäkäynnistyskokeen mukaan ottamisesta EU:n henkilöautojen pakokaasupäästöjä rajoittavan direktiivin päivitykseen (98/69/EC) vuonna 1998. Mainittu koe CO- ja HC-raja-arvoineen tulee voimaan vuonna 2002.

2. TAVOITTEET

Tutkimuksen tavoitteena on seurata tekniikan kehitystä ja sen heijastumaa kylmäpäästöihin ja samalla arvioidaan erilaisten tekniikoiden potentiaalia vähentää päästöjä. Puhdistustekniikan kehittäminen entistä vähäpäästöisempään suuntaan saattaa lieveilmionä huonontaa suorituskykyä kylmissä olosuhteissa, ainakin alkuvaiheessa, ennen kuin kokonaisuoptimointi ehditään tehdä. Toisaalta nykyiset normaalilämpötilassa mitattavat päästörajat ohjaavat nekin tekniikkaa siihen suuntaan, että toimintateho kylmemmässäkin käyttöympäristössä paranee.

Evaluoititutkimuksella pyritään myös tukemaan päästöjä ja energian kulutusta vähentävien tekniikoiden tuotekehitystä.

Tutkimuksessa pyritään säänneltyjen päästöjen lisäksi nykyistä tarkemmin karakterisoimaan kylmäkäynnistyksessä syntyviä pakokaasupäästöjä, ml. hiukkaspäästöt ja eräät ei-säännellyt kaasumaiset yhdisteet. Näiltä osin tutkimus suuntautuu EU:n 5. puiteohjelman ”Kasvu” – osuudessa toteutettavaan projektikonaisuuteen ”ARTEMIS” (Assessment and reliability of transport emission models and inventory systems , 1999-RD.10429), jossa VTT on yksi toteuttaja.

Eräänä lopputavoitteena on, hyödyntäen aikaisempaa tutkimusaineistoa ja nyt saatavia uusia tuloksia, kehittää uusi ja parempi malli kylmäkäynnistyksen osuudelle päästöistä, jota voidaan käyttää päästöjen määriä laskettaessa.

3. TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

3.1. Pakokaasumittaukset uusilla autoilla

Tekniikan kehityksestä on pyritty saamaan kuva mittaamalla päästöjä uusimman vuosimallin autoista, jotka jollain tavoin antavat poikkileikkauksen tämän hetkisen teknologian toimivuudesta. Mittauskampanjat on toteutettu yhteistyössä kotimaisten auto- ja moottorilehtien (tekniikan Maailma, Tuulilasi) kanssa, jotka säännöllisesti eri testiprojektiensa puitteissa arvioivat uusia, markkinoille tulleita automalleja.

Näissä pakokaasukokeissa on käytetty EU-normin mukaista koemenettelyä eli uusinta EC2000-ajosykliä, josta alkuvaiheen joutokäynti on siis jätetty pois. Koelämpötilana on ollut

-7°C. Mitatut päästökomponentit ovat olleet CO, HC, NO_x ja CO₂, ja laskennallisesti on voitu määrittää myös polttoaineen kulutus.

3.2. Lämpöakun kenttäkäyttökoe

Kylmäpäästöjä vähentävänä teknologiana on erikseen arvioitu lämpöakkua, joka sinänsä on automallista ja merkistä riippumaton ”lisävarustetuote”. Akun toiminnan tutkimiseksi sellainen asennettiin VTT:n koeautoon (Toyota Carina E 1.8 LB), joka oli sopivasti saatavilla projektitoimintaan ja johon akku voitiin suhteellisen helposti asentaa. Autoa käytettiin talvikautena liikenteeseen normaaliin tapaan rekisteröiden käynnistysten yhteydessä ulkolämpötila ja jäähdytysnesteen lämpötila ennen käynnistystä, kun lämpöakun oli ensin annettu purkaa lämmintä nestettä jäähdytysjärjestelmään noin 40 ... 60 sekuntia.

