

Henkilöautojen pakokaasupäästöt kylmissä olosuhteissa ja niiden vähentämisen tekniikat

Loppuraportti

Juhani Laurikko

VTT Energia

**Moottoritekniikka ja
liikenteen energiankäyttö**

Joulukuu 2001

**Liikenteen ja kuljetusten
ympäristövaikutukset ja energiankäyttö**

M2T9907 - 2

**Henkilöautojen pakokaasupäästöt
kylmissä olosuhteissa ja niiden
vähentämisen tekniikat**

Loppuraportti

Juhani Laurikko

VTT Energia

**Moottoritekniikka ja
liikenteen energiankäyttö**

Joulukuu 2001



MOBILE²

VTT ENERGIA, Liikenteen energiankäyttö
PL 1601, 02044 VTT, puh. (09) 4561, fax (09) 460 493

Raportin koodi:

M2T9907-2

Projektin tunnus:

M2T9907

Julkaisu-aika:

Joulukuu 2001

Julkaisun tekijä(t):

Juhani Laurikko

Projektin nimi:

Henkilöautojen energian kulutus ja pakokaasupäästöt (etenkin kylmissä olosuhteissa) ja niiden vähentämisen tekniikat

Julkaisun nimi:

Henkilöautojen pakokaasupäästöt etenkin kylmissä olosuhteissa ja niiden vähentämisen tekniikat – Loppuraportti

Tiivistelmä:

Tutkimuksen tavoitteena oli seurata henkilöautojen tekniikan kehitystä ja sen heijastumaa kylmäpäästöihin sekä arvioida erilaisten tekniikoiden potentiaalia vähentää päästöjä.

Tutkimuksen puitteissa mitattiin kylmäkäynnistyspäästöt yhteensä 61:stä bensiinikäyttöisestä ja 25:stä dieselmoottorisesta henkilöautosta sekä viidestä raskaasta bensiinikäyttöisestä pakettiautosta. Henkilöautoja koskeva havaintoaineisto ei antanut tukea sille lähtöolettamukselle, että puhdistustekniikan kehittäminen entistä vähäpäästöisempään suuntaan saattaisi lieveilmiönä huonontaa suorituskykyä kylmissä olosuhteissa, ainakin alkuvaiheessa, ennen kuin kokonaisuoptimointi ehditään tehdä. Päinvastoin näytti siltä, että nykyiset (EURO 3) normaaliämpötilassa tapahtuviin mittauksiin perustuvat päästörajat ohjaavat tekniikkaa siihen suuntaan, että toimintateho kylmemmissäkin käyttöympäristössä paranee. Eräänä osatekijänä lienee uusi koemenetelmä, jossa näytteenotto alkaa jo heti moottorin käynnistyttyä, eikä vasta 40 sekunnin kuluttua, mikä oli menetelmä vielä EURO 2 -säännöissä.

Dieselmoottoriautoissa kylmäkäynnistyksestä aiheutuvat lisäpäästöt ovat paljon vähäisemmät kuin bensiinikäyttöisissä. Esimerkiksi EU 2- ja EU 3-tasoisissa autoissa CO- ja HC-lisäpäästöt olivat vain noin 10 % vastaavien bensiinikäyttöisten autojen lisäpäästöistä. Koetuloksien mukaan typen oksidien päästöt näyttäisivät jopa vähenvän hieman, kun käynnistyslämpötila laskee. Samoin näyttäisi käyvän hiukkaspäästöille, mikä oli jossain määrin yllättävää.

Raskaissa bensiinikäyttöisissä pakettiautoissa näyttävät kylmäkäynnistyspäästöt olevan vanhemmissa vuosimalleissa samaa tasoa tai vähän suurempia kuin vastaavanikäisissä henkilöautoissa, mikä suurimmaksi osaksi selittyy niiden samankaltaisella tekniikalla, mutta vähän suuremmilla moottoreilla ja painoilla. Uudemmissa pakettiautoissa (vm. 2000) tilanne oli likimain sama. NOx-päästöt sen sijaan olivat pakettiautoissa kaksinkertaiset henkilöautoihin verrattuna.

Päästöjä vähentävänä tekniikkana tutkittiin nyt ns. lämpöakku, eli lämmintä jäähdytysnestettä varaava järjestelmä, jossa kylmäkäynnistyksessä moottoria lämmitetään tuomalla moottoriin lämmin neste kylmän tilalle. Jos lisäksi käytetään esikierrätystä noin 30... 40 sekunti ennen käynnistystä, saavutetaan likimain sama lämmitysteho kuin tunnin lohkolämmittämällä (noin 600 Wh). Myös pakokaasukokeissa havaittu päästöjen vähenemät olivat verrannollisia vastaaviin lohkolämmittimellä saavutettuihin tuloksiin, eli häkäpäästöt vähenivät noin 70 % ja hiilivety-päästöt noin 20...40 %. Kenttäkäyttökokeessa lämmönvaraajan havaittiin säilyttävän riittävästi lämpöenergiaa nostamaan käynnistettäessä moottorin lämpötilaa yli 30 °C vaikka edellisestä ajosta oli kulunut aikaa jopa 3 vuorokautta.

Julkaisija:

VTT Energia, Moottoritekniikka ja liikenteen energiankäyttö

Avainsanat:

Pakokaasupäästöt, kylmäkäynnistys

Bensiinimoottori, dieselmoottori

lämpöakku

ISSN

ISBN

Tilausosoite:

VTT Energia, PL 1601

02044 VTT

Luokitus (UDK):

Kieli: Suomi

Sivuja: 30 s.



MOBILE²

VTT ENERGY, Energy and Emissions in Transportation
P.O.Box 1601, FIN-02044 VTT, FINLAND
tel. +358-9-4561, fax +358-9-460 493

Report code:
M2T9907-2

Project code:
M2T9907

Published:
December 2001

Author(s):

Juhani Laurikko

Project name:
Energy use and exhaust emissions from passenger cars at low ambient temperatures and technologies to lower emissions

Name of the publication:

Exhaust emissions from passenger cars at low ambient temperatures and technologies to lower emissions – Final Report

Abstract:

The aim of the project was to follow the development of passenger car technology and its implications to cold-start exhaust emissions at low ambient temperatures, and to assess different technologies to lower such emissions

Cold-start emissions were measured from altogether 61 petrol-fuelled and 25 diesel-fuelled cars in this project, as well as from five heavy-weight vans. The performance data from the cars did not support the hypothesis that the recent development of low-emission technology might as a side-effect deteriorate the emissions performance at low ambient temperature conditions, at least in the first phase, before the optimisation of the total system is done. On the contrary: the data suggests that current EURO 3 standards – although based on a normal temperature test – will push the technology to such a direction that performance at low ambient temperatures is also enhanced. One potential cause to this may be that the new test cycle does start the collection of exhaust sample right after the start of the engine, and not after the 40 sec idle, which was the case still in the previous generation of the EU-directives (EU2).

Extra emissions due to a cold-start are in diesel-fuelled cars only marginal compared to those from petrol-fuelled cars. For example in EU2 and EU3-compliant diesel cars extra emissions of CO and HC were only some 10 % of the values recorded to their petrol-fuelled counterparts. According to the test results, the emissions of nitrogen oxides were lowering, as the ambient temperature went down. The same applied to the PM emissions, as well, which was somewhat surprising.

In the heavy-weight class vans cold-start emissions seemed to be in the older models about the same or slightly higher than the passenger cars of the same generation, which for the most part should become from their similar technology, but higher engine displacement and curb weight. In the recent model year (2000) vans the situation was almost the same, but NOx emissions were about twofold compared to passenger cars.

The technology for lower cold-start emissions that was evaluated was so called heat battery of "thermostore", that stores hot coolant in an well-insulated "flask" to be used for engine (pre)heating prior to the next cold start. If the primer pump was used for 30 to 40 sec to circulate hot coolant into the engine before the start, about the same effect was obtained as when using standard block heater for about an hour (600 Wh). Even the lowering of the emissions that was recorded in the emissions tests were about the same magnitude than with the use of an electrical block heater. Thus CO was lowered some 70 % and HC about 20 to 40 % depending upon the ambient temperature level. In the field test the thermostore was found to keep thermal energy stored sufficiently to raise the engine coolant temperature over 30 °C even if the car had been standing for about 72 hours after the last trip. This was especially, if the last trip was longer than 30 minutes in driving time.

Publisher:

VTT Energy, Engine Technology and Energy in Transport

Keywords:

Exhaust emissions, cold-start, cars

Petrol engine, diesel engine

Heat battery

ISSN

ISBN

Address for orders:

VTT Energy, P.O.Box 1601

02044 VTT, Finland

Classification (UDK):

Language: Finnish

Pages: 30 p.

SISÄLLYS

SISÄLLYS	3
ALKULAUSE	4
OSATEHTÄVÄ 1: PAKOKAASUPÄÄSTÖT KYLMISSÄ OLOSUHTEISSA	5
OSA A - MITTAUKSET UUSIMMILLA (EURO2 JA EURO3) HENKILÖAUTOILLA	5
1 TAVOITTEET	5
2 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	5
2.1 Pakokaasumittaukset uusilla autoilla	5
2.2 Tutkimuksen kohteet	5
2.3 Mittausten suoritus	6
3 KOETULOKSET JA NIIDEN VERTAILU AIKAISEMPIIN TULOKSIIN	7
4 KESKIMÄÄRÄISET KYLMÄKÄYNNISTYSPÄÄSTÖT	14
4.1 Bensiinikäyttöiset henkilöautot	14
4.2 Dieselmoottoriset henkilöautot	15
OSA B - MITTAUKSET RASKAILLA PAKETTIAUTOILLA	19
OSATEHTÄVÄ 2: LÄMPÖAKUN KENTTÄKÄYTTÖKOE	22
1 JOHDANTO	22
2 TAVOITTEET	22
3 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	22
4 TUTKIMUKSEN TULOKSET	23
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	28
OSATEHTÄVÄ 3: EU-TUTKIMUKSEEN OSALLISTUMINEN	29
OSATEHTÄVÄ 4: GRPE-TOIMINTAAN OSALLISTUMINEN	30

ALKULAUSE

Henkilöautojen pakokaasupäästöjä kylmissä käyttöolosuhteissa on tutkittu VTT Energiassa jo yli kymmenen vuoden ajan. Se on ollut eräs tutkimuksen painopistealueista, sillä Suomen kannalta kylmäpäästöillä on suuri merkitys ja niiden vähentämismahdollisuuksilla on merkittävä asema. Lisäksi vastaavaa tutkimusta tehdään kansainvälisesti varsin vähän, ja siksi tutkimukseen on kansallisesti panostettu varsin paljon.

Tulokset aikaisemmilta vuosilta ovatkin johtaneet tietämyksen karttumiseen, ja eräänä merkittävänä saavutuksena voidaan pitää päätöstä $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ kylmäkäynnistyskokeen mukaan ottamisesta EU:n henkilöautojen pakokaasupäästöjä rajoittavan direktiivin päivitykseen 98/69/EC vuonna 1998. Mainittu koe perustuu ECE15-ajosyliin, ja se tulee CO- ja HC-raja-arvoineen voimaan uusille, bensiinikäyttöisille henkilöautotyypeille vuonna 2002.

Tämä raportti on projektin ”Henkilöautojen energian kulutus ja pakokaasupäästöt (etenkin kylmissä olosuhteissa) ja niiden vähentämisen tekniikat” loppuraportti. Tutkimus oli suoraa jatkoa VTT Energian aihealueen tutkimukselle, ja on suoritettu vuosina 1999-2001 osana MOBILE² -tutkimuskokonaisuutta, jossa sen tunnus oli M2T9907. Sen rahoittajina ovat toimineet TEKES sekä Liikenne- ja viestintäministeriö (LVM).

Projektin päällikkönä toimi erikoistutkija Juhani Laurikko, ja eri osatehtävien toteuttamiseen ovat osallistuneet tutkijat Markku Ikonen ja Tom Eklund, teknikko Erkki Virtanen ja työtekniikko Reijo Mikkola, kaikki VTT Energiasta.

Espoossa, 5. joulukuuta 2001

Juhani Laurikko

OSATEHTÄVÄ 1: PAKOKAASUPÄÄSTÖT KYLMISSÄ OLOSUHTEISSA

OSA A - MITTAUKSET UUSIMMILLA (EURO2 JA EURO3) HENKILÖAUTOILLA

1 TAVOITTEET

Tutkimuksen tavoitteena oli seurata tekniikan kehitystä ja sen heijastumaa kylmäpäästöihin ja samalla arvioidaan erilaisten tekniikoiden potentiaalia vähentää päästöjä. Eräänä lähtökohtana oli, että puhdistustekniikan kehittäminen entistä vähäpäästöisempään suuntaan saattaa lieve-ilmionä huonontaa suorituskykyä kylmissä olosuhteissa, ainakin alkuvaiheessa, ennen kuin kokonaisuoptimointi ehditään tehdä. Toisaalta nykyiset normaalilämpötilassa mitattavat päästöraajat ohjaavat nekin tekniikkaa siihen suuntaan, että toimintateho kylmemmässäkin käyttöympäristössä paranee.

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. Tämä hanke jatkaa nyt raportoitavan projektin työtä.

Eräänä lopputavoitteena oli, hyödyntäen aikaisempaa tutkimusaineistoa ja tässä raportoitavan projektin puitteissa saatavia uusia tuloksia, kehittää uusi myös ja parempi malli kylmäkäynnistyksen osuudelle päästöistä, jota voidaan käyttää päästöjen määriä laskettaessa.

2 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

2.1 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 testiprojektiansa 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 päästökäytännöt ovat olleet CO, HC, NO_x ja CO₂, ja laskennallisesti on voitu määrittää myös polttoaineen kulutus.

2.2 Tutkimuksen kohteet

Tutkimuksen kohteena olleet autot, 61 bensiinikäyttöistä ja 25 dieselmoottorista, on yksilöity tarkemmin taulukoissa 1.1 (bensiinikäyttöiset) ja 1.2 (dieselmoottoriset).

Autot olivat pääasiassa uudehkoja, ns. lehdistöautoja, ja ne lainattiin mittauksiin niiden maahantuojilta, jotka samalla vastasivat niiden kunnosta.

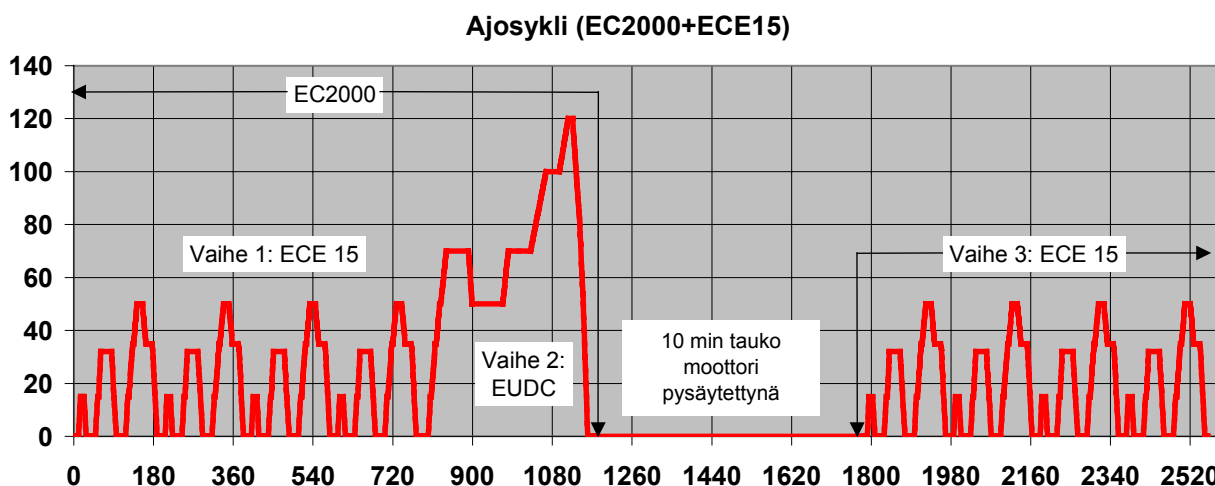
2.3 Mittausten suoritus

Ajo-ohjelma

Kaikissa tässä raportoitavissa kokeissa käytettiin EU:n vuonna 2000 voimaan tulevan, e-säännön 98/69/ EC määrittämän ns. EURO 3 –vaatimustason mukaisen pakokaasukokeen ajo-ohjelmaa ("EC2000"), jossa nykyistä EU -ajo-ohjelmaa on muutettu siten, että 40 sekunnin joutokäyntijakso ennen vaiheen 1 alkua on jätetty pois.

