



# RASKAS AJONEUVOKALUSTO: TURVALLISUUS, YMPÄRISTÖOMINAI- SUUDET JA UUSI TEKNIikka "RASTU"

## Vuosiraportti 2007

Kirjoittajat Toimittanut Nils-Olof Nylund

Julkisuus: Julkinen

<b>Suorittajaorganisaatio ja osoite</b> VTT PL 1604 02044 VTT  <b>Projektin vastuhenkilö</b> Matti Kytö  <b>Projektin asiakirjanumero (VTT)</b>	<b>Tilaaja</b> RASTU-hanke  <b>Tilaajan yhdyshenkilö</b>  <b>Tilaajan tilaus- tai viitenumero</b>
<b>Hankkeen nimi, lyhytnimi ja suoritettunus</b> Raskas ajoneuvokalusto: Turvallisuus, ympäristöominaisuudet ja uusi tekniikka, RASTU 3155	<b>Raportin numero ja sivumäärä</b> 85 s. + liite 1 s.  <b>Päiväys</b> 15.5.2008

<b>Projektiraportin nimi ja kirjoittajat</b> Raskas ajoneuvokalusto: Turvallisuus, ympäristöominaisuudet ja uusi tekniikka ”RASTU”. Vuosiraportti 2007. Toimittanut Nils-Olof Nylund
--

<b>Tiivistelmä</b> Raskaiden ajoneuvojen polttoaineen säästöön tähtäävä tutkimustyö jatkuu kolmivuotisen (2006 – 2008) ”RASTU”-hankkeen puitteissa. Tehtäväkenttää on kuitenkin laajennettu, ja kokonaisuuteen sisältyy nyt enemmän päästöihin, IT-sovelluksiin ja turvallisuuteen liittyviä tehtäviä. Hankkeessa on mukana viisi tutkijaosapuolta ja lähes 20 eri rahoittajaa. Tutkimuksellisia alatehtäviä on yhteensä 9.  Vuonna 2007 tutkimus jatkui pääasiassa suunnitelmien mukaisesti. Bussimittauksia tehtiin yli 20. Mitattujen autojen joukossa oli 3 EEV-tasoista dieselautoa, ja kaikki osoittautuivat varsin vähäpäästöisiksi. Kuorma-autojen osalta mm. täydennettiin 60-tonnisten autojen mittauksia ja aloitettiin mittaukset 18 tonnin painoluokassa. Biopolttoainetutkimusta tehtiin pakettiautolla ja keskiraskaalla kuorma-autolla. Voiteluainetutkimusta tehtiin nyt alustadynamometrissa. Mittauksissa havaittiin, että automaattivaihteiston öljyvalinnalla polttoaineen kulutusta voidaan laskea noin 3 %.  Ajoneuvotekniikan osalta tutkittiin mm. perävaunujen kevytrakennetekniikkaa, täysperävaunuyhdistelmien stabiiliutta ja renkaiden vaikutusta polttoaineen kulutukseen. Stabiiliteettitutkimuksen tuloksena voitiin esittää suositus varsinaisen perävaunun optimaalisesta rengastuksesta. Rengastutkimuksessa vertailtiin niin linja-autojen, kuorma-autojen kuin perävaunujen renkaita. Laiteongelmat haittasivat ajoneuvojen IT-sovellusten tutkimusta. Liukkauden tunnistuksen algoritmi voitiin osoittaa toimivaksi, mutta verifiointia haittasi ajoneuvolaitteiden toimimattomuus. Tämä johti mm. siihen, että dataa jouduttiin varsin pitkälle käsittelemään manuaalisesti. Ajo-opastinlaitteistot asennettiin 15 bussiin, mutta aktiivista ajo-opastusta ei saatu kytkettyä toimintaan vielä 2007.  Vuonna 2007 hankkeesta valmistui kolme diplomityötä, kaksi ajoneuvotekniikkaan ja yksi seuranta- ja kannustinjärjestelmiin liittyen.
---

<b>Jakelu:</b> RASTU –johtoryhmä  <b>Päivitykset:</b>	<b>Julkisuus</b> Julkinen  <b>Päivämäärä:</b>
--	--

<b>Projektin vastuhenkilö</b>  Matti Kytö	<b>Tarkastus- ja hyväksymisallekirjoitukset</b>  Jukka Lehtomäki
---	--

# SISÄLLYSLUETTELO

ESIPUHE.....	2
<b>1</b> <b>VUOSIEN 2006 – 2008 TUTKIMUSKOKONAISUUS “RASTU”.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b> <b>VUODEN 2006 TOIMINTA .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b> <b>EURO 4/5/EEV –AUTOJEN SUORITUSKYKY (OT 1) .....</b>	<b>6</b>
3.1    KAUPUNKIBUSSIEN MITTAUKSET.....	6
3.1.1    Yleistä .....	6
3.1.2    Typen oksidit ja partikkelit.....	8
3.1.3    Hiilidioksidipäästöt ja energiatehokkuus.....	10
3.1.4    Seuranta-autot.....	12
3.2    KUORMA-AUTOJEN MITTAUKSET .....	16
3.2.1    Yleistä .....	16
3.2.2    Seurantamittaukset .....	16
3.2.3    60–tonnisten autojen vertailumittaukset.....	18
3.2.4    42–tonnisten autojen vertailumittaukset .....	22
3.2.5    18–tonnisten jakeluautojen vertailumittaukset.....	23
<b>4</b> <b>EURO 4/5/EEV –AUTOJEN POLTTO- JA VOITELU-AINEET (OT 2).....</b>	<b>26</b>
4.1    YLEISTÄ .....	26
4.2    POLTTOAINEKOKEET .....	26
4.2.1    Kevyen kaluston kokeet .....	26
4.2.2    Raskaan kaluston kokeet .....	28
4.3    VOITELUAINEKOKEET.....	32
4.4    LIIKENTEEN POLTTOAINEVAIHTOEHDOT –KEHITYS-TILANNERAPORTTI.....	34
<b>5</b> <b>AJONEUVOTEKNINEN KEHITYSTYÖ (OT 3).....</b>	<b>35</b>
5.1    YLEISTÄ .....	35
5.2    KEVYTRAKENNETEKNIikka (TKK) .....	35
5.2.1    Yleistä .....	35
5.2.2    Suomen tilanne .....	35
5.2.3    Kevennysvaihtoehtoja .....	37
5.2.4    Simulointi .....	38
5.2.5    Johtopäätökset ja yhteenveto.....	40
5.3    MODUULIYHDISTELMIEN STABILITEETTI JA RENKAIDEN VAIKUTUS (TKK) .....	41
5.3.1    Tehtävä .....	41
5.3.2    Stabiilius ja ajokäyttäytyminen.....	42
5.3.3    Ajokokeet.....	43
5.3.4    Aikaisemmat tutkimukset ja simuloinnit .....	43
5.3.5    Moduuliyhdistelmän rakenne ja renkaat.....	44
5.3.6    Stabiiliuden mittaaminen .....	45
5.3.7    Simulointi .....	46
5.3.8    Yhteenveto ja suositukset.....	47
5.4    42/60-TONNISTEN AJONEUVOYHDISTELMIEN ENERGIA-TEHOKKUUSVERTAILU (VTT) .....	48
5.4.1    Tavoite .....	48
5.4.2    Mittaukset maantiellä.....	48
5.5    RENGASMITTAUKSET .....	49
5.5.1    Yleistä .....	49
5.5.2    Koekalusto.....	50
5.5.3    Mitatut renkaat.....	50
5.5.4    Vetävien renkaiden vaikutus polttoaineen kulutukseen.....	53

5.5.5	Vierinvastuksen määrittely.....	55
<b>6</b>	<b>AJONEUVOJEN IT-SOVELLUKSET (OT 4).....</b>	<b>57</b>
6.1	LINJA-AUTOJEN AJO-OPASTIN .....	57
6.1.1	Yleistä .....	57
6.1.2	Vuoden 2007 työt.....	57
6.2	LIUKKAUDEN JA KUORMANPAINON AUTOMAATTINEN TUNNISTUS .....	58
6.2.1	Yleistä .....	58
6.2.2	Vuoden 2007 työt VTT:n osalta.....	59
6.2.3	Vuoden 2007 työt Oulun yliopiston osalta .....	59
<b>7</b>	<b>LINJA-AUTOJEN LIIKENNÖINNIN OPTIMOINTI (OT 5) .....</b>	<b>62</b>
7.1	TAUSTA.....	62
7.2	VUODEN 2007 TYÖT.....	62
<b>8</b>	<b>KULJETUSALAN ENERGIATEHOKKUUDEN HALLINTA- JA KANNUSTINJÄRJESTELMÄT (OT 6).....</b>	<b>66</b>
8.1	TAUSTA.....	66
8.2	VUODEN 2007 TYÖT.....	66
8.3	OSAHANKKEEN JATKOTOIMENPITEET.....	70
<b>9</b>	<b>ENERGIANSÄÄSTÖTOIMENPITEIDEN TEHOKKUUDEN ARVIOINTI (OT 7).....</b>	<b>72</b>
9.1	YLEISTÄ .....	72
9.2	VUODEN 2007 TYÖT.....	72
<b>10</b>	<b>MENETELMÄKEHITYS (OT 8).....</b>	<b>75</b>
10.1	YLEISTÄ .....	75
10.2	ERA-NET TRANSPORT .....	75
10.3	DIREKTIIVIEHDOTUS YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISTEN JA ENERGIATEHOKKAIDEN AJONEUVOJEN EDISTÄMISESTÄ .....	76
<b>11</b>	<b>PAKOKAASUTUTKIMUS (OT 9).....</b>	<b>78</b>
11.1	YLEISTÄ .....	78
11.2	RASKAIDEN AJONEUVOJEN ALUSTADYNAMOMETRI-MITTAUKSET 2007 .....	79
11.2.1	Bussit.....	79
11.2.2	Kuorma-autot.....	81
<b>12</b>	<b>YHTEENVETO.....</b>	<b>82</b>

## ESIPUHE

VTT toteuttaa yhteistyössä muiden tutkimusyksiköiden kanssa vuosina 2006 – 2008 raskaiden ajoneuvojen päästöä ja energian käyttöä koskevan tutkimuskokonaisuuden. Hankekokonaisuus on jatkoa vuosien 2003 – 2005 polttoaineen säästötutkimukselle. Tehtäväkenttää on laajennettu, ja kokonaisuuteen sisältyy nyt enemmän päästöihin, IT-sovelluksiin ja turvallisuuteen liittyviä tehtäviä.

Hankkeessa on mukana viisi tutkijaosapuolta ja noin 20 eri rahoittajaa. Suomalaisten rahoittajien lisäksi mukana ovat myös Ranskan energiaviranomainen ADEME ja Ruotsin tiehallinto Vägverket.

Vuoden 2006 toiminnan osalta laadittiin kaksi erillistä vuosiraporttia, suppeampi englanninkielinen versio ja laajempi suomenkielinen versio. Käsillä oleva raportti on vuoden 2007 vuosiraportti, josta vuoden 2006 tapaan tullaan laatimaan myös englanninkielinen versio.

Toiminta jatkui suunnitelmien mukaan vuonna 2007. Mittauksiin saatiin uusia, entistä paremmin toimivia dieselajoneuvoja. Positiivista on, että sekä säännellyt päästöt että polttoaineen kulutus näyttäisivät olevan laskusuunnassa. Tämä pätee varsinkin raskaimpiin kuorma-autoihin. VTT:n raskaan kaluston mittaukset ovat herättäneet kansainvälistä huomiota, ja tuloksia on esitelty niin U.S. Department of Energy kuin kansainvälisen energiajärjestön IEA:n järjestämissä seminaareissa. Ajoneuvotekniikan osalta tutkittiin mm. kevytrakennetekniikan ja rengasvalintojen potentiaalia polttoaineen säästössä. TKK:lla valmistui diplomityö jossa ansiokkaasti selvitettiin rengastuksen vaikutuksia ajoneuvoyhdistelmän stabiliteettiin. Myös ajoneuvojen IT-sovelluksia on edistetty.

Espoo 15.5.2008

Nils-Olof Nylund  
Hankkeen koordinaattori

# 1 VUOSIEN 2006 – 2008 TUTKIMUSKOKONAISUUS “RASTU”

Vuosien 2003 – 2005 tutkimuskokonaisuus painottui vahvasti raskaan kaluston energian säästöön. RASTU-kokonaisuudessaakin energiansäästöteema on varsin keskeinen, mutta nyt päästöt saavat enemmän painoarvoa. RASTU-hankkeseen on yhdistetty aiemmin erillisinä hankkeina toteutetut bussien ja kuorma-autojen päästömittausprojektit. Lisäksi toimintakenttää on laajennettu siten, että raskaan kaluston turvallisuustason parantaminen esim. IT–tekniikka hyödyntämällä ovat saaneet hankkeessa tärkeän sijan.

RASTU:n tavoitteet ovat tiivistetysti:

- Uusiutuvien ajoneuvojen (Euro 4, Euro 5, EEV) todellinen suorituskyky
  - energiatehokkuus ja pakokaasupäästöt todellisissa ajotilanteissa
  - kehitystyö tähtäimessä raskaiden ajoneuvojen ”ekomerkinä”
  - uuden ajoneuvotekniikan mahdollisimman tehokas soveltaminen Suomen olosuhteisiin
  - poltto- ja voiteluaineiden optimointi uuteen ajoneuvokalustoon
- IT-tekniikan kehittäminen raskaan kaluston energiankäytön tehostamiseen sekä turvallisuus- ja palvelutason lisäämiseen
- Ajoneuvotekniset ratkaisut polttoaineen kulutuksen vähentämiseksi
- Energiaa säästävien toimenpiteiden todentaminen ja siirto kuljetusyrityksiin, kuorma- ja linja-autoliikenteen energiansäästösopimusten tukeminen, seurantajärjestelmien kehitystyö
- Uuden ajoneuvotekniikan vaikutukset taajamailman laatuun (NO<sub>2</sub>/PM )

Seuraavat tutkimusosapuolet osallistuvat hankkeen toteutukseen:

- VTT
- Oulun yliopisto, sähkö- ja tietotekniikan osasto
- Tampereen Teknillinen Yliopisto, tiedonhallinnan ja logistiikan laitos
- Teknillinen Korkeakoulu, autotekniikka
- Turun ammattikorkeakoulu
- TEC TransEnergy Consulting Oy, koordinaatio

VTT toimii hankkeen vastuuyksikkönä. Koordinaatiosta vastaa TEC TransEnergy Consulting Oy ja viestinnästä Motiva Oy.

Hankkeeseen sisältyi vuosina 2006 – 2007 yhteensä 10 alaprojektia (9 tutkimuksellista alaprojektia, vastuutahot suluissa):

1. Euro 4/5/EEV –autojen suorituskyky (VTT)
2. Euro 4/5/EEV –autojen poltto- ja voiteluaineet (VTT)
3. Ajoneuvotekninen kehitystyö (TKK, VTT)
4. Ajoneuvojen IT–sovellukset (VTT, OY)
5. Linja-autojen liikennöinnin optimointi (VTT)
6. Kuorma-autoalan energiatehokkuuden hallinta- ja kannustinjärjestelmät (TTY, EC Tools)
7. Energiansäästötoimenpiteiden tehokkuuden arviointi (VTT, TTY)
8. Menetelmäkehitys (VTT)
9. Pakokaasututkimus (VTT)
10. Koordinaatio ja viestintä (TEC TransEnergy Consulting Oy, VTT PRO, Motiva)

Suurin osa hankkeen raporteista on julkisia (saatavissa hankkeen verkkosivuilta osoitteesta [www.rastu.fi](http://www.rastu.fi)). Koko hanke ja kaikki sen alatehtävät raportoidaan suomeksi, ja osa hankkeesta raportoidaan myös englanniksi.

Helsingin kaupunki, HKL, YTV ja RASTU järjestivät yhteistyössä seminaarin ”Liikenteen ympäristöhaasteet – Ilmasto ja ilmanlaatu” Helsingissä 4.12.2007. Osallistujia oli yli 100. Aamupäivä painottui Helsingin ja YTV:n toimiin päästöjen vähentämiseksi, kun taas iltapäivällä käsiteltiin RASTU-aihepiiriä ja teknisiä keinoja päästöjen vähentämiseksi

RASTU:n vuotuinen budjetti on noin 800.000 € Päärahoittaja on Tekes – teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskus ja sen ClimBus-teknologiaohjelma. Muita rahoittajia ovat mm. Ajoneuvohallintokeskus, Liikenne- ja viestintäministeriö, Helsingin kaupungin liikennelaitos HKL ja YTV. Lisäksi hanketta rahoittaa joukko yrityksiä ja kuljetusliikkeitä.

Ulkomaalaisia rajoittajia on kaksi, Ranskan energiaviranomainen ADEME ja Ruotsin tiehallinto Vägverket. Englanninkielinen raportointi tapahtuu ensisijaisesti näitä rahoittajia ajatellen. Hankkeesta tullaan tuottamaan sekä vuosiraportteja että hankkeen lopussa yhteenvetoraportti. Täydellinen listaus rahoittajista on esitetty liitteessä 1.

Vuonna 2007 projektikokonaisuus eteni pääosin suunnitelmien mukaisesti, joskin pieniä viivästyksiäkin on esiintynyt. Alatehtävässä 4. (ajoneuvojen IT–sovellukset) on edelleenkin jouduttu venyttämään aikatauluja laiteongelmista johtuen.

Luvussa 2 esitetään lyhyt yhteenveto vuoden 2006 toiminnasta, ja luvusta 3 eteenpäin kerrotaan osatehtäväkohtaisesti hankkeen edistymisestä vuonna 2007. Lukujen otsikkoihin on sisällytetty osatehtävän (OT) numero. Vuoden 2006 raportin tapaan mitattujen autojen tyyppit ja mallimerkinnot ilmoitetaan ilman koodausta.

## 2 VUODEN 2006 TOIMINTA

Vuoden 2006 toiminta raportoitiin 25.5.2007 päivätyssä vuosiraportissa. Raportin tiivistelmässä todettiin seuraavaasti:

*”Vuonna 2006 projektikokonaisuus eteni pääosin suunnitelmien mukaisesti. Vuonna 2006 pystyttiin mittaamaan peräti 12 uutta Euro 4- ja Euro 5 –tasoista autoa. Kaupunkibusseilla tehdyt pakokaasumittaukset osoittavat että tämänhetkisellä tekniikan tasolla sekä EGR- että SCR –autojen toiminnassa on puutteita kaupunkiajossa. Raskaan kuormituksen alla toimivat kuorma-autot taas näyttäisivät keskimäärin toimivan varsin hyvin päästöjen osalta. Raskaissa kuorma-autoissa SCR-tekniikka antaa tällä hetkellä EGR-tekniikkaa alhaisemmat käyttökustannukset. Tulokset julkaistaan nyt merkki- ja mallikohtaisesti. Polttoaineiden osalta tutkittiin sekä biopohjaisen NExBTL:n että ruotsalaisen MK1-dieselpolttoaineen vaikutuksia päästöihin uusissa autoissa. Moottoriöljyjen osalta toteutettiin laaja mittaussarja moottoridynamometriin asennetulla SCR-moottorilla.*

*Ajoneuvotekniikkaan liittyen vuonna 2006 tutkittiin mm. raskaiden ajoneuvojen aerodynamiikkaa (diplomityö), ajoneuvojen painoja ja raskaiden autojen renkaita. Bussien ajo-opastimien asennukset saatiin käyntiin loppuvuodesta 2006. LIKU-laitteiden (liukkauden- ja kuorman tunnistus) asennus raskaisiin ajoneuvoyhdistelmiin alkoi keväällä 2006, mutta laiteongelmista johtuen kelpollista dataa saatiin vasta syksystä 2006 alkaen. Vuoden 2006 aikana kehitettiin mm. uusi impulssiperustainen kuormantunnistusmalli ja siihen adaptiivisuus. Energiatehokkuuden hallinta- ja kannustinjärjestelmistä valmistui diplomityö. Menetelmäkehityksessä keskityttiin renkaista aiheutuvien mittausvirheiden eliminointiin. Lisäksi raskaiden ajoneuvojen ekomerkitään tähtäävä työ käynnistyi ERA-NET TRANSPORT –yhteistyönä.”*

## 3 EURO 4/5/EEV –AUTOJEN SUORITUSKYKY (OT 1)

Vastuutaho: VTT

Teksti: Kimmo Erkkilä, Petri Laine & Nils-Olof Nylund

Vuoden 2007 mittauksista ei ole laadittu erillisiä raportteja. Edellisinä vuosina bussimittauksista (RAKEBUS) on laadittu useita erillisraportteja. Raskaiden autojen mittaustuloksia on kuitenkin esitelty useassa kansainvälisessä ja kotimaisessa seminaarissa. Näistä mainittakoon:

- International Conference on Transport and Environment: A global challenge. Technological and Policy Solutions. Milan, Italy, 19-21 March, 2007.
- 57<sup>th</sup> UITP World Congress. Helsinki, 20–24 May, 2007.
- Efficiency Policies for Heavy-duty Vehicles. International Energy Agency. Paris, 21-22 June, 2007.
- 13<sup>th</sup> Diesel Engine Emission Reduction Conference. Detroit, Michigan, Aug 13 – 16, 2007.
- Paikallisliikennepäivät. Pori, 20-21.9.2007.
- Interaction-seminaarit 14.6 ja 14.9.2007 Helsingissä

### 3.1 KAUPUNKIBUSSIEN MITTAUKSET

#### 3.1.1 Yleistä

Vuoden 2007 kaupunkibussimittauksissa pääpaino asetettiin uusimpiin Euro 4/5/EEV – päästötason ajoneuvoihin, sekä uusimpiin EEV-päästötason maakaasuautoihin. Maakaasukäyttöiset bussit ovat HKL:n erityisen mielenkiinnon kohde. Näiden lisäksi vanhempia Euro 2 ja Euro 3 autoja kävi mittauksissa mm. autojen vanhenemisen ja partikkelikatalysaattorien (pDPF) seurantamittausten yhteydessä.

Uudet 2007 tulokset huomioon ottaen VTT:n kaupunkibussien päästötietokanta sisältää nyt yht. 71 dieselkäyttöistä ja 21 maakaasukäyttöistä kaupunkibussia. Yhteensä mitattuja ajoneuvoja on näin ollen 92 kpl, sisältäen seurantamittaukset. Autotyypit päästöluokittain kahdella eri polttoaineella on kerätty taulukkoon 3.1.

Taulukossa 3.2 on esitelty autoyksilöt, jotka mitattiin RASTU-projektissa ja muissa rinnakkaisissa projekteissa 2007, ja joiden tulokset saatiin mukaan kaupunkibussien päästötietokantaan. Muusta joukosta poiketen punaisella merkityt ajoneuvot ovat kevytrakenteisia autoja ja vihreät jälkiasennetulla pDPF-puhdistimella varustettuja autoja. Kahdessa autossa (Volvo Euro 2 ja Scania Euro 3) on Proventian (aik. Finnkatalyt) toimittamat pDPF-hiukkaskatalysaattorit, joiden toimintaa seurataan pitkäaikaiskokeessa.

Taulukko 3.1. Päästötietokannan autotyypit päästöluokittain ja polttoaineen mukaan jaoteltuna.

Diesel-autot:		Maakaasuautot:	
Euro 1	2 kpl	Euro 2	2 kpl
Euro 2	26 kpl	Euro 3	7 kpl
Euro 3	28 kpl	EEV	12 kpl
Euro 4	10 kpl	<b>Yht.</b>	<b>21 kpl</b>
Euro 5	2 kpl		
EEV	3 kpl		
<b>Yht.</b>	<b>71 kpl</b>		

Taulukko 3.2. Mitatut kaupunkibussit 2007

2007	Tunniste	rek no.
Volvo	Brand A (MY99) Euro 2	AIZ-927
Volvo	Brand A (MY04) Euro 3	VSG-460
Volvo	Brand A (MY05) Euro 3	CYJ-154
Scania	Brand C (MY02) Euro 3	ZOF-209
Scania	Brand C (MY05) Euro 3	GFK-597
Scania	Brand C (MY05) Euro 3	CYK-132
Volvo	Brand A (MY06) Euro 4	
Volvo	Brand A (MY07) Euro 4	VPY-601
Scania	Brand C (MY06) Euro 4	FHG-230
Scania	Brand C (MY06) Euro 4	MRG-632
<b>Kabus</b>	<b>Brand G (MY07) Euro 4</b>	
Volvo	Brand A (MY06) Euro 5	OXI-692
Iveco	Brand E (MY07) EEV	BBY-981
Volvo	Brand A (MY07) EEV	
<b>VDL</b>	<b>Brand H (MY07) EEV</b>	<b>BS-BF-23</b>
Volvo	Brand A (MY00) Euro 2	ZIX-131
Scania	Brand C (MY05) Euro 3	GFK-597
Scania	Brand C (MY05) Euro 3	GFK-597
MB	Brand B (MY06) EEV,CNG	JGV-918
MAN	Brand D (MY05) EEV,CNG	CYU-745
MAN	Brand D (MY07) EEV,CNG	JGZ-922
MAN	Brand D (MY06) Euro 5,CNG	CYU-808
MAN	Brand D (MY07) EEV,CNG	GHI-763

Vuonna 2007 mittauksiin saatiin ensimmäiset EEV- sertifioidut dieselautot, Iveco Irisbus, Volvo ja hollantilainen VDL. Kaikki käyttävät SCR-tekniikkaa. Ivecossa ja VDL:ssä on lisäksi varsinainen hiukkassuodatin. Kevytrakenteinen VDL-bussi kävi VTT:llä mittauksissa kahdenkeskisessä toimeksiannossa. Tilaaja antoi luvan julkaista tulokset RASTU-projektissa. VDL-bussissa on Cummins-moottori, johon VDL itse on tehnyt moottoriohjauksen optimoinnin.

Taulukkoon 3.3 on kerätty uusilla tuloksilla päivitettyt päästökertoimet keskusta-ajoon (Braunschweig) ja kaupunkien pääväylille (Helsinki 3). Taulukon 3.2 punaisia ja vihreitä erikoistapauksia ei ole sisällytetty taulukon 3.3 keskiarvoihin.

Taulukko 3.3. Päivitetyt kaupunkibussien päästökertoimet.

Emission chart, updated 08.11.2007

Braunschweig	CO g/km	HC g/km	CH <sub>4</sub> * g/km	NO <sub>x</sub> g/km	PM g/km	CO <sub>2</sub> g/km	CO <sub>2</sub> eqv** g/km	FC kg/100km	FC MJ/km
Diesel Euro 1	1.39	0.32	0.00	15.59	0.436	1219	1219	38.6	16.4
Diesel Euro 2	1.59	0.20	0.00	13.48	0.217	1277	1277	40.9	17.4
Diesel Euro 3	0.83	0.14	0.00	8.65	0.188	1191	1191	38.1	16.2
Diesel Euro 4	3.22	0.05	0.00	6.36	0.096	1171	1171	37.9	16.1
Diesel Euro 5***	3.22	0.05	0.00	3.63	0.096	1171	1171	37.9	16.1
Diesel EEV	2.63	0.01	0.00	4.75	0.023	1098	1098	35.3	15.0
CNG Euro 2	4.32	7.12	6.29	16.92	0.009	1128	1283	42.1	20.1
CNG Euro 3	0.18	1.33	0.90	10.02	0.009	1254	1284	45.8	21.9
CNG EEV	1.32	1.06	0.85	2.81	0.008	1282	1307	47.2	22.5

\*For CNG vehicles CH<sub>4</sub> = THC \* 0.95, for diesel CH<sub>4</sub> = 0  
 \*\* CO<sub>2</sub> eqv = CO<sub>2</sub> + 23 \* CH<sub>4</sub>  
 \*\*\* Euro 5 emission factors are estimated by Euro 4 results

Emission chart, updated 08.11.2007

Helsinki3	CO g/km	HC g/km	CH <sub>4</sub> * g/km	NO <sub>x</sub> g/km	PM g/km	CO <sub>2</sub> g/km	CO <sub>2</sub> eqv** g/km	Kulutus kg/100km	Kulutus MJ/km
Diesel Euro 1	1.12	0.26	0.00	12.63	0.353	988	988	31.1	13.2
Diesel Euro 2	1.29	0.16	-0.01	10.92	0.175	1034	1034	32.9	14.0
Diesel Euro 3	0.67	0.12	-0.01	7.01	0.152	965	965	30.7	13.0
Diesel Euro 4	2.61	0.04	0.00	5.15	0.078	949	949	30.6	13.0
Diesel Euro 5***	2.61	0.04	0.00	2.94	0.078	949	949	30.6	13.0
Diesel EEV	2.13	0.01	0.00	3.85	0.019	890	890	28.5	12.1
CNG Euro 2	3.50	5.76	5.09	13.70	0.007	914	1039	33.9	16.2
CNG Euro 3	0.15	1.08	0.73	8.12	0.008	1016	1040	36.9	17.6
CNG EEV	1.07	0.86	0.69	2.28	0.006	1039	1058	38.0	18.1

\*For CNG vehicles CH<sub>4</sub> = THC \* 0.95, for diesel CH<sub>4</sub> = 0  
 \*\* CO<sub>2</sub> eqv = CO<sub>2</sub> + 23 \* CH<sub>4</sub>  
 \*\*\* Euro 5 emission factors are estimated by Euro 4 results

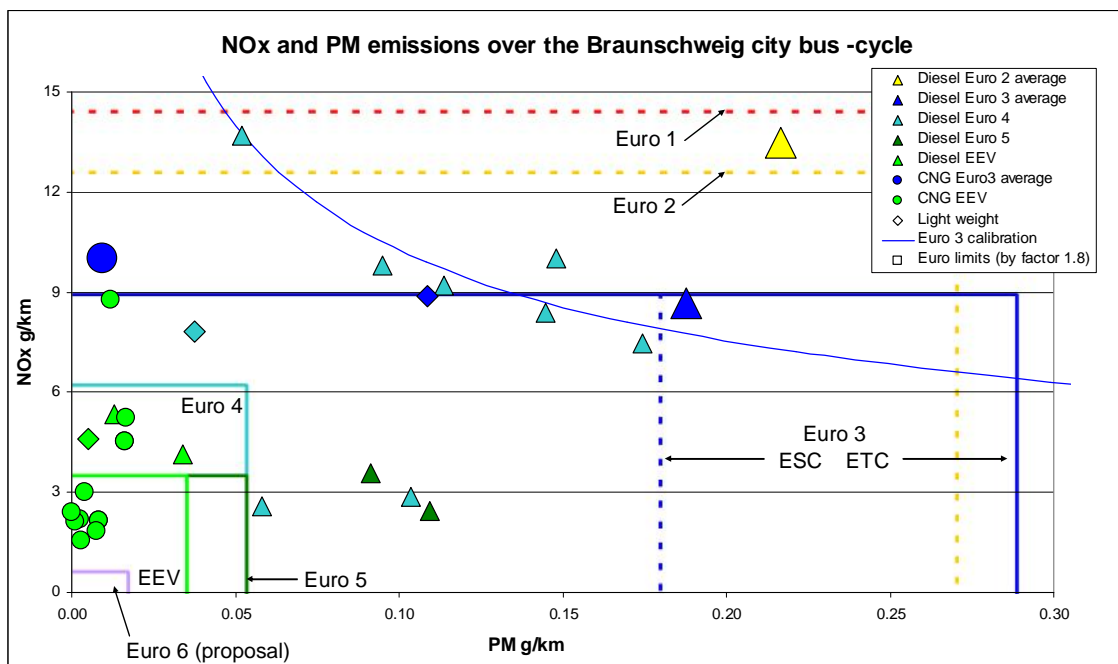
### 3.1.2 Typen oksidit ja partikkelit

Kuvassa 3.1 on esitetty uusimpien autotyyppien typen oksidi- (NO<sub>x</sub>) ja partikkeli- (PM) –päästötulokset yksilöidysti. Vertailukohtana käytettävät vanhempien Euro 2 ja Euro 3 autojen tulokset on esitetty keskiarvoina (suuremmat kolmiot ja ympyrä). Aikaisemmista VTT:n esittämistä vastaavista kuvista poiketen, uudessa esitystavassa asteikko on tarkennettu ja lisäksi kuvaan on merkitty Euro 3 autojen osalta sekä ESC- (European Steady Cycle) että ETC- (European Transient Cycle) moottoritesteihin perustuvat raja-arvot. Euro 3:a vanhempien rajat perustuvat ESC-testin ja tätä edeltäneen R49-testin (ESC:tä edeltänyt staattinen testi) tuloksiin ja uudempien autojen rajat ETC-sykliin. Molemmissa tapauksissa kertoimena moottoritestien suhteuttamiselle Braunschweig-syklin tuloksiin on 1.8. Kerroin saadaan testissä käytettävästä työmäärästä suhteessa ajomatkaan (kWh/km).

Kuten kuvasta 3.1 voidaan todeta, suurin osa (6/8) vuosina 2006 – 2007 mitatuista Euro 4 –autoista (turkoosit kolmiot) antoi käytännössä vain Euro 3 autojen keskiarvon taseisia tuloksia. Näiden autojen (Volvoja ja Scanioita) tulokset asettuivat kuvaan piirretylle Euro 3 –moottorien kalibraatiokäyrälle, joka kuvastaa NO<sub>x</sub>-PM –riippuvuutta moottorin säätöjä muutettaessa. Kaikkia käyrälle asettuvia pisteitä voidaan näin ollen pitää NO<sub>x</sub>- ja PM-päästöjen osalta moottoriteknisesti yhtä vaativina.

Kaksi Euro 4 –autoista sen sijaan antoi selvästi raja-arvoja matalammat tulokset typen oksidien osalta (MB ja 9-litrainen Volvo), ja näistä toinen (MB) oli raja-arvon tuntumassa myös partikkelipäästöjensä osalta. Volvolla hiukkaspäästö oli varsin korkealla. 9-litraisen Volvon päästöt vastasivat itse asiassa melko tarkkaan 12-litraisten Volvo Euro 5 –autojen (Jokeri-autot, tummanvihreät kolmiot) päästöjä, ja kyseessä onkin sama moottoriperhe.

Molemmat uudet tavanomaiset (ei kevytrakenteiset) dieselkäyttöiset EEV- (Enhanced Environmentally friendly Vehicle) –ajoneuvot olivat myös käytännön ajossa huomattavasti muita dieselautoja vähäpäästöisempiä (kirkkaanvihreät kolmiot). Toinen autoista, CRT-hiukkassuodattimella varustettu Iveco antoi erittäin matalat partikkelipäästöt, mutta typen oksidit olivat pikemminkin Euro 4 –tasoa. Volvo ei käytä mitään varsinaisesti partikkelien vähentämiseen tarkoitettua jälkikäsitelyä. Pelkällä SCR-tekniikalla tulokset asettuivat kuitenkin sekä  $\text{NO}_x$ - että PM-päästöjen osalta EEV-rajojen tuntumaan (kuvassa EEV alueen nurkkapiste), eli auto täyttää todellisessakin ajossa EEV-päästötason.



Kuva 3.1. Uusimpien kaupunkibussin typen oksidi- ( $\text{NO}_x$ ) ja partikkeli- (PM) –päästöt ajomatkan suhteen.

Kuvaan 3.1 on merkitty myös kevytrakenteiset Euro 3 (Kabus), Euro 4 (Kabus) ja EEV (VDL) autot päästötason mukaisella värityksellä piirretyillä nurkillaan seisovilla neliöillä (salmiakki). Molemmat kevytrakenteisten autojen valmistajat käyttävät Cumminsin SCR-tekniikkaan perustuvia moottoreita, VDL:n tapauksessa VDL:n omilal säädöillä. VDL:n EEV-autossa oli lisäksi CRT-hiukkassuodatin. VDL:n hiukkaspäästö on parhaimpien kaasuautojen luokkaa, ja  $\text{NO}_x$  päästö on Ivecon ja Volvon EEV-autojen välimaastossa. Kabusin kevytrakenteinen Euro 4 –auto on hiukkaspäästöiltään hyvinkin Euro 4 luokkaa, ja  $\text{NO}_x$ -päästö sijoittuu Euro 3- ja Euro 4 –luokkien välimaastoon.

Maakaasukäyttöiset EEV autot (kirkkaan vihreät ympyrät) asettuivat NO<sub>x</sub>-PM –kartalle pääasiassa aikaisempia havaintoja vahvistavasti, ts. suurin osa kirkkaasti ”EEV-laatikon” rajojen sisäpuolelle. Kaikissa tapauksissa partikkelipäästöt olivat matalat, mutta NO<sub>x</sub>-päästöissä oli tekniikoiden välillä eroja. Stoikiometrisella seoksella toimivat MAN-autot antavat yhtä poikkeusta lukuun ottamatta alhaisen NO<sub>x</sub>-päästön. Poikkeava yksilö antoi korkeat NO<sub>x</sub>-päästöt (n. 9 g/km), minkä perusteella moottorin toiminnassa on mitä ilmeisimmin ollut jokin häiriö. MB:n laihaseosteiset maakaasuautot sijoittuivat aikaisempien tulosten tapaan NO<sub>x</sub>-päästöiltään Euro 4 tasolle, mutta PM-päästöiltään selvästi EEV-rajoihin.

### 3.1.3 Hiilidioksidipäästöt ja energiatehokkuus

Kuvassa 3.2 on esitetty kaupunkibussien hiilidioksidi- (CO<sub>2</sub>) ja typen oksidi- (NO<sub>x</sub>) päästöt. Kuvaan on merkitty CO<sub>2</sub>-tulosten virhemarginaalit yhdelle maakaasuautolle ja yhdelle dieselille. Dieselautojen CO<sub>2</sub>-tulokset ovat merkittävästi tarkempia, koska ne perustuvat punnittuun polttoaineenkulutukseen. Kaasuautojen tulokset sen sijaan ovat pakokaasujen analyysituloksia.