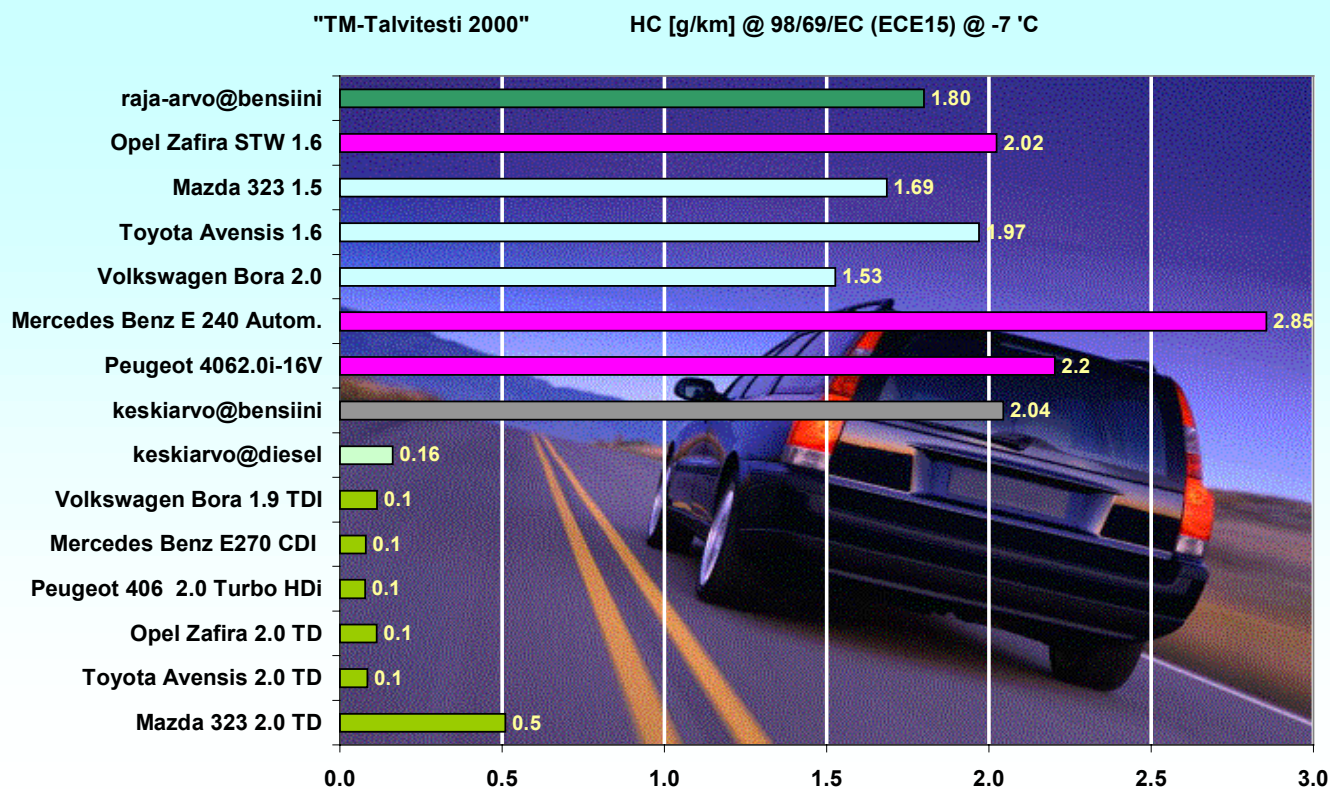
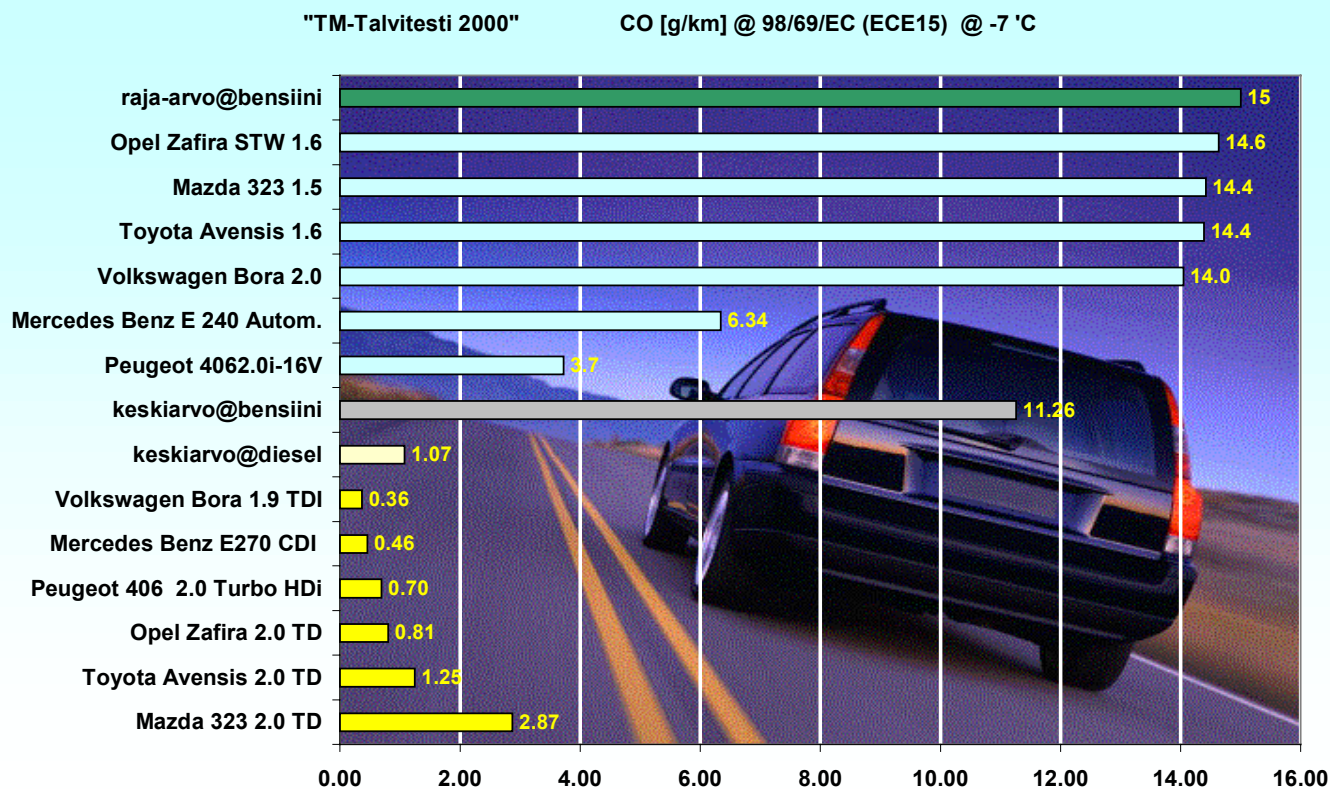
Lisäksi tehtiin pakokaasumittauksia VTT Energian laboratoriossa koelämpötiloissa +23 °C, 0 °C, -7 °C ja -20 °C. Niissä verrattiin ilman akkua mitattuihin peruspäästöihin sekä tapausta, jossa ei käytetty esikierrätystä, että sellaista toimintatapaa, jossa nesteen annettiin kiertää akkupaketissa olevan pienen sähköpumpun avulla 40 sekuntia ennen moottorin käynnistystä. Tämä aika oli kenttäkokeissa todettu useimmissa tapauksissa olevan riittävä huippulämpötilan saavuttamiseksi.

Nyt tutkimuksissa ollut akku oli ns. toisen sukupolven akku, jossa lämpöä säilötään vain pelkkään jäähdytysnesteseen, joka pidetään tehokkaasti tyhjiöeristetyssä säiliössä, joka on tilavuudeltaan noin jäähdytysjärjestelmän normaalitilavuuden suuruinen. Siinä ei siis käytetty lainkaan ensimmäisen sukupolven akkujen latentin lämmönvaraajan ominaisuuksia, joissa bariumhydroksidisuolan olomuodon muutoksella tehostettiin lämmön talteenottoa ja luovutusta. Sellaista tutkittiin MOBILE -ohjelmassa vuonna 1994-1995 (*Laurikko, Juhani. Lämmönvaraaja kylmäkäytön pakokaasupäästöjen ja energian kulutuksen vähentäjänä. Espoo, VTT Energia, 1995. MOBILE 104T-2*). Lämmönvaihtimen huonon kestävyuden ja bariumhydroksidin alumiinia syövyttävien ominaisuuksien takia konstruktiosta kuitenkin luovuttiin, vaikka se sisälsikin ikään kuin ”sisäänrakenettuna” älykkään termostaatin, sillä suola ei alkanut sulaa ennen kuin nesteen lämpötila kohosi riittävän korkealle, noin runsaaseen 80 °C:een. Nykykonstruktiossa tähän tarvitaan erillinen termostaattiohjattu venttiili, joka sulkee virtauksen akkuun lämmön luovutuksen jälkeen ja avautuu vasta, kun moottori pysähtyy, jolloin neste on riittävästi lämmennyt.

4. TULOKSET

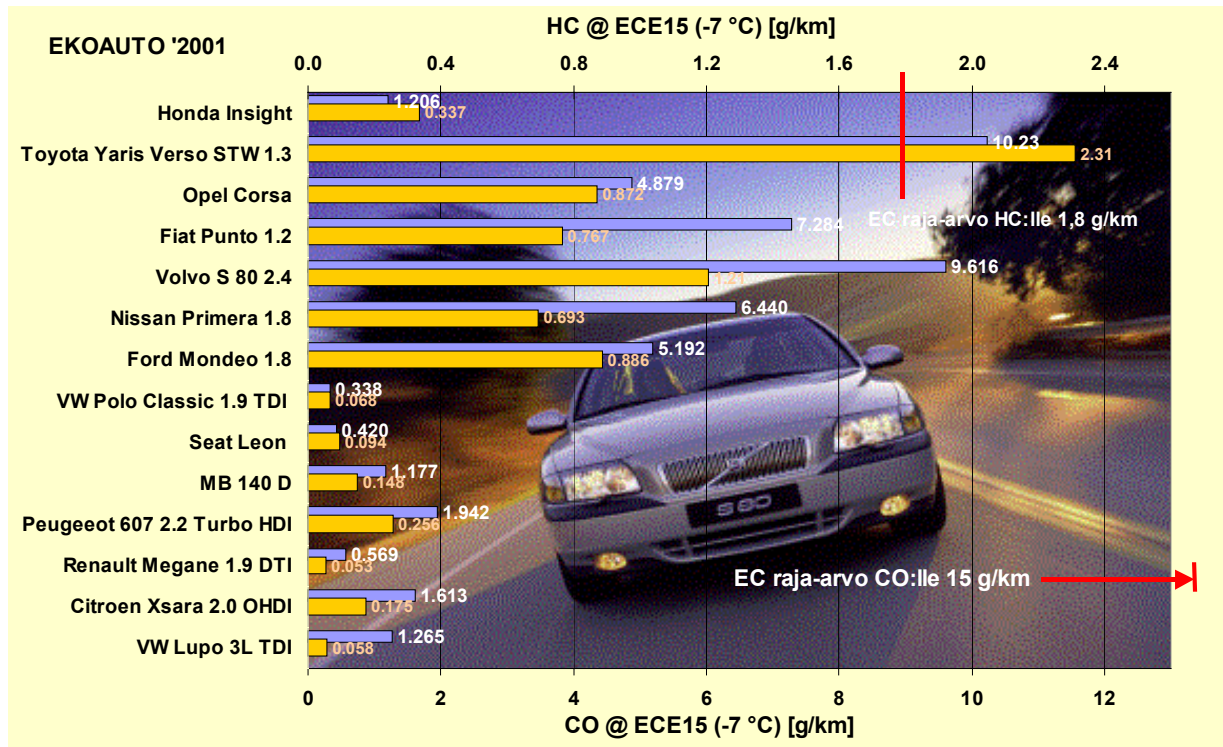
4.1. Uuden tekniikan evaluointi: diesel- vs. bensiinimoottoriautot