Tämän lisäksi autoilla ajettiin vielä ylimääräinen ECE15-kaupunkiajosykli, mutta jaksojen välissä pidettiin tauko, jonka aikana moottori oli pysäytetty. "Ekoauto" –kokeissa tämä tauko oli 10 minuutin mittainen, ja "Tekniikan Maailma" lehden kanssa toteutetuissa testeissä 1 minuutti.

Kuva 1.1 esittää ajosyklin ja sen jakautumisen vaiheisiin, joille on määritetty osatulokset.



Kuva 1.1 Ajositykli ja sen vaiheet

Esivalmistelu

Ennen koetta autot tarkastettiin ja esivalmisteltiin tankkaamalla polttoainesäiliö täyteen ja ajamalla niillä maantielenkki, pituudeltaan noin 10 km.

Koelämpötila

Mittaukset tehtiin -7 °C:n tavoitelämpötilassa vaihteluvälin ollessa ± 1 °C. Autojen annettiin stabiloitua esivalmistelun jälkeen koelämpötilassa yön yli ennen koetta, jotta normivaatimukset täytyisivät (minimi 6 tuntia, maksimi 36 tuntia)

Ajovastusarvot

Alustadynamometrin asetukset perustuivat auton omapainoon. Siitä määritettiin e-säännön 94/12/EEC mukainen vertailupaino, inertialuokka sekä sitä vastaavat ajovastuskertoimet, joita käytettiin suoraan dynamometrin asetuservoina, vaikka joissakin yhteyksissä ohjeistetaankin lisäämään vastuservoja 10 % mitattaessa kylmissä lämpötiloissa

Näytteenotto ja -käsittely

Pakokaasunäytteen laimennus ja keräys tehtiin normin mukaisella CVS-laitteella. Näytteistä analysoitiin lainsäädännön rajoittamat pakokaasukomponentit (CO, HC ja NO_x) sekä laskennan apusuurena tarvittava CO₂.

Polttoaine

Polttoaineena käytettiin kauppalaatuista lyijytöntä bensiiniä ja talvilaatuista dieselöljyä (DITC), joka kaikkiin autoihin tankattiin samalta jakeluasemalta (Neste-Otaniemi) ennen edellä mainitun esivalmisteluajon suorittamista.

Päästöjen laskenta

Hiilivetypäästöt laskettiin e-säännön 94/12/EEC FID-analysoittorille antamien ohjeiden mukaan tiheyden arvolla 0.619 kg/m³ (= C₁H_{1,85}). Typen oksidien päästösumma (NO_x) laskettiin normin ohjeiden mukaisesti typpidioksidina (NO₂).

3 KOETULOKSET JA NIIDEN VERTAILU AIKAISEMPIIN TULOKSIIN

Taulukoissa 1.1 (bensiniikäyttöiset autot) ja 1.2 (dieselmoottoriset autot) on esitetty autokohittaiset koetulokset (CO, HC, NO_x, CO₂) ominaispäästöinä (g/km), sekä keskimääräiset arvot kullekin otokselle.

Lisäksi on esitetty kullekin ryhmälle määritetty, keskimääräinen kylmäkäynnistyksestä aiheutuva lisäpäästö, joka on laskettu erotuksena kylmäkäynnistyksellä aloitetusta ECE15-koevaiheen tuloksesta ja samalla ajo-ohjelmalla tehdyn, mutta lämpimällä moottorilla aloitetun mittausjakson tuloksista. Useimmissa tapauksissa CO- ja HC-kylmäkäynnistyslisä on noin 99 % jakson tuloksesta, eli lämpimällä moottorilla mitattu päästötaso on vain noin 1 % kylmäkäynnistetyn jakson päästöistä.

Kuvassa 1.2 on esitetty vastaavat kylmäpäästökokeiden CO-tulokset bensiniikäyttöisille ja kuvassa 1.3 dieselmoottorisille. Bensiniikäyttöisten autojen kuvaan on merkitty e-säännön 98/69/EC mukainen raja-arvo, joka on CO ≤ 15 g/km.

Kuvassa 1.4 on puolestaan esitetty em. kylmäpäästökokeiden HC-tulokset bensiniikäyttöisille ja kuvassa 1.5 dieselmoottorisille. Bensiniikäyttöisten autojen kuvaan on merkitty e-säännön 98/69/EC mukainen raja-arvo, joka on HC ≤ 1,8 g/km.

Vaikka näitä raja-arvoja ei vielä sovelletakaan, voidaan niitä käyttää ohjeellisina. Vuonna 1999 tutkituista autoista 4 ylitti CO-päästörajan ja samoin neljä autoa ylitti HC-raja-arvon, mutta vain kolme näistä oli sellaista, joissa molemmat ylittyivät samanaikaisesti. Vastaavasti vuosina 2000-2001 tulevan CO-päästörajan ylityksiä mitattiin neljä, mutta HC-raja-arvo olisi ylittynyt 12 auton kohdalla, jos niihin sitä olisi pitänyt soveltaa.

Vaikka normivaatimus ei koskekaan dieselmoottorisia autoja, niitäkin on mitattu vertailun vuoksi. Kuten taulukko 1.2 sekä kuvat 1.3 ja 1.5 hyvin osoittavat, kylmäpäästöongelma ei niitä juuri kosketa, sillä päästöt ovat enimmäkseen aivan olemattomat bensiniemoottoriautoihin verrattuina, ja päästöt otoksen huonoimmalla, muista huomattavasti poikkeavalla dieselautolla samassa suuruusluokassa parhaiden bensiniikäyttöisten autojen kanssa.

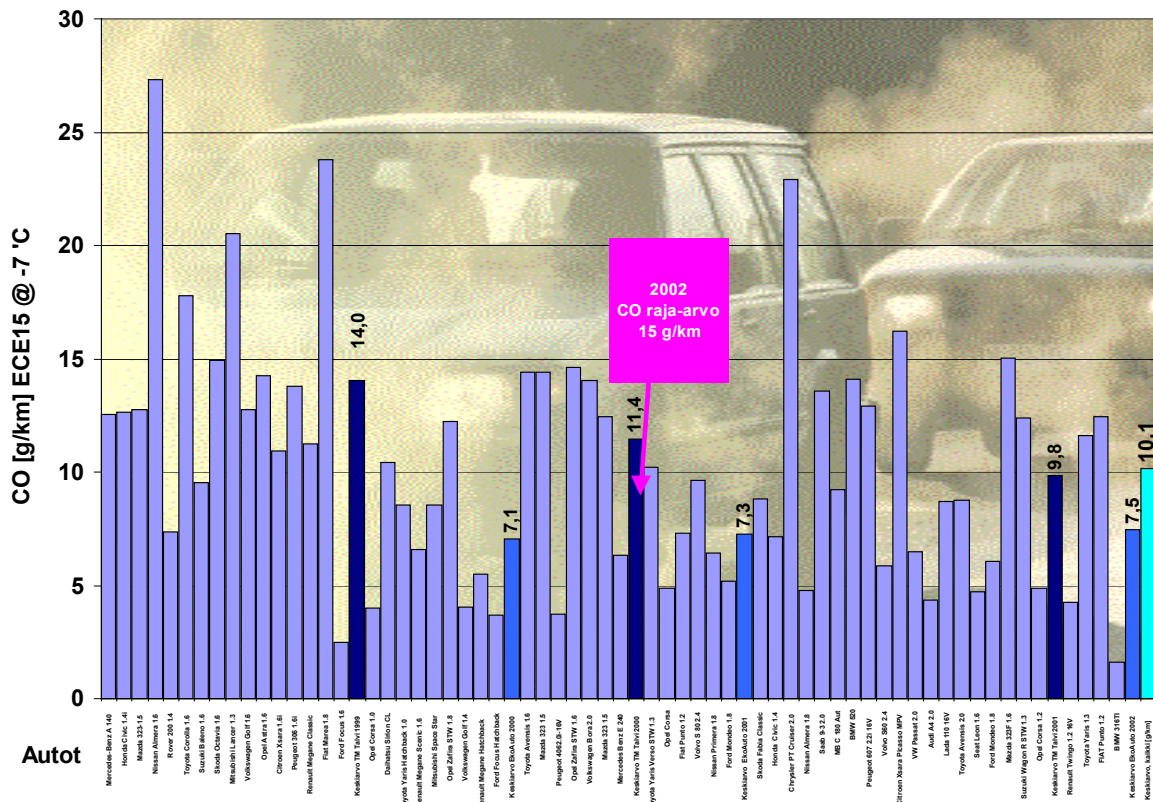
Taulukko 1.1 Vuosina 1999-2001 tutkittujen bensiinikäyttöisten autojen tiedot ja tulokset

RYHMÄ	MERKKI, MALLI	VM	REK.	ISKUT [dm ³]	OM A - M A SSA [kg]	CO [g/km]	HC [g/km]	NOx [g/km]	CO ₂ [g/km]	
TM 1999	Mercedes-Benz A 140	1998	FCU-290	1,39	1095	12,5	1,3	0,09	232	
	Honda Civic 1.4i	1998	GCA-920	1,39	1118	12,6	1,0	0,09	231	
	Mazda 323-1.5	1998	CCT-182	1,50	1140	12,7	1,2	0,12	241	
	Nissan Almera 1.6	1998	VIG-350	1,59	1200	27,3	2,2	0,10	251	
	Rover 200 1.4	1998	FCX-633	1,39	1075	7,4	1,4	0,28	274	
	Toyota Corolla 1.6	1998	LIP-233	1,58	1165	17,8	1,6	0,13	260	
	Suzuki Baleno 1.6	1998	CCU-421	1,59	1035	9,5	1,2	0,16	229	
	Skoda Octavia 1.6	1998	CCT-144	1,59	1265	14,9	1,8	0,63	257	
	Mitsubishi Lancer 1.3	1998	CCX-251	1,29	1070	20,5	2,0	0,12	242	
	Volkswagen Golf 1.6	1998	XIK-542	1,59	1295	12,7	1,4	0,32	257	
	Opel Astra 1.6	1998	AIX-834	1,59	1175	14,2	1,6	0,42	236	
	Citroen Xsara 1.6i	1998	MIS-971	1,58	1155	10,9	1,0	0,24	248	
	Peugeot 306 1.6i	1998	FEB-299	1,58	1175	13,8	1,1	0,14	262	
	Renault Megane Classic	1998	MIS-303	1,59	1135	11,2	1,0	0,02	245	
	Fiat Marea 1.8	1998	BIZ-350	1,74	1270	23,8	1,8	0,09	287	
	Ford Focus 1.6	1998	GCZ-265	1,59	1166	2,5	0,5	0,23	243	
	<i>Keskiarvo TM Talvi 1999</i>				1,5	1158	14,0	1,4	0,20	250
EKO 2000	Opel Corsa 1.0	1999	NCU-594	0,97	940	4,0	1,4	0,12	217	
	Daihatsu Sirion CL	2000	VGZ-881	0,989	940	10,4	1,0	0,01	177	
	Toyota Yaris Hatchback 1.0	1999	OIZ-306	0,99	915	8,6	1,7	0,08	219	
	Renault Megane Scenic 1.6	1999	AYG-283	1,59	1325	6,6	1,0	0,13	252	
	Mitsubishi Space Star Hatchback	1999	ZII-340	1,83	1275	8,6	2,2	0,83	278	
	Opel Zafira STW 1.8	2000	HYG-731	1,83	1395	12,2	1,4	0,20	287	
	Volkswagen Golf 1.4	1998	RIG-758	1,39	1197	4,1	1,5	0,77	249	
	Renault Megane Hatchback	2000	EIZ-724	1,39	1150	5,5	0,8	0,09	256	
	Ford Focus Hatchback	2000	RIX-326	1,38	1149	3,7	0,6	0,18	258	
	<i>Keskiarvo EkoAuto 2000</i>				1,4	1143	7,1	1,3	0,27	244
<i>käynnistyslisä, keskimäärin [g]</i>						28,1	5,1	0,47	188	
TM 2000	Toyota Avenis 1.6	1999	GEC-196	1,58	1270	14,4	2,0	0,32	281	
	Mazda 323 1.5	1999	VIH-738	1,49	1140	14,4	1,7	0,10	264	
	Peugeot 4062.0i-16V	1999	CEG-215	1,99	1425	3,7	2,2	0,12	350	
	Opel Zafira STW 1.6	1999	VIR-570	1,59	1375	14,6	2,0	0,38	274	
	Volkswagen Bora 2.0	2000	YCT-117	1,98	1326	14,0	1,5	0,16	287	
	Mazda 323 1.5	1999	VIH-738	1,49	1140	12,4	1,3	0,12	240	
	Mercedes Benz E 240 Autom.	2000	IYC-850	2,39	1600	6,3	2,9	0,58	433	
	<i>Keskiarvo TM Talvi 2000</i>				1,8	1325	11,4	1,9	0,25	304
<i>käynnistyslisä, keskimäärin [g]</i>						45,6	7,8	0,78	297	
EKO 2001	Toyota Yaris Verso STW 1.3	2000	YCY-332	1,29	1065	10,2	2,3	0,06	231	
	Opel Corsa	2000	KMI-534	0,97	974	4,9	0,9	0,20	200	
	Fiat Punto 1.2	2000	JEH-989	1,24	n/a	7,3	0,8	0,05	203	
	Volvo S 80 2.4	1999	KYB-627	2,43	n/a	9,6	1,2	0,07	358	
	Nissan Primera 1.8	2000	YCK-721	1,76	n/a	6,4	0,7	0,01	292	
	Ford Mondeo 1.8	2000	JEH-738	1,79	n/a	5,2	0,9	0,29	315	
	<i>Keskiarvo EkoAuto 2001</i>				1,6		7,3	1,1	0,11	266
<i>käynnistyslisä, keskimäärin [g]</i>						29,2	4,5	0,31	243	
TM 2001	Skoda Fabia Classic	2000	EGJ-138	1,4	1139	8,8	0,9	0,06	249	
	Honda Civic 1.4	2000	SYI-441	1,4	n/a	7,1	0,7	0,05	211	
	Chrysler PT Cruiser 2.0	2000	VYF-933	1,99	1568	22,9	2,0	0,03	282	
	Nissan Almera 1.8	2000	OYL-474	1,8	1235	4,7	0,6	0,01	282	
	Saab 9-3 2.0	2000	MYL-612	1,98	1460	13,6	1,3	0,02	358	
	MB C 180 Aut	2000	NEH-638	1,99	1485	9,2	2,4	0,49	330	
	BMW 520	2000	RYH-449	2,17	n/a	14,1	2,0	0,10	361	
	Peugeot 607 2.2i 16V	2000	TYI-967	2,23	1530	12,9	3,5	0,37	338	
	Volvo S60 2.4	2000	GEJ-320	2,43	1548	5,8	1,2	0,07	339	
	Citroen Xsara Picasso MPV 1.8 - 16V	2000	FET-222	1,74	1320	16,2	3,0	0,11	289	
	VW Passat 2.0	2001	UIU-950	1,98	1457	6,5	0,8	0,03	301	
	Audi A 4 2.0	2001	FET-879	1,98	1467	4,4	0,9	0,12	326	
	Lada 110 16V	2001	KOE	1,5	1115	8,7	1,3	0,20	257	
	Toyota Avenis 2.0	2001	LYK-495	1,99	1320	8,8	2,3	0,18	295	
	Seat Leon 1.6	2001	CET-870	1,59	1299	4,7	1,5	0,08	260	
	Ford Mondeo 1.8	2001	JEH-755	1,8	1373	6,0	1,0	0,18	314	
	Mazda 323F 1.6	2000	FEK-632	1,59	1185	15,0	1,4	0,09	257	
	Suzuki Wagon R STW 1.3	2000	CEG-402	1,29	985	12,4	0,9	0,03	224	
	Opel Corsa 1.2	2000	LYM-954	1,19	1035	4,9	0,8	0,05	229	
	<i>Keskiarvo TM Talvi 2001</i>				1,8	1325	9,8	1,5	0,12	290
	<i>käynnistyslisä, keskimäärin [g]</i>						39,1	6,1	0,37	248
	EKO2002	Renault Twingo 1.2 16V	2001	KPI-996	1,14	920	4,2	1,0	0,08	191
		Toyota Yaris 1.3	2001	MEF-580	1,29	985	11,6	2,7	0,04	218
		Fiat Punto 1.2	2001	CFI-328	1,24	935	12,5	1,4	0,03	215
		BMW 316TI	2001	MRF-204	1,79	1375	1,6	0,7	0,32	340
	<i>Keskiarvo EkoAuto 2002</i>				1,4	1054	7,5	1,5	0,12	241
	<i>käynnistyslisä, keskimäärin [g]</i>						30,3	5,9	0,33	239
<i>Keskiarvo, kaikki [g/km]</i>		61	kpl			10,1	1,4	0,17	264	
<i>käynnistyslisä, keskimäärin [g]</i>						34,5	5,9	0,45	243	

