



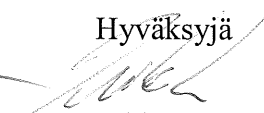


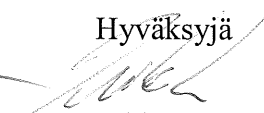


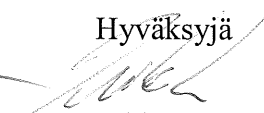
# Energiätehokas ja älykäs raskas ajoneuvo – HDENIQ - Vuosiraportti 2010

Kirjoittajat:

Kimmo Erkkilä, Petri Laine, Matti Ahtiainen, Nils-Olof Nylund, Paula Silvonen, Timo Murtonen, Maija Lappi, Matti Juhala (Aalto), Mikko Laamanen (Aalto), Johannes Kankare (Aalto), Timo Naskali (Aalto), Kai Noponen (OY), Juha Partala (OY), Heikki Liimatainen (TTY), Rami Wahlsten (Turun AMK)

Luottamuksellisuus: Julkinen



Raportin nimi Vuosiraportti 2010										
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot HDENIQ johtoryhmä	Asiakkaan viite HDENIQ									
Projektin nimi Energiatehokas ja älykäs raskas ajoneuvo	Projektin numero/lyhytnimi 35610 / HDENIQ									
Raportin laatija(t) Kimmo Erkkilä (VTT), Petri Laine (VTT), Matti Ahtiainen (VTT), Nils-Olof Nylund (VTT), Paula Silvonen (VTT), Timo Murtonen (VTT), Maija Lappi (VTT), Matti Juhala (Aalto), Mikko Laamanen (Aalto), Johannes Kankare (Aalto), Timo Naskali (Aalto), Kai Noponen (OY), Heikki Liimatainen (TTY), Rami Wahlisten (Turun AMK)	Sivujen/liitesivujen lukumäärä 75/3									
Avainsanat Energiankulutus, ajoneuvot, päästöt, raskaat ajoneuvot, bussit, kuorma-autot, linja-autot	Raportin numero VTT-R-04847-11									
<p>Tiivistelmä</p> <p><i>Energiatehokas ja älykäs raskas ajoneuvo</i>, HDENIQ-projekti, jatkaa raskaiden maantieajoneuvojen energiankulutuksen, päästöjen ja turvallisuuden tutkimusta aikaisempien HDenergia ja RASTU-projektien hengessä. HDENIQ kuuluu osaksi VTT:n koordinoimaa TransEco tutkimusohjelmaa, vastaten sen raskaan ajoneuvokaluston tutkimustarpeita. HDENIQ-projekti käynnistyi kesällä 2009 ja on suunniteltu kestäväksi vuoden 2011 loppuun.</p> <p>Vuonna 2010 edistettiin kaikkia tutkimussuunnitelman mukaisia alatehtäviä. Kaupunkibussien osalta jatkettiin RASTU-projektissa aloitettua seurantamittaussarjaa ja mitattiin muutamia uusia EEV-busseja ja hybridejä. Kuorma-autojen mittauksissa jatkettiin niin ikään seurantamittauksia, mutta lisäksi otettiin mittauksiin joukko pienempään alle 18t painoluokkaan kuuluvia kuorma-autoja.</p> <p>Ajoneuvotekniikkaan liittyvissä alatehtävissä suunniteltiin mm. aerodynaamista kuorma-autokonseptia, tutkittiin apulaitteiden vaikutusta ja selvitettiin renkaiden virhetilanteiden, kuten tasapaino ja painevajaus, vaikutuksia energiankulutukseen.</p> <p>IT-järjestelmien tutkimuksessa kehitettiin kuljettajan ajo-opastinjärjestelmää ja siihen liittyvää taustajärjestelmää ajo-opastimen vaikutusten arvioimiseksi ja reittiohjeistuksen muodostamiseksi. Automaattinen liukkaudentunnistus -tutkimukseen liittyen varusteltiin joukko raskaita ajoneuvoja anturoinneilla ja tiedonkeruujärjestelmillä. Nämä tiedonkeruujärjestelmät osallistuvat apulaitteiden energiankulutus- ja olosuhdetutkimukseen.</p>										
Luottamuksellisuus	julkinen									
<p>Espoo 14.9.2011</p> <table border="0"> <tr> <td>Laatija</td> <td>Tarkastaja</td> <td>Hyväksyjä</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Kimmo Erkkilä, Senior Research Scientist</td> <td>Juhani Laurikko Principal Scientist</td> <td>Jukka Lehtomäki Technology Manager</td> </tr> </table>		Laatija	Tarkastaja	Hyväksyjä				Kimmo Erkkilä, Senior Research Scientist	Juhani Laurikko Principal Scientist	Jukka Lehtomäki Technology Manager
Laatija	Tarkastaja	Hyväksyjä								
										
Kimmo Erkkilä, Senior Research Scientist	Juhani Laurikko Principal Scientist	Jukka Lehtomäki Technology Manager								
<p>Jakelu</p> <p>HDENiq johtoryhmä, TransEco tutkimusohjelma - <a href="http://www.transec.fi/">http://www.transec.fi/</a></p>										
<p>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</p>										



## Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	5
2	Tutkimuksen sisältö .....	6
3	Ajoneuvotekniikka (VTT, AALTO).....	8
3.1	Johdanto .....	8
3.2	Aerodynamiikka .....	8
3.3	Apulaitteiden energiankulutus ja päästöt .....	10
3.3.1	Apulaitteiden käyttö- ja olosuhdetutkimus .....	10
3.3.2	HVAC – heating, ventilation, air-conditioning .....	11
3.3.3	Auxiliary power needs.....	17
3.3.4	Vuosi 2011 suunnitelmat.....	20
3.4	Rengastutkimus .....	20
3.4.1	Renkaiden alustadynamometrimittaukset ja kenttäkokeet .....	20
3.4.2	Renkaiden tasapainotuksen ja paineen vaikutuksista energiankulutukseen ja liikenneturvallisuuteen .....	23
4	Älykäs raskas ajoneuvo (VTT, OY).....	26
4.1	Johdanto .....	26
4.2	Ajo-opastin .....	26
4.2.1	Tavoitteet ja tutkimuksen eteneminen.....	26
4.2.2	Ohjelmisto .....	27
4.3	Automaattinen liukkaudentunnistus .....	30
4.4	Älykkään raskaan ajoneuvon esiselvitys .....	30
4.5	Ajoneuvon tiedonkeruujärjestelmän suunnittelu ja toteutus .....	32
5	Raskaiden ajoneuvojen todellinen suorituskyky (VTT) .....	36
5.1	Bussit .....	36
5.1.1	Seurantamittaukset .....	36
5.1.2	Kaupunkibussien päästötietokanta .....	38
5.2	Kuorma-autot .....	40
5.2.1	Mitatut autot .....	40
5.2.2	Seurantamittaukset .....	42
5.2.3	Vertailumittaukset: 18 t.....	47
5.3	Jälkiasennettavat pakokaasujen puhdistuslaitteet .....	54
5.4	Kaupunkibussien päästöt ja energiankulutus kylmässä .....	55
5.5	Erikoispäästömittaukset .....	58
5.5.1	PAH- ja Ames -analyysit .....	60
5.5.2	Hiukkaslukumäärät: ELPI.....	62
5.5.3	Kaasumaiset sääntelemättömät päästöt: HC ja aldehydierittely .....	65
5.5.4	Sääntelemättömät kaasumaiset päästöt (FTIR-analyysi).....	66
6	Raskaan kaluston elinkaaren hallinta (Turun AMK).....	68
6.1	Autojen ylläpito.....	68
6.1.1	Vuoden 2010 työt.....	68

7	Joukkoliikenteen ja kuljetusten energiatehokkuuden seuranta, raportointi ja kehittäminen (TTY, VTT) .....	71
7.1	Asiakaskohtainen kuljetusten päästöjen mittaaminen ja raportointi .....	71
7.2	Joukkoliikenteen energiatehokkuuden seuranta, raportointi ja kehittäminen – suositukset .....	72
7.3	Kuljetusalan energiatehokkuuden raportointi ja tehostamistoimenpiteiden vaikutusten arviointi – päätelmät .....	76
8	Menetelmäkehitys (VTT).....	78
9	Projektin ohjaus .....	79
10	Liitteet.....	80

## 1 Johdanto

*Energiatehokas ja älykäs raskas ajoneuvo*, HDENIQ-projekti, jatkaa raskaiden maantieajoneuvojen energiankulutuksen, päästöjen ja turvallisuuden tutkimusta aikaisempien HDenergia ja RASTU-projektien hengessä. Projektin otsikkotasolla mainittu energiankulutus toimii tutkimuksessa alatehtäviä yhdistävänä tekijänä. Toinen otsikkotason teema on älykkyys, joka viittaa IT-järjestelmien mahdollisuuksiin energiankulutuksen, turvallisuuden ja palvelutason lisääjänä. HDENIQ kuuluu osaksi VTT:n koordinoimaa TransEco tutkimusohjelmaa, vastaten sen raskaan ajoneuvokaluston tutkimustarpeita.

Edellä mainittujen aiempien tutkimusprojektien tapaan HDENIQ yhdistää niin liikennöitsijöitä, liikenteen tilaajia, julkisen tason päättäjiä, että muita kuljetusalaan liittyviä toimijoita.

Yleinen viitekehys tekemiselle, liitännät muihin projekteihin ja viestintäasiat on kuvattu TransEco-ohjelman vuosiraporteissa 2009 ja 2010 (VTT-R-03160-10, VTT-R04288-11), jotka ovat haettavissa ohjelman verkkosivuilta osoitteesta: <http://www.transec.fi/>

VTT:n käynnistämä viisivuotinen (2009 – 2013) TransEco-ohjelma muodostaa tutkimusplatformin, jonka puitteissa kokonaisvaltaisesti tarkastellaan ja kehitetään tieliikennesektorin energia- ja päästöratkaisuja, ja johon tukeudutaan Suomelle sopivia toimintamalleja kehitettäessä ja markkinoille tuotaessa. Suomesta löytyy osaamista mm. polttoainejalostuksen, liikenteen biopolttoaineiden, IT-tekniikan ja ajoneuvotekniikan (mm. kevytrakennetekniikka, sähkö- ja hybridi-autot, renkaat, pakokaasupuhdistimet, työkonemootorit) alueilla. Kaikkia mahdollisia elementtejä pitäisi käyttää hyväksi liikenteen ympäristövaikutusten vähentämiseksi.

HDENIQ-projektin täysimittainen tekeminen päästiin aloittamaan rahoituksen varmistuttua alkusyksystä 2009. Vuoden 2009 tekemiset raportoitiin keväällä 2010 julkaistussa vuosiraportissa (VTT-R-02704-11), kun taas käsillä oleva raportti esittelee vuoden 2010 tutkimustuloksia. Projektisuunnitelma on esitetty dokumentissa VTT-M-01450-09.

## 2 Tutkimuksen sisältö

Tutkimushanke koostuu kuudesta varsinaisesta alatehtävästä. Alatehtävät ja niiden sisältö tiivistetysti on listattu seuraavassa.

### **Ajoneuvotekniikka:**

- Aerodynamiikan parantaminen, potentiaali ja käytännön mahdollisuudet Polttoaineenkulutus vs. toiminnallisuus, käytettävyys, turvallisuus ja lainsäädäntö
- Hybridi- ja sähkökäyttöisten raskaiden ajoneuvojen mahdollisuudet
- Apulaitteiden energiankulutuksen vähentäminen: toiminta- ja olosuhdeprofiilien selvittäminen ja käytön optimointi
- Lämmitys ja jäähdytysjärjestelmien optimointi
- Raskaiden ajoneuvojen rengasvalinnat erityisesti polttoaineenkulutuksen ja turvallisuuden näkökulmista
- Rengasvalinta-työkalun kehittäminen liikennöitsijöiden tarpeisiin
- Renkaiden käytännön suorituskyvyn arviointi Suomen olosuhteissa (IT-liityntä)
- Voiteluaineiden vaikutus raskaan ajoneuvon energiankulutukseen

### **Älykäs raskas ajoneuvo**

- Uudet innovatiiviset ajoneuvojen käyttöä helpottavat laitteet
- Ajo-opastimen vaikutusten tutkimus, taustajärjestelmien
- Automaattinen liukkaudentunnistus ja kuormantunnistus, ympäristön ja olosuhteiden vaikutus menetelmien luotettavuuteen
- Tulevaisuuden älykäs raskas ajoneuvo – esiselvitys, linja-autot ja kuorma-autot

### **Raskaan kaluston elinkaaren aikaiset päästö ja energiankulutus**

- Uusien ajoneuvojen päästö ja energiankulutus
- Päästöjen ja energiatehokkuuden pysyvyys elinkaaren aikana
- Todellisia ajosuoritteita vastaavat päästökertoimet päästömalleihin päästöominaisuuksien arvioimiseen.
- Säätelämättömät päästöt
- Jälkiasennettavat pakokaasujen puhdistuslaitteet
- Raskaiden ajoneuvojen katsastustoiminnan kehittäminen luotettavammaksi ja kustannustehokkaammaksi

### **Kilpailutus**

- Kehitetään ympäristöominaisuuksia (energian kulutus, lähipäästöt, uusiutuvan energian käyttö) paremmin huomioivia kilpailutusjärjestelmiä bussi- ja kuorma-autoliikenteeseen

### **Raportointimenetelmät ja toimenpiteiden vaikutusten arviointi**

- Kuljetusketjujen energiatehokkuusarvioinnit
- Energiansäästötoimenpiteiden, ml. HDenergia ja RASTU-projektien tulosten kokonaisvaikutusten arviointi



**Menetelmäkehitys**

- Aerodynamiikan huomiointi mittausmenetelmissä
- Ilmanvastuksen määrittystarkkuus maantiemittauksissa
- Uudet ajoneuvotyypit

Vuoden 2010 aikana edistettiin kaikkia edellä mainittuja alatehtäviä. Seuraavassa esitellään alatehtävien aikaansaannoksia ja suunnitelmia tarkemmin.

### 3 Ajoneuvotekniikka (VTT, AALTO)

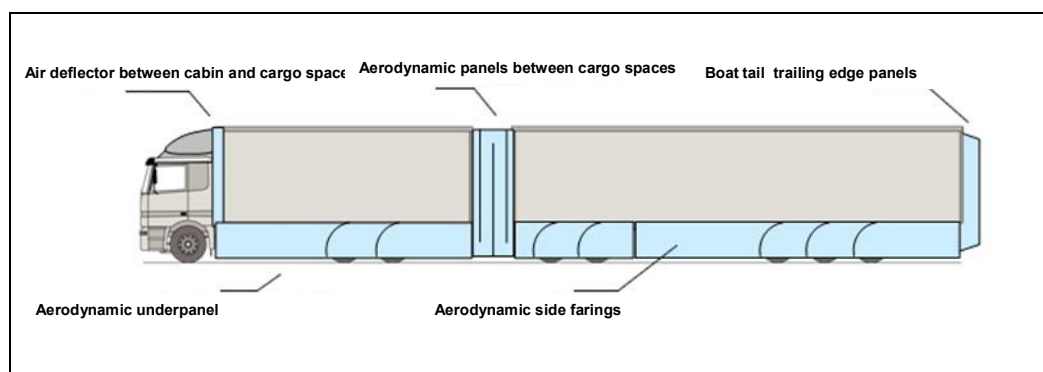
#### 3.1 Johdanto

Ajoneuvotekniikalla voidaan edelleen vaikuttaa ajoneuvon energiankulutukseen ja päästöihin huomattavissa määrin. Kehitettävää löytyy sekä tehon tuotannon että sen käytön puolelta. Itse polttomoottorin kehittämiseen hankkeessa ei kuitenkaan ole tarkoitus syventyä, vaan lähinnä siihen puoleen, minne tuotettu energia lopulta käytetään, ja millä hyötysuhteella. Polttomoottorin osalta tutkimus rajataan käyttäjän vaikutusmahdollisuuksien tasolle.

#### 3.2 Aerodynamiikka

Raskaan kaluston nykydesign ottaa huomioon hyvin vähäisissä määrin aerodynamiikan merkittävän vaikutuksen ajoneuvon kokonaisenergian kulutukseen. VTT:n aerodynamiikan demonstraatiolla toteutettava tutkimus osoittaa nykyiseen kalustoon tehtävien parannusten potentiaalia ajoneuvojen suorituskyvyn parantamiseen. Tutkimus ottaa kantaa myös siihen, minkälainen tulevaisuuden aerodynaamisesti optimoitu energiatehokas raskas ajoneuvo voisi muotoilultaan olla.

Tehtävän tavoite on rakentaa aerodynaamisesti hyvä ajoneuvo tyypillisen nykyaikaisen raskaan yhdistelmän pohjalta. Tutkimusajoneuvo varustellaan suunnitelman mukaisesti osasarjalla, joka parantaa ajoneuvon aerodynaamista suorituskykyä. Osasarjan design on valmis ja osasarjan valmistaminen on aloitettu.



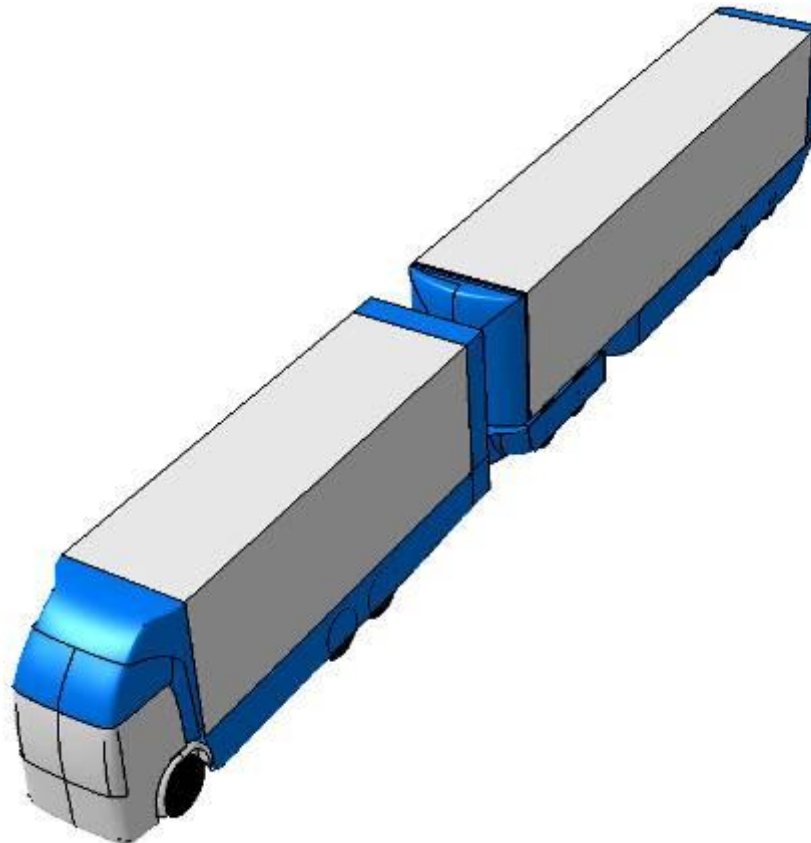
Kuva 1: VTT:n raskaan ajoneuvon aerodynamiikan konsepti

Osasarjan rakenne muotoilee ajoneuvon aerodynaamisesti keskeisiltä alueilta. Ajoneuvon johtoreuna muotoillaan koko ajoneuvon yläosan ja kuormatilan etureunan peittävällä katteella. Ajoneuvon sekä trailerin pohjat katetaan renkaat ja voimalinjan peittävällä kaukalolla. Ajoneuvon alla kulkee virtauskanava, jonka osana myös dolly-vaunun kate on. Kuormatilojen välinen kate ohjaa ilmaa kuormatilojen välissä.

Jättöreunan katetta lukuun ottamatta muutokset ovat mahdollisia jo nykyisen lainsäädännön puitteissa mahdollisia ja tarjoavat liikennöitsijöille hyödyllistä

tietoa aerodynamiikan vaikutuksesta ajoneuvon suorituskykyyn sekä keinoista joita sen parantamiseksi voidaan käyttää.

Ajoneuvon jättöreunaan asennetaan ilmavirtaa ohjaavakate. Jättöreunan katteella uskotaan olevan merkittävä vaikutus ajoneuvon aerodynaamiseen suorituskykyyn. Varsinainen tutkimus toteutetaan testaamalla jokaista ratkaisua joko erillisenä tai mielekkäinä osakokonaisuuksina ja yhdistelminä.



*Kuva 2: Aerodynaamisesti optimoitu raskasajoneuvo. Suunnittelukuva CAD*

Osasarjan jokainen osa on suunniteltu siten, että ne muodostavat yhdessä synergisen kokonaisuuden, mutta sallivat myös eri osien itsenäisen testauksen. Ajoneuvo on tarkoitettu toteuttamaan prototyyppinä, jonka käytettävyyteen ei ole kaikilta osin vielä otettu kantaa. Käytettävyyssasiat on kuitenkin huomioitu ohjeellisina suunnittelussa.

Osasarja koostuu kuudesta erillisestä parannuskohteesta.

- Ajoneuvon johtoreunan ja kuormatilan saumattomasti yhdistävä kate, joka sallii hytin jouston.
- Ajoneuvon vetolinjan ja pyörät sulkeva kate vähentää alustan epätasaisuuksien sekä renkaiden aiheuttamia häiriöitä virtauskenttään. Ajoneuvon pohjassa kulkeva kanava alkaa vetoauton alta

- Kuormatilojen välinen kate ohjaa ilman kuormatilojen välisen raon yli säilyttäen tasaisen virtauksen ajoneuvon ympärillä.
- Dolly-vaunun (apuperävaunun, jolla puoliperävaunu yhdistetään vetoautoon) kate muotoilee vaunun sopimaan ajoneuvon virtaviivaiseen muotoon. Dolly-vaunun kate on osa ajoneuvon alla kulkevaa kanavaa
- Trailerin kate sulkee vaunun epätasaisen pohjan ja renkaat. Koko yhdistelmän alla kulkeva kanava jatkuu tässä osassa ja ohjaa virtausta yhdistelmän jättöreunalle ja vähentää virtauskentän irtoamisen aiheuttamaa pyörteilyä
- Trailerin jättöreunan kate ohjaa virtausta yhdistelmän taakse vähentäen virtauskentän irtoamisesta johtuvaa pyörteilyä

VTT toimii yhdessä Parlok Oy:n kanssa Aalto-yliopiston apuna raskaan kaluston aerodynaamisen kylkikateratkaisun kehityksessä.

### 3.3 Apulaitteiden energiankulutus ja päästöt

Apulaitteiden käyttö- ja olosuhdetutkimus selvittää eri ajoneuvoluokkien käyttöprofiileja ja -olosuhteita sekä apulaitteiden kuormitusprofiileja Suomen olosuhteissa. Tutkimus toimii linkkinä ajoneuvojen todellisen käytön sekä laboratoriotutkimuksen välillä. Tutkimuksen tuloksia voidaan käyttää mm. ajoneuvojen apulaitteiden toiminnan optimoinnissa ja siten ajoneuvojen energiankäytön parantamiselle.

#### 3.3.1 Apulaitteiden käyttö- ja olosuhdetutkimus

Apulaitetutkimus käynnistyi konkreettisesti vuoden 2010 talven aikana. Viisi tutkimusajoneuvoa varustettiin ajoneuvokohtaisella anturoinnilla. Anturoinnit keräävät kustakin ajoneuvoluokasta kalustolle tyypillistä olosuhdetietoa sekä apulaitteiden toimintaprofiileita. Kertynyt data voidaan tutkimuksen lopussa hyödyntää tekemällä johtopäätöksiä eri apulaitteiden vaikutuksesta ajoneuvon energiankulutukseen. Tutkimus luo perustan ajoneuvojen apulaitteiden käytön ja kokoonpanon optimoinnille. Samat tiedonkeruulaitteet palvelevat kyseisen tehtävän lisäksi myös automaattisen liukkauden- ja kuormantunnistuksen tiedonkeruulaitteina.



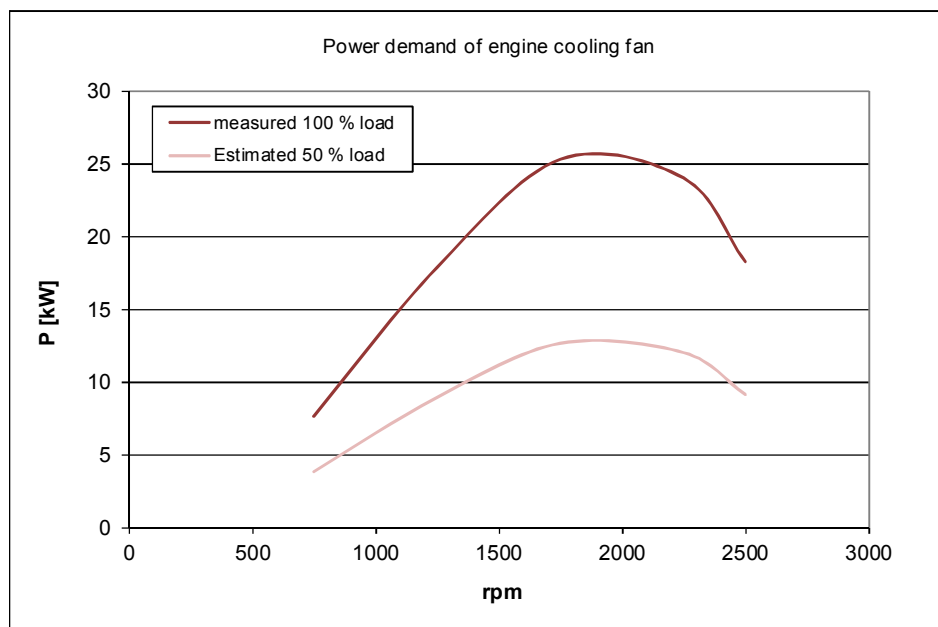
*Kuva 3: Kaksiakselinen kaupunkibussi anturoitavana*

Varustetut ajoneuvot edustavat tyypillistä Suomessa käytettävää raskasta ajoneuvokalustoa. Liitteessä 1. on listattu apulaiteseurannalla varustetut ajoneuvot sekä asennetut anturoinnit. Ajoneuvojen anturointi vaihtelee ajoneuvoluokan

mukaan ja pyrkii kattamaan kyseisen luokan keskeiset laitteet. Lisäksi CAN-väylätalenne antaa yleiskuvan ajoneuvon kuormituksesta. Valitut ajoneuvot on varustettu tiedonkeruulaitteilla, joiden avulla CAN – väylätiedot sekä erilliset anturitiedot tallennetaan koko ajoneuvojen käyttöajalta.

Apulaitteiden tehontarpeen selvittämiseksi VTT suorittaa raskaalla alustadynamometrillä testejä apulaitteista. Kullekin apulaitteella määritellään energian kulutus kuormituksen ja kierrosnopeuden suhteen. Tämän riippuvuuden ja apulaitteiden kentältä tallennettujen toimintatilojen pohjalta voidaan tehdä analyysi siitä miten apulaite todellisissa ajosuoritteissa vaikuttaa kokonaisenergian kulutukseen.

Kuva 4 esittää kaupunkibussin jäähdytyspuhaltimen ottaman tehon kierrosalueen suhteen maksimikuormituksella ja 50 % kuormituksella. Kertyneen tiedon perusteella voidaan jatkossa esimerkiksi nähdä miten jäähdytyspuhaltimen toiminta vaikuttaa ajoneuvon käyttölämpötilaan ja arvioida esim. voisiko puhallin toimia suhteessa enemmän eri kuormituspisteessä ja siten säästää energiaa.



Kuva 4: Kaupunkibussin jäähdytyspuhaltimen ottoteho

### 3.3.2 HVAC – heating, ventilation, air-conditioning

Diplomityö: Mikko Laamanen: Ilmastointijärjestelmän vaikutus ajoneuvojen energiankulutukseen, 2010

Nousevan elintason myötä ihmisten mukavuudenhalu lisääntyy, mikä asettaa kehittämispaineita myös ajoneuvojen mukavuuselektronikalle. HVAC- eli lämmitys-, ilman-vaihto- ja ilmastointijärjestelmän tehtävänä on luoda ajoneuvon sisälle matkustajien kannalta miellyttävä ilmasto. Se siirtää lämpöä ajoneuvon matkustamoon tai sieltä pois, säätelee ilman kosteutta ja huolehtii ilman puhdistuksesta sekä kierrättämisestä ajoneuvossa. HVAC-järjestelmä on oleellinen osa ajoneuvon turvallisuutta huolehtien kuljettajan vireydestä ja mahdollistaen hyvän näkyvyyden ulos ajoneuvosta. Perinteisesti suunnittelussa on

lähdetty liikkeelle lämmitys- ja jäähdytystehosta ja hyötysuhde on ollut toissijainen asia.

Työssä luotiin katsaus nykyisiin ja lähitulevaisuuden teknologioihin sekä arvioitiin energiankulutusta. Tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon ja missä kohdin järjestelmää energiaa kuluu, kun ajoneuvon matkustamo jäähdytetään, lämmitetään ja sen ilmaa vaihdetaan. Lisäksi tarkoitus on tunnistaa teknisten ratkaisujen erot säädettävyyden ja energiatehokkuuden kannalta.

Ajoneuvojen lämmittämiseen on useita eri toteutustapoja, joista yleisin on polttomoottorin yhteydessä oleva lämmönvaihdin, joka hyödyntää moottorin hukkalämpöä sisään tulevan ilman lämmittämiseen. Tämän lisäksi on käytössä erillisiä lisälämmittämiä, jotka voivat olla polttoaine- tai sähkökäyttöisiä. Jäähdytys taas perustuu yleisimmin nesteen höyrystymiseen, joka sitoo lämpöä ja sitoutunut lämpö siirretään toisessa paikassa takaisin ulkoilmaan. Yleisin kylmäaine on R-134a.

Jäähdytyksessä tarvitaan kompressoria, joka yleensä ottaa käyttövoimansa ajoneuvon moottorista hihnapyörästön välityksellä. Kylmäkuljetuksissa on erillinen kompressori erillisellä diesel-moottorilla. Erityisesti hybridiajoneuvoissa kompressorin muuttaminen sähkökäyttöiseksi tuo suuria etuja, koska silloin jäähdytystä varten ei tarvitse pitää polttomoottoria käynnissä. Vastaavasti raskasta kalustoa käytetään paljon tyhjäkäynnillä mukavuustason ylläpitämiseksi. Sähkökäyttöisen kompressorin pyörimisnopeus on lisäksi riippumaton moottorin pyörimisnopeudesta, joten sen koko ja komponentit voidaan valita paremmalla hyötysuhteella toimiviksi. Myös kompressorin säätö helpottuu ja magneettikytkimen tarve poistuu. Kompressori voi kuluttaa jopa 80 % ilmastoinnin käyttämiseen tarvittavasta energiasta, joten sen ominaisuuksilla on huomattava vaikutus polttoaineenkulutukseen perinteisissä ajoneuvoissa ja erityisesti hybridi-, sähkö- sekä polttokennoajoneuvoissa.