Tammikuussa 2000 tehtiin kylmäpäästöjen mittauksia uusille, vm. 2000 autoille (”TM talvitesti”). Mukana oli 6 merkkiä/mallia, kustakin sekä bensiinikäyttöinen että vastaava dieselmoottorinen malli. Bensiinikäyttöisissä autoissa CO päästöt alittivat bensiiniautoille vuonna 2002 voimaan tulevan EU-normin, mutta HC:n osalta puolet ylitti raja-arvon ja nostivat jopa otoksen keskiarvon yli raja-arvon. Tulokset, jotka on koottu kuvaan 1, antoivat myös lisää argumentteja keskustelussa bensiini- vai dieselmoottori. Dieselien kylmä-CO ja HC-päästöt ovat keskimäärin vain noin 10 % vastaavien bensiinimoottoristen versioiden päästöistä



Kuva 1. Yhteenveto pakokaasumittausten tuloksista TM-talvitestin autoille.

Vastaavaan tapaan TM-talvitestin kanssa vuosittain toistuva uusien autojen arviointiprojekti on Motivan yhteistyössä Tuulilasi-lehden kanssa suorittama ”Ekoauto” – valintaprosessi. Siinä yhteydessä on autoista mitattu myös kylmäpäästöt, koska niitä pidetään painoarvoltaan merkittävänä valintakriteerien joukossa. (selostus vuoden 2001 Ekoauto-valinnasta ilmestyy Tuulilasin numerossa 2/2001, jossa valintaprosessi on kuvattu kokonaisuudessaan. Tässä yhteydessä rajoitutaan käsittelemään vain kylmäpakokaasumittausten tuloksia, jota on esitetty kuvassa 2.



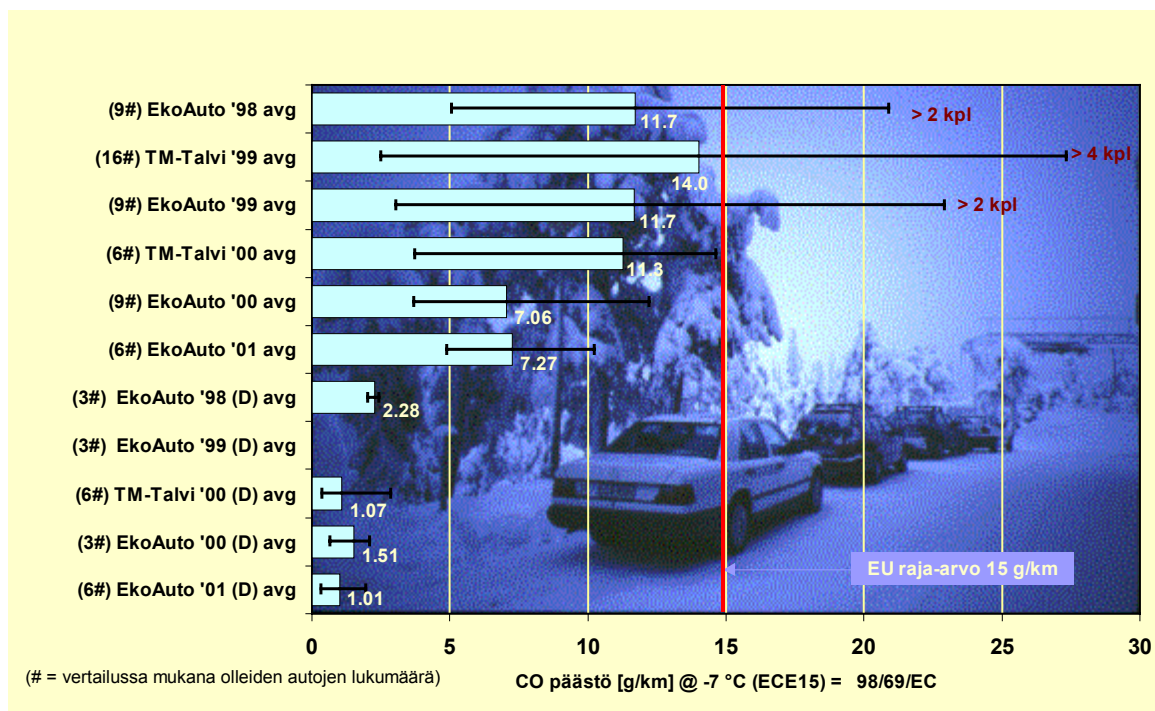
Kuva 2. Yhteenvertaus pakokaasumittausten tuloksista ”Ekoauto 2001” –vertailun autoille.

Tässäkin otoksessa puolet autoista oli – oireellisesti – dieselmoottorisia. Ne erottuvat selvästi omaksi ryhmäkseen. Bensiinimoottorisissa autoissa - yhtä poikkeusta lukuun ottamatta - päästöt jäivät alle normin määrittämän raja. Rajoitetun ajan vuoksi ei syytä tähän yksittäiseen poikkeamaan erikseen selvitetty.