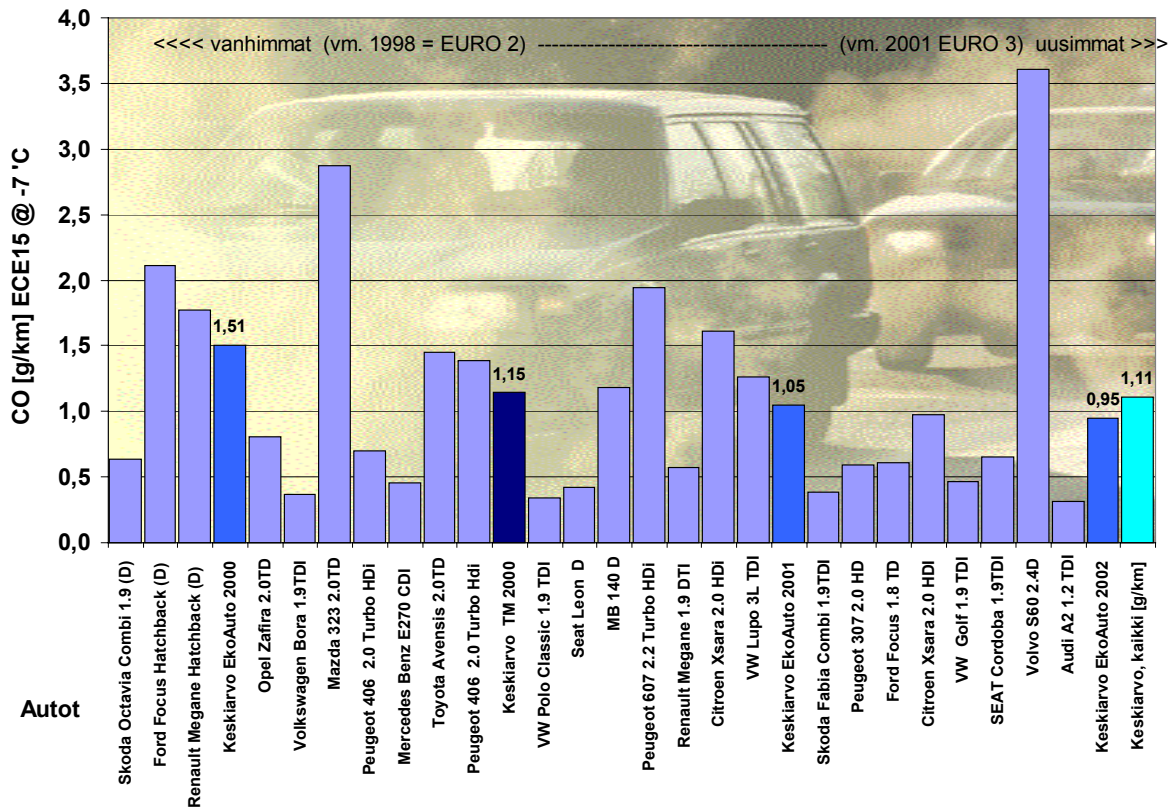
Huom: Tummennetulla taustalla merkityt tulokset ylittävät vuonna 2002 tulossa olevan raja-arvon.

Taulukko 1.2 Vuosina 1999-2001 tutkittujen dieselmoottoristen autojen tiedot ja tulokset

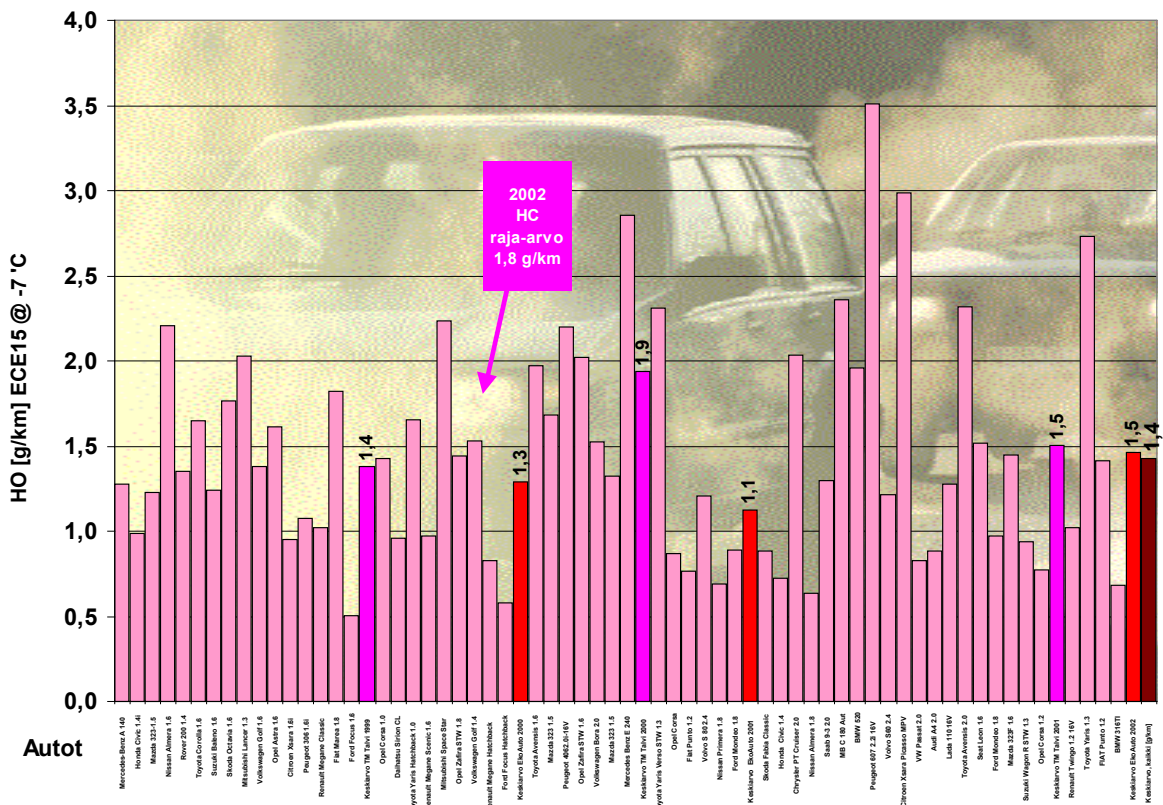
RYHMÄ	MERKKI, MALLI	VM	REK.	ISKUT [dnr3]	OMA-MASSA [kg]	CO [g/km]	HC [g/km]	NOx [g/km]	CO ₂ [g/km]
EKO 2000	Skoda Octavia Combi 1.9 (D)	2000	SIT-125	1,89	1419	0,64	0,04	0,94	244
	Ford Focus Hatchback (D)	1999	OYB-103	1,75	1269	2,11	0,05	1,10	235
	Renault Megane Hatchback (D)	2000	FEI-284	1,87	1215	1,77	0,06	1,21	271
	Keskiarvo EkoAuto 2000			1,8	1301	1,51	0,05	1,09	250
käynnistysissä, keskimäärin [g]									
TM 2000	Opel Zafira 2.0TD	2000	RIX-512	1,99	1505	0,807	0,113	1,69	342
	Volkswagen Bora 1.9TDI	2000	CEI-152	1,9	1406	0,365	0,114	0,75	277
	Mazda 323 2.0TD	1999	NCK-214	2,0	1255	2,869	0,510	1,59	232
	Peugeot 406 2.0 Turbo HDi	2000	KYG-962	2,0	1485	0,696	0,077	1,16	301
	Mercedes Benz E270 CDI	2000	AYG-840	2,7	1630	0,459	0,080	1,71	368
	Toyota Avensis 2.0TD	2000	VIV-755	2,0	1395	1,450	0,092	1,45	313
	Peugeot 406 2.0 Turbo Hdi	2000	VIV-755	2,0	1395	1,387	0,107	0,86	288
	Keskiarvo TM 2000			2,07	1439	1,15	0,157	1,32	303
käynnistysissä, keskimäärin [g]									
EKO 2001	VW Polo Classic 1.9 TDI	2000	VYF-857	1,9	n/a	0,34	0,07	0,52	221
	Seat Leon D	2000	koe	1,9	1309	0,42	0,09	0,85	232
	MB 140 D	2000	koe	1,4	1154	1,18	0,15	0,56	207
	Peugeot 607 2.2 Turbo HDi	2000	MYM-271	2,17	n/a	1,94	0,26	1,84	292
	Renault Megane 1.9 DTI	2000	GEK-794	1,87	1215	0,57	0,05	0,96	265
	Citroen Xsara 2.0 HDi	2000	HHF-611	1,99	1275	1,61	0,18	0,73	261
	VW Lupo 3L TDI	2000	koe	1,2	n/a	1,26	0,06	0,58	171
	Keskiarvo EkoAuto 2001			1,8	1238	1,05	0,122	0,86	236
käynnistysissä, keskimäärin [g]									
EKO 2002	Skoda Fabia Combi 1.9TDI	2001	FFB-614	1,89	1255	0,382	0,116	0,91	250
	Peugeot 307 2.0 HD	2001	BZK-152	1,99	1354	0,593	0,101	1,11	289
	Ford Focus 1.8 TD	2001	XYI-609	1,75	1269	0,605	0,097	0,92	250
	Citroen Xsara 2.0 HDi	2001	MHF-576	1,4	1340	0,971	0,160	0,98	283
	VW Golf 1.9 TDI	2001	UIX-858	1,89	1308	0,464	0,138	0,59	235
	SEAT Cordoba 1.9TDI	2001	RMI-914	1,89	n/a	0,649	0,161	0,71	232
	Volvo S60 2.4D	2001	FFC-917	2,4	1607	3,607	0,408	1,88	311
	Audi A2 1.2 TDI	2001	TDI-2	2,4	967	0,309	0,053	1,08	163
Keskiarvo EkoAuto 2002			2,0	1308	0,95	0,154	1,02	252	
käynnistysissä, keskimäärin [g]									
Keskiarvo, kaikki [g/km]		25	kpl			1,11	0,134	1,041	258
käynnistysissä, keskimäärin [g]									



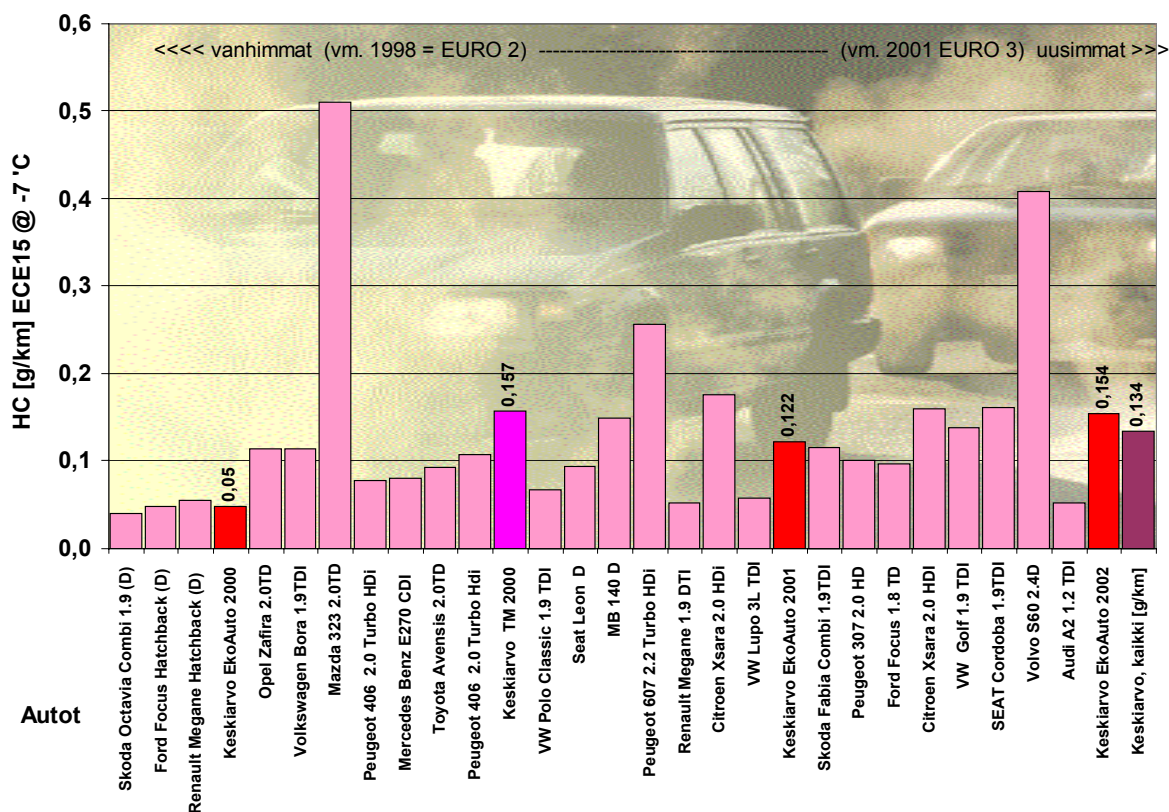
Kuva 1.2 Kylmäpäästö-CO (ECE15 @ -7 °C); bensinikäyttöiset autot vm. 1999-2001



Kuva 1.3 Kylmäpäästö-CO (ECE15 @ -7 °C); dieselmoottoriset autot vm. 1999-2001.



Kuva 1.4 Kylmäpäästö-HC (ECE15 @ -7 °C); bensiinikäyttöiset autot vm. 1999-2001.



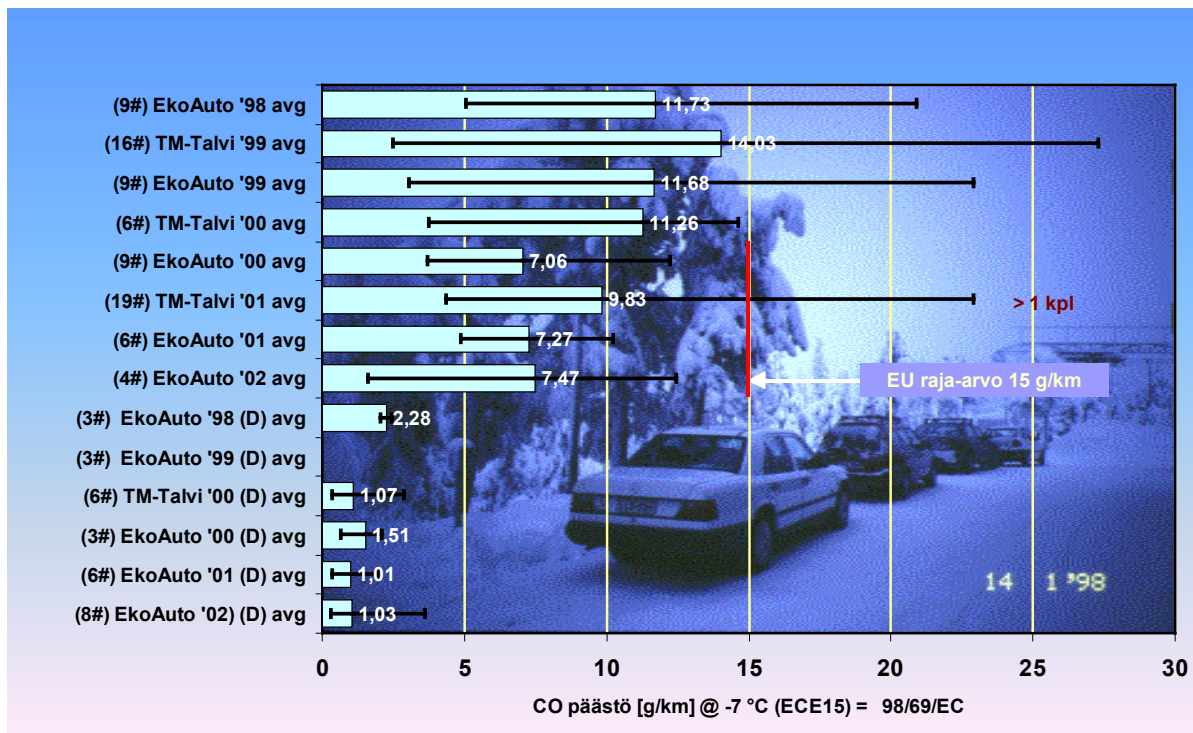
Kuva 1.5 Kylmäpäästö-HC (ECE15 @ -7 °C); dieselmoottoriset autot vm. 1999-2001.