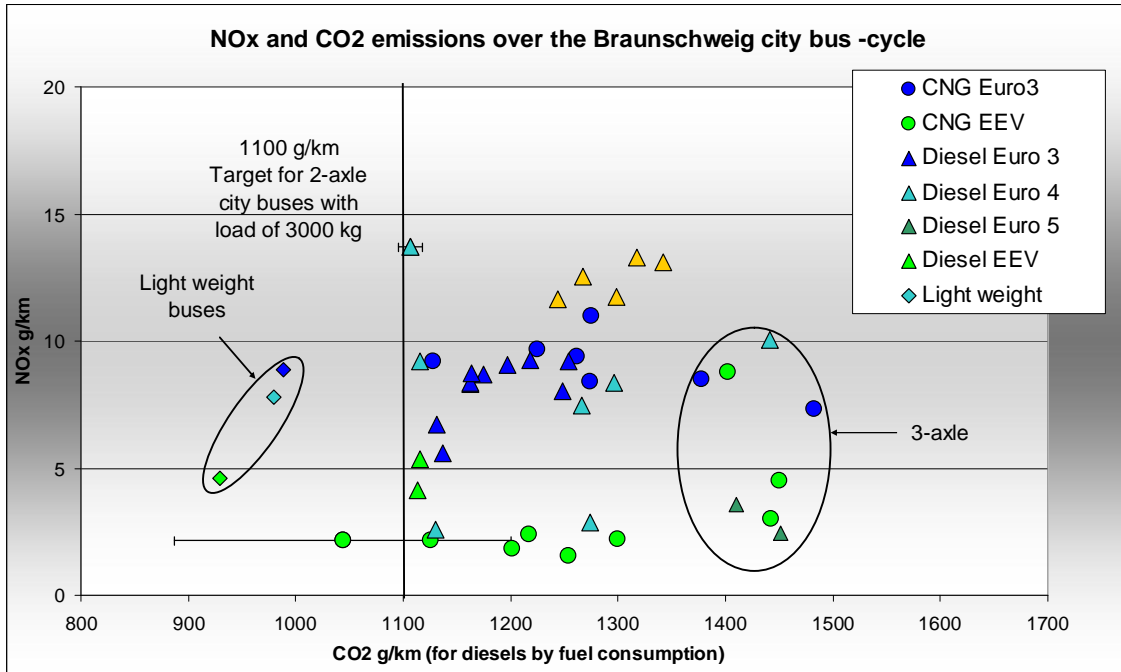
Kuvasta 3.2 nähdään että uusimmat kaksiakseliset EEV-dieselautot antoivat suhteellisen matalia CO<sub>2</sub> päästöjä, jotka asettuivat hyvänä tuloksena pidetyn 1100 g/km rajan tuntumaan. Raja 1100 g/km soveltuu tavoitetasoksi (bench mark) normaalirakenteisille kaksiakselisille kaupunkibusseille Braunschweig-ajosyklissä. Näiden autojen tyypillinen paino puolessa kuormassa on n. 15 000 kg. Myös energiatehokkaimmat Euro 4 SCR – autot ylsivät vastaavalle CO<sub>2</sub>-tasolle, mutta NO<sub>x</sub>-päästöt luonnollisesti olivat korkeammat. Parhaat stoikiometriset maakaasuautot asettuivat niin ikään lähelle 1100 g/km tavoitetasoa, mutta mittatarkkuuden vuoksi kovin tarkkoja paremmuusvertailuja dieselautojen ja maakaasuautojen välillä ei voida näiden tulosten perusteella tehdä. Suuruusluokka kuitenkin on ollut molempien polttoainevaihtoehtojen osalta sama.

Kuvasta 3.2 erottuvat myös raskaammat kolmiakseliset autot, joiden kantavuus on kaksiakselisia suurempi. Näiden autojen tyypillinen paino puolessa kuormassa on n. 19 000 kg, joten kaksiakselisten autojen mukaan suhteutettu tavoitetaso olisi näille 1300 g CO<sub>2</sub>/km. Parhaat mitatut tulokset kuitenkin ylsivät vain tasolle 1400 g/km, joten mitattuja autoja ei voida pitää erityisen energiatehokkaina. Mittauksissa käyneiden kolmiakselisten autojen mallivalikoima on suppea, joten on hyvinkin mahdollista että markkinoilta saattaisi löytyä lähes 10 % energiatehokkaampia vaihtoehtoja.

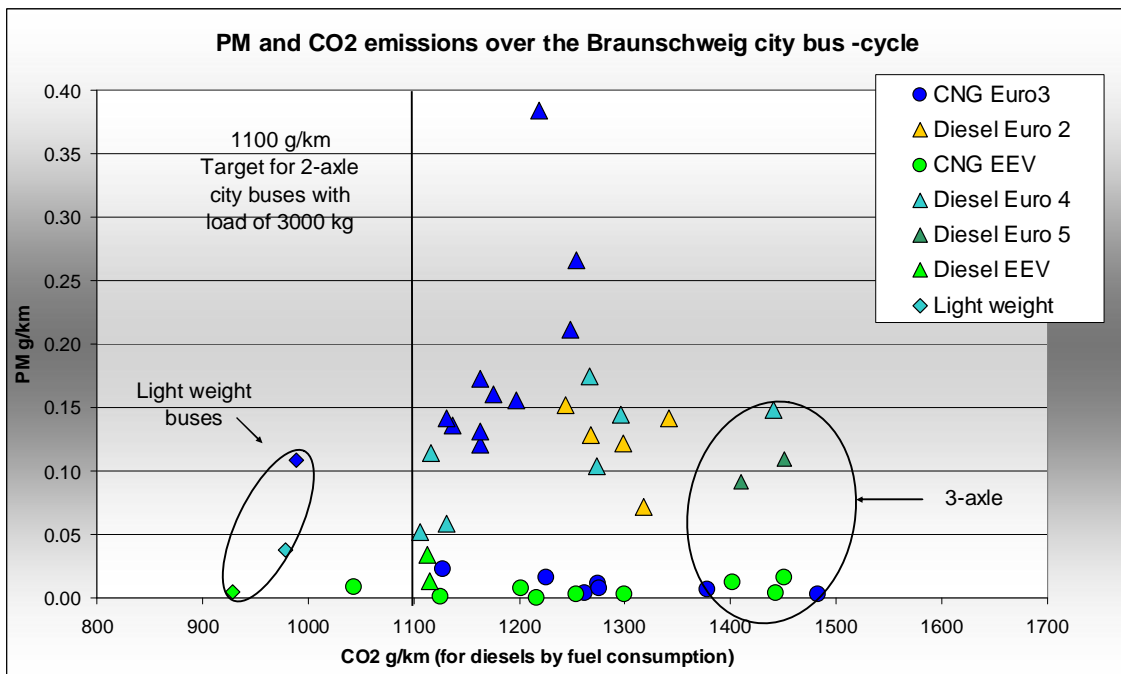
Kevytrakenteisien autojen kantavuus ei ollut merkittävästi perinteisiä kaksiakselisia kaupunkibusseja heikompi, joten kevytrakennetekniikan etu CO<sub>2</sub>-päästöjen ja polttoaineenkulutuksen osalta on kiistaton. Kevytrakenteisilla autoilla, joiden paino on puolessa kuormassa n. 11 500 kg, päästään parhaimmillaan CO<sub>2</sub>-päästöön joka on hieman yli 900 g/km. Ero normaalirakenteisiin autoihin on luokkaa 20 %.

”Bench mark” NO<sub>x</sub>-päästön osalta on tasolla 3 g/km, ts. alle 2 g/kWh moottorin kampiakselilla. Tähän tasoon päästään stoikiometrisilla kaasuautoilla ja parhaimmilla SCR-dieselautoilla.

Kuvassa 3.3 hiilidioksidipäästöt on esitetty vastaavasti partikkelipäästöjen suhteen. Tästä kuvasta nähdään, että kaasuautot (iästä riippumatta) ja hiukkassuodattimella varustetut autot antavat hyvin alhaiset hiukkaspäästöt.



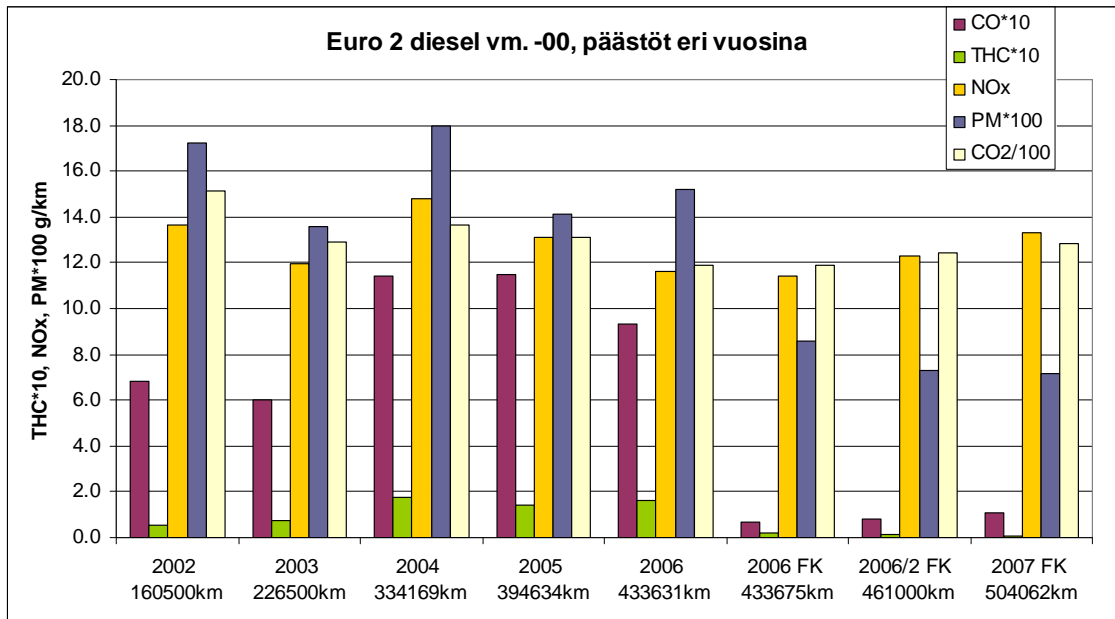
Kuva 3.2. Kaupunkibussien hiilidioksidi- ( $CO_2$ ) ja typen oksidi- ( $NO_x$ ) -päästöt.



Kuva 3.3. Kaupunkibussien hiilidioksidi- ( $CO_2$ ) ja partikkeli- (PM) -päästöt.

### 3.1.4 Seuranta-autot

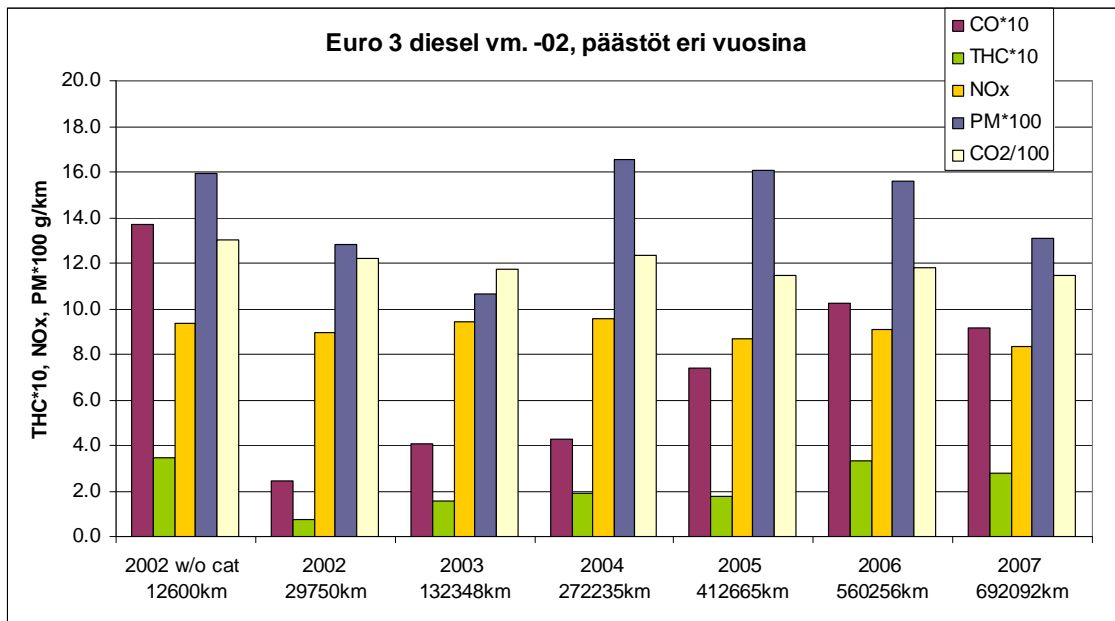
Kuvassa 3.4 on esitetty pitkäaikaisseurannassa olleen 2000-mallisen Volvo Euro 2 kaupunkibussin (ZIX-131) päästötulokset eri vuosina. Vuonna 2006 autoon asennettiin hapettava partikkelikatalysaattori (pDPF). Uusimmissa 2007 vuonna tehdyissä mittauksissa ei havaittu merkittävää muutosta vuoden 2006 tuloksiin verrattessa. pDPF-puhdistimella oli tässä vaiheessa ajettu 70 000 km.



Kuva 3.4. Euro 2 seuranta-auton (ZIX-131, Volvo vm. 2000) päästötulokset vuosilta 2002 – 2007. Vuonna 2006 autoon on asennettu pDPF-puhdistin (FK= FinnkatalytpDPF).

2002-mallisen Scania Euro 3 seuranta-auton (ZOF-209) osalta uusimmat tulokset osoittavat auton olevan päästöiltään samalla tasolla vuonna 2002 tehtyjen ensimmäisten mittausten kanssa, ennen katalysaattorin asennusta. Auton hapettavan katalysaattorin hiipuminen vuosina 2002 – 2005 on selvästi nähtävissä kuvasta 3.5. Vuoden 2006 mittauksissa päästöt olivat likimain tasolla joka vastaa alkumittauksia ilman katalysaattoria. Vuoden 2007 mittaus antoi hieman alemmat päästöarvot kuin vuoden 2006 mittaus.

Kummankaan autontyyppin, Euro 2 tai Euro 3 osalta, ei nähty selvää moottorin kulumisesta aiheutuvaa päästö määrin muutosta, vaan muutokset aiheutuivat mitä todennäköisimmin jälkikäsittelylaitteiden, ts. katalysaattorien vanhenemisestä. Tässä vaiheessa Euro 2 autolla oli ehditty ajaa n. 500 000 km ja Euro 3 autolla n. 700 000 km.

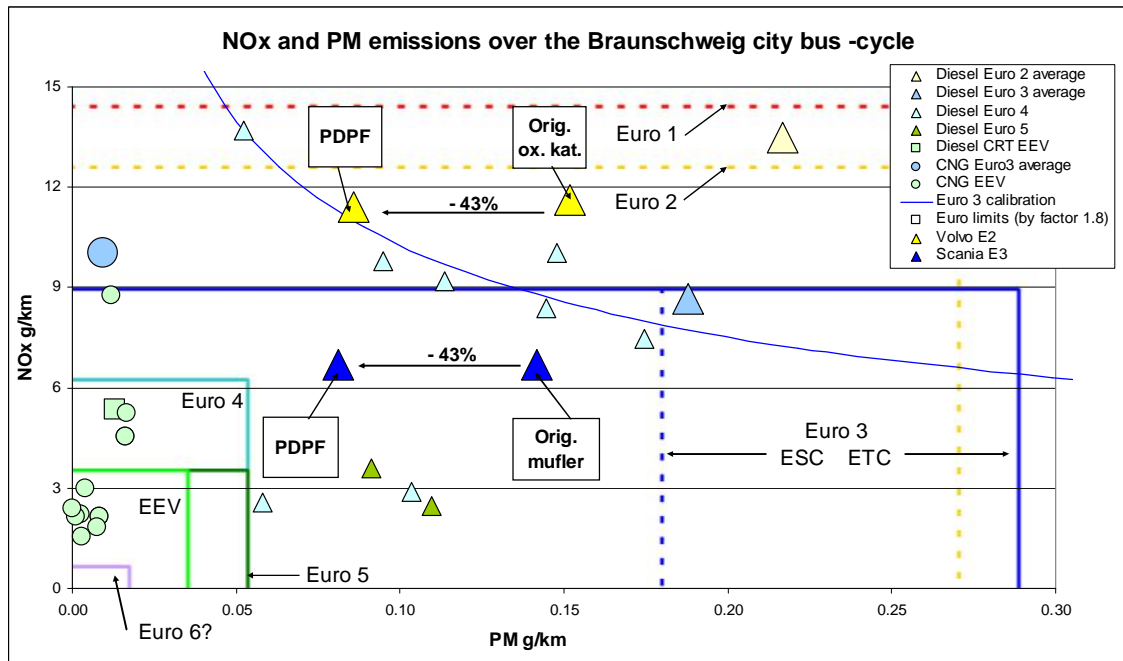


Kuva 3.5. Euro 3 seuranta-auton (ZOF-209, Scania vm. 2002) päästötulokset vuosilta 2002 – 2007.

Vuonna 2007 täydennettiin pDPF-puhdistimien seurantamatriisia vuosimallin 2005 Scania Euro 3 –kaupunkibussilla (GFK-597). Kuvassa 3.6. on esitetty puhdistimen vaikutukset NO<sub>x</sub>- ja PM –päästöihin ja tulosten suhde muihin autotyyppeihin. Tumman siniset kolmiot edustavat nyt pDPF:llä varustetun Euro 3 Scanian tuloksia ja keltaiset vastaavasti vuonna 2006 asennetun Euro 2 Volvon tuloksia. Molemmat autoyksilöt kuuluvat päästöiltään oman luokkansa puhtaimpiin autoihin. Vertailukohtana Euro 2 – autossa oli auton alkuperäinen loppuun ajettu katalysaattori, kun taas Euro 3 Scanian tapauksessa vertailu tehtiin alkuperäiseen äänenvaimentimeen ilman katalysaattoria. Molemmissa autotyypeissä hiukkasvähenemä oli noin 45 %. Suomeen tuotuihin Euro 3 Scanioihin on tässä käytetystä vertailukohdasta poiketen yleensä asennettu hapettavat katalysaattorit.

Vuonna 2007 päätettiin aloittaa seuranta myös pakokaasujen takaisinkierrätyksellä (EGR) varustetulle Euro 4 dieselautolle (MRG-632) ja maakaasukäyttöiselle (CNG) stoikiometrisella seoksella toimivalle EEV-päästötason autolle (CYU-745). EGR-autoksi valittiin mittauksissa vuonna 2006 käynyt yksilö ja EEV CNG –autoksi vuotta aikaisemmin 2005 ensimmäisen kerran mitattu yksilö.

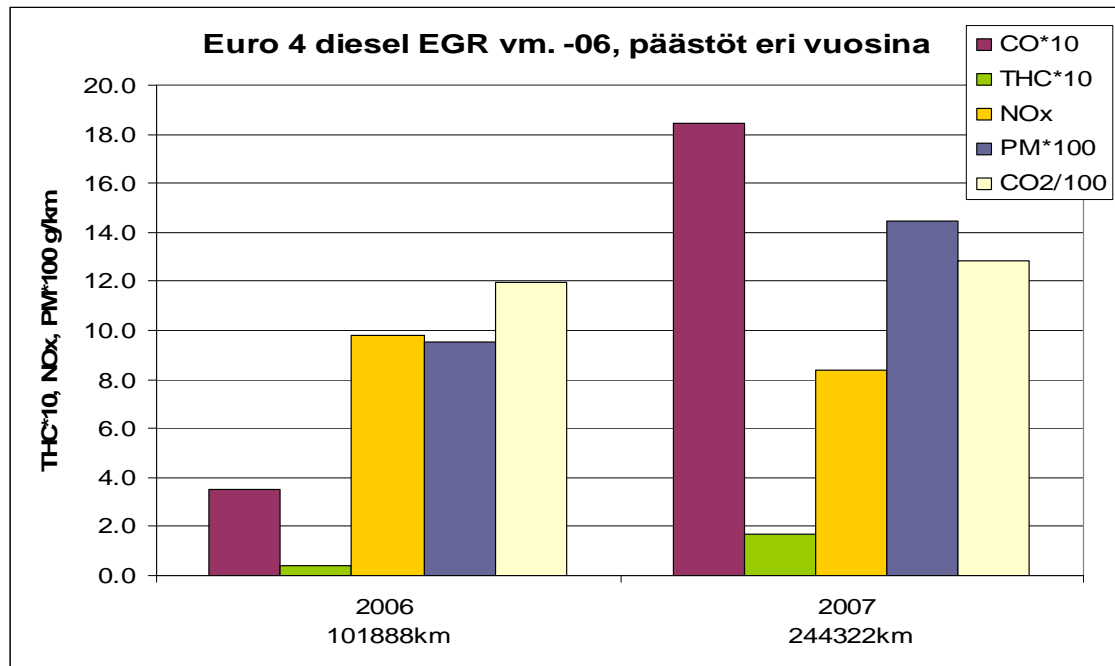
Pakokaasujen takaisinkierrätyksellä, EGR tekniikalla varustetun autoyksilön päästöissä tapahtui vuoden aikana yllättäviä muutoksia. Uusimmissa mittauksissa CO-päästöt nousivat noin nelinkertaisiksi, tasolta 0,4 g/km tasolle 1,8 g/km. HC-päästöt puolestaan lisääntyivät lähes kolminkertaisiksi (0,04 → 0,17 g/km). PM-päästöt nousivat arvosta 0,1 g/km arvoon 0,15 g/km, eli n. 50 %. NO<sub>x</sub>-päästöt puolestaan laskivat n. 15 %. (kuva 3.7).



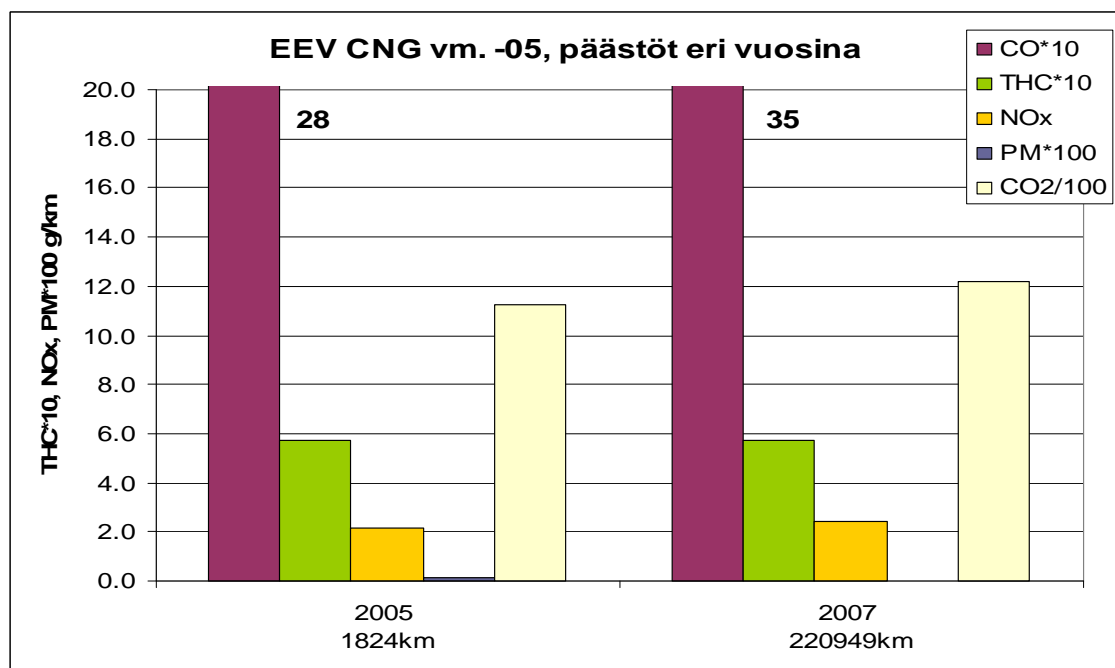
Kuva 3.6. pDPF-puhdistimen vaikutus  $\text{NO}_x$ - ja PM-päästöihin seuranta-autoissa

Vaikka prosentuaaliset päästömuutokset olivat CO:n ja HC:n osalta huomattavia, ovat näiden päästöjen absoluuttitasot edelleen hyvin matalia. Partikkelipäästöjen kasvamista 50 %:lla sen sijaan voidaan pitää merkityksellisenä muutoksena myös ympäristövaikutusten kannalta. CO ja HC (THC) päästöjen muutokset kuitenkin osaltaan vahvistavat autossa tapahtuneen päästöihin vaikuttavia muutoksia. Toisaalta  $\text{NO}_x$ -päästöjen laskemista 15 %:lla voidaan pitää myös merkittävänä positiivisena tekijänä. Ajokilometreissä vuoden seurantaväli tarkoitti tässä tapauksessa n. 140 000 km. Yksi mahdollinen päästömuutosten aiheuttaja voisi olla esim. tukkeutunut ilmansuodatin.

Stoikiometrisella seossuhteella toimivan maakaasuauton päästöissä ei havaittu merkittäviä muutoksia (kuva 3.8). Kokonaishiilivetyypäästöt kasvoivat n. 25 %. Maakaasuautojen kokonaishiilivedyistä suurin osa (suuruusluokka tyypillisesti yli 95 %) on kuitenkin metaania, jota ei pidetä terveydelle haitallisena. Metaanin vaikutus huomioidaan kasvihuonekaasuissa. Näillä hiilivetyypäästö määrillä vaikutus  $\text{CO}_2$  ekvivalenttiin on n. 1 %.



Kuva 3.7. Euro 4 EGR seuranta-auton (MRG-632, Scania vm. 2002) päästötulokset vuosilta 2006 ja 2007.



Kuva 3.8. EEV maakaasu (CNG) –seuranta-auton (CYU-745, MAN vm. 2005) päästötulokset vuosilta 2005 ja 2007.

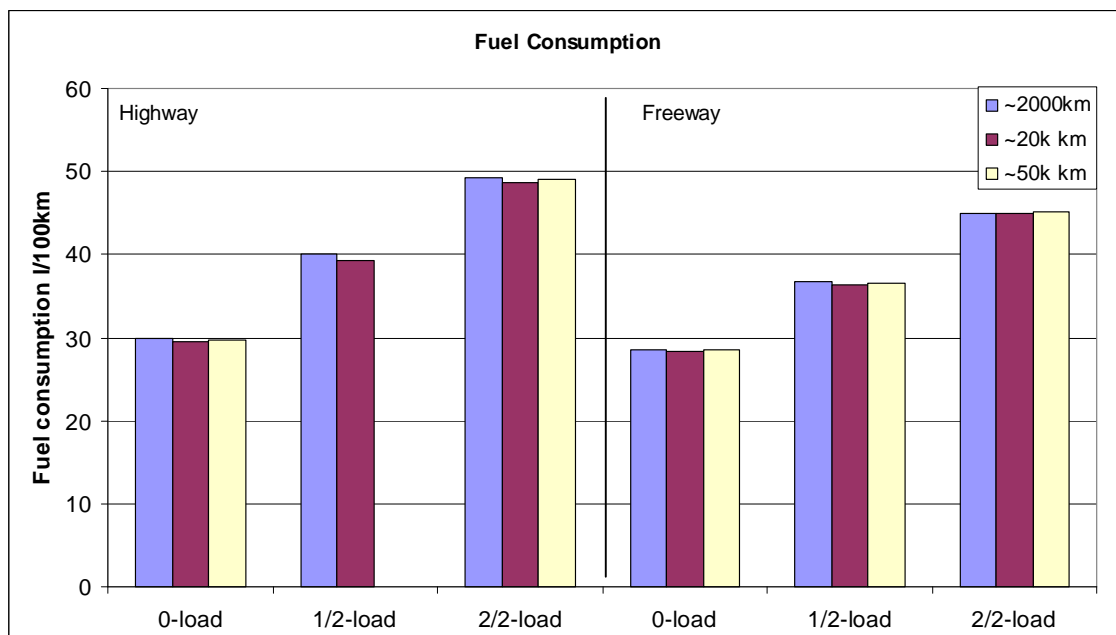
## 3.2 KUORMA-AUTOJEN MITTAUKSET

### 3.2.1 Yleistä

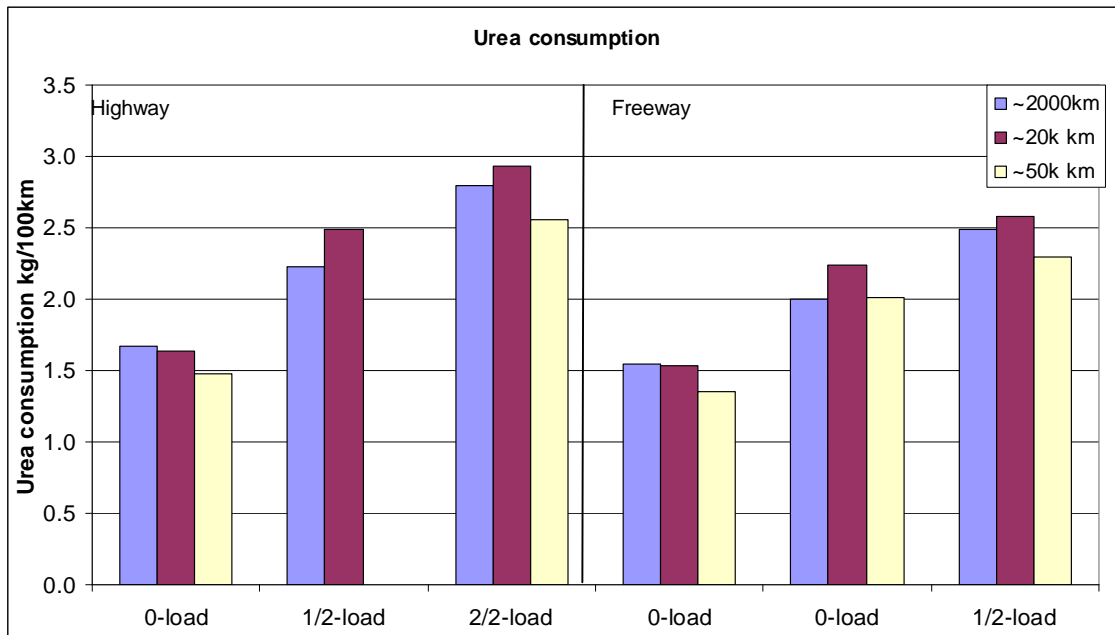
Vuonna 2007 tehtiin kuorma-automittauksia 18, 42 ja 60 tonnin painoluokissa. Kyse oli uusien autotyyppien mittauksista, aikaisempien mittasarjojen ”paikkaamisesta” sekä yhden auton osalta jatkuvasta seurannasta. Ensimmäiset 42-tonnisten Euro 4 –autojen mittaukset tehtiin vuonna 2005. Nämä ensimmäiset Euro 4 –autotyypit olivat tehtaiden esisarjoja ennen kyseisten päästömääräysten voimaantuloa ja poikkeavat nykyisistä tuotantoversioista. Lisäksi mittausmenetelmiä on kehitetty jatkuvasti mm. ottamalla käyttöön erityiset vakioidut mittarengassarjat ja tarkentamalla rengashäviöiden kompensointia. Näistä syistä vuoden 2005 mittaukset 42-tonnisilla Euro 4 –autoilla on jätetty pois yhteenvetokuvista.

### 3.2.2 Seurantamittaukset

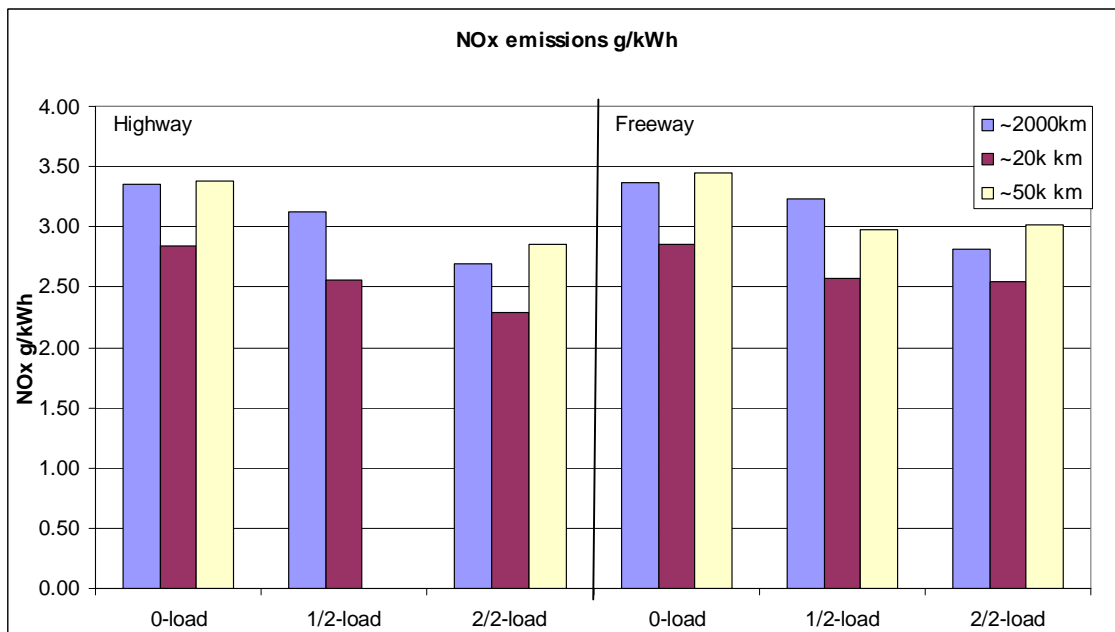
Seurannan kohteena on 60-tonnisen yhdistelmän Iveco Stralis 420 SCR-auto. Auto mitattiin ensimmäisen kerran vuonna 2006 noin 2000 km ajon jälkeen. Seuraavat mittaukset tehtiin noin 20 000 ja noin 50 000 km:n ajon jälkeen. Kuvissa 3.9 – 3.12 on esitetty tulokset polttoaineen kulutuksesta, urean kulutuksesta ja päästöistä.



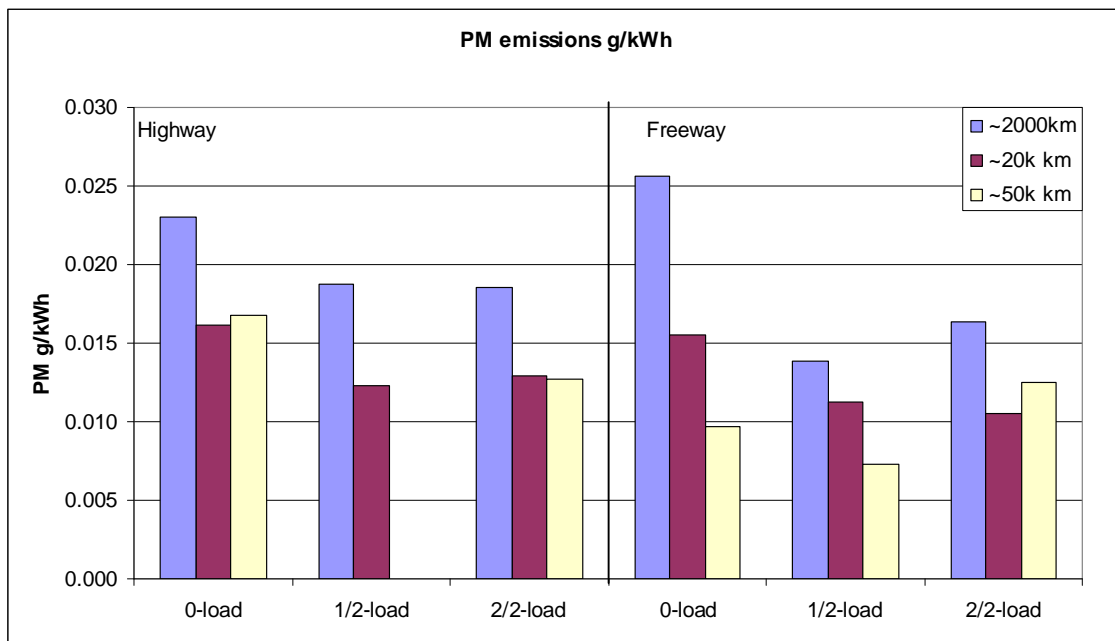
Kuva 3.9. Polttoaineen kulutus (Iveco Stralis seuranta).



Kuva 3.10. Urean kulutus (Iveco Stralis seuranta).



Kuva 3.11. NO<sub>x</sub>-päästöt (Iveco Stralis seuranta).



Kuva 3.12. Hiukkaspäästöt (Iveco Stralis seuranta).

Seuranta osoittaa polttoaineen kulutuksen pysyneen hyvin tasaisena ajokilometrien karttuessa. Urean kulutus oli 20 000 km:n mittauksessa muita mittauskertoja suurempi ja tämä näkyy myös alentuneina NO<sub>x</sub>-päästöinä. Pienimmän ja suurimman NO<sub>x</sub>-arvon ero on keskimäärin luokkaa 20 %.

Hiukkaspäästöt olivat 20 000 km:n jälkeen noin 30 % alemmat verrattuna lähtötasoon ja 50 000 km:n jälkeen lähes 50 % alemmat. Hiukkaspäästöjen alenema saattaa johtua moottorin sisäänajosta ja sitä myötä vähentyneestä moottoriöljyn kulutuksesta.

### 3.2.3 60–tonnisten autojen vertailumittaukset

Vuonna 2006 mitattiin viisi uutta 60-tonnista Euro 4 –sertifioitua täysperävaunuyhdistelmän veturia. 60-tonniset autot mitattiin myös ilman perävaunua (3-akselinen 26 tonnin auto). Ajosykliä oli kolme, Transpoint Oy:n kanssa yhteistyössä kehitetyt aluejakeluajoa, maantieajoa ja moottoritieajoa kuvaavat syklit (aluejakelu ilman perävaunua, kaksi jälkimmäistä sykliä perävaunun kanssa).

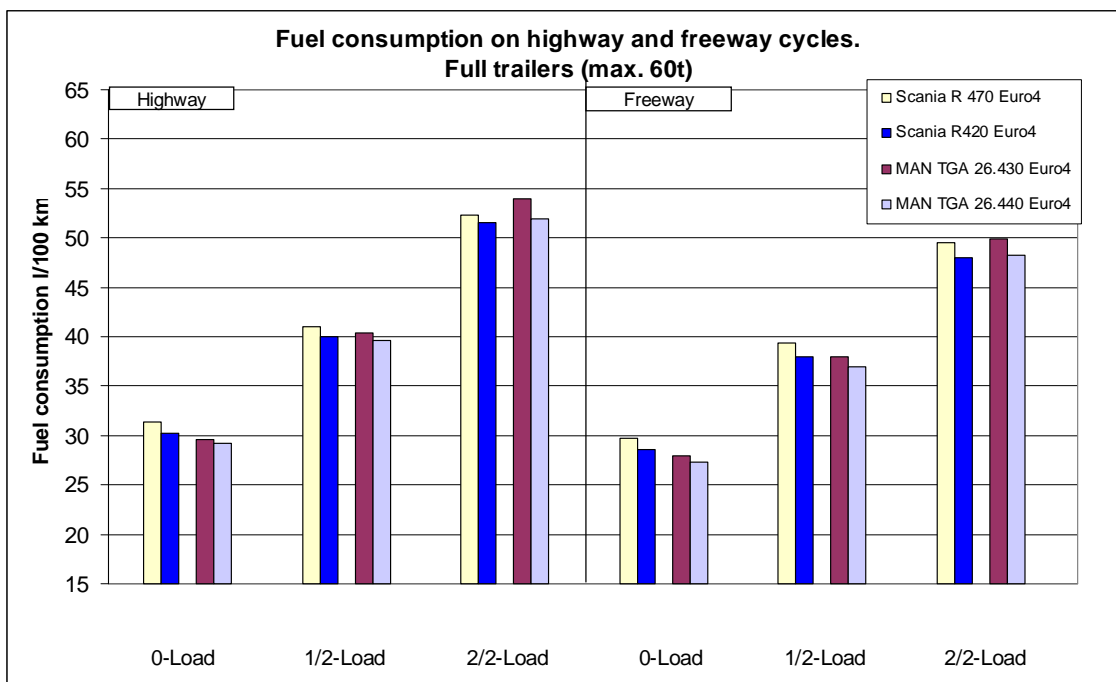
Vuoden 2006 mittauksissa todettiin, ettei PM-KAT hiukkaskatalysaattorilla varustettu MAN toiminut kunnolla. Syyksi epäiltiin nimenomaan viallista hiukkaskatalysaattoria. Niinpä vuonna 2007 päätettiin uusitua mittaukset tämän autotyypin osalta. Vuonna 2006 mitattiin tyyppi MAN TGA 26.430, ja vuonna 2007 edellisen tyypin korvannut MAN TGA 26.440. Myös Scanian osalta mittauksia täydennettiin. Aikaisemmin mitattu Scania R470 korvattiin Scania R420:lla, joka maksimitehonsa puolesta soveltuu paremmin mittasarjaan.