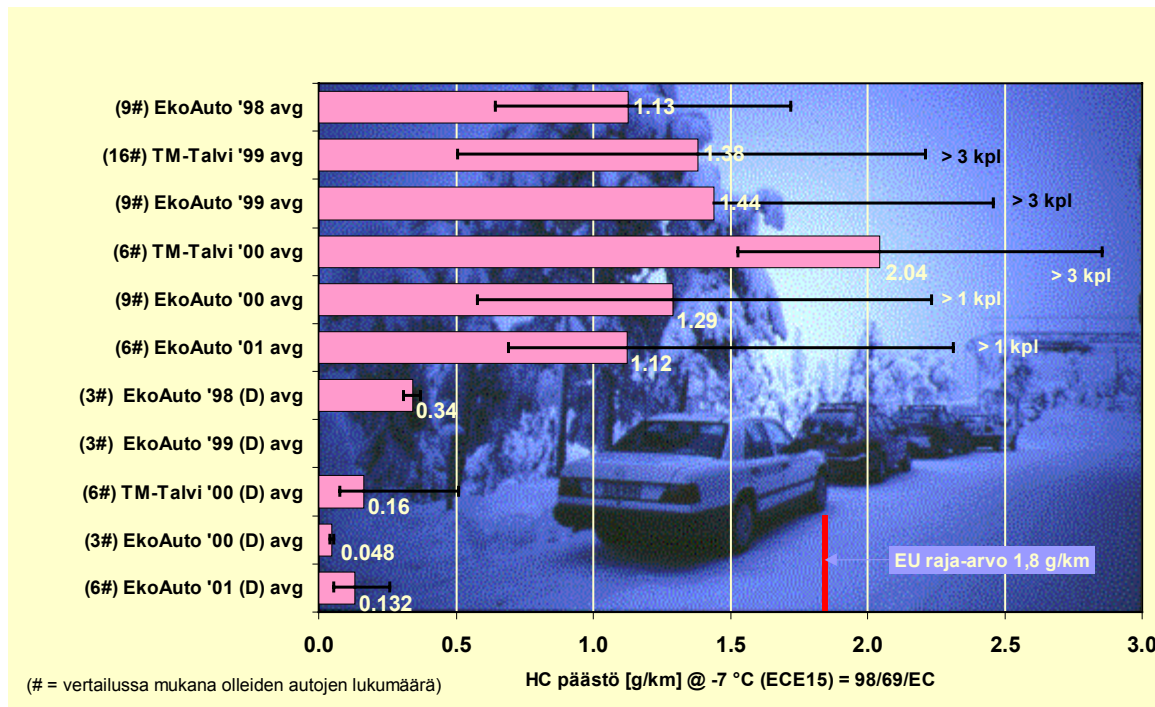
Bensiinikäyttöisten ryhmässä erottuu dieselien kanssa samantasoisin tuloksiin yltävä Honda Insight, joka arvioitiin varsinaisen valintaryhmän ulkopuolella, yhdessä VW Lupon kanssa, joka on ns. ”kolmen litran auto”, mutta dieselmoottorinen. Hondassa pientä 1,0 –litran bensiinimoottoria avustaa 10 kW:n tehoinen sähkömoottori. Honda kutsuu järjestelmää lyhenteellä IMA (Intgrated Motor Assist). Sähkömoottorista huolimatta auto ei ole toimintatapansa vuoksi varsinainen hybridi, sillä se ei liiku pelkän sähkömoottorin voimalla lainkaan, vaan saa siitä ainoastaan lisävoimaa kiihdytyksiin. Toisaalta moottori/generattori –yhdistelmä ottaa jarrutuksessa liike-energiaa talteen muuntaen sen sähköksi, joka varastoidaan pienehköön akkuun. Autossa on myös apusähkömoottorin varassa tapahtuva pysäytys/käynnistys –automaatiikka, mutta ainakaan nyt suoritettussa kylmäkokeessa se ei toiminut, normaalilämpötilassa kylläkin.

Kehityksen arvioimiseksi vuosina 1998 - 2000 vertailukelpoisin menetelmin mitatut kylmäpäästötulokset on esitetty kuvissa 3 (CO) ja 4 (HC). Vertailussa on erotettu bensiini- ja dieselmoottoriset autot. Vuoden 2001 keskiarvotuloksissa ei kuitenkaan ole mukana erikois-

vaihtoehtoja, eli mainittuja Honha Insight ja VW Lupo -malleja, koska ne eivät vielä ole myynnissä Suomessa, eikä kovin laajalti saatavissa muuallakaan.



Kuva 3. Vertailu kylmä-CO tuloksista "Ekoauto" ja "TM-Talvitestin autoille v. 1998..2001.



Kuva 4. Vertailu kylmä-HC tuloksista "Ekoauto" ja "TM-Talvitestin autoille v. 1998..2001.

Kuten kuvasta 3 nähdään, kunakin vuonna tutkimuksiin valitun otoksen keskimääräinen CO-päästö on vuosista 1998-1999 hienokseltaan laskusuunnassa, ainakin jos tarkastellaan viimeimpien EkoAuto-vertailujen ('00 ja '01) tuloksia. Samoin tulosten hajonta, eli vaihteluväli paras-huonoin, on voimakkaasti kaventunut. Raja-arvon ylityksiäkään, jotka kuviin on erikseen merkitty, ei enää ole havaittu CO:n osalta. Hiilivedyissä (kuva 4) kehityskaari ei ole ollut aivan yhtä suotuisa, ja raja-arvon ylityksiäkin on mitattu joka otoksessa.

4.2. Lämpöakun käyttökoe

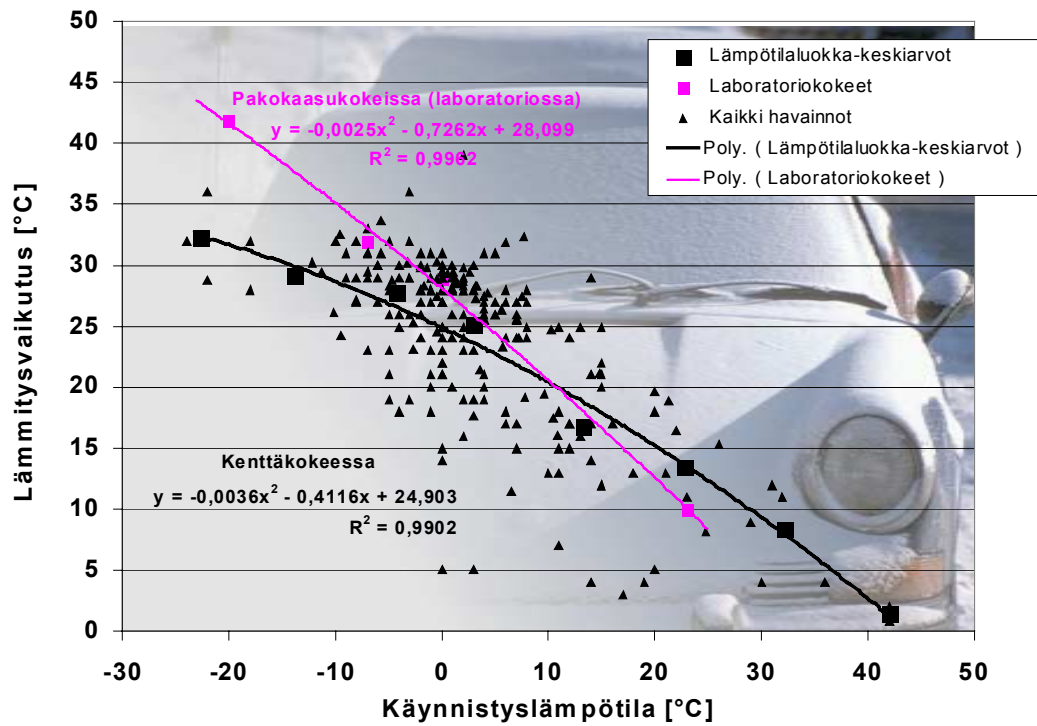
Talvikaudella (joulu-maaliskuu) VTT:n Toyota Carina E –autossa olleen lämpöakun käynnistyslämmitystehoja mitattiin eri seisonta-ajoilla ja eri ulkolämpötiloissa. Aineisto on analysoitu, ja yhteenveto siitä on esitetty taulukossa 1.