Kylmäaineen valinnalla voidaan vaikuttaa järjestelmän hyötysuhteeseen, mutta ympäristön kannalta pitää ottaa huomioon myös sen suorat päästöt aineen vuotamisen yhteydessä. Hybridi- ja sähköajoneuvoissa pitää myös akkuja ja sähkömoottoria jäähdyttää, mikä tuo oman lisän lämpöenergianhallintaan. Esimerkiksi Li-ion – akkujen jäähdytys tulee integroida osaksi ilmastointijärjestelmää; perinteinen jäähdytystapa ei riitä.

Ilmanjakeluun pitää myös kiinnittää huomiota, erityisesti linja-autoissa ja kuormatilojen jäähdytyksen yhteydessä. Niissä tasainen jakautuminen edellyttää laitteiston hajauttamista useaan eri paikkaan. Kuormatiloissa usein ilmansyöttö tapahtuu ajoneuvon päältä ja jäähdytysyksikön tuulettimia käytetään lämpötilasäädellyn ilman kierrättämiseen ajoneuvon sisällä. Ilman syöttö- ja paluupuolen ollessa samalla puolella ajoneuvoa tasaisen lämpötilajakauman saavuttaminen koko kuorman välillä on haasteellista, jolloin tarvitaan suurempaa ilman virtausta.

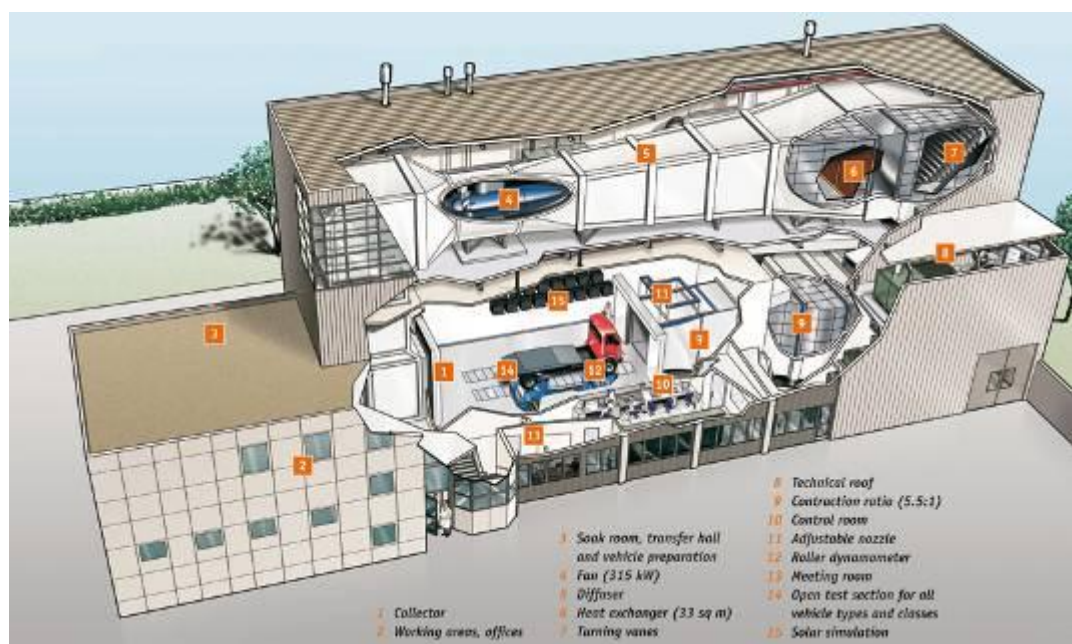
Myös ajoneuvon konstruktio vaikuttaa lämmitys- ja jäähdytystarpeeseen. Erityisesti lasien ja ilmanvaihtojärjestelmän kautta tapahtuva lämmönsiirto sen sijaan on huomattavaa. Myös matkustajien määrä vaikuttaa järjestelmän kuormaan erityisesti linja-autoissa, joissa ihmismassan tuoma lämpökuorma on huomattavan suuri.



Ajoneuvon ilmastointijärjestelmä on monimutkainen järjestelmä ja sen yksittäisten osien toiminta vaikuttaa läheisesti koko järjestelmän suorituskykyyn. Optimaalinen ja turvallinen toiminta jatkuvasti muuttuvissa olosuhteissa vaatii järjestelmän tarkan säädön mahdollistavia komponentteja. Säätö perustuu suurelta osin erilaisten antureiden ja toimilaitteiden käyttöön ja järjestelmän automaatioasteesta sekä toteutustavasta riippuen säädössä hyödynnetään eriasteista informaatiota. Manuaalinen ilmastointijärjestelmä ei kykene pitämään ajoneuvon matkustamon lämpötilaa vakiona, koska järjestelmä ei pysty reagoimaan matkustamon muuttuviin olosuhteisiin. Tämä tuo haasteita erityisesti linja-autoissa, joissa kuljettaja joutuu säätämään matkustamon lämpötilaa pelkän arvion perusteella. Lisäksi on olemassa puoliautomaattisia järjestelmiä. Automaattinen järjestelmä pyrkii pitämään halutun lämpötilan kaikkialla matkustamossa. Lisäksi monialueilmastoinnin avulla matkustamon eri osissa voidaan ylläpitää erilaisia olosuhteita.

Ajoneuvojen tyyppihyväksyntätestissä mitataan hiilidioksidipäästöjä, mutta testi jättää kuitenkin nykyisessä muodossaan huomioimatta useat päästöjen lähteet, kuten ilmastointilaitteet sekä lisälämmittimet. Tästä syystä Euroopan komissio on teettänyt tutkimustyötä, jonka tarkoituksena on ollut selvittää lämmitys- ja ilmastointijärjestelmän vaikutus kevyiden ajoneuvojen polttoaineenkulutukseen ja hiilidioksidipäästöihin sekä löytää luotettava menetelmä päästöjen ja kulutuksen mittaamiseksi. Tavoitteena olisi sisällyttää ilmastoinnin ja lisälämmittimen lisäkulutuksen mittaamenetelmä tyyppihyväksyntätestiin, jolloin myös niiden aiheuttama epäsuora vaikutus päästöihin tulisi huomioiduksi.

Ilmastointijärjestelmän polttoaineenkulutukseen vaikuttaa huomattava määrä sekä ajoneuvon sisäisiä että ulkoisia tekijöitä, mikä vaikeuttaa kulutuksen mittaamista. Mittausykleinä käytetään henkilöautoille Yhdysvalloissa SC03-sykliä ja Euroopassa NEDC-sykliä. Raskaan kaluston ilmastoinnin kulutuksen määrittämiseen ei ole standardoitua ajosykliä. Lisäksi mittaushuoneen pitää olla erikseen ilmastoinnin mittausta varten rakennettu, jotta muuttuvat olosuhteet saadaan osaksi mittausta. Esimerkki tällaisesta tutkimustilasta on esitetty kuvassa 5.



*Kuva 5: Tuulitunneli jossa mahdollista simuloida vaihtelevaa lämpötilaa.[1]*

Ilmastoinnin polttoaineenkulutusta henkilöautoissa on tutkittu paljon. Erilaisten mittausmenetelmien ja oletusten takia erilaisia tuloksia on kuitenkin lähes yhtä paljon kuin tutkimustahoja. Näin ollen yksiselitteisen yhteenvedon tekeminen niistä on mahdotonta. Hyötyajoneuvojen ilmastoinnin kulutusta koskevien tutkimusten löytäminen osoittautui työtä tehdessä erittäin vaikeaksi. Asia ei ole mahdollisesti raskaan kaluston puolella vielä tähän mennessä ollut sellainen, että siihen olisi kiinnitetty julkisissa lähteissä laajemmin huomiota. Haasteena on mahdollinen tiedon olemattomuus tai luottamuksellisuus. Tiedon puute ei kuitenkaan tarkoita, että se olisi tarpeetonta tai merkityksetöntä, vaan se voi olla osoitus siitä, että tietoa ei ole vielä tarvittu. Tulevaisuudessa asia tulee olemaan varmasti toisin.

Diplomityössä on esitetty tuloksia, jotka havainnollistavat polttoaineenkulutuksen kannalta merkittäviä järjestelmäkohtaisia eroja sekä polttoaineenkulutukseen vaikuttavia tekijöitä. Kaikkia tuloksia ei pystytä esittämään tässä yhteydessä. Vakioilavuuksisella kompressorilla varustettu manuaalinen ilmastointijärjestelmä voi lisätä ajoneuvon polttoaineenkulutusta jopa 2,5-kertaisesti verrattuna kehittyneempään ilmastointijärjestelmään. Normaalisissa henkilöautossa ilmastoinnin aiheuttama kulutuslisä voi olla jopa 20 %.

Hybridiajoneuvoissa ilmastoinnin suhteellinen polttoaineenkulutus on huomattavan suuri. Kuten Taulukon 1 esittämät tulokset osoittavat, voi ilmastointi kuluttaa polttoainetta jopa enemmän kuin ajoneuvon liikuttaminen. Esimerkiksi Toyota Prius II:n ilmastoinnin polttoaineenkulutus kaupunkisyklissä 35 °C ulkolämpötilassa oli ko. tutkimuksessa 3,8 l/100km. Ajoneuvon polttoaineenkulutus ilman ilmastointia oli samoissa olosuhteissa 2,6 l/100 km.

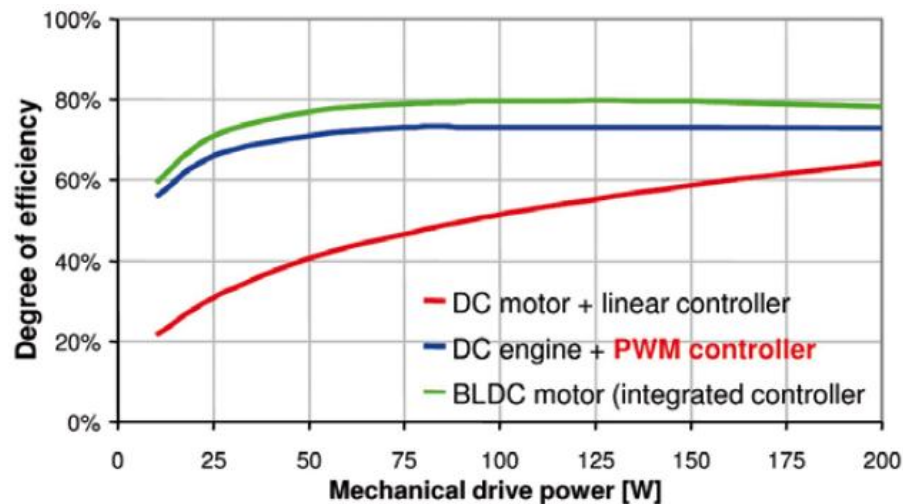
*Taulukko 1: Ilmastoinnin aiheuttama polttoaineenkulutus 35 °C (l/100km) [2]*

Vehicle	MAXI COLD 35°C			Controlled Temperature 35°C		
	ECE	EUDC	NEDC	ECE	EUDC	NEDC
Veh6	3.3	0.7	0.8	2.1	0.0	0.8
Veh7	4.6	1.5	1.9	2.5	0.5	1.3
Veh8	3.9	1.1	1.6	3.7	1.1	2.1
<b>New Prius</b>	<b>3.8</b>	<b>1.0</b>	<b>2.0</b>	<b>1.8</b>	<b>0.7</b>	<b>1.0</b>

Raskaan kaluston ilmastointilaitteen polttoaineenkulutusta voidaan suuntaantavasti arvioida kompressorin ottotehojen avulla. Esimerkiksi kaupunkilinja-auton kohdalla tarkasteltavana ajosyklinä voidaan käyttää Braunschweig-sykliä, joka kuvaa kaupunkilinja-autolle tyypillistä ajotapahtumaa. Ilmastointilaitte nostaa polttoaineenkulutusta 18 kW:n keskimääräisellä kompressorin teholla arvioituna 47 % ja sen osuus kulutuksesta on 32 %. Linja-auton polttoaineenkulutuksen arvioitiin olevan ilman ilmastointia 44 l/100km, ja ilmastoinnin kanssa kulutukseksi saatiin noin 65 l/100km eli ilmastoinnin polttoaineenkulutus on noin 21 l/100km.



Esimerkiksi käyttämällä harjatonta moottoria ja PWM-säädintä puhaltimen ohjauksessa, virrankulutusta voidaan pienentää huomattavasti (kuva 6). Tällöin Keski-Euroopan olosuhteissa ilmastointijärjestelmän polttoaineenkulutus laskee arviolta 10 % verrattuna järjestelmään, jossa on käytetty lineaarisäädintä ja harjallista moottoria.



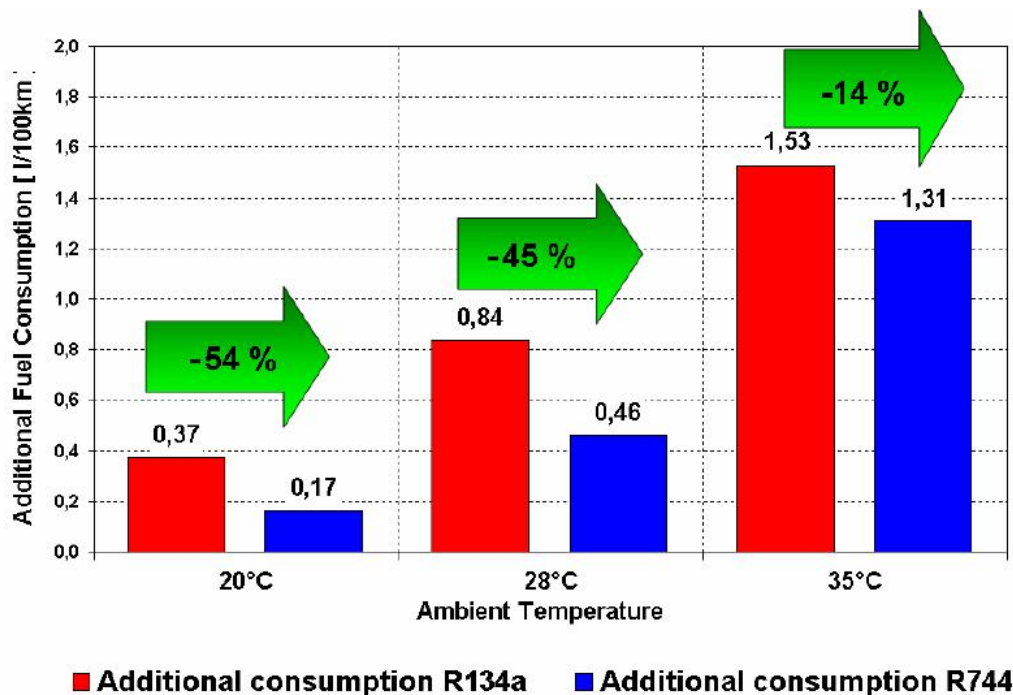
Kuva 6: Puhaltimen ohjauksen ja moottorin vaikutus sähkötehon kulutukseen [3]

Raskaan kaluston puolella ajoneuvotyypistä riippuen kuormatilan jäähdytyslaitteiston keskimääräinen polttoaineenkulutus on 15 – 25 % ajoneuvon moottorin polttoaineenkulutuksesta. Lisäksi kaupunkikuljetuksissa polttoaineenkulutus on keskimäärin 16 % korkeampi verrattuna pitkän matkan kuljetuksiin johtuen muun muassa toistuvista ovien avauksista.

Vain ajoneuvon toimintaympäristön jatkuvasti huomioivalla dynaamisesti ja älykkäästi ohjatulla järjestelmällä, jonka suunnittelussa on lisäksi huomioitu toimintaan koko järjestelmätasolla vaikuttavat tekijät, on mahdollista saavuttaa optimaalinen järjestelmän tehokkuus muuttuvissa toimintaolosuhteissa. Ilmastointijärjestelmän tehokkuutta voidaan lisätä parantamalla sen yksittäisten komponenttien toimintaa optimoimalla niiden painehäviöitä ja tehokkuutta, mutta parhaaseen suorituskykyyn päästään vain, kun järjestelmää käsitellään kokonaisuutena. Järjestelmän järkevällä ohjauksella sekä lämpökuorman, virrankulutuksen ja kompressorin ottotehon pienentämisellä matkustamoa voidaan lämmittää tai jäähdyttää vain niin paljon ja usein, kun on riittävän matkustamon mukavuustason ja turvallisuuden kannalta välttämätöntä. Myös esim. eristyksellä ja lämpöä heijastavilla materiaaleilla voidaan pienentää lämpökuormaa ja jäähdytyksen tarvetta.

Taukotuuletuksella matkustamoon saadaan jatkuvasti raikasta ilmaa ja sisälämpötilaa voidaan laskea kesäolosuhteissa jopa 50 % verrattuna ajoneuvoon, jossa taukotuuletuksista ei ole käytetty. Taukotuuletuksessa voidaan hyödyntää aurinkoenergiaa ajoneuvojen kattoluukun tai koko katon yhteyteen asennettavien aurinkokennojen avulla. Vastaavasti raskaalla kalustolla on tekniikoita, joilla voidaan vähentää vain ilmanvaihdon takia tarvittua tyhjäkäyntiä. Lisäksi on olemassa joukko vaihtoehtoisia järjestelmiä liittyen mm. kylmäaineeseen, jäähdytysmenetelmiin, lämmönvaihtimiin ja kuormatilojen jäähdytykseen.

Esimerkiksi käyttämällä hiilidioksidia kylmäaineena (R744) voidaan saavuttaa polttoaineen säästöä (kuva 7). Lisää näitä on tarkasteltu lähemmin diplomityössä.



Kuva 7: Ilmastoinnin kulutus VW Touran TDI 1,9 (Tulko: 20 °C / 28 °C / 35 °C) [4]

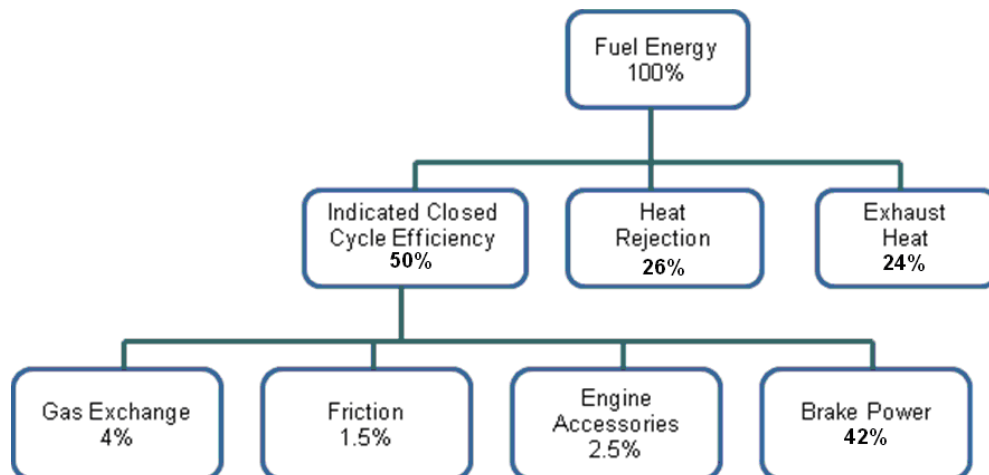
- Behr Climatic Wind Tunnel. [Viitattu 30.5.2010]. Saatavissa: [http://www.climatic-wind-tunnel.com/internet/cms\\_kwk\\_eng.nsf](http://www.climatic-wind-tunnel.com/internet/cms_kwk_eng.nsf)
- Khoury, G., Clodic, D. (2005). Method of Test and Measurements of Fuel Consumption Due to Air Conditioning Operation on the New Prius Ii Hybrid Vehicle. [Viitattu 31.5.2010]. Saatavissa: <http://www.sae.org/technical/papers/2005-01-2049>
- Kemle, A., Manski, R., Weinbrenner, M. (2009). Enhancement of Energy Efficiency in Air-conditioning Systems. [Viitattu 30.5.2010]. Saatavissa: <http://www.atzonline.com/index.php;do=show/site=a4e/sid=15649132544c02471dd7f83656197275/alloc=3/id=10190>
- Graz, M. (2009). Investigation on Additional Fuel Consumption for a R134a and R744 AC – System in a VW Touran. [Viitattu 30.5.2010]. Saatavissa: [http://www.vda-wintermeeting.de/fileadmin/downloads/presentations/OBRIST\\_M%20Graz\\_VDA%20Winter%20Meeting%202009.pdf](http://www.vda-wintermeeting.de/fileadmin/downloads/presentations/OBRIST_M%20Graz_VDA%20Winter%20Meeting%202009.pdf)

### 3.3.3 Auxliary power needs

Erillisraportti: Matti Juhala, Johannes Kankare, Mikko Laamanen: Katsaus ajoneuvojen oheisjärjestelmien energiankulutukseen ja –tuottamiseen, 2010

Alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen tätä osatehtävää ei tehty diplomityönä, vaan tutkijatyönä Aalto-yliopiston henkilökunnan toimesta.

Työssä selvitettiin kolmea energian kannalta olennaista osaa ajoneuvoista – energiaa kuluttavia järjestelmiä, energiaa tuottavia järjestelmiä sekä pakokaasujen lämpöenergian hyödyntämistä. Kuvassa 8 on esitetty nykyaikaisen raskaan ajoneuvon moottorin energiatase. Lukuarvot ovat kuormituksen ym. vaikutuksesta johtuen vain suuntaa antavia, mutta niiden perusteella voidaan päätellä, minkälaisia mahdollisuuksia hyötysuhteen parantamiselle voisi löytyä. Merkittävimmät häviökohteet on jäähdytys ja pakokaasut. Näiden energian talteenotto voisi tuoda merkittävää parannusta.



Kuva 8: Nykyaikaisen raskaan ajoneuvon moottorin energiatase

Moottorin toiminnan kannalta tarpeellisten apulaitteiden optimointi voisi myös tarjota parannusmahdollisuuksia häviöiden edustaessa noin 2,5 % osuutta ajoneuvon kokonaisenergiankulutuksesta. Erityisesti apulaitteiden toiminnan sähköistäminen ja säätöominaisuuksien parantaminen on viimeaikoina ollut tutkimuksen kohteena.

Sähkökäyttöön siirtyminen vaikuttaa kahdella tavalla. Ensimmäkin on huomattava, että tällaisissa tapauksissa moottorista syntyvän mekaanisen energian muuntaminen sähköiseksi ja jälleen mekaaniseen tai hydrauliseen muotoon aiheuttaa muunnoshäviöitä. Tunnetustihan hammasvälityksen hyötysuhde on varsin korkea. Toisaalta sähköinen järjestelmä tarjoaa merkittävästi paremmat säätömahdollisuudet, erityisesti mahdollisuuden laitteen lepuuttamiseen energiaa kuluttamatta silloin, kun käyttötarvetta ei ole. Sovelluksesta riippuen näin saatava säästö voi olla hyvinkin huomattava.

Sähköinen voimansiirto mahdollistaa myös laitteiden, kuten jäähdytys- tai tuuletuspuhaltimien nopeuden säätämisen moottorin pyörintänopeudesta riippumattomalla tavalla. Näin jäähdytystehoa voidaan säätää syntyvän jäähdytystarpeen perusteella. Apulaitteiden käytön sähköistämisestä saatavat

hyödyt korostuvat hybridiajoneuvojen yhteydessä. Sähköistyksen merkitys on suurempi, kun ajoneuvoa käytetään vaihtelevissa olosuhteissa joihin sisältyy myös merkittäviä joutokäyntijaksoja.

On arvioitu, että hybridiajoneuvoissa moottorin apulaitteiden sähkökäytöllä voitaisiin saavuttaa noin 3...5 % suuruinen säästö energian kulutuksessa. Eräässä tutkimuksessa 2 eri ajosykillä todettiin apulaitteiden energiankulutukseksi 4,7...7,3 %. Tämä antaa käsityksen apulaitteiden uudelleen suunnittelun avulla mahdollisesti saavutettavasta energiansäästöstä. Käytännössähän ainoastaan osa tästä kulutuksesta voidaan säästää.

Lämmönhallinnalla voi olla merkittävä vaikutus energiankulutukseen, päästöihin, luotettavuuteen ja turvallisuuteen. Hybridi- ja polttokennoajoneuvojen arvioidaan entisestään kasvattavan jäädytystarvetta. HVAC-järjestelmien osalta yllä on tiivistys Mikko Laamasen diplomityöstä (kts. julkaisu yllä).

Mekaanisista apulaitteista, joista löytyy sähköisiä sovelluksia, tai joita voidaan tulevaisuudessa sähköistää, ovat mm. öljypumppu, ohjaustehostin, paineilman tuotto, alipaineen tuotto ja venttiilinohjaus. Sähköntarpeen lisääntymisen ja käynnistys/pysäytys toimintojen myötä perinteisestä käynnistimestä ollaan enenevässä määrin luopumassa. Se voidaan korvata järjestelyllä, jossa sama moottori toimii sekä käynnistimenä että generaattorina.

Viime aikoina polttokennot ovat saaneet varsin paljon julkisuutta. Hyvistä laboratorioissa saaduista tutkimustuloksista huolimatta järjestelmien kaupallistaminen on kohdannut monia ongelmia. Polttokennojen käyttökohteet ovatkin muuttuneet niin, että niiden käyttö apuvoimanlähteenä on noussut vahvemmin mielenkiinnon kohteeksi. Tällöin vältytään liikkumiskäyttöön liittyviltä suurilta kuormanvaihteluilta ja käynnistyminenkin voidaan tehdä hitaammin.

Pyrkimys joutokäynnin vähentämiseen on johtanut myös perinteiseen diesel- tai ottomoottoriin perustuvien järjestelmien käyttöön. Tässä tarkoituksessa myös Wankel-moottori on varteenotettava vaihtoehto. Varsin uusi tulokas APU-järjestelmänä on pieneen kaasuturbiiniin perustuva generaattori. Niiden ajoneuvosovellukset ovat vielä kokeiluja. Pääasiallisena käyttökohteena ovat hajautetun lämmön ja sähkön tuoton sovellukset. Niiden arvioidaan kuitenkin yleistyvän myös hybridiajoneuvojen toimintasäteen laajennussovelluksissa.

Energiamuodonmuutoksiin liittyy aina enemmän tai vähemmän häviöitä. Ajoneuvoissa nämä häviöt ilmenevät yleensä lämpönä. Tunnettuahan on, että esimerkiksi polttomoottorin energiasta suurin osa häviää pakokaasujen ja jäähdytysjärjestelmän kautta. Parhaimmillaan polttomoottorin hyötysuhde voi olla jopa yli 50 %, mutta käytännössä hyötysuhde kevyellä kuormituksella toimittaessa on vain muutamia prosentteja. Tästä johtuu mielenkiinto pakokaasujen ja jäähdytysjärjestelmän sisältämän energian hyödyntämiseen.

Hybriditeknologian myötä tarve moottorin lämmön lyhytaikaiseen varastointiin on noussut uudestaan esille. Hybridijärjestelmille on ominaista, että polttomoottori sammutetaan usein varsin lyhyeksi ajaksi joko sähköllä ajettaessa tai liikennetilanteen aiheuttaman seisahduksen ajaksi. Tällöin moottorin uudelleen käynnistämisen varmistaminen ja päästöjen hallitseminen hyötyisivät lämpöenergian lyhytaikaisesta varastoinnista. Raportissa on käyty läpi eri työprosesseja ja niiden eroavaisuuksia.

Käytettäessä mekaanista tehoturbiinia ahdettu moottori sinällään säilyy muuttumattomana. Pakojärjestelmään lisätään imuilmaa ahtavan turbiinin jälkeen toinen turbiini, joka hyödyntää pakokaasuissa jäljellä olevaa energiaa. Turbiini on hammasvälityksellä kytketty auton voimansiirtoakselille. Kirjallisuudesta löytyvät tiedot tehoturbiinin tuottamasta energiankulutuksen pienenemisestä vaihtelevat suuruusluokassa 2,5 - 5 %. Ricardon arvion hyöty jää luokkaan 1,5%. Mekaanisen tehoturbiinin kustannus on suuruusluokkaa 5 - 10 % voimansiirron kokonaiskustannuksesta. Sähköinen tehoturbiini muistuttaa mekaanista tehoturbiinia lukuun ottamatta sitä, että turbiini käyttää sähköä tuottavaa generaattoria. Järjestelmällä väitetään saavutettavan jopa 10 % energiasäästöä. Ricardon arvion mukaan todelliset säästöt olisivat luokkaa 3 %. Sähköisen tehoturbiinin kustannuksista Ricardo arvioi niiden olevan suuruusluokkaa 22 - 42 % voimansiirron kustannuksista. Tämä johtuu osittain pakokaasupäästöjen säätelyn monimutkaistumisesta.

Pakokaasujen jäännösenergiasta suuri osa on lämpöenergian muodossa. Tämä on kohdistanut tutkijoiden mielenkiinnon erilaisiin termosähköisiin ratkaisuihin, joilla pyritään tuottamaan sähköenergiaa suoraan lämmöstä.

Ricardo arvioi Seebeck-ilmiöön perustuvien termosähköisten muuntimien energiansäästömahdollisuudeksi 2 %. Järjestelmät ovat edelleen tutkimuksen alkuvaiheessa ja niiden menestyminen riippuu voimakkaasti materiaalien kehittymisestä. Seebeck-ilmiön lisäksi tutkimuksen kohteena ovat Litium-hybridikennot, lämpö-valosähköinen ilmiö (termal emitter + valokenno) ja terminen tunnelointi / lämpöioninen emissio. Autovalmistajista ainakin BMW ja Volkswagen ovat kehittäneet Seebeck-ilmiöön perustuvia termosähköisiä muuntimia pakokaasujen energian talteen ottamiseksi. BMW:n prototyypin kerrotaan tuottavan 200 W ja Volkswagenin 600 W moottoritieajossa. BMW on arvellut, että ensimmäiset laitteella varustetut ajoneuvot saattaisivat tulla markkinoille vuonna 2014. Paitsi lämpöenergian talteenottoa, lämpösähköisiä ilmiöitä ja stirling-prosessia voidaan hyödyntää myös vaikkapa lämmityksessä ja jäähdytyksessä. Esimerkkinä termosähköinen lämpöpumppu penkinjäähdytyksessä.

Energiankäytön kannalta kehittynyt säätötekniikka tarjoaa mahdollisuuksia energiankulutuksen ja tehon optimointiin. Tällä alueella kehitystyö on vasta aluillaan vaikka markkinoilta löytyy jo sovelluksia, joissa energiaa säännöstellään kokonaisuutta silmälläpitäen. Alkuvaiheen järjestelmät olivat yksinkertaisia. Niissä moottorin kuormittuessa tilapäisesti tavanomaista enemmän pienennettiin hetkellisesti sähköistä kuormaa kytkemällä vaikkapa penkin tai takalasin lämmitys pois toiminnasta.

Hybridiajoneuvojen myötä ja sähköisen kuormituksen lisääntyessä järjestelmien merkitys on kasvanut. Energiavirtojen hallinta ja säätely tarjoaa merkittäviä mahdollisuuksia, mutta toisaalta järjestelmien, olosuhteiden ja käyttötapojen kompleksisuus asettaa suuria haasteita energianhallintajärjestelmien suunnittelulle. Erityisesti silloin, kun pyritään säätämään samanaikaisesti mekaanista-, kemiallista-, sähköistä- ja lämpöenergiaa.