Seuraavassa on esitetty sekä uusintamittattujen autojen tulokset että koko mittasarja kootusti (ilman tyyppiä MAN TGA 26.430 ja Scania R470).

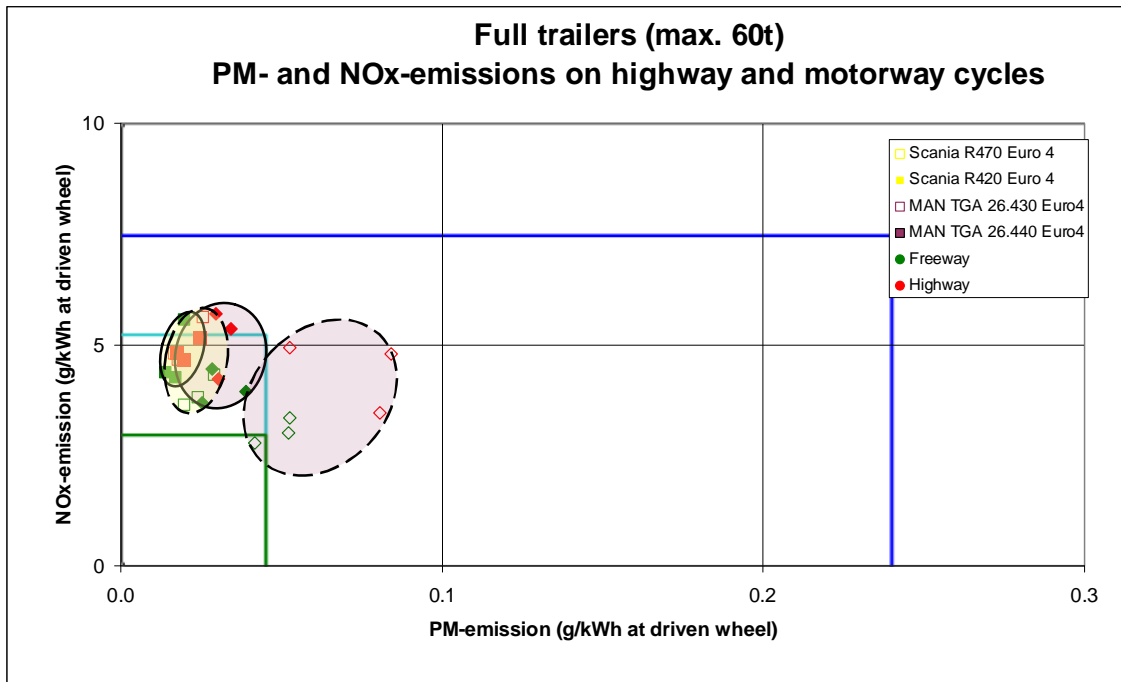
Kuvasta 3.13 nähdään että korvaavat mallit antavat matalamman kulutuksen kuin edelliset mallit. Ero on suurimmillaan luokka 4 %. Kuva 3.14 osoittaa, kuinka MAN:in tapauksessa partikkeli päästöt ovat selvästi matalammat kuin aikaisemmissa mittauksissa. Nyt myös MAN:in päästöt ovat aidosti Euro 4 –tasoa.

Kuvassa 3.15 on esitetty kooste 60-tonnisten autojen polttoaineen kulutuksesta. Edelleen SCR-autot kuluttavat vähemmän polttoainetta kuin EGR-autot, mutta erot ovat hieman pienentyneet. Kuvassa 3.16 on esitetty vastaava mittaussarja muutettuna käyttökustannuksiksi polttoaineen ja urean suhteen. Polttoaineen hintana on käytetty 1,00 €/l (ALV 0 %) ja urean hintana 0,50 €/l (ALV 0 %) vuoden 2008 alkupuolen tilanteen mukaan. Vuoden 2006 vuosiraportissa käytettiin polttoaineen hintana 0,74 €/l. Parhaimmillaan EGR-tekniikkaa hyödyntävät MAN ja Scania kamppailevat lähes tasaväkisesti SCR-Ivecon kanssa käyttökustannusten osalta. Mercedes-Benz ja Volvo antavat edelleen alhaisimmat käyttökustannukset.

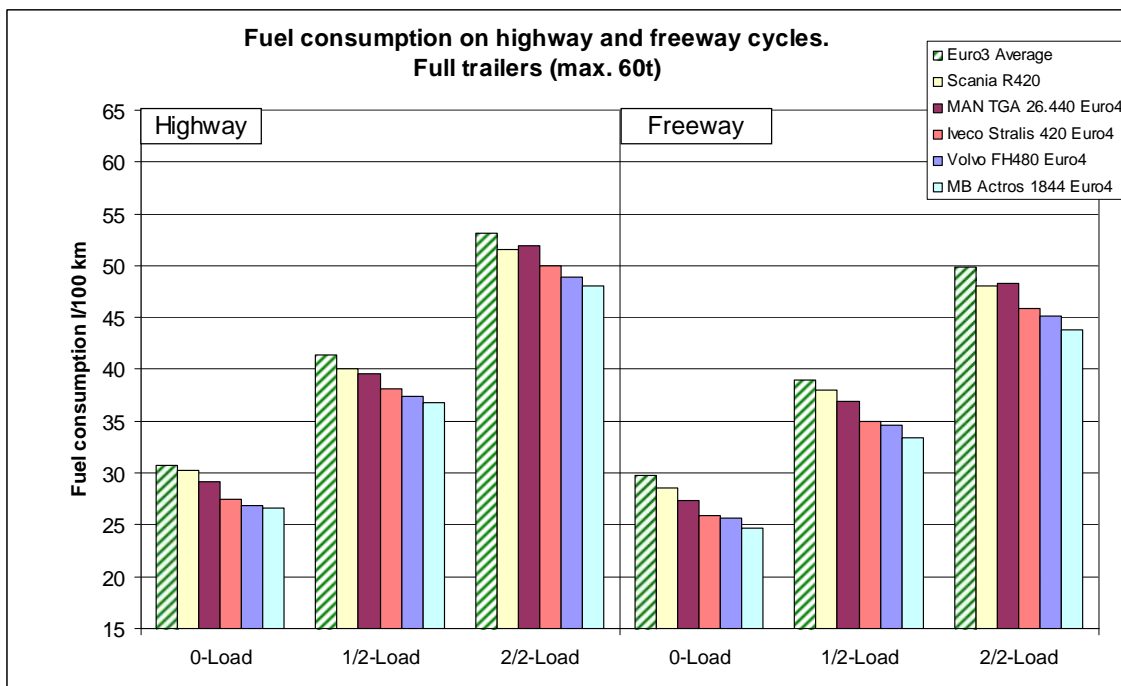
Kuva 3.17 esittää vertailun Euro 3 ja Euro 4 –autojen käyttökustannusten (polttoaine + urea) välillä. Täydellä kuormalla Euro 4 EGR –autojen kustannus on keskimäärin 4 % alempi ja Euro 4 SCR –autot keskimäärin 9 % alempi kuin Euro 3 –autojen kustannus keskimäärin. Vertailua vääristää kuitenkin hieman se, että Euro 3 –autojen keskiteho oli hieman muita autoryhmiä suurempi.



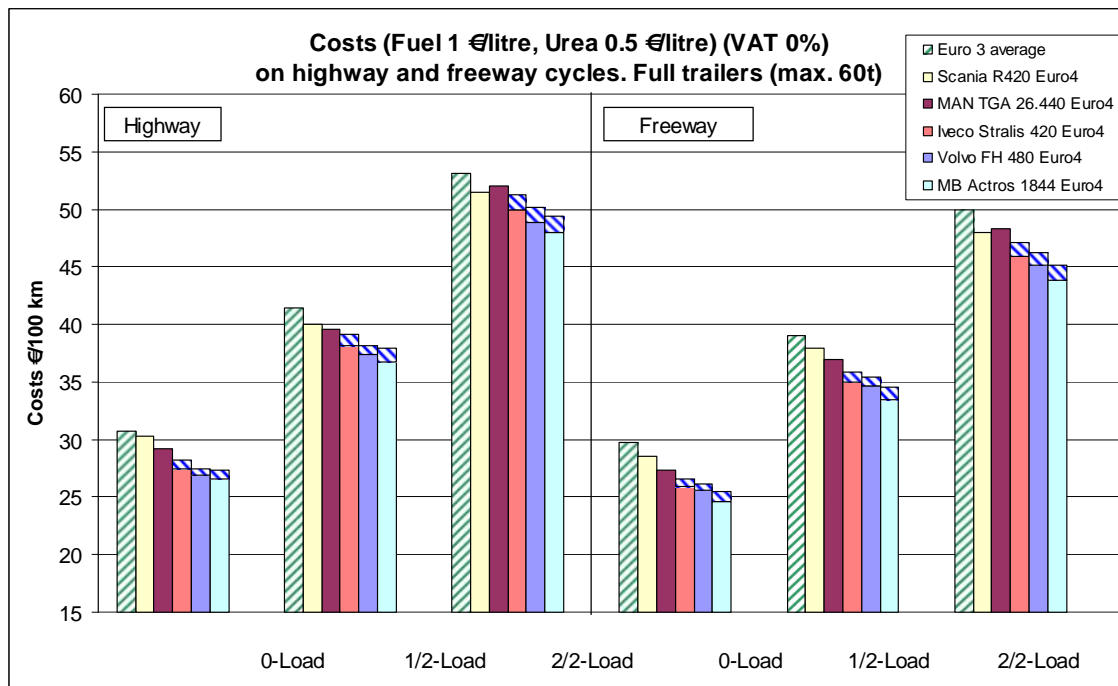
Kuva 3.13. Kulutuserot korvaavien ja korvattavien ajoneuvojen välillä (60-tonniset autot).



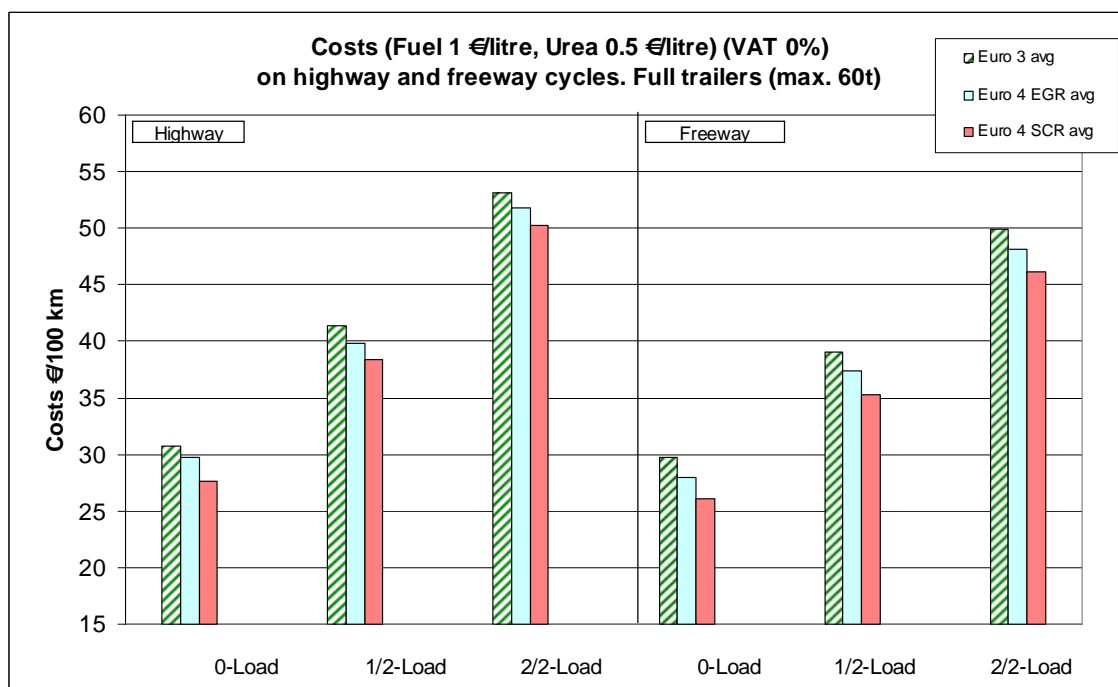
Kuva 3.14. Päästöerot (NOx, PM) korvaavien ja korvattavien ajoneuvojen välillä (60-tonniset autot).



Kuva 3.15. Mittasarja korvaavien tulosten kanssa (polttoaine, 60-tonniset autot).



Kuva 3.16. Mittasarja muutettuna käyttökustannuksiksi (polttoaine + urea, 60-tonniset autot).



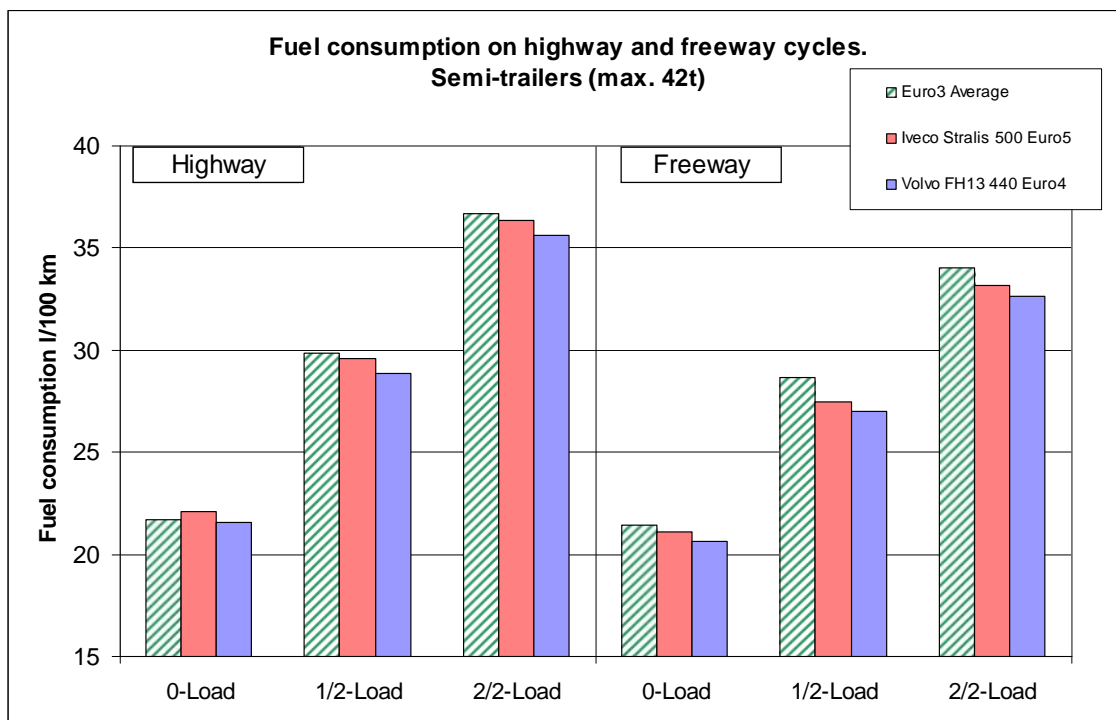
Kuva 3.17. Euro 3- ja Euro 4 –autojen polttoaine- ja ureakustannusten vertailu (60-tonniset autot).

### 3.2.4 42–tonnisten autojen vertailumittaukset

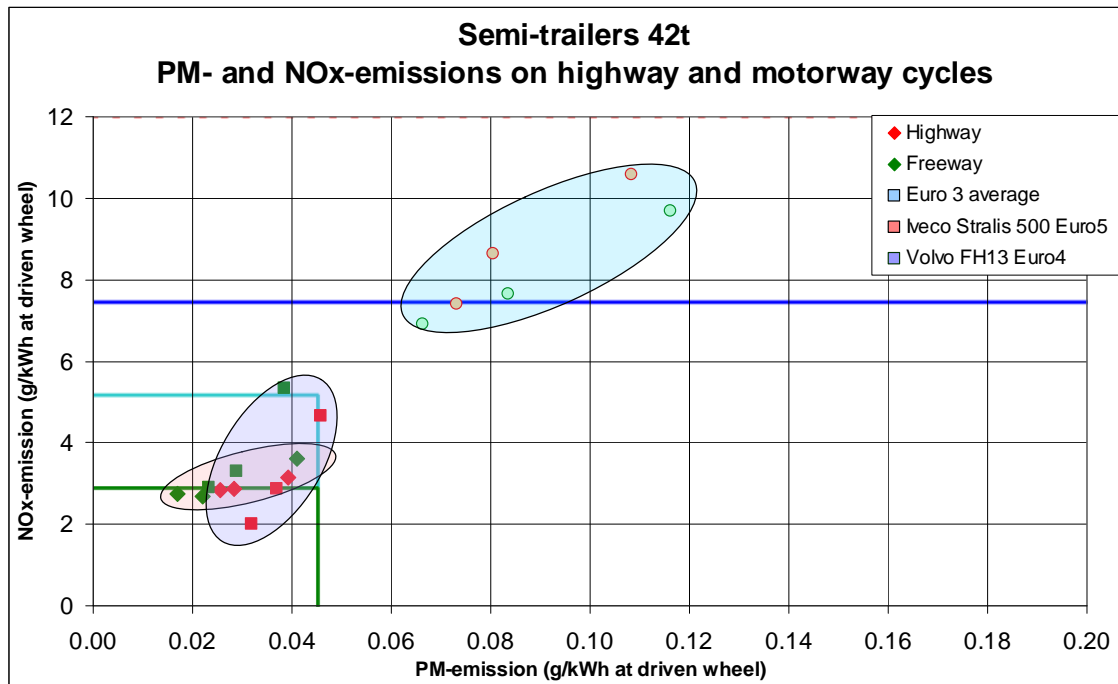
Kuten kohdassa 3.2.1 mainittiin, vuonna 2005 mitatut kaksi EGR-autoa, MAN ja Scania on jätetty pois yhteenvedokuvista. Aiemmin mitatuista 42-tonnisista autoista Iveco Stralis'in tulokset vuodelta 2006 ovat edelleen relevantteja. Tosin kyseinen autoyksilö oli varsin suuritehoinen, 500 hv, ja pienempitehoinen versio olisi voinut antaa alhaisemman polttoaineen kulutuksen. Vuonna 2007 mitattiin yksi uusi autotyyppi, 440 hv:n Euro 4 –sertfioitu Volvo FH13 SCR.

Polttoaineen kulutus on esitetty kuvassa 3.18. Sekä Iveco että Volvo kuluttavat vähemmän polttoainetta kuin Euro 3 –autot keskimäärin. Volvo antaa hieman pienemmän polttoaineen kulutuksen kuin Iveco, mahdollisesti tehoerosta johtuen.

Päästöt on esitetty kuvassa 3.19. Molemmat ovat päästöiltään hyvinkin Euro 4 –luokkaa. Iveco antaa Volvoa alhaisemmat NO<sub>x</sub>-päästöt ollen lähes Euro 5 –tasoa.



Kuva 3.18. Polttoaineen kulutus (42-tonniset autot).



Kuva 3.19. NO<sub>x</sub>- ja PM -päästöt (42-tonniset autot).

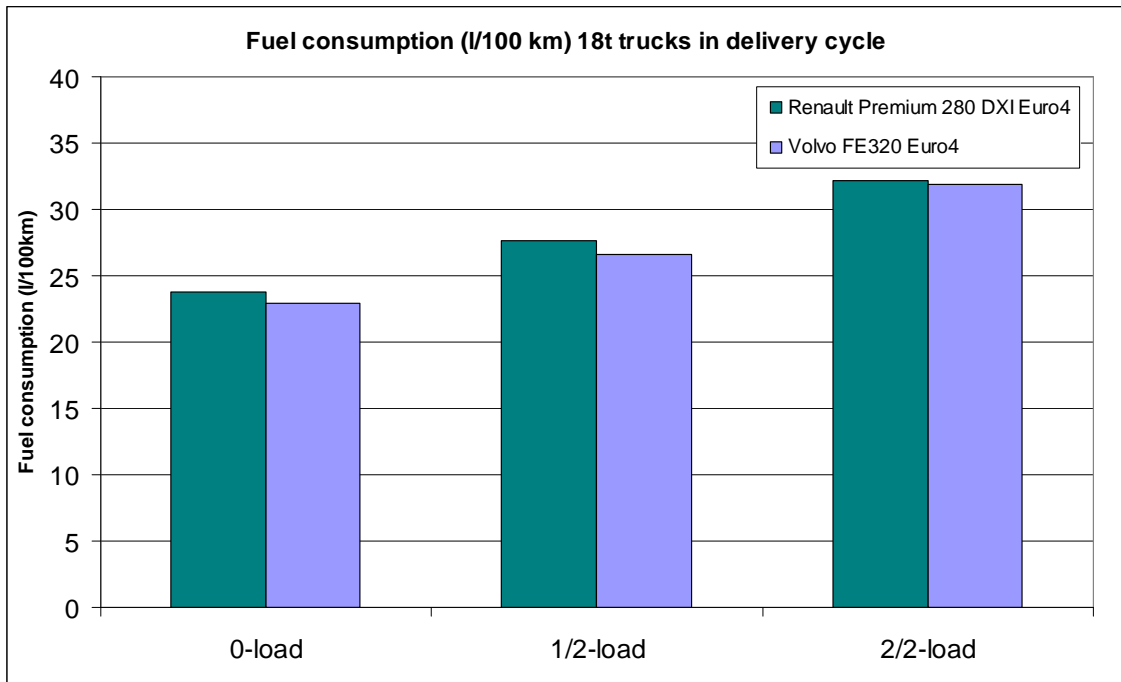
### 3.2.5 18-tonnisten jakeluautojen vertailumittaukset

Vuonna 2007 aloitettiin mittaukset 18-tonnisilla jakeluautoilla. Tässä raportissa on esitelty kahden Euro 4 -tasoisien autoyksilön (Renault Premium 280 DXI ja Volvo FE320) tulokset. Mittauksia tullaan jatkamaan vuonna 2008 jolloin mittaussarjaa kasvatetaan usealla yksilöllä. Mittaussykleinä käytettiin sekä jakelusyклиä että maantiesyклиä. Kuvassa 3.20 on jakelusyklin ja kuvassa 3.21 maantiesyklin polttoaineen kulutus.

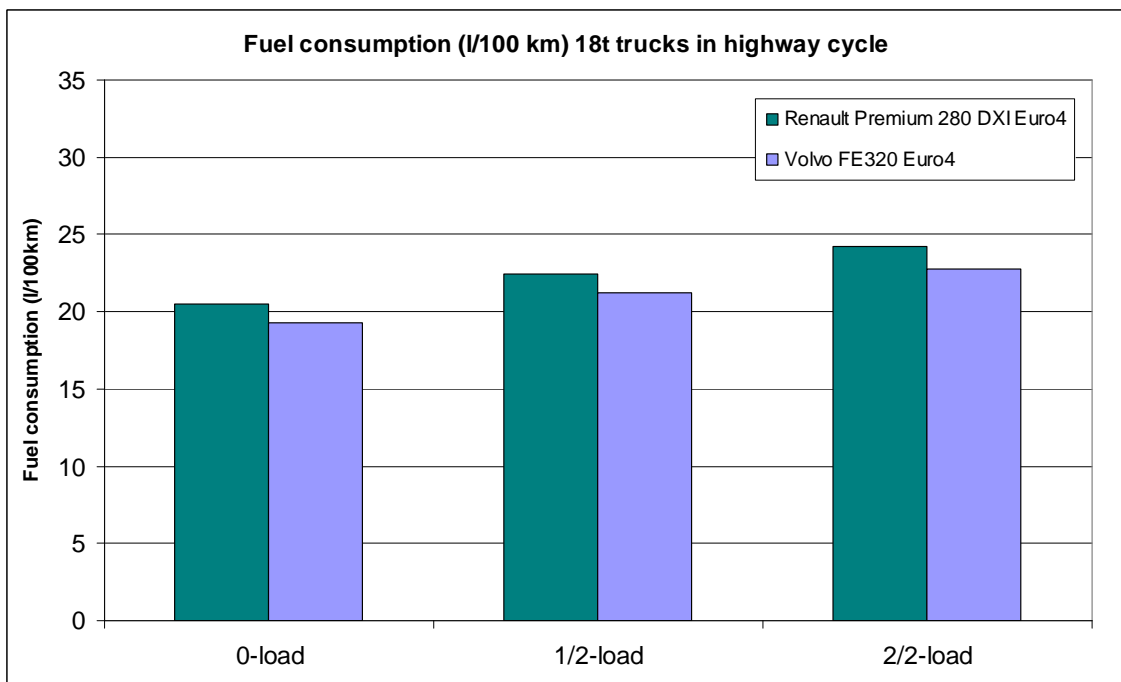
Autojen polttoaineen kulutuksessa nähtiin huomattavia eroja, varsinkin kun molemmat autot edustavat samaa tekniikka (SCR). Keskimäärin kulutusero oli Volvon hyväksi jakelusyklissä 4 % ja maantiesyklissä 6 %. Mittatarkkuus polttoaineen kulutuksessa on 1 %.

Kuvassa 3.20 on esitetty mittasarjan päästötulokset. Volvo kuluttaa vähemmän polttoainetta, mutta sen päästöt ovat keskimäärin Renault'ia korkeammat. Jakelusyklissä Renaultin NO<sub>x</sub>-päästöt ovat kaikilla kuormilla samaa luokkaa kuin Volvossa, mutta PM-päästöt keskimäärin noin 30 % pienemmät.

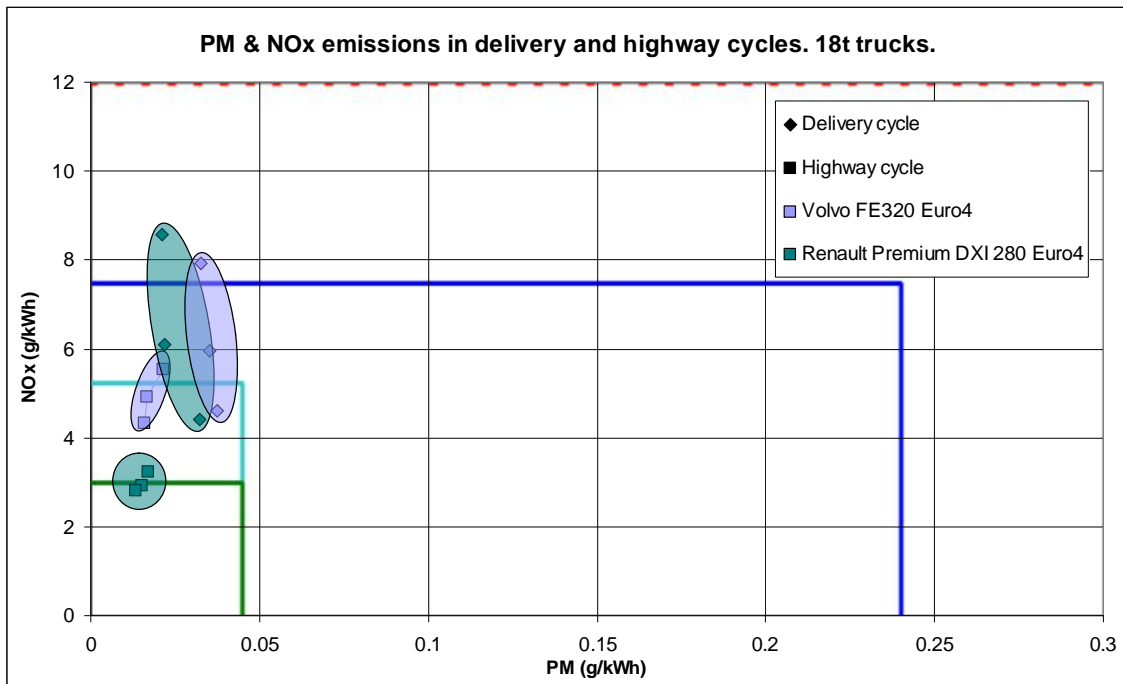
Maantiesyklissä Renaultin NO<sub>x</sub>-päästöt ovat keskimäärin 40 % pienemmät ja partikkelipäästöt keskimäärin n. 15 % pienemmät Volvoon verrattuna. Maantieajossa Volvo on Euro 4 -tasoa, Renault'in ollessa likimain Euro 5 tasoa. Kuva 3.22 osoittaa jälleen kerran miten jakelutyypinen ajo kasvattaa päästöjä maantieajojaan verrattuna.



Kuva 3.20. Jakeluautojen kulutustulokset jakelusyklissä (18-tonniset autot).



Kuva 3.21. Jakeluautojen kulutustulokset maantiesyklissä (18-tonniset autot).



Kuva 3.22. NO<sub>x</sub>- ja PM -päästöt (18-tonniset jakeluautot).

## 4 EURO 4/5/EEV –AUTOJEN POLTTO- JA VOITELU-AINEET (OT 2)

Vastuutaho: VTT

Teksti: Matti Kytö & Nils-Olof Nylund

Alatehtävästä kokeellisesta osuudesta ei ole laadittu erillisiä raportteja. Liikenne- ja viestintäministeriön toivomuksesta laadittiin kuitenkin erillinen polttoaineita koskeva raportti nimeltä ”Liikenteen polttoainevaihtoehdot – Kehitystilanneraportti” (kts. 4.4). LVM myönsi lisärahoitusta tämän erillisraportin tekemiseen.

### 4.1 YLEISTÄ

Vuonna 2007 tehtiin polttoainekokeita postinjakelussa käytettävillä autoilla ja pääosin myös näiden auton ajoa kuvaavilla sykleillä. Polttoaineet olivat kauppaatuinen dieselpolttoaine, rypsiöljyn metyyliesteri (perinteinen biodiesel RME) sekä Neste Oil Oyj:n valmistama toisen sukupolven vetykäsittely biopolttoaine NExBTL. RME-mittaukset liittyvät Suomen Posti Oyj:n kenttäkokeeseen RME-polttoaineella.

Voiteluainekokeita tehtiin kokonaisella ajoneuvolla, jossa oli sama moottorityyppi kuin millä oli tehty laaja koesarja moottoridynamometrissä. Linja-autolla tutkittiin sekä moottoriöljyn että automaattovaihteistoöljyn vaikutusta polttoaineenkulutukseen.

### 4.2 POLTTOAINEKOKKEET

#### 4.2.1 Kevyen kaluston kokeet

Laboratoriokokeita tehtiin vuosimallin 2004 Volkswagen Transporter 1.9 TDI-7HK-Kasten pakettiautolla. Myös toisella vastaavalla autolla tehtiin mittaus pelkällä dieselpolttoaineella, jatkossa kummallakin autolla tullaan tekemään seurantamittauksia. Polttoainekokeet tehtiin postinjakelua kuvaavalla syklillä sekä dieselpolttoaineella, puhtaalla RME:llä että näiden seoksilla RME pitoisuuksilla 5, 10, 30 ja 50 %. Autojen tyyppihyväksyntäsyklillä tehtiin kokeet vain puhtailla polttoaineilla. Kokeet tehtiin VTT:n kevyen kaluston alustadynamometrillä, kaksi koetta polttoainetta kohti. Mittauksissa käytetyn RME:n toimitti Suomen Posti Oyj, kesälaatuisen dieselpolttoaineen hankki VTT.

Kokeissa mitattiin säännellyt pakokaasupäästöt (häkä, kokonaishiilivedyt, typen oksidit, partikkelimassa ja hiilidioksidi) sekä polttoaineenkulutus. Polttoaineenkulutus mitattiin vaa’lla kokeen aikana kulutettuna massana, joka muutettiin laskennallisesti l/100 km kulutukseksi.

Dynamometrin asetusarvoina käytettiin seuraavia taulukkoarvoja:

- Inertia 1810 kg,  $F_0 = 8$ ,  $F_1 = 0$ ,  $F_2 = 0.0557$ ,

missä  $F_0$  on nopeudesta riippumaton vastusvoima,  $F_1$  nopeuteen verrannollinen vastusvoimakertoimen ja  $F_2$  nopeuden neliöön verrannollinen vastusvoimakertoimen.

Keskiarvotulokset postijakelusyklillä ovat taulukossa 4.1 ja vastaavasti pelkällä dieselpolttoaineella ja RME:llä ajoneuvojen hyväksymissyklillä ajettujen kokeiden tulokset taulukossa 4.2. Jakeluajoa kuvaavan syklin  $\text{NO}_x$ - ja partikkelitulokset RME:n eri seossuhteilla ovat myös kuvassa 4.1.

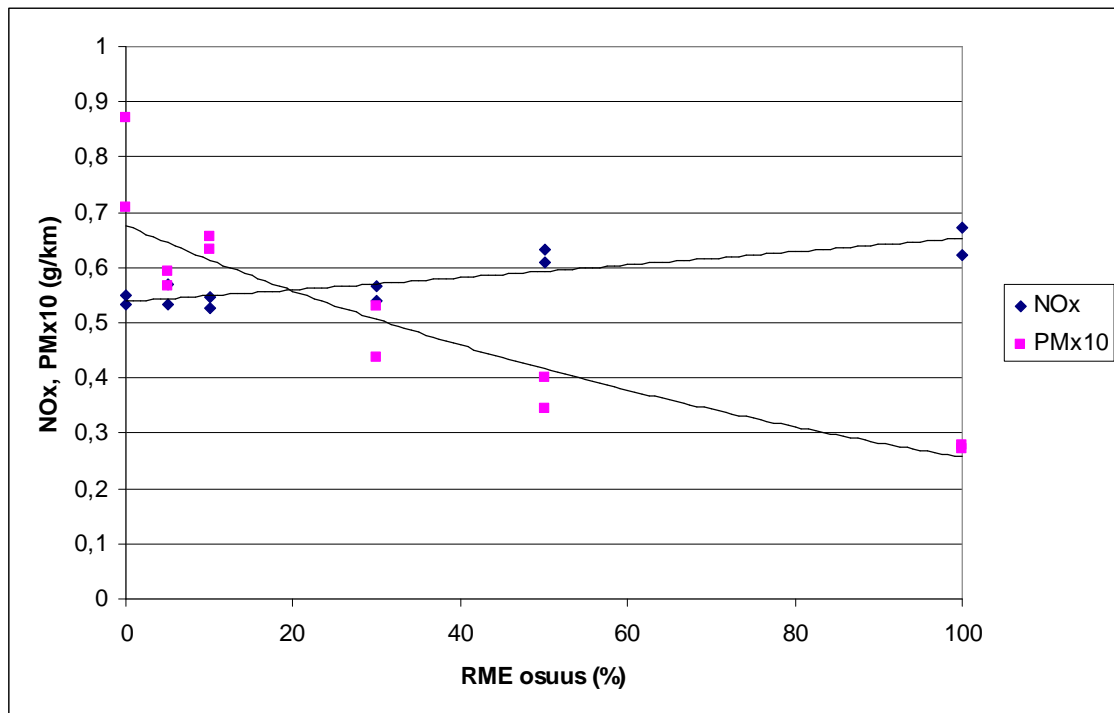
*Taulukko 4.1. Keskimääräiset päästöt ja polttoaineenkulutus eri polttoaineseoksilla postin jakeluajoa kuvaavalla syklillä.*

Postisykli						
Polttoaine	CO (g/km)	HC (g/km)	$\text{NO}_x$ (g/km)	CO <sub>2</sub> (g/km)	PM (g/km)	Polttoaineen kulutus (l/100km)
DI -5/-15 100%	0.05	0.02	0.54	206.7	0.079	7.9
RME 5%	0.04	0.02	0.55	207.2	0.058	7.8
RME 10%	0.02	0.02	0.54	204.9	0.065	7.8
RME 30%	0.05	0.02	0.55	206.7	0.048	8.0
RME 50%	0.05	0.02	0.62	209.4	0.037	8.2
RME 100%	0.09	0.01	0.65	209.1	0.028	8.5

*Taulukko 4.2. Keskimääräiset päästöt ja polttoaineenkulutus puhtailla polttoaineilla tyyppihyväksyntäsyklillä.*

MVEG-B-sykli (ajoneuvojen tyyppihyväksymissykli)						
Polttoaine	CO (g/km)	HC (g/km)	$\text{NO}_x$ (g/km)	CO <sub>2</sub> (g/km)	PM (g/km)	Polttoaineen kulutus (l/100km)
DI -5/-15 100%	0.09	0.02	0.41	193.1	0.107	7.0
RME 100%	0.11	0.03	0.46	197.5	0.026	7.8

Dieselpolttoaineeseen verrattuna RME alensi hiukkaspäästöä merkittävästi ja lisäsi typen oksidien päästöjä. Tulos on hyvin tyypillinen. Muissakin tutkimuksissa vastaavilla polttoaineilla  $\text{NO}_x$  päästö on kasvanut jonkin verran ja hiukkaspäästö alentunut merkittävästi. Muutosprosentit vaihtelevat jonkin verran eri moottoreilla. Nyt puhtaalla RME:llä hiukkaspäästö verrattuna dieselpolttoaineella mitattuun päästöön laski 65 – 75 %,  $\text{NO}_x$ -päästö vastaavasti kohosi 12 – 20 %. Typenoksidien ja hiukkaspäästöjen muutokset olivat melko lineaarisia, vaikka muutos näyttäisi hidastuvan mentäessä 100 %:n RME polttoaineeseen.



Kuva 4.1. NO<sub>x</sub> ja hiukkaspäästö (hiukkaspäästö \* 10) eri polttoaineseoksilla postin jakeluajoa kuvaavalla syklillä.

Puhtaalla RME:llä volymetrinen polttoainenkulutus kohosi 8 – 11 % vastaavista dieselpolttoaineella mitatuista arvoista. Kasvu on suurempi kuin mitä polttoaineiden lämpöarvoero antaisi aiheen olettaa (dieselpolttoaine tyypillisesti 36 MJ/l, RME 34 MJ/l, ts. ero n. 6 %). Pakoputkesta mitatut CO<sub>2</sub>-päästöt olivat RME:llä 1 – 2 % korkeammat kuin dieselpolttoaineella. Teoreettisesti kilogrammasta RME:tä syntyy noin 10 % vähemmän hiilidioksidia kuin dieselpolttoaineesta, mutta hiilidioksidipäästö kohoaa lievästi, koska polttoainenkulutus kasvaa selvästi.

Häkä- tai hiilivetypäästö ei muuttunut merkittävästi. Häkäpäästöjen hajonta eri mittauksissa oli selvästi suurempi kuin minkään muun päästökomponentin hajonta, mutta absoluuttinen päästö oli alhainen. Siksi esim. keskiarvotuloksen suhteellisen suureen muutokseen jakelusyklissä siirryttäessä dieselpolttoaineesta RME polttoaineeseen ei saa kiinnittää liikaa huomiota.

#### 4.2.2 Raskaan kaluston kokeet

Raskaan ajoneuvokaluston mittaukset tehtiin keskiraskaalla vuosimallin 2004 MAN Euro 3 –kuorma-autolla (kuva 4.2), joka edustaa postin aluejakelussa käyttämää kuorma-autotyyppiä. MAN käyttää tässäkin automallissa NO<sub>x</sub>-päästöjen alentamiseen EGR-tekniikkaa. Koesyklinä käytettiin VTT:n kehittämää jakelusykliä, joka on CAN-väylä tallenne Transpont'in todellisesta ajotapahtumasta. Jakelusykli kuvaa tyypillistä aluejakeluajoa esikaupunkialueella.