**Taulukko 1. Yhteenveto lämpöakun toiminnasta
Toyota Carina E -koeautossa**

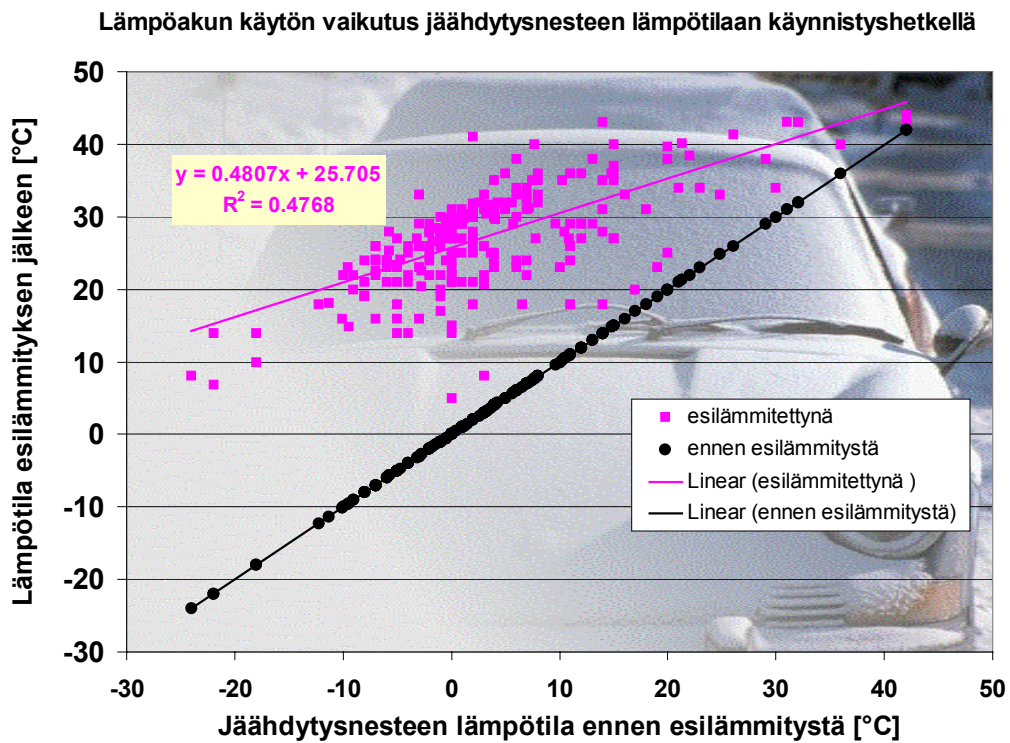
| Koeauto | Toyota Carina 1,8 LB | | |
|------------------------------|----------------------|----------|-------|
| Koeaika, alkoi | 10.9.1999 | | |
| päättyi | 30.3.2000 | | |
| Ajomatka | 14 703 | km | |
| Keskimatka/ajojakso | 39,0 | km | |
| Keskiaika/ajojakso | 67 | min | |
| max | 9,5 | h | |
| min | 5 | min | |
| Keskikulutus | 6,3 | l/100km | |
| Käynnistysten määrä | 804 | kpl | |
| Ajomatka/käynnistys | 18,3 | km/start | |
| Keskimääräinen seisonta-aika | 11,6 | h | |
| max | 95 | h | |
| Ulkolämpötila, keskimäärin | 1 | °C | |
| max | 21 | °C | |
| min | -20 | °C | |
| Neste ennen käynnistystä, ka | 27 | °C | |
| max | 44 | °C | |
| min | 5 | °C | |
| Keskimääräinen "boost" | 24 | °C | |
| max | 39 | °C | |
| min | 0 | °C | |
| Muutokset päästöissä: CO | -6 417 | g | -76 % |
| HC | -521 | g | -48 % |
| NOx | 135 | g | 43 % |

Akun antaman lämmitysvaikutuksen todettiin olevan varsin hyvä, sillä se kykeni nostamaan noin 40...60 s esikierrätyksellä nesteen lämpötilaa 5...35 °C.. Tämä nähdään kuvasta 5, jossa on esitetty jäähdytysnesteen lämpötilan nousu ennen käynnistystä ulkolämpötilan funktiona sekä kenttäkokeessa että laboratoriomittauksissa. Esilämmityksen ansiosta nesteen lämpötila ennen käynnistystä oli noin +10...45 °C lämpötila-alueella -25...+40 °C, mikä nähdään kuvasta 6

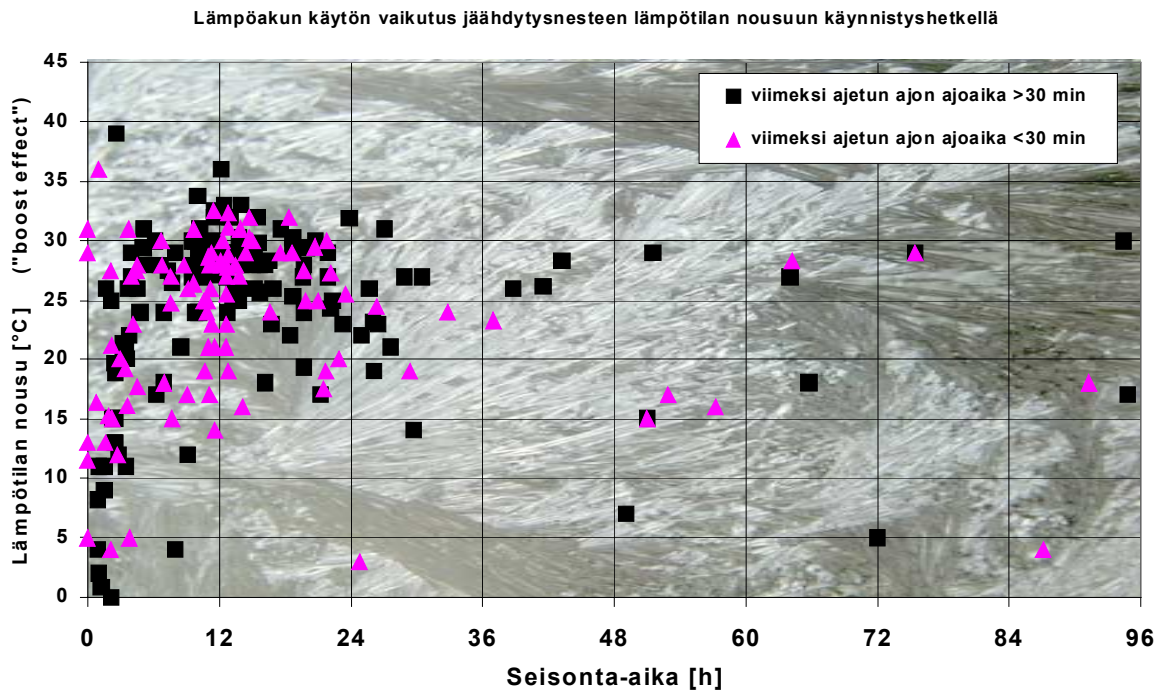
Seisonta-aika käynnistysten välillä sai olla jopa 3...4 vrk, ja silti akusta saatiin hyötyä, jos moottori on edellisessä ajossa ajettu lämpimäksi (=ajoaika yli 30 min). Tämä voidaan nähdä kuvasta 7, jossa jäähdytysnesteen lämpötila ennen käynnistystä on esitetty ajotapahtumien välisen seisonta-ajan funktiona. Erikseen on merkitty ne käynnistykset, joissa edellinen ajo on jäänyt kestoltaan alle 30 minuutin mittaiseksi, jolloin ei ole täyttä varmuutta siitä, että moottori on täysin lämmennyt ja lämpöakkuun varautuneen nesteen lämpötila on ollut riittävän korkea.