Tehdyn selvityksen mukaan on nähtävissä, että tutkimusaktiiviteetti oheisjärjestelmien energian kulutuksen ja tuoton alueella on kasvanut. Monia tuotteita ja ratkaisuja on jo kaupallisesti saatavilla, vaikkakin niiden kehitystyö jatkuu.

Erityinen mielenkiinto kohdistuu hukkalämmön toisaalta vähentämiseen hyötysuhteita parantamalla ja toisaalta hyödyntämiseen lämmityksen ohella myös erilaisissa toisiojärjestelmissä.

Arvioiden mukaan näiden järjestelmien kehittäminen tarjoa useiden kymmenien prosenttien säästöpotentiaalin, vaikkakin järjestelmien monimutkaistumisen myötä kohoavat valmistus ja huoltokustannukset syövät osan saavutettavista hyödyistä.

### 3.3.4 Vuosi 2011 suunnitelmat

Huhtikuun alussa aloittaa uusi diplomityöntekijä aiheenaan Linja-autokaluston optimointi ja kohdennus, työn valmistumisaikataulu on lokakuun lopussa. Lisäksi yksi tutkimusaihe tehdään tutkijatyönä diplomityön sijaan.

## 3.4 Rengastutkimus

Aikaisemmissa VTT:n tutkimuksissa keskityttiin renkaiden energiankulutuksen selvittämiseen, jättäen kannattavuuden arvioinnin muilta osin liikennöitsijän tehtäväksi. HDENIQ-hankkeen renkaiden vaikutusten arviointia on laajennettu ottamaan huomioon myös renkaiden kulumisen ja turvallisuus. Energiankulutus määritellään alustadynamometri ja maantiemittauksilla, kun taas kestävyyttä arvioidaan liikennöitsijöiden ja rengasvalmistajan kanssa yhteistyössä toteutettavien kenttätestien kautta. Turvallisuutta lähestytään liukkaan kelin testien (Nokian Renkaat) ja automaattisen liukkaudentunnistusmenetelmän keinoin.

Renkaiden kenttätutkimus käynnistettiin vuoden 2010 loppupuolella määrittelemällä vertailtavien rengastyypin vaikutus energiankulutukseen raskaalla alustadynamometrillä. Itse kenttätesteissä tutkitaan renkaiden kulumista ja vetopito-ominaisuuksia raskaassa kuorma-autokalustossa sekä renkaan kulumista kaupunkibusseissa. Seurannan lopussa renkaiden suorituskyky tullaan tutkimaan uudelleen ja tehdään havaintoja kulumisen vaikutuksesta kulutukseen ottaen huomioon vedon alainen muodonmuutostyo.

Energiankulutus-, kestävyys- ja logistiikkatekijöiden huomioimista päätettiin kehittää web-pohjainen rengaslaskuri, jonka avulla rengasvaihtoehtoja voidaan arvioida joko VTT:n mittausten tai itse syötettyjen lähtöarvojen perusteella. Rengasdataan perustuva rengaslaskuri tullaan julkaisemaan verkkoversiona VTT:n web-sivustolla, ja se linkitetään myös TransEco web-portaaliin. Laskuri antaa käyttäjälleen mahdollisuuden arvioida parasta rengasvaihtoehtoa perustuen renkaan kulutustulokseen sekä käyttäjän määrittelemään hintaan ja km-kestoon.

Tutkimuksessa arvioidaan myös renkaiden virhetilanteiden (esim. epätasapaino, ilmanpaine) merkitystä ajoneuvon energian kulutukseen.

### 3.4.1 Renkaiden alustadynamometrimittaukset ja kenttäkokeet

Renkasiin vaikuttavien virhetilanteiden vaikutusta renkaiden rullausvastukseen määriteltiin raskaalla alustadynamometrillä suoritetuissa testeissä. Tutkittavia parametreja olivat rengaspaine ja renkaiden epätasapaino. Tutkimusvälineenä

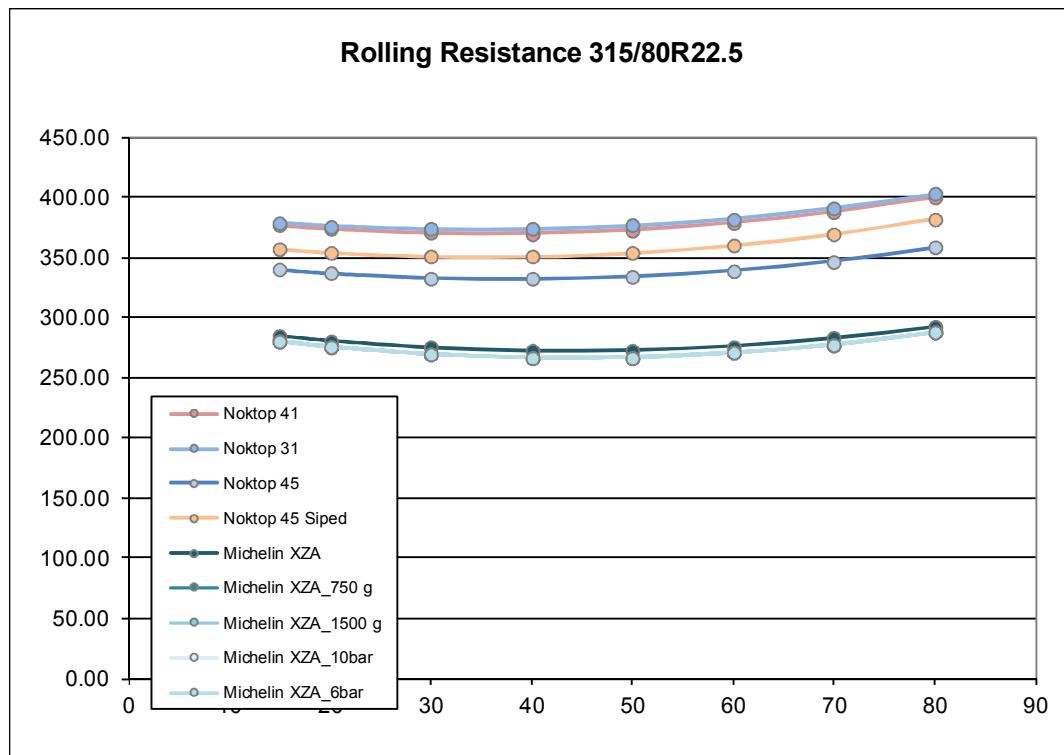


käytettiin dolly-vaunun akselia. Saman tutkimuksen yhteydessä määriteltiin rullausvastusarvot kenttätesteissä käytettäville kuorma-auton renkaille.

Kuvan 9 esittämistä tuloksista voidaan nähdä raskaan kaluston renkaiden herkkyyden renkaissa esiintyville virhetilanteille. Huomataan, ettei paineen vaihtelu renkaissa (6 – 10 Bar) tai epätasapainotilanne (0 - 1500 g) aiheuta merkittävää muutosta akselin vastusvoimassa.

Tulokset ovat mielenkiintoisia, koska ne poikkeavat kuljetusalan toimijoiden odotusarvoista. Tulosten pohjalta voidaan todeta, että renkaan perusominaisuudet, kuten rakenne ja kuviointi ovat määrääviä tekijöitä renkaan suorituskykyyn. Renkaan virhetilanteet eivät kuitenkaan ole merkityksettömiä, koska niiden vaikutus renkaan elinikään, mukavuustekijöihin ja turvallisuuteen ovat näkökohtia, joita tämä tutkimus ei huomioi.

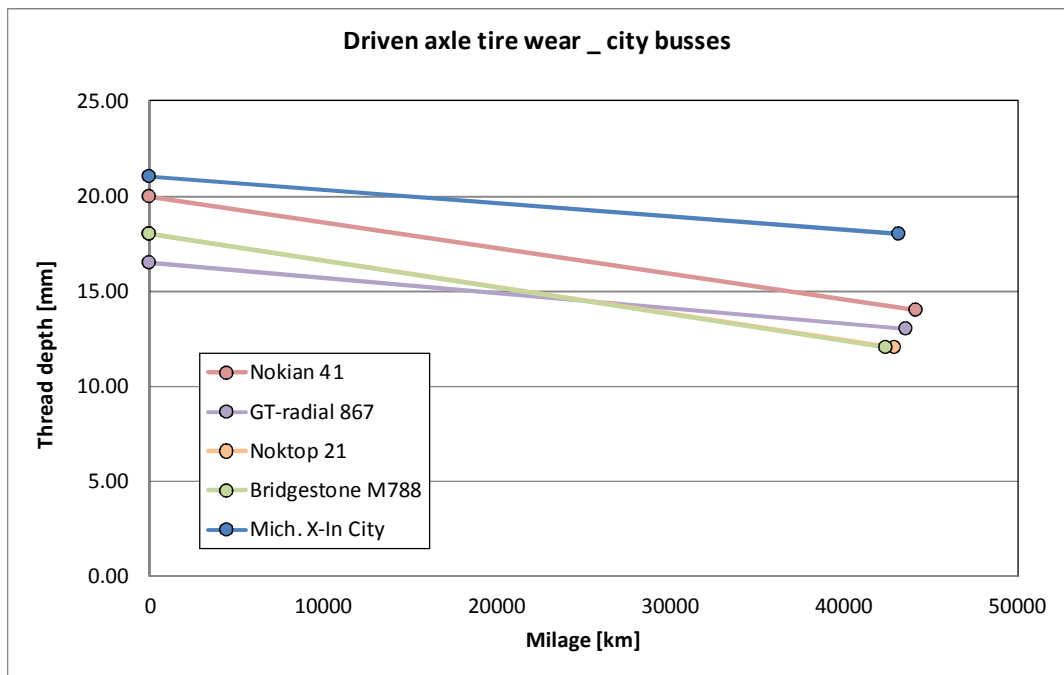
Renkaan virhetilanteiden tutkimusta jatketaan alustadynamometrillä tulosten tarkentamiseksi.



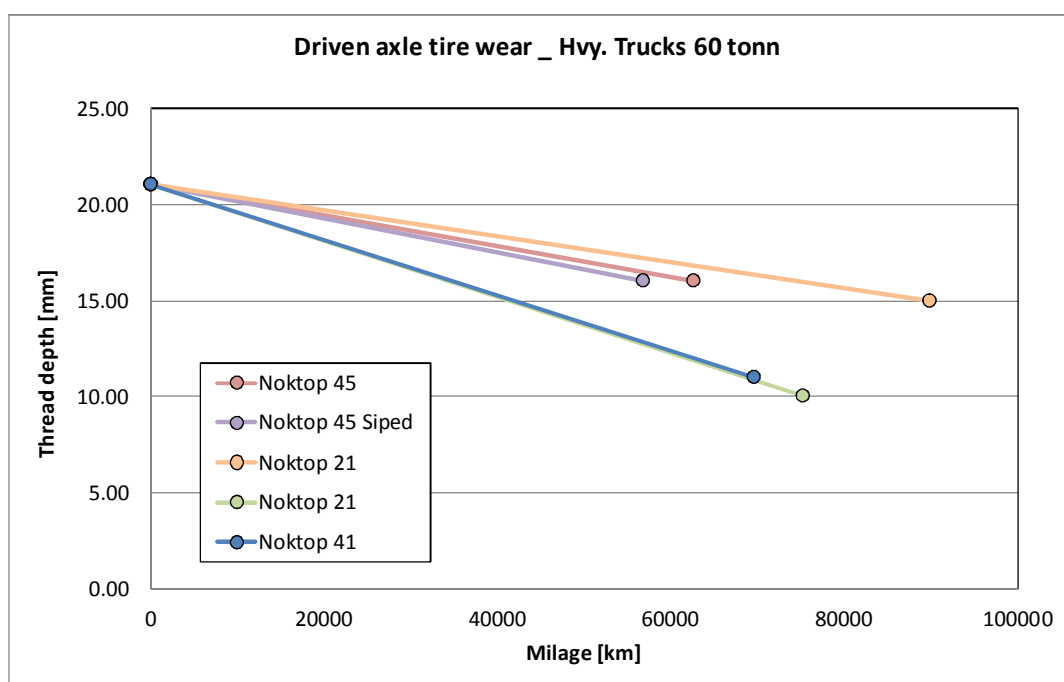
Kuva 9: Rullausvastuskokeiden tulokset eri rengastuksilla ja virhetilanteilla

Kenttätesteissä viisi eri rengastuksilla varustettua, Transpoint Oy:n runkolinjaa ajavaa raskasta autoa instrumentoitiin tiedonkeruulaitteilla. Ajoneuvot suorittavat normaaleja työtehtäviä, joiden yhteydessä liukkauden tunnistusta sekä renkaan kulumista seurataan. Tiedonkeruulaitteistoissa ilmenneiden ongelmien takia on vielä epävarmaa, kuinka paljon käyttökelpoista liukkauden tunnistustietoa on saatu kuluneen talven 2010 ajalta kerättyä. Ongelmiin on etsitty korjauksia ja laitetoimittajan mukaan ratkaisu on löydetty, joten talven 2011 datan odotetaan olevan merkittävästi laadukkaampaa.

Renkaiden kulumisen seuranta on tehty raskaiden kuorma-autojen ja kaupunkibussien osalta. Renkaiden kulumista tarkkaillaan renkaan urasyvyyden muutoksena kertyneiden kilometrisuoritteiden suhteen. Kuva 10 esittää eri rengastusten kulumisprofieileja kaupunkibussikalustossa ja Kuva 11 raskaassa kuorma-autokalustossa. Tutkimuksen lopussa renkaiden vierinvastusominaisuudet ja vaikutus kulutukseen ajosykliässä tullaan mittaamaan. Tästä syntynyttä tietoa voidaan käyttää erityyppisten renkaiden suorituskyvyn arvioimiseen käyttöiän aikana.



Kuva 10: Renkaiden kulumisprofieilit kaupunkibussikalustossa



Kuva 11: Renkaiden kulumisprofieilit raskaassa kuorma-autokalustossa



Renkaiden kulumisnopeus eri ajoneuvotyyppien välillä on hyvin samankaltainen. Sen sijaan voidaan huomata merkittäviä eroja renkaiden kulumisnopeudessa eri renkaiden välillä samassakin ajoneuvoluokassa. Ilmiötä ei kuitenkaan voida tulosten perusteella sitoa pelkästään renkaan ominaisuuteen, sillä esim. kuorma-autojen tapauksessa havaitaan kahden identtisen rengastuksen kuluvan eri nopeudella. Syy tähän ei siis liity suoranaisesti ajoneuvoon tai renkaaseen, vaan voi johtua mm. kuljettajan ajotavasta tai ajoreittien eroavaisuuksista esim. tien päällysteen ja pinnan karheuden suhteen.

### 3.4.2 Renkaiden tasapainotuksen ja paineen vaikutuksista energiankulutukseen ja liikenneturvallisuuteen

Diplomityö: Timo Naskali: Renkaiden epätasapainon, ilmanpaineen ja muotovirheiden vaikutus raskaan kaluston energiankulutukseen, 2010

Tämän diplomityön tavoitteena oli selvittää millaisia vaikutuksia renkaan epätasapainolla, ilmanpaineella ja muotovirheillä on raskaan kaluston energiankulutukseen. Samalla tarkasteltiin millaisia muita vaikutuksia kyseisillä renkaiden ominaisuuksilla on niin ajoneuvon kuin ympäristönkin kannalta. Asioita on tarkasteltu myös kustannusten ja kannattavuuden näkökulmasta.

Työn perustana on suurelta osin kirjallisuustutkimus kyseisistä asioista. Varsinaisia suoria tutkimuksia ei epätasapainon vaikutuksista energiankulutukseen löytynyt. Löydettyjen lähteiden perusteella keskeisten aiheiden ympärillä on markkinoilla monia erilaisia ratkaisuja, joten aiheeseen liittyvää mainosmateriaalia tulee helposti vastaan. Kuitenkaan mainosväitteiden perustoiksi ei löytynyt merkittäviä selvitys- tai tutkimustuloksia.

Epätasapainon syynä on vanne tai rengas, mutta yleensä niitä tarkastellaan kokonaisuutena, pyöränä. Staattisessa epätasapainossa massa on epätasapainossa renkaan keskilinjalla ja se voidaan tasapainottaa vastapuolelle asennettavalla painolla. Dynaamisessa epätasapainossa epätasapaino on muualla kuin pyörän keskilinjalla ja painot pitää asetella ristikkäin eri puolille vannetta. Sallittu raja on 2000gcm (2000g epätasapaino 1cm etäisyydellä pyörintäakselin keskikohdasta). Liika valmistustarkkuus kuitenkin nostaa kustannuksia, koska elastisena materiaalina kumista on vaikea tehdä "täydellistä" rengasta. Lisäksi renkaiisiin voi jäädä asennuksen yhteydessä muotovirhettä ja uriin jää käytön aikana kiviä. Myös vanteisiin tulee epätasapainoa hitsausaumoista, venttiileistä ja liasta. Tasapainotus voidaan tehdä kiinteillä painoilla, irtokehällä tai irtomateriaalilla.

Suurimpia epätasapainon haittoja ovat virheellinen kuluminen, matkustusmukavuuden lasku ja ratin tärinä. Epätasapainolla ei juurikaan ole vaikutusta vierinvastukseen, kulutuksen nousuun tai alustarakenteiden heikkenemiseen. Esimerkiksi 250 g epätasapaino 52 cm säteellä 80 km/h nopeudessa aiheuttaa simuloinneissa kulutuslisän 0,000229 l/100 km.

Rengaspaine on kompromissi eri ajotilanteiden välillä. Suuri paine nostaa rengasmelua ja tien kulumista, mutta pienentää vierinvastusta kovalla pinnalla. Vastaavasti matalammalla paineella saadaan suurempi tiekosketuksen pinta-ala ja pienempi vierinvastus pehmeällä pinnalla. Vyörenkailla paine ei vaikuta normaaliin kulumiseen, mutta kylläkin muihin ominaisuuksiin, kuten käyttöikään, epätasaiseen kulumiseen tai runkorakenteen vaurioitumiseen. Yleisesti raja rungon vaurioitumiselle on 20 % painevajaus. Lisäksi rengaspaineella on vaikutus

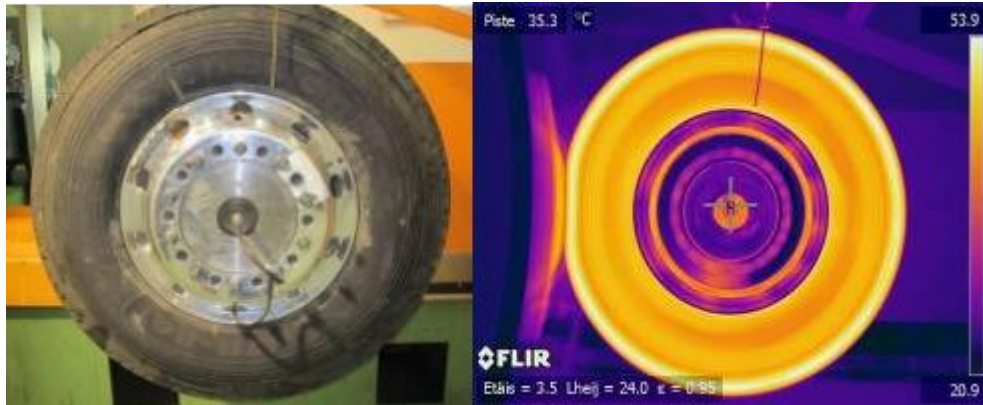
liikenneturvallisuuteen. Rengaspaineen merkitys on tiedostettu, mutta eräässä tutkimuksessa todettiin 20 %:ssa renkaista olevan suosituspaineesta poikkeava rengaspaine, yleensä vajaapaineen suuntaan. Suhteellisesti eniten vajaapaineisia oli paripyörissä, joissa painevajaus on vaikea havaita. Haastattelun perusteella rengaspaineita arvioitiin yleensä vain silmämääräisesti.

Kulutuslisän prosentuaalinen kasvu lisääntyy nopeuden noustessa. Erään tutkimuksen mukaan 3 bar paine-ero suosituspaineen läheisyydessä kasvattaa kulutusta jopa 2 %, mikä 60 tonnin yhdistelmässä tarkoittaisi ~3 l/100 km, jos kaikki renkaat olisivat vajaapaineisia. Jo 10 % vajaapaine lisää kulutusta 0,5-0,75 % ja 20 % vajaapaine 1-1,75 %. Siten jo yhdenkin renkaan 15 % vajaapaine lisää kulutusta 0,2 %, joka tarkoittaa 40 l/100km kulutuksella 0,08 l/100km.

Muotovirheitä voi syntyä renkaan ja vanteen valmistusprosessin aikana. Käytön aikana syntyvät muotovirheet luetaan yleensä kulumavirheiksi. Teräsvanteen mittatarkkuus heikkenee jännitysten poistumien ja pysyvien muodonmuutosten myötä, esim. säteisheitto siirtyy renkaaseen. Tämän vaikutusta voidaan pienentää asentamalla renkaan matalin kohta vanteen korkeimmalle kohdalle. Muotovirheen vaikutus on pitkälti sama kuin epätasapainossa. Ainoa suurempi ero on, että muotovirhe voi aiheuttaa iskunvaimentimen männänvarren kulumista ja muotovirhettä ei saa pois tasapainottamalla. Suurin sallittu säteisheiton "raja" premium-renkaissa on 1,5 mm etupyörillä ja 2 mm vetävillä pyörillä. Sivuttaisheitossa rajat ovat vastaavasti 2,0–2,2 mm ja 2,2–2,5 mm. Kulutuspuolelta muotovirhettä voi korjata hieman hiomalla, mutta muuten korjaaminen ei kannata.

Koottujen tulosten perusteella vaikuttaisi siltä, että renkaan epätasapainolla ei ole juurikaan vaikutusta energiankulutuksen kannalta. Muut ajoneuvon kulumista aiheuttavat vaikutukset jäävät myös melko pieniksi. Tulos johtuu suurelta osin siitä, että raskaassa kalustossa pyöränkuormat ovat niin suuria, ettei niihin aiheudu merkittävää vaihtelua epätasapainosta maantienopeuksillakaan. Tiehen aiheutuvat rasitukset kasvavat jonkin verran. Eniten vaikutusta on matkustusmukavuuteen ja ohjauspyörän värinöihin.

Löydettyjen tulosten perusteeksi on tehty vertailevia laskelmia, jotka tukevat tuloksia siitä, että epätasapainolla ei ole havaittavaa vaikutusta energiankulutuksen kannalta. Muotovirheistä aiheutuvat vaikutukset ovat paljolti epätasapainosta aiheutuvien kaltaisia, eikä useimmilla tavanomaista suuruusluokkaa olevilla virheillä ole kovinkaan suurta vaikutusta energiankulutukseen. Nokian Renkailla tehtiin epätasapainon ja säteisheiton vaikutuksia kartoittava mittaus (kts. kuva 12), jonka tulokset ovat samassa linjassa edellisten arvioiden kanssa epätasapainon vähäisestä vaikutuksesta energiankulutukseen. Sen sijaan matkustusmukavuuteen useimmat muotovirheet ja erityisesti pyörän säteisheitto vaikuttavat. Muotovirheistä ja epätasapainosta aiheutuu pitkällä aikavälillä renkaan nopeampaa ja epätasaisempaa kulumista, joka nostaa rengaskustannuksia.



*Kuva 12: Mitattava pyörä asennettuna mittauskoneeseen ja lämpökamerakuva mittauksen aikana*

## 4 Älykäs raskas ajoneuvo (VTT, OY)

### 4.1 Johdanto

HDENIQ-projektissa jatketaan RASTU-projektissa aloitettua kuljettajan ajotavan optimointiin liittyvää tutkimusta, sekä automaattisen liukkauden- ja kuormantunnistusmenetelmän kehittämistä.

Oulun Yliopisto osallistuu HDENIQ-hankeeseen rinnakkaisella RAMSES-hankkeella. Oulun Yliopistolla on kaksi päätehtävää; Älykkään raskaan ajoneuvon esiselvitys sekä automaattisen liukkauden- ja kuormantunnistusjärjestelmien algoritmikehitys (VTT tutkii järjestelmää kokonaisuutena). Toisen projektivuoden aikana tehtiin esiselvitys Informaatiojärjestelmien käytöstä bussi- ja kuorma-autorytysten toiminnan tehostamiseen erilaisin älykkäin autojärjestelmin.

Lisäksi saatettiin päätökseen ajoneuvotietokoneiden ja antureiden hankinta yhteistyössä VTT:n kanssa. Järjestelmän avulla ajoneuvoista on kerätty tietoa marraskuun 2010 loppupuolelta alkaen. Tiedonkeruujärjestelmän tuottama data on kokonaisuutena hyvälaatuista, mutta erot ajoneuvojen tuottamissa tiedoissa ovat suuria.

Projekti sisältää useita alatehtäviä, jotka sisältävät erilaisia tiedonkeruulaitteita. Tiedonkeruulaitteiden hyödyntämisen kautta saadaan tutkimus entistä paremmin kiinnitettyä ajoneuvojen todelliseen toimintaan ja käyttöön.

### 4.2 Ajo-opastin

#### 4.2.1 Tavoitteet ja tutkimuksen eteneminen

Ajo-opastimessa tavoitteena on tutkia mahdollisuuksia vaikuttaa kuljettajan ajosuoritukseen reaaliaikaisesti, huomioiden mm. aikataulussa pysyminen, liikenneturvallisuus ja energiankulutus. Päämääränä on polttoainetta säästävä, laadukas ja aikataulussa pysyvä ajo. Tähän päästään paljon pysähdyksiä sisältävässä kaupunkiajossa nopealla kiihdytyksellä ja mahdollisimman alhaisella vakionopeudella. Järjestelmä monitoroi ajoneuvon liikettä ja paikkaa, ja vertaa tietoja aikatauluun. Aikataulun ja kerättyjen tietojen perusteella lasketaan loppureitin tavoitenopeudet. Testeissä on havaittu 5-10 % säästöt polttoaineissa.

Ennen vuotta 2010 opastimen toimintaa ja vaikutuksia oli selvitetty ja ominaisuuksia kehitetty edelleen, mutta käyttäjärajapinta puuttui. Lisäksi ohjelmistoa oli kehitetty useassa eri paikassa ja erilaisilla työkaluilla: linjaohjeiden muodostukset LabView-ohjelmistolla, ajo-opastimen logiikka koodattu ajoneuvopäätteeseen laitesidonnaisesti, ja raportointi ja vertailujärjestelmä toteutettu Matlabilla.

Vuoden 2010 aikana kehitettiin ajo-opastinlaitteelle tausta- ja raportointijärjestelmä. Ohjelmistolla voidaan muodostaa ajo-opastimen tarvitsemat reittitiedostot erimuotoisten lähtötietojen perusteella ja analysoida

ajotapahtumia kuljettaja- ja ajoneuvokohtaisesti. Ohjelmisto on käynnissä AC-Sähköautot Oy:n hallinnoimalla palvelimella, ja liikennöitsijällä on pääsy sen käyttöliittymään web-selaimella. Käyttöliittymän kautta liikennöitsijä voi tarkastella kuljettaja- ja ajoneuvokohtaisia analyysituloksia ja yhteenvetoraportteja.

Jyväskylän Liikenteen autoihin asennettiin viisi ajo-opastinlaitetta lisää aikaisemman viiden lisäksi. Jyväskylän testireiteistä muodostettiin reittitiedostot ajo-opastinlaitteen taustaohjelmistolla, ja reittitiedot ladattiin opastinlaitteisiin. Tiedon keruu aloitettiin vuoden 2010 lopulla.

Vuonna 2010 aloitettiin myös yhteistyö EU Telefot-hankkeen kanssa [lisätietoja [www.telefot.eu](http://www.telefot.eu)]. Hankkeesta saadaan lisää tutkimustukea opastimen vaikutusten arviointiin, mm. asenteita ja kokemuksia luotaavien kuljettajien haastattelujen kautta.

#### 4.2.2 Ohjelmisto

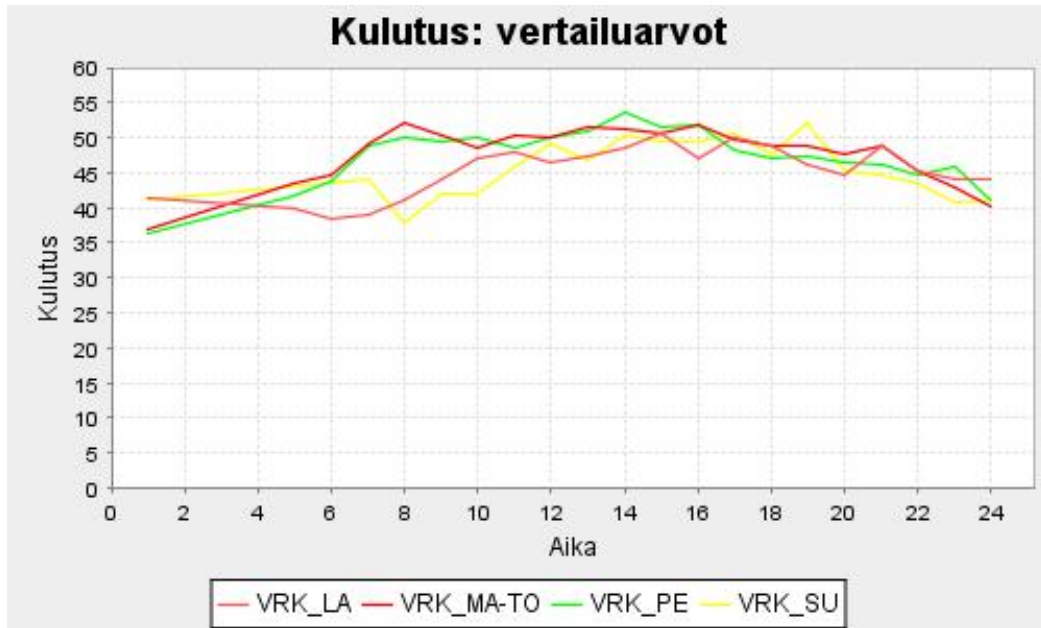
Ohjelmisto koostuu palvelinohjelmasta ja selainpohjaisesta käyttöliittymästä. Palvelinohjelma prosessoi automaattisesti jokaisessa ajossa syntyneen havaintodatan ja analysoi sen. Käyttöliittymässä voi selata analyysituloraportteja. Palvelinohjelma on toteutettu Java-kielellä. Selainpohjaisen käyttöliittymän toteutuksessa on käytetty JSP ja JavaScript -kieliä.

Ajo-opastin vaatii toimiakseen ennalta muodostetun reittikohtaisen ohjeistuksen. Palvelinohjelmisto kerää muista järjestelmistä saatavat tarpeelliset tiedot, kuten pysäkkikohtaiset aikataulut ja nopeusrajoitukset. Näistä tiedoista muodostetaan jokaiselle linjalle ja sen lähdöille tavoitteelliset paikkasidonaiset tavoitenopeudet. Jos kaikkea tietoa ei saada keräytyksi automaattisesti, reittiä voi tarkastella ja muokata myös käyttöliittymässä.