Koepolttoaineet olivat kesälaatuinen dieselpolttoaine, NExBTL biopolttoaine ja RME sekä dieselpolttoaineen ja RME:n 5, 30 ja 50 % RME:tä sisältävät seokset. Kokeet ajettiin VTT:n raskaan kaluston alustadynamometrillä, kaksi koetta / polttoaine paitsi dieselpolttoaine, jolla ajettiin kaksi koetta sekä sarjan alussa että lopussa. Dynamometrin asetusarvoina käytettiin seuraavia puolta kuormaa vastaavia arvoja:

- Inertia 9000 kg,  $F_0 = 173$ ,  $F_1 = 5.977$ ,  $F_2 = 0.1951$

Myös raskaan kaluston kokeissa mitattiin säännellyt pakokaasupäästöt (häkä, kokonaishiilivedyt, typen oksidit, partikkelimassa ja hiilidioksidi) sekä polttoaineenkulutus. Polttoaineenkulutus mitattiin vaa'alla kokeen aikana kulutettuna massana, joka muutettiin laskennallisesti l/100 km kulutukseksi.

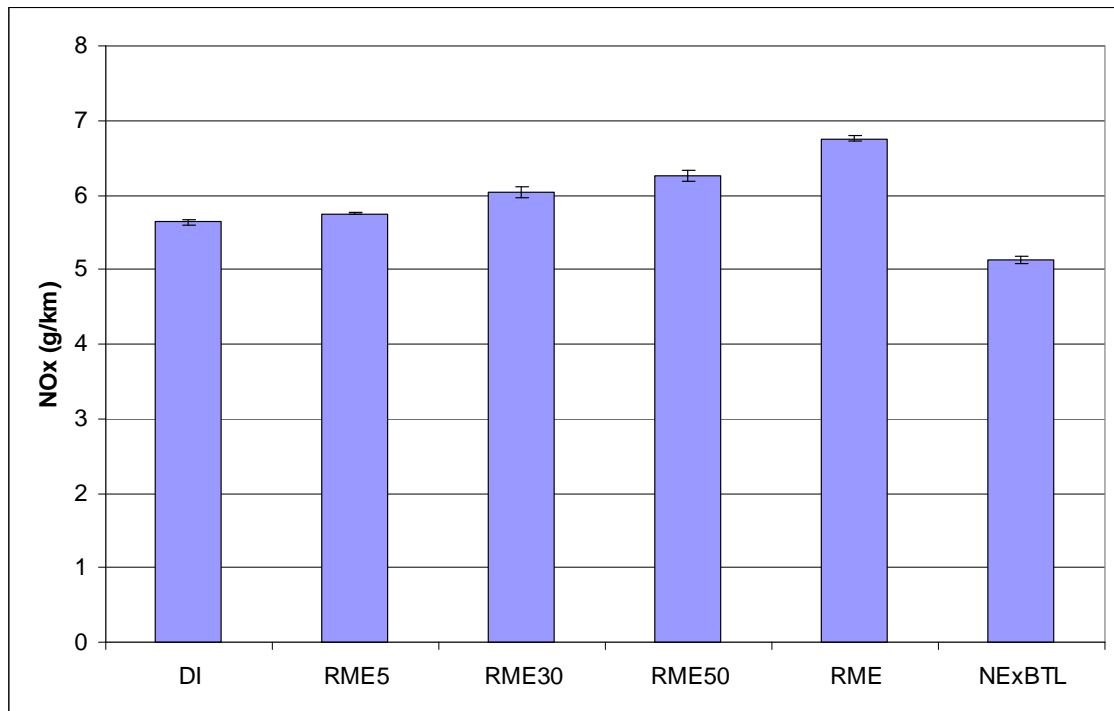


*Kuva 4.2. Kuorma-auto mittauspaikalla.*

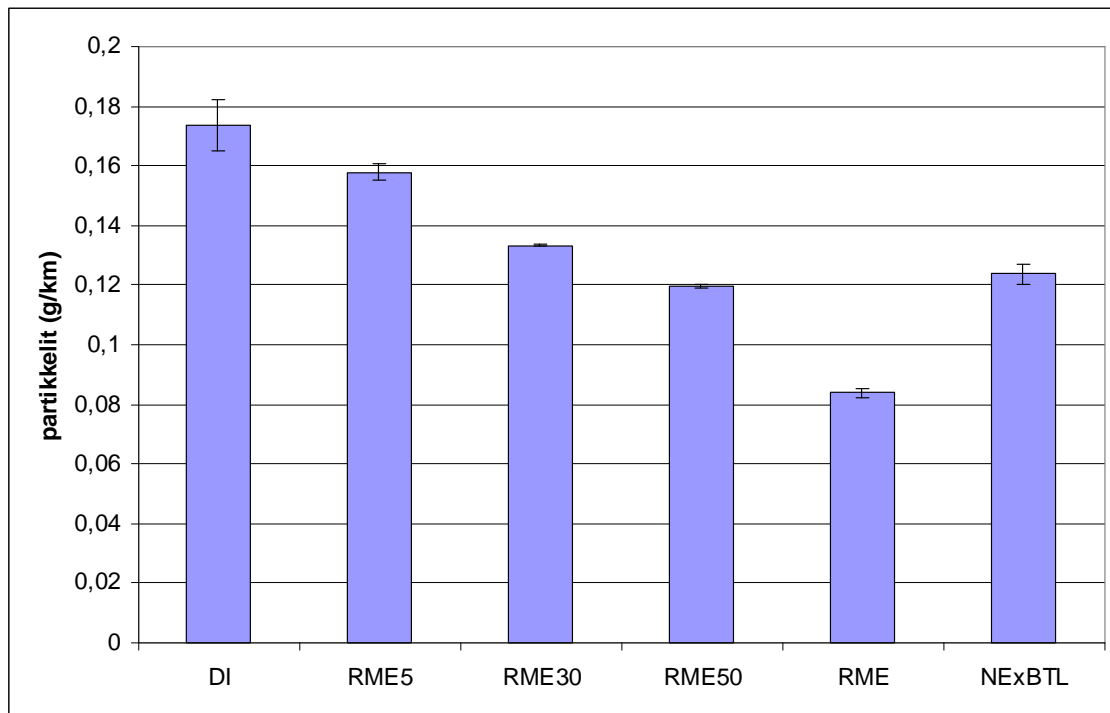
Taulukossa 4.3 on esitetty mittauksen keskiarvotulokset. Polttoaineenkulutus tulokset on muunnettu volymetriseksi kulutukseksi laskennallisesti vaa'alta mitatuista massa kulutuksista. Typen oksidi- ja partikkelipäästöt on esitetty myös kuvissa 4.3 ja 4.4.

Taulukko 4.3. MAN kuorma-auton keskimääräiset päästöt eri polttoaineilla

Polttoaine	CO (g/km)	HC (g/km)	NO <sub>x</sub> (g/km)	PM (g/km)	CO <sub>2</sub> (g/km)	Polttoaineen kulutus (l/100km)
DI -5/-15	2.5	0.1	5.6	0.18	558	20.7
NExBTL	1.7	0.1	5.1	0.12	521	21.5
5% RME	2.2	0.1	5.8	0.16	549	20.8
30% RME	2.2	0.1	6.0	0.13	552	21.1
50% RME	2.0	0.1	6.3	0.12	548	21.6
100% RME	1.4	0.1	6.8	0.08	562	22.5



Kuva 4.3. Typenoksidipäästöt eri polttoaineilla MAN kuorma-autolla ajetuissa kokeissa.



Kuva 4.4. Partikkelipäästöt eri polttoaineilla MAN kuorma-autolla ajetuissa kokeissa.

Tulokset kuorma-autolla olivat dieselpolttoaineen ja RME:n suhteen pitkälti samansuuntaisia kuin pakettiautollakin. Dieselpolttoaineeseen verrattuna RME alensi hiukkaspäästöä merkittävästi ja lisäsi typen oksidien päästöjä. Puhtaalla RME:llä hiukkaspäästö verrattuna dieselpolttoaineella mitattuun päästöön laski 65 %,  $\text{NO}_x$ -päästö vastaavasti kohosi 21 %. Nytkin muutokset RME osuuden kasvaessa ovat melko lineaarisia. Tulosten hajonta oli erittäin pieni.

NExBTL oli hiukkaspäästöjen suhteen dieselpolttoaineen ja RME:n 50/50 seoksen kaltainen (-30 %), mutta  $\text{NO}_x$ -päästöt olivat lähes 10 % alhaisemmat verrattuna tavanomaisen dieselpolttoaineen päästöihin, ja noin 25 % alhaisemmat verrattuna puhtaan RME:n  $\text{NO}_x$ -päästöihin.

Volymetrinen polttoaineenkulutus puhtaalla RME:llä kohosi noin 9 % tavanomaisen dieselpolttoaineen kulutuksesta, NExBTL:lla vastaava lisäys oli noin 4 %. NExBTL:n tiheys on tavanomaisen dieselpolttoaineen tiheyttä alhaisempi ja kulutuksen kohoaminen tilavuutena johtuu tästä.  $\text{CO}_2$ -päästöt olivat RME:llä noin 1 % korkeammat kuin dieselpolttoaineella eli mittaustarkkuudet puitteissa samat. NExBTL:n  $\text{CO}_2$  päästö oli vastaavasti 7 % alhaisempi, ja tässä selittävä tekijä on polttoaineiden erilainen vety/hiili suhde (parafiininen polttoaine).

Hiilivetyypäästö oli tässäkin erittäin alhainen ja vakaa polttoaineesta riippumatta.  $\text{CO}$ -päästö oli RME ja NExBTL polttoaineilla alhaisempi kuin muilla polttoaineilla, mutta  $\text{CO}$ -päästö vaihteli kuorma-autollakin enemmän kuin muut päästöt.  $\text{CO}$ -taso vastasi tällä autolla Euro 3 -kuorma-autojen keskimääräistä tasoa (HDenergia projektin vuosiraportti 2004, [www.rastu.fi](http://www.rastu.fi)).

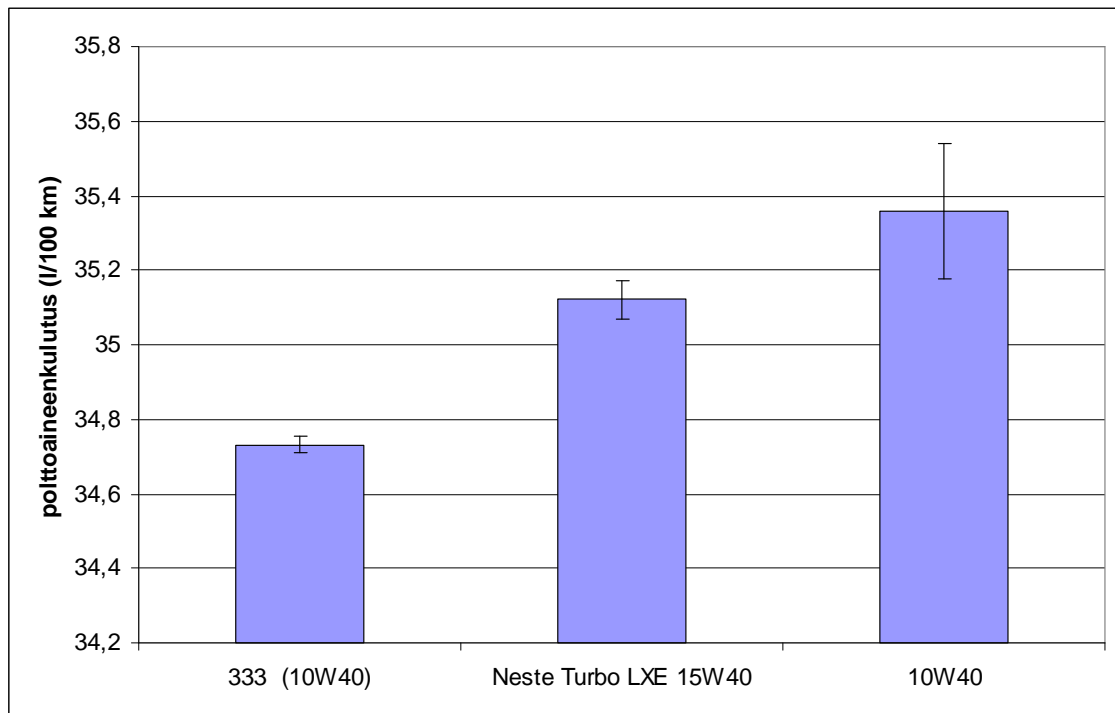
### 4.3 VOITELUAINEKOKEET

Alun perin vuodelle 2007 suunniteltuja voiteluainekokeita moottorilla aikaistettiin ja ne saatiin päätökseen jo tammikuussa. Kokeet myös raportoitiin edellisessä vuosiraportissa. Kokeet tehtiin Cummins ISBe4 160B (Euro 4) –moottorilla. Vuonna 2007 tehtiin suppea koesarja alustadynamometrillä kokonaisella ajoneuvolla (Kabus ML kaupunkibussilla), jossa oli samanlainen 4.5 litran Cummins moottori kuin moottorikokeissakin. Moottorikokeissa öljyjen väliset erot jäivät tällä moottorilla pieniksi (kuva 4.5), kun taas aikaisemmin kahdella muulla moottorilla (Volvo DH10A 285, Euro 2 ja Scania DC11 03 340, Euro 3) tehdyissä mittauksissa saatiin suurempia eroja.

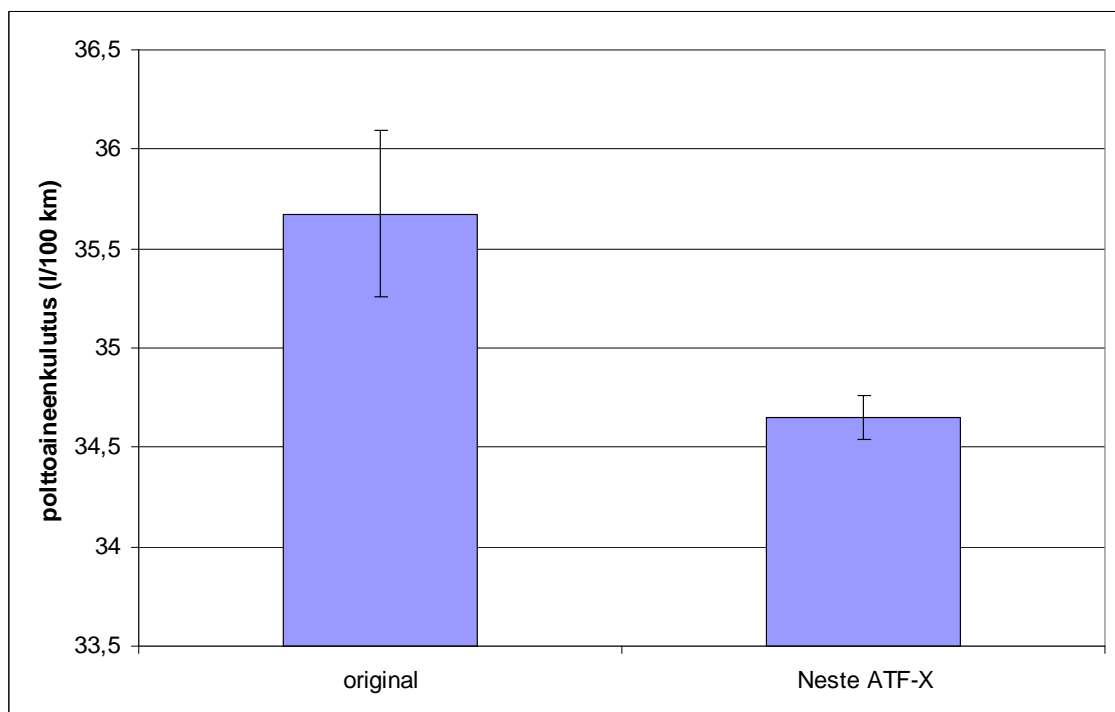
Automittauksia tehtiin kolmella moottoriöljyllä: 10W40 luokan prototyyppiöljyllä (kehitysformulaatio 333) sekä kaupallisilla 10W40 ja 15W40 luokan öljyillä. Kokeet tehtiin kaupunkiajaja kuvaavalla Braunschweig syklillä, kaksi koetta kullakin voiteluaineella.

10W40 viskositeettiluokan kehitysformulaatiolla saatiin alhaisin polttoaineenkulutus. Moottorikokeissa ero 15W40 luokan referenssiöljyyn oli vain runsaat 0,5 %. Bussikokeessa 15W40 luokan öljy ei ollut sama kuin referenssiöljy moottorikokeissa, mutta tulos oli samansuuntainen, joskin kulutusero oli noin kaksi kertaa suurempi, eli 1,1 %. Ajoneuvokokeissa virhemarginaali on suurempi kuin moottorikokeissa johtuen suuremmasta määrästä tulokseen vaikuttavia tekijöitä, joista tärkeimmät ovat kuljettaja ja renkaat. Kaikki nämä kokeet ajoi sama kuljettaja. Sinänsä hieman korkeampi ero olisi looginen, kaupunkiajaja kuvaavassa syklissä moottorin kuormitusaste on keskimäärin pieni ja silloin kitkahäviöiden suhteellinen merkitys kasvaa. Kahden 10W40 luokan öljyn välinen ero oli 1,8 %, joka on jo merkitsevä. Korkean tuloksen antanut öljy ei ollut mukana moottorikokeessa saatavuusongelmien vuoksi.

Aiemmin vastaavan tyyppisellä moottorilla on vertailtu vaihteistotyyppin vaikutusta (mekaaninen vaihteisto/automaattivaihteisto) polttoaineen kulutukseen ja havaittu automaattivaihteiston kitkahäviö varsin suureksi. Suuri kitkahäviö antaa ainakin teoriassa hyvät mahdollisuudet vaikuttaa häviöön merkittävästi öljyvalinnalla. Samalla linja-autolla ja samalla koejärjestelyllä kuin moottoriöljykokeessa tehtiin kokeet auton alkuperäisellä automaattivaihteistoöljyllä ja Neste ATF-X öljyllä. ATF-X öljyllä polttoaineenkulutus aleni kahden kokeen keskiarvoista laskettuna 2,9 %. Alkuperäisellä öljyllä ajettujen kokeiden tulosten hajonta on valitettavan suuri, mutta eri öljyjen tulosten ero on silti selvä ja todistaa, että automaattiöljyn oikealla valinnallakin voidaan säästää polttoainetta (kuva 4.6). Automaattivaihteistoöljyjen kohdalla, kuten muidenkin öljyjen kohdalla, on huomioitava ajoneuvon valmistajan öljylle asettamat vaatimukset.



Kuva 4.5. Voiteluaineen vaikutus linja-auton polttoaineenkulutuksen Braunschweig syklillä ajetuissa kokeissa.



Kuva 4.6. Automaattivaihteistoöljyn vaikutus linja-auton polttoaineenkulutuksen Braunschweig syklillä ajetuissa kokeissa.

#### 4.4 LIIKENTEEN POLTTOAINEVAIHTOEHDOT –KEHITYS- TILANNERAPORTTI

VTT teki vuonna 2002 MOBILE<sup>2</sup>-tutkimuskokonaisuuden puitteissa selvityksen eri polttoainevaihtoehtojen päästö- ja käytettävyyssominaisuuksista. Tämä raportti oli pääasiassa taulukkomuodossa. Vuonna 2007 liikenne- ja viestintäministeriö tilasi aiheeseen päivityksen. Selvityksen muoto on nyt normaali kehitystilanneraportti. Raportin liitteenä on taulukkomuotoinen yhteenveto päivitettyinä. Raportti ja sen tiivistelmä ovat ladattavissa RASTU:n verkkosivuilta osoitteesta <http://www.motiva.fi/fi/raskaskalusto/rastu/rasturaportit/poltojavoiteluaineet/>

Vuoden 2002 jälkeen kehitys on mennyt nopeasti eteenpäin varsinkin biopolttoaineiden osalta. Vuonna 2003 EU:ssa annettiin liikenteen biopolttoainedirektiivi, joka asettaa vuoden 2005 käyttötavoitteeksi 2 % ja vuoden 2010 käyttötavoitteeksi 5,75 % biopolttoaineita energiana laskien. Niinpä esim. biopolttoaineiden tuotanto Euroopassa viisinkertaistui vuodesta 2002 vuoteen 2006. Suomessakin astuu voimaan liikenteen biopolttoaineiden käyttövelvoite vuonna 2008. Nyt on kuitenkin havahduttu siihen, että ns. ensimmäisen sukupolven biopolttoaineet eivät välttämättä ole kovin hyvä vaihtoehto ympäristön kannalta. Synteettiset, ns. toisen sukupolven biopolttoaineet ovat nousseet päämielenkiinnon kohteeksi.

Päästö- ja käytettävyyssominaisuuksien lisäksi on nyt käsitelty myös liikenteen ympäristöhaasteita yleisellä tasolla, maailman liikennepolttoaineiden tuotantoa ja käyttöä sekä vaihtoehtoisten polttoaineiden edistämistoimia. Vaihtoehtoisten polttoaineiden osuus on nyt maailman tasolla yhteensä noin 3,5 %, ja biopolttoaineiden osuus noin 1,5 %. Suurusjärjestyksessä tärkeimmät vaihtoehtoiset polttoaineet ovat etanoli, nestekaasu ja maakaasu.

Liikenne- ja viestintäministeriön toivomuksesta on tarkasteltu myös eri polttoainevaihtoehtojen elinkaaren aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä. Eri polttoainevaihtoehtojen suorituskyvyn ja päästövaikutusten kuvauksissa on käytetty mahdollisimman uusia tutkimustuloksia.

## 5 AJONEUVOTEKNINEN KEHITYSTYÖ (OT 3)

Vastuutahot: TKK ja VTT

Teksti: Henri Ritola, Mikko Lehessaari & Osku Kajalainen (TKK), Tommi Hangasmaa & Petri Laine (VTT)

Tähän alatehtävään liittyen on laadittu seuraavat erillisraportit:

- Ritola, Henri: Raskaan kaluston perävaunujen kevytrakennetekniikka. TKK:n diplomityö.
- Lehessaari, Mikko: Moduuliyhdistelmän stabiliteetin parantaminen renkaiden avulla. TKK:n diplomityö.

### 5.1 YLEISTÄ

Tämän osatehtävän toteuttamiseen osallistuivat vuonna 2007 TKK:n Autotekniikka ja VTT. TKK:lta valmistui aihealueeseen liittyen kaksi diplomityötä. Toisessa hyödynnettiin Turun ammattikorkeakoulun aiemmin tekemää selvitystä raskaiden ajoneuvojen painoista. Vuonna 2007 tehtiin paljon töitä renkaisiin liittyen, sekä turvallisuus- että energiankulutusmielessä. Ajoneuvoyhdistelmien stabiliteetin osalta TKK onnistui generoimaan varsin vaikuttavia tuloksia.

### 5.2 KEVYTRAKENNETEKNIikka (TKK)

#### 5.2.1 Yleistä

Ritolan diplomityössä perehdytään perävaunujen rakenteeseen, materiaaleihin ja päällirakenteisiin tarkoituksena muodostaa kokonaiskuva perävaunun omamassan rakentumiselle. Kun eri kokonaisuusien osuudet ovat selvillä, vertaillaan eri materiaali- ja rakennevaihtoehtojen vaikutuksia. Tarkoituksena on löytää keinoja keventää perävaunun omamassaa, josta on hyötyä polttoaineen kulutuksen ja päästöjen pienentämisessä kuljetettua tonnikilometriä kohti. Toinen etu, joka omamassan pienentyessä tulee, on mahdollisuus ottaa suurempi hyötykuorma ja näin ollen kasvattaa kuljetusten kannattavuutta. Samalla raskas kalusto vähenee teillä ja myös turvallisuus paranee. Tarkastelussa keskitytään kappaletavarakuljetuksiin tarkoitettuihin perävaunuihin, koska niistä oli saatavilla massaselvitys, joka on tehty Turun AMK:ssa.

#### 5.2.2 Suomen tilanne

Tyypillisin puoliperävaunu Suomessa on kokonaismassaltaan 24 tonnia. Näistä suurin osuus on irtopeitteellä katettuja. Seuraavana tulevat konttivarusteet, eristetyt sekä eristämättömät umpikorit.

Umpikorisisista puoliperävaunuista suurin osuus on 6-tonnisia, mutta myös huomattavasti kevyempiä ja painavampia puoliperävaunuja esiintyy merkittävästi. Suomen puoliperävaunukalustosta on suurin osa ulkomaisilta ja vain murto-osa kotimaisilta valmistajilta. Vaihteluväli on jopa 2,5 tonnia, josta osa selittyy erilaisilla päällirakenteilla, mutta eron ollessa noin huomattava täytyy myös muiden komponenttien olla huomattavasti raskaampia tai kevyempiä.

Eristettyjen täysperävaunujen osuus on suuri, koska Suomen olosuhteet vaativat niin. Talvella eristys estää kuorman jäätyksen ja kesällä pitää sen viileänä. Eristetyssä perävaunussa on yleensä myös lisävarusteena kylmäkone, jolla voidaan hallita paremmin kuormatilan lämpötilaa. Täysperävaunut ovat muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta neljä- tai viisiakselisia. Neliakselisista suurin osa on kokonaisuutensa 36-tonnisia, mutta viisiakselisista kolme eri kokonaispainoa on suhteellisen tasoissa; 38, 40 ja 42-tonniset mallit.

Suomessa kuljetusten optimointi useiden paikkojen kautta vaatii, että kesken matkan voidaan purkaa osa lastista pois. Tämä vaatii, että kuormatila on saatava auki myös sivulta. Sivulta aukeavat kuormatilat ovat eristetyissä vaunuissa Suomen ”erikoisuus” ja niitä ei muualla maailmassa juuri tavata. Tekninen toteutus vaatii huomattavasti raskaammat laipiot ja tukirakenteet, että ne kestävät aukeavien sivuovien painon. Tästä johtuu Suomessa valmistettujen kappaletavaraperävaunujen huomattavasti suurempi omamassa verrattuna esim. eurooppalaiseen vastaavaan. Sama pätee myös puoliperävaunujen kohdalla.

Perävaunujen omamassa koostuu eri komponenteista, joista suurimmat vaikuttajat kokonaisuudessaan ovat runko, päällirakenne, akselit, renkaat, jarrujärjestelmä ja erilaiset koneet. Taulukossa 5.1 on yksi esimerkki puoli- ja täysperävaunun eri komponenttien osuuksista. Alustan massaan kuuluvat runko, akselit/jousitus, renkaat, lisävarustus ja muuta.

*Taulukko 5.1. Eri komponenttien osuudet puoli- ja täysperävaunujen omamassoista.*

Komponentti	Puoliperävaunu (42 t)	Täysperävaunu 5-aks. (42 t)
Omamassa (kg)	9000 (10000)	10600
Alusta (kg)	5250	8400
<i>Runko (kg)</i>	2900	4300
<i>Akselit/jousitus (kg)</i>	1500	2500
<i>Renkaat (kg)</i>	700	1150
<i>Lisävarustus (kg)</i>	50	300
<i>Muuta (kg)</i>	100	150
Päällirakenne (kg)	3750	2200
Kylmäkone (kg)	(1000)	-

### 5.2.3 Kevennysvaihtoehtoja

Yleisin tapa pudottaa painoa perävaunuissa on vaihtaa materiaali perinteisestä teräksestä ja raudasta alumiiniin, erilaisiin metalliseoksiin tai komposiitteihin. Tällä toimenpiteellä saadaan runkoa ja päällirakenteita kevennettyä huomattavasti. Päällirakenteiden paneeleissa kevennykseen voidaan käyttää lasi- tai hiilikuitua.

Suurin osa perävaunun massasta koostuu kuitenkin akselistoista, jarruista, jousituksesta ja renkaista, mutta päähuomio on kuitenkin keskittynyt päällirakenteisiin ja runkoihin. Valmistajilta löytyy kyllä erilaisia keveitä versioita em. komponenteista, mutta niitä ei vielä ole kovin laajassa käytössä verrattuna päällirakenteiden vastaaviin. Rengastuksen vaihdolla esim. pienempään halkaisijaan tai ns. supersingleen saadaan useita satoja kilogrammoja pois perävaunun omamassasta. Puskurit, alleajosuojat, työkalulaatikot ja muut koriin kiinnitettävät apulaitteet ovat huomattavasti mitättömämpi osuus perävaunun omamassasta yksittäisinä osina, mutta yhdessä ne muodostavat huomattavan kevennyskohteen.

Toinen vaihtoehto keventämiseen on käyttää suurlujuusteräksiä, joilla voidaan käyttää pienempiä ainepaksuuksia kuin normaaleilla laaduilla ilman, että rakenteet heikentyvät ja näin ollen saadaan painoa pois. Määritelmän mukaan suurlujuusteräksinä pidetään yli 355 MPa myötörajan laatuja. Lujemmilla materiaaleilla saadaan aikaan painon säästöä ilman, että turvallisuus huononee. Myös staattisten kuormien sieto on parempi kuin matalalujuuksisilla laaduilla, mutta liitoksien väsymisen sieto ei juuri parane. Suurlujuusteräkset ovat kalliimpia kuin normaalit laadut ja niiden liittäminen hitsaamalla vaatii erityisosaamista.

Alumiiniin käyttö on yleisin tapa keventää rakenteita; 25 vuotta sitten alumiinipohjaisilla perävaunuilla oli vain n. 0,4 % osuus kaikista markkinoista, mutta vuonna 2000 se oli jo yli 14 %. Vahvistamalla poikittaista tukirakennetta rungossa oikeista paikoista, saadaan alumiinikin kestävämmän teräksen tavoin. Osa täysin alumiinisiin perävaunuihin siirtyneistä yrityksistä on palaamassa takaisin teräsrunkoihin ja alumiinin ja teräksen yhdistelmiin, joilla saadaan haluttu kompromissi painon ja hinnan välille. Lämpöeristettyjen vaunujen valmistajat eivät ole siirtyneet alumiinin käyttöön sen huonon hinta/painon kevennys suhteen takia. Monet valmistajat tekevät niin, että kaikki osat, jotka eivät joudu muuttuvien kuormitusten kohteeksi, ovat alumiinia ja loput terästä.

Putkipalkit soveltuvat moniin eri sovelluksiin hyvin niiden hyvän taivutus- ja vääntöjäykkyyden vuoksi. Niiden keveys suhteessa nurjahduskestävyyteen ja edullinen muoto tekevät niistä erinomaisia vaihtoehtoja ajoneuvojen rakenteissa. Huono puoli vääntöjäykkissä palkeissa on niiden aiheuttamat jännitykset rakenteisiin, kun joustot ovat tarpeellisia tai toivottuja. Suunnittelun ja valmistuksen kannalta putkipalkeilla on edullisia ominaisuuksia, kuten yksinkertaiset liitokset (neliö- ja suorakaideputket), vähän parametreja ja laaja mittavalikoima. Liitoksissa esiintyy usein korkeita jännitysgradientteja ja tästä johtuen staattisilla kuormituksilla esiintyy useita erilaisia vaurioita. Em. vaurioita voidaan estää vahvistamalla liitoksia tai käyttämällä paksumpiseinäisiä profiileja.

Renkailla saadaan parhaimmillaan kevennettyä satoja kilogrammoja, esim. yksikköpyörillä 445/50R22,5 perävaunu on n. 270 kg kevyempi kuin 275/80R22,5 paripyörillä alumiinivanteilla ja n. 620 kg kevyempi kuin vastaavilla renkailla teräsvanteilla. Alumiinivanteita käytetään n. 40 – 50 % kuorma-autoissa, mutta vain n. 10 % perävaunuista.

Vastaavalla suomalaisella rengastuksella siirryttäessä paripyöristä 275/70R22.5 kokoon 385/55R22.5 kasvaa samalla akselien lukumäärä neljästä viiteen, mutta siltikin painonsäästöä tulee 486 kg. Tuosta painonsäästöstä 220 kg tulee 10 teräsvanteen vaihtamisesta alumiinivanteisiin ja loppu painonsäästö tulee rengastuksesta. Lisäksi singlepyörät rullaavat kevyemmin kuin paripyörät. Arvio alumiinivanteiden yleisyydestä Suomessa kuorma-autoissa ja perävaunuissa on alle 5 %.

Lasikuituiset perävaunut ovat lupaavia painonhallinnassa. Esimerkiksi 15,24 m pitkä versio painaa vain 20 % teräksisen ja 40 % alumiinisen painosta, omaten kuitenkin saman kuljetuskapasiteetin. Hankintahinta on kuitenkin korkeampi, mutta materiaali maksaa itsensä takaisin n. 18 kuukaudessa parantuneella hyötykuormalla. Ongelmia tulee myös metallin ja komposiitin liitoksissa. Lasikuitujen suuntaus materiaalissa mahdollistaa sen muunneltavuuden eri käyttötarkoituksiin (kattopaneelit, kuormaa kantavat osat jne.) ja antaa etuja materiaaliominaisuuksien muokkauksessa. Komposiittien käyttö kuljetusvälineissä on kasvanut voimakkaasti viime vuosien aikana, johtuen niiden lujuudesta ja jäykkyydestä. Yhdysvaltalaisen komposiittivalmistajien yhdistyksen Composites Fabricators Association (CFA) mukaan kolmasosa tuotannosta käytettiin kuljetusalan sektorin toimesta vuonna 2001 kasvuennusteen ollessa 4 – 5 % vuosittain komposiittien käytölle kuljetusvälineissä. Kestomuovit ovat yleistyneet viime vuosikymmenen aikana rakenteissa ja kilpailevat komposiittien kanssa. Kestomuovien selkeä etu komposiitteihin verrattuna on niiden uudelleenmuovattavuus lämmön avulla, helpompi kierrätettävyys ja parempi iskunkestävyys. Näillä perusteilla ne sopivatkin erinomaisesti julkisen liikenteen sovelluksiin.

## 5.2.4 Simulointi

### Simulointimallit

Suomalaisen umpikorisen puoliperävaunun keskimääräinen omamassa on n. 6 000 kg. Täytyy kuitenkin muistaa, että umpikori voi olla eristetty tai eristämätön ja perän lisäksi myös sivulta aukeava. Päällirakenteen toteutus vaikuttaa ratkaisevasti perävaunun omamassaan, joten keskiarvoa ei voi suoraan yleistää kaikille umpikorisille puoliperävaunutyypeille. Tyypillinen omamassa sivusta aukeavalle eristetylle puoliperävaunulle on n. 9 000 kg. Puoliperävaunujen polttoaineen kulutuksen simuloinneissa käytetään em. perustein massoja 3 000 kg, 5 400 kg, 6 000 kg, 7 500 kg ja 9 000 kg.

Täysperävaunujen tapauksessa on huomattavasti vähemmän vertailukohtia eri maiden välillä, koska niitä valmistetaan niin pienellä volyyymilla. 4-akseliset täysperävaunut painavat keskimäärin n. 10 500 kg ja 5-akseliset 12 000 kg. Painavimmat yksilöt ovat 4- ja 5-akselisissa n. 14 000 kg. Keveimmät 4-akseliset painavat n. 8 500 kg ja 5-akseliset

n. 9 500 kg. Simuloinnit suoritetaan em. perustelujen mukaan käyttämällä massoja 4 500 kg, 8 500 kg, 10 500 kg ja 14 000 kg ja tuloksia vertaillaan polttoaineen kulutuksen mukaan.

Simuloinneissa käytetään Scania 94D ja 124G pohjalta tehtyjä malleja. Mallit on tehnyt Antti Lajunen (TKK) diplomityöhönsä ”ajotavan vaikutuksen simulointi polttoaineen kulutukseen” osana RASTU:a edeltänyttä HD-energia projektia. Näin ollen ne olivat looginen valinta simulointimalleiksi. Ajosyklinä käytetään samassa työssä käytettyä moottoritiesykliä. Kokonaisaika on 1 415 s, kuljettu matka 30,76 km ja keskinopeus 78,26 km/h

### Simulointitulokset

Kuten aiemmin on mainittu, kappalevarakuljetuksissa tila loppuu usein kesken ennen kuin painorajat, joten siellä on mahdollista saada kaikki kevennetyt kilogrammat suoraan polttoaineen kulutuksen säästöön. Seuraavassa kuljetettava kuorma on 10 tonnia ja perävaunun massa muuttuu taulukon 5.2 mukaisesti. Näistä tuloksista voidaan verrata perävaunun omamassan vaikutusta polttoaineen kulutukseen tietyllä kuormalla.

*Taulukko 5.2. Puoliperävaunun polttoaineen kulutus 10 tonnin kuormalla eri omamassoilla.*

Massa perävaunu (kg)	Massa kuorma (kg)	Massa vetoauto (kg)	Kokonais-massa (kg)	Polttoaineen kulutus (l/100 km)	Kuljettu matka (km)
5 400	10 000	6 000	21 400	21,7	30,3
6 000	10 000	6 000	22 000	21,9	30,3
7 500	10 000	6 000	23 500	22,3	30,1

Taulukossa 5.3 on simulointituloksia täysperävaunun polttoaineen kulutuksesta 20 tonnin kuormalla ja eri omamassoilla.

*Taulukko 5.3. Täysperävaunun polttoaineen kulutus 20 tonnin kuormalla eri omamassoilla.*

Massa perävaunu (kg)	Massa kuorma (kg)	Massa vetoauto (kg)	Kokonais-massa (kg)	Polttoaineen kulutus (l/100 km)	Kuljettu matka (km)
8 500	20 000	7 900	36 400	34,6	30,4
10 500	20 000	7 900	38 400	35,2	30,3
12 000	20 000	7 900	39 900	35,6	30,2
14 000	20 000	7 900	41 900	36,2	30,0

Käsitellään tapausta, jossa kuljetetaan 1 000 milj. tonnikilometriä kuormaa ja lasketaan sen siirtämiseen tarvittava kaluston lukumäärä puoli- sekä täysperävaunuyhdistelmillä. Vetoautojen massat ovat samat kuin aikaisemmin simuloinneissa käytetyt. Kuljettava matka on 400 km ja oletetaan, että yhdistelmä on lastattu suurimpaan sallittuun

kokonaismassaan, joka puoliperävaunuyhdistelmillä on siis 42 tonnia ja täysperävaunuyhdistelmillä 60 tonnia. Tulokset on esitetty taulukossa 5.4.

Viimeinen sarake kuvaa tarvittavaa yhdistelmien lukumäärää Suomen keskimääräisellä kalustolla. Puoliperävaunuyhdistelmien (pp) ja täysperävaunuyhdistelmien (tp) suhde toisiinsa on 24 % ja 76 %. Keskimääräisillä 6 000 kg puoliperävaunuilla ja 10,5 tonnin täysperävaunuilla vaadittaisiin 65 673 kpl yhdistelmiä alussa mainittuun kuljetussuoritteeseen.

*Taulukko 5.4. Laskentaesimerkki 1 000 milj. tonnikilometrin kuljetuksesta puoli- ja täysperävaunuyhdistelmillä.*

Perävaunun omamassa (kg)		Tarvittava määrä yhdistelmiä (kpl)				Suomi
Puoliperävaunu	Täysperävaunu	Puoliperävaunuyhd.	Ero seuraavaan	Täysperävaunuyhd.	Ero seuraavaan	pp 24 % tp 76 %
3 000	4 500	75 758	5 942	52 521	4 818	58 098
5 400	8 500	81 699	1 634	57 339	2 757	63 186
6 000	10 500	83 333	4 386	60 096	2 248	65 673
7 500	12 000	87 719	4 873	62 344	3 273	68 434

Täydessä kuormassa keskimääräinen polttoaineen kulutus puoliperävaunuyhdistelmillä on n. 35 l/100 km ja täysperävaunuyhdistelmillä n. 52 l/100 km. Taulukon TKK4 perusteella laskettuna puoliperävaunujen tapauksessa 1 634 yhdistelmää vähemmän 400 km matkalla tekee polttoaineen kulutuksessa 228 760 l. Eli käyttämällä 600 kg kevyempää puoliperävaunua em. kuljetussuoritteessa on mahdollista säästää n. 228 760 l polttoainetta.