Kuva 5. Jäähdytysnesteen lämpötilan nousu ennen käynnistystä eri ulkolämpötiloissa.

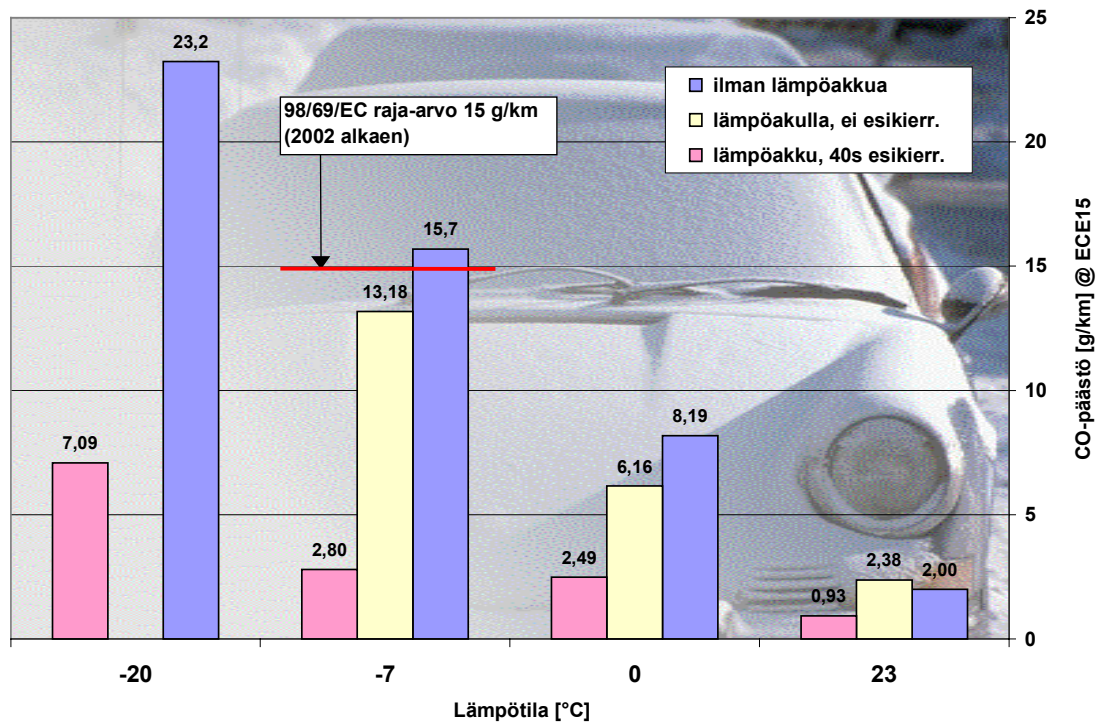


Kuva 6. Jäähdytysnesteen lämpötila ennen käynnistystä eri ulkolämpötiloissa.

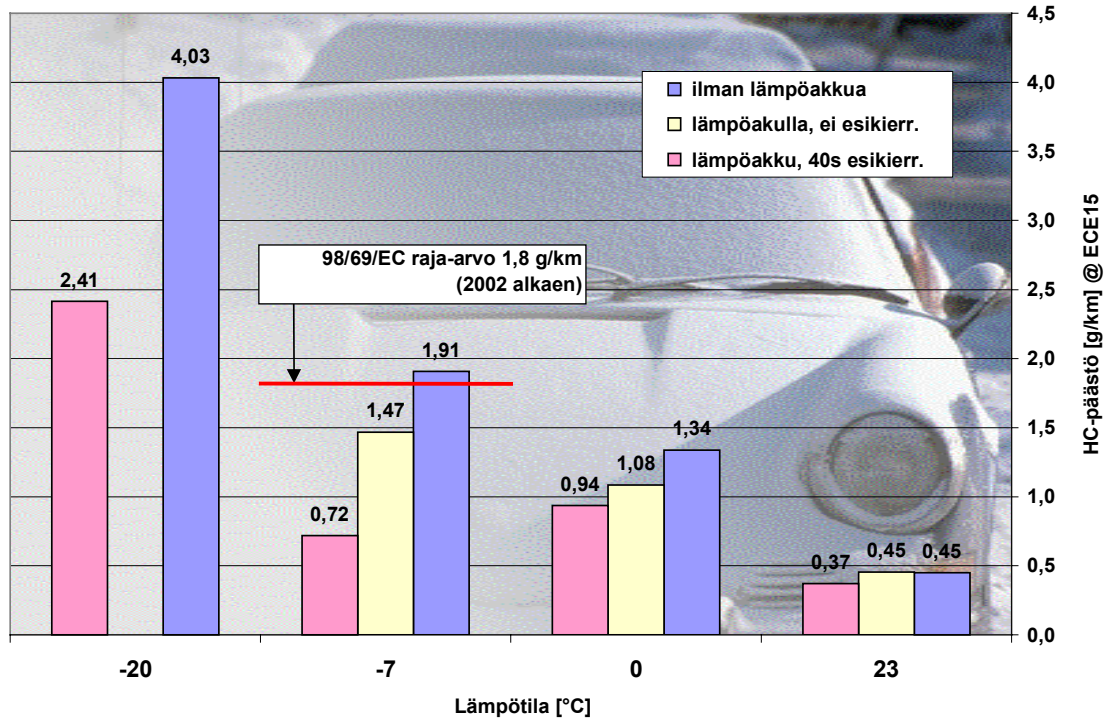


Kuva 7. Jäähdytysnesteen lämpötila ennen käynnistystä eri seisonta-ajoilla.