Ajo-opastinjärjestelmä toimii puolueettomana mittarina kuljettajien ajosuorituksien onnistumiselle. Ajoneuvoista kerätty tieto lähetetään palvelimelle. Jokaisesta tallennetusta ajotapahtumasta lasketaan tarkasteltavia suureita kuvaavat tunnusluvut. Tällä hetkellä järjestelmässä seurataan polttoaineen kulutusta, ylinopeutta ja aikataulussa pysymistä. Datasta poistetaan virheelliset tai keskenjääneet ajotapahtumat. Kaikki analysoidtavat ajotapahtumat tehdään yhteismitallisiksi poistamalla niistä erilaisista olosuhteista johtuva vaihtelu. Referenssikäyrät ovat keskimääräisiä profiileja, jotka kuvaavat näitä analysoidavien arvojen vaihtelua. Referenssiarvojen laskenta jakaantuu kahteen vaiheeseen: viikonpäivä- ja vuodenaikareferensseihin.

#### Viikonpäiväreferenssi

Ajotapahtumat jaetaan viikonpäivän mukaisiin joukkoihin ja kullekin joukolle määritetään suureen keskimääräinen arvo kellonajan funktiona. Tällöin voidaan huomioida esimerkiksi liikennemäärien vaihtelut vuorokauden aikana sekä eri viikonpäivien kesken, ja poistaa niiden vaikutukset kuljettajien ajosuorituksessa. Esimerkki viikonpäiväreferenssistä on esitetty Kuvassa 13.



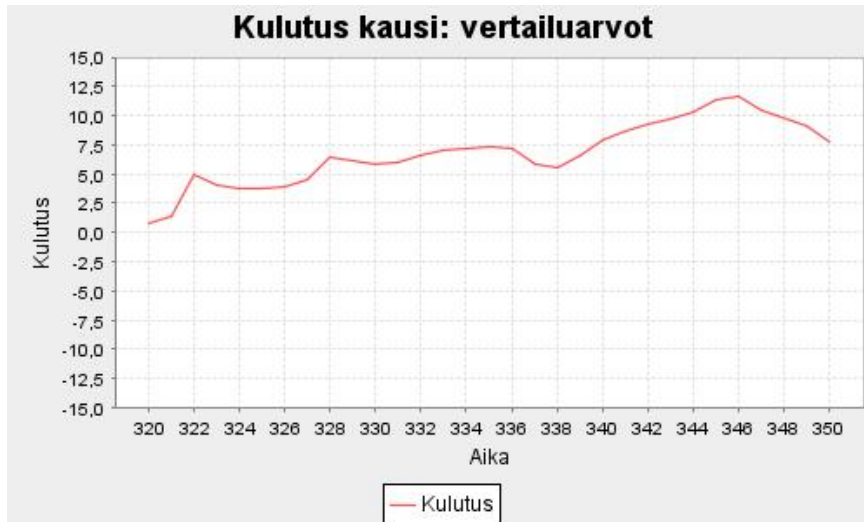
Kuva 13: Polttoainekulutuksen viikonpäiväreferenssi

### Vuodenaikareferenssi

Ajotapahtumat jaetaan eri päivämäärien mukaisiin joukkoihin. Jokaisen tarkasteltavan päivän ajotapahtumia kuvaavat suureet korjataan edellisessä kohdassa määrättyllä viikonpäiväreferenssillä. Tämän jälkeen tarkasteltavalle suurelle voidaan määrittää jokaiselle päivälle keskimääräinen arvo tarkastelujakson aikana. Suureen päiväkohtaista trendiä muokataan liukuvalla keskiarvolla sileämmän trendin aikaansaamiseksi. Vuodenaikareferenssi huomio esimerkiksi sääolosuhteiden muutokset, talvilaatuisen polttoaineen käytön, rengastuksen muutoksen jne. Vuodenaikareferenssit muodostetaan erikseen kaikille ajoneuvoille ja kuljettajille, jotta erilaisten ajotyylien vaikutus saadaan poistettua ajoneuvoja vertailtaessa, ja erilaisten ajoneuvojen vaikutus kuljettajia vertailtaessa. Kuvassa 14 on esitetty vuodenaikareferenssikäyrä.

Referenssien määrittämisen jälkeen kaikille tarkasteltaville suureille on vertailuarvo, joka huomioi ajoneuvon, kuljettajan, viikonpäivän, vuorokaudenajan sekä pidemmän aikavälin trendin vaikutuksen. Näin ajotapahtumia voidaan verrata referenssiarvoihin, jolloin tarkasteltavien suureiden poikkeama referenssiarvosta kuvaa kuljettajan ajosuoritusta tai ajoneuvon ominaisuuksia puolueettomasti.



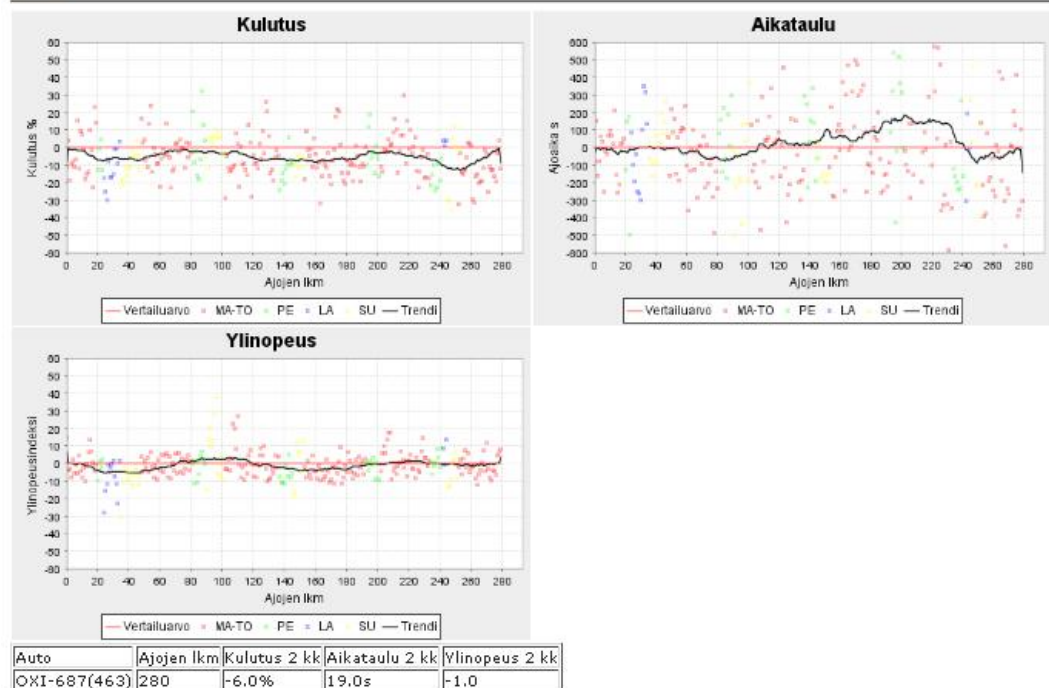


Kuva 14: Polttoaineenkulutuksen vuodenaikareferenssi

Analyysin tulokset esitetään käyttöliittymässä kuljettaja- ja ajoneuvokohtaisesti. Lisäksi sekä kuljettajista että ajoneuvoista on saatavilla keskiarvosuorituksia kuvaava yhteenvetotaulukko. Myös referenssikäyriä voi tarkastella käyttöliittymässä. Kuva 15 on esimerkki analyysiraportista.

#### Analyysi

Kuljettaja  Auto  Vertailu  
 Valitse kuljettaja:  
  
 TAI  
 Valitse auto:  
  
 TAI  
 Valitse tyyppi:



Kuva 15: Ajoneuvoraportti

### 4.3 Automaattinen liukkaudentunnistus

Automaattista liukkaudentunnistusta tutkitaan kolmella eri laitekannalla, aikaisemmasta RASTU-projektista vapautuneilla TechnoSmart päätelaitteilla, AC-Sähköautojen laitteilla ja EC-Toolsin VR Transpointille toimittamilla laitteilla.

TechnoSmart-päätelaitteiden tavoite on selvittää automaattisen liukkaudentunnistuksen soveltuvuus renkaiden suorituskyvyn arviointiin todellisissa ajo-olosuhteissa. AC-Sähköautojen laitteilla kerätään huomattavan suuri määrä tietoa auton toiminnasta, mukaan lukien koko ajoneuvon CAN-väyläliikenne ja runsas joukko olosuhdetietoja, joita käytetään Oulun Yliopistossa menetelmien kehittämiseen ja apulaitteiden energiankulutus- ja olosuhdetutkimukseen. EC-Toolsin toimittamilla laitteilla (Aplicom) tutkitaan liukkaudentunnistusjärjestelmän soveltuvuutta yksinkertaisempaan laiteympäristöön (erillinen TULI-hanke) ja kehitetään taustajärjestelmää.

Vuonna 2010 toteutettiin Aplicom-laitteen kanssa yhteensopiva Liukkaudentunnistus-ohjelmamoduuli yhteistyössä EC-Tools Oy:n kanssa. Ohjelma laskee liukkausindeksiä kuorma-auton CAN-väylästä luettavien tietojen perusteella. Liukkausindeksi ja lähtötiedot sekä havaintopaikan koordinaatit lähetetään eteenpäin Aplicom-laitteesta. Lisäksi alettiin toteuttaa palvelinohjelmistoa, joka kerää ja varastoi liukkaustiedon, lähettää tarvittaessa liukkaustietoa ja -varoituksia takaisin autoille, sekä visualisoi liukkaat tieosuudet karttakäyttöliittymään.

### 4.4 Älykkään raskaan ajoneuvon esiselvitys

Toisen projektivuoden aikana tehtiin esiselvitys Informaatiojärjestelmien käytöstä bussi- ja kuorma-autoyritysten toiminnan tehostamiseen erilaisiin älykkäisiin autojärjestelmiin. Esiselvitys pohjautuu projektissa aiemmin tehtyyn selvitykseen ”Älykäs linja-auto”, joka käsitteli mm. ICT-arkkitehtuureja, telematiikkaa sekä valmiita tuotteita ja niiden hyödyntämistä älykkäällä tavalla linja-autoliikenteessä.

Nyt tehdyssä esiselvityksessä keskityttiin raskaiden ajoneuvojen tutkimuksellisiin kysymyksiin painottaen algoritmien ideointia ja kehitystarpeita. Käsiteltäviä aihealueita olivat energiatehokkuus ja sen parantaminen, turvallisuus, liukkaus ja muut sääolosuhteet, menetelmien suorituskyky ja algoritmien kompleksisuus.

Energiatehokkuuden mittaamisesta tarkasteltiin kirjallisuudessa käytettyjen automaattisten mittareiden kautta. Näihin lukeutuvat perinteisen tonnikilometrin (tkm) lisäksi muun muassa:

- tkm / CO<sub>2</sub>, tonnikilometriä per päästetty hiilidioksidikilogramma,
- Evu (Efficiency of Vehicle Use), joka pelkän tonnikilometrimäärän lisäksi ottaa huomioon tyhjän auton ja kuorman massan,



- E (Efficiency) on Evu:sta edelleen johdettu tarkempi mittari, jossa parametreina käytetään lisäksi auton tyyppiä, kuljettajan toimintaa ja reittiä,
- OVE (Overall Vehicle Efficiency) mittaa ajoneuvon käytön tehokkuutta kuljettajan taukojen, kuormausajan, kuormausasteen, ajonopeuden ja kuljetuksen tason suhteen,
- OE (Overall Efficiency) mittaa kuljetuksen tehokkuutta aikatehokkuuden, reittitehokkuuden, ajonopeustehokkuuden ja kuljetuskapasiteetin käytön tehokkuuden avulla.

Tarkemmat mittarit edellyttävät tyhjän auton ja kuorman massan tuntemista, minkä vuoksi massan estimointi on tärkeää. Tarkin arvio saadaan mikäli kuormausaste (load factor) tunnetaan. Selvitystulosten pohjalta tarkasteltiin uusien tarkempien mittareiden kehitystarpeita.

Telematiikkapalveluiden osalta selvitettiin kuljettajille hyödyllisintä tietoa kuten onnettomuuspaikat, suljetut tiet ja kaistat, sää, ennustettu ajoaika kohteeseen sekä odotusajat terminaaleissa ja porteissa. Telematiikkapalvelut tehostavat aikataulusprosessia. Datan automaattinen käyttö on suuri haaste, sillä ajoneuvoja voidaan reitittää eri optimointikriteereillä. Reititysjärjestelmät ovat usein staattisia, mutta reaaliaikainen reitittäminen on tehokkaammin muutoksiin reagoiva. Eräitä olennaisia reititysparametreja ovat muun muassa sääolosuhteiden muutokset ja liikennetieto. Eräs haastava ongelma on telematiikan tietoturvan taso.

Tietoturva käsittelevässä esiselvityksen osiossa todettiin auton sisäisten järjestelmien tietoturvan olevan olematon. Eräänä esimerkkinä olkoon, että esimerkiksi sisäiset ECUn eivät todenna ja varmenna käskyjä. CAN-väylän protokollassa on useita tietoturvarajoitteita. Erilaisilla langattomilla verkoilla voidaan muodostaa yhteyksiä auton sisäisiin järjestelmiin. Joissakin uusissa autoissa tällaisia ulkopuolelta käskyjä ottavia verkkoja voi olla jopa enemmän kuin 5. On avoin kysymys, mitä voi tapahtua, jos jossain näistä on tietoturva-aukko. Esimerkiksi vuonna 2010 julkaistussa tutkimuksessa (Koscher et al.) on esitetty kysymys: Jos auton sisäiseen järjestelmään on päästy ulkopuolelta, niin mitä autolle voidaan käytännössä tehdä? Tutkimuksen mukaan tällöin voidaan esimerkiksi jättää huomiotta kuljettajan ohjausliikkeitä, jarruja voidaan kytkeä pois käytössä, voidaan laukaista lukkojarrutus tai yksittäisten renkaiden jarrutus, moottori voidaan sammuttaa jne.

Esiselvityksen älykästä navigaatiota käsittelevässä osassa perehdyttiin reitinoptimointiongelmaan (VRP). Koska ongelma on NP-vaikea, ei optimaalista ratkaisua pystytä löytämään nopeasti mikäli reittipisteitä paljon. Esiselvityksessä perehdyttiin ongelman eri variantteihin, kuten CVRP (Capacitated vehicle routing problem), stokastiset rajoitteet jne. Näiden ratkaisualgoritmeja ovat eksaktiin ratkaisuun ja approksimointiin käytävät algoritmit, joissa alalajeina ovat heuristiset ja metaheuristiset algoritmit. Selvityksessä kiinnitettiin huomiota menetelmien laskennalliseen kompleksisuuteen. Erityisesti tutkittiin energiatehokkuuteen vaikuttavien lisäparametrien syöttöä reitinoptimointialgoritmeille. Näistä sään vaikutus näkyi mm. viiveiden kasvuna ja matkustusajan varianssin muutoksina.

Säätietao on laajasti saatavilla telematiikan avulla. Selvityksessä tarkasteltiin mm. sitä, miten reitityksen energiatehokkuutta voidaan parantaa ottamalla tuuli huomioon. Myös tien laatu vaikuttaa mm. vierintävastukseen ja siten energiankulutukseen. Tämän lisäksi sää muokkaa tilannetta tuoden tien pinnalle esim. vettä, sohjoa, lunta tai jäätä. Nopeasti muuttuvien parametrien vaikutus reititykseen vaatii joko niiden mittaamisen suoraan tai estimoinnin erilaisten mittaustulosten avulla. Esimerkiksi liikenteen parametrien estimointiin on kehitetty useita menetelmiä.

Turvallisuuteen keskittyvässä osassa tarkastelua sää ja sen vaikutukset ovat luonnollisesti merkittäviä tekijöitä. Tuuli aiheuttaa heilahtelua ajoneuvoon. On olemassa reaktiivisia järjestelmiä, jotka aktiivisesti vaimentavat tätä liikettä. Vaaranpaikkojen tunnistaminen etukäteen ja niihin varautuminen mahdollistaisi kuitenkin ennakoivan toiminnan.

Renkaan kuntoa on aiemmin automaattisesti tarkkailtu usein lähinnä renkaan ilmanpaineen kautta paineantureilla, mutta se on mahdollista myös mm. kiihtyvyyssantureilla. Jousituksen parametrien mallinnus ja estimointi mahdollistaa anturivikojen, heikentyneen jousituksen ja renkaan kunnan tarkkaillun, mikä voidaan toteuttaa myös ajon aikana reaaliaikaisesti tapahtuvana varoitusjärjestelmänä.

Massa vaikuttaa suoraan useisiin auton käyttäytymistä sääteleviin parametreihin, joten se on tunnettava riittävällä tarkkuudella monia algoritmeja ja mittareita varten. Massan estimointiin on useita menetelmiä, joita ovat mm. jousitusdynamiikkaan perustuvat, lateraalidynamiikkaan perustuvat, pitkittäisdynamiikkaan perustuvat ja voimansiirtoon perustuvat menetelmät. Eri menetelmien fuusio nähtiin esiselvityksessä potentiaalisena tutkimusaiheena.

## 4.5 Ajoneuvon tiedonkeruujärjestelmän suunnittelu ja toteutus

Kevään 2010 aikana saatettiin ajoneuvotietokoneiden hankinnan kilpailutus päätökseen yhteistyössä VTT:n kanssa. Hankittuja ajoneuvotietokoneita (Kuva 16) asennettiin kesän/syksyn 2010 aikana. Joulukuussa saimme pääsyn laitetoimittajan toteuttamaan palvelimeen. Alihankintana toimitetusta järjestelmästä ja Oulun yliopiston kehittämästä järjestelmästä syntyy kokonaisuutena ajoneuvojen tiedonkeruujärjestelmä (kuva 17). Samat tiedonkeruulaitteet palvelevat kyseisen tehtävän lisäksi myös apulaitteiden energian kulutuksen tiedonkeruulaitteina.

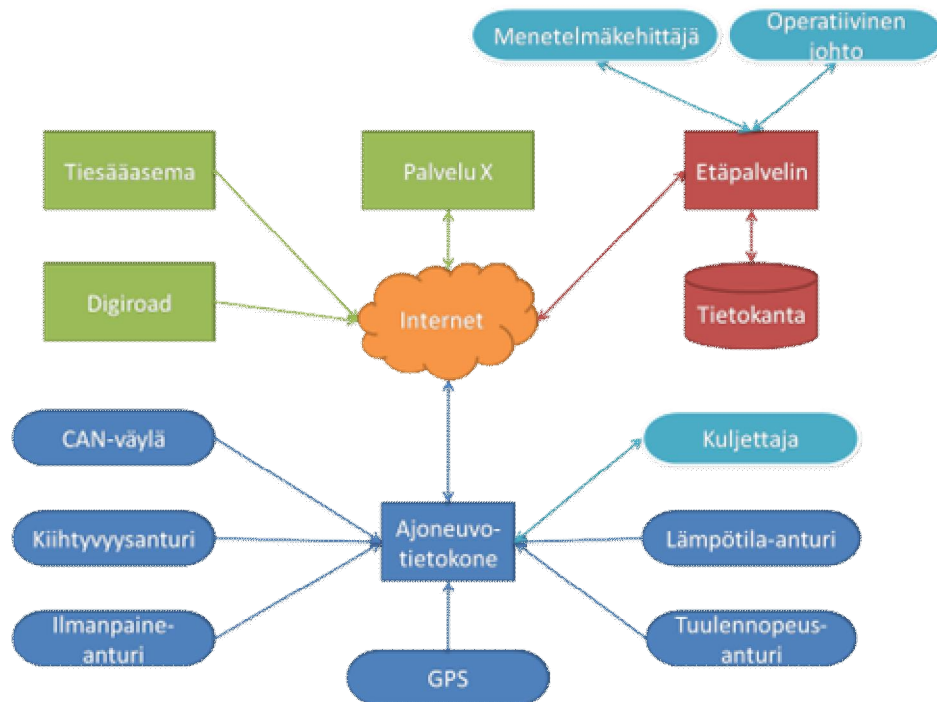


*Kuva 16: Ajoneuvotietokone ja sen käyttöliittymä*

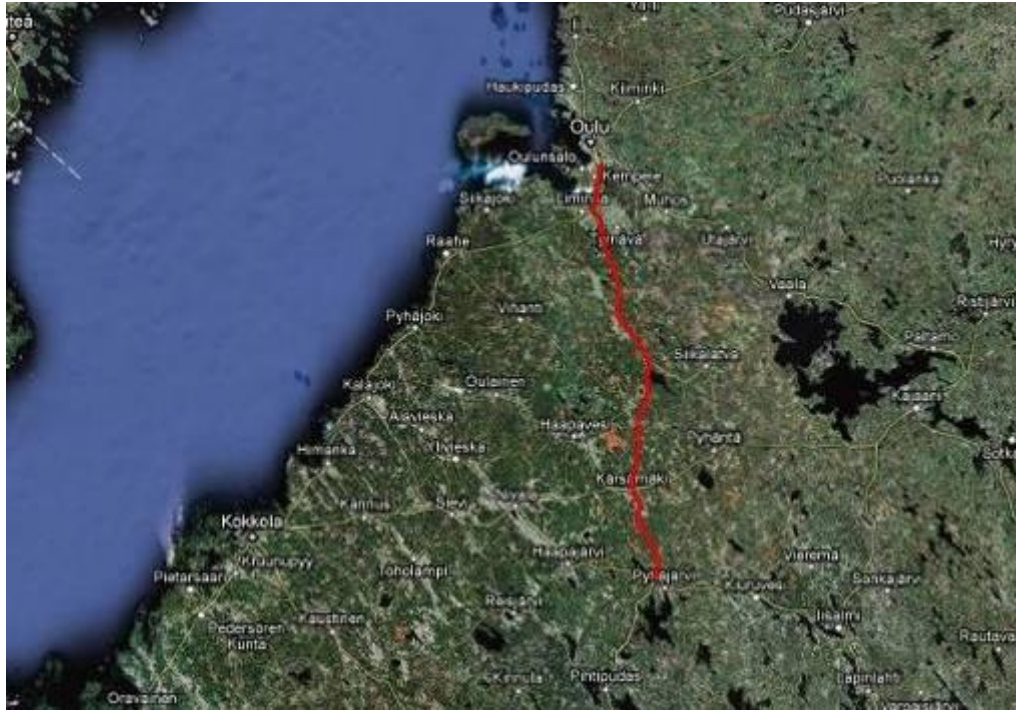
Ajoneuvoista kerättyä tietoa on saatu aina marraskuun 2010 loppupuolelta alkaen. Tietoa on saatu laajemmin vuoden 2011 alkupuolen aikana. Kevään 2011 aikana on yhteistyössä laitetoimittajan kanssa korjattu järjestelmässä ilmenneitä

alkuvaiheen puutteita. Lisäksi on selvitetty saatavien tietojen laajuutta ja autojen välisiä eroavaisuuksia.

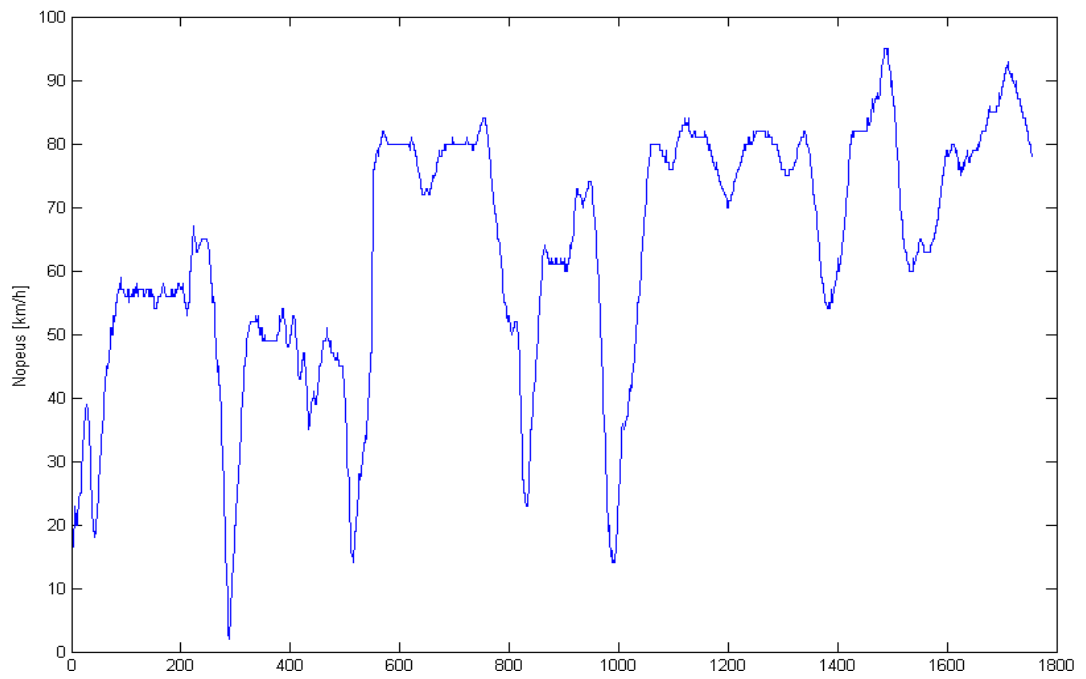
Tehtyjen tarkastelujen mukaan tiedonkeruujärjestelmän tuottama data on kokonaisuutena hyvälaatuista, mutta erot ajoneuvojen tuottamissa tiedoissa ovat suuria. Kuvassa 19 on esitetty käytännön tasolla erikseen suodattamattoman GPS-reittidatan laatua karttaprojisoin avulla. Vaikka mittakaava onkin suhteellisen pieni, voidaan havaita reitin säännöllisyys. Kuvassa 19 on esimerkki GPS-pohjaisesta nopeustiedosta.



Kuva 17: Havainnekuva ajoneuvojen tiedonkeruujärjestelmän rakenteesta



*Kuva 18: GPS-paikkatietoon pohjautuva ajoneuvon reittiesimerkki*



*Kuva 19: Esimerkki GPS-pohjaisesta nopeusdatasta*

## 5 Raskaiden ajoneuvojen todellinen suorituskyky (VTT)

Raskaiden ajoneuvojen käyttöikä on pitkä, tyypillisesti lähes 20 vuotta. Tästä syystä ajoneuvojen elinkaaren hallinta on merkityksellistä niin kustannuksien, päästöjen kuin energiankulutuksenkin kannalta. Osatehtävässä tutkitaan niin jo olemassa olevan kaluston kuin markkinoille tulevien uusien autotyyppien suorituskykyä, jälkiasennettavia pakokaasun puhdistuslaitteita ja muita vastaavia päivitysmahdollisuuksia.

Omassa osatehtävässään Turun AMK tutkii raskaan kaluston elinkaaren hallintaa ja toiminnallisuuden ylläpitoa (luku 6).

### 5.1 Bussit

#### 5.1.1 Seurantamittaukset

Vuonna 2010 kaupunkilinja-autojen seurantamittauksia suoritettiin yksinomaan EEV-päästötasoisille ajoneuvoille. Seurantamittauksissa käytetään Braunschweig-bussisykliä. Ajoneuvoja mitattiin yhteensä 6 kappaletta. Ne olivat Iveco Crossway ja Citelis, Volvo 8700 B7RLE, Scania K230, sekä kaksi MAN:in maakaasuversiota (CNG): stoikiometrinen, ahtamaton versio ja ahdettu sekajärjestelmää (lean-mix) käyttävä versio. Iveco Crossway (Kuva 20) otettiin uutena ajoneuvotyyppinä seurantaan sen yleistettyä pääkaupunkiseudun liikenteessä. Iveco käyttää SCR-katalysaattorin ja varsinaisen hiukkassuodattimen yhdistelmää (SCRT). Tarkempia tietoja ajoneuvoista on esitetty taulukossa 2.

*Taulukko 2. Vuonna 2010 mitattujen kaupunkilinja-autojen tietoja. \* stoikiometrinen seossuhde,\*\* kuormitusilanteen mukaan muuttuva LeanMix-seossuhde.*

Merkki	Malli	Vm.	Iskutilavuus	Jälkikäsitteily
Iveco	Crossway	2010	7.8	SCRT
Iveco	Citelis Line	2007	7.8	SCRT
Scania	K230 Scala	2008	9.3	EGR
Volvo	8700 B7RLE	2008	7.1	SCR
MAN	Lion's City (2-aks.)*	2005	11.9	TWC
MAN	Lion's City (3-aks.)**	2006	12.9	TWC

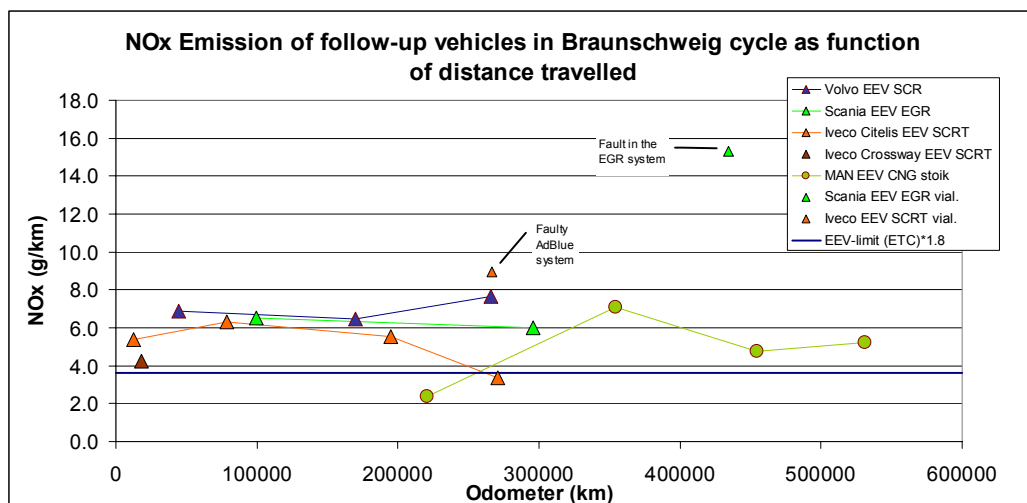
Neljästä mitatusta diesel-bussista molemmat Iveco-autot ja Volvo oli varustettu AdBlue-reagenssia käyttävällä NOx-päästöä vähentävällä SCR-puhdistimella (Selective Catalytic Reduction). Iveco-autot oli varustettu tämän lisäksi hiukkasloukkutyyppisellä CRT-partikkelisuodattimella (Continuously Regenerating Trap). Hiukkasloukku on integroitu SCR-järjestelmän kanssa samaan yksikköön. Scanian K230 taas on varustettu EGR-järjestelmällä (Exhaust Gas Recirculation) ja osittaisella, läpivirtaustyyppisellä hiukkaspuhdistimella.