Vastaava tarkastelu täysperävaunuyhdistelmien tapauksessa vaatii 2 248 yhdistelmää vähemmän, kun käytetään 1 500 kg kevyempää täysperävaunua. Polttoaineen kulutuksessa tämä tarkoittaa n. 467 580 l säästöä.

### 5.2.5 Johtopäätökset ja yhteenveto

Suomessa käytetään paljon sivusta-aukeavia puoliperävaunuja logistiikan takia. On tärkeää saada välillä purettua ja lastattua kuormaa ilman, että kaikki kyydissä olevat tavarat joudutaan siirtämään. Lisäksi suomen olosuhteiden takia kuormatilassa vaaditaan eristys, joka puolestaan aiheuttaa sen, että suurin osa kuljetuskaluston kuormatiloista on eristetty puhuttaessa kappaletavarakuljetuksista.

Toisen ongelman aiheuttaa tiestö ja sen kunto. Vaikka pääosin Suomen tieverkosto on hyvässä kunnossa, niin elinkaarensa aikana perävaunu joutuu myös ”huonommille” teille, joissa akselistot ja runkorakenne joutuvat suurempien rasiusten kohteeksi. Tällaiset seikat aiheuttavat suunnitteluvaiheessa helposti liian suuret varmuudet rakenteiden suhteen, varsinkin jos elinkaari on useita kymmeniä vuosia.

Täysperävaunut ovat käytännössä Suomen erikoisuus ja niiden valmistusta ei juuri ole muualla maailmassa. Verrattaessa puoliperävaunuihin täysperävaunujen pienen

valmistusmäärän takia ei ole syntynyt samanlaista kehitystä kevennyksen suhteen. Valmistajien välille ei ole syntynyt kilpailua siinä määrin, että se olisi vaikuttanut omamassojen selkeään pienenemiseen. Tämän johdosta täysperävaunuissa on suuria mahdollisuuksia kevennyksen suhteen.

Voidaankin sanoa, että Suomen olosuhteet aiheuttavat ”ylimääräisiä” kilogrammoja perävaunujen omamassoihin. Tämä huomioon ottaen on mahdollista kuitenkin keventää rakenteita ja yksittäisiä komponentteja vielä huomattavasti. Työn edetessä muodostui käsitys, että aihepiirin kartoittaminen laajemmin jopa demonstraatio tai prototyyppi asteelle voisi olla hyödyllistä ajatellen suomalaisen perävaunuteollisuuden kilpailukykyä ja sen parantamista tulevaisuudessa. Erityisen ajankohtaiseksi aihepiirin tekee suunnitelma sallia pohjoismaiset yhdistelmätyypit (pituus 25,25 m ja paino 60 tonnia) laajemmin EU:n sisällä. Tällöin pohjoismaisten säädösten mukaan mitoitettujen perävaunujen markkinat laajenevat sekä markkinoille tulee uusia valmistajia Keski-Euroopan suurista puoliperävaunuvalmistajista.

Euroopan muuttuvat mitta- ja painosäädökset toteutuessaan mahdollistaisivat pidempien ja painavampien yhdistelmien käytön koko EU:n alueella ja näin ollen kevyempi kalusto voisi kuljettaa enemmän hyötykuormaa kerralla. Useiden tutkimusten perusteella on havaittu, että harvemmin käytetään 100 % kuljetuskapasiteetista, varsinkaan kappaletavaroiden kuljetuksessa. Näin ollen kappaletavarakuljetuksissa saataisiin kevennyksestä tuleva painon pudotus suoraan hyödynnettyä yhdistelmän pienemmässä kokonaisuudessa.

Suuremman hyötykuorman myötä tiellä liikkuva raskasliikenne vähentyisi ja liikenneturvallisuus parantuisi. Polttoaineen kulutuksen pienentymisen myötä myös päästöt ja ympäristövaikutukset vähenisivät. Ainoa ongelma muodostuisi edelleen vajaista kuormista ja niiden aiheuttamasta ”hukkatyöstä”.

## 5.3 MODUULIYHDISTELMIEN STABILITEETTI JA RENKAIDEN VAIKUTUS (TKK)

### 5.3.1 Tehtävä

Paljon julkisuutta saaneet maanteiden suuronnettomuudet ovat nostaneet esiin raskaan kaluston turvallisuuden ja pakottaneet viranomaiset etsimään uusia keinoja sen edistämiseksi. Turvallisuuteen voidaan vaikuttaa monin tavoin. Ajoneuvon stabiiliuden lisääminen on yksi tapa pyrkiä parantamaan ajoneuvon hallittavuutta ja estämään vakavien onnettomuuksia syntymistä.

Ajoneuvoyhdistelmien stabiiliutta on tutkittu melko laajasti. Suomen oloihin soveltuvia tutkimuksia ovat tuottaneet lähinnä VTT sekä Ruotsin liikenteen ja kuljetusalan tutkimuslaitos. Moduuliyhdistelmistä kuorma-auton ja varsinaisen perävaunun yhdistelmän stabiilius on aikaisemmissa tutkimuksissa todettu paljon huonommaksi kuin esimerkiksi kuorma-auton ja puoliperävaunun yhdistelmän tai kuorma-auton ja keskiakseliperävaunun yhdistelmän stabiilius. Lisäksi renkaiden vaikutus raskaan

kaluston stabiiliuden tutkimuksissa on sen sijaan jäänyt vähemmälle huomiolle, vaikka renkaiden tiedetään vaikuttavan ajoneuvon hallittavuuteen merkittävästi

Tässä työssä tutkitaan raskaan kaluston ja etenkin kuorma-auton, apuvaunun ja puoliperävaunun muodostaman yhdistelmän stabiiliutta sekä stabiliteetin parannusmahdollisuuksia rengastuksen avulla. Rengastuksella tarkoitetaan apuvaunun ja perävaunun eri akseleilla käytettäviä eritasoisia renkaita, uusia ja kuluneita. Tutkimusongelmaksi voidaan kiteyttää, että minkälaisella mahdollisimman pienellä rengastusmuutoksella voidaan saada mahdollisimman edullinen vaikutus yhdistelmän käyttäytymiseen.

### 5.3.2 Stabiilius ja ajokäyttäytyminen

Dynaaminen stabiilius voidaan jakaa kahteen osaan: kallistumisstabiiliuteen ja sivuttaisstabiiliuteen. Kaatuminen on epästabiilia kallistumista, mutta sivuttaisstabiiliuden epästabiili tila on paljon hankalammin määriteltävissä. Yleensä epästabiilina pidetään tilannetta, jossa tasapainoasemastaan poikkeutettu kappale ei palaa enää takaisin tasapainoasemaan, eli epästabiili ajoneuvo on sivuttaisstabiiliuden kannalta vasta kun ajoneuvo on kiertynyt niin paljon, että se ei enää palaudu takaisin alkuasemaansa. Kuitenkin epätoivottu vaarallinen tilanne saavutetaan paljon ennen epästabiilia tilaa. Ajoneuvoyhdistelmä voi olla stabiili vaikka perävaunu kulkisi vastaantulijoiden kaistaa sivuttaisluistossa samanaikaisesti kun vetoauto on omalla kaistallaan.

Ajokäyttäytymistä ja ajoneuvon stabiiliutta voidaan mitata ja tutkia monilla eri tavoilla. Ajoneuvon käyttäytyminen erilaisissa tilanteissa tulee parhaiten esille kokeissa, joissa kuljettajan vaikutus pyritään minimoimaan. Tällaisissa takaisin kytkemättömissä kokeissa ongelma on kuitenkin tulosten vertailu silloin, kun ajoneuvosta muutetaan jotain sellaista, että esimerkiksi ajoneuvon ajoura muuttuu, kun tarkoitus olisi suorittaa sama ajokoe.

Käytännössä kaikki autot suunnitellaan nykypäivänä aliohjaaviksi. Kuorma-autot, etenkin teliakselilla varustettuna, ovat yleensä erittäin aliohjaavia, koska teliakselin tuottama sivuttaisvoima on suurempi kuin yksittäisakselin. Kuitenkin kuormaamattomana, kun rengaskuormitukset ovat todella pienet, saattaa tilanne muuttua merkittävästi ja yliohtaminenkin on mahdollista.

Perävaunun käyttäytyminen eroaa monesti vetoauton käyttäytymisestä melko paljon muun muassa liikkeiden ja kiihtyvyyksien vahvistumisen vuoksi. Sivuttaiskiihtyvyyden vahvistuminen aiheuttaa monesti perävaunun sivuttaista heilahtelua, vaikka vetoauto kulkee ohjausuraansa pitkin tai käyttäytyy aliohjaavasti. Liukkaalla kelillä perävaunujen ongelma on sivuttaispidon menetys, ja kesällä pitävällä kelillä ongelma on useimmiten kaatuminen.

Varsinaisen perävaunun tai apuvaunun ja puoliperävaunun yhdistelmän näkee usein liukkaalla kelillä heilahtelevan ja kiemurtelevan. Tätä kiemurtelua kutsutaan monissa englanninkielisissä raporteissa ”snakingiksi”. Kiemurtelu voi johtua monenlaisista

tekijöistä, mutta mitä luultavimmin se johtuu vetoauton hieman mutkittelevasta käyttäytymisestä, joka vahvistuu perävaunussa.

Apuvaunun renkaiden pidonmenetys voi aiheuttaa perävaunun linkkuun menon. Varsinaisen perävaunun tai puoliperävaunun ja apuvaunun yhdistelmässä liikkeiden ja kiihtyvyyksien vahvistuminen tapahtuu kahteen kertaan. Ensin vetoauton liike siirtyy apuvaunuun, josta se siirtyy edelleen perävaunuun. Tästä johtuen apuvaunun käyttäytymisellä on iso merkitys perävaunun käyttäytymiseen.

### 5.3.3 Ajokokeet

Ajoneuvon käyttäytymistä voidaan tutkia erilaisilla ajokokeilla. Tyypillisesti ajokokeet voidaan jakaa kahteen tyyppiin: staattiseen ja dynaamiseen. Tässä staattisella ja dynaamisella tarkoitetaan yleensä ohjausta, eli staattisessa ohjaukskulma pysyy vakiona ja dynaamisessa taas ei.

Dynaamiset ajokokeet ovat lähempänä todellisuuden ajotilanteita, mutta näissä kokeissa jonkin tietyn asian vaikutusta on hankalampi tutkia kuin staattisissa kokeissa. Tämä johtuu ajoneuvojen ja renkaiden toiminnan monimutkaisuudesta ja epälineaarisuudesta, jolloin jonkin asian muuttaminen voi jossain tilanteessa aiheuttaa kovinkin odottamattomia muutoksia ajokäytökseen. Ajoneuvoyhdistelmän käyttäytyminen riippuu aina kaikkien osien kombinaatiosta, ja tällöin jonkin komponentin muuttaminen paremmaksi voi aiheuttaa jollain tietyllä ajokokeella huomattavasti huonomman suorituksen kuin huonommalla komponentilla.

Väistökokeet ovat perinteisiä ja helposti kuviteltavissa todelliseksi ajotilanteeksi. Niiden antama informaatio voi kuitenkin olla joskus hankalasti tulkittavaa johtuen monista tekijöistä, jotka vaikuttavat ajoneuvon käyttäytymiseen.

Kaistanvaihtokoe on dynaaminen ajokoe, jossa väistetään kuviteltua estettä vastaantulevien kaistalle. Simuloinneissa ajoneuvo saadaan siirtymään sivuun alkuperäisestä ajourasta antamalla ajoneuvon ohjauspyörälle sinimuotoinen ohjauseräte. Kaistanvaihto tuo hyvin esille ajoneuvoyhdistelmän ajonopeuden, kääntökulman ja jaksonajan vaikutukset ajoneuvon käyttäytymiseen, ja lisäksi muutosten suunnat on melko helppo ennustaa. Kaistanvaihtokokeen yksinkertaisuus helpottaa tulosten tarkastelua, kun tutkitaan tiettyjä asioita, kuten pelkän renkaan vaikutusta, ja lisäksi sen voi helposti mieltää normaaliliikenteen ajotilanteeksi.

### 5.3.4 Aikaisemmat tutkimukset ja simuloinnit

Aikaisemmin raskaan kaluston ajoneuvoyhdistelmiä on Suomessa tutkinut enimmäkseen VTT, mutta myös Oulun yliopistossa sekä Teknillisessä korkeakoulussa on tutkimustyötä tehty. Ruotsissa julkista tutkimusta on tehnyt VTI. Myös USA:sta, Australiasta ja Euroopasta löytyy raskaan kaluston turvallisuuteen ja käyttäytymiseen liittyviä tutkimuksia, mutta ilmastun eroavuuden takia ei niitä käsitellä, vaan keskitytään

nimenomaan pohjoismaisiin liukkaisiin olosuhteisiin, joissa yhdistelmän kaatuminen on harvinaisempaa mutta perävaunun sivuttaisen stabiiliteetin menettämisen riski on suuri.

VTI (Statens väg- och transportforskningsinstitut) on ruotsalainen, teollisuusministeriön alaisena toimiva, liikenteen ja kuljetusalan tutkimuslaitos. VTI on tehnyt useita raskaaseen kalustoon liittyviä tutkimuksia ja on myös tutkinut talvirenkaiden vaikutusta ajokäyttäytymiseen. VTI on myös antanut tutkimuksiensa perusteella suosituksia liittyen muun muassa ajoneuvojen sekä perävaunujen rakenteisiin. Tutkimuksessaan *Tunga fordons däckanvändning Effekter vid is/snöväg* VTI on tutkinut nastarenkaiden ja uusien nastattomien sekä kuluneiden nastattomien renkaiden eroja sekä renkaiden vaikutusta kuorma-auton ja perävaunun yhdistelmän käyttäytymiseen ja stabiiliteettiin.

Volvo on tutkinut ohjaavien ja ohjautuvien akseleiden vaikutusta dynaamiseen stabiiliteettiin. Dynaamisella stabiiliteetilla tarkoitetaan raportissa sitä, että ajoneuvo pysyy tasapainossa ajokokeen aikana. Stabiiliteettia mitattiin pystykiertymäkulman ja sivuttaiskihtiyyden avulla.

VTT on tehnyt simuloinnin avulla useita raskaan kaluston stabiiliuteen liittyviä tutkimuksia. Tutkimuksen aiheita ovat olleet muun muassa kuormauksen vaikutus ja ajonopeuden vaikutus stabiiliuteen. Raportissa *Täysperävaunullisten kuorma-autojen talviajan nopeusrajoituksen alentamisen vaikutukset* on tutkittu erilaisten ajoneuvoyhdistelmien stabiiliteettia ja nopeuden vaikutusta ajoneuvoyhdistelmän stabiiliteettiin. Stabiiliuden mittarina on tutkimuksessa käytetty sivuttaiskihtiyyden RA-arvoa. Lisäksi Suomessa on tehty muutama tutkimus säiliöajoneuvoyhdistelmän kuormituksen painotuksen merkityksestä ajoneuvon stabiiliuteen sekä VTT:llä on tutkittu simuloimalla autonkuljetusyhdistelmän stabiiliutta ja raskaan ajoneuvoyhdistelmän ajodynamiikkaa. Useimmiten stabiiliussimuloinneissa käytetty ohjelma on ollut MSC.ADAMS.

Vaikka VTT:n ja VTI:n ilmoittamat RA-arvot eri yhdistelmille eroavat melko paljon toisistaan, yhteenvetona voidaan sanoa, että yleisesti ottaen yhdistelmän nivelien lisääntyessä stabiilius huononee. Nivelien lisäksi muun muassa ajoneuvon pituus, renkaiden lukumäärä, ajoneuvon kokonaismassa ja ajonopeus vaikuttavat stabiiliuteen ja RA-arvon suuruuteen.

### 5.3.5 Moduuliyhdistelmän rakenne ja renkaat

Moduuliyhdistelmällä tarkoitetaan ajoneuvoyhdistelmää, jonka pituus on yli 22 metriä ja kokonaismassa 60 tonnia. Maksimi pituus on 25,25 metriä. Moduuliyhdistelmiä voidaan muodostaa neljällä tavalla; vetoauton ja varsinaisen perävaunun yhdistelmä, vetoauton, apuvaunun ja puoliperävaunun yhdistelmä, vetoauton, puoliperävaunun ja keskiakseliperävaunun yhdistelmä tai vetoauton, puoliperävaunun ja toisen puoliperävaunun yhdistelmä, ns. b-juna. Kuten edellä käy ilmi, moduuliyhdistelmä ja etenkin kuorma-auton ja varsinaisen perävaunun tai vetoauton, apuvaunun ja puoliperävaunun yhdistelmä on ongelmallinen stabiiliuden suhteen. Tämän tyyppiset yhdistelmät ovat kuitenkin yleistymässä Euroopassa.

Kuorma-auton rengastus eroaa henkilöauton rengastuksesta muun muassa siten, että kuorma-autoon asennetaan usein erilaiset renkaat vetoakselille kuin vapaastipyöriville perävaunun akseleille. Myös etuakselille voi olla omantyyppisensä renkaat. Kuorma-auton renkaiden myyntivaltteina on usein kestävyys ja pieni vierinvastus. Vetorenkaiden kohdalla mainostetaan usein hyvää vetopitoa. Kuorma-autojen renkaat ovat usein uudelleenpinnoitettuja. Samoin kuin uusissa renkaissa, käytetään myös pinnoitetuissa renkaissa erilaisia pintoja ajoneuvon eri akseleilla.

Suomessa ja Ruotsissa käytetään raskaassa kalustossa perinteisesti myös kesällä talvirenkaita vetoakselilla ja M+S -merkittyjä ns. All-Season renkaita etuakselilla. Renkaiden vaihto vetoautoissa tapahtuu useimmiten syksyllä tai alkutalvesta, jolloin talveksi saadaan uudet hyvin pitävät renkaat. Perävaunujen renkaita ei kuitenkaan yleensä vaihdeta joka vuosi, vaan yleensä rengas vaihdetaan vasta sen ollessa erittäin huonokuntoinen tai renkaan hajottua. Tämä aiheuttaa sen, että perävaunuissa näkyy erilaisia renkaita jopa samalla akselilla.

### 5.3.6 Stabiiliuden mittaaminen

Ajoneuvoyhdistelmälle on ominaista, että ohjausliikkeen seurauksena vetoautoon syntynyt sivuttaiskiihtyvyys ja liike vahvistuvat perävaunussa. RA-arvo kertoo kuinka paljon jokin suure vahvistuu perävaunussa. Usein ajoneuvon käyttäytymisen mittarina käytetään sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvoa, koska monesti kiihtyvyyden mittaaminen on helpompaa kuin liikkeen, mutta RA-arvo voidaan laskea minkä tahansa mitattavan suureen avulla. Koska sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvon suuruus riippuu monista eri tekijöistä, kuten ajonopeudesta, ajoneuvoyhdistelmästä ja ohjauksen taajuudesta, on tulosten tulkitseminen melko hankalaa. Lisäksi etenkin liukkaat olosuhteet saattavat vaikuttaa sivuttaiskiihtyvyyksien RA-arvoihin niin paljon, että tulokset vääristyvät.

Vetoauton käyttäytymistä voidaan arvioida esimerkiksi ohjautuvuusmäärittelyllä. Auto voi olla aliohjautuva, neutraali tai yliohjautuva. Aliohjautuva tarkoittaa, että eturenkaiden sortokulmat ovat suuremmat kuin takarenkaiden sortokulmat ja yliohjautuva taas päinvastoin. Kuorma-auto on yleensä, etenkin liukkailla keleillä, voimakkaasti aliohjautuva. Autolle voidaan laskea aliohjautuvuusindeksi, joka kuvaa auton yli- tai aliohjautuvuuden voimakkuuden.

Ohjausliikkeen seurauksena ajoneuvoon sekä perävaunuun syntyy kiertoheilahteluita, jotka vaimenevat yleensä voimakkaasti. Määrittämällä vaimennus voidaan ajoneuvoyhdistelmän värähtelyominaisuuksia arvioida ja erityyppisiä yhdistelmään tehtyjä muutoksia vertailla. Renkaalla on mitä luultavimmin suuri merkitys vaimennuskertoimeen, joten vaimennuskerroin voisi olla hyvä keino verrata rengastuksen vaikutusta.

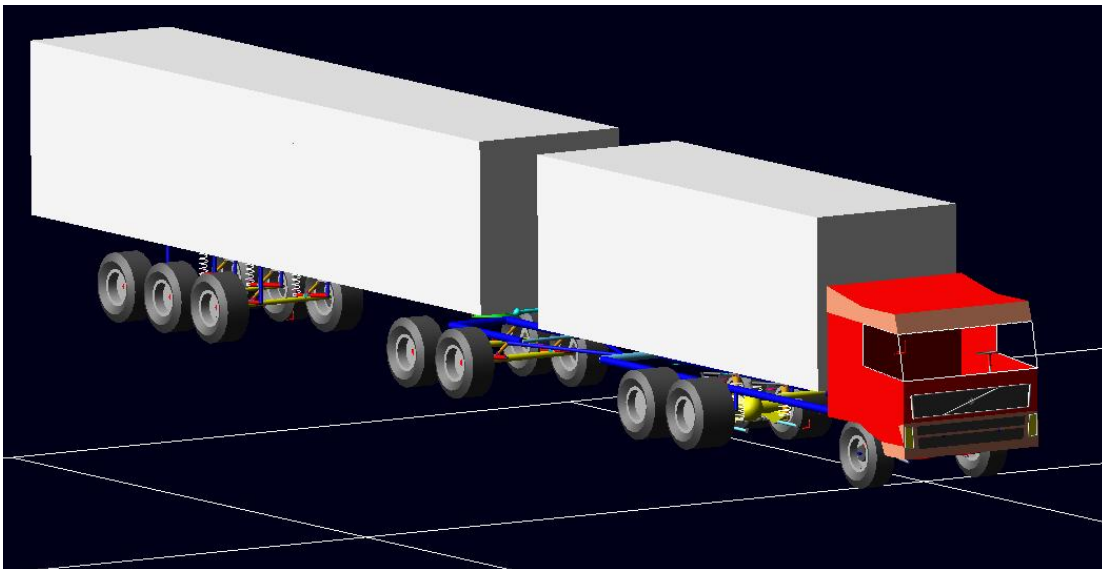
Jonkin verran käytetty turvallisuusmittari on tarkastella kiertymiskulmanopeutta kiertymiskulman suhteen. Eli piirtämällä kuvaaja, jossa toisella akselilla on kiertymiskulma ja toisella akselilla kiertymiskulman kasvunopeus, voidaan tarkastella ajoneuvon käyttäytymistä.

Jos tutkitaan puoliperävaunun sortokulmaa apuvaunun sortokulman suhteen voidaan kiertymiskulmien nopeudet jättää kokonaan huomioimatta ja keskittyä perävaunun sijaintiin sortokulmien avulla. Tällä tavoin voitaisiin tutkia kuvaajan avulla, miten perävaunun ja apuvaunun yhdistelmä käyttäytyy, kun suoritetaan kaistanvaihto tai kaksoiskaistanvaihto. Turvallisuusrajoina akseleilla ovat kulmat, joilla perävaunu ylittää keskiviivan tai reunaviivan.

### 5.3.7 Simulointi

#### Simulointimalli

Simulointi suoritettiin MSC Software yhtiön ADAMS/car-ohjelmistolla, joka on ajoneuvoteollisuuden käyttöön ajoneuvojen simuloimiseen tarkoitettu simulointiohjelma. Simuloitava ajoneuvomalli on muokattu Autotekniikan laboratorion aikaisemmin tutkimuksissaan käyttämästä puoliperävaunuyhdistelmästä kuorma-auton, apuvaunun ja puoliperävaunun yhdistelmäksi (kuva 5.1). Vetoauto on tehty Volvon tekemästä rekkaveturista pidentämällä runkoa, poistamalla vetopöytä ja lisäämällä siihen kolmas akseli ja kuorma. Apuvaunun mitoituksen pohjana on Närko Oy:n valmistama apuvaunu. Puoliperävaunuun ei tarvinnut tehdä muutoksia. Alkuperäinen puoliperävaunuyhdistelmää kuvaava simulointimalli oli Volvon tekemä ja todennettu käytännön ajokokeilla.



*Kuva 5.1. Ajoneuvoyhdistelmän simulointimalli.*

Yhdistelmän mitat on saatu ajoneuvo- ja perävaunuvalmistajien Internet-sivustoilta ja myös osa massoista on peräisin valmistajilta. Kuitenkin yksittäisten osien kohdalla on jouduttu tekemään paljon arvioita, joilla ei kuitenkaan liene vaikutusta erilaisten renkastuksien keskinäiseen hyvyysjärjestykseen.

Renkaalla on pistekontakti tien kanssa, jossa vaikuttaa voima, jonka suuruus lasketaan Magic Formula kaavoilla. Kaavojen tarvitsemat parametrit on silmämääräisesti säädetty kohdalleen vertaamalla laskettua kitkakäyrää mitattuun. Kaikki mallissa käytetyt renkaat perustuvat M+S merkittyjen talvi tai ympärivuotiseen käyttöön tarkoitettujen renkaiden mittauksiin. Mallin renkaat on luotu eri mittausten pohjalta, eivätkä näin vastaa todellisia olemassa olevia renkaita, eikä työssä ole tarkoituksenaan tutkia tietyn renkaan, vaan hyvien ja huonojen tai kuluneiden renkaiden vaikutusta stabiiliuteen. Renkaat on kuitenkin pyritty saamaan hyvin lähelle todellisuutta ja etenkin hyvien ja kuluneiden renkaiden välisessä erossa, joka perustu mittauksiin, ei liene juurikaan virhettä. Myös huippukitka ja sivuttaisluiston arvo, jolla huippukitka saavutetaan, perustuvat mittauksiin.

### Simuloinnit

Ajoneuvoyhdistelmää simuloitiin liukkaissa olosuhteissa ja huippukitka oli renkaasta riippuen 0,22 – 0,25. Ajokokeina käytettiin kaistanvaihtoa ja jatkuvan siniaallon koetta. Kaistanvaihtokokeeseen päädyttiin sen takia, että se on suhteellisen helppo toteuttaa ADAMS:ssa, se on helppo mieltää todellisuuteen ja lisäksi sen tuloksia on helpompi tutkia kuin kaksoiskaistanvaihdon, joka olisi vieläkin realistisempi. Kaikissa kaistanvaihdossa siirryttiin sivuttaissuunnassa 3,5 metriä, joka on sama kuin kaistanleveys maanteillä.

Simulointien tuloksista pyritään löytämään tulosten avulla optimaalinen rengasjärjestys yhdistelmälle mahdollisimman pienillä rengasmuutoksilla, jolloin kustannukset pysyvät kurissa. Rengastuksia vertailtiin perävaunun ja apuvaunun sortokulmien avulla.

### Tulokset

Sekä kaistanvaihtokokeen, että siniaaltokokeen tulokset osoittavat, että apuvaunun takimmainen ja perävaunun viimeinen akseli vaikuttavat molemmat erittäin paljon perävaunun heilahteluun. Uusien renkaiden asentaminen jommallekummalle akselille pienentää perävaunun sortokulmia huomattavasti. Se, kummalle akselille uusien renkaiden asentaminen tulisi tehdä, onkin ongelmallisempaa.

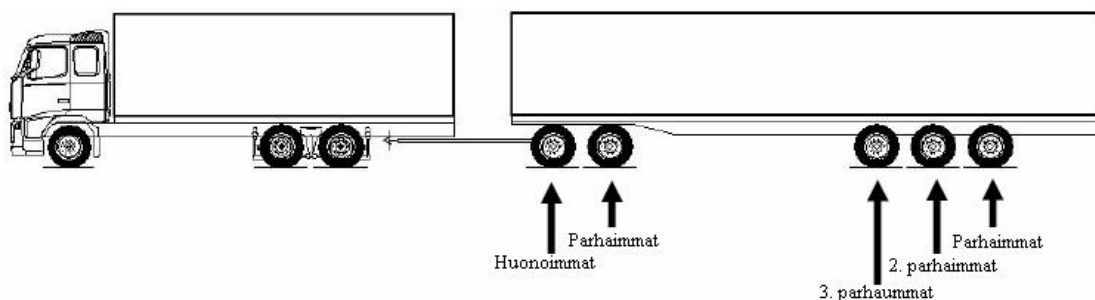
Näiden kahden akselin voimasuhde riippuu ajokokeesta siten, että nopeasti tehdyillä kaistanvaihdolla apuvaunun takimmainen akseli vaikuttaa sortokulmiin voimakkaammin. Rauhallisemmassa ajokokeessa perävaunun akselilla on suurempi vaikutus perävaunun heittelemiseen. Samansuuntaisen tuloksen antaa myös siniaaltokoe. Erittäin hyvä rengastus oli molemmille akseleille hyvät renkaat, jolloin yhdistetään molempien akseleiden hyvät puolet.

## **5.3.8 Yhteenveto ja suositukset**

On selvää, että renkaalla on erittäin suuri vaikutus ajoneuvojen ja ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymiseen. Henkilöautoille suosituksena on, että aina paremmat renkaat tulisi laittaa taakse ja tämä sama suositus näyttää pätevän myös ajoneuvoyhdistelmille siten, että jokaisen ajoneuvoyksikön taka-akselille tulisi laittaa hyvät renkaat.

Koska renkaat ovat kalliita ja ajoneuvoyhdistelmässä niitä saattaa olla jopa yli 20, on renkaiden uusiminen ajoneuvon omistajalle kallista. Kuitenkin, kun renkaita joudutaan joskus uusimaan, mikä mieluiten olisi ennen renkaan puhki kulumista, voisi olla syytä miettiä renkaiden hyvyysjärjestystä ja asentaa renkaat kuvan 5.2 mukaisesti.

Täysperävaunun 2. ja 5. akseleilla olisi koko ajan pidettävä mahdollisimman hyviä renkaita. Yleisesti renkaat on hyvä poistaa viimeistään, kun urasyvyys on 3 mm. Suositeltava turvallisuusminimi on talvella 5 mm, ja perävaunun 2. ja 5. akseleilla olisi pidettävä tätä paremmat renkaat.



Kuva 5.2. Perävaunun rengastussuositus.

## 5.4 42/60-TONNISTEN AJONEUVOYHDISTELMIEN ENERGIA-TEHOKKUUSVERTAILU (VTT)

### 5.4.1 Tavoite

Vertailun tavoitteena on selvittää 42-tonnisen puoliperävaunuyhdistelmän ja 60-tonnisen täysperävaunuyhdistelmän keskinäinen energiatehokkuus. Vertailu tapahtuu siten, että kahta mahdollisimman tyypillistä ja toisiaan hyvin vastaavaa yhdistelmää ensin rullataan maantiellä ajoneuvojen todellisten ajovastuksien selville saamiseksi. Tämän jälkeen saaduista tuloksista lasketaan ajovastusarvot molemmille yhdistelmille, joita käyttämällä molemmat ajoneuvot ajetaan VTT:n raskaan kaluston alustadynamometrillä käyttäen maantie- ja moottoritieykyklejä. Näin saatujen kulutustulosten perusteella voidaan laskea kumpi yhdistelmä kuljettaa kuormansa tehokkaammin.

### 5.4.2 Mittaukset maantiellä

Alatehtävä aloitettiin kevään 2007 aikana alkuselvityksillä kaluston suhteen sekä tiedustelemalla mahdollisuutta saada Volvolta ajoneuvot lainaan mittauksia varten sekä Närkolta perävaunu lainaan. Autojen tuli olla toisiaan vastaavia hytin ja voimansiirtolinjan suhteen. Molemmissa yhdistelmässä käytettiin samaa perävaunua. Tiettyjä kompromisseja jouduttiin tekemään kaluston suhteen, mutta ratkaisevilta tekijöiltään autot olivat keskenään riittävän hyvin vertailukelpoisia. Yhdistelmissä tarvittavat kuormat, tässä tapauksessa betonipainot, saatiin lainaan sekä Volvolta että Rajamäen Työtehoseluralta. Kuvassa käytetyt ajoneuvot ovat kuvassa 5.3.

Alkuperäinen tarkoitus oli suorittaa rullausmittaukset kesän aikana ja sen jälkeen ajaa autot dynamometrillä syksyn aikana. Sopivien vertailuautojen saaminen osoittautui kuitenkin odotettua hankalammaksi, joten maantierullauksia päästiin tekemään vasta lokakuulla 2007, viikoilla 41 ja 42. Sääet olivat onneksi sen verran suosiollisia, että saimme onnistuneesti rullattua molemmat yhdistelmät sekä tyhjänä että täydessä kuormassa. Rullausten osalta kelin pitää olla tuuleton ja tien pinnan kuiva, koska märkä tienpinta lisää rullausvastusta ja tuuli vaikuttaa voimakkaasti rullauspituuteen suunnasta riippuen joko lisäävästi tai vähentävästi. Maantierullaukset yhdistelmillä suoritettiin Valtatie 3:lla ns. Nurmijärven suoralla.

42-tonnisen yhdistelmän osalta ajovastukset on nyt ehditty laskea ja 60-tonnisen yhdistelmän osalta ne ovat työn alla. Tavoitteena on seuraavaksi saada sopivat autot alustadynamometrimittauksiin jonka jälkeen saadaan lopulliset tulokset. Suurin ja säiden armoilla oleva työ eli maantierullaukset on kuitenkin saatu tehtyä, joten vaikka työtä onkin vielä jäljellä, ei vastassa ole enää mitään suuria esteitä.



*Kuva 5.3. Rullauskokeissa käytetyt ajoneuvot.*

## 5.5 RENGASMITTAUKSET

### 5.5.1 Yleistä

Vuonna 2007 jatkettiin tutkimusta rengasmittausten osalta.

VTT:n alustadynamometrille kehittämä ajovastusten mittaamenetelmä mahdollistaa vapaasti rullaavien renkaiden lisäksi myös vedon alaisten renkaiden sekä voimansiirron vaikutusten mittaamisen. Menetelmän avulla voidaan ajoneuvon kokonaisvastukseen vaikuttavia tekijöitä tutkia tarkemmin. Menetelmän tarkkuutta on arvioitu vertaamalla sitä viralliseen vierinvastusmenetelmään sekä maantiemittauksista saatuihin tuloksiin.

Vuoden 2007 aikana tehtiin dynamometrillä vertailuja kuorma-autojen ja bussien vetorenkaiden välillä. Maantiellä mitattiin perävaununrenkaiden vaikutusta rullausvastukseen. Kaikkien 2007 mittasarjan renkaiden rullausvastukset määritettiin

Dolly-kärrynakselilla. Kulutuseromittaukset toteutettiin soveltuvan ajoneuvon vetävällä akselilla. Tuloksissa verrataan toisaalta polttoaineen kulutuslukemia ja toisaalta vierinvastusarvoja. Tuloksista nähdään mm., ettei pelkkä vierinvastusarvo riitä kuvaamaan tehoa siirtävän renkaan energiatehokkuutta.

VTT on sekä bussien että kuorma-autojen mittauksissa siirtynyt käyttämään vakioituja mittarenkaita vetävällä akselilla. Näiden pitkittäisuritettujen renkaiden tyyppi on Michelin XZA 2 (taulukoissa merkintä ”mitta”).

### 5.5.2 Koekalusto

Kulutusvertailussa käytetyt bussit olivat Koiviston Auton Iveco Crossway Euro 4 pitkänmatkan bussi sekä Pohjolan Liikenteen Volvo B7RLE Euro 3 kaupunkibussi (kuva 5.4). Simuloitava massa mittauksissa oli 15 tonnia. Testisyklinä kaupunkibussilla käytettiin Braunschweig-sykliä. Pitkänmatkanbussilla ajettiin linja-autojen maantiesykliä.



Kuva. 5.4. Rengasmittauksissa käytetyt bussit.

Alustadynamometrimittauksissa käytetty kuorma-auto Scania 124G Euro 3 saatiin lainaan Transpoint Oy:ltä (kts. raportin kansi). Mittasyklinä Scanialla käytettiin moottoritiesykliä (kts. 3.2). Tällä samalla kuorma-autolla suoritettiin myös maantiemittaukset.

### 5.5.3 Mitatut renkaat

#### Bussin vetorenkaat.

Mittaussarjaan valittiin kahdeksan rengasta. Rengaskoko kaikissa bussinrenkaissa oli 295/80 R22.5 Renkaat vaihtelivat käyttötarkoituksen sekä vuodenaikasopivuuden osalta. Osa renkaista oli vetorenkaita ja osa tarkoitettu käytettäväksi kaikilla akseleilla.

Osa renkaista oli pinnoitettuja. Tarkemmat tiedot renkaista löytyvät kuvasta 5.5 sekä taulukosta 5.5.

*Taulukko 5.5. Bussikaluston vetorenkaita. Taulukon neljä ensimmäistä rengasta ovat varsinaisia vetorenkaita. Muut ovat ensisijaisesti eturenkaita, mutta niitä voidaan hyvillä keleillä käyttää rajoitetusti vetorenkaina.*

Merkki	Malli	Koko	Runko	Urasyyvyys	Uritus	Akselit
Bandag	BDA 4	295/80	Michelin XZE 2+	17 mm	Poikittain	Veto
Nokian	D141 Noktop 41	295/80	Michelin XZE 2+	20 mm	Poikittain	Veto
Michelin	X Coach	295/80	Michelin X Coach	19.5 mm	Poikittain	Veto
Nokian	D140 Noktop 40	295/80	Michelin XZE 2+	17 mm	Poikittain	Veto
Michelin	XJW 4+	295/80	Michelin XJW 4+	16 mm	Poikittain	Etu/kaikki
Michelin	XZE 2+	295/80	Michelin XZE 2+	16 mm	Pitkittäin	Etu/kaikki
Bridgestone	M788	295/80	Bridgestone M788	16 mm	Pitkittäin	Etu/kaikki
Michelin	XZA 2 (Mitta)	295/80	Michelin XZA 2	13 mm	Pitkittäin	Etu/kaikki



Bandag BDA4



Noktop 41



Michelin X-Coach



Michelin XJW4+



Noktop 40



Bridgestone M788



Michelin XZE2+


 Michelin XZA2  
Energy

*Kuva 5.5. Bussikaluston vetorenkaita.*

#### Kuorma-auton renkaat

Mittaussarja koostui neljästä rengasmallista. Tarkemmat tiedot renkaista on esitetty taulukossa 5.6 ja kuvassa 5.6.

Taulukko 5.6. Kuorma-autokaluston vetorenkaita. Taulukon kolme ensimmäistä rengasta ovat varsinaisia vetorenkaita, neljäs on ensisijaisesti eturengas.

Merkki	Malli	Koko	Runko	Urasyyvyys	Uritus	Akselit
Bandag	BDR-W	315/80	Michelin X	21 mm	Poikittain	Veto
Nokian	D140 Noktop 40	315/80	Goodyear Marathon	17 mm	Poikittain	Veto
Nokian	D143 Noktop 45	315/80	Goodyear Regional	20 mm	Poikittain	Veto
Michelin	XZA 2 (Mitta)	315/80	Michelin XZA 2	13 mm	Pitkittäin	Etu/kaikki



Noktop 40



Noktop 45



Bandag BDR-W



Michelin  
XZA2 Energy

Kuva 5.6. Kuorma-auton vetorenkaat.