Kuvissa 1.6 ja 1.7 on esitetty vertailu bensiini- ja dieselautojen välillä, ja mukana on nyt myös vanhemmat, vuonna 1998 mitatut otokset. Kuvissa on esitetty erikseen bensiinikäyttöiset ja dieselmoottoriset autot, sekä kunkin otoksen keskiarvo ja vaihteluväli pienin - suurin. Lisäksi on mainittu, montako autoa ryhmässä oli (n#), ja moniko ylitti tulevat EU-raja-arvot (>n).

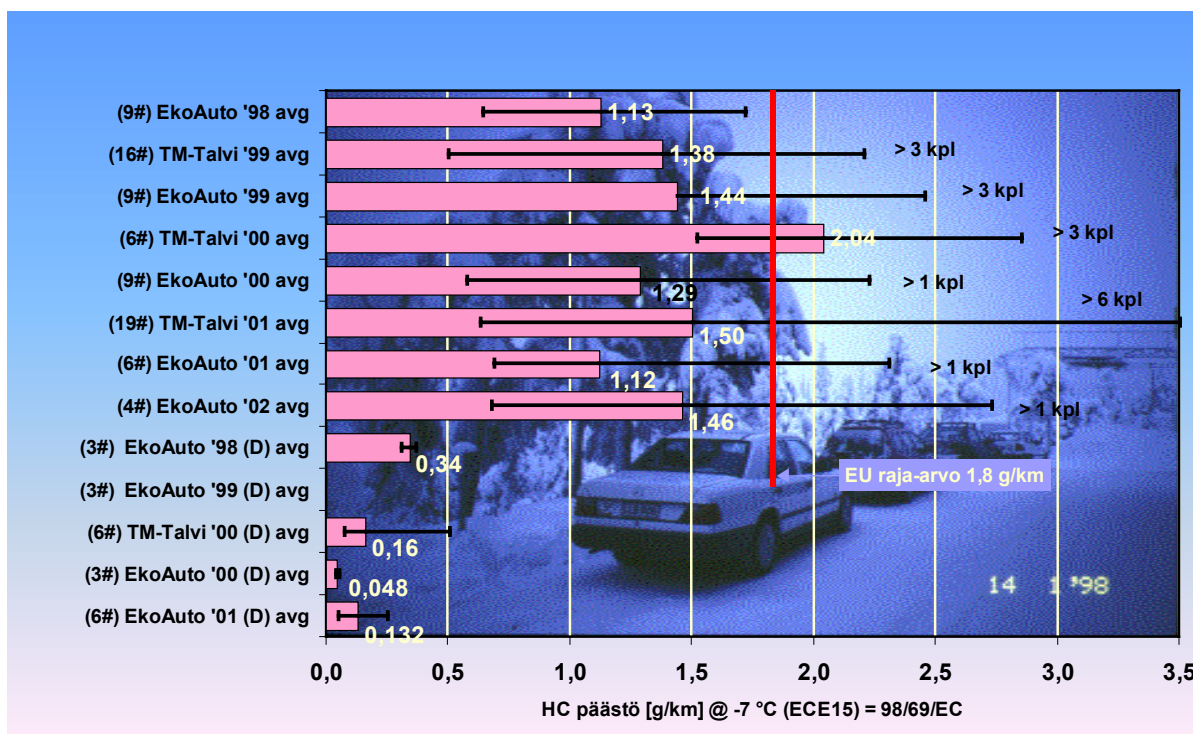
Päästöjen keskimääräisen tason kehittymistä voidaan arvioida myös esittämällä tulokset vuosimallin funktiona ja jakamalla autot arvionvaraisesti EURO 2 ja EURO 3 -tasoihin, jolloin vm. 1997-1999 ovat oletettavasti enimmäkseen EURO 2- autoja ja vuosimallit 2000-2001 enimmäkseen jo EURO 3-tasoisia. Näin tehdyn jaon mukaan on esitetty CO- ja HC-tulokset bensiinikäyttöisille autoille vuosimallin funktiona kuvissa 1.8 ja 1.9, joihin on yksittäisten tulosten lisäksi merkitty lineaariset kuvaajat kehitystrendille (Excel-ohjelman sovittamana).

Kuvien 1.6 ja 1.8 mukaan näyttää siltä, että hiilimonoksidipäästöt olisivat olleet laskusuunnassa jo EURO 2-autojen loppuvuosina (1998-1999). Vastaava myönteinen kehitys näyttää voimistuneen jo varsin suurella varmuudella EURO 3 -määräyksen mukaan rakennetuissa, vuosimallin 2000 ja 2001 autoissa, joissa tosin vuoden 2000 autoissa voi olla vielä EURO 2-tasoisia autoja, koska vanhat tyyppihyväksymiset olivat voimassa vielä vuoden 2000 loppuun, ja vasta 1.1.2001 vaadittiin kaikilta rekisteriin merkityiltä autoilta EURO 3 -määräyksen täyttämistä.

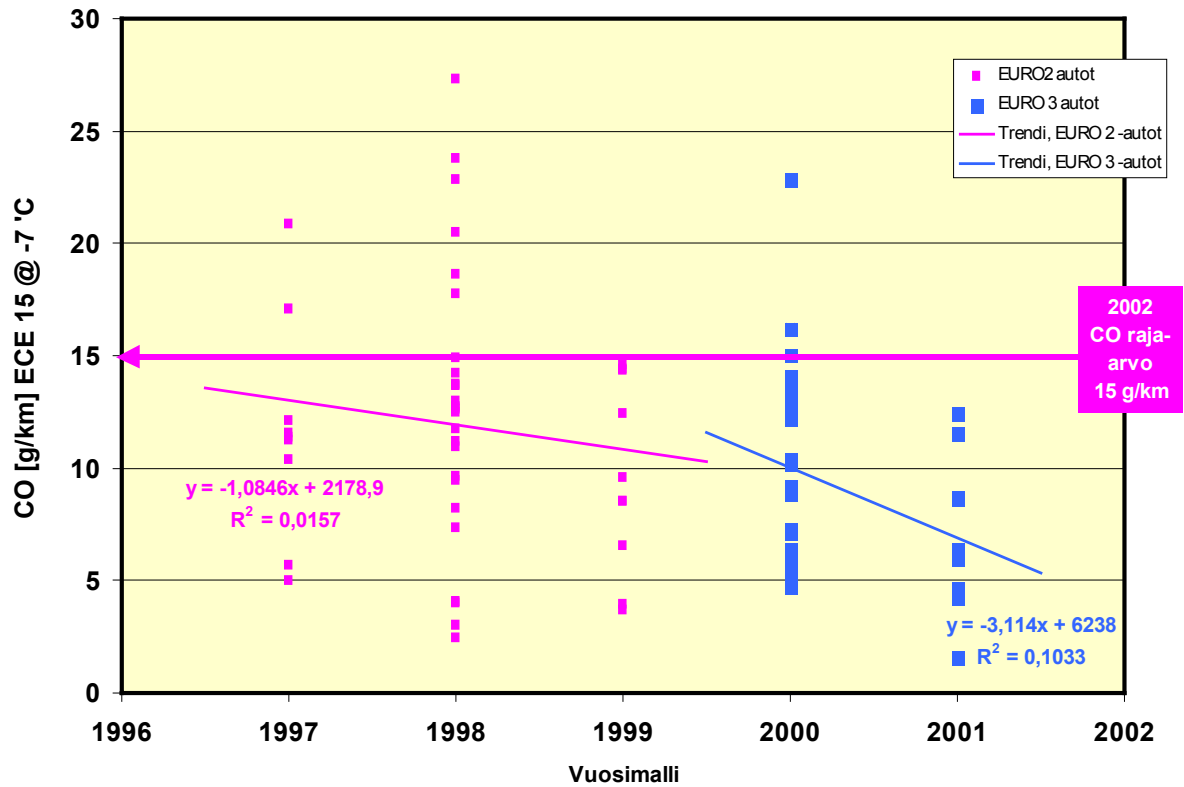
Hiilivetypäästöjen (HC) kohdalla kehitys ei ole ollut yhtä selkeä, ja näyttäisikin siltä, että mitään selkeää trendiä ei ole havaittavissa tutkittujen vuosimallien 1998...2001 autojen välillä, vaan taso säilyy keskimäärin tulevan EURO 3 kylmäpäästöraja-arvon 1,8 g/km tuntumassa, ja sen tason ylityksiä rekisteröitiin vielä aivan uusimmissakin, vuonna 2001 mitatuissa malleissa.



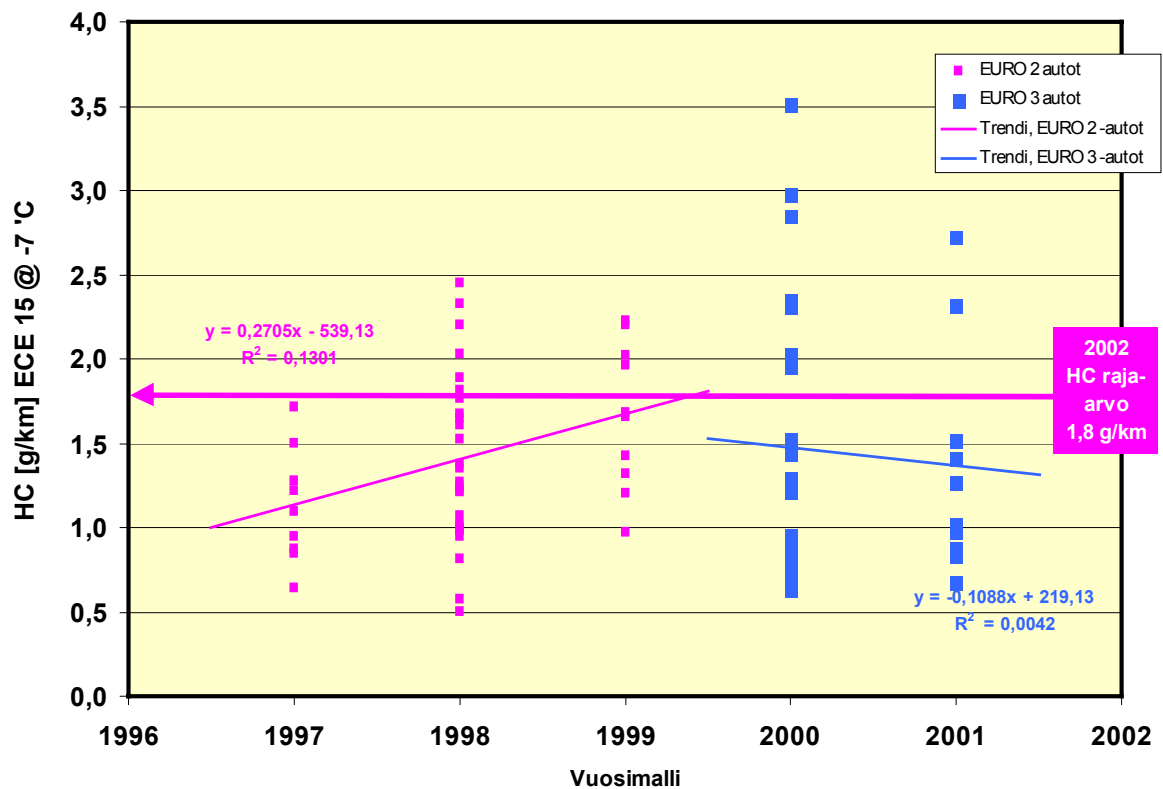
Kuva 1.6 Kylmäpäästö-CO tulosten (ECE15 @ -7 °C) vertailu; bensiini- ja dieselmkäyttöiset.



Kuva 1.7 Kylmäpäästö-HC tulosten (ECE15 @ -7 °C) vertailu; bensiini- ja dieselmkäyttöiset.



Kuva 1.8 Kylmäpäästö-CO tulosten (ECE15 @ -7 °C) vertailu; bensiinikäyttöiset autot vm. 1998-2001.



Kuva 1.9 Kylmäpäästö-HC tulosten (ECE15 @ -7 °C) vertailu; bensiinikäyttöiset autot vm. 1998-2001.

4 KESKIMÄÄRÄISET KYLMÄKÄYNNISTYSPÄÄSTÖT

4.1 Bensiinikäyttöiset henkilöautot

Käyttäen sekä tässä tutkimuksessa mitattujen, uusimpia henkilöautoja edustavien otoksien tuloksia, että aikaisemmin tehtyjen, vähän vanhempaa tekniikkaa edustavien autojen tuloksia voidaan esittää arvio keskimääräisistä nykyisin käytössä olevien henkilöautojen kylmäkäynnistyspäästöistä lämpötilassa $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nämä arvot on esitetty taulukoissa 1.3 (benssiini) ja 1.4 (diesel)

Taulukko 1.3: Lämpötilassa $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ tehdyn kylmäkäynnistyksen aiheuttamat, keskimääräiset lisäpäästöt bensiinikäyttöisissä vm. 1990...2001 henkilöautoissa.

		Käynnistyslisät @ $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$				
Bensiinikäyttöiset	vm.	CO [g]	HC [g]	NOx [g]	CO ₂ [g]	lähde
Ei-kat autot	< 1990	150	12	1	35	arvio eri lähteistä
Kat-autot EU1 & EU2	92-'96	126	13,5	1,6		VTT Publ. 348
EkoAuto 1998	1997	46,4	4,4	0,38	174	VTT tutk.sel. ENE82414 /98
EkoAuto 1999	1998	46,1	5,6	0,72	156	VTT tutk.sel. ENE924013/99
kat 1997-1998 (EU2)		46,3	5,0	0,55	165	
EkoAuto 2000	1999	28,1	5,1	0,47	188	tämä tutkimus
EkoAuto 2001	2000	29,2	4,5	0,31	243	tämä tutkimus
EkoAuto 2002	2001	30,3	5,9	0,33	239	tämä tutkimus
kat 1999-2001 keskiarvo		29,2	5,2	0,37	223	
TM Talvi 2000	2000	45,6	7,8			tämä tutkimus
TM Talvi 2001	2001	39,1	6,1			tämä tutkimus

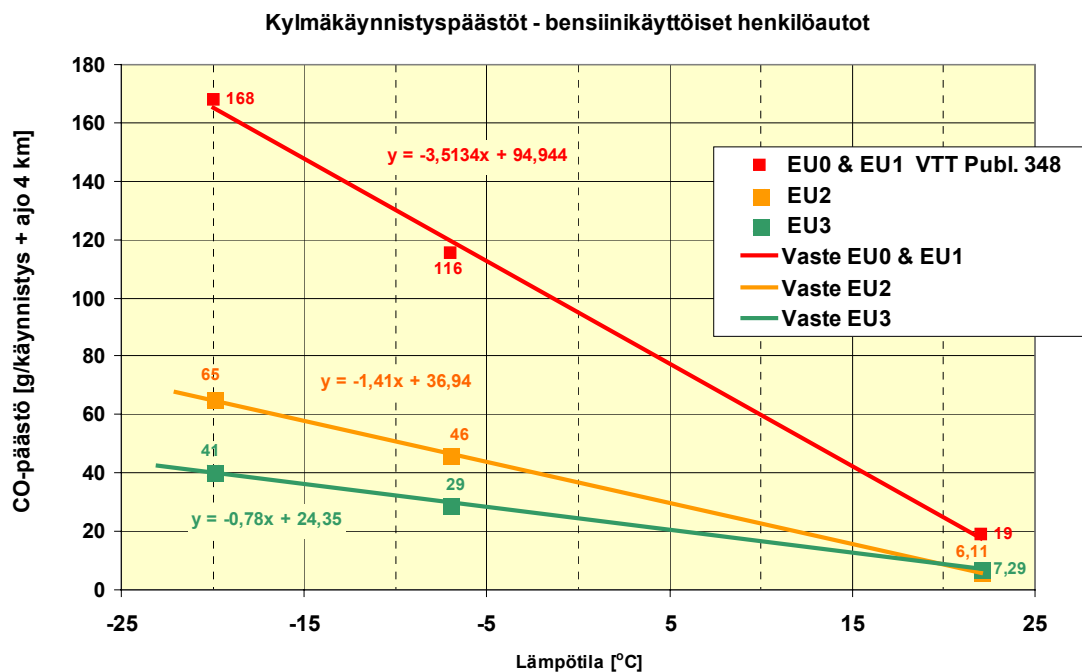
Taulukko 1.4: Lämpötilassa $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ tehdyn kylmäkäynnistyksen aiheuttamat, keskimääräiset lisäpäästöt dieselmootorisissa vm. 1997...2001 henkilöautoissa.