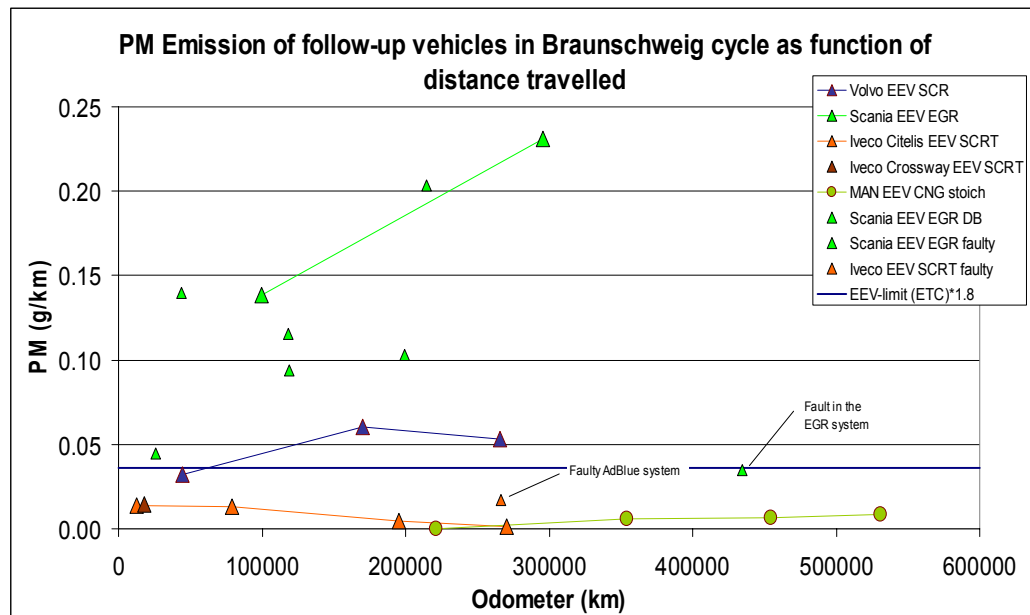
Kuva 20: Kaupunkibussi mittauksissa alustadynamometrilla (Iveco Crossway SCRT)

Kuva 21 esittää seuranta-ajoneuvojen NO<sub>x</sub> päästöjen kehittymistä ajomatkan funktiona. Seurannassa olleen maakaasubussin typenoksidipäästöissä on havaittu suurta vaihtelua. Selitys vaihteluun on ainakin osittain löydettävissä ajoneuvon huoltohistoriasta. Korkean mittaustuloksen jälkeen (n. 350.000 km) ajoneuvon vaihdettu useita komponentteja, mm. ohjausyksikkö ja sytytystulpat, jotka vaikuttavat moottorin toimintaan ja päästöihin.



Kuva 21. Seuranta-ajoneuvojen NO<sub>x</sub>-päästöjä Braunschweig syklissä

Kuva 22 esittää seuranta-ajoneuvojen hiukkaspäästöjen kehittymistä ajomatkan funktiona. Merkille pantavaa on EGR-tekniikalla varustetun Scanian partikkelipäästön kasvaminen nopeasti kilometrien karttuessa. Kuvassa on esitetty pienemmillä kolmioilla muiden Scania EEV –autojen mittaustuloksia. Scania poikkeavat siis selvästi muista autoista korkeiden hiukkaspäästöjensä takia. SCR-tekniikalla varustettujen ajoneuvojen partikkelipäästö pysyy kilometrikertymän mukaan huomattavasti vakaampana. Hiukkassuodattimilla varustettujen ja maakaasuautojen partikkelipäästöt ovat pysyneet erittäin matalina koko seurantajakson ajan.



Kuva 22: Seuranta-ajoneuvojen Braunschweig –syklissä mitattuja PM-päästöjä.

### 5.1.2 Kaupunkibussien päästötietokanta

VTT:lle on kertynyt merkittävä tietokanta päästömittauksista, joita on raskailla ajoneuvoilla suoritettu vuodesta 2002. Vuoden 2010 lopulla julkaistiin kuvaukset VTT:n menetelmistä kaupunkibussimittauksissa ja siihen perustuvat euroluokkaa ja merkkikohtaiset mittausten keskiarvotulokset. Tulokset julkaistiin raportissa *Kaupunkibussien päästötietokanta - Yhteenveto VTT:n menetelmistä ja mittauksista* (VTT-M-10542-10). Tulosten lisäksi raportissa kuvataan VTT:n raskaan kaluston dynamometrin mittausten menetelmiä erityisesti kaupunkibussien mittausten osalta. Raportti on vapaasti ladattavissa TransEco-hankkeen nettisivuilta osoitteesta: <http://www.transeco.fi/julkaisut/hdeniq-hanke>

Taulukoissa 3 ja 4 on esitetty eräitä tunnuslukuja tästä tietokannasta. Lukemisen helpottamiseksi ne on esitetty myös suuremmissa koossa liitteessä 2.

Syksyllä 2010 HSL toteutti pitkään suunnitellun päästöpisteitysuudistuksen, jossa kaupunkibussien päästöt arvotetaan ensimmäistä kertaa automerkki- ja mallikohtaisesti todellista ajoa vastaavien päästötulosten perusteella. Näin liikenteen tilaaja voi varmistaa puhtaammalle tekniikalle pisteiden kautta annetun kilpailuedun todelliset ympäristövaikutukset. Tietyvästi HSL on toiminnallaan tässä edelläkävijä jopa maailmalajuisesti.



### Taulukko 3. Euroluokka- ja polttoainekohtaiset keskiarvotulokset

Kaupunkibussien keskiarvotulokset kaksiakselisten ajovastuksilla, Braunschweig-syklissä, puolessa kuormassa

Päivitetty 27.12.2010

Braunschweig	Lukumäärä n	Ajomäärä Min	Max	CO g/km	HC g/km	CH <sub>4</sub> * g/km	NOx 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	2	555025	672700	1.39	0.32	0.00	15.59	0.436	1219	1219	38.6	16.4
Diesel Euro 2	13	160500	1125674	1.60	0.21	0.00	12.86	0.213	1258	1258	40.7	17.3
Diesel Euro 3	18	15934	692092	0.85	0.12	0.00	8.48	0.209	1191	1191	38.4	16.3
Diesel Euro 4	9	6105	474152	2.96	0.10	0.00	8.36	0.112	1184	1184	38.2	16.2
Diesel Euro 5***	-	-	-	2.96	0.10	0.00	7.20	0.091	1184	1184	38.2	16.2
Diesel EEV	14	12378	307502	0.90	0.02	0.00	6.03	0.071	1126	1126	36.4	15.5
CNG Euro 2	2	211000	672946	4.32	7.12	6.76	16.92	0.009	1128	1283	42.1	20.7
CNG Euro 3	2	37600	237189	0.05	2.64	2.51	9.44	0.019	1177	1237	43.7	21.5
CNG EEV	8	1824	454460	2.00	1.11	1.05	2.99	0.008	1250	1274	46.3	22.7

(ind.x) = yksilöin tunniste  
 \*Maakaasuautoille käytetty CH<sub>4</sub> = THC \* 0.95, dieselille CH<sub>4</sub> = 0  
 \*\* CO<sub>2</sub> ekv = CO<sub>2</sub> + 23 \* CH<sub>4</sub>  
 \*\*\* Euro 5 tulokset arvioitu Euro 4 tulosten perusteella

### Taulukko 4. Ajoneuvomerkki- ja euroluokkakohtaiset keskiarvotulokset

Kaupunkibussien keskiarvotulokset kaksiakselisten ajovastuksilla, Braunschweig-syklissä, puolessa kuormassa

Päivitetty 27.12.2010

Braunschweig	Lukumäärä n	Ajomäärä Min	Max	CO g/km	HC g/km	CH <sub>4</sub> * g/km	NOx g/km	PM g/km	CO <sub>2</sub> g/km	CO <sub>2</sub> ekv** g/km	Kulutus kg/100km	Kulutus MJ/km
Euro 2 Volvo	6	160500	1125674	1.16	0.14	0	12.3	0.157	1309	1309	42.5	18.1
Euro 2 MB (12l)	3	226723	484546	1.26	0.31	0	12.4	0.248	1221	1221	39.1	16.6
Euro 2 Scania	1	352440	352440	0.98	0.24	0	8.8	0.176	1268	1268	40.1	17.0
Euro 2 Renault	2	295840	489211	2.40	0.26	0	15.2	0.257	1101	1101	36.5	15.5
Euro 3 Volvo (7l)	5	22987	187313	1.31	0.02	0	8.8	0.308	1226	1226	39.4	16.7
Euro 3 Scania	9	15934	692092	0.60	0.17	0	8.3	0.154	1171	1171	37.8	16.1
Euro 3 CRT Scania	2	16630	391233	0.30	0.06	0	7.8	0.029	1216	1216	38.8	16.5
Euro 4 Volvo (7l)	2	6105	13525	6.71	0.02	0	11.4	0.083	1117	1117	35.4	15.0
Euro 4 Volvo (9l)	1	9779	9779	3.14	0.01	0	2.9	0.104	1256	1256	40.4	17.2
Euro 4 MB	1	10896	10896	1.41	0.04	0	2.6	0.058	1064	1064	35.8	15.2
Euro 4 Scania	5	101888	474152	1.78	0.14	0	8.3	0.134	1235	1235	39.8	16.9
EEV Iveco CRT	4	12378	195218	0.13	0.00	0	5.1	0.012	1078	1078	34.4	14.6
EEV Volvo	3	44619	169942	2.93	0.05	0	6.3	0.043	1087	1088	34.8	14.8
EEV Scania	7	24205	307502	0.47	0.02	0	6.4	0.117	1170	1170	38.2	16.2
Euro 2 CNG Volvo	1	211000	211000	2.87	8.96	9	17.6	0.007	1157	1345	43.2	21.2
Euro 2 CNG MB	1	672946	672946	5.76	5.27	5	16.3	0.011	1100	1221	40.9	20.1
Euro 3 CNG Volvo	2	37600	237189	0.05	2.64	3	9.4	0.019	1177	1237	43.7	21.5
EEV CNG MB	2	91340	138381	0.14	2.53	2	4.9	0.016	1586	1644	58.4	28.7
EEV CNG MAN (13l)	1	41972	41972	0.50	0.19	0	2.2	0.003	1300	1304	47.4	23.3
EEV CNG MAN (12l)	5	1824	454460	2.61	0.53	1	2.4	0.004	1156	1167	43.0	21.1
EEV CNG Iveco	1	4806	4806	2.62	1.17	1.1	2.2	0.008	1044	1071	38.3	18.8

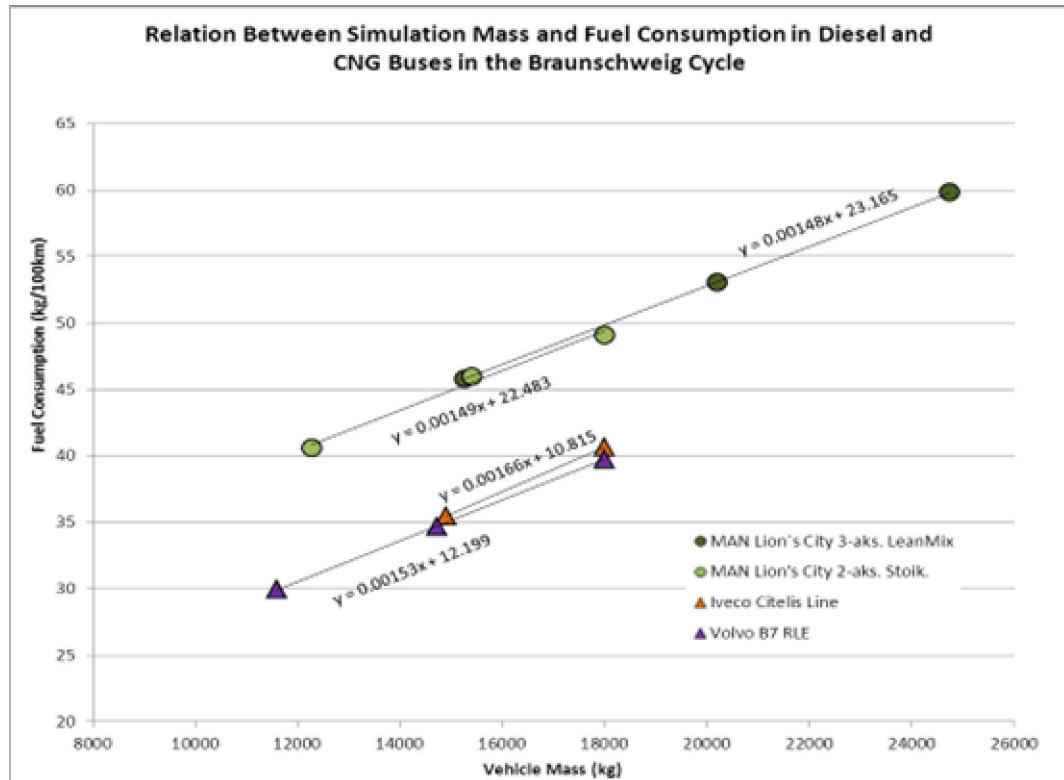
(ind.x) = yksilöin tunniste  
 \*Maakaasuautoille käytetty CH<sub>4</sub> = THC \* 0.95, dieselille CH<sub>4</sub> = 0  
 \*\* CO<sub>2</sub> ekv = CO<sub>2</sub> + 23 \* CH<sub>4</sub>

Seurantamittausten yhteydessä valituilla ajoneuvoilla suoritettiin puolikuormamittauksen lisäksi myös mittaukset kuormaamattomana ja täyskuormassa. Mittausten avulla voidaan arvioida kuorman vaikutusta polttoaineen kulutukseen. Iveco Crossway- ja Scania K230 Scala -autoilla ajettiin ainoastaan puolikuormamittaukset. Näiden ajoneuvojen osalta mittaukset eri kuormilla suoritetaan vuonna 2011.

Kuvassa 23 on esitetty eri kuormilla ajettujen bussien kulutustuloksia. Tulokset on esitetty yksikössä kg/100 km jotta ne olisivat vertailukelpoisia mukana olevien maakaasuajoneuvojen tulosten kanssa. Kuvassa näkyvien kulmakertoimien avulla on mahdollista määrittää polttoaineen kulutuksen kasvu ajoneuvon massayksikköä kohden, esimerkiksi l/100 km/tonni. Volvon kohdalla massan vaikutus kulutukseen on noin 1.8 l/100 km tonnia kohden. Ivecolla vaikutus on noin 2.0 l/100 km tonnia kohden. Ivecon tuloksen osalta on kuitenkin otettava huomioon, että mittapisteisiin sovitettu suora perustuu ainoastaan mittaukseen kahdella kuormalla.

Aiemmissa tutkimuksissa kuorman vaikutuksen kulutukseen on todettu olevan noin 2.1 l/100 km tonnia kohden. Moottoritekniikan kehittyminen ja valittujen autojen moottorien ominaisuudet vaikuttavat kuormariippuvuutta kuvaavaan kulmakertoimeen. CNG-busseilla kuorman vaikutus on noin 1.5 kg/100 km per tonni, diesel-ajoneuvoilla vastaavan lukeman ollessa noin 1.55 kg/100 km.

Kun kulutuksia tarkastellaan energian kulutuksena ja sen kasvuna (CNG 50 MJ/kg, Diesel 43 MJ/kg), tulos kääntyy dieselajoneuvon eduksi. Dieselbussin energian kulutus kasvaa noin 65 MJ/100km per tonni, kun vastaava lukema CNG-ajoneuvolla on 78 MJ/100km per tonni.



Kuva 23: Kuorman vaikutus kaupunkilinja-autojen polttoainekulutukseen Braunschweig-syklissä

## 5.2 Kuorma-autot

### 5.2.1 Mitatut autot

Kuorma-automittauksissa suoritettiin seurantamittauksia 60-tonnisten yhdistelmien vetoautoille (vetoauton kokonaismassa 26 tonnia) ja uusien Euro V-autojen vertailua jakeluautokokoluokassa (18 tonnia). Näiden 18-tonnisten Euro V-ajoneuvojen mittaamatriisia on tarkoitus laajentaa vielä vuoden 2011 aikana EGR-järjestelmällä varustetuilla ajoneuvoilla. Taulukossa 10 on esitetty niistä yhteenveto.

Raskaista seuranta-autoista yksi oli Scanian Euro IV –päästötasoinen vetoauto (R420) ja kolme Euro V –tasoisia vetoautoja, joista kaksi Scania-merkkisiä ja yksi Mercedes-Benz-merkkinen (Actros 2544L). Näistä Euro V-hyväksytyistä Scaniaista toinen on SCR-pakokaasujen jälkikäsittelytekniikalla varustettu (G420) ja toinen EGR-pakokaasujen takaisinkierätystekniikalla varustettu (R440). Teholuokiltaan ajoneuvot olivat 420 - 440 hv.

Uusia Euro V –päästötasoa edustavia 18 tonnin jakeluautoja mitattiin kaksi kappaletta: Mercedes-Benz Axor 1829 (kuva 25) ja Volvo FL D7F. Molemmat ajoneuvot oli varustettu SCR-järjestelmällä. Mittaukset suoritettiin kolmella erityyppisellä syklillä ja kolmella kuormalla. Mittauksissa käytettiin VTT:n maantiesykliä, aluejakelusykliä ja uutta keskustajakelusykliä, joka kuvataan tarkemmin jaksossa 7. (“Menetelmäkehitys”).

*Taulukko 5. Vuonna 2010 mitattujen kuorma-autojen tietoja.*

Merkki	Malli	Painoluokka	Vm.	Iskutilavuus (dm <sup>3</sup> )	Teho (kW)	Jälkikäsitteily	Ajo-km
Scania	R420	26t/60t	2007	11.7	420	EGR	470 794
Scania	G420	26t/60t	2009	11.7	420	SCR	198 207
Scania	R440	26t/60t	2009	12.7	440	EGR	227 954
Mercedes-Benz	Actros 2544L	26t/60t	2009	11.9		SCR	161 721
Mercedes-Benz	Axor 1829	18t	2010	6.4		SCR	260
Volvo	FL D7F	18t	2010	7.1	?	SCR	1073

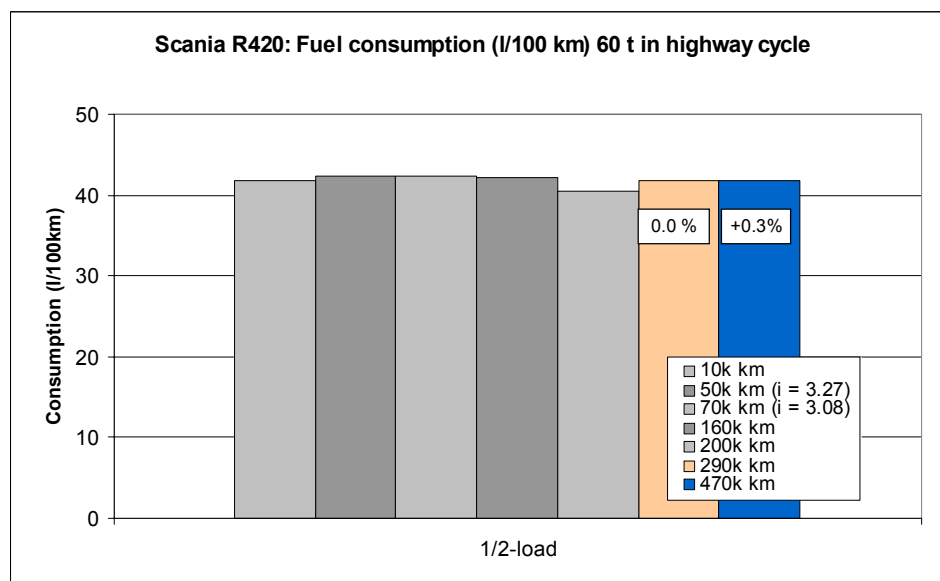


*Kuva 24: Mercedes-Benz kuorma-auto mittauksissa alustadynamometrillä. Ajoneuvon rungon päälle lastattu painoja riittävän pidon takaamiseksi*

## 5.2.2 Seurantamittaukset

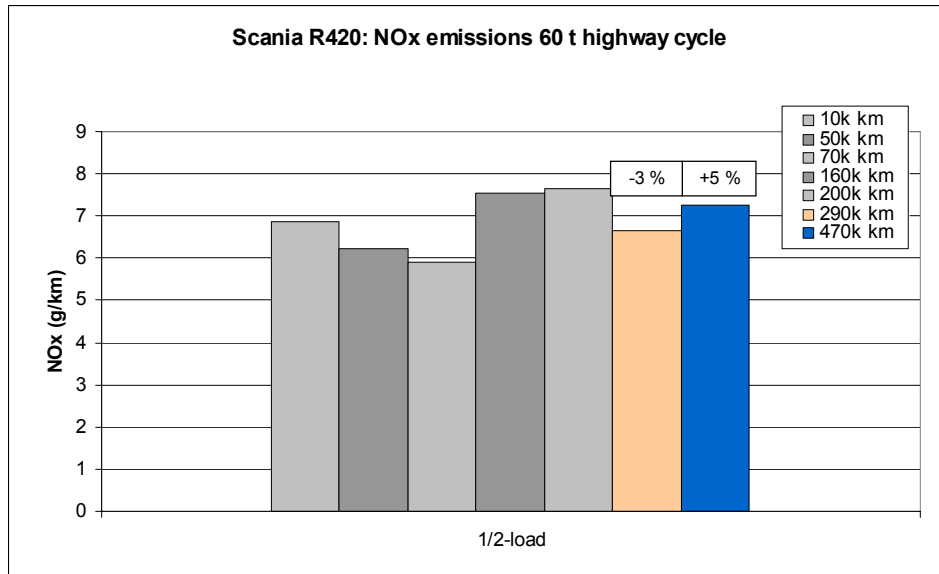
Vuonna 2010 kaikki 60 tonnin kokonaispainoisten ajoneuvojen mittaukset olivat seurantamittauksia eikä uusia ajoneuvoja tähän kokoluokkaan mitattu. Seuranta-autoista yksi oli Scanian Euro IV –päästötasoinen vetoauto ja kolme Euro V –tasoisia vetoautoja, joista kaksi Scania-merkkisiä ja yksi Mercedes-Benz-merkkinen. Scania-autoista toinen on SCR-järjestelmällä varustettu ja toinen EGR-pakokaasujen takaisinkieräytystekniikalla varustettu. Teholuokiltaan ajoneuvot ovat 420 - 440 hv.

Kuvissa 25 - 27 on esitetty Scanian R420 Euro IV –kuorma-auton kulutus- ja päästötuloksia VTT:n maantiesykliissä seurannan ajalta. Ajoneuvolla suoritettiin vuonna 2010 viimeiset seurantamittaukset. Kuvissa väreissä esitetyt palkit kuvaavat HDENIQ-projektin aikana suoritettuja mittauksia, harmaat samalle autolle aiemmin RASTU-projektin aikana tehtyjen mittausten tuloksia. Maantiesykliissä (kuva 25) ajoneuvon polttoaineen kulutus on pysynyt varsin vakaana.

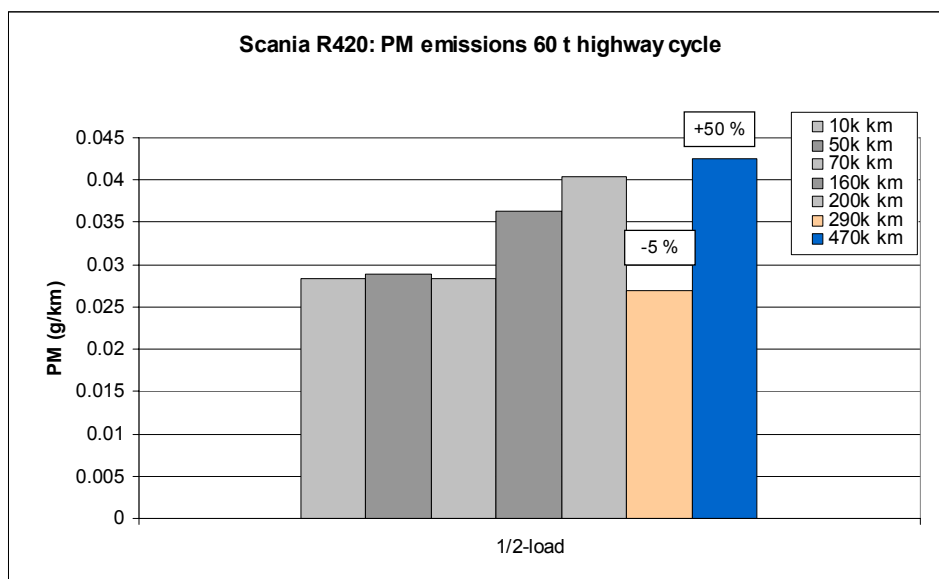


*Kuva 25: Euro IV -Scanian polttoaineen kulutus VTT:n maantiesykliissä puolikuormalla.*

Typenoksidi- (kuva 26) ja partikkelipäästöissä (kuva 27) vaihtelut seurantamittausten välillä ovat puolestaan huomattavan suuria. Vaihtelussa ei ole nähtävillä mitään selkeää trendiä. Suurista vaihteluista johtuen myös ajoneuvon huoltohistoriaa tarkasteltiin, mutta selitystä vaihteluun ei huoltotoimenpiteistä löydetty.

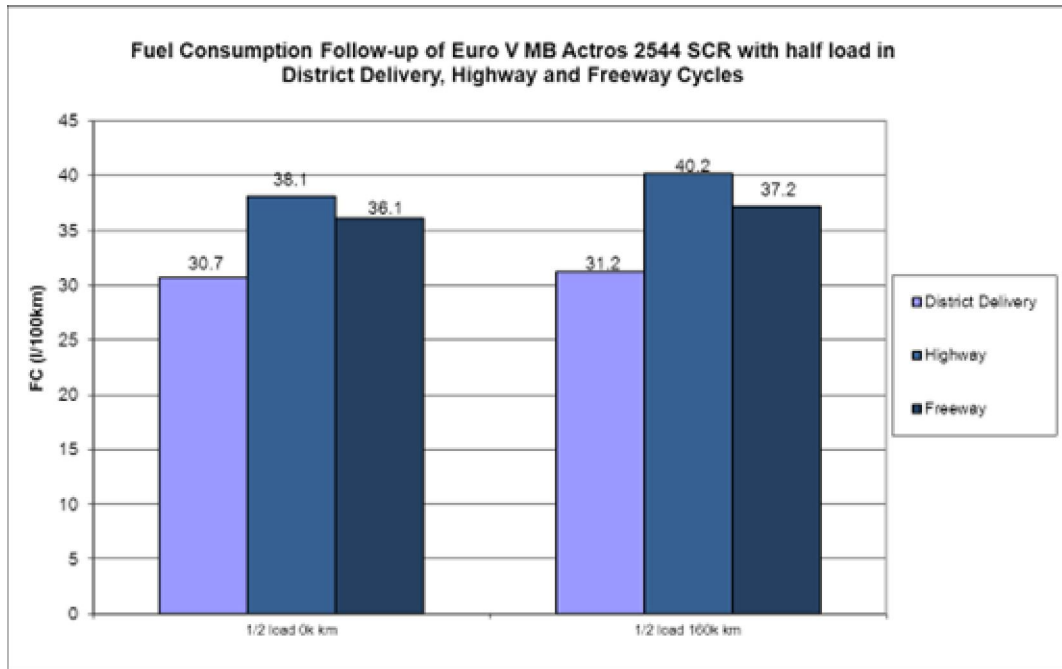


Kuva 26: Euro IV -Scanian NO<sub>x</sub>-päästö VTT:n maantiesyklissä puolikuormalla

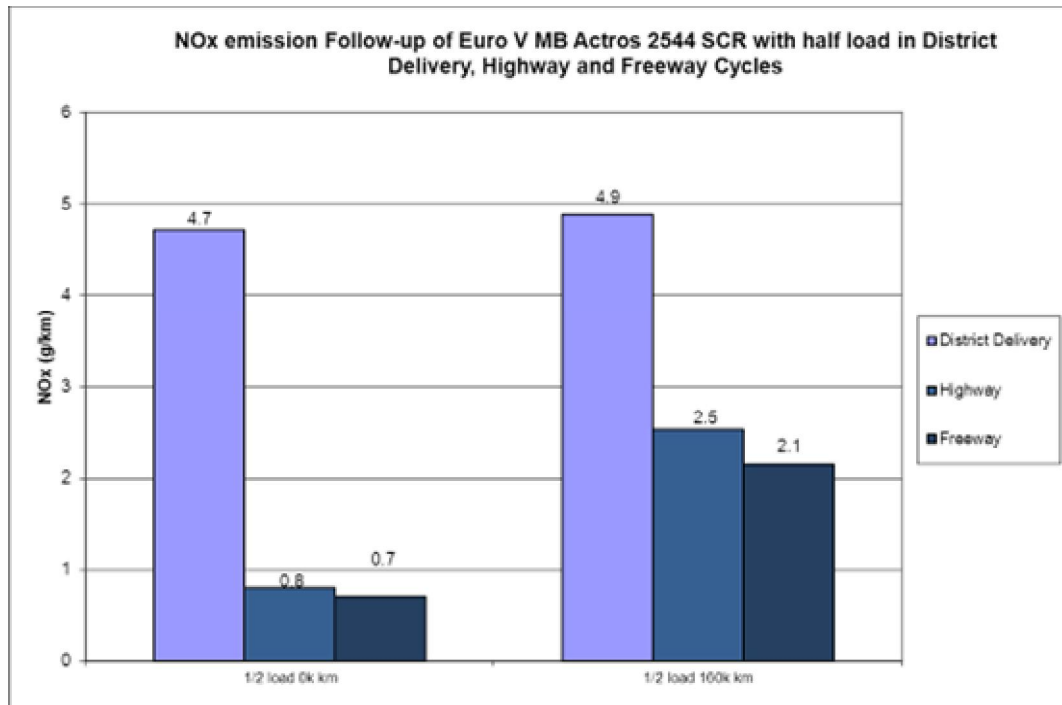


Kuva 27: Euro IV -Scanian partikkelipäästö VTT:n maantiesyklissä puolikuormalla

Kuvissa 28 – 30 on esitetty Mercedes-Benz Actros 2544:n polttoaineen kulutus sekä typenoksidi- ja partikkelipäästötuloksia. Typenoksidipäästöissä on tapahtunut ensimmäisen seurantajakson aikana merkittävä nousu, sillä maantie- ja moottoritiesykleissä NO<sub>x</sub>-päästöt ovat kolminkertaistuneet. Typenoksidiessa (kuva 29) tapahtunutta kasvua seurantajaksolla selittää osaltaan alkumittausta alhaisempi urean kulutus myöhemmissä seurantamittauksessa. Maantiesyklissä ureaa on ruiskutettu lähes 30 % alkumittausta vähemmän ja moottoritiesyklissä noin 15 % vähemmän. Lisäksi ensimmäiset mittaukset on jouduttu suorittamaan ennen kuin ajoneuvon katalysaattori on ehtinyt vakiintua käytönaikaiseen puhdistustehokkuuteen, mittarilukema on ollut alle 1000 km.