#### Perävaunun renkaat

Perävaunurenkaita oli kaksi tyyppiä, pitkittäisuralliset Noktop 72 Nokian rungolla ja Nokian NTR-844 (kuva 5.7). Perävaunun renkailla tehtiin dynamometrimittausten lisäksi maantierullaukset.



Noktop 72



Nokia NTR-844

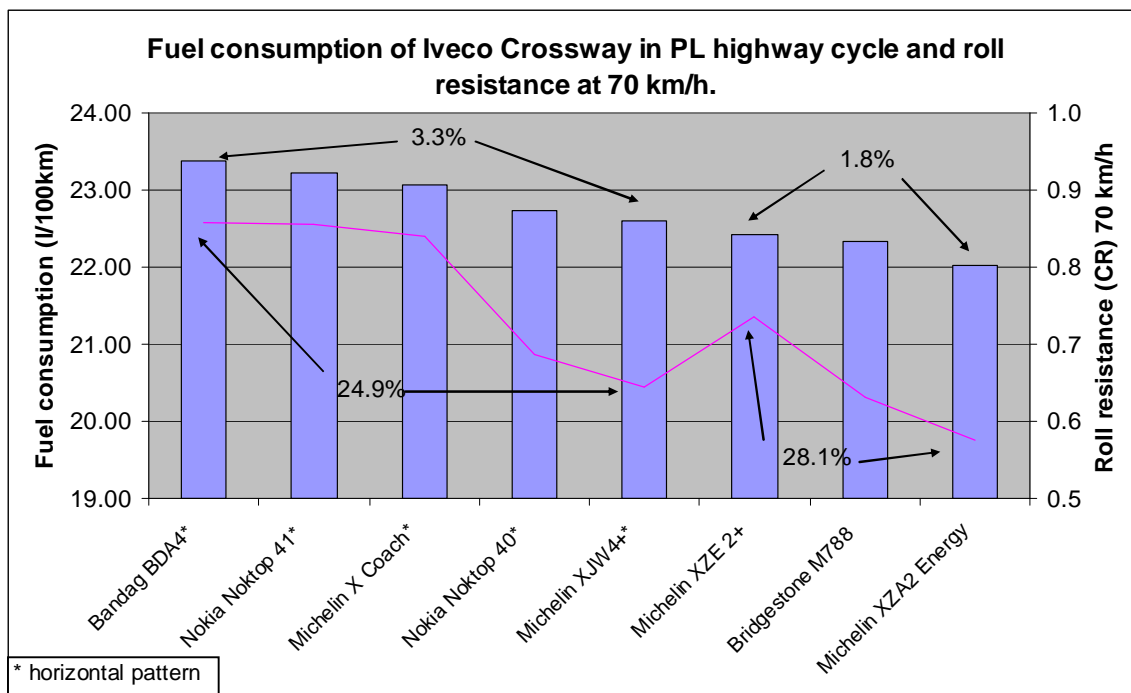
Kuva 5.7. Perävaunun renkaat.

## 5.5.4 Vetävien renkaiden vaikutus polttoaineen kulutukseen

### Bussin vetorenkaat

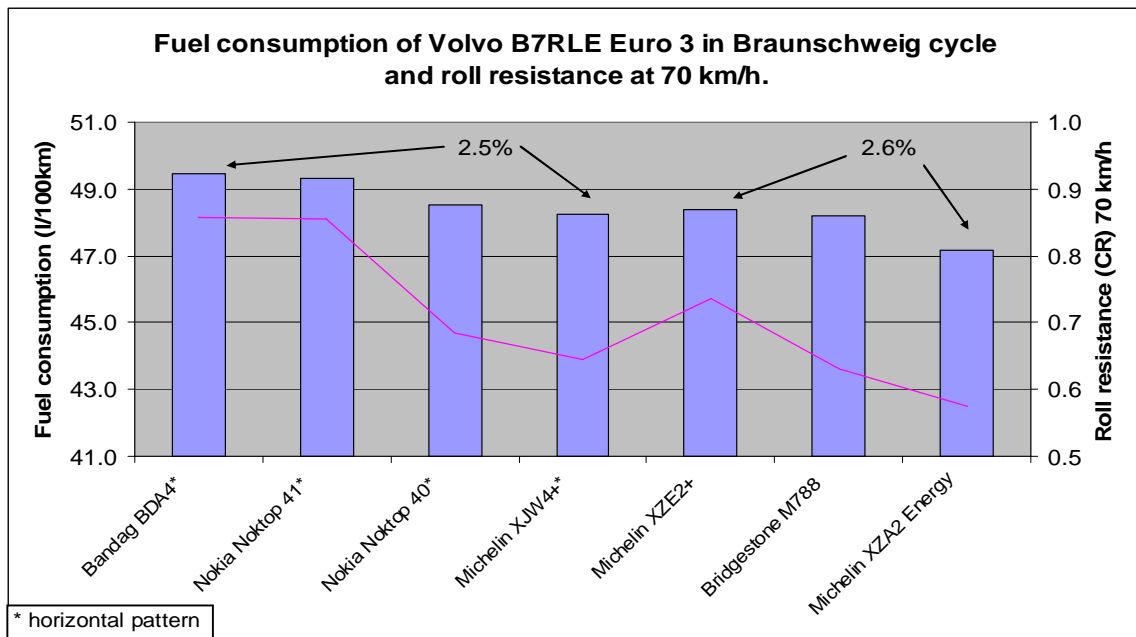
Kuvassa 5.8 on esitetty renkaiden vaikutus kulutukseen pitkänmatkan bussissa. Kulutusero poikittaiskuvioitujen renkaiden välillä oli suurimmillaan 3.3 %. Vastaavasti ero vierivastuksissa oli noin 25 %. Pitkittäiskuvioitujen renkaiden kulutusero oli 1.8 %. Michelin XZA2 Energy rengas on VTT:n oma mittarengas.

Mielenkiintoinen tulos havaitaan Michelin XZE2+:ssa, jonka kulutustulos suhteessa vierivastukseen käyttäytyy erikoisesti. Renkaan vierinvastus on suhteellisen korkea, mutta tämä ei heijastu polttoaineen kulutukseen. Ilmiö saattaa johtua esimerkiksi rengastyypin pienemmästä luistosta vedon alaisena. Tuloksen voisi tulkita myös erona pitkittäis- ja poikittaiskuvion ominaisuuksien välillä. Urasyvyydellä ei näytä olevan suoraa vaikutusta tähän ilmiöön.



Kuva 5.8. Kulutusero ja vierinvastus renkaiden välillä, pitkänmatkan bussi.

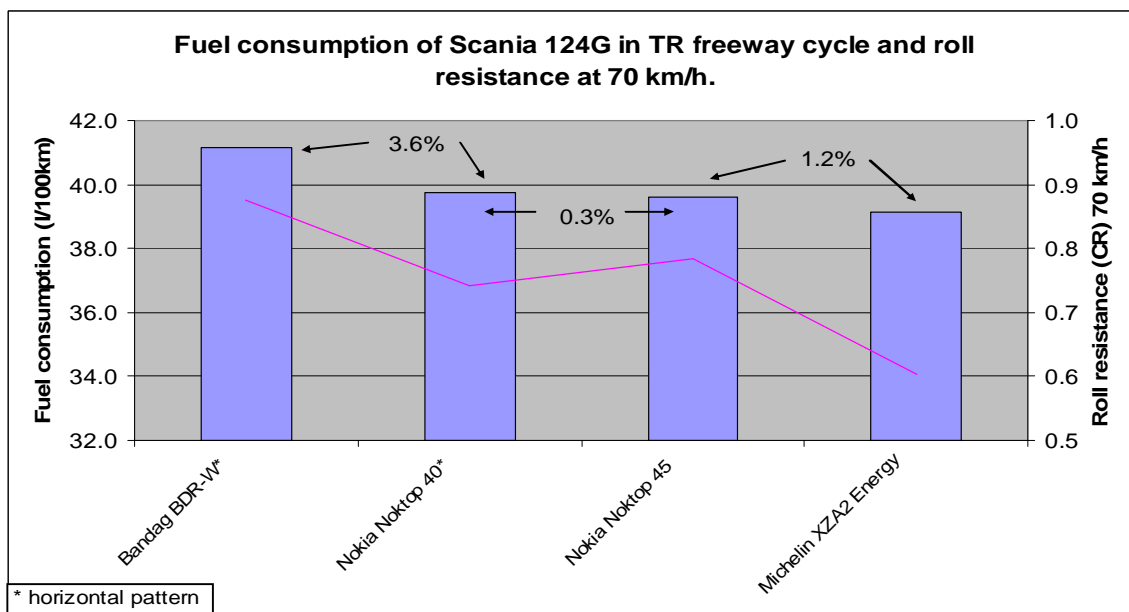
Kaupunkibussin tapauksessa kulutustulokset Braunschweig-syklistä mukailevat maantiesyklin tuloksia. Yllättäen renkaiden vaikutus on kaupunkiajossa lähes samaa suurusluokkaa kuin maantieajossa (ääripäitä tarkasteltaessa). Kulutusero mitattujen poikittaiskuvioitujen renkaiden välillä kaupunkisyklissä oli suurimmillaan 2.5 %. Pitkittäiskuvioitujen renkaiden välillä ero oli 2.6 %. Kulutus kaupunkiajossa oli jokaisessa tapauksessa noin kaksinkertainen, verraten edellä esitettyihin maantietuloksiin.. Tulokset on esitetty kuvassa 5.9.



Kuva 5.9. Kulutusero ja vierinvastus renkaiden välillä, kaupunkibussi.

#### Kuorma-auton renkaat

Kuorma-autolla tehdyissä mittauksissa kulutusero renkaiden välillä oli suurimmillaan 3.7 % (kuva 5.10). Havaittiin myös, että Noktop pinnoitetut renkaat antoivat lähes saman kulutustuloksen vaikka vierivastuksessa on selkeä ero. Erona pinnoitettujen renkaiden välillä on runko, jonka päälle pinnoitus on tehty. Noktop renkaiden urasyvyyksissä eroa oli 3 mm.

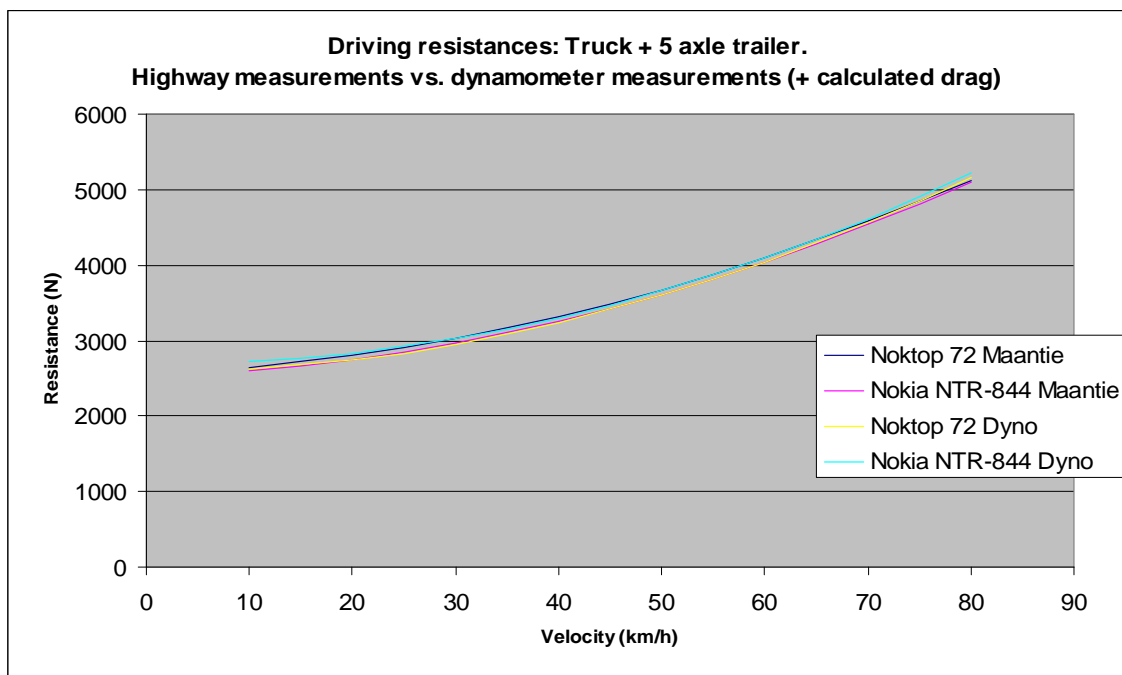


Kuva 5.10. Kulutusero ja vierinvastus renkaiden välillä, kuorma-auto

### 5.5.5 Vierinvastuksen määrittely

Rengasmittausmenetelmien välille määritettiin korrelaatio vertaamalla maantiemittauksien tuloksia dynamometrillä mitattuihin perävaunun renkailla. Huomioimalla laskennallisesti arvioitu ilmanvastus voidaan todeta rullaustulosten vastaavan maantiemittausten tuloksia hyvin koko nopeusalueella, kuva 5.11.

Dynamometrillä havaittu ero renkaiden vierinvastusvoimassa oli n. 20 N/akseli. Näin pientä eroa ei kuitenkaan pystytty maantiemittauksella määrittelemään vaan molemmat renkaat (Noktop 72 Nokian rungolla ja Nokian NTR-844) antoivat lähes saman tuloksen.



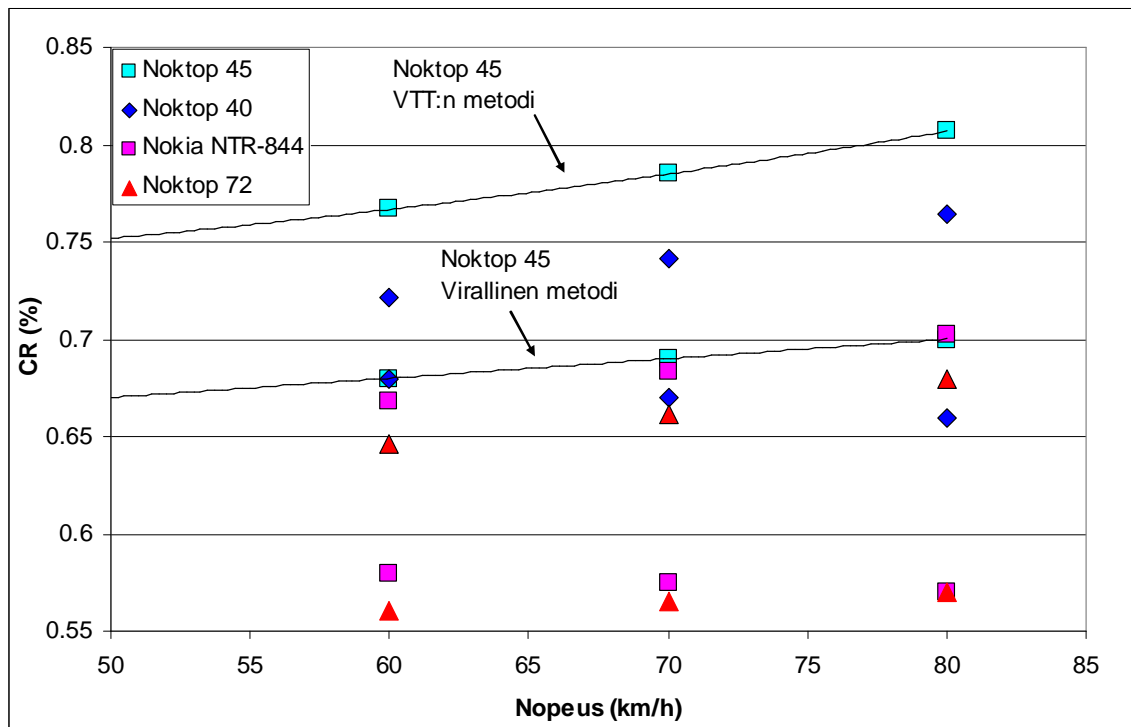
Kuva 5.11. Maantierullaustulokset verrattuna dynamometrillä määriteltyihin rullausvastuksiin.

Verratessa VTT:n menetelmää määrittää vierinvastus viralliseen menetelmään (ISO 9948), voidaan havaita tulosten poikkeavan toisistaan jonkin verran. Kaikissa tapauksissa antaa VTT:n metodi suuremman CR arvon vierinvastukselle. Tämä voidaan osittain selittää siten, että VTT:n metodissa renkaat mitataan paripyörä akselilla jonka vastukset lisäävät kokonaisvastusta. Lisäksi renkaiden suuntaus akselilla saattaa vaikuttaa kokonaisvastukseen. Virallisessa menetelmässä mitataan yhtä, vapaasti rullaavaa, rengasta.

Akselikuorma VTT:n mittauksissa oli 4980 kg. Virallisessa menetelmässä käytetyt pyöränkuormat ovat 3130 kg vetorenkailla ja 3540 kg kääryrenkailla.

Kuvassa 5.12 on esitetty tulokset VTT:n menetelmän ja virallisen menetelmän välillä. Tarkasteltaessa tuloksia 70 km/h kohdassa on ero CR arvossa n. 0.1 prosenttiyksikköä. Tällä nopeudella mittausmenetelmien välisiä tuloksia voidaan vertailla karkeasti.

VTT:n metodilla mitattujen renkaiden vierinvastuserot pysyvät tasaisina koko nopeusalueella ja sen avulla voidaan tutkia luotettavasti renkaiden välisiä eroja.



Kuva 5.12. Vierivastuksen CR arvot eri mittausmenetelmillä. VTT:n metodi antaa vierivastukselle poikkeuksetta korkeamman arvon.

## 6 AJONEUVOJEN IT-SOVELLUKSET (OT 4)

Vastuutahot: VTT ja OY

Teksti: Kari Mäkelä & Kimmo Erkkilä (VTT), Matti Varanka, Kai Noponen & Tapio Seppänen (OY)

Tästä alatehtävästä ei ole laadittu erillisiä raportteja.

### 6.1 LINJA-AUTOJEN AJO-OPASTIN

#### 6.1.1 Yleistä

Ajo-opastimella ohjeistetaan kuljettajaa kiihdyttämään energiatehokkaimmalla tavalla ja ajamaan määrättyä ajonopeutta. Liiallisella kiihdyttämällä tuhlatiin polttoainetta, mutta toisaalta liian hitaalla kiihdyttämällä tuhlatiin puolestaan aikaa. Tuhlattu aika täytyy ottaa lopulta takaisin ajonopeutta nostamalla, mikä jälleen tuhlaa polttoainetta. Kiinteällä aikataululla liikennöitäessä ajotapa joudutaan optimoimaan aina kompromissina ajonopeuden ja käytettävissä olevan ajan suhteen.

Ajo-opastin hyödyntää opastuslogiikassaan mm. pysäkkien tunnistusta, reittikohtaista aikataulutietoa ja ennalta määriteltäviä tavoitteellista nopeusprofiilia. Opastin pystyy adaptoitumaan toteutuvaan aikatauluun ja muuttamaan näin opastusstrategiaansa linjan edetessä. Opastimen toiminta on kuvattu tarkemmin aikaisemmissa HDenergia-projektin vuosiraportteissa ja loppuraportissa.

#### 6.1.2 Vuoden 2007 työt

Vuodenvaihteessa 2006 – 2007 aloitettiin ajo-opastimien asennus (5 kpl) Jokerilinjalle. Touko-kesäkuussa 2007 asennettiin linjalle 58 (5 autoa) ja marras-joulukuussa Jyväskylän Liikenteen autoihin (5 autoa). Jokerilinjan ja linja 58 autot ovat tuottaneet hyvää mittausaineistoa (tausta-aineistoa) kesästä 2007 lähtien. Loppuvuodesta 2007 on toteutettu ajo-opastuksen algoritmi opastinlaitteeseen.

Ajo-opastimen ennen opastuksen päälle kytkentää keräämää aineistoa käytetään opastuksen vaikutusten analysointiin. Aineistoa on analysoitu toisessa RASTU-osahankkeessa (Linja-autojen liikennöinnin optimointi). Samaa runsaasti havaintoja sisältävää aineistoa voi hyödyntää myös muussa tutkimuksessa.

Opastinlaitteen tulee havaita automaattisesti reitille lähtö ja pysäkit. Tämän lisäksi laitteen tulee löytää oikea aikataulu (reitille lähdön kellonajan perusteella). Tämä edellyttää GPS-tiedon tarkkaa hyödyntämistä. Monilla päätepysäkeillä bussit kulkevat useaan kertaan varsinaisen lähtöpaikan ohi lähtemättä vielä reitille (päätepysäkille saapuessa, lepotauolle mennessä). Järjestelmän tulee tunnistaa milloin tapahtui lähtö reitille. Kuljettajan merkinnän varaan lähtötietoa ei haluttu jättää ja muiden laitteiden

hyödyntäminen (Buscom) ei tässä vaiheessa onnistunut. Automaattinen havainnointi asettaa haasteita järjestelmän toiminnalle. Myös pysäkkien oikea havaitseminen (pysähtyi bussi pysäkillä tai ei) on tärkeää opastuksen kannalta. Opastuksen päälle kytkentä edellyttää huolellista opastuksen laadun varmistusta. Lisäksi kuljettajia on valmennettava opastuksen suhteen. Opastuksen päälle kytkentää ei edellä mainituista pysäkkien havainnointisyyistä voitu toteuttaa vielä vuoden 2007 puolella. Myös kuljettajan ajotavan automaattinen arviointijärjestelmä on saatava toimintaan ennen opastuksen aktivointia.

## 6.2 LIUKKAUDEN JA KUORMANPAINON AUTOMAATTINEN TUNNISTUS

### 6.2.1 Yleistä

Liukkauden ja kuormanpainon automaattisen tunnistuksen perusajatuksena on saada liukkaus- ja kuormanpainotieto selville kuorma-autojen CAN-väylässä liikkuvan tiedon perusteella normaali ajossa ilman erillistä anturointia. Tämä tieto voidaan sitten esittää kuljettajalle tarvittaessa varoituksena liukkaasta kelistä ja esimerkiksi kelikeskukselle tiedoksi toimenpiteitä varten. HDenergia-hankkeessa menetelmän toimivuus testattiin yhdellä koeautolla. RASTU-hankkeessa tavoitteena on osoittaa menetelmä toimivaksi usealla ajoneuvolla. Tavoitteena oli testata menetelmää kymmenessä Transpointin täysperävaunullisessa yhdistelmässä. Tässä RASTU-hankkeessa on ollut alusta alkaen kaksi tutkimusorganisaatiota, VTT ja Oulun yliopisto.

Hanke käynnistyi alkuvuodesta 2006. Runsaiden laitetoimittajan teknisten vaikeuksien vuoksi hankkeessa saatiin ensimmäisiä kelvollisia mittaustietoja vasta loppuvuodesta 2006. Vaikeudet jatkuivat vuoden 2007 alkupuolella ja keskimäärin vain kuudesta autosta on saatu kelvollista dataa. Toukokuussa 2007 VTT esitti laitetoimittajalle TechnoSmart Oy:lle virallisen reklamaation huonosti edenneistä laitetoimituksista. Koska hanke oli jo puolella välissä, ei katsottu järkeväksi vaihtaa laitetoimittajaa.

Vaikka hankkeessa on ollut runsaasti ongelmia datan suhteen, on liukkautta pystytty analysoimaan ja kehittämään itse menetelmää. Suunniteltua suuren datamäärän automaattista analysointia ei ole voitu toteuttaa datassa esiintyvien puutteiden vuoksi. Laitteongelmista aiheutuneiden aikataulujen viivästymisten vuoksi Oulun yliopisto on joutunut tekemään jatkuvia uusia valintoja henkilöresurssien suhteen (esim. opinnäytetöiden aikataulut). Suurin puute on ollut havaittujen liukkausindeksiarvojen verifiointi ja kalibrointi tiellä esiintyvään kitkaan.

Joulukuussa 2007 saatiin ensimmäistä kertaa toimintaan kuljettajalle esitettävä liukkausvaroitusta ja siihen liittyvä kuljettajien kommentointiliittymä. Näin saadut havainnot osoittavat selvästi järjestelmän kykenevän mittaamaan liukkautta. Projekti on selvästi myöhässä suunnitellusta, mutta itse liukkauden tunnistusmenetelmä on osoittautunut kelvolliseksi. Laitteongelmat ovat aiheuttaneet myös sen, että automaattisen kuormantunnistuksen verifiointi kentällä on viivästynyt.

## 6.2.2 Vuoden 2007 työt VTT:n osalta

Mittausdatojen puutteiden vuoksi datojen massamainen analyysi ei ollut mahdollista. VTT analysoi mittaustietoa Excel-ohjelmistoon kehitettyjen menetelmien avulla. Työ on hidasta, mutta mahdollistaa aineiston yksityiskohtien tarkastelun ja datan laadun tarkistuksen. VTT:n kehittämän tiesääasemien tietojen analysointityökalun avulla voitiin järjestelmän havaitsemat liukkaustiedot verifioida lähimmän tiesääaseman tietoja vasten. Lähes kaikissa tutkituissa tapauksissa tiesääaseman tiedot tukivat autojen tekemiä liukkaushavaintoja. Lyhyen aikavälin sisällä kulkeneiden autojen havainnot osoittivat järjestelmän mittaavan samaa ilmiötä, vaikka absoluuttista liukkausarvoa ei tällä menetelmällä voidakaan osoittaa.

VTT:n analyysien tuloksena todettiin suuren osan autolaitteiden keräämästä aineistosta olevan edelleen luvattoman huonoa. Usein oli paikannuksessa (GPS) toimintahäiriöitä ja usein myös itse laitteen toiminnassa katkoksia. Tämän seurauksena tehtiin edellä mainittu virallinen reklamaatio laitetoimittajalle. Syksyn mittaan laitevaihdosten ja ohjelmapäivitysten vuoksi datan laatu parani. Projektin kuluessa mittausaineistoa on kertynyt runsaasti, mutta osa siitä on käyttökelvotonta.

## 6.2.3 Vuoden 2007 työt Oulun yliopiston osalta

### Yleistä

Huhtikuun lopussa Kai Noponen vastaanotti EcoSmart Net960CE-laitteiston kehitysympäristön siihen kuuluvine ohjelmistokoodineen. Toukokuun ja kesäkuun alun aikana hän syventyi järjestelmän ohjelmistoarkkitehtuuriin, minkä jälkeen hän orientoi Matti Varangan laiteympäristöön ja kehitettävän ohjelmiston rakenteeseen heinäkuussa kesälomien ohessa. Elokuun alussa vastaanotettiin VTT:n hankkima väyläemulaattori, jonka avulla ajoneuvoista mitattavia CAN-sanomia voidaan lähettää EcoSmart-päätelaitteelle tietokoneen kautta ohjelmiston testaamiseksi laboratorioolosuhteissa. Väyläemulaattoriin tehtiin Oulun yliopistossa jännitelähde, koska toimituksessa ei sitä ollut eikä päätelaitteeseen antanut tarvittavaa jännitettä. Lisäksi Noponen kirjoitti muunnosohjelman, jolla palvelimelle siirretyt ajotallenteet voidaan muuntaa väyläemulaattorille sopivaan muotoon.

Elo-syyskuun aikana Varanka siirsi Excel-formaatissa olevan VTT:n kehittämän liukkaudentunnistusalgoritmin PC-koneella toimivaksi C#-koodiksi ja teki alustavan toteutuksen EcoSmart-päätelaitteeseen. Tämän jälkeen ohjelmaan täytyi tehdä vielä jonkin verran muutoksia. Muutokset käsittivät mm. seuraavia asioita: ohjelman optimointia liukkausalgoritmin tarpeisiin, joidenkin virhetilanteiden korjaamista, ja ohjelman muokkaamista siten, että liukkaustietoja lähetetään GPRS:n kautta edelleen palvelimelle.

Lisäksi syksyn aikana yliopistolle perustettiin verkkopalvelin, joka pystyi vastaanottamaan autojen lähettämät mittaustiedot ja tallentamaan ne jatkokäsittelyä varten. Lisäksi päätelaitteessa oleva algoritmi hiottiin niin, että se antoi lähes täsmälleen

samoja tuloksia kuin Kimmo Erkkilän alkuperäinen, pöytäkoneella käytetty liukkausalgoritmi. Erot arvoissa johtuvat lähinnä siitä, että päätelaite ei mittaa arvoja aivan samoilta ajanhetkiltä kuin pöytäkoneen laskemat.

Ohjelmaa testattiin varsinaisessa rekassa marraskuun aikana Oulu-Rovaniemi-Oulu – välillä kulkevassa rekassa siten, että Matti Varanka nousi Transpointin rekkaan Oulussa ja kävi mutkan Rovaniemellä. Matkan alussa hän asensi rekan päätelaitteen tilalle toisen päätelaitteen, jossa oli liukkausalgoritmin kokeiluversio. Testi onnistui vaihtelevasti: rekkaan oli asennettu tietämättä kaksi päivää aikaisemmin talvirenkaat, joten kesärenkailla optimoitu liukkausalgoritmi antoi koko matkan ajan vääriä arvoja. Matkan aikana huomattiin pari muutakin puutetta, mitkä piti korjata ennen kuin ohjelma voitiin siirtää kaikkiin rekkoihin. Lisäksi Rovaniemeltä takaisin päin palattaessa rekkaan asennettiin CAN-väylätalennin, joka mittasi rekan CAN-tietoväylästä tulevia viestejä. Tämä mahdollistaa sekä liukkausalgoritmin että kuormantunnistusmenetelmän tarkemman jatkokehittelyn, koska tällöin tiedetään minkälaista tietoa rekan anturit tarkkaan ottaen mittaavat ja minkälaisilla aikaväleillä.

Ohjelmistoa korjailtiin vielä marraskuun ajan, jonka jälkeen se oli valmis siirrettäväksi pilottirekkoihin testikäyttöön. Tämä tapahtui joulukuun 19. päivä, kun päätelaitteen asennuksista ja ohjelmistosta vastaava TechnoSmart kävi asentamassa ohjelman kolmeen Kajaanissa olevaan rekkaan. Kahdessa rekassa ohjelma lähettää kaikkia tarvittavia tietoja, mutta yksi rekka ei lähettänyt GPS-paikkatietoja. TechnoSmart selvitteli tämän vian aiheuttajaa.

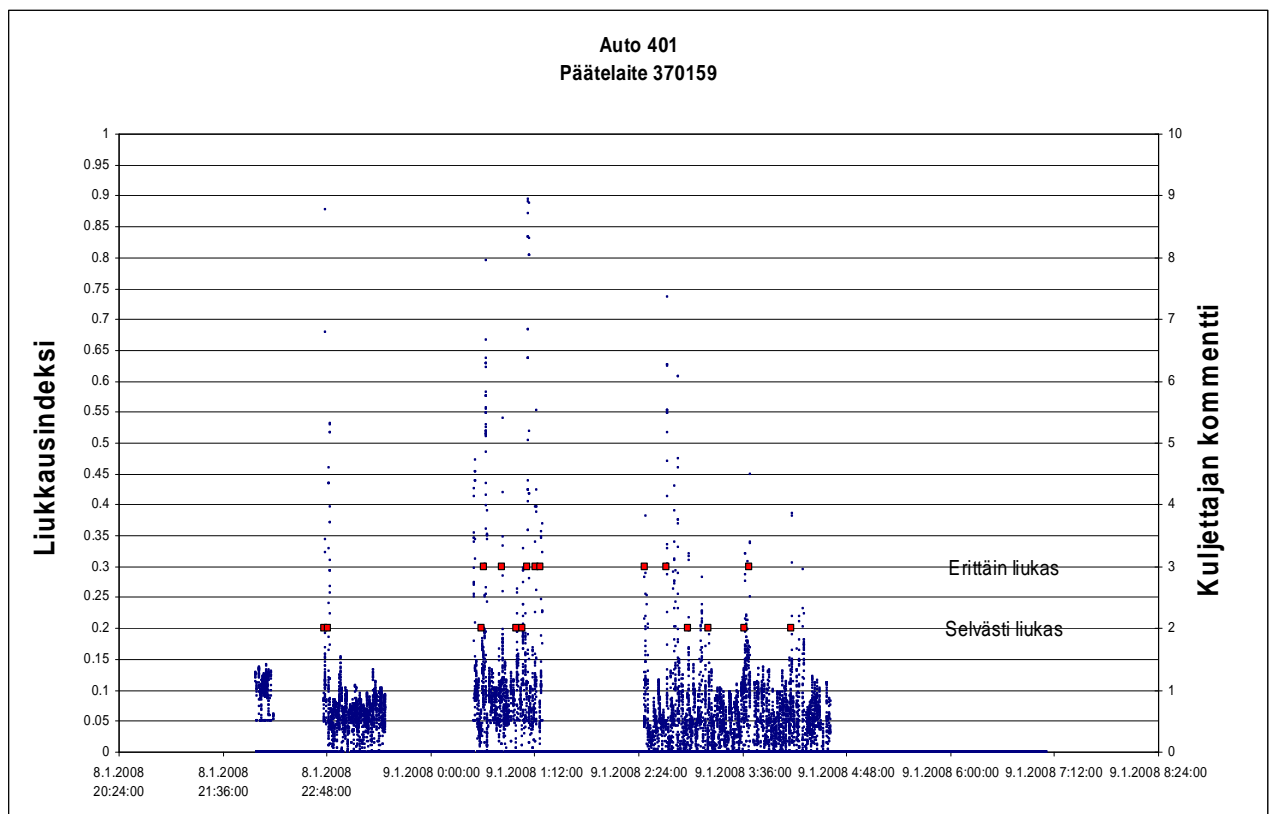
### Liukkausalgoritmin toiminta

Liukkausalgoritmi toimii siten, että se mittaa joka sekunti moottorin kierrosluvun, vääntömomentin sekä etu- ja takapyörän nopeudet. Tämän jälkeen se arvioi tiellä olevaa liukkautta pääpiirteissään tutkimalla vetävän ja etupyörän välistä nopeuseroa ja ottamalla huomioon moottorin sen hetkisen tehon. Lopputuloksena algoritmi laskee jokaiselle sekunnille liukkausarvon, jota se vertaa tiettyihin kynnsarvoihin. Kun jokin kynnsarvo ylittyy, niin päätelaite alkaa välkyttää kuljettajalle kynnsarvoa vastaavaa liukkausvaroitusta (ks. kuva 6.1). Jos vähän ajan päästä tulee liukkausalgoritmin mielestä vielä liukkaampi kohta, niin päätelaite alkaa näyttää korkeampaa liukkaustasoa. Korkein liukkaustaso jää välkymään noin 20 sekunniksi, jolloin kuljettaja voi antaa oman arvionsa siitä, kuinka liukasta tiellä hänen mielestään oli.

Alustavien analyysien mukaan liukkausalgoritmin toiminta näyttäisi hyvältä. Kuvassa 6.2 on auton 401 mittaamia liukkauksia tammikuun 8. ja 9. päiviltä. Tällöin laite on mitannut hyvin liukkaita kohtia, jotka kuljettaja on sitten kuitannut tasoilla 2 ja 3 (liukasta ja hyvin liukasta). Auto 403 on antanut vähän ristiriitaisempia tuloksia, sillä joskus algoritmi antaa korkeita liukkaustasoja, mutta kuljettaja kuittaa nämä arvolla 0 = ei liukasta. Toisinaan käy toisin päin, että kuljettaja arvioi tien liukkaaksi, mutta algoritmin antamat arvot ovat matalia. Tämän vuoksi algoritmia täytyy vielä hioa kevään aikana ja pyrkiä selvittämään mistä nämä ristiriitaisuudet johtuvat. Lisäksi pyritään tutkimaan millä tavoin esimerkiksi rekan kuorma ja tien korkeusmuutokset vaikuttavat algoritmin toimintaan.



Kuva 6.1. Päätelaite näyttää nykyisen liukkaustason isona numerona 1-3 (1= mahdollisesti liukasta, 3 = erittäin liukasta). Kuljettaja voi antaa oman arvionsa liukkaudesta painamalla alaosassa olevia näppäimiä.



Kuva 6.2 Esimerkki auton 401 mittaamista liukkauksista (siniset pisteet) ja kuljettajan antamista arvioista (punaiset neliöt, arvot 0-3). Liukkaustunnistin antaa kuljettajalle varoituksen, jos liukkausindeksi ylittää jonkin kolmesta kynnysarvosta. Tässä tapauksessa kynnysarvot ovat: taso 1 – mahdollisesti liukasta = 0.18, taso 2 – liukasta = 0.21, taso 3 – erittäin liukasta = 0.24.

## 7 LINJA-AUTOJEN LIIKENNÖINNIN OPTIMOINTI (OT 5)

Vastuutaho: VTT

Teksti: Kari Mäkelä & Ari Sirkiä

Tästä alatehtävästä ei ole laadittu erillisiä raportteja.

### 7.1 TAUSTA

Tavoitteena on liikennöinnin taloudellisuuden ja tehokkuuden lisääminen, liikennöinnin laadun parantaminen ja liikenteen nopeuttaminen. Tavoitteiden toteutuessa saadaan säästöjä liikennöintikustannuksissa, kaluston käyttö on tehokkaampaa, linjan ajojaksojen liikennöinnin vaihtelu pienenee, joka puolestaan parantaa liikennöinnin täsmällisyyttä ja joukkoliikenteen käyttö helpottuu. Lisäksi energiankulutuksen vähentyessä liikenteen ympäristökuormitus vähenee ja liikenneturvallisuus paranee.