		Käynnistyslisät @ $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$					
Dieselmoottoriset		CO [g]	HC [g]	NOx [g]	PM [g]	CO ₂ [g]	lähde
EkoAuto 1998	1997	4,16	0,42	0,49	0,061		VTT tutk.sel. ENE82414 /98
EkoAuto 1999	1998	ei dieselautoja					
1997-1998 (EU2)		4,2	0,42	0,49	0,061		
EkoAuto 2000	1999	5,53	0,58	1,67	0,048	307	tämä tutkimus
EkoAuto 2001	2000	4,14	0,41	1,25	0,095	255	tämä tutkimus
EkoAuto 2002	2001	3,17	0,48	1,20	0,149	287	tämä tutkimus
1999-2001 keskiarvo		4,3	0,49	1,37	0,097	283	
TM Talvi 2000	2000	4,16	0,44	2,68	0,182	457	tämä tutkimus
TM Talvi 2001	2001	ei dieselautoja					

Käyttäen hyväksi em. käynnistyspäästöjen arvoja, sekä vastaavien EU2/EU3 –tyyppihyväksytyjen autojen keskimääräisiä, normaalilämpötilassa mitattuja ominaispäästöarvoja, on muodostettu käynnistyslämpötilasta riippuvat ”funktiot”, joiden avulla on mahdollista arvioida muissakin lämpötiloissa syntyvä käynnistyslisäpäästö. Tässä määrittämisessä on perusteena ollut myös kylmäkäynnistystä käsitellen väitöskirjatyön (Laurikko: VTT Publications 348, 1998)) materiaali ja perusteoriat, joiden mukaan CO-päästö on likimain lineaarisesti lämpötilasta riippuva, kun taas hiilivety(HC) –päästöille eksponentiaalifunktio antaa paremman korrelaation. Vanhemman tyyppisten kat-autojen kokeiden perusteella oletettiin myös, että NOx-päästöt eivät keskimäärin riipu käynnistyslämpötilasta, mutta uudemman havainto-

aineiston perusteella niilläkin näyttäisi olevan lievä käänteinen riippuvuus, eli päästöt kasvavat hieman käynnistyslämpötilan laskiessa

Kuvissa 1.10, 1.11 ja 1.12 on esitetty tämän tarkastelun tuloksena syntyneet kylmäkäynnistyspäästöjen kuvaajat, ja niiden perusteella $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötilaan ekstrapoloidut arvot.



Kuva 1.10 Kylmäkäynnistyspäästöjen CO-lisäpäästö käynnistyslämpötilan funktiona; bensiinikäyttöiset autot EU0 ... EU3.

Kuten kuva 1.10 näyttää, kylmäkäynnistys aiheuttamissa lisä-CO-päästöissä näyttäisi tapahtuneen merkittävää positiivista kehitystä, eli EU2-autoissa kylmäkäynnistyspäästöt ovat kaikissa lämpötiloissa alle puolet vanhemman sukupolven (EU0 & EU1) kat-autojen päästöistä ja EU3 -autoissa vähemmän on tullut vielä noin 30 % lisää, eli taso on vain noin neljännes siitä, missä liikuttiin 1990-luvun alkupuolen eli ns. 1. sukupolven kat-autoissa.

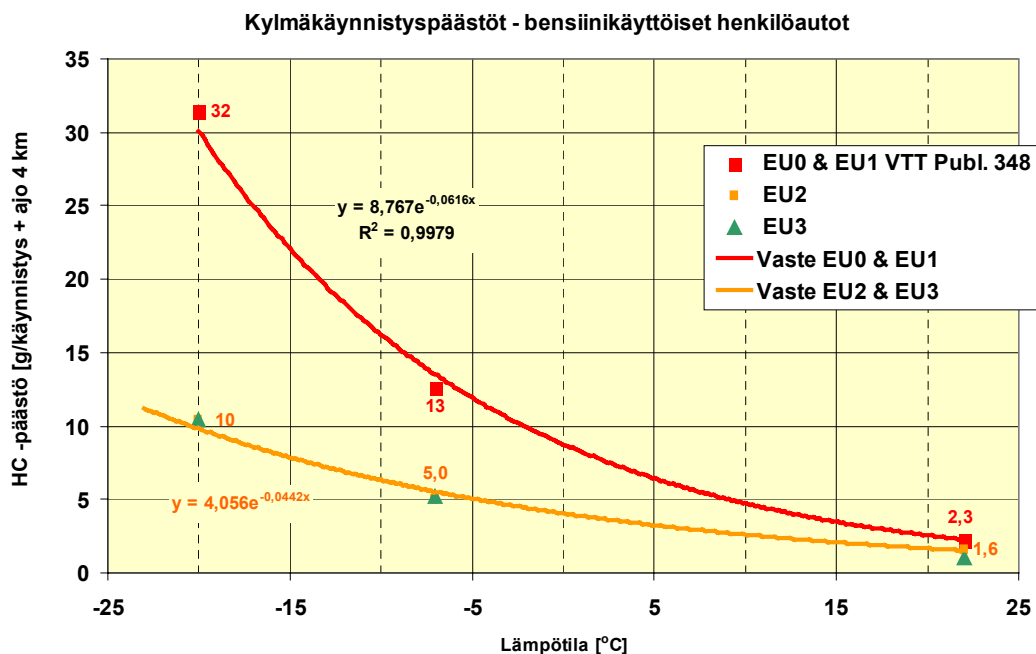
Melkein yhtä merkittävä vähennys on havaittavissa kuvan 1.11. mukaan myös HC-lisäpäästöissä, mutta havaintoaineisto ei antanut tukea sille oletukselle, että EU3-autoissa olisi edelleen pienemmät päästöt, vaan ne lienevät samaa suuruusluokkaa kuin EU2-autoissa, eli tasoltaan uudet autot ovat vain noin 40 % 1. sukupolven kat-autoista (EU0 ja EU1). (Eksponentiaaliset vastefunktiot on laskettu käyttäen MS Excel-taulukkolaskentaohjelman rutiineja.)

Myös NO_x-päästöt ovat vähentyneet, ja ovat kuvan 1.12 mukaan kylmässäkin vain noin 30...40 % EU0/EU1 -tasosta.

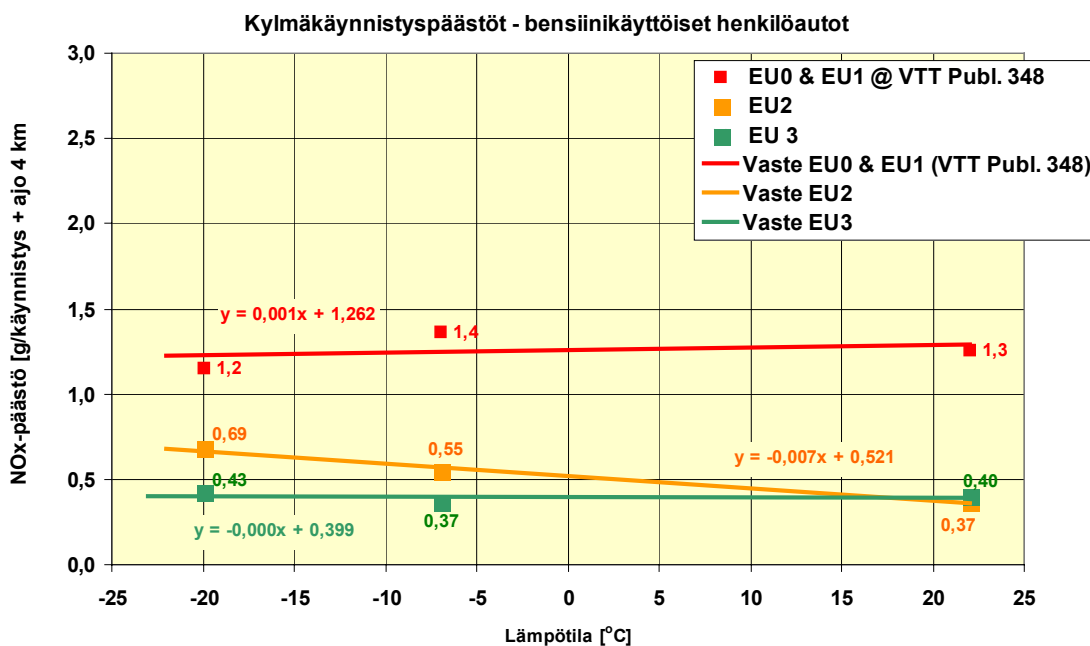
4.2 Dieselmottoriset henkilöautot

Kuvissa 1.13, 1.14, 1.15 ja 1.16 on esitetty vastaavalla tavalla dieselmottoristen henkilöautojen kylmäkäynnistyspäästöt kuin edellä bensiinikäyttöisistä autoista. Dieselmottorisista autoista mittausaineistoa on kylmäkäynnistyspäästöistä etenkin vanhemman tyyppisistä

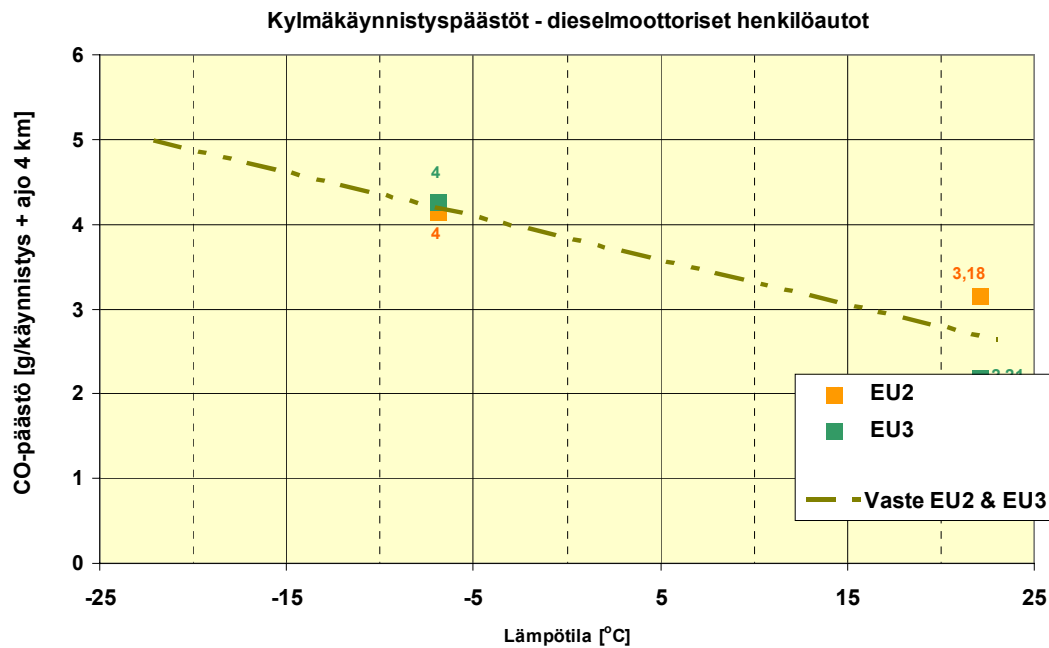
autoista niukasti, mutta nyt on uusimpia EU2 ja EU3-tasoisia autoja tämän projektin puitteissa mitattu kymmenkunta, ja siten on saatu kuitenkin sen verran tietoja, että on perusteltua esittää myös niitä koskeva tarkastelu. Mittausaineiston vähäisyyden vuoksi se on kuitenkin esitetty vain keskimääräisenä, eikä erikseen EU2/EU3 –autoille, kuten bensiinikäyttöisissä autoissa.



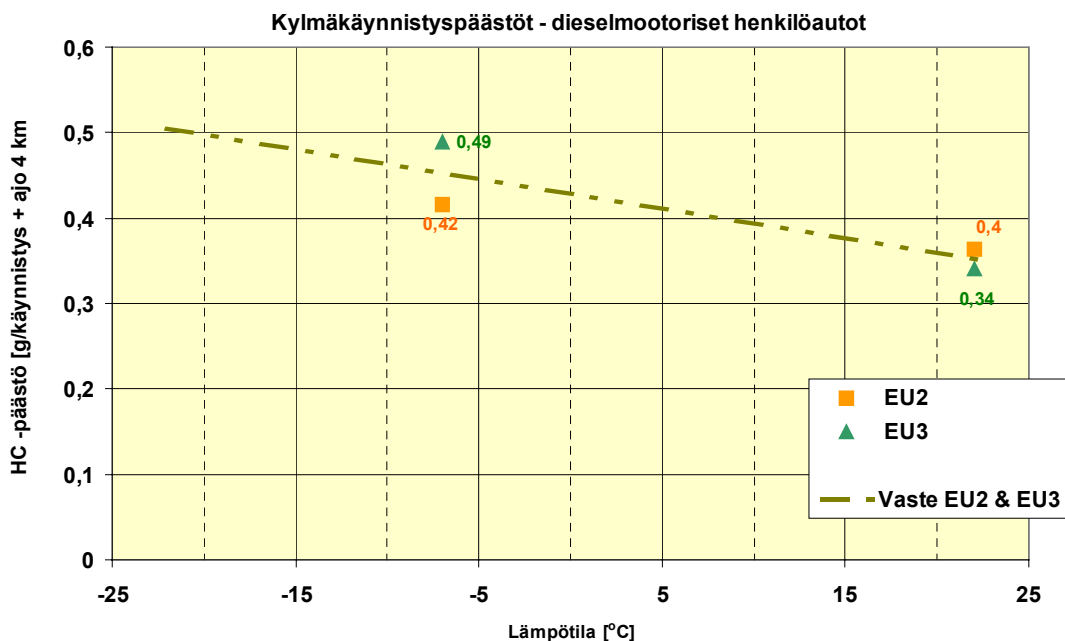
Kuva 1.11 Kylmäkäynnistyspäästöjen HC-lisäpäästö käynnistyslämpötilan funktiona; bensiinikäyttöiset autot EU0 ... EU3.



Kuva 1.12 Kylmäkäynnistyspäästöjen NOx-lisäpäästö käynnistyslämpötilan funktiona; bensiinikäyttöiset autot EU0 ... EU3.

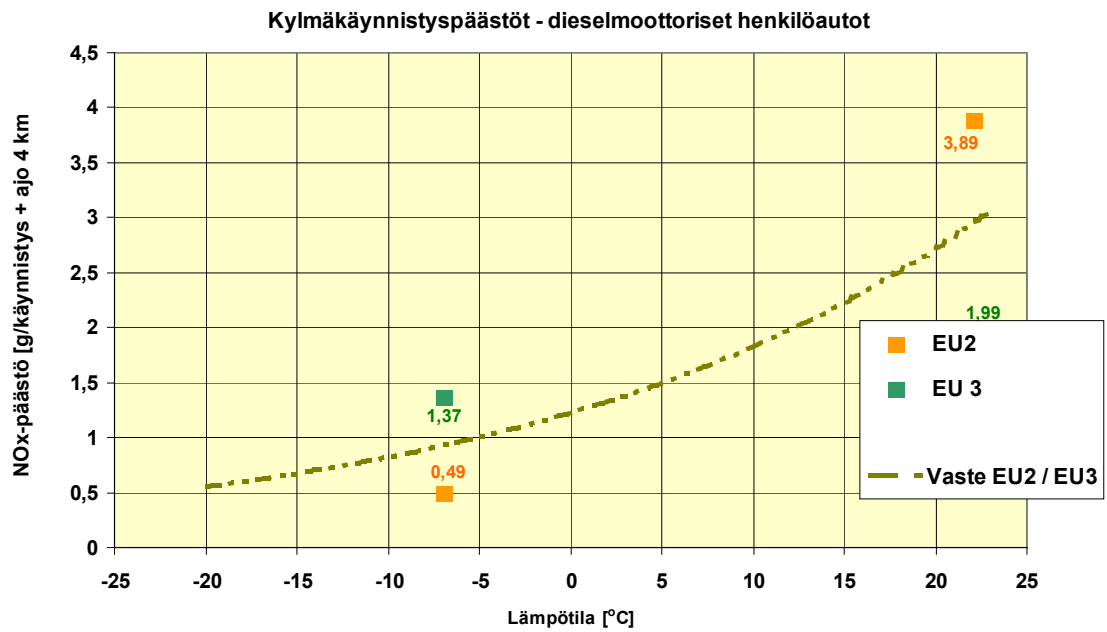


Kuva 1.13 Kylmäkäynnistysen CO-lisäpäästö käynnistyslämpötilan funktiona; dieselmoottoriset autot EU2 ... EU3.