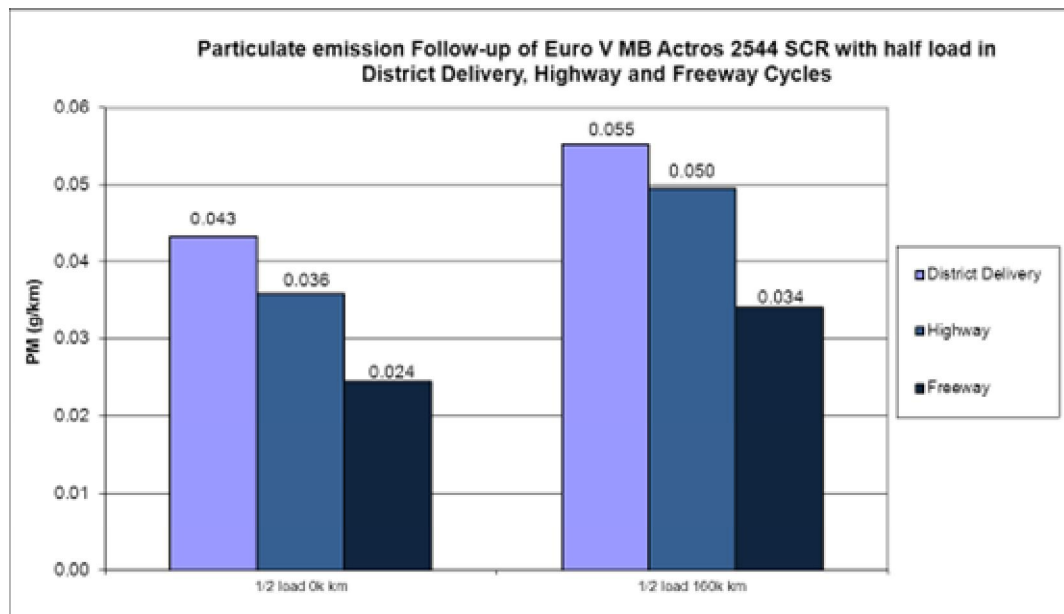


Kuva 28: Mercedes-Benz Actros 2544:n polttoaineen kulutus seurantamittauksissa moottoritie- (Freeway), maantie- (Highway) ja aluejakelusykleissä (District Delivery).



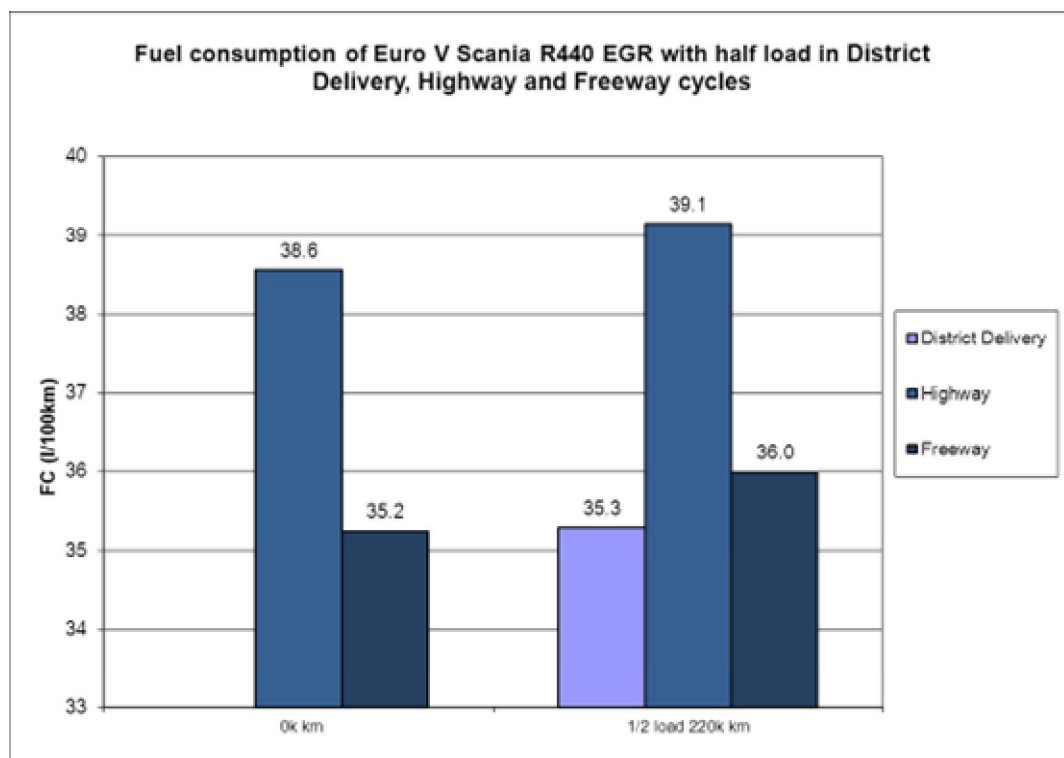
Kuva 29: Mercedes-Benz Actros 2544:n typenoksidipäästöt seurantamittauksissa moottoritie- (Freeway), maantie- (Highway) ja aluejakelusykleissä (District Delivery).





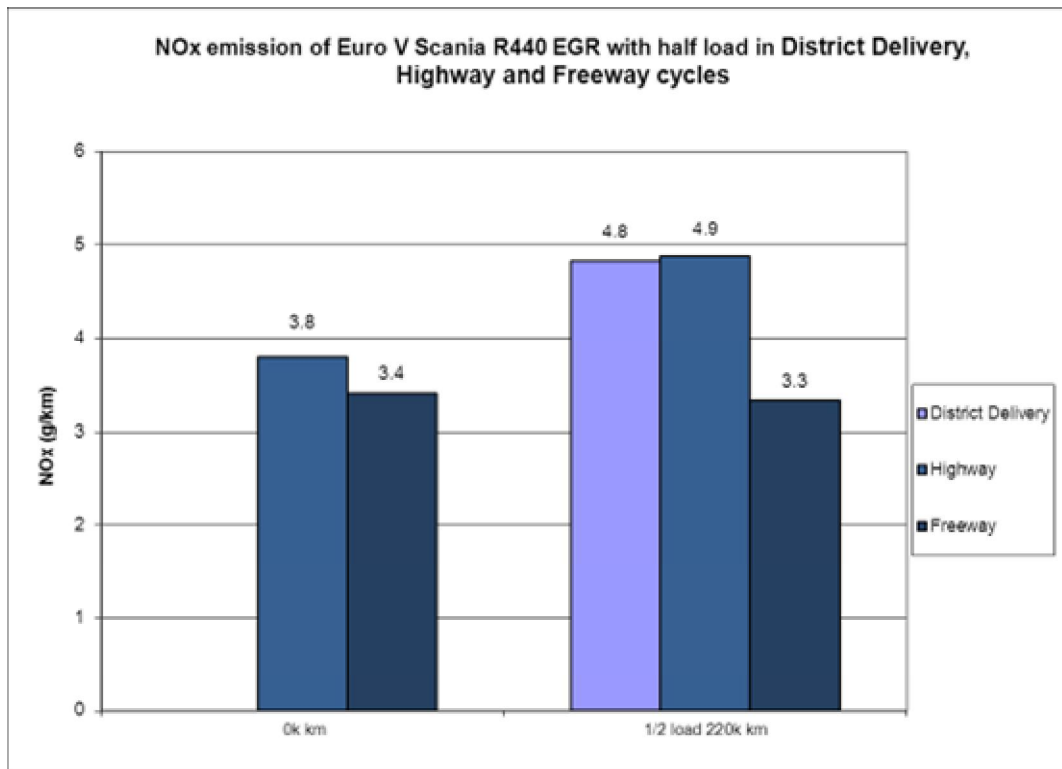
Kuva 30: Mercedes-Benz Actros 2544:n partikkelipäästöt seurantamittauksissa moottoritie- (Freeway), maantie- (Highway) ja aluejakelusykleissä (District Delivery).

Kuvissa 31 – 33 on esitetty Scania R440 EGR:n polttoaineen kulutus sekä typenoksidi- ja partikkelipäästötuloksia. Pääosin myös Scania R440:n kulutus ja päästöarvot ovat kasvaneet alkumittauksesta. Poikkeuksen tähän tekee moottoritiesyklin NO<sub>x</sub>-päästö, joka on hieman pienentynyt. Alenema on kuitenkin samaa suuruusluokkaa kuin toisto- ja mittausepäätarkkuudet toistokokeiden välillä.

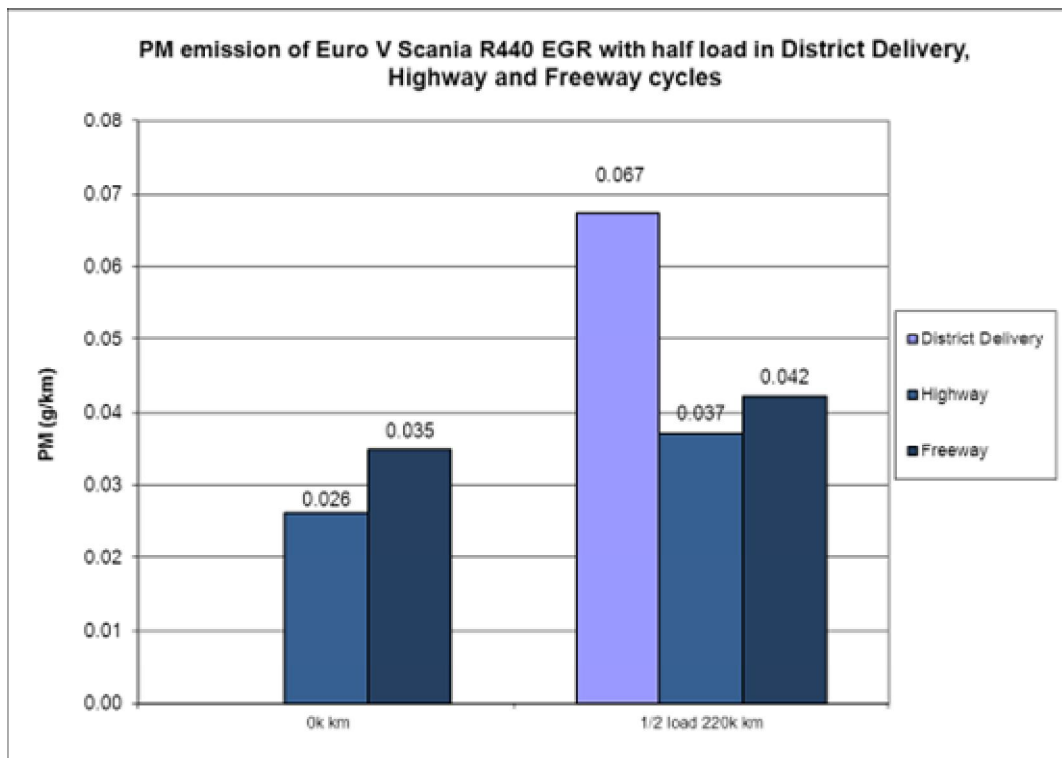


Kuva 31: Scania R440:n polttoaineen kulutus seurantamittauksissa moottoritie- (Freeway), maantie- (Highway) ja aluejakelusykleissä (District Delivery).





Kuva 32: Scania R440:n typenoksidipäästöt seurantamittauksissa moottoritie- (Freeway), maantie- (Highway) ja aluejakelusykleissä (District Delivery).



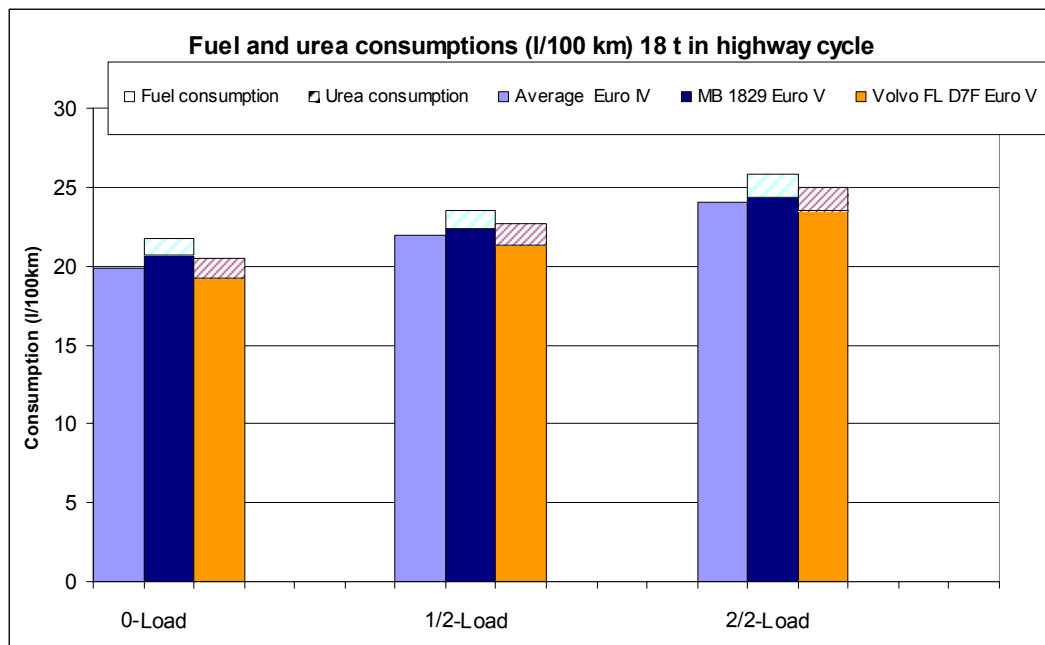
Kuva 33: Scania R440:n partikkelipäästöt seurantamittauksissa moottoritie- (Freeway), maantie- (Highway) ja aluejakelusykleissä (District Delivery).

### 5.2.3 Vertailumittaukset: 18 t

Uusia Euro V –päästötasoa edustavia 18 tonnin jakeluautoja mitattiin kaksi kappaletta: Mercedes-Benz Axor 1829 ja Volvo FL D7F. Molemmat ajoneuvot oli varustettu SCR-järjestelmällä. Mittaukset suoritettiin kolmella erityyppisellä syklillä ja kolmella kuormalla.

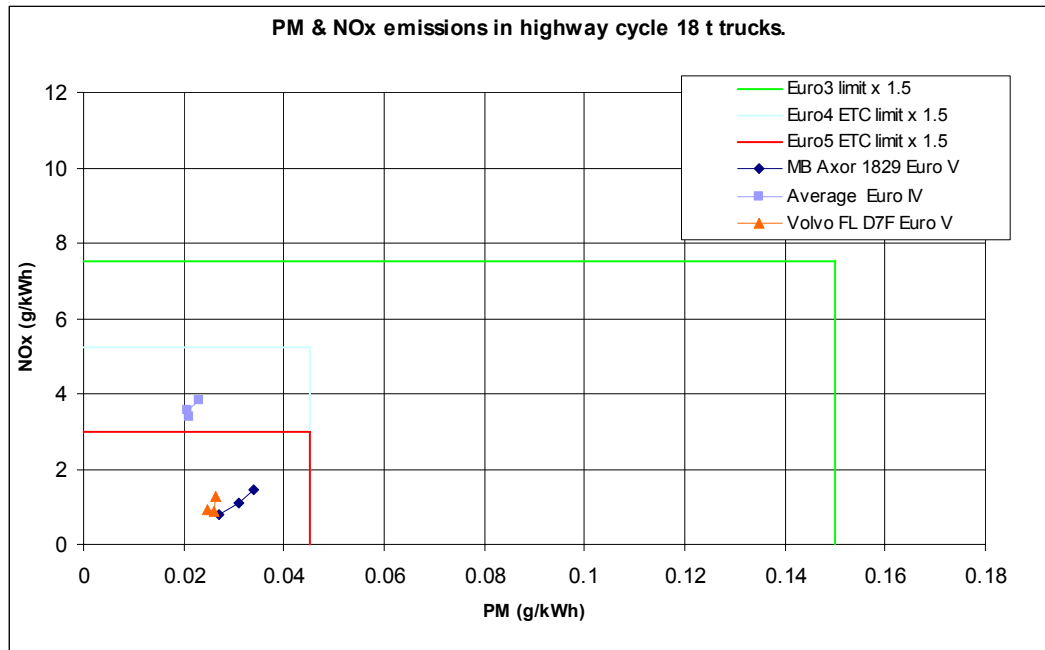
Jakeluautojen mittauksissa käytettiin myös uutta 2010 luotua VTT:n keskustajakelusykliä. Sykli perustuu tallenteeseen todellisesta jakelujosta 18 tonnin ajoneuvolla Helsingin keskusta-alueella. Syklin kehitystä kuvataan tarkemmin jaksossa 7. (”Menetelmäkehitys”).

Kuvassa 34 on esitetty nyt mitattujen autojen polttoaineen kulutus tyhjänä, puolella kuormalla ja täyteen kuormattuna. Varsinaisen polttoaineen kulutuksen lisäksi kuvaan on merkitty urealisäaineen kulutus. Vertailuarvona on aiemmin mitattujen, saman kokoluokan EURO IV-autojen keskiarvot.



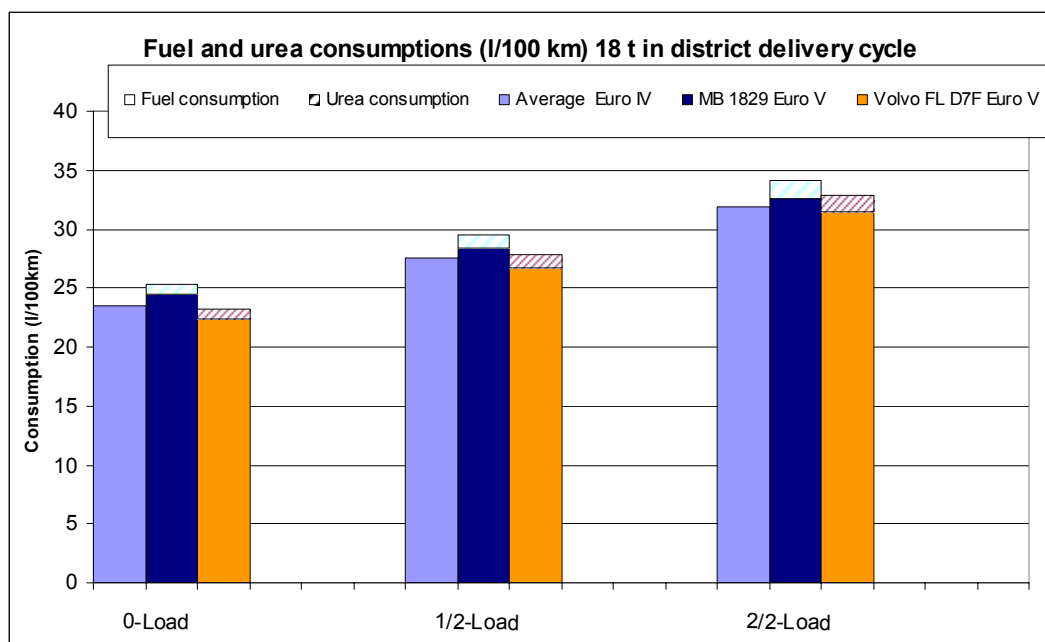
Kuva 34: MB Axor 1829 ja Volvo FL D7F – kuorma-autojen polttoaineen ja urean kulutus maantiesyklissä.

Kuvassa 35 on esitetty em. autojen partikkeli- ja NO<sub>x</sub>-päästöt maantiesyklissä eri kuormituksilla (tyhjä, puoli- ja täyskuorma). Viitearvoina on esitetty EURO III, EURO IV ja EURO V-raja-arvot (g/kWh) muunnettuna g/km-arvoiksi kertoimella 1,5, sillä tyypillinen työmäärä mainitun kokoluokan autoille on 1,5 kWh/km.



Kuva 35: MB Axor 1829 ja Volvo FL D7F – kuorma-autojen partikkeli- ja NO<sub>x</sub>-päästöt maantiesyklissä

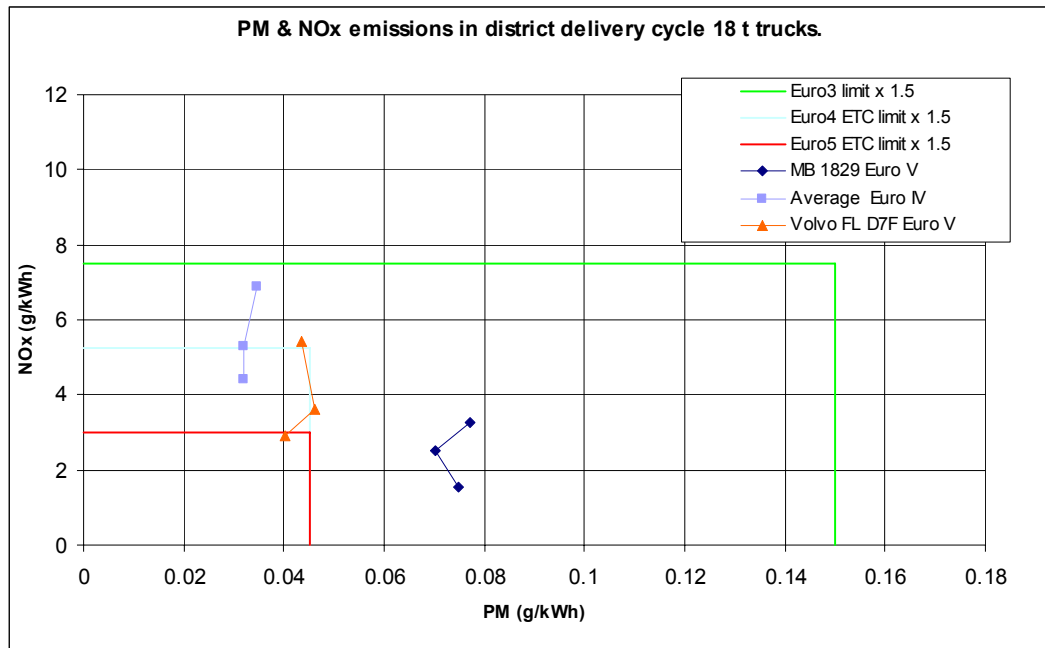
Kuvassa 36 on puolestaan esitetty poltto- ja urealisäaineen kulutukset mainituille autoille aluejakelusyklillä mitattuna. Vertailuarvona saman kokoluokan aiemmin mitattujen EURO IV-autojen keskiarvo.



Kuva 36: MB Axor 1829 ja Volvo FL D7F – kuorma-autojen polttoaineen ja urean kulutukset aluejakelusyklissä

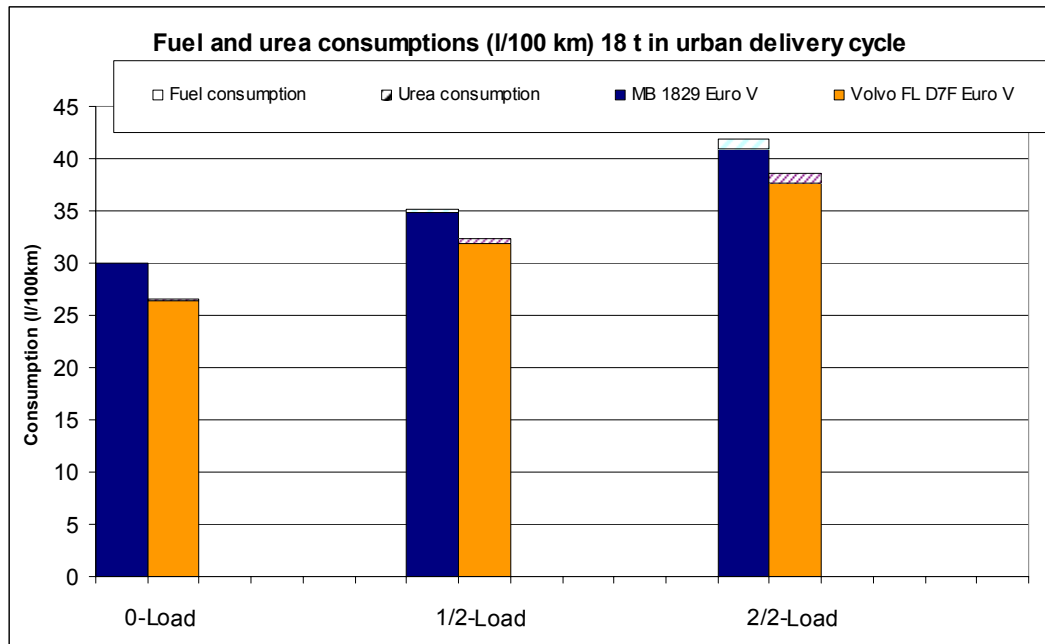
Kuva 37 esittää nyt mitattujen autojen partikkeli- ja NO<sub>x</sub>-päästöt aluejakelusyklissä eri kuormituksilla (tyhjä, puoli- ja täyskuorma). Viitearvoina

on EURO III, EURO IV ja EURO V-raja-arvot (g/kWh) muunnettuna g/km-arvoiksi kertoimella 1,5.



Kuva 37: MB Axor 1829 ja Volvo FL D7F – kuorma-autojen partikkeli- ja NOx-päästöt aluejakelusyklissä

Kuvassa 38 on esitetty polttoaineen ja urean kulutus uudessa keskustajakelusyklissä. Maantie- ja aluejakelusyklin tapaan vertailu Euro IV-keskiarvoon ei ole mahdollista, ainoastaan keskinäinen vertailu, sillä tällä sykilillä ei ole tehty aiempia mittauksia. Kuvasta on nähtävissä, että Volvo kuluttaa kaikilla kuormilla noin 8-12% vähemmän kuin Mercedes. Kuvasta on havaittavissa myös vähäinen AdBlue-liuoksen kulutus erityisesti pienemmillä kuormilla.

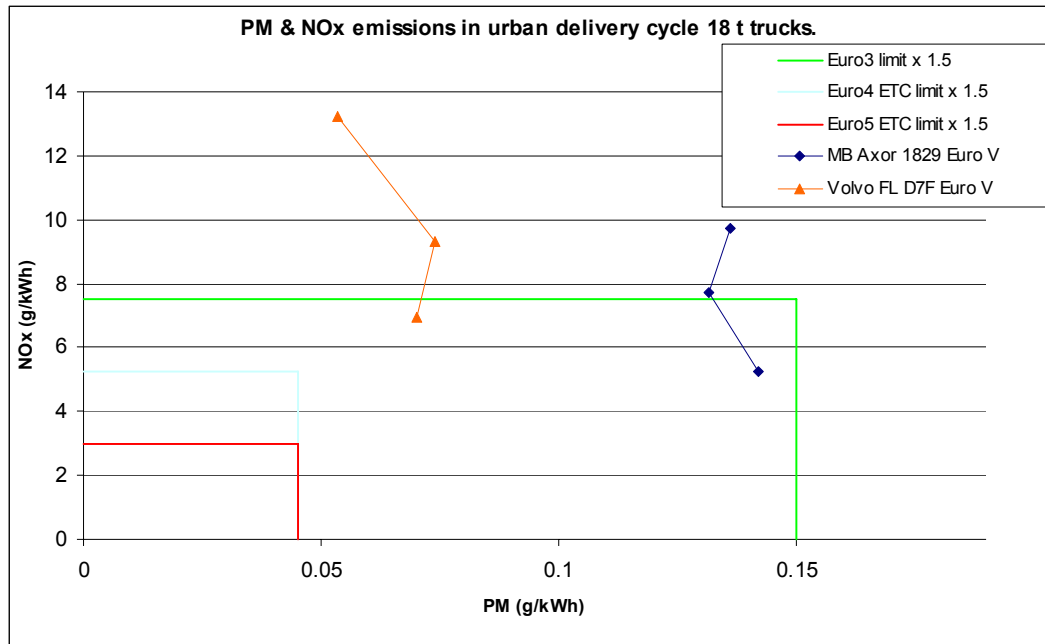


Kuva 38: MB Axor 1829 ja Volvo FL D7F – kuorma-autojen polttoaineen ja urean kulutus keskustajakelusyklissä

Keskinopeudeltaan aluejakelusykliä hitaamassa keskustajakelusyklissä AdBlue-reagenssin kulutus siis laskee suhteessa polttoaineen kulutukseen, ja samalla NO<sub>x</sub>-päästö kasvaa. Tähän on luultavimmin syynä SCR-katalysaattorin lämpötilan lasku kynnyslämpötilan (210 °C) alapuolelle, jolloin lisäaineen ruiskutuskin loppuu, koska lämpötila ei ole pelkistymisreaktioille riittävä.

Kuvassa 39 on esitetty po. autojen PM- ja NO<sub>x</sub>-päästöt keskustajakelusyklissä eri kuormituksilla (tyhjä, puoli- ja täyskuorma). Viitearvoina on edellisten kuvien tapaan EURO III, EURO IV ja EURO V-raja-arvot (g/kWh) muunnettuna g/km-arvoiksi kertoimella 1,5.

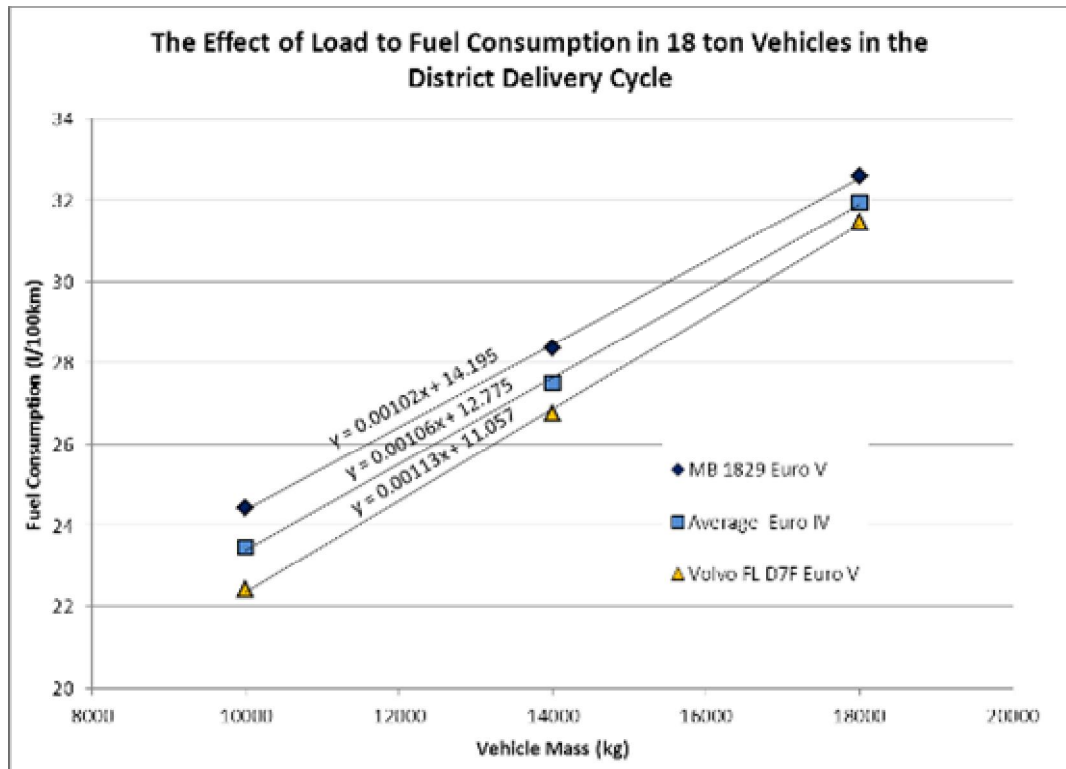
Kuten kuvasta nähdään, myös partikkelipäästö on aluejakelusyklissä molemmilla ajoneuvoilla selkeästi korkeammalla tasolla kuin viitearvot, koska ajosykli on erittäin vaihteleva kuormituksiltaan.