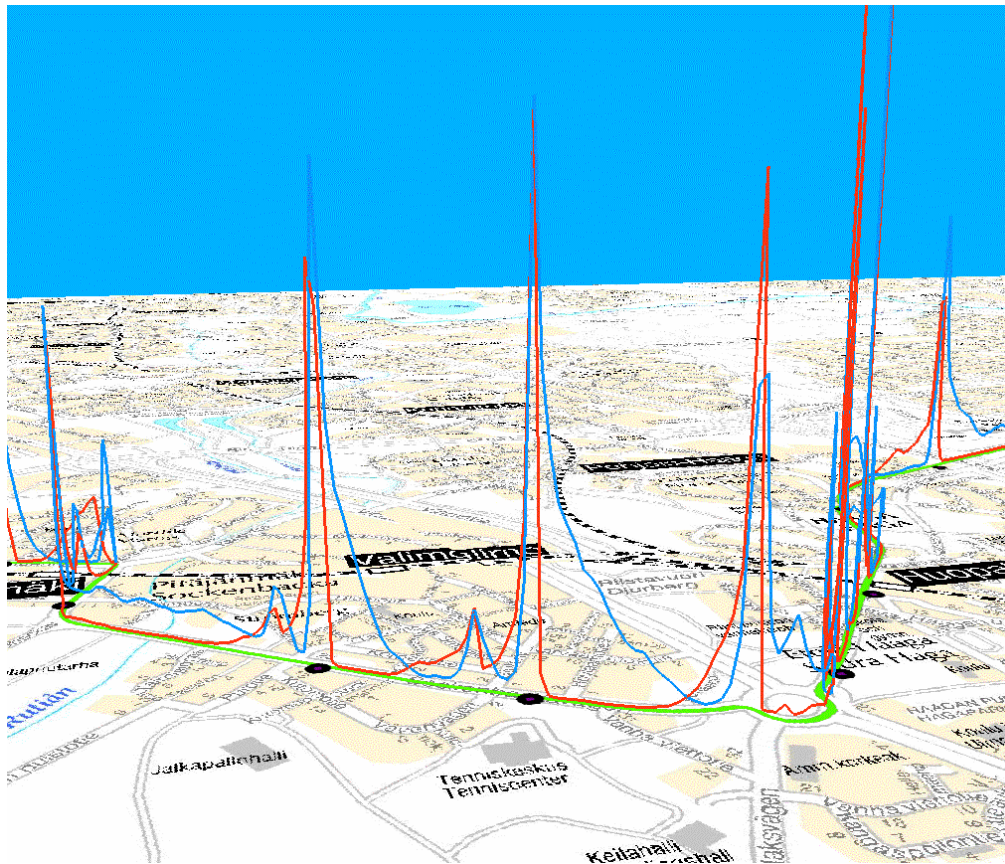
Tässä osaprojektissa tehdään mm. ajo-opastinlaitteen logiikan jatkokehittämistä tiedonkeruusta saatavan lisäinformaation perusteella siten, että laite kuljettajaa opastaessaan ottaa paremmin huomioon linjakohtaiset ominaisuudet opastimesta saatavan hyödyn optimoimiseksi. Laite kerää ja jalostaa linjalta kerättyä tietoa, jota käytetään toisaalta kuljettajan opastuksen laadun jatkuvaan parantamiseen ja toisaalta linjan suunnitteluperusteiden ja toimenpidevaihtoehtojen määrittelyyn. Itse asiassa jälkimmäinen tehtäväkokonaisuus on tämän alatehtävän painopistealue. Ideana on, että ajo-opastinlaitteen peruslogiikkaa käytetään toisaalta kuljettajan opastukseen ja toisaalta esim. linjan aikataulun sovittamiseen siten, että energian kulutus minimoidaan ja palvelu maksimoidaan.

### 7.2 VUODEN 2007 TYÖT

Vuoden 2006 lopussa saatiin datan käsittelyn työkalujen ensimmäiset versiot valmiiksi. Ajo-opastinlaitteet saatiin keräämään tietoja busseista touko-kesäkuussa 2007 Jokeri-linjalta (J550, 5 autoa) ja Helsingin 58 linjalta (5 autoa). Jyväskylän Liikenteen autot alkoivat kerätä tietoa marras-joulukuussa 2007. Näiden asennettujen opastinlaitteiden keräämä aineisto on sitä datamassaa, jonka käsittelyyn edellä mainitut työkalut tehtiin. Työkaluja on kehitetty edelleen kertyneiden kokemusten myötä. Kerätty aineisto on osoittautunut laadullisesti hyväksi ja siinä on vain vähäisiä puutteita.

Aineistossa (puoli vuotta) on 15 400 ajokertaa ja 35 miljoonaa riviä. Tällaisen aineistomäärän analysointiin ei ole muuta vaihtoehtoa kuin räättälöidyt työkalut. Noin kuukauden aineistolle on tehty peruskäsittelyt. Muuta osaa aineistosta ei ole ollut tässä vaiheessa tarpeellista käsitellä, koska ajo-opastusta ei ole kytketty päälle vuoden 2007 aikana. Yksityiskohtaiset kuvaukset ajo-opastusta varten on tehty nykyisten aikataulujen pohjalta.

Kuvassa 7.1 on esimerkki Jokeri-linjan analyysistä.

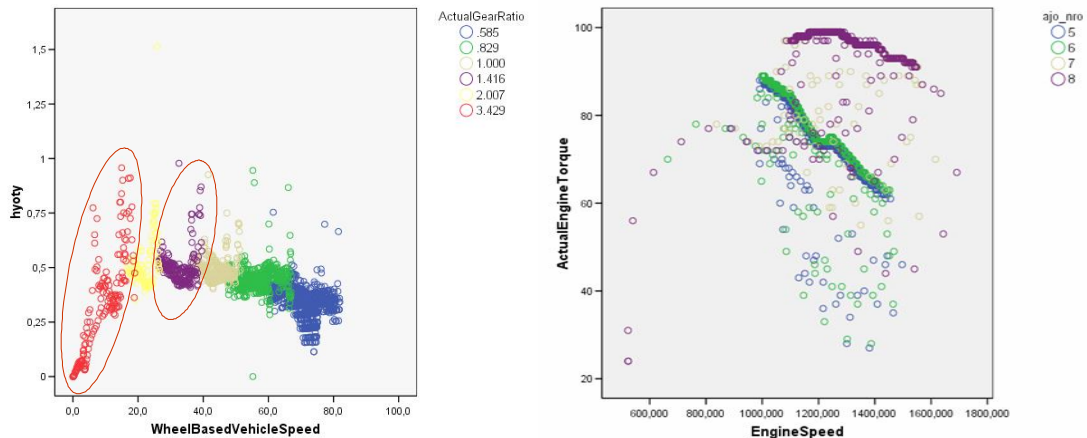


*Kuva 7.1. Tässä projektissa kehitetyillä työkaluilla tuotettu analyysi Jokerilinjan ominaisuuksista. Kuvassa punainen viiva esittää jarrutusten määrää ja sininen polttonesteen kulutusta. Esimerkki on Pitäjänmäeltä lännestä itään ajettaessa.*

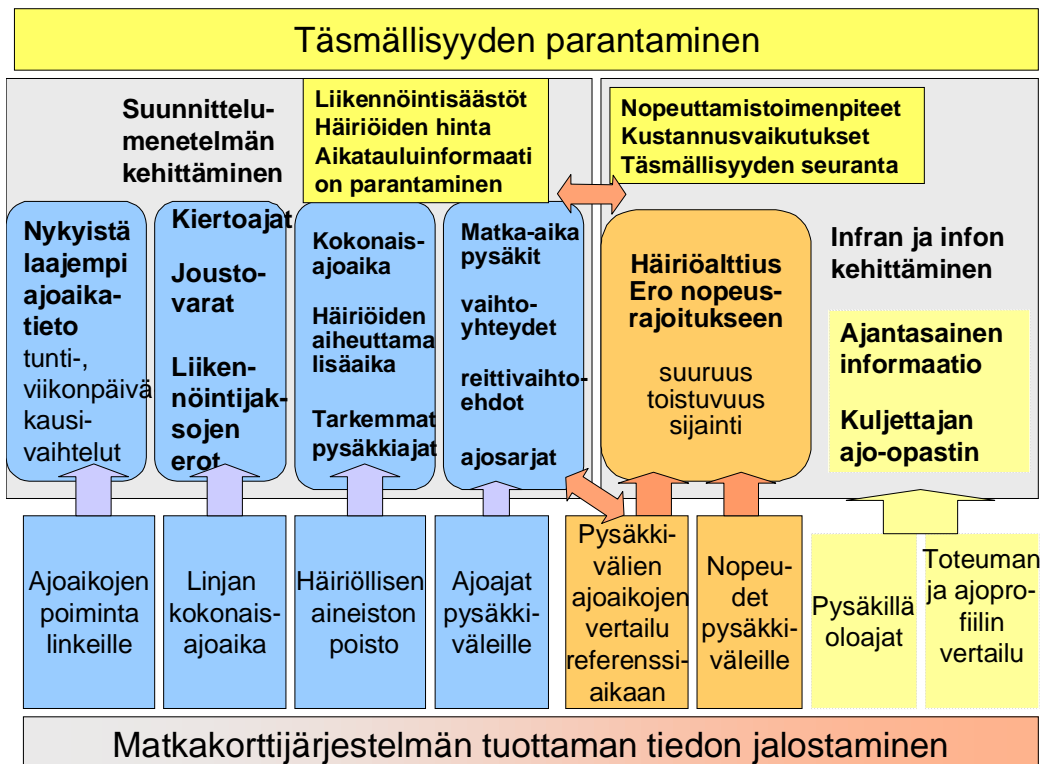
Edullisten kiihdytystapojen selvittämiseksi tehtiin laboratorionkokeita ajamalla rullilla erilaisia kiihdytysjaksoja (kuva 7.2). Kiihdytystapoina käytettiin vakiokiihdytystä eri pyynnöillä (10 – 100 %). Edullisimmaksi kiihdytystavaksi osoittautui 60 %:n pyyntö kyseisellä autolla. Polttoainetalous vaihtelee vaihteittain (vasemmanpuoleinen kuva). Ykkösvaihteella (liikkeelle lähdetessä) polttoainetalous on alhaisimmillaan.

Taloudellisin alue moottorilla näyttäisi olevan oikeanpuoleisessa kuvassa alemman paksun viivan kohdalla. Viiva osoittaa missä tilassa moottori on ollut, kun pyyntö on ollut 60 %.

Linja-auton liikennöinnin optimointi-osiossa on tuotettu kokonaisjärjestelmä yhdistämällä projektin eri vaiheissa syntyneitä kokonaisuuksia tietojen analysointiin tarvittaviksi välineiksi. Välineet tuottavat oleellimmat lähtötiedot erilaisia liikennöinnin suunnittelumenetelmiä ja suunnitteluvälineitä varten. Kuvassa 7.3 on esitetty keskeisimmät bussiliikenteen suunnittelun osat ja tietojen hyödyntäminen. Monilla kuvan osioilla on myös vaikutusta polttoaineen kulutukseen.

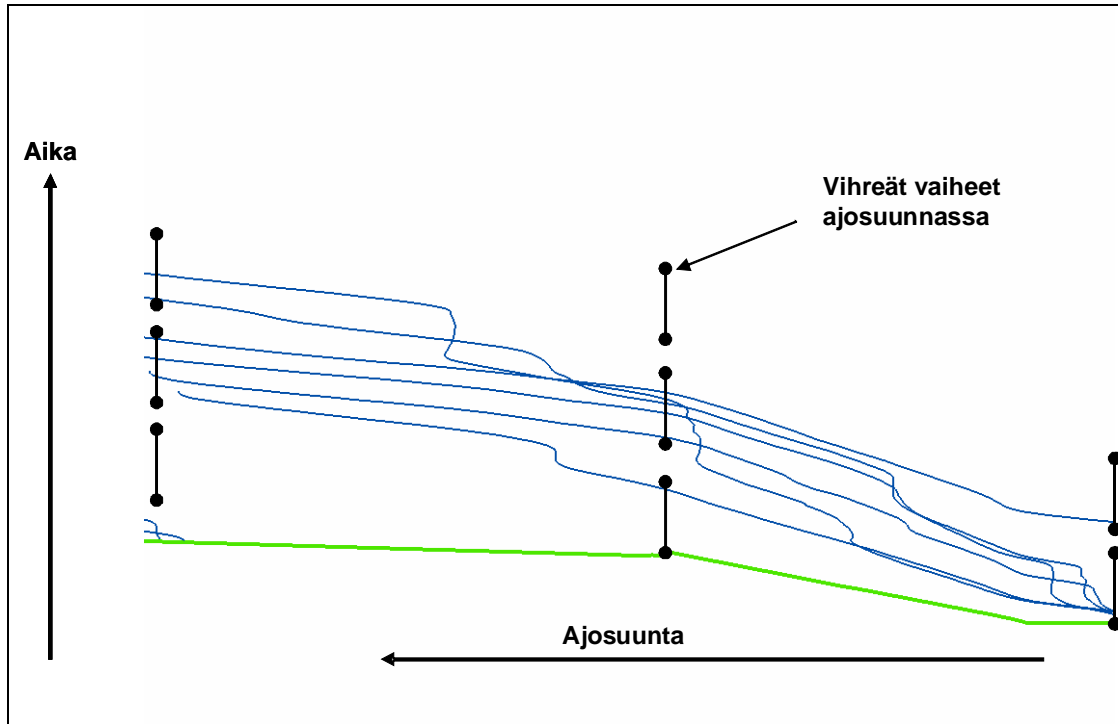


Kuva 7.2. Rullilla tehtyjen kiihdytysmittausten tulokset. Mitatulla autolla edullisin kiihdytystapa oli käyttää 60 prosentin pyyntöä.



Kuva 7.3. Keskeisimmät suunnittelun osat ja tietojen hyödyntäminen. Liikennehäiriöiden tunnistaminen pääkaupunkiseudun bussiliikenteessä. Heilitutkimusohjelma. HKL-raportti B: 4/2004.

Kuvassa 7.4 on esitetty analysointityökalun yksi mahdollinen käyttötapa. Aineistosta voidaan määrittää vihreiden vaiheiden ajoittuminen. Bussin ajo-opastin voisi sovittaa nopeuden siten, että turhat kiihdytykset ja turhat liikkeellelähdöt vältetään, jolloin osutaan paremmin liikennevalo-ohjauksen vihreisiin vaiheisiin.



Kuva 7.4. Analysointityökalun käyttö liikennevalojen vihreiden vaiheiden tunnistamiseen..

## 8 KULJETUSALAN ENERGIATEHOKKUUDEN HALLINTA- JA KANNUSTINJÄRJESTELMÄT (OT 6)

Vastuutaho: TTY tiedonhallinnan ja logistiikan laitos

Teksti: Heikki Liimatainen

Tähän alatehtävään liittyen on laadittu seuraava erillisraportti:

- Liimatainen, Heikki: Taloudelliseen ajotapaan kannustavat järjestelmät kuljetusyryyksissä. TTY:n diplomityö.

### 8.1 TAUSTA

Tampereen teknillisen yliopiston liikenne- ja kuljetustekniikan laitos (vuoden 2008 alusta tiedonhallinnan ja logistiikan laitos) oli mukana RASTU-hanketta edeltäneessä HDenergia-hankkeessa. Tuon hankkeen aikana kartoitettiin raskaiden ajoneuvojen polttoaineenkulutuksen seurantajärjestelmien sisältöä, tunnistettiin kulutukseen vaikuttavia tekijöitä ja kehitettiin kuljettajien ajotavan vertailuun ajotapaindeksi. Projektin päätelmissä havaittiin tarve seurantatietojen hyödyntämiseen energiatehokkaaseen toimintaan kannustamisessa ja siitä palkitsemisessa.

Nyt käynnissä olevan osahankkeen tavoitteena on kehittää seurantajärjestelmistä saatavan tiedon hyödyntämistä kuljettajien kannustamisessa taloudelliseen ajotapaan ja hyviin työsuorituksiin. Osahankkeen puitteissa valmistui keväällä 2007 diplomityö ”Taloudelliseen ajotapaan kannustavat järjestelmät kuljetusyryyksissä”. Hankkeen tutkijaosapuolena toimii TTY:n tiedonhallinnan ja logistiikan laitos alihankkijanaan EC-Tools Oy. Kohdeyrityksenä hankkeessa ovat Tampereen kaupungin liikennelaitos ja Transpoint Oy.

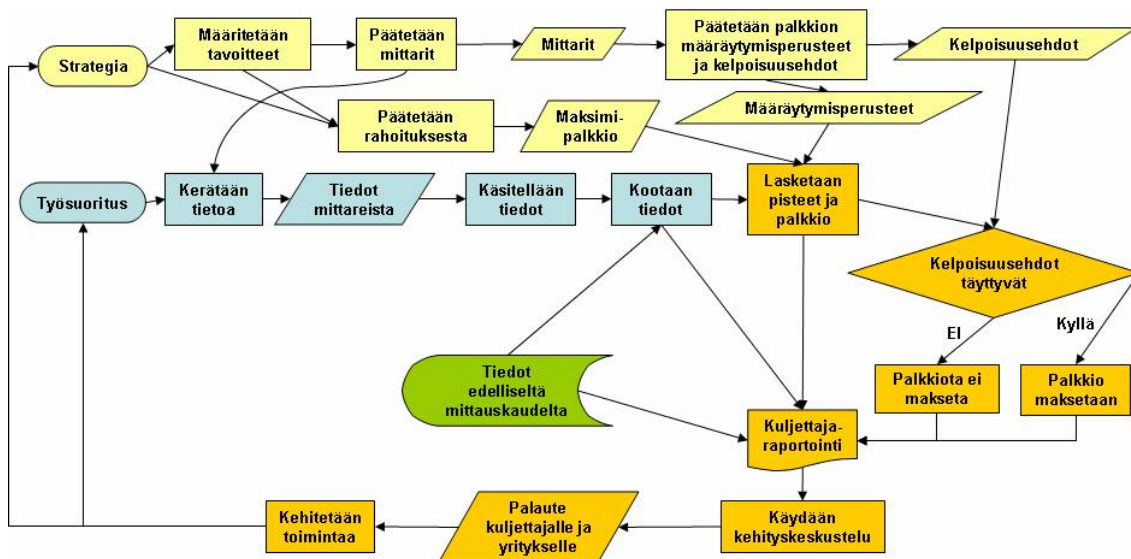
### 8.2 VUODEN 2007 TYÖT

#### Kuljettajien kannustinjärjestelmä

Ajoneuvojen seurantajärjestelmistä saatavaa tietoa voidaan hyödyntää kuljettajan taloudellisen ajotavan ohjauksessa ja koulutuksessa. Kuljettaja voi ajotavallaan vaikuttaa merkittävästi polttoaineenkulutukseen. Ero taloudellisesti ja epätaloudellisesti ajavan kuljettajan polttoaineenkulutuksessa voi olla yli 30 %. Taloudellisen ajotavan koulutus on osoittanut tehonsa osana kuljetusyryyksen toimintaa. Kurssiin sijoitettu pääoma palautuu yritykselle polttoaineenkulutuksen pienentymisenä tyypillisesti alle vuodessa. Koulutuksen tehoa voidaan edelleen tehostaa säännöllisellä ajotavan seurannalla ja palautteella. Yksi palautteen antamisen muoto on ajotapaan sidottu palkanosa, kannustinpalkkio. Polttoaineenkulutuksen pienentymisestä kertyneistä

säästöistä osa voidaan palauttaa kuljettajalle kannustinpalkkiona, joka motivoi kuljettajaa yhä taloudellisempaan ajoon. Kannustinjärjestelmien käytön esteenä on ollut kuljettajakohtaisen ajotapatiedon vaikea saanti ja toisaalta kuljettajien heikko vertailtavuus vaihtelevien ajo-olosuhteiden vaikutuksen myötä. Tekniikka antaa kuitenkin mahdollisuudet kuljettajien oikeudenmukaiseen vertailuun ja kannustinjärjestelmän kehittämiseen.

Kannustinjärjestelmän tarkoitus on viestiä yrityksen arvoja ja strategiaa työntekijöille sekä ohjata näiden työsuorituksia haluttuun suuntaan rahallisia tai muita kannustimia motivointikeinoina käyttäen. Kannustinjärjestelmän kehittämisen ja käytön prosessi on esitetty kuvassa 8.1.

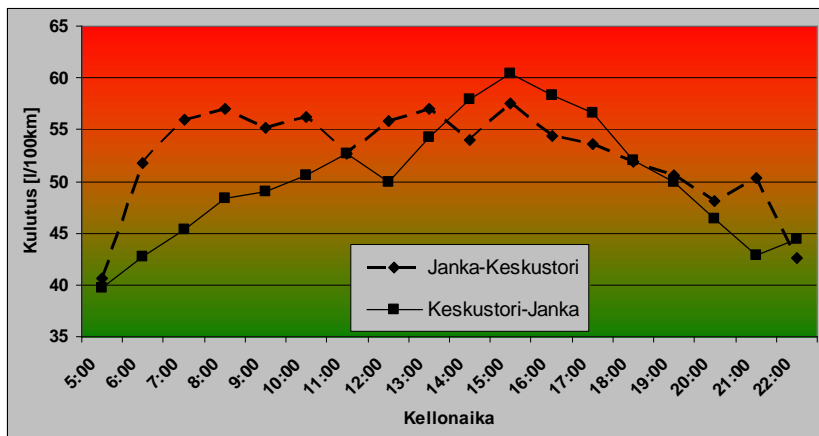


Kuva 8.1. Kannustinjärjestelmän kehittämisen ja käytön prosessi.

Kannustinjärjestelmän tavoitteiden määrittely kehitystyön alkuvaiheessa on erittäin tärkeää. Tavoitteet tulee johtaa yrityksen arvoista ja strategisista tavoitteista. Tavoitteiden määrittämisen jälkeen voidaan kehittää kannustinjärjestelmän rakenteet, joiden avulla tavoitteet saavutetaan. Kannustinjärjestelmän rakenteisiin liittyviä asioita ovat esimerkiksi kohderyhmä, mittarit ja niiden raja-arvot sekä mittaus- ja maksukausien pituudet. Kannustinjärjestelmä vaatii taloudellista panostusta vähintäänkin käytetyn työajan ja palkitsemisen muodossa. Kannustinjärjestelmässä käytettävät palkitsemistavat voivat olla hyvin monipuolisia. Tärkein palkitsemisen muoto on luonnollisesti rahapalkkio, mutta muitakin palkitsemisen muotoja voidaan käyttää. Palkitsemisen suuruus ja palkkioiden muodostuminen ovat yrityskohtaisesti päätettäviä asioita ja ne voivat vaihdella myös vuosittain. Palkitsemisperusteiden tulee olla kuljettajien näkökulmasta selkeitä ja ymmärrettäviä ja palkkioiden suuruudeltaan tavoittelemisen arvoisia.

Järjestelmän vuoksi voidaan joutua investoimaan esimerkiksi seurantajärjestelmiin ja koulutuksiin. Järjestelmän rahoitus voi kuljetusyrittysten tiukassa taloudellisessa tilanteessa olla haasteellinen tehtävä. Onnistunut kannustinjärjestelmä maksaa kuitenkin itsensä nopeasti takaisin alentuneiden polttoaine-, onnettomuus-, huolto- ja





Kuva 8.3. Tunnin sisällä ajettujen vuorojen keskipolttokulutus.

Kuljettajien polttoaineenkulutusta voidaan vertailla oikeudenmukaisesti tarkastelemalla vertailukelpoisissa olosuhteissa ajetuista ajoista muodostettuja vertailuryhmiä. Vertailuryhmän määrittävät reitti, auto, ajankohta, työtehtävä ja/tai muu kulutukseen olennaisesti vaikuttava tekijä. Vertailu voidaan esittää raporttina, josta TKL:n esimerkki on kuvassa 8.4.



### AJOTAPA- JA KULUTUSRAPORTTI, marraskuu 2006

Kuljettaja:

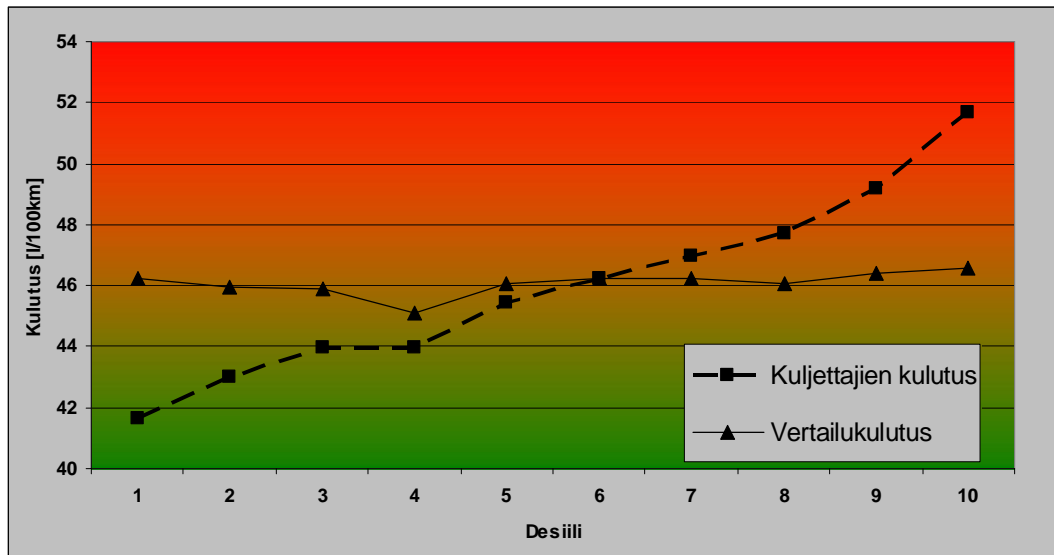
65

	alkaryhmä	ajojen lkm	matka (km)	kulutus (l/100km)	vertailukulutus (l/100km)	vertailujoukko (ajoja, km)
<b>Yhteensä</b>		<b>52</b>	<b>491</b>	<b>52.9</b>	<b>48.4</b>	
<b>suunnittain ja alkaryhmittäin</b>						
Rahola - Keskustori (2-aks.)	Arki/Iltaruuhka	7	68	44.5	42.6	176 / 1718km
	Arki/Iltaliikenne	4	39	45.4	36.6	69 / 675km
Annala - Pyynikintori (teli)	Lauantai/Päivä	2	25	56.3	48.9	58 / 728km
	Lauantai/Iltana	2	25	42.9	42.1	18 / 226km
	Sunnuntai	5	63	56.0	45.3	56 / 704km
Pyynikintori - Annala (teli)	Lauantai/Päivä	2	25	57.8	51.9	60 / 761km
	Lauantai/Iltana	2	26	48.2	48.3	26 / 329km
	Sunnuntai	5	64	56.1	51.0	61 / 774km
Keskustori - Janka (2-aks.)	Arki/Iltaruuhka	8	43	63.0	59.1	178 / 968km
Janka - Keskustori (2-aks.)	Arki/Iltaruuhka	7	38	61.6	55.4	244 / 1328km
	Arki/Iltaliikenne	1	5	62.4	48.6	82 / 448km
Keskustori - Rahola (2-aks.)	Arki/Iltaruuhka	7	69	50.3	51.2	190 / 1861km

Kuva 8.4. Esimerkki kuljettajaraportista.

TKL:n järjestelmässä ajoryhmä, jota vastaa kuvassa yksittäinen rivi, muodostuu ajosuunnasta, bussityypistä ja alkaryhmästä. Viikko on jaettu järjestelmässä kymmeneen alkaryhmään. Kuljettajan ajamien ajojen suoritteet ja kulutukset tallentuvat järjestelmään automaattisesti oikean ajoryhmän kohdalle. Yksinkertaiseen yhteen kuljettajan kulutuslukemaan, joka on esitetty raportin ensimmäisellä rivillä, päästään laskemalla ajoryhmien kulutuslukemista kilometrisuoritteilla painotettu keskiarvo.

Vertailuluvuksi lasketaan kaikkien ajoryhmässä ajettujen ajosten kulutusten painotettu keskiarvo. Painotuksissa käytetään vertailtavan kuljettajan kilometrisuoritteita. Laskennassa jokaiselle kuljettajalle tulee erilainen vertailukulutus, eikä kuljettajia voi verrata suoraan keskenään. Sen sijaan vertailu voidaan tehdä kuljettajan oman kulutuksen ja vertailukulutuksen suhteen, eli säästöprosentin avulla. Kuvassa 8.5 on esitetty 280 kuljettajan omat kulutukset ja vertailukulutukset kuukauden seurantajaksolta desiileittäin säästöprosentin mukaisessa paremmuusjärjestyksessä.



Kuva 8.5. Kuljettajien kulutus ja vertailukulutus desiileittäin.

Kuvasta nähdään, että vertailukulutus pysyy kaikissa desiileissä suunnilleen samana, eli kaikissa ryhmissä on ajettu ajoja kaikenlaisissa olosuhteissa. Kuljettajien ajotavasta johtuva polttoaineenkulutuksen ero on taloudellisimman ja epätaloudellisimman desiilin välillä 10 l/100km.

### 8.3 OSAHANKKEEN JATKOTOIMENPITEET

Vuonna 2008 osahankkeessa jatketaan kannustinjärjestelmän kehitystyötä TKL:ssä. Tavoitteena on laajentaa seuranta useampiin autoihin ja linjoille ja kehittää järjestelmää saatujen kokemusten pohjalta. Kerättävän aineiston perusteella on myös mahdollista tehdä kannustin järjestelmän vaikutusten arviointeja. Seurantajärjestelmän laajentaminen ja järjestelmästä saatavien yksityiskohtaisempien havaintojen kerääminen edellyttää yritykseltä taloudellista panostusta. Lisäinvestointien toteutuminen vuonna 2008 on epävarmaa.

Vuoden aikana on myös tarkoituksena kehittää kuorma-autoyrityksen kannustinjärjestelmä yhteistyössä Transpoint Oy:n kanssa. Kehitystyö on alkanut syksyllä 2007 ja tavoitteena on aloittaa järjestelmän pilotointi yhden terminaalin autoilla vuoden 2008 aikana. Transpoint pyrkii laajaan kannustinjärjestelmään, jossa seurataan ajotavan lisäksi myös muita kuljettajan työhön liittyviä seikkoja. Transpointilla

tutkitaan myös mahdollisuutta hyödyntää seurantajärjestelmien tuottamaa tietoa laajemmin yrityksen toiminnassa.

Kuorma- ja linja-autoyritysten kannustinjärjestelmien kehitystyössä saatujen kokemusten pohjalta laaditaan vuoden 2008 aikana osahankkeen loppuraportti, joka julkaistaan TTY:n tiedonhallinnan ja logistiikan laitoksen julkaisusarjassa. Raporttiin sisällytetään mahdollisuuksien mukaan ennen-jälkeen –aineistoa kannustinjärjestelmän vaikutuksista.

## 9 ENERGIANSÄÄSTÖTOIMENPITEIDEN TEHOKKUUDEN ARVIOINTI (OT 7)

Vastuutaho: VTT ja TTY

Teksti: Kari Mäkelä

Tästä alatehtävästä ei ole laadittu erillistä raporttia.

### 9.1 YLEISTÄ

Kuorma- ja linja-autojen energiansäästöohjelmia varten joudutaan rakentamaan järjestelmiä, joilla kerätään kuljetusyritysten polttoaineenkulutustietoja laajempaan järjestelmään vietäväksi. Kokonaisjärjestelmää käytetään avuksi arvioitaessa kuljetussektorin energiatehokkuuden kehittymisen arvioinnissa. Energiatehokkuusdirektiivi (2206/32/EY) edellyttää energiansäästötoimenpiteiden tilastointia. Kuorma-autosektorille on jo kehitetty järjestelmä, EMISTRA, johon kuljetusyrittäjät syöttävät polttoaineen kulutustietoa. Vuonna 2007 EMISTRA:n ylläpito siirtyi KH FIN Oy:lle.

EMISTRA-tyyppisten järjestelmien rinnalle kuljetusyrityksiin tarvittaisiin myös vakioitu, energiakatselmustyyppinen menettely, joka huomiosi kuljetusyrityksen kaluston, yrityksen toteuttamat tekniset parannukset, huollon ja ylläpidon ja esim. kuljettajien koulutuksen. Menettelyä pitäisi voida soveltaa niin polttoaineen kulutuksen kuin päästöjen arviointiin. Yrityksen ”edistyksellisyys” pitäisi voida indeksoida.

Jos mittaamalla voidaan todistaa jonkin teknisen parannuksen tuovan joissain ajotilanteissa tietyn määrän polttoaineen säästöä tai päästövähennyksiä, ja mikäli ajotilanteen osuus todellisessa ajoneuvon käytössä on yrityksen osalta määritettävissä, voidaan muutoksen vaikutus osoittaa toteen suhteellisen yksinkertaisella laskennalla. Näin voitaisiin sekä arvioida säästöpotentiaaleja että eri säästötoimenpiteiden kustannustehokkuutta.

### 9.2 VUODEN 2007 TYÖT

Osatehtävässä arvioitiin useita tapoja tuottaa edellisenä vuonna määriteltyjä energiansäästötoimenpiteiden tehokkuuden arviointilaskelmia. Toimenpiteiksi voidaan lukea esimerkiksi uudempiin euroluokkiin siirtyminen, energiaa säästävien renkaiden käyttöönotto, energiaa säästävien öljyjen käyttöönotto ym. Energiapalveludirektiivi edellyttää sellaista energian säästön laskentaa, joka ei riipu kulutetun, todellisen energian määrästä. Perusajatuksena on, että laskelmilla voidaan osoittaa miten paljon enemmän energiaa nyt kuluisi, ellei toimenpiteitä olisi tehty. Tällöin todellinen energiankulutus on voinut nousta tai laskea. Tällainen tarkastelu on välttämätöntä, koska yritykselle täytyy sallia toiminnan lisääntyminen ja silloin ei tietenkään energiankulutus vähene. Tätä perusajatusta päätettiin soveltaa myös tässä hankkeessa.

Hankkeen alussa selvitettiin esillä ollut mahdollisuus käyttää EMISTRA:a tai EMISTRA:n kaltaista järjestelmää. EMISTRA ei sellaisenaan sovellu tähän käyttöön, mutta tässä tuotettava laskentajärjestelmä ja sen menetelmät voivat hyvinkin olla tulevaisuudessa osa EMISTRA:a.

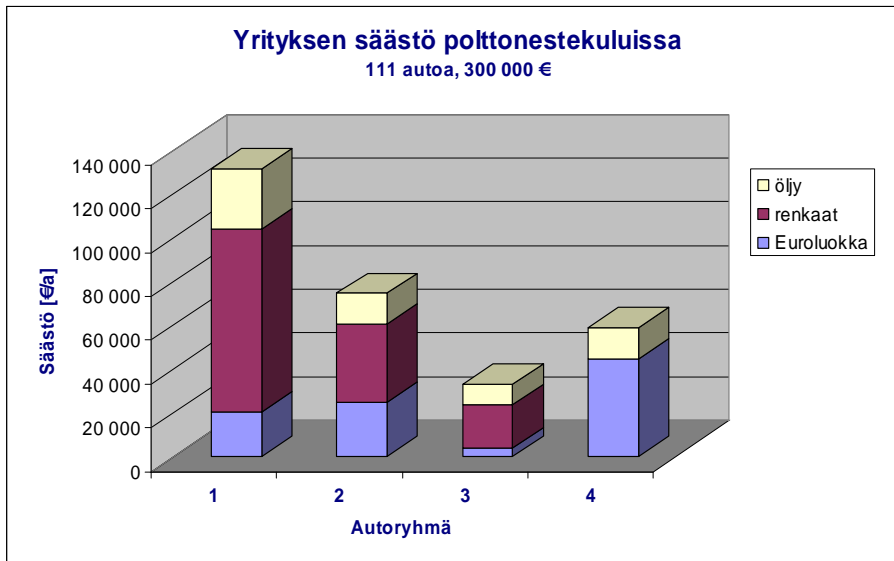
Laskennan testausta varten tehtiin Excel-malli, johon voidaan syöttää kalustomääriä ja niiden ominaisuuksia eri tarkasteluajankohtina. Kalustossa tapahtuneiden muutosten vaikutuksia energiankulutukseen lasketaan kertoimien avulla, jotka kuvaavat eri toimenpiteiden keskinäisiä eroja kulutuksessa. Kun kaikki toimenpiteet on kuvattu malliin, saadaan muutoksen kokonaisvaikutus tarkasteluajankohtien välillä. Malli tulee käsittämään sekä toteutuneiden toimenpiteiden vaikutuslaskennan että tulevien muutosten arviointityökalun.

Vaikka perusajatus on yksinkertainen, mutkistuu tehtävä heti, kun mukana on runsaasti kalustoa ja niihin tehdään runsaasti toimenpiteitä eri aikoina. Tällöin on ratkaistava miten hallinnoidaan eri aikoina eri autoille ja samoille autoille tehdyt muutokset usein samankin vuoden aikana. Samoin kaluston määrä muuttuu, autot vaihtuvat pitkin vuotta ja tilalle tulevasta autosta ei aina tiedetä esimerkiksi sen euroluokitusta. Järjestelmä edellyttää myös autojen energiankulutuksen ja huoltojen tarkkaa seurantaa. Operaattorit eivät vielä seuraa yhtenäisellä tavalla esim. kulutusta, huoltoja jne. Tämä kaikki luo haasteita sekä järjestelmän tekemiseen, että sen menestykselliseen käyttöön.

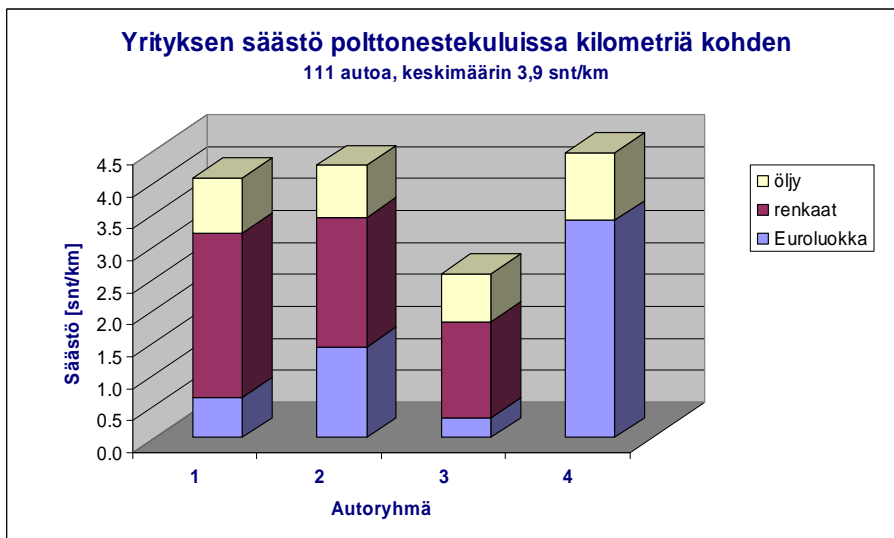
HKL toimitti projektin käyttöön kesällä 2007 luettelon HKL:lle ajavien linja-autojen teknisistä ominaisuuksista. Tiedot vaihtelevat suuresti eri operaattorien välillä. Tätä tietokantaa on kuitenkin käytetty hyväksi testattaessa erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja mallille. Henkilövaihdosten ja resurssipulan vuoksi vuoden 2007 puolella ei vielä voitu testata mallia siten, että siinä olisi ollut aktiivisesti mukana HKL:n edustaja. Mallia testattiin tässä vaiheessa todellisilla tiedoilla vain kalustomuutosten osalta ja huoltoihin liittyvät toimenpiteet otettiin eri vaihtoehtoihin hypoteettisina. Vielä on selvitettävä mahdollisuudet saada mallin edellyttämiä muita kuin kaluston teknisiä tietoja yhtenäisessä muodossa eri yrityksistä. Tässä yhteydessä on myös yhteisesti sovittava malliin tulevat muuttujat ja se tekninen muoto, miten eri yritykset voivat tiedot kerätä ja toimittaa niin, että tiedot ovat siirrettävissä malliin.

Kuvissa 9.1 (säästö per vuosi) ja 9.2 (säästö per ajokilometri) on esitetty hypoteettisilla arvoilla tuotettuja laskelmia eri toimenpiteiden vaikutuksista. Kuvasta 9.1 voi nähdä, että tässä tapauksessa suurin vaikutus on renkaiden vaihdolla paitsi autoryhmässä 4, jossa oli jo valmiiksi vähän kuluttavat renkaat. Autoryhmässä 4 sen sijaan uudistettiin kalustoa runsaasti (siirryttiin Euro 4 autoihin) ja sen vaikutukset näkyvät Euroluokkamutoksena. Kuvassa 9.2 näkyy, että ajokilometriä kohden saavutettiin muutoksilla keskimäärin 3,9 sentin polttoainekustannusten alenema ajettua kilometriä kohden. Koko 111 auton kalustolla tämä tarkoittaa yhteensä 300 000 euroa, kuten kuvasta 9.1 ilmenee.

Energiankulutuksen säästö on laskettavissa rahassa ja näin saada tietoa myös toimenpiteen kannattavuudesta ympäristöhyötyjen lisäksi.