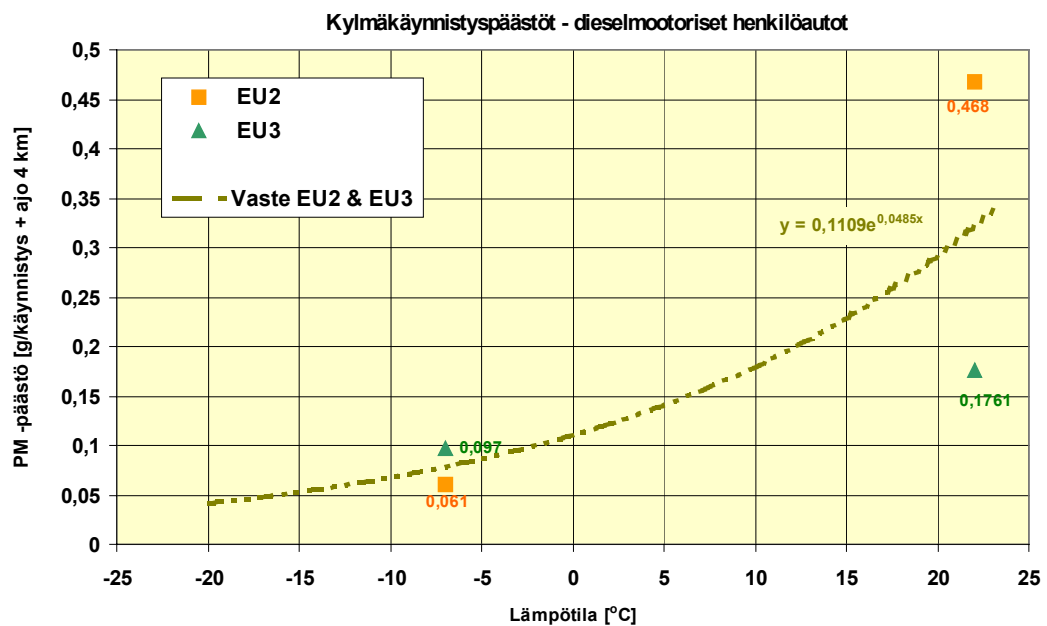


Kuva 1.14 Kylmäkäynnistysen HC-lisäpäästö käynnistyslämpötilan funktiona; dieselmoottoriset autot EU2 ... EU3.

Hiilimonoksidi- ja hiilivetyypäästöjen osalta on valittu lineaarinen riippuvuus kuvaamaan käynnistyslämpötilavastetta, kun mittaustuloksia ei riittävästi ole tukemaan muunlaisen funktion valitsemista. Sen sijaan typen oksidien ja hiukkaspäästöjen osalta eksponentiaalinen kuvaaja näyttäisi perustellummalta, koska lämpötilariippuvuus on niissä käänteinen, eli lisäpäästöt alenevat käynnistyslämpötilan laskiessa, jolloin lineaarinen vaste johtaisi varsin pian negatiiviseen tulokseen, mitä ei voi pitää järkevänä. Eksponentiaaliset vastefunktiot on näissäkin tapauksissa laskettu käyttäen MS Excel-taulukkolaskentaohjelman rutiineja.



Kuva 1.15 Kylmäkäynnistysen NOx-lisäpäästö käynnistyslämpötilan funktiona; dieselmoottoriset autot EU2 ... EU3.



Kuva 1.16 Kylmäkäynnistysen PM-lisäpäästö käynnistyslämpötilan funktiona; dieselmoottoriset autot EU2 ... EU3.

OSA B - MITTAUKSET RASKAILLA PAKETTIAUTOILLA

Kolmantena autoryhmänä, jonka kylmäkäynnistyspäästöjä projektin puitteissa on mitattu ovat raskaat, bensiinikäyttöiset pakettiautot. Niitä mitattiin 5 kpl tammikuussa 2001. Toisin kuin henkilöautot, nämä tutkitut autot eivät olleet aivan uusia, vaan edustivat vuosimalleja 1996 ...2000, ja niillä oli ajettu runsaasta 40,00 kilometristä vajaaseen 180,00 km:iin. Aiemman tutkimusaineiston perusteella ajomäärällä ei kuitenkaan näyttäisi olevan kovin merkittävää vaikutusta kylmäkäynnistyspäästöihin. Taulukossa 1.5 on eritelty kokeissa mukana olleet autot

Koemenetelmänä oli normaalilämpötilassa (+23 °C) EC2000-koe (ECE15+EUDC) ja matalassa, -7 °C lämpötilassa uuden EURO3 –direktiivin (98/69/EC) mukainen, eli ECE15-ajo-ohjelma. Koetulokset, jotka on esitetty taulukossa 1.6, saatettiin myös EU:n MVEG-työryhmän tietoon sen suunnitellessa uusia päästörajoituksia.

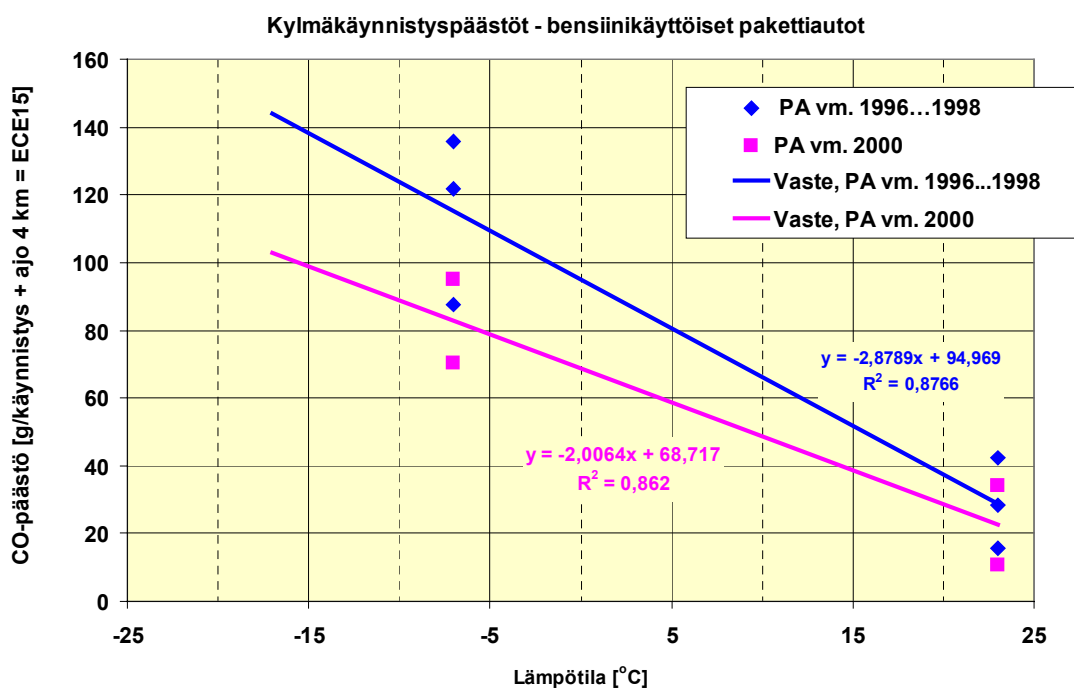
Taulukko 1.5: Kylmäpäästökokeissa mukana olleet raskaat pakettiautot

merkki	malli	vm.	iskutil.	vaiht.	rekisteri	ajokm	Ref. massa	Weight class
VW	Transporter	1997	1.97	M5	UGT-858	73005	1675	II
Toyota	Hiace	1998	2.69	M5	VIG-452	42597	1785	III
VW	Caravelle	1996	2.46	M5	LPG-1	176369	1785	III
Chrysler	Voyager	2000	2.42	Aut	CEG-568	21193	1840	III
Chrysler	Grand Voyager	2000	3.3	Aut	IYO-770	8963	1920	III

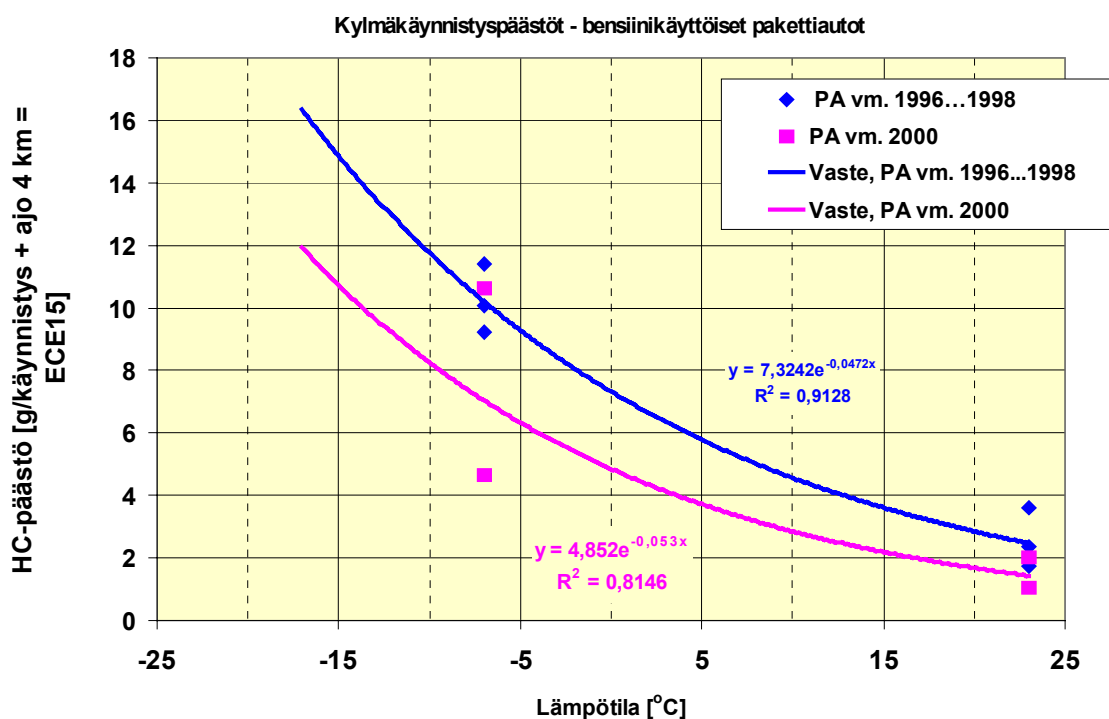
Taulukko 1.6: Pakokaasukokeiden tulokset raskaille pakettiautoille

koen:o	koe/lämpötila (°C)	merkki	malli	rek.tunnus	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	CO ₂ (g/km)	teor (l/100km)
21017	EC2000/ +23	VW	Transporter	UGT-858	1,56	0,22	0,93	236	10,1
21016	EC2000/ +23	Toyota	Hiace	VIG-452	3,12	0,17	0,08	265	11,4
21021	EC2000/ +23	VW	Caravelle	LPG-1	4,24	0,35	0,40	261	11,3
21014	EC2000/ +23	Chrysler	Voyager	CEG-568	7,24	0,25	0,90	272	12,0
21015	EC2000/ +23	Chrysler	Grand Voyager	IYO-770	1,06	0,10	0,06	283	12,0
21018	ECE15 / -7	VW	Transporter	UGT-858	33,46	2,81	0,93	351	17,3
21019	ECE15 / -7	Toyota	Hiace	VIG-452	21,40	2,25	0,20	438	20,2
21020	ECE15 / -7	VW	Caravelle	LPG-1	30,04	2,48	0,75	411	19,6
21013	ECE15 / -7	Chrysler	Voyager	CEG-568	23,37	2,61	1,27	428	19,9
21012	ECE15 / -7	Chrysler	Grand Voyager	IYO-770	17,32	1,14	0,23	433	19,5

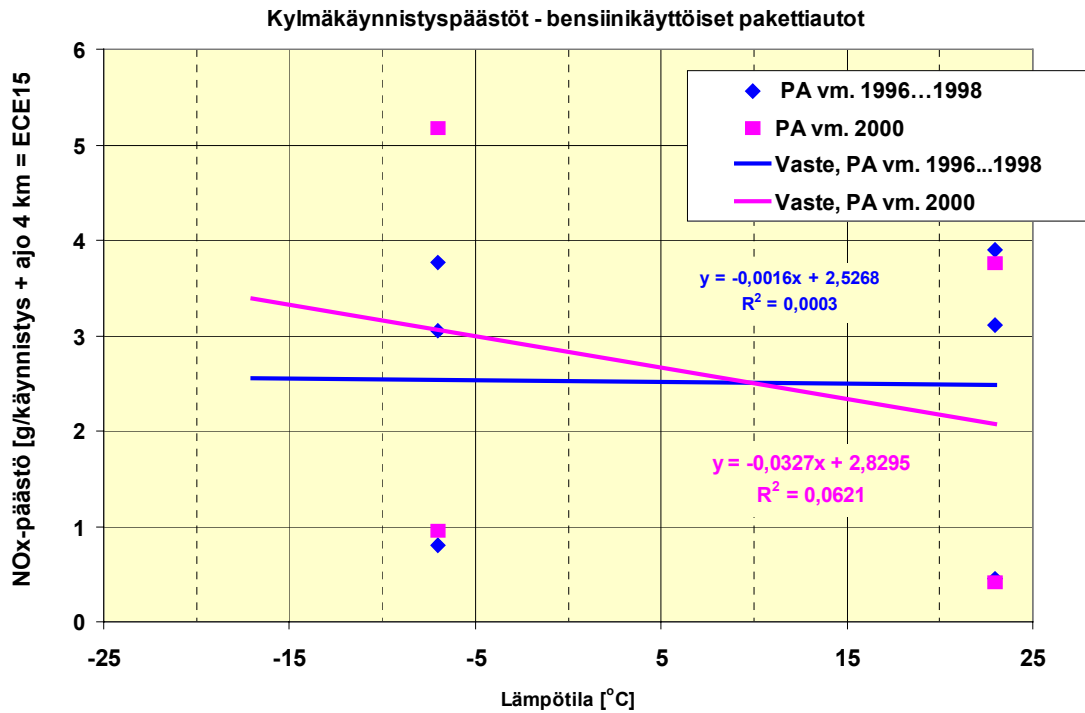
Koetuloksien ja bensiinikäyttöisten henkilöautojen kanssa samanlaisten teoriaoletusten perusteella on määritetty myös näille raskaille pakettiautoille kylmäkäynnistyspäästöjen lämpötilavasteet, jotka on esitetty kuvissa 1.17, 1.18 ja 1.19.



Kuva 1.17 Kylmäkäynnistysen CO-lisäpäästö käynnistyslämpötilan funktiona; bensiinikäyttöiset raskaat pakettiautot vm. 1996 ... 2000.



Kuva 1.18 Kylmäkäynnistysen HC-lisäpäästö käynnistyslämpötilan funktiona; bensiinikäyttöiset raskaat pakettiautot vm. 1996 ... 2000.



Kuva 1.19 Kylmäkäynnistysen NOx-lisäpäästö käynnistyslämpötilan funktiona; bensiinikäyttöiset raskaat pakettiautot vm. 1996 ... 2000.

Kuvien mukaan näiden raskaiden pakettiautojen kylmäkäynnistysten CO-päästöt ovat samaa suuruusluokkaa kuin vanhempien EU0/EU1 –kat-henkilöautojen, ja hiilivetypäästöt vähän korkeammat kuin saman ikäkauden kat-henkilöautoissa (EURO 2). Oletettavasti lähinnä suuremmasta painosta johtuen NOx-päästöjen taso on noin kaksinkertainen samanikäisiin EURO 2-henkilöautoihin verrattuna, mutta henkilöautojen tapaan NOx-päästöjen lämpötilariippuvuus on näissäkin varsin vähäinen.