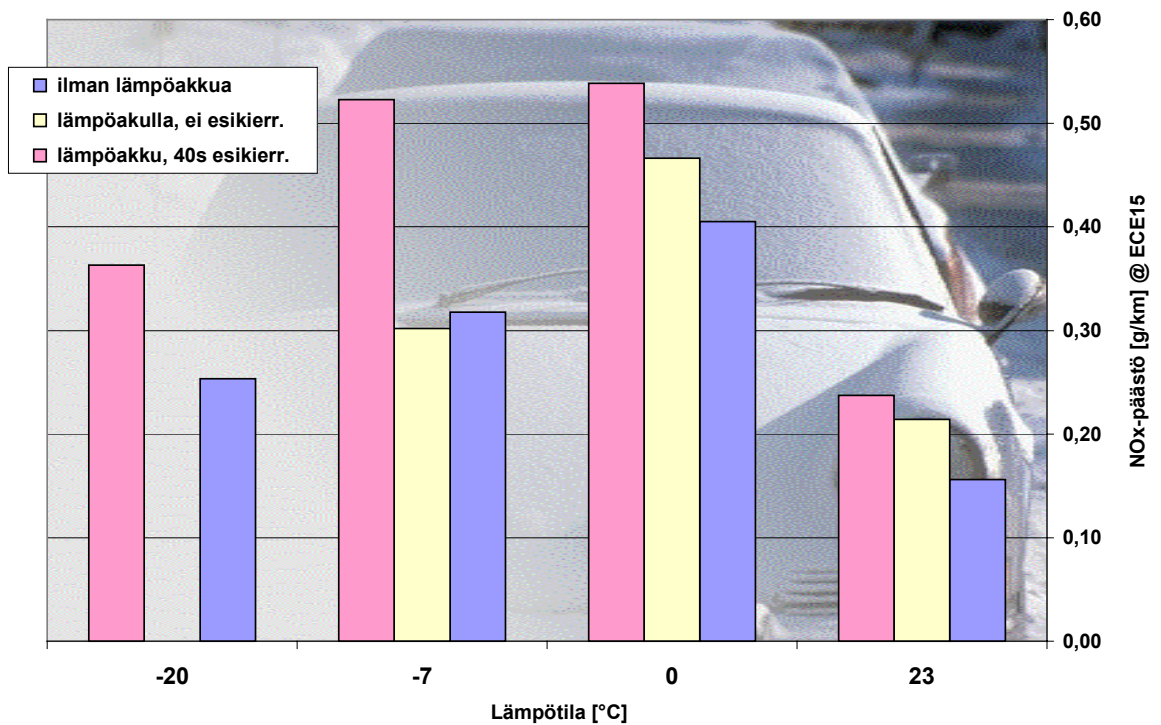
Lämpöakun käytön – ts. moottorin esilämmitysvaikutuksen - vaikutuksia pakokaasupäästöihin esittävät kuvat 7, 8 ja 9, joissa on esitetty erikseen CO, HC, ja NO_x -päästötulokset eri koelämpötiloissa.



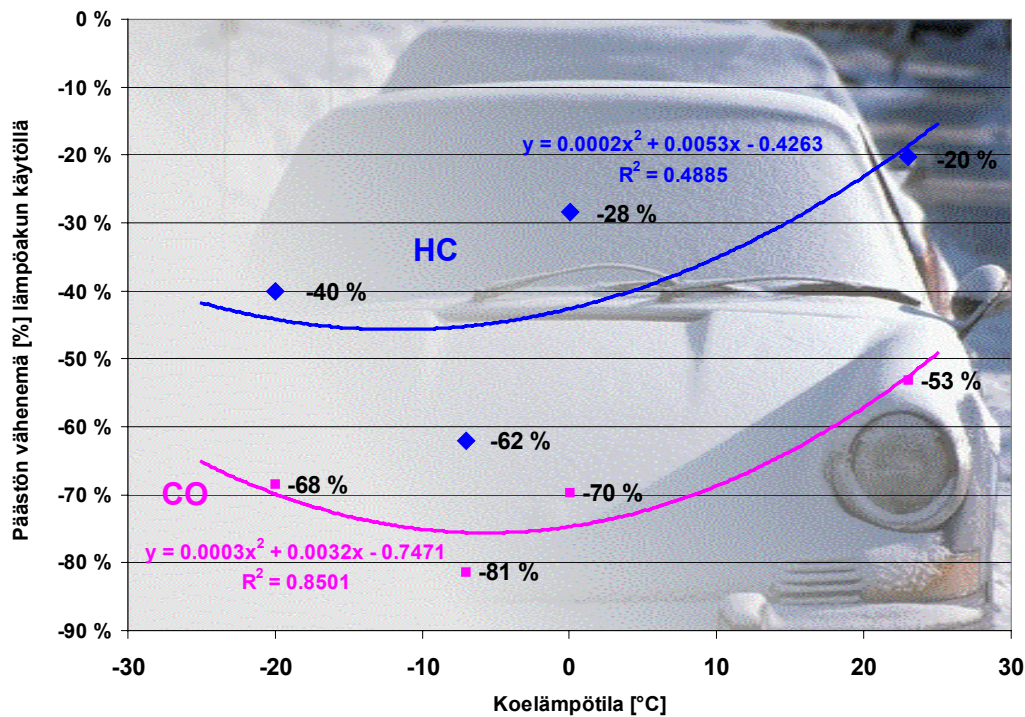
Kuva 8. CO-päästöt eri koelämpötiloissa ilman lämpöakkua ja akkua käytettäessä.



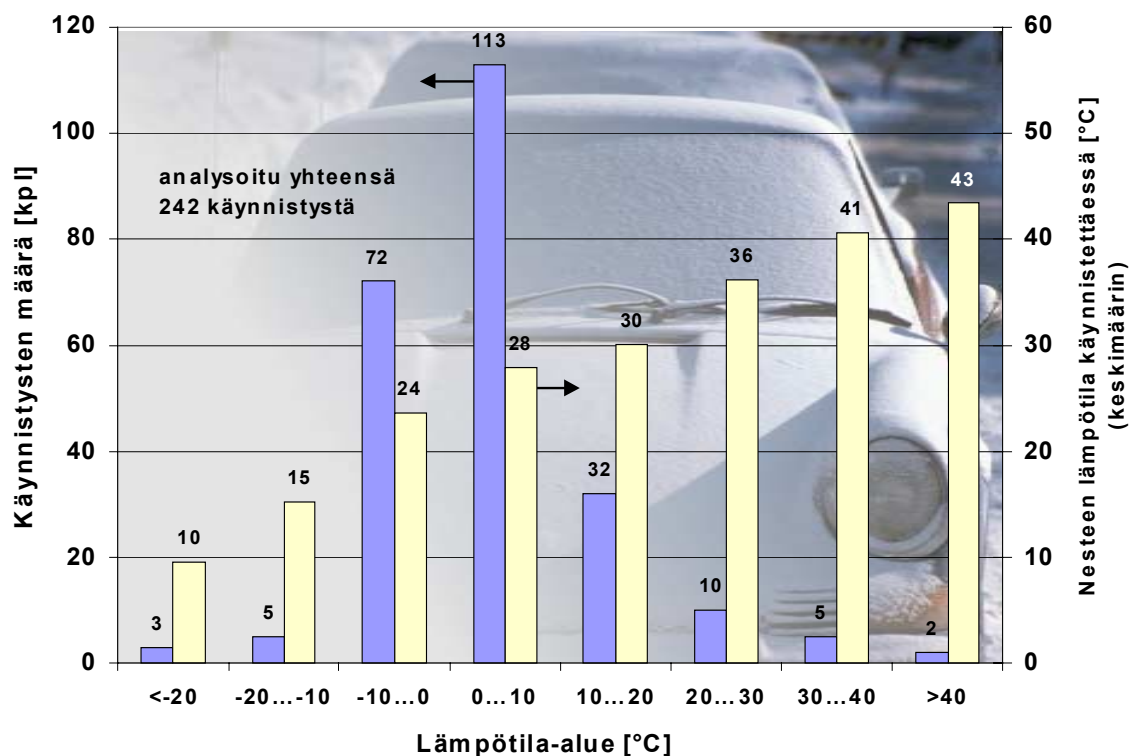
Kuva 9. HC-päästöt eri koelämpötiloissa ilman lämpöakkaa ja akkaa käytettäessä.