Kuva 9.1. Polttoaineen säästö (absoluuttitaso, laskettu 111:lle autolle).



Kuva 9.2 Polttoaineen säästö per ajokilometri.

## 10 MENETELMÄKEHITYS (OT 8)

Vastuutaho: VTT

Teksti: Kimmo Erkkilä, Juhani Laurikko & Nils-Olof Nylund

Tästä alatehtävästä ei ole laadittu erillistä raporttia.

### 10.1 YLEISTÄ

Vuoden 2006 vuosiraportissa käsiteltiin mm. mittarenkaiden käyttöönottoa, vertailukelpoisten mittaustulosten muodostamista, maantiellä tapahtuvia bussimittauksia sekä ERA-NET Transport –yhteistyötä.

Vuonna 2007 mittausmenetelmien kehittämiseen tehtiin vähemmän töitä. Renkaiden osalta varmistettiin, että mittaukset maantiellä ja alustadynamometrilla antavat yhteneväiset vierinvastustulokset (kohta 5.5.5, kuva 5.11).

Alkuvuodesta 2008 tehtiin bussien pakokaasumittauksia kylmässä Rissalan lentokentällä. Näissä mittauksissa käytettiin Volvota (Volvo Buses) Ruotsista lainattuja liikuteltavia PEMS-pakokaasumittalaitteita (Portable Emissions Measurement System). Tulokset tullaan raportoimaan vuoden 2008 raportoinnissa. Vuoden 2007 tehtäviin kuului tämän mittausarjan valmistelutyöt.

### 10.2 ERA-NET TRANSPORT

Transport ERA-NET Action Group ENT9, jonka otsikko on “Environmental performance indicators for heavy duty vehicles”, on toiminto, jonka avulla on ollut tarkoitus tehdä kansainvälistä yhteistyötä raskaan kaluston todenmukaisen energian kulutuksen ja ympäristöpäästöjen määrittämisen aihepiirissä. Käytännössä tämä tarkoittaa etupäässä alustadynamometrillä tapahtuvan mittaustoiminnan ”standardointia”, mikä ainakin alkuvaiheessa tapahtuisi keskeisten tutkimustoimintaa harjoittavien laboratorioden käytäntöjen yhdenmukaistamista. Mikäli mahdollista, myös alustadynamometrimittausten mukaan ottaminen varsinaisiin normeihin tai jopa tyyppihyväksymissäädöksiin olisi tietysti toivottavaa.

ENT9 ryhmän toiminnan suunnittelussa ovat olleet aktiivisesti mukana Suomi (VTT), Ruotsi (AVLMTC ja Vägverket) sekä Iso-Britannia (Millbrook Laboratories). Lisäksi on kontaktoitu Itävaltaa (TU Graz). Tälle konsortiolle laadittiin vuoden 2006 loppupuolella tutkimussuunnitelma, jossa eri osapuolille tuli omat osatehtävänsä. Osallisten toivottiin löytävän omalle työlleen sopiva kansallinen rahoitus, jolloin hanke etenisi ”cost-sharing by task-sharing” –periaatteella.

Ruotsilla ja Suomella (Suomen osalta RASTU-kokonaisuus) oli oma taustarahoituksensa kunnossa, mutta sekä Millbrook että TU Graz olivat vailla rahoitusta. ERA-NET toiminta kuitenkin edellyttää kullekin Action Groupille vähintään

kolmea osallistuvaa jäsenmaata, joten muodollista käynnistystä ei saatu aikaan. Vuoden 2006 aikana tehtiin työtä ”puuttuvan lenkin” ongelman parissa yrittäen löytää sekä Iso-Britannian että Itävallan osatehtäville sopivaa rahoittajaa. Lupaavia laajennuksia mahdollisille aiheesta kiinnostuneille osapuolille kyllä löytyi, mutta mikään niistä ei ollut valmis rahoitukseen ainakaan vuoden 2007 budjeteista, koska niiden käyttösuunnitelmat oli jo varsin pitkälle tehty.

Vaikka virallista käynnistymistä Action Groupille ei saatu vuoden 2007 aikana, verkoston sisäinen viestintä toimi, ja sekä Suomessa että Ruotsissa alettiin jossain määrin viedä eteenpäin työsuunnitelman mukaisia tehtäviä siinä toivossa, että kolmas osapuoli saataisiin mukaan vuoden 2008 rahoitusten tullessa päätettyä, yleensä vuodenvaihteessa, jolloin toiminta pääsisi alkuun laajemmalla volyymilla. Loppuvuotta kohden tähän suuntaan viittaavia viestejä saatiinkin Itävallasta, Iso-Britannia ei vaikuttanut yhtä lupaavalta.

Koska ERA-NET –forum alkoi vaikuttaa hallinnollisesti vaikealta, kartoitettiin myös muita sellaisia kansainvälisiä toimijoita ja toimintaympäristöjä, jotka saattaisivat tarjota vaihtoehdon tai rinnakkaisen forumin yhteistyölle. Esimerkiksi IEA:n aktiviteetin herääminen antoi viitteitä mahdollisuuksista sen parissa toimimiselle, ja Nils-Olof Nylund raportoikin Suomessa tehdystä työstä kesäkuussa pidetyssä raskaan kaluston energiankulutusta käsitelleessä workshopissa.

### 10.3 DIREKTIIVIEHDOTUS YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISTEN JA ENERGIATEHOKKAIDEN AJONEUVOJEN EDISTÄMISESTÄ

Komissio antoi 21.12.2007 direktiiviehdotuksen (COM (2007) 817) ympäristöystävällisten ja energiatehokkaiden ajoneuvojen edistämisestä. Direktiiviehdotuksen tavoitteena on sisällyttää julkisen sektorin ajoneuvojen hankintaan pakollinen vertailuperuste, joka ottaa huomioon ajoneuvon käytönaikaisen energiankulutuksen, hiilidioksidipäästöjen sekä saastepäästöjen kustannukset. Lisäksi direktiiviehdotus edellyttää, että julkisen liikenteen palvelut, jotka perustuvat julkisen viranomaisen myöntämään lisenssiin, lupaan tai auktorisointiin toteutetaan liikennevälineillä, joiden hankinnassa sovelletaan tätä periaatetta.

Direktiivi määrittelee, miten kustannukset on laskettava. Vertailun tulisi perustua kilometripohjaisiin polttoaineenkulutukseen, CO<sub>2</sub>- ja päästöarvoihin (COM(2007) 817):

*”Polttoaineen kulutuksen, CO<sub>2</sub>-päästöjen ja saastepäästöjen määrien ajokilometriä kohden tulee perustua standardoituihin EU-testimenetelmiin niiden ajoneuvotyyppien osalta, joille on määritelty testimenetelmät EU:n tyyppihyväksyntää koskevassa lainsäädännössä. Niiden ajoneuvojen osalta, joille ei ole olemassa standardoituja EU-testimenetelmiä, tarjoutuen vertailun tulisi pohjautua laajasti tunnustettuihin testimenetelmiin, tai viranomaista varten tehtyihin testeihin tai näiden puuttuessa, valmistajien toimittamiin tietoihin.”*

Itse asiassa direktiiviehdotus sisältää ”tilauksen” RASTU-hankkeen puitteissa toteutetulle raskaiden ajoneuvojen mittaustoiminnalle. Jos periaate siitä että autojen vertailun kaikissa ajoneuvoryhmissä pitäisi perustua kilometripohjaisiin kulutus- ja päästölukuihin hyväksytään lopullisesti, tämä merkitsisi merkittävää testausvolyymin kasvua ja tarvetta mittauskäytäntöjen harmonisointiin esim. ERA-NET –yhteistyön kautta. RASTU-toiminnan ansiosta suomalaisella julkisella sektorilla olisi hyvät mahdollisuudet sopeutua direktiivin vaatimuksiin.

Direktiiviehdotus sisältää kuitenkin useita puutteita. ”Laajasti tunnettuja testimenetelmiä” ei ole määritelty mitenkään. Energiakustannus lasketaan käyttämällä kiinteää energiahintaa, joka on bensiinin tai dieselpolttoaineen veroton energiahinta. Tällainen laskentatapa suosisi nestemäisiä biopolttoaineita, mutta vaikeuttaisi maa- ja biokaasun käyttöä raskaissa ajoneuvoissa, koska raskaan kaasumoottorin energiankulutus on korkeampi kuin vastaavan dieselmoottorin energiankulutus. Direktiiviehdotus ei myöskään yksiselitteisesti määrittele, miten biopolttoaineiden CO<sub>2</sub>-päästöt lasketaan. Oletettavaa on, ettei direktiiviehdotusta tulla hyväksymään sellaisenaan. Direktiiviehdotus on kuitenkin vahva osoitus siitä, että raskaidenkin ajoneuvojen kilometripohjaisille kulutus- ja päästötiedoille on kovaa kysyntää.

## 11 PAKOKAASUTUTKIMUS (OT 9)

Vastuutaho: VTT

Teksti: Maija Lappi, Kimmo Erkkilä & Nils-Olof Nylund

Alatehtävä kuuluu osana projektiin ”Uusiutuvien ajoneuvojen yhteys katualueiden NO<sub>x</sub> –yhdiste- ja hiukkaspitoisuuksiin (Uusipäästö)”. Uusipäästö-hankkeesta on laadittu seuraavat erillisraportit:

- Lappi, Maija: Uusiutuvien ajoneuvojen yhteys katualueiden NO<sub>x</sub> –yhdiste- ja hiukkaspitoisuuksiin. Tilanneraportti 2007. VTT-R-11133-07
- Kauhaniemi, Mari: Uusipäästö – Leviämislaskelmien tulokset. Ilmatieteen laitos 17.1.2008.

### 11.1 YLEISTÄ

Pakokaasututkimus toteutetaan erillisprojektissa ”Uusiutuvien ajoneuvojen yhteys katualueiden NO<sub>x</sub>- yhdiste- ja hiukkaspitoisuuksiin (Uusipäästö)”. Tätä projektia rahoittavat VTT, Ympäristöministeriö, YTV, Autotuoajat ry, Gasmet Technologies Oy, Helsingin ympäristökeskus ja Ilmatieteen laitos. Projekti tekee yhteistyötä RASTU-hankkeen kanssa siten että projektin raskaita ajoneuvoja koskevat mittaukset tehdään muiden RASTU-mittausten yhteydessä. Pakokaasuprojekti taas raportoi tuloksiaan myös RASTU-kokonaisuudelle.

Uusipäästö–projektissa tutkitaan päästölainsäädännön mukana muuttuvan ajoneuvokannan vaikutusta vilkkaasti liikennöityjen katualueiden NO<sub>x</sub>-yhdiste- ja toissijaisesti primäärihiukkasmääriin. Tuloksena tuotetaan mm. todellisia NO- ja NO<sub>2</sub> –päästökertoimia kevyiden (LD) ja raskaiden (HD) ajoneuvojen kaupunkiajosta, sekä mallinnetaan em. pohjalta kaupunki-ilman laatua ja leviämistä mm. katukuiluissa. Tutkimus alkoi syyskuussa 2006 ja se jatkuu vuoden 2008 loppuun. Pääosa projektin kokeellisesta työstä tehtiin vuonna 2007. Se käsitti henkilöautojen katu- ja alustadynamometri mittausjaksot, ulkoilma-FTIR –mittalaittekehitystä ja pääosan raskaiden ajoneuvojen alustadynamometrikokeista. Tuloksia on nyt käytettävissä noin kahdestakymmenestä Euro 2 –EEV –päästötason kaupunkibussista, kahdeksasta Euro 4 –päästötason kuorma-autosta sekä kymmenestä bensiini- ja dieselautokantaa edustavasta kevyestä ajoneuvosta.

Raskaan kaluston NO/NO<sub>2</sub> –mittaus uudistettiin huhtikuussa 2007 ottamalla käyttöön toinen NO<sub>x</sub>-analysointilaitte. Mittaus tehdään nyt siten, että toinen laite mittaa jatkuvatoimisesti NO<sub>2</sub>:ta, toinen NO<sub>x</sub>:ia (NO<sub>2</sub>= NO<sub>x</sub>-NO). Aiemmissä mittauksissa jatkuvat NO- ja NO<sub>x</sub> –pitoisuudet mitattiin peräkkäisistä toistokokeista, koska typpioksidianalysointilaitteita oli vain yksi. On tiedossa, että typpidioksidia ei ole mahdollista analysoida CVS-pussista yhdisteen nopean muutunnan vuoksi. VTT:ssä on myös todettu, että norminmukaisesti kaasupussista mitattu NO<sub>x</sub>:kaan ei ole pysyvä,

vaan on altis valon vaikutukselle.  $\text{NO}_x$ :in todettiin vähenevän nopeasti pussista valoisassa paikassa (sen hapettuessa  $\text{NO}_3$ -ioniksi).

Dieselpakokaasun ulkoilmaan laimentuneita  $\text{NO}$ :n ja  $\text{NO}_2$ :n pitoisuuksia korreloitiin Gasmet Oy:n uudella 100 m FTIR –laitteella ja perinteisellä CLD-analysaattorilla ja FTIR:n suorituskyvyn ja ulkoilman esikäsittelyvaatimusten todentamiseksi. Ilmatieteen laitos mallinsi pitemmän aikavälin päästökehityksen arvioimiseksi ajoneuvomäärä- ja ominaispäästötasojen perusteella ja kahdella leviämismallilla (CAR-FMI, OSPM) paikallisesti katukuilujen ja –väylien  $\text{NO}_x$ -yhdistepäästöjen muuttumista mm. eri korkeuksilla ja etäisyyksillä. Tämä työ on raportoitu erillisraportissa. Tulosten perusteella arvioidaan ilmanlaatuvoitteiden toteutumismahdollisuuksia.

## 11.2 RASKAIDEN AJONEUVOJEN ALUSTADYNAMOMETRI-MITTAUKSET 2007

### 11.2.1 Bussit

Vuoden 2006 vuosiraportissa esiteltiin tyyppiyhdisteiden tuloksia viiden uuden Euro 4/5 –tasaisen bussin osalta. Uutta tekniikkaa edustavia busseja verrattiin katalysaattorittomiin Euro 2- ja Euro 3 –päästötason busseihin, hapetuskatalysaattorilla varustettuun uudehkoon Euro 3 –päästötason bussiin sekä jälkiasennetulla hiukkaskatalysaattorilla (P-DPF) varustettuun Euro 2 –tason bussiin.

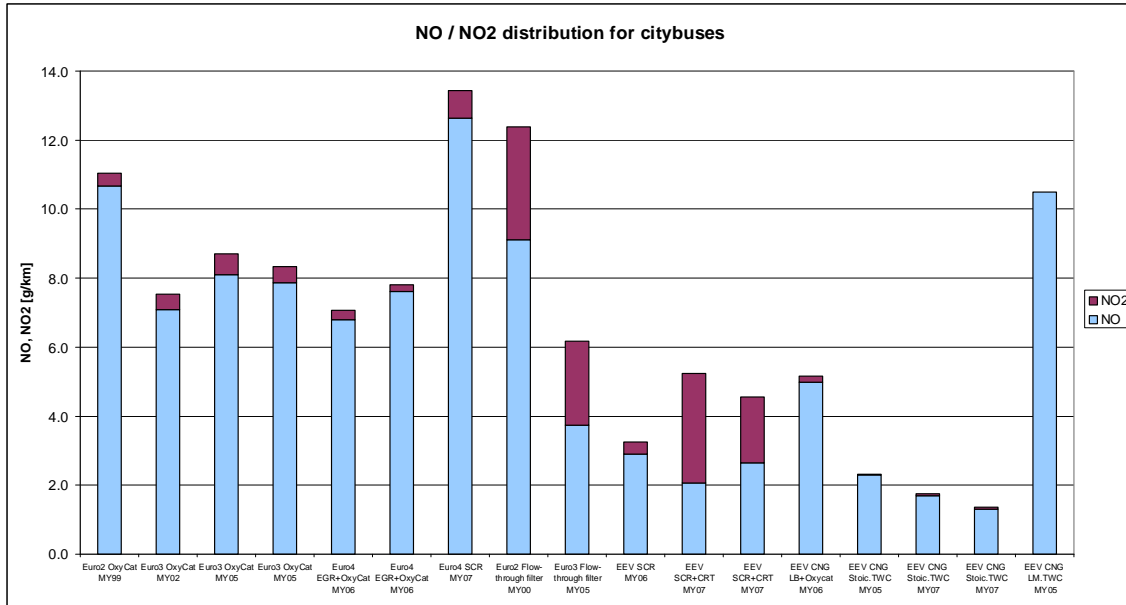
Bussien osalta mittauksia täydennettiin vuonna 2007 sekä uusilla SCR-dieselbusseilla että maakaasubusseilla. SCR-autojen joukossa oli sekä pelkällä SCR-katalysaattorilla että SCR:n ja hiukkassuodattimen yhdistelmällä (SCRT) varustettuja autoja.

Kuvaan 11.1 on koottu esimerkkejä erityyppisten kaupunkibussien  $\text{NO}/\text{NO}_2$  –päästöistä. Kuvan tulokset ovat Braunschweig-bussisyklille ja puolelle kuormalle (RAKEBUS-mittauksen perustapaus), ja perustuvat vuonna 2007 mitattuihin autoihin. Kuvassa on mukana kahden Euro 3 –tasaisen ja kahden Euro 4 –tasaisen Scanian tulokset.

Perusdiesel ilman pakokaasujen jälkikäsittelyä antaa alhaisen  $\text{NO}_2$ -osuuden. Hapettavaa pakokaasujen jälkikäsittelyä (hapetuskatalysaattori, hiukkaskatalysaattori ja CRT-tyyppinen hiukkassuodatin) käytettäessä  $\text{NO}_2$ -osuus kohoaa. Nyt mitattujen autojen hapetuskatalysaattorit eivät olleet ”aggressiivisiä”, eikä niiden vaikutus  $\text{NO}_2$ -pitoisuuksiin ollut näin ollen erityisen suuri. Myös katalysaattorien vanheneminen vähentää niiden puhdistustehoa, minkä vuoksi myös typpimonoksidin hapettuminen typpidioksidiksi vähenee. Hapetuskatalysaattorilla varustettujen autojen puhdistimien  $\text{NO}_2$ -osuus oli nyt enimmillään alle 10 %.

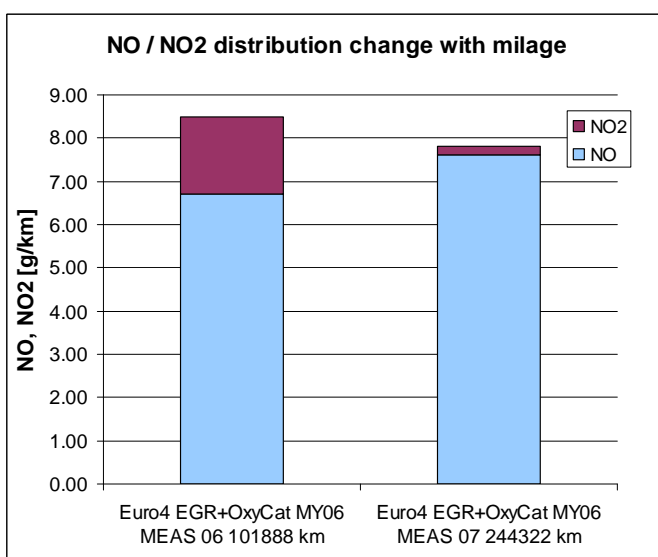
Suurimmillaan  $\text{NO}_2$ -osuus kokonais- $\text{NO}_x$  –määrästä on CRT:n yhteydessä, enimmillään noin 60 %, mikä EEV-tasoisessa autossa oli absoluuttisena (4 koetta, 2 autoa) keskiarvona 3 g/km. Hiukkaskatalysaattorilla  $\text{NO}_2$ -osuus on 25 – 40 %, ja Euro 2 –tasoisessa autossa absoluuttinen  $\text{NO}_2$ -päästö on niinkään noin 3 g/km, johtuen auton varsin korkeasta  $\text{NO}_x$ -tasosta.

Pelkällä SCR-katalysaattorilla varustetuissa busseissa NO<sub>2</sub>-päästö on alhainen. Maakaasubussien NO<sub>2</sub>-päästö on hyvin matala. Tämä pätee erityisesti stoikiometrisiin autoihin.



Kuva 11.1. Vuonna 2007 mitattujen bussien NO/NO<sub>2</sub> jakaumia.

EGR-autoille (Scania) tehdyt mittaukset osoittavat, ettei NO/NO<sub>2</sub> -suhde ole pysyvä (kuva 11.2). Uudehkolle autolle NO/NO<sub>2</sub> -suhde oli likimain 50:50 (kts. vuoden 2006 vuosiraportti), kun taas 240 000 km ajettulla autolla (seuranta-auto) NO<sub>2</sub>-osuus oli enää alle 5 % NO<sub>x</sub>:n kokonaismäärästä. Syynä tähän lienee hapetuskatalysaattorin hiipuminen, mikä seuranta-autossa näkyi myös kohonneena CO-päästönä (vrt. 3.1.4, seuranta-autot). Mahdollisesti autossa oli myös jotain muuta vikaa.

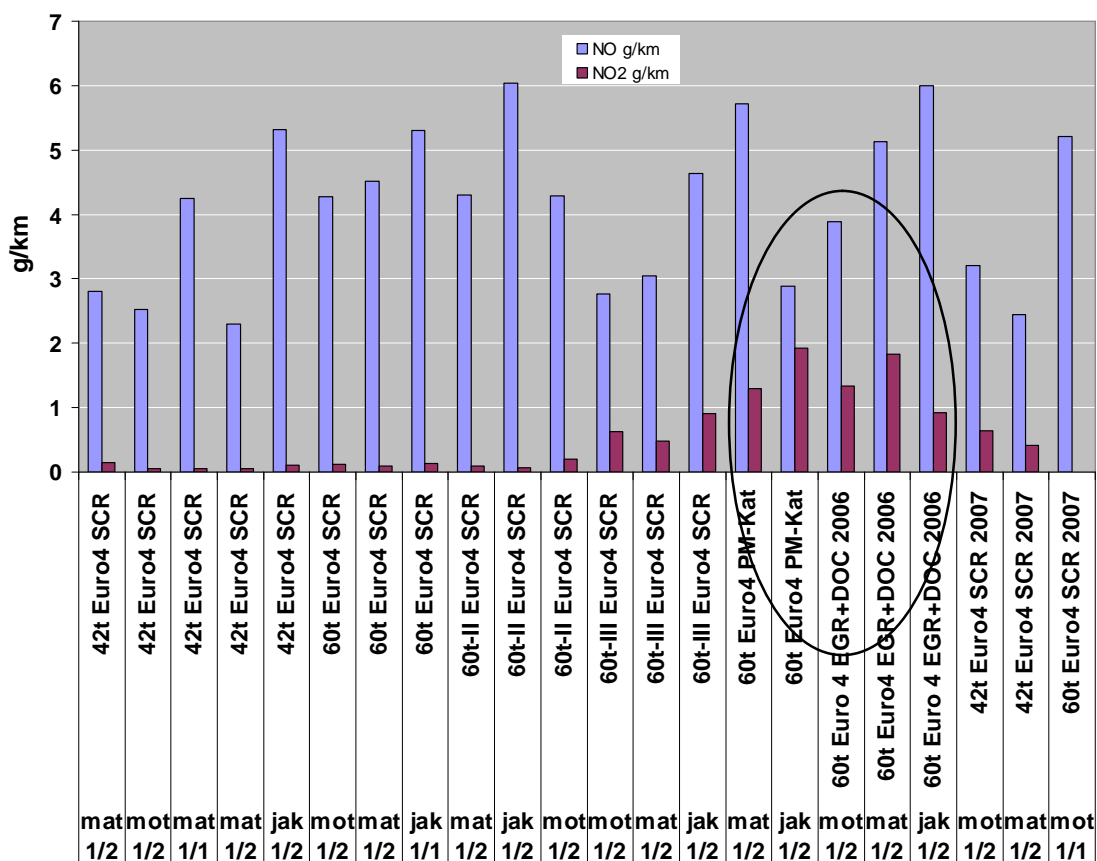


Kuva 11.2. Scania Euro 4 EGR:n NO<sub>2</sub>-päästön kehittyminen.

## 11.2.2 Kuorma-autot

Kuvassa 11.3 on Euro 4 –tasoisten kuorma-autojen NO/NO<sub>2</sub> –päästötuloksia. Joukossa on SCR-autoja ja hiukkaskatalysaattorilla sekä hapetuskatalysaattorilla varustettuja EGR-autoja (60-tonniset EGR-autot ovat vuoden 2006 mittasarjan autoja). Tulokset ovat samansuuntaisia kuin bussien, ts. hapettava pakokaasujen jälkikäsitteily lisää NO<sub>2</sub>-osuutta. MAN:issa on PM-KAT –hiukkaskatalysaattori ja Scaniassa (kuvan EGR -autot) hapettava katalysaattori.

PM-KAT:illa varustetun MAN:n osalta NO<sub>2</sub>-osuus on enimmillään noin 40 %. Suurin osa SCR-autoista antaa varsin matalan NO<sub>2</sub>-päästön, mutta jotkut SCR-autot tuottavat myös NO<sub>2</sub>:ta. Enimmillään NO<sub>2</sub>-osuus on SCR-autossa noin 15 %. Keskimääräinen NO<sub>2</sub>-osuus on kuorma-autoissa hieman alempi kuin busseissa. Korkeampi kuormitus ja sitä kautta korkeampi pakokaasujen lämpötila voisivat mahdollisesti selittää tätä eroa. Ylipäättänsä pakokaasujen puhdistus toimii raskaasti kuormitetuissa kuorma-autoissa paremmin kuin busseissa.



Kuva 11.3. Esimerkkejä Euro 4 -kuorma-autojen NO/NO<sub>2</sub> –jakautumasta. Jak-, mat- ja mot- lyhenteet viittaavat testisykleihin (jakelu, maantie, moottoritie).

Vuonna 2007 kuorma-autojen mittausten yhteydessä mitattiin hiukkaskokojakaumia ELPI-laitteistolla. Tulosten käsittely on kesken.

## 12 YHTEENVETO

Vuonna 2007 tutkimus jatkui pääasiassa suunnitelmien mukaisesti. Alatehtävässä 4. (ajoneuvojen IT-sovellukset) on kuitenkin edelleenkin jouduttu venyttämään aikatauluja laiteongelmista johtuen.

Bussimittauksia tehtiin yli 20. Mitattujen autojen joukossa oli 3 EEV-tasoista dieselautoa, ja kaikki osoittautuivat varsin vähäpäästöisiksi. Ero parhaimpien dieselbussien ja stoikiometrinen maakaasubussien välillä päästömielessä on kuitenkin edelleen olemassa, maakaasubussien hyväksi. Parhaimmillaan normaalirakenteiset (ei kevytrakenteiset) bussit yltyvät Braunschweig-syklissä CO<sub>2</sub>-päästöön joka on noin 1100 g/km. Tämä pätee niin diesel- kuin maakaasubusseihin.

Seurantamittauksia tehtiin yhteensä viidelle autolle. Kahdessa autossa (Volvo Euro 2 ja Scania Euro 3) on jälkiasennettu pDPF hiukkaskatalysaattori. Uutena hiukkaskatalysaattori pudotti molemmissa autotyypeissä hiukkaspäästöä noin 45 %. Uusina autotyyppeinä seurantaan otettiin mukaan Euro 4 -tasoinen EGR-Scania ja stoikiometrinen maakaasu-MAN.

Kuorma-autojen osalta mm. täydennettiin 60-tonnisten autojen mittauksia ja aloitettiin mittaukset 18 tonnin painoluokassa. Seurannassa on yksi 60-tonninen Iveco SCR-auto. Ainoa merkittävä muutos auton suorituskyvyssä 50 000 km:n matkalla on hiukkaspäästön aleneminen ajomatkan karttuessa.

60-tonnisten luokassa uusittiin MAN:in ja Scanian mittaukset. Tulokset paranivat hieman polttoaineen kulutuksen osalta, ja lisäksi MAN:in hiukkaspäästö asetui odotetulle tasolle (aikaisemmin mitattu auto oli todennäköisesti viallinen). 42-tonnisten luokassa mitattiin yksi uusi autotyyppi. Mittaukset 18-tonnisten luokassa aloitettiin kahdella autolla, ja mittaukset jatkuvat vuoden 2008 puolella.

Polttoainetutkimuksessa ajettiin kokeita dieselpolttoaineen ja perinteisen biodieselin (RME) sekoituksilla pakettiautolla (Volkswagen) ja keskiraskaalla kuorma-autolla (MAN Euro 3). Ajoja tehtiin myös 100 %:n RME:llä ja kuorma-auton osalta lisäksi 100 %:n NExBTL:llä.

Tulokset vastasivat odotuksia. RME vähentää hiukkasia tehokkaasti, mutta lisää NO<sub>x</sub>-päästöä. Pakettiautossa hiukkaspäästö väheni 65 – 75 % ja NO<sub>x</sub>-päästö lisääntyi 12 – 20 % 100 %:n RME:tä käytettäessä. Kuorma-autossa 100 %:n NExBTL:llä oli sama hiukkasia vähentävä vaikutus kuin 50 %:n RME-seoksella. NExBTL ei kuitenkaan lisännyt NO<sub>x</sub>-päästöä, vaan päinvastoin se vähensi NO<sub>x</sub>-päästöä noin 10 % tavalliseen dieselpolttoaineeseen verrattuna. Liikenne- ja viestintäministeriön rahoituksella tehtiin erillinen kehitystilanneraportti vaihtoehtoisista polttoaineista.

Voiteluainekokeita tehtiin nyt bussilla alustadynamometrissa. Kahden 10W40 luokan öljyn ero polttoaineen kulutuksessa oli suurimmillaan 1,8 %. Automaattivaihteiston öljyn vaihdolla voitiin säästää jopa 3 % polttoainetta.

TKK:lla valmistui kaksi diplomityötä ajoneuvotekniikkaan liittyen, toinen perävaunujen kevytrakennetekniikasta ja toinen täysperävaunuyhdistelmän stabiiliudesta. Täysperävaunut ovat käytännössä pohjoismainen erikoisuus ja niiden valmistusta ei juuri ole muualla maailmassa. Verrattaessa puoliperävaunuihin täysperävaunujen pienen valmistusmäärän takia ei ole syntynyt samanlaista kehitystä kevennyksen suhteen. Tämän johdosta täysperävaunuissa on suuria mahdollisuuksia kevennyksen suhteen.

Renkaalla on erittäin suuri vaikutus ajoneuvojen ja ajoneuvoyhdistelmien käyttäytymiseen. Henkilöautoille suosituksena on, että aina paremmat renkaat tulisi laittaa taakse ja tämä sama suositus näyttää pätevän myös ajoneuvoyhdistelmille siten, että jokaisen ajoneuvoyksikön taka-akselille tulisi laittaa hyvät renkaat. Tämä pätee myös täysperävaunun etuteliin siten, että pitävämmät renkaat tulee asentaa takimmaiselle akselille telin yliohjautumisen välttämiseksi.

VTT teki ajovastusten määrittelyjä maantiellä puoliperävaunu- ja täysperävaunuyhdistelmälle. Mittaukset jatkuvat alustadynamometrissa, tavoitteena selvittää erilaisten ajoneuvoyhdistelmien energiatehokkuus. VTT toteutti myös laajan rengasmittaussarjan linja-autojen, kuorma-autojen ja perävaunujen renkailla. Vetävien renkaiden osalta erot renkaiden välillä ovat suurimmillaan 5 – 6 %. Mittauksilla voitiin osoittaa, ettei pelkkä renkaan vierinvastus riitä kuvaamaan vetoa siirtävän renkaan energiatehokkuutta, koska renkaat käyttäytyvät eri lailla vedon alaisina.

Laiteongelmat häirtasivat ajoneuvojen IT-sovellusten tutkimusta, varsinkin liukkauden tunnistuksen osalta. Vuoden 2007 aikana bussien ajo-opastinlaitteisto asennettiin yhteensä 15 autoon pääkaupunkiseudulla ja Jyväskylässä. Jokerilinjan ja linja 58 autot ovat tuottaneet hyvää mittausaineistoa pääkaupunkiseudun liikenteestä kesästä 2007 lähtien. Loppuvuodesta 2007 on toteutettu ajo-opastuksen algoritmi opastinlaitteeseen. Opastuksen päälle kytkentää ei voitu toteuttaa vielä vuoden 2007 puolella, koska mm. pysäkkien tunnistaminen on osoittautunut ongelmalliseksi. Myös kuljettajan ajotavan automaattinen arviointijärjestelmä on saatava toimintaan ennen opastuksen aktivoitua.

Liukkauden tunnistuksessa laitevaikeudet jatkuivat vuoden 2007 alkupuolella ja keskimäärin vain kuudesta autosta on saatu kelvollista dataa. Toukokuussa 2007 VTT esitti laiteoimittajalle TechnoSmart Oy:lle virallisen reklamaation huonosti edenneistä laiteoimituksista. Koska hanke oli jo puolessa välissä, ei katsottu järkeväksi vaihtaa laiteoimittajaa.

Liukkauden tunnistuksen algoritmi voitiin osoittaa toimivaksi, mutta verifiointia häirtasi ajoneuvolaitteiden toimimattomuus. Tämä johti mm. siihen, että dataa jouduttiin varsin pitkälle käsittelemään manuaalisesti. Oulun yliopisto on kehittänyt liukkauden tunnistuksen ohjelmistoja siten, että tunnistus toimii, ainakin periaatteessa, ajoneuvojen päätelaitteissa. Alustavien analyysien mukaan liukkausalgoritmin toiminta näyttäisi hyvältä.

Linja-autojen liikennöinnin optimointia varten on kerätty dataa busseihin asennettujen ajo-opastinlaitteiden avulla. Koska dataa on paljon (35 miljoonaa riviä), analysointiin ei ole muuta mahdollisuutta kuin räätälöidyt työkalut. Työkaluja on kehitetty edelleen

kertyneiden kokemusten myötä. Kehitettyjä työkaluja on käytetty mm. liikennevalojen vihreiden vaiheiden ajoittumisen optimointiin. Bussin ajo-opastin voisi sovitaa nopeuden siten, että turhat kiihdytykset ja turhat liikkeellelähdöt vältetään, jolloin osutaan paremmin liikennevalo-ohjauksen vihreisiin vaiheisiin.

Tampereen kaupungin liikennelaitokselle (TKL) on kehitetty kuljettajien kannustinjärjestelmä, jonka avulla osa polttoaineenkulutuksen pienentymisestä kertyneistä säästöistä voidaan palauttaa kuljettajalle kannustinpalkkiona, joka motivoi kuljettajaa yhä taloudellisempaan ajoon. Hankkeessa kehitetyn järjestelmän laajasta käyttöönotosta ei TKL:lla ole toistaiseksi tehty päätöstä. Yleisesti kannustinjärjestelmien käytön esteenä on ollut kuljettajakohtaisen ajotapatiedon vaikea saanti ja toisaalta kuljettajien heikko vertailtavuus vaihtelevien ajo-olosuhteiden vaikutuksen myötä. Hankkeessa on kuitenkin todettu, että tekniikka antaa mahdollisuudet kuljettajien oikeudenmukaiseen vertailuun ja kannustinjärjestelmän kehittämiseen. Vuonna 2007 osahankkeesta valmistui diplomityö TTY:lle.

Osatehtävässä energiansäästötoimenpiteiden tehokkuuden arviointi on kehitetty Excel-laskentamalli, johon voidaan syöttää kalustomääriä ja niiden ominaisuuksia eri tarkasteluajankohtina. Kalustossa tapahtuneiden muutosten vaikutuksia energiankulutukseen lasketaan kertoimien avulla, jotka kuvaavat eri toimenpiteiden keskinäisiä eroja kulutuksessa. Kun kaikki toimenpiteet on kuvattu malliin, saadaan muutoksen kokonaisvaikutus tarkasteluajankohtien välillä. Lopullisessa muodossaan malli tulee käsittämään sekä toteutuneiden toimenpiteiden vaikutuslaskennan että tulevien muutosten arviointityökalun. Alustavat laskelmat on tehty HKL:lle ajavien liikennöitsijöiden kalustotietojen pohjalta.

Vuonna 2007 mittausmenetelmien kehittämiseen ei panostettu yhtä paljon kuin edellisenä vuonna. Renkaiden osalta varmistettiin, että mittaukset maantiellä ja alustadynamometrillä antavat yhteneväiset vierinvastustulokset. Pakokaasumittausten osalta valmisteltiin liikuteltavilla PEMS-pakokaasumittalaitteilla tehtäviä mittauksia. Transport ERA-NET –yhteistyöverkon puitteissa on tarkoitus tehdä kansainvälistä yhteistyötä raskaan kaluston todenmukaisen energian kulutuksen ja ympäristöpäästöjen määrittämiseksi. Vaikka virallista käynnistymistä tälle työlle ei saatu vuoden 2007 aikana, verkoston sisäinen viestintä toimi, ja sekä Suomessa että Ruotsissa alettiin jossain määrin viedä eteenpäin työsuunnitelman mukaisia tehtäviä siinä toivossa, että varsinainen työ saataisiin käynnistettyä 2008.

Todenmukaisia kilometripohjaisia energiankulutus- ja päästöarvoja peräänkuulutetaan myös Komission 21.12.2007 antamassa direktiiviehdotuksessa (COM (2007) 817) ympäristöystävällisten ja energiatehokkaiden ajoneuvojen edistämisestä. Direktiiviehdotuksen tavoitteena on sisällyttää julkisen sektorin ajoneuvojen ja palveluiden hankintaan pakollinen vertailuperuste, joka ottaa huomioon ajoneuvon käytön aikaisen energiankulutuksen, hiilidioksidipäästöjen sekä saastepäästöjen kustannukset. Itse asiassa direktiiviehdotus sisältää ”tilauksen” RASTU-hankkeen puitteissa toteutetulle raskaiden ajoneuvojen mittaustoiminnalle.

Pakokaasututkimuksessa jatkettiin uusien autotyyppien NO/NO<sub>2</sub> –mittauksia. Mittauslaitteistoa täydennettiin keväällä 2007 siten, että typpioksidien erittely onnistuu jatkuvatoimisesti. Korkein tähän asti mitattu NO<sub>2</sub>-osuus, noin 60 %, mitattiin EEV-tasoiselle SCR-katalysaattorilla ja CRT-hiukkassuodattimella varustetulle bussille. Pelkällä SCR-katalysaattorilla suora NO<sub>2</sub>-päästö on alhainen, samaten maakaasulla. Kuorma-autoista mitattiin hiukkaskokojakaumia, mutta näitä tuloksia ei pystytty analysoimaan vielä vuoden 2007 puolella.

RASTU:N RAHOITTAJATAHOT

Tekes

Liikenne- ja viestintäministeriö

Ympäristöministeriö (2006)

Ajoneuvohallintokeskus AKE

Tiehallinto

HKL Suunnitteluyksikkö

Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta YTV

ADEME, Ranska

Vägverket, Ruotsi

Concordia Bus Finland Oy (2006)

Kabus Oy

Linja-autoliikenteen Volvo-säätiö

Neste Oil Oyj

Nokian Renkaat Oyj

Oy Närko Ab

Oy Pohjolan Henkilöliikenne Ab,

Proventia Emission Control Oy

Suomen Posti Oyj

Tampereen kaupungin liikennelaitos

Transpoint Oy Ab

VTT