OSATEHTÄVÄ 2: LÄMPÖAKUN KENTTÄKÄYTTÖKOE

1 JOHDANTO

Kylmäpäästöjä vähentävänä teknologiana on hankkeessa erikseen arvioitu käynnistyslämmön varaajaa eli lämpöakua, joka sinänsä on automallista ja merkistä riippumaton ”lisävarustetuote”, ja asennettavissa ainakin osaan normaaleista autoista. Kaikkiin autoihin sitä ei kuitenkaan voitane asentaa pääasiassa moottorin ahtauden takia.

Nyt tutkimuksissa ollut akku oli ns. toisen sukupolven akku, jossa lämpöä säilötään vain pelkkään jäähdytysnesteeseen, 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 ”sisäänrakennettuna” 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.

2 TAVOITTEET

Käynnistyslämmön varaajan eli ”lämpöakun” käyttökokeen tavoitteena oli toisaalta todentaa sen käytöllä saavutettavat päästöjen vähenemät ja toisaalta tutkia kenttäkäyttökokeessa sen varauskyvyn säilymistä normaalia käyttöä vastaavissa olosuhteissa.

3 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Lämpöakun 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. Kokeet suoritettiin samaan tapaan kuin Osatehtävä 1 yhteydessä. Niissä verrattiin ilman akua mitattuihin peruspäästöihin sekä tapausta, jossa ei käytetty esi-kierrätystä, että sellaista toimintatapaa, jossa nesteen annettiin kierrättää akkupaketissa olevan pienen sähköpumpun avulla 40 sekuntia ennen moottorin käynnistystä. Tämä aika oli kenttäkokeissa todettu useimmissa tapauksissa olevan riittävä huippulämpötilan saavuttamiseksi.

4 TUTKIMUKSEN TULOKSET

Talvikaudella joului-maaliskuu 2000 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 2.1.

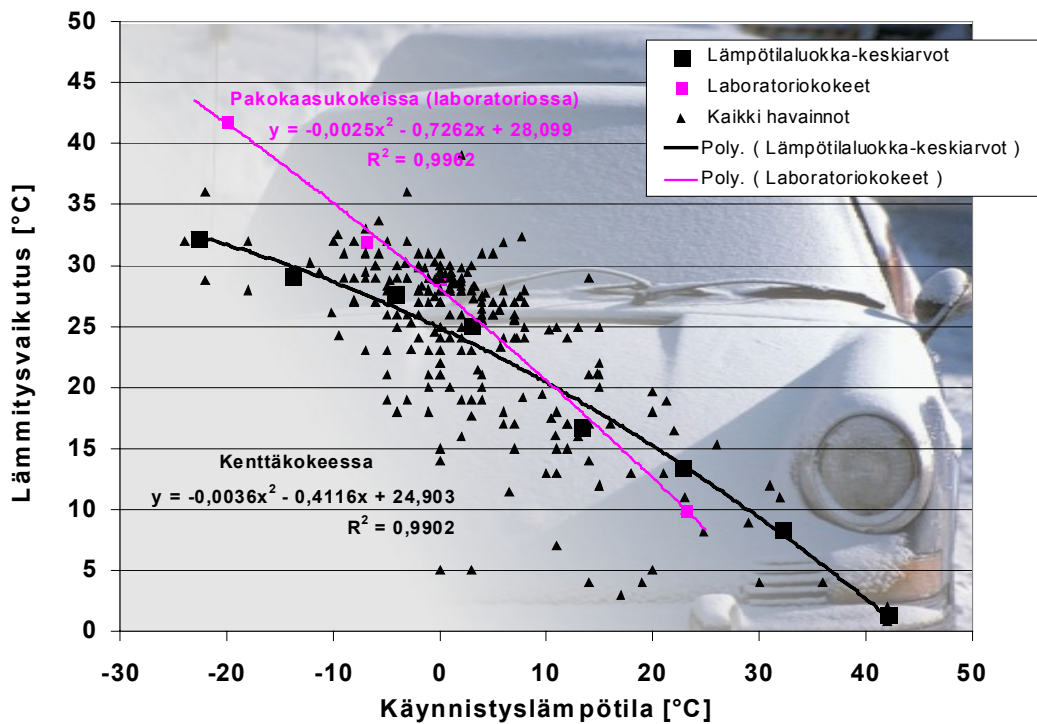
Taulukko 2.1. Yhteenveto lämpöakun toiminnasta Toyota Carina E -koeautossa

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 %

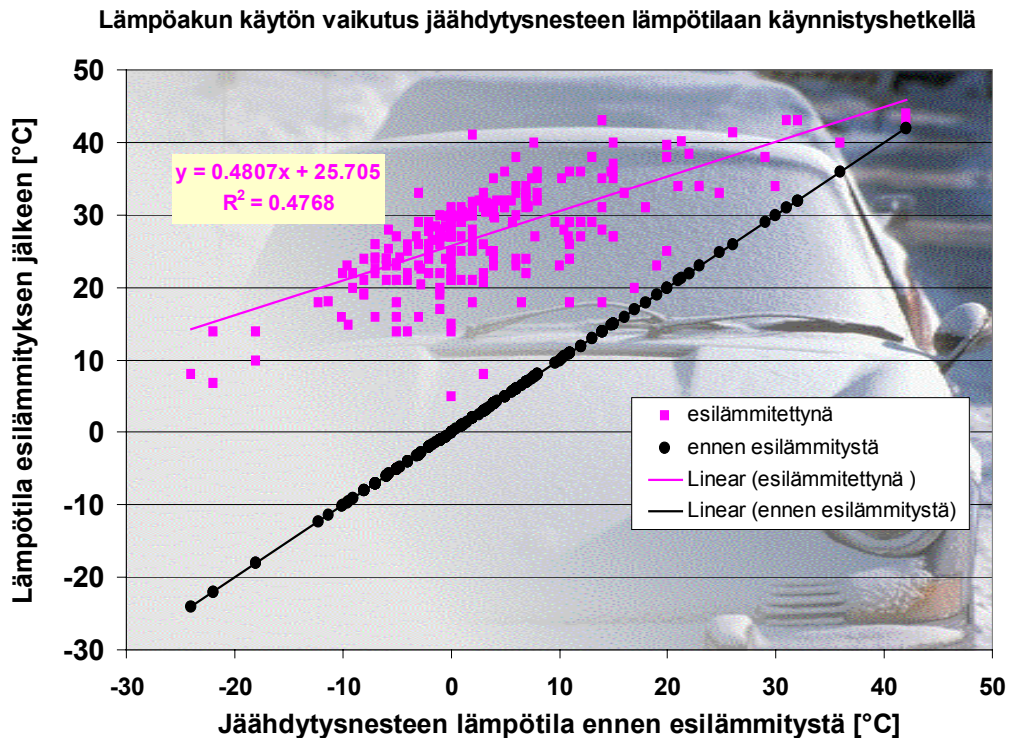
Akun antaman lämmitysvaikutuksen todettiin olevan varsin hyvä, sillä se kykeni nostamaan noin 40...60 s esikierrätyksellä nesteen lämpötilaa 5...35 °C.. Tämä nähdään kuvasta 2.1, jossa on esitetty jäähtyksenesteen lämpötilan nousu ennen käynnistystä ulkolämpötilan funktiona sekä kenttäkokeessa että laboratoriomittauksissa. Esilämmityksen ansiosta nesteen lämpötila ennen käynnistystä oli noin +10...45 °C lämpötila-alueella -25...+40 °C, mikä nähdään kuvasta 2.2

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 2.3, jossa jäähtyksenesteen lämpötila ennen käynnistystä on esitetty ajotapahtumien välisen seisonta-ajan funktiona. Erikseen on merkitty ne käynnistykset, joissa edellinen ajo on jäänyt kestoaltaan alle 30 minuutin mittaiseksi, jolloin ei ole täyttä varmuutta siitä, että moottori on täysin lämmennyt ja lämpöakkuun varautuneen nesteen lämpötila on ollut riittävä korkeaa.

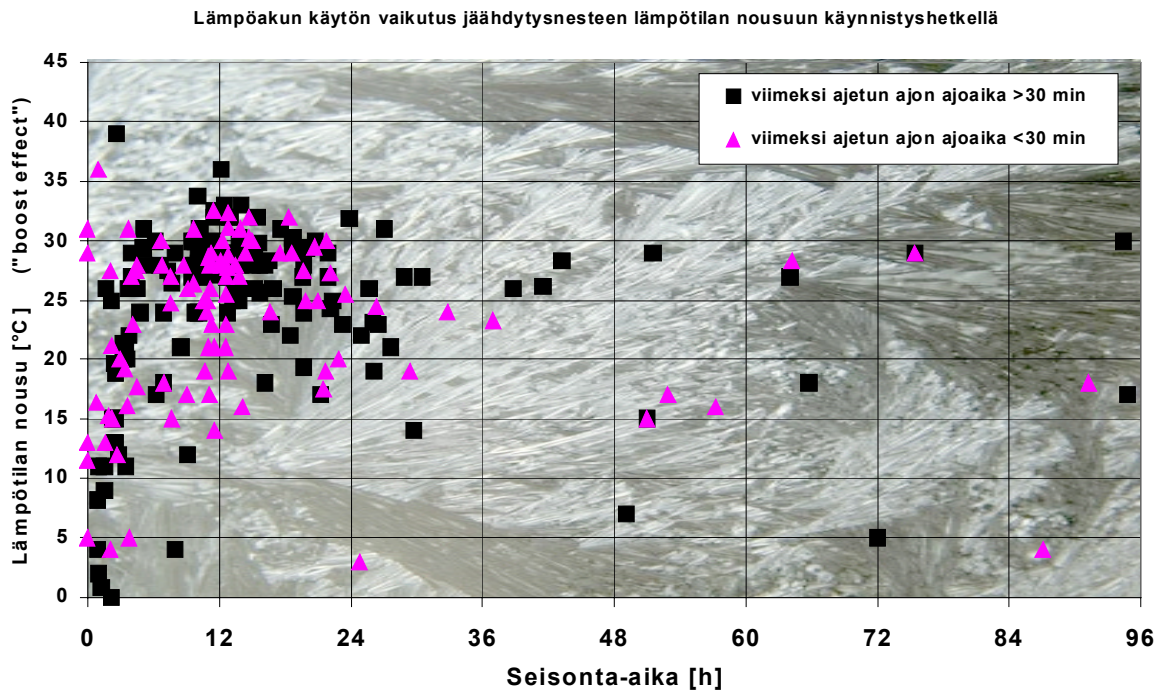
Lämpöakun käytön – ts. moottorin esilämmitysvaikutuksen - vaikutuksia pakokaasupäästöihin esittävät kuvat 2.4, 2.5 ja 2.6, joissa on esitetty erikseen CO, HC, ja NO_x -päästötulokset eri koelämpötiloissa.



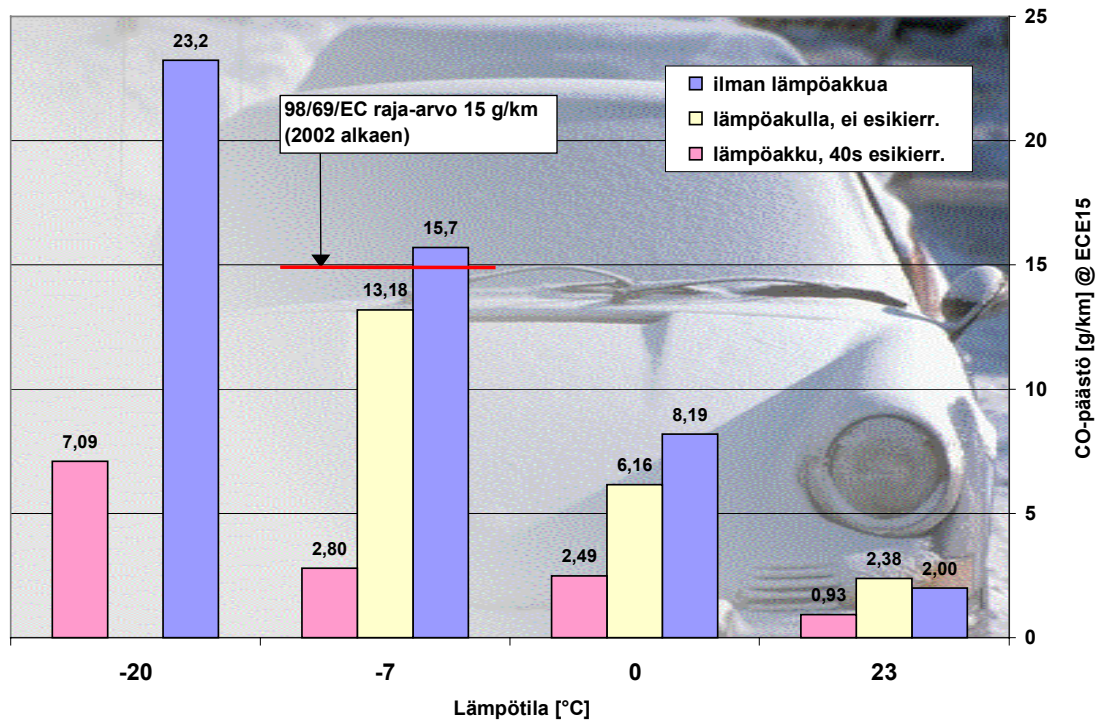
Kuva 2.1. Jäähdytysnesteen lämpötilan nousu ennen käynnistystä eri ulkolämpötiloissa.



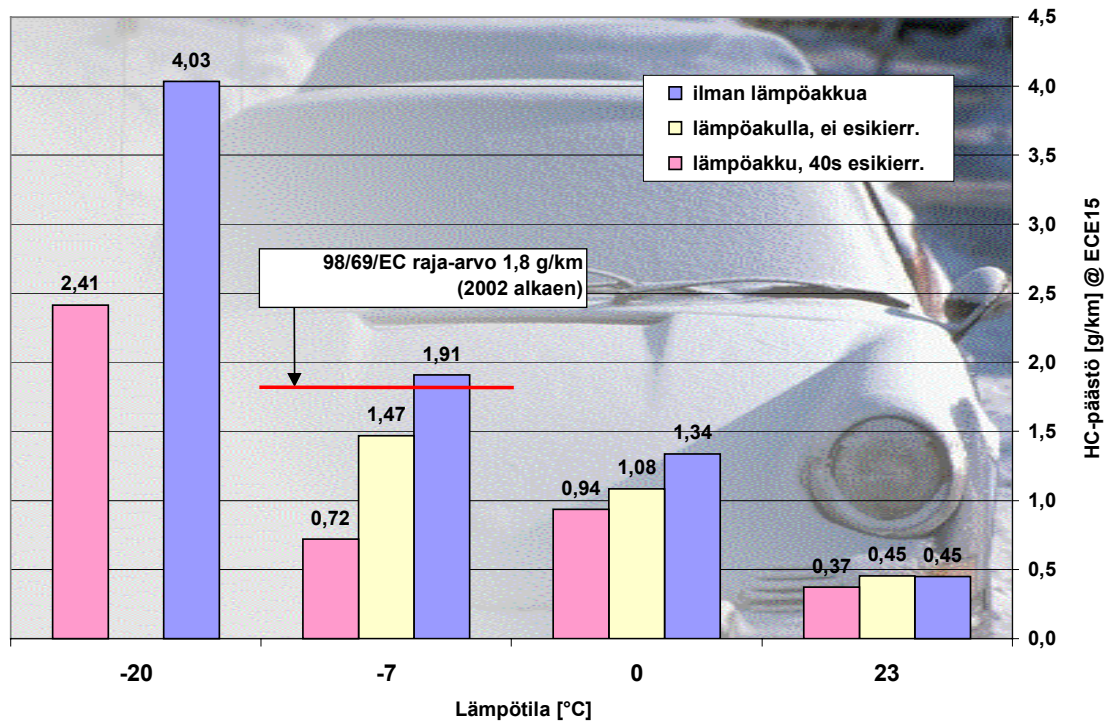
Kuva 2.2. Jäähdytysnesteen lämpötila ennen käynnistystä eri ulkolämpötiloissa.