Kuva 10. NO_x-päästöt eri koelämpötiloissa ilman lämpöakkaa ja akkaa käytettäessä.



Kuva 11. CO- ja HC_x-päästöjen vähenemät eri koelämpötiloissa lämpöakkuja käytettäessä.



Kuva 12. Jäähdytysnesteen lämpötilat käynnistyksessä ja käynnistysten määrät kenttäkokeen aikana eri ulkolämpötiloissa lämpöakkuja käytettäessä.

Laboratoriossa tehtyjen pakokaasukokeiden perusteella, joiden tulokset on siis esitetty kuvissa 7, 8 ja 9, lämpöakku vähensi CO-päästöjä 50...80 %, kun käytettiin 40 s mittaista esikierrätystä. Myös HC-päästöt vähenivät 20...40%, mutta vastaavasti NO_x-päästöt kasvoivat noin 150 %.

Kuvassa 11 on esitetty toisaalta lämpöakun käytön antama päästöjen vähenemäpotentiaali eri lämpötiloissa ja kuvassa 12 kenttäkokeen aikana rekisteröityjen käynnistysten määrä eri lämpötila-alueilla, sekä niitä vastaavat jäähdytysnesteen/moottorin lämpötilat käynnistyshetkellä.

Näiden kahden arvon (moottorin lämpötila käynnistyshetkellä ja käynnistysten kumuloituva määrä) perusteella voidaan arvioida kokonaisvaikutusta, joka lämpöakun käytöllä oli kokeen aikana, sillä nesteen/moottorin lämpötilasta voidaan kuvan 11 antamien yhtälöiden perusteella laskea päästön vähenemä kussakin yksittäisessä käynnistyksessä, ja kokonaisvaikutus saadaan kertomalla tämä käynnistysten määrällä.

Näiden osatulosten mukaan laskettu päästöjen muutos Toyota Carinan kenttäkokeen aikana oli CO -76 %, HC -48 % ja NOx +43 %.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

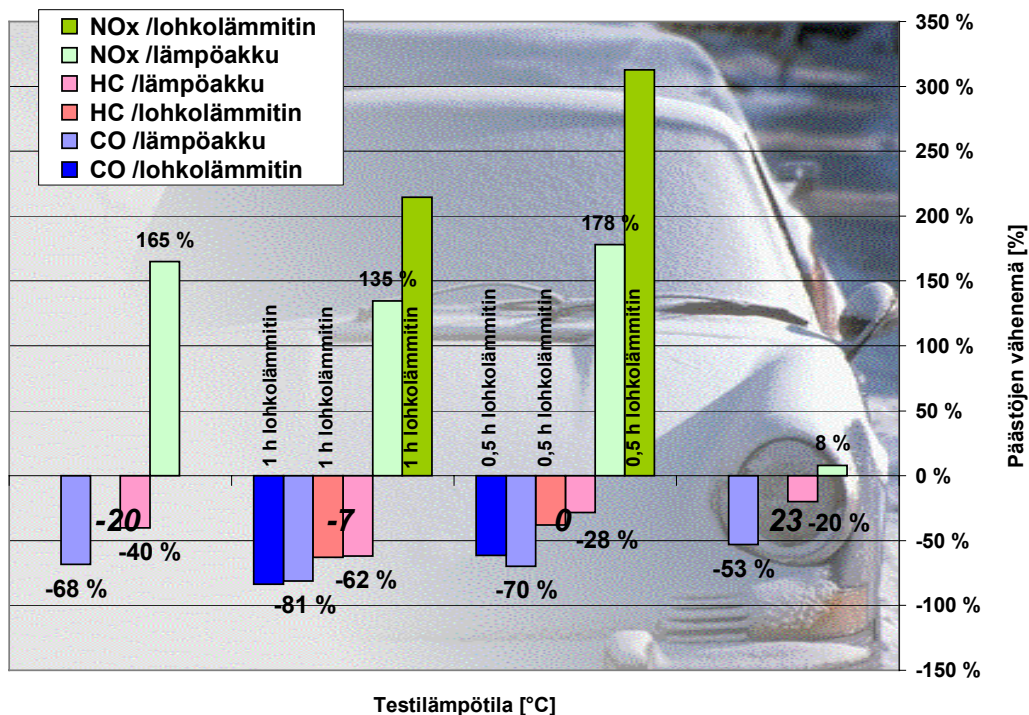
Teknologinen kehitys

Selvää positiivista kehittymistä on autojen tekniikassa tapahtunut, sillä kuvien 3 ja 4 mukaan vuosittain mitattujen otosten keskimääräiset päästöt ovat laskeneet, etenkin parina viime vuotena.

Uusien ”ekomaksimoitujen” automallien, joita edustivat Honda Insight ja VW Lupo, näyttämän suunnan mukaisesti myös kylmäpäästöt näyttävät olevan hallinnassa. Myös dieseliä ylitä tämän osatuloksen suhteen näyttää heikkenevän, sillä bensiinikäyttöisen Hondan tulokset olivat samaa luokkaa keskitason dieselautojen kanssa.

Lämpöakun vaikutukset

Lämpöakun käytöllä saavutetut vähenemät ovat suurin piirtein samaa suuruusluokkaa kuin lohkolämmittimellä saavutetut. Tämä vertailu on esitetty kuvassa 13. Lämpöakku kuitenkin toimii ilman ulkopuolista energiaa, käyttäjälle täysin ”läpinäkyvästi” jokaisen käynnistykseen yhteydessä ja parantaa toimintaa myös lämpötila-alueella yli +5, jossa lohkolämmittintä ei juuri käytetä. Sillä alueella myös NOx-lisäys oli minimaalinen. Valitettavasti lämpöakun yleistäminen on ollut kovin hidasta, sillä sen asentaminen lisävarusteena on hankalaa, eikä sitä vielä valinnaisena varusteenakaan tarjota mikään automerkki. Tässäkin tutkimuksessa saatujen hyvien tulosten valossa markkinointiponnisteluja kannattaisi kuitenkin jatkaa.



Kuva 13. Lämpöakun ja lohkolämmittimen käytön ansiosta saavutettu päästöjen vähenemä eri koelämpötiloissa.

6. JATKOSUUNNITELMAT

Mitattuja tuloksia käytetään hyväksi päästöinventarioiden (LIISA) ja muiden laskelmien tarvitsemien ominaispäästöarvojen tarkentamisessa vastaamaan paremmin suomalaisista autokantaa. Tässä kohdin yksittäisten autojen tuloksia pyritään painottamaan merkin/mallin yleisyysindeksillä, koska pienen otoksen kyseessä ollen muutamat, kenties poikkeavat yksilöt vääristävät keskiarvotulosta.

Tässä yhteydessä ei ole vielä käsitelty lainkaan projektin puitteissa tehtyjä uusien autojen mittauksia, jotka liittyvät vuoden 2001 TM-talvitestiin, johon osallistui 19 kpl bensiinimoottorisia autoja. Ne edustivat vuosimalleja 2000/2001, eli ensimmäisiä EU3-autoja. Niiden päästöjä koskeva analyysi on osittain vielä kesken, koska viimeinen mittaussarja tehtiin vasta tammikuussa 2001.

Kaikkia näitä em. tuloksia pyritään hankkeen loppuvaiheessa, eli vuoden 2001 osuudessa, hyödyntämään parannetun kylmäpäästömallin kehittämisessä.