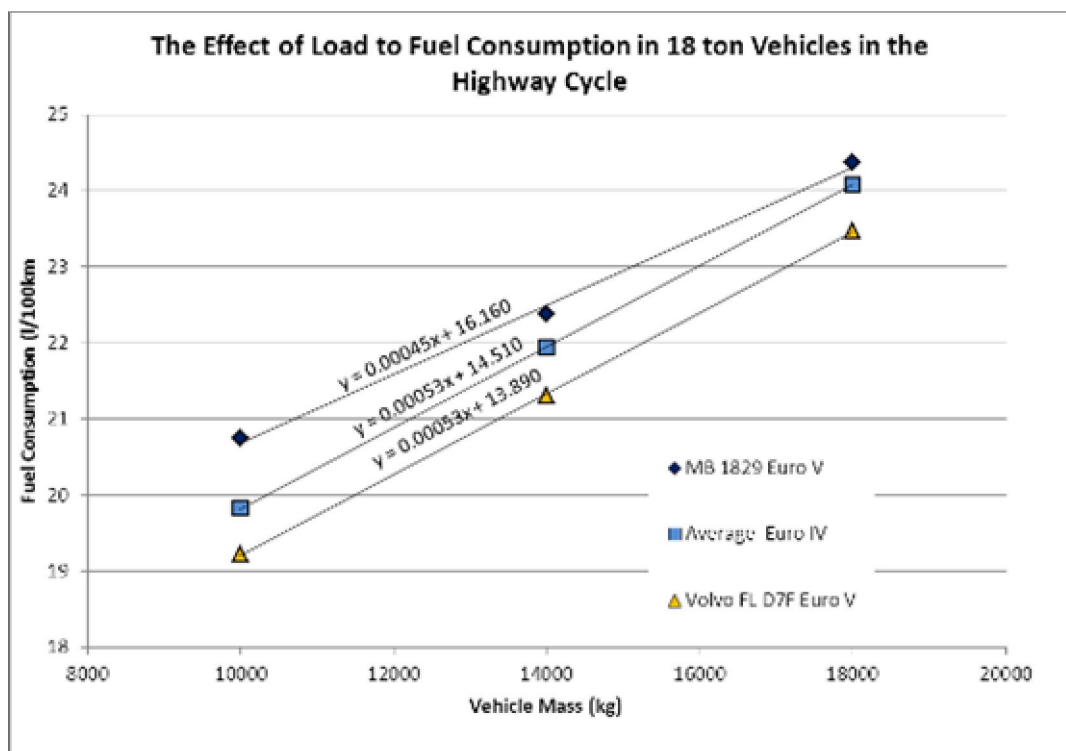
Kuva 39: MB Axor 1829 ja Volvo FL D7F – kuorma-autojen partikkeli- ja NOx-päästöt keskustajakelusyklissä

Kuvassa 40 on esitetty 18-tonnisten jakeluautojen kuorman vaikutus polttoaineen kulutukseen VTT:n maantiesyklissä. Mercedes-Benz Axor -auton polttoaineen kulutus oli sekä Euro IV-keskiarvoa että Euro V Volvoa korkeammalla tasolla. Massasta riippuva polttoaineen kulutuksen lisääntyminen oli kuitenkin VTT:n maantiesyklissä hieman maltillisempaa kuin verrokeissa. Axor-auton kulutuksen havaittiin kasvavan noin 0,45 l/100 km tonnia kohden kun vastaavat lukemat olivat Euro IV-keskiarvon ja Euro V-Volvon kohdalla noin 0,53 l/100 km tonnia kohden.

Aluejakelusyklissä (kuva 41) on nähtävissä vastaava kehitys polttoaineen kulutuksessa kuin maantiesyklissäkin, joskin maltillisempaa. Axor-auton kulutus on korkeampi, mutta vastaavasti kulutuksen kasvu kuorman lisääntyessä on hieman vähäisempää. Mercedes-Benzin kulutus kasvaa noin 1,0 l/100 km tonnia kohden, kun vastaavalla mitatulla Volvo-autolla kasvu on noin 1,1 l/100 km per tonni. Euro IV -keskiarvo asettuu näiden lukemien väliin sekä kulutuksen että sen kasvun osalta.



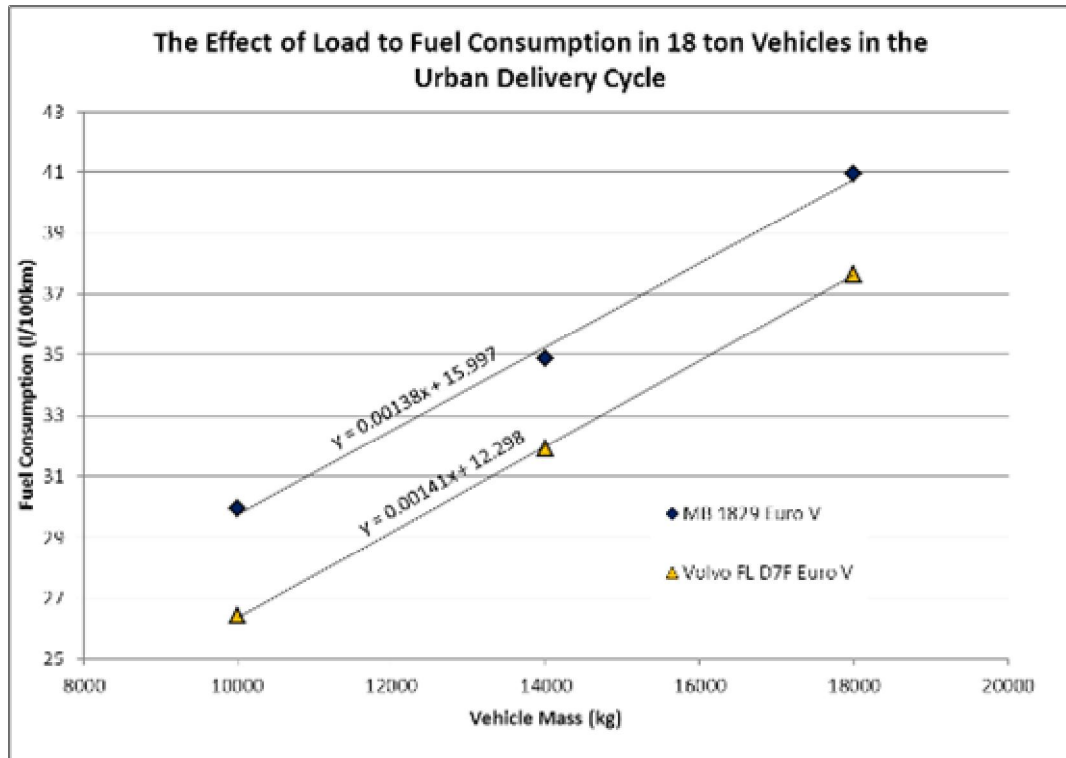
Kuva 40: Kuorman vaikutus polttoaineen kulutukseen VTT:n maantiesykliissä.



Kuva 41: Kuorman vaikutus polttoaineen kulutukseen VTT:n aluejakelusyykliissä

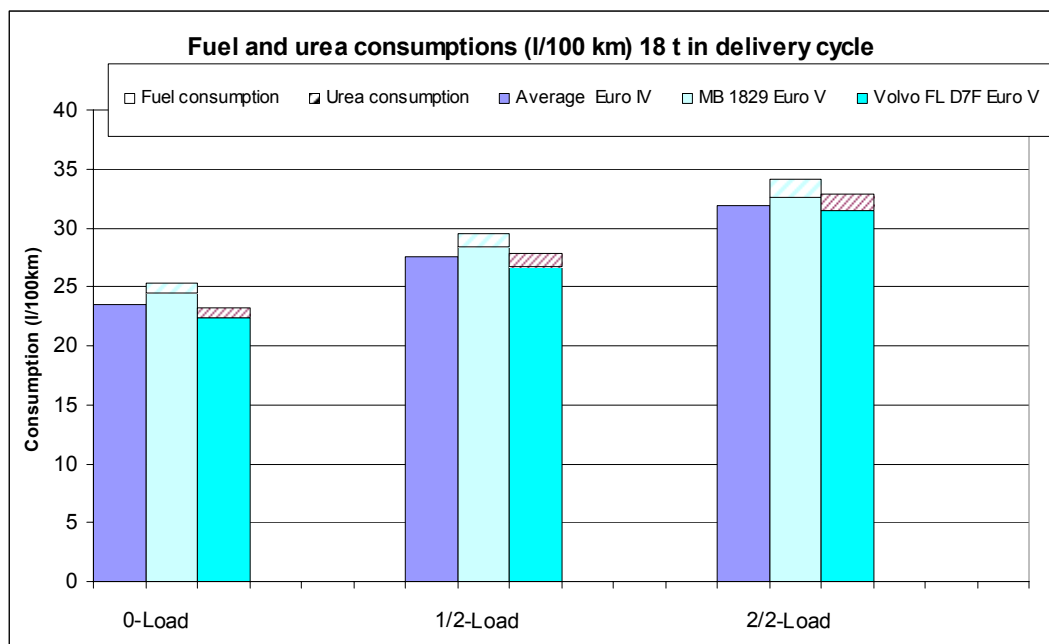
Keskustajakelusyykliissä (kuva 42) ero kuorman vaikutuksessa kulutukseen jää varsin pieneksi kulutuksen kasvun ollessa noin 1.4 l/100km tonnia kohden. Edellisten syklien tapaan Axorin kulutus on korkeampi.



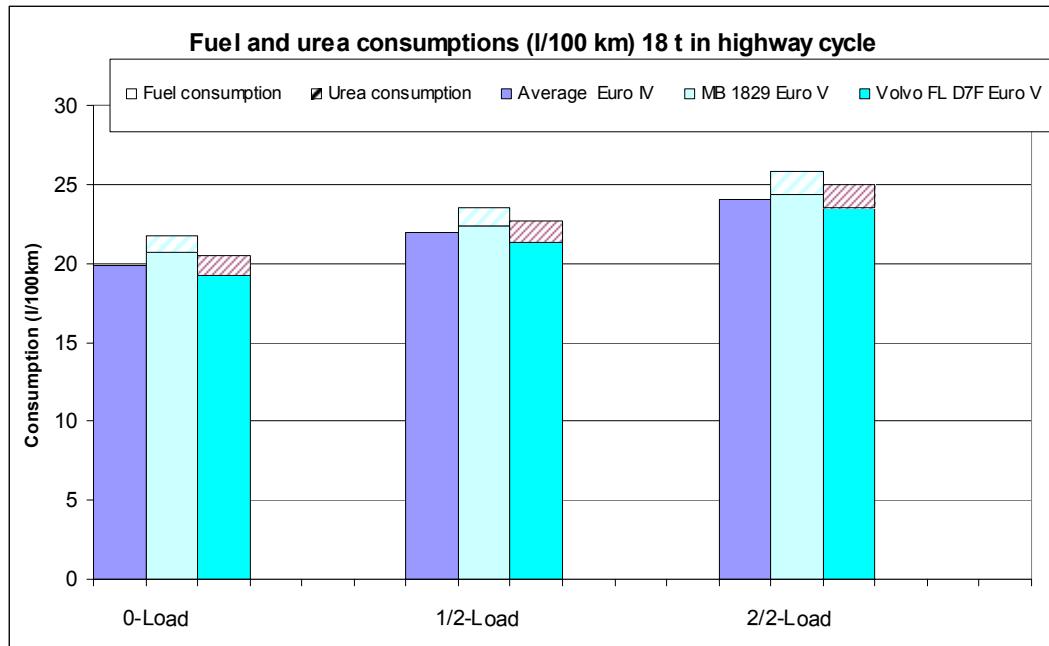


Kuva 42: Kuorman vaikutus polttoaineen kulutukseen VTT:n keskustajakelusyklissä

Polttoaineen ja urean kulutuksen osalta tulokset on esitetty kuvissa 43 (aluejakelusykli) ja 44 (maantiesykli). Kuvissa on referenssinä mukana Euro IV-luokan keskiarvotulokset.



Kuva 43: Polttoaineen ja AdBlue-urealiuoksen kulutukset aluejakelusyklissä eri kuormilla

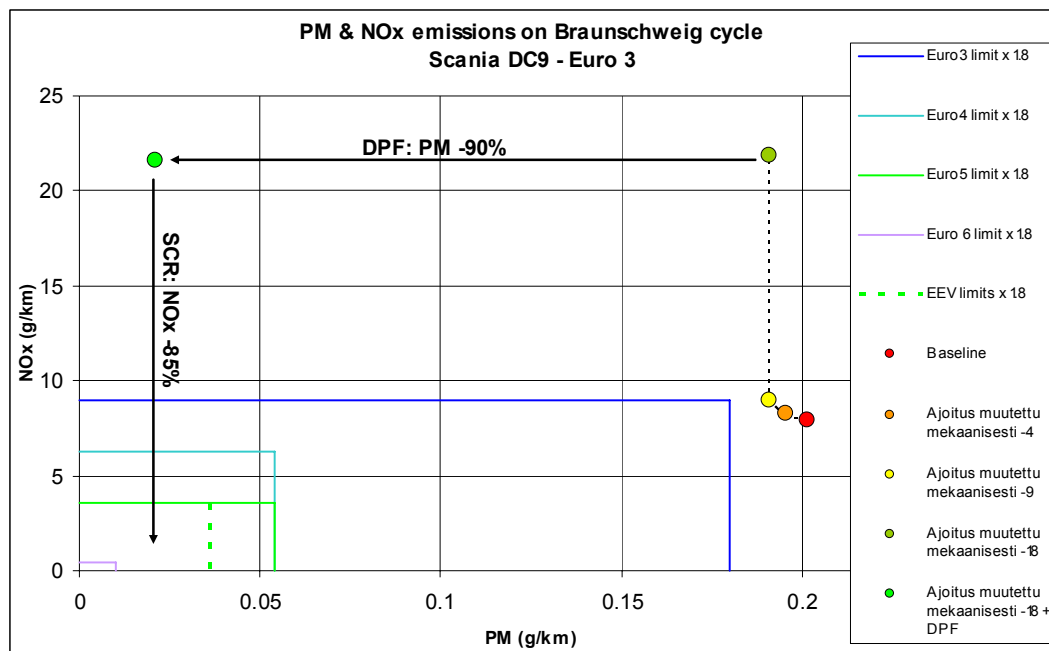


Kuva 44: Polttoaineen ja AdBlue-urealiuoksen kulutukset maantiesykliissä eri kuormilla

### 5.3 Jälkiasennettavat pakokaasujen puhdistuslaitteet

Jälkiasennettavien pakokaasunpuhdistusjärjestelmien kehitystyötä tehtiin yhteistyössä Proventia Emission Controlin kanssa. Kehitysprojektissa pyrittiin muokkaamaan Scanian Euro III-tasoisien kaupunkilinja-auto ruiskutuksen ajoitusta, jotta jälkikäsitteilyjärjestelmien toiminnalle kyettäisiin luomaan suotuisimmat toimintaolosuhteet sekä kyettäisiin käyttämään hinnaltaan halvempia jälkikäsitteilyratkaisuja. Lisäksi tavoitteena oli kohtuullinen polttoaineen kulutuksen lasku. Ruiskutuksen ajoitukseen pyrittiin vaikuttamaan ensivaiheessa elektronisesti, myöhemmin myös mekaanisesti. Elektronisilla säätökeinoilla ei kuitenkaan päästy toivottuun lopputulokseen. Mekaanisella säädölläkin toivottu vaikutus nähtiin vasta suurella ruiskutusennakon muutoksella, jolloin ajoneuvon moottorinohjaus päätyi vikatilaan. Ilmeisesti ajoneuvon elektroninen säätö kykeni kompensoimaan pienemmät mekaaniset muutokset, mikä antaa aiheen olettaa myös elektronisen ennakon säädön olevan mahdollinen. Käytettävissä ei kuitenkaan ollut työvälineitä, joilla elektronisen säädön toimintaan olisi voitu halutulla tavalla vaikuttaa.

Ruiskutusennakon kasvattaminen 18:aan kammankulma-asteeseen nosti moottorin typenoksidipäästöjä merkittävästi, mikä oli odotettu tulos. Kuitenkaan toivottua laskua partikkelipäästöissä ei nähty. Syynä tähän voi olla moottorinohjauksen päätyminen vikatilaan, jolloin ruiskutus ei pysy normaalilla säätökäyrästäolla aiheuttaen odotettua suuremman partikkelipäästön. Kuva 45 esittää yhteenvedon tuloksista.



Kuva 45: Mekaanisen ajoituksen muutoksen vaikutus partikkeli- ja NO<sub>x</sub>-päästöön.

## 5.4 Kaupunkibussien päästöt ja energiankulutus kylmässä

Kannettavat pakokaasujen mittalaitteet (PEMS) tarjoavat mahdollisuuden suorittaa ajoneuvojen päästötutkimusta olosuhteissa, joita VTT:n nykyisessä laboratoriossa ei voida simuloida. Yksi niistä on kylmät olosuhteet. Ajoneuvojen pakokaasunpuhdistuksen suorituskyky Suomen vaativassa ilmastossa on mielenkiintoinen kysymys ja on uusi näkökulma eri tekniikoiden keskinäisessä vertailussa. Tällaiselle tutkimukselle on myös kansainvälistä mielenkiintoa.

Niinpä alkuvuodesta 2011 suoritettiin kenttäkokeita uusimmalla bussikalustolla talviolosuhteissa. Tehtävän tavoite oli tarkastella uuden bussikaluston suorituskykyä heti kylmäkäynnistyksen jälkeen, ja toimintaa käyttölämpötilaisena kylmässä ilmanalassa. Päästömittaukset toteutettiin kannettavilla PEMS (Portable Emissions Measurement System) mittalaitteilla. Kuvassa 46 nähdään yksi mittauksiin osallistuneista autoista Varkauden lentokentän kiitoradalla, jossa kokeet ajettiin.

Tutkimus toteutettiin ajamalla kenttäolosuhteissa SORT2-sykliä sekä Braunschweig-sykliä. Braunschweig-sykli on VTT:n bussimittausten perussykli. SORT-sykli puolestaan ovat kansainvälisen joukkoliikennejärjestön UITP:n polttoaineen kulutuksen mittaamiseen kehittämiä syklejä. SORT-sykliä, joita on kolme kappaletta, ajetaan koeradalla tai tiellä. SORT2 on sykli, joka antaa lähimpänä Braunschweig-sykliä olevia kulutuslukemia.

Kylmämittauksiin valittiin keskeisimmät tyypit pääkaupunkiseudun bussiliikenteessä olevista uusista ajoneuvotyypeistä. Ajoneuvot olivat Volvo B7 RLE (SCR), Scania K230 (EGR) ja Iveco Crossway LE (SCRT), kaikki EEV-päästöluokituksella.



*Kuva 46: PEMS mittaukset kylmässä talvissäässä tehtiin Varkauden lentokentällä.*

Kaikille ajoneuvoille suoritettiin kaksiosainen mittaussarja. Ennen jokaista mittauspäivää ajoneuvon annettiin jäähtyä ympäröivissä olosuhteissa. Mittaussuunnitelman perusajatus oli mitata ensin kylmäkäynnistyspäästöt, jonka jälkeen ajettiin mitattavaa ajosykliä niin pitkään, että auto saavutti käyttölämpötilansa.

Tutkimuksessa käytetty PEMS-laitteisto saatiin lainaksi EU-JRC:n VELA-laboratoriosta. VTT tutkimussuunnitelma sopi erinomaisesti EU PEMS-PM hankkeen rinnalle, jossa perehdytään PEMS-laitteiden käyttökelpoisuuteen käytön aikaisessa seurannassa (in-use compliance). Tämä hanke on toinen osa PEMS-tutkimuskokonaisuudessa, ja keskittyy kannettavien partikkelimittausjärjestelmien arviointiin. [Lisätietoja EU:n tutkimuksesta <http://eu-pems.jrc.ec.europa.eu>]

Kylmä ilmanala on yksi myös JRC:tä kiinnostavista erikoistilanteista, jota heidän on kuitenkin hyvin vaikea tutkia. Siksi VTT tutkimustulokset päätettiin jakaa JRC kanssa, koska tutkimusta varten VTT:lle toimitettiin korvauksetta normaali kaasumaisten päästöjen PEMS analysaattori sekä vielä kokeellisella asteella oleva partikkelimittausjärjestelmä. Kuvat 47 ja 48 esittävät tätä laitteistoa.



*Kuva 47: SEMTECH PEMS analysaattori.*



*Kuva 48: Uusin PEMS tekniikka sisältää myös partikkelipäästöjen määrittämisen.*

## 5.5 Erikoispäästömittaukset

Vuodesta 2007 lähtien on VTT:llä mitattu Euro III – EEV -tason diesel- ja maakaasubussien sääntelemättömiä pakokaasupäästöjä. Aiemmin niistä on raportoitu ”Rastu” –tutkimuskokonaisuuden loppuraportissa (VTT-R-04084-09).

Mittauksia jatkettiin vuonna 2009 HDENIQ projektin puitteissa, jolloin tutkittiin alla luetellut, EEV –päästötason mukaan tyyppihyväksytyt ajoneuvot:

- Scania K9 (EGR+hap kat) EEV –päästötaso, vm. 2008
- Volvo 8700 RLE (SCR) EEV –päästötaso vm. 2009
- MAN Lions City CNG (TWC), stoikiometrinen, EEV-päästötaso vm. 2009
- Scania K230 (EGR+hap kat) EEV –päästötaso vm. 2009 (täydentää vm. 2008 autoa)

Ensimmäisen, vm. 2008, noin 300 000 km ajetun Scania-bussin PM –päästötaso oli hyvin korkea, mistä syystä tehtiin uusintamittauksia toisella, paljon vähemmän ajetulla (25 000 km), vm. 2009 autolla, ja osa vanhoista tuloksista korvattiin siitä mitatuilla arvoilla. Yhteenvedo mitatuista autoista on esitetty taulukossa 6.

*Taulukko 6. EEV –päästötason kaupunkilinja-autot, joista vuonna 2009 analysoitiin sääntelemättömiä päästöjä. Eräitä pääparametreja autoista ja mittauksista.*

Merkki & pakok. puhdistus	Iskutil. dm <sup>3</sup>	Poltto-aine	Euro taso	Malli-vuosi	Vaihteet	Ajo-km	Ajo-sykli	Testi-kuorma
MAN TWC	11.9	CNG	EEV	2009	A	71300	Br	50 %
VOLVO SCR	7.15	DIKC 0/-10	EEV	2009	A	17800	Br	50 %
SCANIA ('08) EGR	8.87	DIKC 0/-10	EEV	2008	A	307500	Br	50 %
SCANIA ('09) EGR	9.29	DIKC 0/-10	EEV	2009	A	25083	Br	50 %

Sääntelemättömien päästöjen analyysien luettelo on esitetty *taulukossa 7*. Näitä erikoismittauksia tehtiin seuraavasti:

Kaasufaasista määritettiin (yhdiste, (analyysilaitte) / näyte):

- hiilivetyerittely C<sub>1</sub> - C<sub>8</sub> -yhdisteille (GC) / laimennettu kaasu CVS-pussista
- aldehydit (DNPH) (HPLC) / laimennettu kaasu CVS -pussista
- ammoniakki NH<sub>3</sub> (FTIR) / kuuma raakapakokaasu, on-line,

Hiukkasfaasista määritettiin:

- hiukkasten lukumääräjakaumat (ELPI) ja kokonaislukumäärä (ELPI)
- PAH –analyysi hiukkasmassasta (uutto + GC)
- Ames –mutageenisuuskoe hiukkasmassasta (uute)

Edellä lueteltujen erikoismittausten tekniikat, niihin mahdollisesti liittyvät säädökset ja eri päästöjen merkittävyydet (mm. NH<sub>3</sub>) sekä aiempien



kaupunkibussien tulokset on käsitelty perusteellisesti ”Rastu” – tutkimuskokonaisuuden raportissa *VTT-R-04084-09*.

*Taulukko 7 Vuonna 2009 sääntelemättömien päästöjen osalta analysoidut EEV – päästötason kaupunkilinja-autot. Yhteenveto analyysistä.*

Sääntelemättömien pakokaasupäästöjen analyysit								
Merkki / jälkikäs.	GC Kaasu- maiset HC	ELPI	CPC PM # (>7 nm)	FTIR kaasu- maiset	PM suur- teho	Alde- hydit	PAH PM suodatin	Ames mutage- nisuus
MAN / TWC	x	x	x	x	x	x	x <sup>1</sup>	(x) <sup>1,2</sup>
VOLVO / SCR	x	x	x	x	x	x	x	x
SCANIA ('08) EGR <sup>3</sup>	n/a	x	x	x	x	x	x	x
SCANIA ('09) EGR	n/a	n/a	n/a	n/a	x	n/a	n/a	n/a

<sup>1</sup>standardi-PM -suodattimet eivät ole tallessa

<sup>2</sup>PM-massaa vain vähän

<sup>3</sup> vaikka CO-, HC- ja NMHC -tasot olivat matalat, mutta PM-taso oli poikkeavan korkea, mitattiin myös '09-mallin auto

Koska edellä mainittujen ajoneuvojen sääntelemättömiä päästöjä ei kuitenkaan vielä kokonaisuudessaan raportoitu HDENIQ-projektin vuosiraportissa 2009 (*VTT-R-04540-10*), joten täydessä laajuudessaan ne raportoidaan nyt tässä.

Taulukossa 8 on esitetty ko. autojen säännellyt päästöt, polttoaineen kulutus ja hiukkaspäästöt sekä standardin mukaisesta keräyksestä että suurkapasiteettisesta keräimestä. Ensimmäisen Scania EEV-bussin (vm. 2008) lisäksi nyt esitetään tulokset myös uudemmasta vastaavasta, vuosimallin 2009 autosta, jossa hiukkaspäästöt olivat vain noin neljäsosa vanhemman auton päästöistä.

*Taulukko 8. Vuonna 2009 sääntelemättömien päästöjen osalta analysoidut EEV – päästötason kaupunkilinja-autot. Säännellyt päästöt ja suurtehokeräimellä mitatut hiukkaspäästöt.*

Merkki & pakok. puhdistus	Polttoa.kul kg/100 km	CO g/km	HC g/km	CH <sub>4</sub> g/km	NO <sub>x</sub> g/km	CO <sub>2</sub> g/km	NMHC g/km	normi- PM mg/km	PM suurteho mg/km
MAN TWC	44.1	1.41	0.39	0.26	0.85	1230	0.13	17	1.25
VOLVO SCR	35.6	3.87	0.02	-0.01	5.99	1089	0.03	47	38.1
SCANIA ('08) EGR	37.8	0.53	0.02	0.00	6.83	1171	0.02	150	155.8
SCANIA ('09) EGR	39.0	0.07	0.01	0.00	7.55	1210	0.02	40	36.5

EEV-autojen hiukkaspäästöt – etenkin kaasukäyttöisten – ovat varsin pienet, mikä asettaa haasteita niiden mittaamiselle. Siksi PM-päästöjä mitattiinkin kahdella eri tavalla: pakokaasunormin (1999/96/EC) mukaisella menetelmällä, jossa keräysteho on 80 l/min, ja sen lisäksi ns. suurtehokeräimellä, jossa keräysteho 600 l/min. Taulukossa 9 on esitetty eriteltynä kaikki hiukkaspäästömittaukset joista em. tulokset on laskettu keskiarvoina, sekä vertailu (tausta)korjaamattomien normimenetelmän mukaan mitattujen hiukkasmassojen (PM standardi) ja suurtehokeräimellä mitattujen hiukkasmassojen (PM suurteho) välillä.

Kuten tuloksista nähdään, CNG –kaasubussin PM-emissio on hyvin pieni, ja siksi sen mittaaminen standardin mukaan on varsin epävarmaa. Taulukosta 9 on nähtävissä, että ero standardin mukaisesta hiukkaskeräyksestä ja suurikapasiteettisesta hiukkaskeräyksestä lasketun PM-päästön välillä 10-15 – kertainen taustakorjaamattomille päästöille. Dieselmootorisissa autoissa vastaava



suhde on välillä 0,9 – 1,24, eli korrelaatio menetelmien välillä on niissä varsin hyvä. Näin suuri ero CNG- ja dieselautojen välillä johtuneekin ainakin osittain suodatinmateriaalien erilaisesta pidätyskyvystä, jolloin standardin mukaiseen TX40-teflonsuodattimeen saattaa jäädä sellaisia kondensaatteja, joita ei jää suurtehokeräimen Fluoropore-tyyppiseen suodattimeen.

Standardisuodattimen PM -taustapitoisuudet, jotka saatiin ajamalla pelkkää laimennusilmaa tunneleiden läpi ajotilannetta jäljitellen, vaihtelivat välillä 5-13 mg/km, ja korjaamaton PM –tulos vaihteli välillä 12 – 21 mg/km.

*Taulukko 9. Vuonna 2009 tutkittujen EEV –kaupunkibussien hiukkaspäästöt standardi- ja suurtehohiukkaskeräyksistä.*

Merkki & pakokaasun-uhdistuslaitteet	Polttoaine	Päästöt	Testi sykli	PM(mg/km) <sup>1)</sup> standardi (ei taustakorjausta)	PM (mg/km) <sup>2)</sup> suurteho (ei taustakorjausta)	PM suurteho massa suodattimella mg	PM standardi / PM suurteho %	
MAN 2009 TWC	CNG	EEV	Br	12.3	2.0	0.233	1068 %	
			Br	20.8	1.1	0.130		
			Br	21.4	0.93	0.107	1593 %	
			Br	20.5	1.7	0.193		
			Br	12.2	0.85	0.098	1540 %	
			Br	14.9	0.91	0.105		
	kaasutunn.tausta - 1	kaasutunn.tausta - 2	Br	9.4	0.65	0.089		
			Br	12.9	0.17	0.024		
Volvo 2009 SCR	DIKC 0/-1	EEV	Br	51.5	38.3	3.521	124 %	
			Br	43.1	37.8	3.473		
			dieseltunnelitausta	Br	5.1	1.8	0.247	
Scania 2008 EGR (+ox cat)	DIKC 0/-1	EEV	Br	147.4	150.2	10.383	96 %	
			Br	152.3	161.4	11.196		
			dieseltunnelitausta	Br	2.1	n.d.	n.d.	
			Ademe	187.3	204.0	9.090	90 %	
Ademe	206.0	232.1	10.303					
Scania 2009 EGR (+ox cat)	DIKC 0/-1	EEV	Br	37.9	33.9	3.055	109 %	
			Br	41.3	39.0	3.510		
			dieseltunnelitausta	Br	n.d.	2.5	0.369	

<sup>1)</sup> TX40 teflon-päällysteinen lasikuitusuodatin, d=70 mm, 80 dm<sup>3</sup>/min & 47 cm/s

<sup>2)</sup> Fluoropore (fluorocarbon) kalvosuodatin, d=130 mm, 300-500 dm<sup>3</sup>/min & 38-63 cm/s

### 5.5.1 PAH- ja Ames -analyysit

PAH –analyysitulokset busseille MAN CNG EEV 2009, Volvo EEV 2009 ja Scania EEV 2008 on koottu *Liitteen 3. taulukkoon 1*. Tuloksia tarkasteltaessa on syytä ottaa huomioon, että Scania –bussi edusti EEV –päästöluokitukseltaan huolimatta PM –päästötason osalta erittäin huonosti toimivaa ajoneuvoa, koska tämän vm. 2008 auton ajomäärä oli n. 300 000 km.