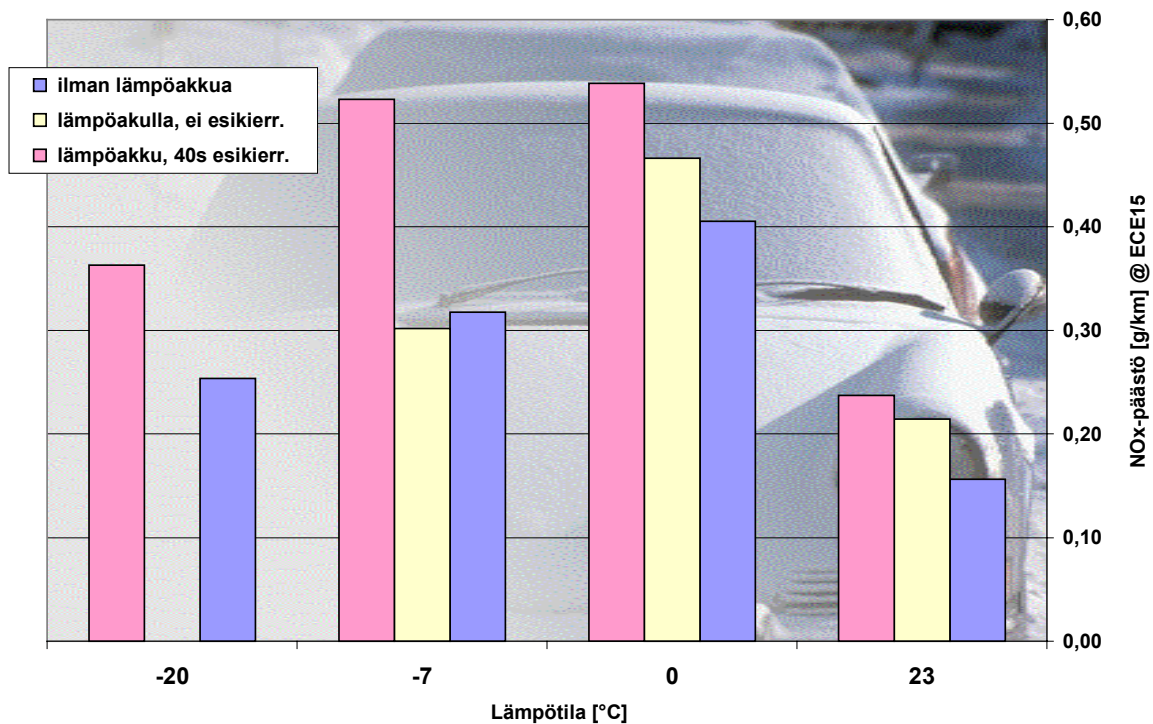
Kuva 2.3. Jäähdytysnesteeseen lämpötila ennen käynnistystä eri seisonta-ajoilla.



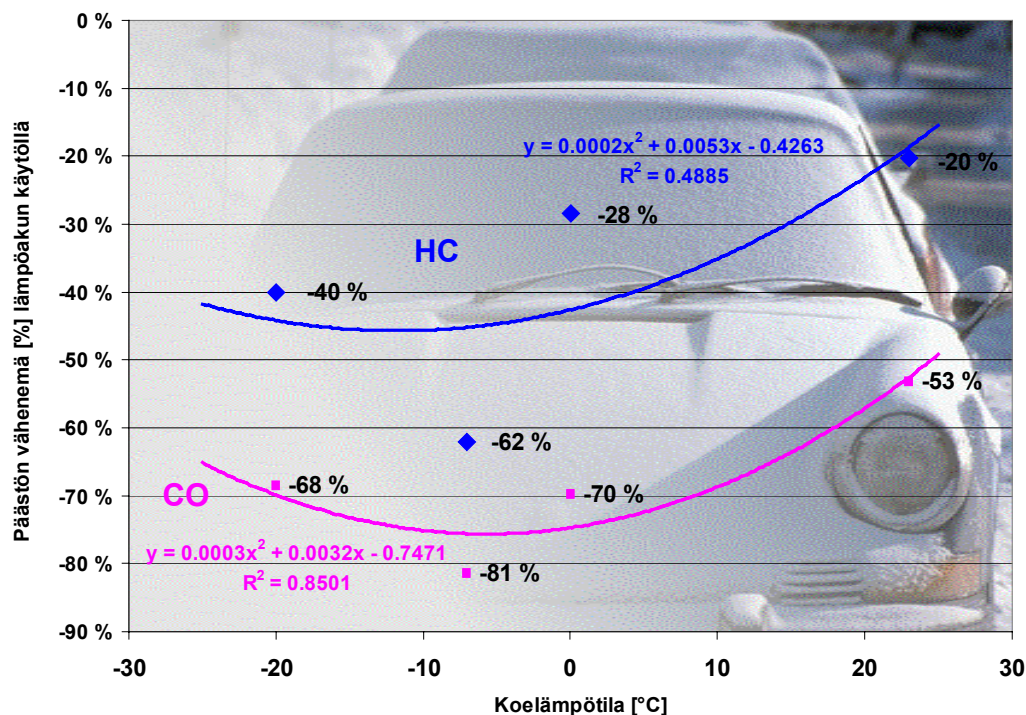
Kuva 2.4. CO-päästöt eri koelämpötiloissa ilman lämpöakkua ja akkua käytettäessä.



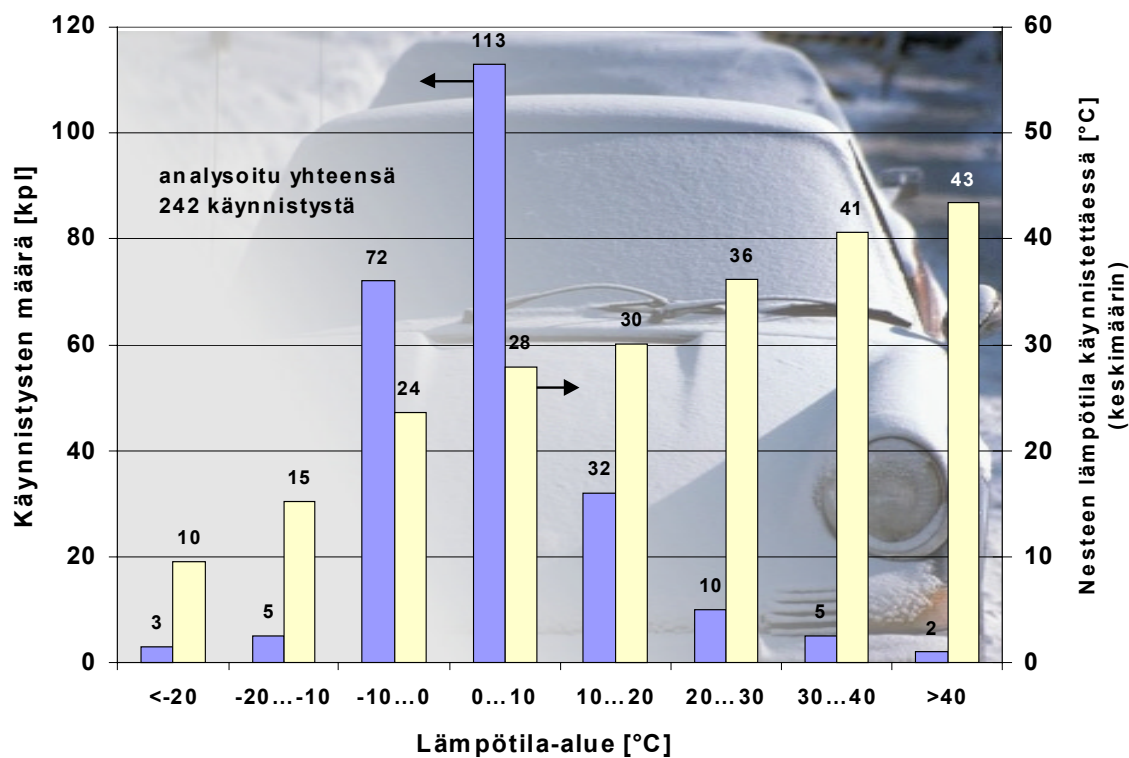
Kuva 2.5. HC-päästöt eri koelämpötiloissa ilman lämpöakkaa ja akkua käytettäessä.



Kuva 2.6. NO_x-päästöt eri koelämpötiloissa ilman lämpöakkaa ja akkua käytettäessä.



Kuva 2.7. CO- ja HC_x-päästöjen vähenemät eri koelämpötiloissa lämpöakkuä käytettäessä.



Kuva 2.8. Jäähdytysnesteen lämpötilat käynnistyksessä ja käynnistysten määrät kenttäkokeen aikana eri ulkolämpötiloissa lämpöakkuä käytettäessä.

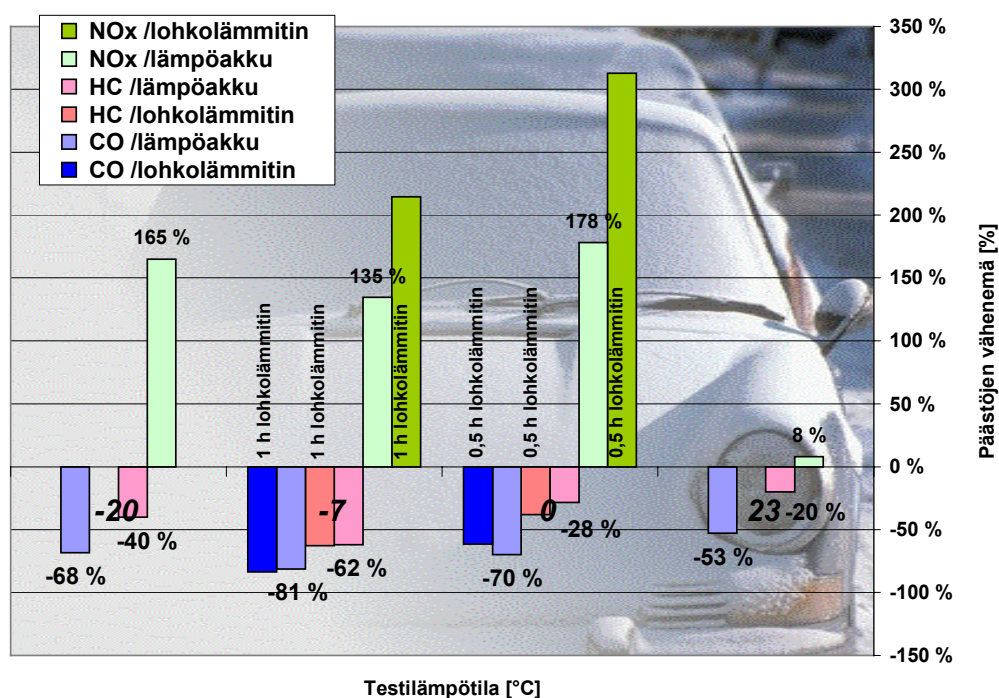
Laboratoriossa tehtyjen pakokaasukokeiden perusteella, joiden tulokset on siis esitetty kuvissa 2.4, 2.5 ja 2.6, lämpöakku vähensi CO-päästöjä 50...80 %, kun käytettiin 40 s mittaista esi-kierrätystä. Myös HC-päästöt vähenivät 20...40%, mutta vastaavasti NOx-päästöt kasvoivat noin 150 %.

Kuvassa 2.7 on esitetty toisaalta lämpöakun käytön antama päästöjen vähenemäpotentiaali eri lämpötiloissa ja kuvassa 2.8 kenttäkokeen aikana rekisteröityjen käynnistysten määrä eri lämpötila-alueilla, sekä niitä vastaavat jäähdytysnesteen/moottorin lämpötilat käynnistys-hetkellä.

Näiden kahden arvon (moottorin lämpötila käynnistyshetkellä ja käynnistysten kumuloituvaa määrää) perusteella voidaan arvioida kokonaisvaikutusta, joka lämpöakun käytöllä oli kokeen aikana, sillä nesteen/moottorin lämpötilasta voidaan kuvan 2.7 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

Lämpöakun käytöllä saavutetut vähenemät ovat suurin piirtein samaa suuruusluokkaa kuin lohkolämmittimellä saavutetut. Tämä vertailu on esitetty kuvassa 2.9. 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 yleistymisen on ollut kovin hidasta, sillä sen asentaminen lisävarusteena on hankalaa, eikä sitä vielä valinnaisena varusteenakaan tarjoa mikään automerkki. Tässäkin tutkimuksessa saatujen hyvien tulosten valossa markkinointiponnisteluja kannattaisi kuitenkin jatkaa.



Kuva 2.9. Lämpöakun ja lohkolämmittimen käytön ansiosta saavutettu päästöjen vähenemä eri koelämpötiloissa.

OSATEHTÄVÄ 3: EU-TUTKIMUKSEEN OSALLISTUMINEN

Projektin tavoitteena on ollut myös päästä osalliseksi EU:n piirissä tehtävään, aihealuetta eli kylmäkäytön pakokaasupäästöjä koskevaan tutkimustoimintaan. Suunnitelman mukaisesti hakemuksia jätettiin syksyllä 1999 5. puiteohjelmaan ("KASVU" alueelle) yhteensä 3 kpl eri konsortioiden osana (EEMOT, ARTEMIS ja OFF-CYCLE); joissa kaikissa osa-aihealueena oli kylmäpäästötietojen syventäminen.

Näistä vain yksi hanke (ARTEMIS) sai rahoitusta ja käynnistyslupaa jo tammikuussa 2000. Sitä varten perustettiin uusi projekti, joka MOBILE²-tutkimuskokonaisuudessa sai nimen "Henkilöautojen pakokaasupäästöt ja päästömittauksien tarkkuuden parantaminen (EU FP5 ARTEMIS)", ja tunnuksen M2T0028. Varsinainen tutkimustoiminta alkoi kuitenkin vasta alkuvuonna 2001, koska lähes koko vuosi 2000 kului tarkemman työsuunnitelman ja komission asettamien lisätehtävien suunnittelussa..

VTT Energian osuus liittyy ARTEMIS-hankkeen osioon WP 300: "Establishment of reliable emission factors for passenger cars and light duty commercial vehicles", ja sen sisällä alatehtävät, joissa ollaan mukana ovat: Task 310: "Accuracy of exhaust emissions measurements on vehicle bench", jonka alatehtävässä Task 3125 "Vehicle cooling" VTT tutkii jäähdytyspuhaltimen koon ja käytön vaikutuksia 6 auton otoksella (4 bensiini ja 2 diesel), ja alatehtävässä Task 3153: "Ambient humidity ", selvitetään ilman kosteuden vaikutusta noin 12 auton kokeilla (bensiini- ja dieselkäyttöiset).

Lisäksi alatehtävässä Task 3151: "Ambient temperature ", ja osatehtävässä Task 320/322 "Exhaust emission at low temperatures and non-regulated exhaust emissions" määritetään lämpötilan vaikutusta päästöihin 12-15 bensiinikäyttöisen auton otoksella, joista mitataan myös runsaasti ei säänneltyjä päästöjä, ml. hiukkaspäästöt.

VTT osallistuu myös osatehtävään Task 316: "Round robin tests", jossa bensiini- ja dieselkäyttöiset autot kiertävät testattavana kaikissa hankkeeseen osallistuvissa pakokaasulaboratorioissa

Koko ARTEMIS-projektissa on 35 partneria, ja sen WP300 osiossa ovat VTT Energian lisäksi mukana INRETS (Ranska), Univ. Thessaloniki (Kreikka), Tech. Univ Graz (Itävalta), EMPA (Sveitsi), TNO (Hollanti), Istituto Motori (IM, Italia), KTI (Unkari) ja liitännäisenä MTC (Ruotsi).

Koska hanke on vielä kesken, on sovittu, että sen tuloksia ei vielä esitellä julkisesti konsortion ulkopuolisille.

OSATEHTÄVÄ 4: GRPE-TOIMINTAAN OSALLISTUMINEN

Liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) määrittämänä lisätehtävänä hankkeen puitteissa osallistuttiin vuonna 2001 myös Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomission (UNECE) ajoneuvojen tekniikkaa koskevan, kansainvälisiä määräyksiä valmistelevan toimielimen Working Party 29 (WP29) alaisen, pakokaasupäästöjä ja energian kulutusta koskevia kysymyksiä käsittelevän ja mainittuja asioita koskevia sääntöjä valmistelevan GRPE-alatyöryhmän (Group of Rapporteurs on Pollution and Energy) kokouksiin.

Kokousraportit mainitusta toiminnasta on laadittu ja toimitettu Liikenne- ja viestintäministeriölle, mutta koska kokoukset ja niiden asiakirjat ovat periaatteessa luonteeltaan ei-julkisia (restricted) valmisteltavien asioiden osalta, ei niitä ole tähän raporttiin sisällytetty.