MAN CNG EEV –auton PM-päästötaso oli luokkaa 1 mg/km Braunschweig-syklissä. Riittävän näytemäärän saamiseksi näin vähäpäästöisestä autosta PAH –analyysihin kerättiin 9-18 suodatinta 3-6 ajokokeesta. Siitä huolimatta PAH -analyysitulokset olivat käytännössä kaikkien komponenttien osalta 0 –tulos, sillä havaitut pitoisuudet olivat erittäin pieniä, likimain mittauserävarmuuden luokkaa. Oman epävarmuustekijänsä tuo analyysihin myös havainto, että kaasutunnelitausta oli 20-25 % PM -päästöä.

Myöskin sekä Volvo EEVn että Scania EEV 2008:n karsinogeenisten PAH –yhdisteiden määrä oli vähäinen. Fluoropore-suodattimille kerättyjen näytteiden analyysitulosten perusteella molempien autojen pakokaasuissa esiintyi likimain sama määrä bents[a]antraseenia (n. 1.2 µg/km) ja kryseeniä (n. 0.3 µg/km). Muita karsinogeneja ei esiintynyt.

Eniten fenantreenia ja sitä raskaampia PAH-yhdisteitä ( $\mu\text{g}/\text{km}$ ) oli Scania EEV 2008 –bussin päästössä, mikä on odotettavaa bussin korkean PM-päästötason vuoksi.

Scania EEV 2009–auton Fluoropore- ja TX40-suodattimilta analysoiduista PAH-yhdisteistä voidaan todeta, että TX40-suodatin pidättää Fluoroporea selvästi huonommin pienimolekyylipainoisia PAH-yhdisteitä naftaleenista fluoreeniin. Sitä raskaampien PAH-yhdisteiden osalta pitoisuudet molemmista suodatintyypeistä olivat yhtenevät, fenantreenista kryseeni/trifenyleeniin. Vertailun vuoksi taulukossa (Liite 2) on myös vastaavan uuden EEV-päästötason maakaasubussin PM –emission PAH-päästöt. Tunnelitausta huomioituna PAH-yhdisteitä ei esiinny lainkaan määritystarkkuuden rajoissa.

Edellä mainittuihin analyysihin riittävien hiukkasmassojen saamiseksi vähäpäästöisten ajoneuvojen PM-keräys on tehtävissä suurikapasiteettisilla hiukkaskeräimillä. Membraanisuodatin, esim. Fluoropore, pidättää luotettavasti (ja toistettavasti) hiukkasmassaa, joten sen käyttö on suositeltavaa suurilla keräysnopeuksilla suurta vastapainetta aiheuttavan standardilasikuitusuodattimen sijaan (esim. TX40). Ei-kiinteän aineen keräytymistä em. suodatintyypeille ei kuitenkaan ole systemaattisesti tutkittu. Molemmat laadut ovat ISO8178:2006-standardin hyväksymiä sallituissa pintanopeuksissa.

*Liitteen 3. taulukossa 2.* ovat Ames-mutageenisuustestin tulokset OECD –ohjeen mukaisesti taulukoituna. Ames-kokeen tulos voidaan siis ilmoittaa myös pelkästään muodossa ”mutageeninen” tai ”ei-mutageeninen”, eli näytteen todetaan joko aiheuttavan mutaatioita tai ei. Tulos saadaan vertaamalla näytteen aikaansaamaa ns. pistemutaatioiden eli revertanttien lukumäärää kontroleihin. Näyte tulkitaan mutageeniseksi, jos revertanttien lukumäärä maljalla on vähintään kaksinkertainen kontrollinäytteeseen verrattuna ja lisäksi annoksen (pitoisuuden) ja revertanttivasteen välillä on positiivinen korrelaatio.

Jos pitoisuuksia käytetään riittävän suuressa skaalassa, tulos on lopulta sigmoidinen, S-muotoinen käyrä. Eli tarpeeksi pienillä pitoisuuksilla saadaan vasteita, jotka eivät eroa toisistaan ja toisaalta, kun pitoisuudet ovat tarpeeksi suuria, saavutetaan testissä jonkinlainen kyllästyspiste, jolloin konsentraation lisääminen ei enää lisää revertanttien määrää. Jos korrelaatiota ei ole, vaikka revertanttien määrä on yli kaksinkertainen kontrolliin verrattuna, tulos voi olla väärä positiivinen (väärä mutageeninen). Aiheesta tarkemmin raportissa *VTT-R-00498-11*.

*Liitteen 3. taulukossa 2.* on esitetty vertailumielessä rinnakkain kahden laboratorion tulokset samoista näytteistä, jotka otettiin Volvo- (EEV) ja Scania- (EEV, 2008) autoista. Näytteiden käsittely käy ilmi po. taulukon alaviitteistä.

Tulosten mukaan autojen karsinogeenisten PAH:ien pitoisuudet ja Ames –vasteet olivat lähellä toisiaan Braunschweig –kokeessa, mutta kumpiakin oli niukasti.

Mutageenisuutta osoittavat näytteet ja annokset on merkitty keltaisella. VTT:n ja rinnakkaisen laboratorion tulokset mutageenisilla annoksilla 0.4 – 0.8 mg PM / malja ovat jokseenkin yhtenevät (0-kontrollia ei ole vähennetty). Näytteiden osalta, joilla revertanttien lukumäärä seurasi hyvin konsentraatiota alemmilla kuin mutageenisuutta osoittavilla pitoisuuksilla, olisi suurempaa näytepitoisuutta käytettäessä todennäköisesti myös saatu mutageenisia tuloksia. Kaikkien positiivistenkin näytteiden mutageenisuus oli alhaisella tasolla ja vaati esiin tullaan 0.6 – 0.8 mg / malja -annoksen. Vain Scania EEV 2008:n (EGR + hapetuskatalysaattori) PM-päästö oli lievästi mutta selvästi mutageenista. Tähän viittaa myös karsinogeenisten PAH-yhdisteiden esiintyminen samanaikaisesti. Lisäksi tämän Scania EEV 2008-auton Braunschweig -kokeen PM-päästötaso oli korkea n. 150 mg PM/km.

Kiinnostavaa on, että Scania EEV 2008:n Ademe -kokeen PM-hiukkasmassa oli selvästi mutageenisempi kuin Braunschweig -kokeen. Mutageenisuudessa oli havaittavissa sekä NO<sub>2</sub>-PAH-yhdisteiden vaikutusta (TA98-S9 vs. TA98NR-S9) että hiukan normaalien PAH-yhdisteiden (TA98+S9). Valitettavasti Ademe-kokeiden PM-suodattimista ei analysoitu PAH-yhdisteitä. MAN CNG -auton ”hiukkaspäästöä” ei myöskään Ames -testattu. Riittävän näytemäärä kerääminen niin vähäpäästöisestä autosta olisi ollut käytännössä mahdotonta, ja lisäksi tunnelitaustan luotettava eliminointi po. päästötasolla ei todennäköisesti ole mahdollista.

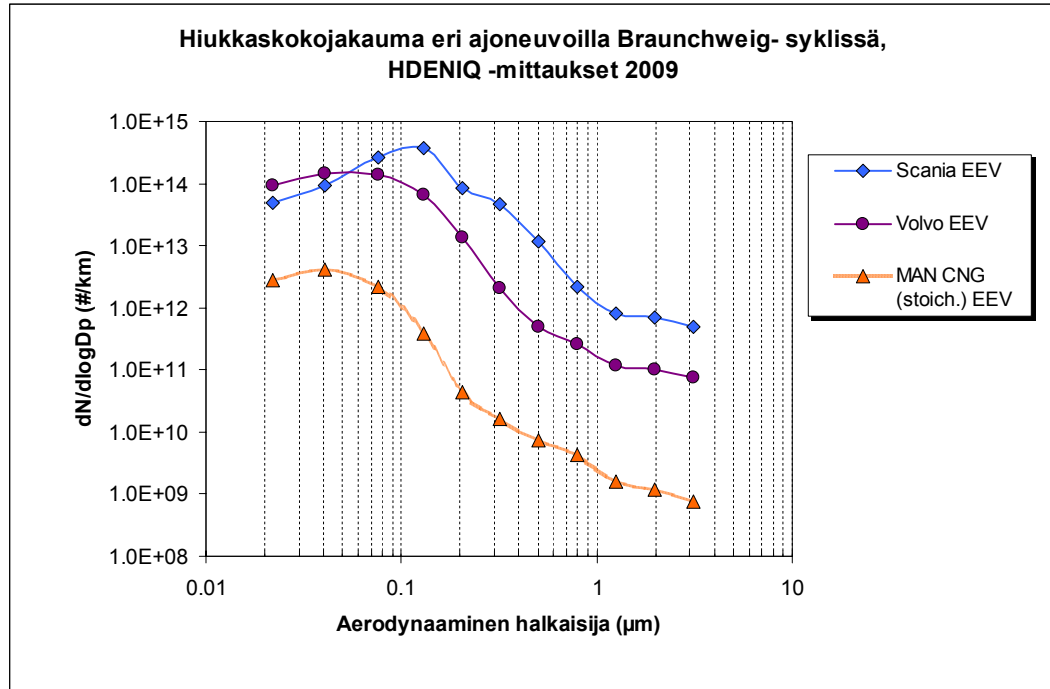
### 5.5.2 Hiukkaslukumäärät: ELPI

Hiukkaskokojakaumat ja kokonaislukumäärä mitattiin ELPI-mittalaitteella. Mittalaite luokittelee alipaineimpaktorissa hiukkaset eri kokoluokkiin aerodynaamisen halkaisijan mukaan. Pakoputkesta imetty näyte laimennettiin kahdessa vaiheessa siten, että primäärilaimentimena käytettiin huokoisen putken laimenninta ja sekundäärilaimentimena ejektorilaimenninta. Kokonaislaimennussuhde (Dr) oli 40 (huokoinen putki 11.5 ja ejektori 3.5). Laimennussuhde määritettiin mittaamalla laimentamattoman pakokaasun ja laimennetun näytteen CO<sub>2</sub> -pitoisuudet.

*Kuvassa 49* on esitetty vuonna 2009 mitattujen bussien hiukkaskokojakaumat. Kuvasta nähdään, että maakaasua polttoaineena käyttävän ajoneuvon (MAN CNG) hiukkaspäästöt ovat noin 2 kertaluokkaa pienemmät kuin dieselajoneuvojen (Scania EEV 2008, Volvo EEV). Myös dieselajoneuvojen hiukkasten lukumäärät eroavat toisistaan eri kokoluokissa. Scanian hiukkaslukumäärät ovat Volvoon verrattuna selkeästi korkeammat, kun tarkastellaan yli 100 nm hiukkasia, joilla on suuri merkitys hiukkasmassan kannalta. Tulos korreloi massamittausten kanssa, joissa Scaniaalle mitattiin noin kolminkertaiset PM-päästöt Volvoon verrattuna.

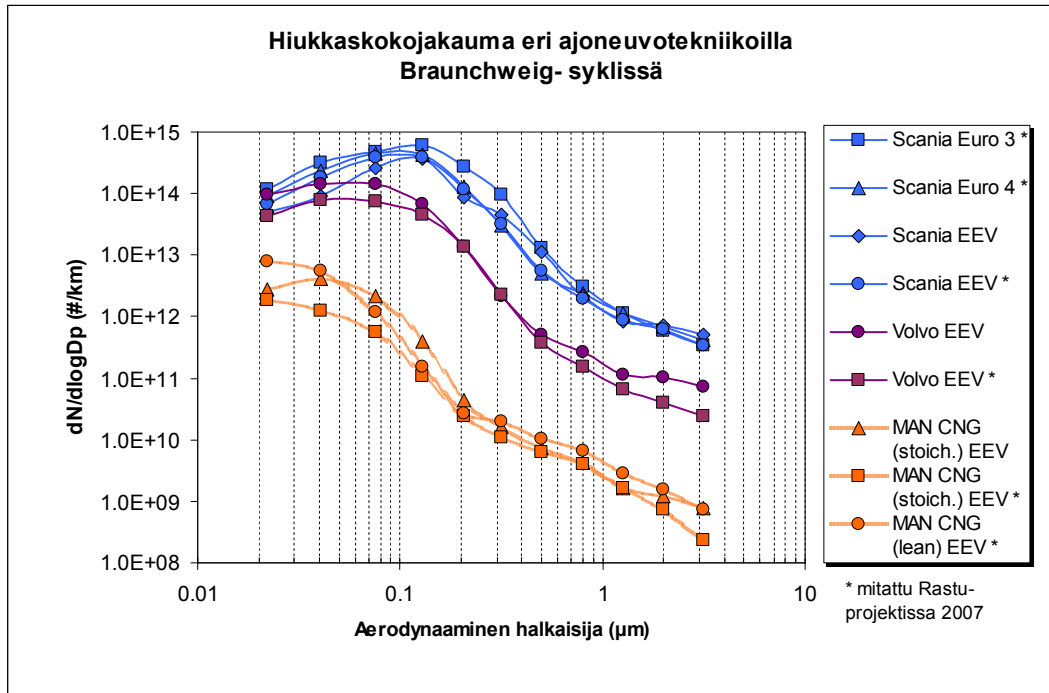
Kokojakaumista nähdään myös, että jakauman huippu eri ajoneuvoilla on eri kohdassa. MAN:n huippu on noin 40 nm, Volvon välillä 40-70 nm ja Scanian välillä 80-110 nm. Ajoneuvojen väliset erot jakauman huipun paikassa ovat loogisia suhteessa PM -päästöön, koska on yleisesti tiedossa, että pienimpien, n.

$D_a < 60$  nm, aerodynaamisten hiukkasten vaikutus hiukkasmassaan on hyvin pieni. Samaten vaikutus pienenee, kun hiukkasen aerodynaaminen halkaisija ( $D_a$ ) nousee yli  $n. > 250$  nm:n (ks. raportti VTT-R-00498-11). PM -päästöt näin ollen tukevat kokojakaumatuloksia, sillä MAN CNG-autossa PM-päästö oli selkeästi pienin ja Scaniassa suurin.



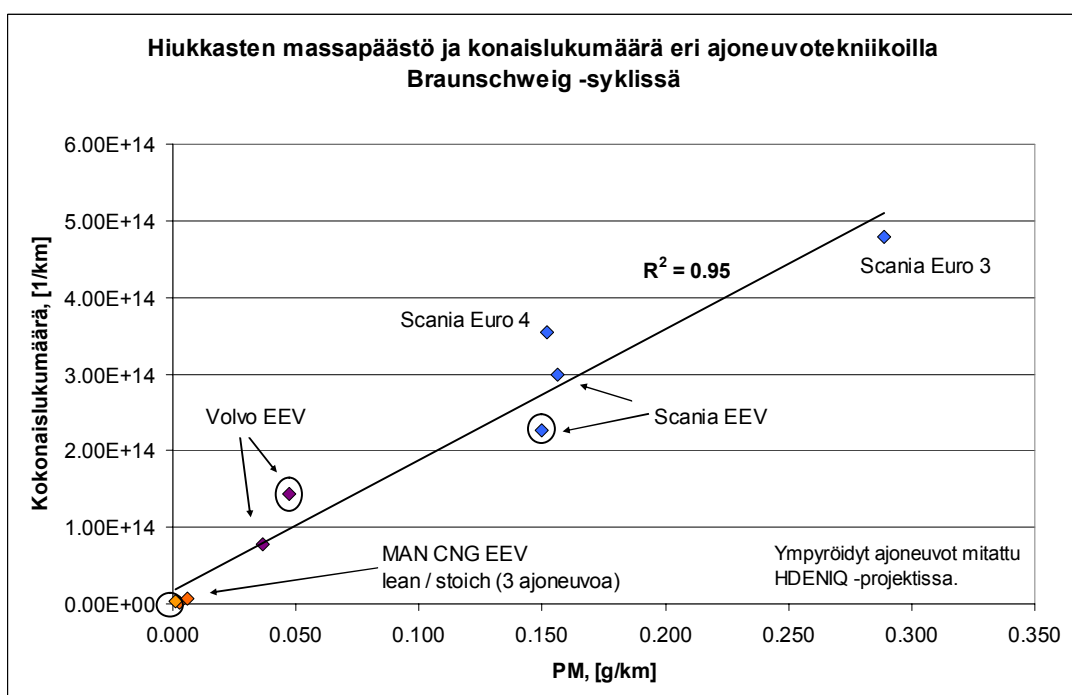
Kuva 49: Eri kaupunkibussien hiukkaskokojakaumat, mitattu HDENIQ – projektissa 2009. Scania on EEV –auto vm. 2008.

Vuoden 2009 kokojakaumatulokset tukevat RASTU–projektin tuloksia, jotka on aiemmin esitetty mm. raportissa VTT-R-4084-09. Kuvassa 50 onkin esitetty rinnan nyt HDENIQ-projektissa ja jo aiemmin ja RASTU -projekteissa mitattujen bussien hiukkaskokojakaumat. Kuvassa y-akselin logaritminen asteikko häivyttää ajoneuvoryhmien sisäiset erot, mutta kuvasta ovat selkeästi nähtävissä ajoneuvoryhmien väliset erot.



Kuva 50: Eri kaupunkibussien hiukkaskokojakaumat, mitattu RASTU- ja HDENIQ –projekteissa vuosina 2007 ja 2009. Scania on HDENIQ -EEV –auto vm. 2008.

Hiukkasten kokonaislukumäärän ja massaemission (PM) välillä todettiin selkeä korrelaatio jo RASTU-projektin yhteydessä. Vuoden 2009 HDENIQ -mittaukset vahvistivat edelleen tätä tulosta. Kuvassa 51 on esitetty molemmissa projekteissa mitattujen bussien kokonaislukumäärä- ja PM-tulokset. Kuvasta nähdään, että ääripäitä edustavat maakaasu- ja Scanian Euro3 -ajoneuvot. Kuvasta on myös nähtävissä, että Scanian Euro4- ja EEV- mallit eivät hiukkasmassapäästöjen osalta eroa toisistaan.



*Kuva 51: Hiukkasten kokonaislukumäärän ja PM-emission välinen korrelaatio HDENIQ- ja RASTU –projekteissa.*

### 5.5.3 Kaasumaiset sääntelemättömät päästöt: HC ja aldehydierittely

Taulukossa 10 on esitetty kaasukromatografiseen (GC) analyysiin perustuva erittely hiilivetyypäästöistä MAN (2009, TWC)-maakaasuautolle (CNG) ja Volvo (2009, SCR)-dieselautoille. Siinä on mukana yhdisteet, joissa on enintään 8 hiiliatomia (C<sub>8</sub>).

*Taulukosta* nähdään, että emissiossa on lämpötila-alueella 25-30 °C kaasumaisia hiilivetyjä ainoastaan metaania. Pierburg AMA4000-analysaattorin antama metaanipitoisuus (AMA Metaani) on 10-30 % korkeampi kuin GC:n, mutta syy ei ole tunnettu. Samaten AMAn määrittämä kokonaishiilivetyypitoisuus (AMA THC) sisältää myös muita kuin taulukossa analysoituja kaasumaisia hiilivetyjä, eli aerosolin aineosia, jotka ovat kaasufaasissa n. 190 °C:n lämpötilassa, mutta eivät näy GC –analyysissä lämpötila-alueella 25-30 °C.

Taulukko 10. Vuosimallin 2009 EEV –bussien (MAN ja Volvo) GC-hiilivetyerittely sekä AMA4000:n analyysaattorilla mitatut hiilivedyt. Braunschweig-ajokoe.

koe #	MAN			Volvo			
	29R518 [mg/km]	29R519 [mg/km]	29R524 [mg/km]	29R525 [mg/km]	29R527 [mg/km]	29R541 [mg/km]	29R542 [mg/km]
AMA THC	417	368	185	144	178	16.8	23.7
AMA Metaani	293	234	115	133	151	0.0	0.0
Metaani	271	213	92	111	113	1.4	2.7
Etaani	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Eteeni	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Propaani	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Propeeni	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Asetyleeni	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Isobuteeni	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1,3-Butadieeni	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Bentseeni	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tolueneeni	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2

taustailman analyysitulokset  
rinnakkaisesta kokeesta

Taulukossa 11 on esitetty karbonyyliyhdisteiden tulokset kaikille kolmelle mitatulle EEV-bussille.

Taulukko 11. Kolmen EEV –bussin karbonyyliyhdiste-erittely (Scania EEV 2008).

Koe	Auto	Poltto- aine	Sykli	FA	AA	Ac	Acro	PrA	CrA	BuA	BzA	VA	mTol	HexA
				mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km
29R518	MAN	CNG	Br 50 %	2.75	0.52	1.46	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29R519	MAN	CNG	Br 50 %	2.66	0.47	0.99	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29R541	VOLVO	DIKC 0/-10	Br 50 %	4.99	1.17	0.16	0.00	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29R542	VOLVO	DIKC 0/-10	Br 50 %	6.04	1.40	0.46	0.00	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29R616	SCANIA	DIKC -0/-10	Br 50 %	8.17	1.34	6.46	0.00	34.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29R617	SCANIA	DIKC -0/-10	Br 50 %	9.20	1.62	30.0	0.00	41.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Taulukon 11 mukaan analysoitavissa olevia aldehydipitoisuuksia kaikista EEV-busseista olivat form-, aset- ja propionaldehydi, ja lisäksi ketonina asetoni. Toimivien EEV –bussien aldehydipitoisuudet ovat hyvin samalla tasolla kuin aiempien vastaavien, vuosimallia 2007-2008 olevien autojen, jotka on esitetty raportissa VTT-R-04084-09.

EEV-tasoisilla CNG- ja dieselajoneuvoilla (vm. 2007-2009) aldehyditaso on siis molemmassa koeryhmissä suunnilleen samanlainen, ja on hyvin matala testattuihin Euro III-IV –tason busseihin verrattuna. Myöskin paljon ajatun ja huonosti toimivan, vm. 2008 Scania EEV auton FA- ja AA –pitoisuudet olivat kohtuullisen pieniä, mutta PrA –pitoisuus sen sijaan oli hyvin korkea.

#### 5.5.4 Säätlemättömät kaasumaiset päästöt (FTIR-analyysi)

Säätlemättömät kaasumaiset päästöt mitattiin CNG –autosta ja SCR-Volvosta Gasmetin FTIR –laitteella 50 % kuormalla Braunschweig –syklillä ajatussa kokeessa. NO<sub>2</sub>:n havaitsemisraja on 2 til-ppm (työssä). NO<sub>2</sub>/NO –suhde on laskettu taulukon arvoilla. Yhteenvedo tuloksista on esitetty taulukossa 12.



SCR-jälkikäsitteilyllä varustetusta dieselautossa (Volvo) ei esiintynyt reagoimatonta ammoniakkia (ns. ammoniakki-slippiä, joka on merkki urealisäaineen liian suuresta syöttömäärästä) mittaustarkkuuden rajoissa. Myös  $\text{NO}_2/\text{NO}$  -suhde oli kohtuullinen, kun  $\text{NO}_2$ :n osuus oli tasolla 11-13 %. Sen sijaan CNG-MAN -bussin  $\text{NH}_3$  -pitoisuus oli korkea, n. 100 til-ppm. Tämä nyt mitattu pitoisuus on noin kaksinkertainen verrattuna kahden aiemman MAN CNG -EEV -bussin tuloksiin ( ks. raportti /VTT-R-04540-09/).

Syytä ammoniakkin syntymiseen kolmitoimikatalysaattori (TWC)- ja laihaseos-CNG -autoista ei tiedetä, mutta todennäköisesti se syntyy huonosti toimivassa katalysaattorissa typen pelkistykseen liittyvien reaktioiden jäädessä vajaiksi.

Scania EEV (2008) -auton FTIR-analyysin tuloksissa huomiota herättää myös erittäin korkea  $\text{NO}_2$  -osuus, n. 43 % kokonais- $\text{NO}_x$  -päästöstä, kun auton hapetuskatalysaattori hapettaa voimakkaasti  $\text{NO}$ :ta edelleen. Myös MAN CNG-auton FTIR:llä mitattu  $\text{NO}_x$ -pitoisuus on moninkertainen CVS-näytteenkeräyksellä ja AMA4000-analysaattorilla määritettyyn norminmukaiseen mittaustulokseen verrattuna. Syy mittalaitteiden väliselle erolle ei ole tunnettu, eikä sitä projektin voimavarojen puitteissa katsottu tarpeelliseksi selvittää.

Taulukko 12. Kaasumaisia päästökomponeentteja, FTIR-analyysi.

	MAN EEV 2009				Volvo EEV 2009		Scania EEV 2008
	29R518	29R519	29R524	59R525	29R541	29R542	29R616
$\text{NH}_3$ , ppm	104	118	85	100	< 3	< 3	< 3
$\text{CH}_4$ , ppm	20	21	19	21	< 2	< 2	< 2
$\text{NO}_2$ , ppm	1.4	1.4	0.4	0.6	13.0	11.0	143
$\text{NO}$ , ppm	77	91	77	82	137	135	191
$\text{NO}_2/\text{NO}$ , %	1.9	1.6	0.5	0.7	9.5	8.1	75 %

## 6 Raskaan kaluston elinkaaren hallinta (Turun AMK)

### 6.1 Autojen ylläpito

Ajoneuvojen teknisen kunnan ylläpitäminen on osa elinkaaren hallintaa, ja sillä on myös suora yhteys liikenneturvallisuuteen. Teknisen kunnan varmistamiseksi katsastustoiminnalla on merkittävä rooli. Tutkimushankkeen tavoitteena on kehittää raskaiden ajoneuvojen jarrujen katsastusmenetelmiä siten, että saadaan nykyistä luotettavampi kuva niiden teknisestä kunnosta entistä kustannustehokkaammin. Katsastustoimintaan ja erityisesti jarruihin liittyvää tutkimusta tehdään HDENIQ-kokonaisuudessa TraFin toivomuksesta ja TraFin rahoituksella.

Nykyisin käytössä olevien menetelmien tarkkuudessa on toivomisen varaa, koska eri valmistajien laitteilla tehdyt jarrutarkastukset samalle autoyksilölle saattavat antaa tuloksia, jotka poikkeavat toisistaan runsaastikin.

Erityishuomio asetetaan sähköisesti ohjattujen paineilmajarrujen tarkastusmenettelyyn. Tavoitteena on laatia suositus raskaiden ajoneuvojen katsastusmenettelyn uusista käytännöistä, joissa erityishuomio on asetettu jarrutarkastukseen. Kehitetyjä uusia käytäntöjä voidaan esitellä myös muille Pohjoismaille mahdolliseen yhdenmukaiseen menettelyyn siirtymistä varten.

#### 6.1.1 Vuoden 2010 työt

##### Ruotsin ja Norjan jarrutarkastusten selvittäminen

Ruotsissa ja Norjassa käytettäviä testausmenetelmiä selvitettiin kirjallisen materiaalin ja käytettävissä olleiden tutkimusraporttien pohjalta. Vuonna 2004 tehdyssä tutkimuksessa, jossa tutkittiin raskaiden ajoneuvojen jarrutarkastuksia Ruotsissa, oli käytössä niin sanottu yhden pisteen tarkastusmenetelmä. Myöhemmin kuitenkin Ruotsissa on luotettavuuden parantamiseksi siirrytty käyttämään kahden pisteen mittausmenetelmää. Ruotsissa ei päädytty Suomessa käytettävään pienimmän neliösumman menetelmään, koska kahden pisteen menetelmän vaatimien laitteiden hankintakustannukset ovat edullisemmat.

Mittausmenetelmissä ja arviointikriteereissä on maiden välillä eroavaisuuksia, merkittävin ero on kuitenkin käytetyissä laskentamenetelmissä. Eri laskentamenetelmillä jarrudynamometrillä saatuja hidastuvuuksia verrattiin 2004 tehdyssä tutkimuksessa tiehidastuvuusmittauksissa saatuihin hidastuvuuksiin. Jarrudynamometrillä laskennallisesti saadut hidastuvuudet olivat suurempia kuin tiehidastuvuusmittauksissa.

Tutkimuksessa oli selvitetty myös lämpötilan vaikutusta jarrujen suorituskykyyn. Lämpötilan vaikutusta tarkasteltiin tiehidastuvuusmittauksen yhteydessä: saavutettava hidastuvuus kasvoi aluksi jarrujen lämpötilan noustessa. Lämpötilan ollessa välillä 60 - 95 °C saavutettu hidastuvuus pysyi lähes vakiona. Lämpötilan edelleen noustessa hidastuvuus alkoi laskea.

## Tienvarsitarkastusten tilastojen käsittely

Tievarsitarkastuksiin liittyen tutkittiin tausta-aineistona Ajoneuvohallintokeskuksen 2007 julkaisemaa raporttia tienvarsitarkastusten vaikuttavuudesta ja Ajoneuvohallintokeskuksen 2009 julkaisemaa raporttia raskaiden ajoneuvojen kunnan ja kuorman vaikutuksesta liikenneturvallisuuteen. Jo viime vuonna saadut tulokset jarrujärjestelmissä olevista vioista vahvistuivat näiden raporttien perusteella. Jarrujärjestelmävikoja osoittautui olevan noin 15 %:ssa autoista.

Vuonna 2009 tehdyssä tutkimuksessa oli haastateltu myös kuljettajia. Haastatteluissa kuljettajat ovat korostaneet jarrujen kunnan merkitystä, sillä jarruvikojen havaitseminen on kuljettajalle vaikeaa etenkin hyvissä olosuhteissa ajettaessa. Ajosuoritteiden ja tilastojen perusteella raportissa ehdotetaan kolmea vuotta vanhemmille raskaille ajoneuvoille vuosikatsastusten välissä kevyempää tarkastusta, jossa tarkastettaisiin jarrujärjestelmän kunto.

## Katsastuksen tilastojen käsittely

Katsastukseen liittyvää tilastotietoa selvitettiin A-katsastuksen ja K1-Katsastajien vikatilastojen pohjalta. Vuoden 2009 em. kahden katsastusketjun yhteenlasketuissa tilastoissa oli kaikkiaan 87 300 raskaan ajoneuvon katsastusta.

Vikatilastoissa käsitellään suhteellisen yksityiskohtaisesti katsastuksen yhteydessä eri komponenteissa havaittuja vikoja. Kaikkiaan em. 87 300:ssa raskaassa ajoneuvossa oli havaittu 23 180 jarrujärjestelmään liittyvää vikaa.

Sähköisesti ohjattuihin jarrujärjestelmiin liittyviä vikatapauksia oli koko aineistossa vain 17 kpl, joista 11 kpl oli merkkivalon ilmaisemia vikoja ja 6 kpl oli EBS-modulaattoriventtiilin vikoja. Sähköjarruihin liittyviä vikatyyppejä esiintyi siis vain kahta erilaista.

Sähköjarrujärjestelmä saattaa olla osallisena muihinkin vikoihin, mutta sitä ei katsastustilastojen perusteella pystytä osoittamaan. Myös vikojen erilaiset kirjaimismenetelmät saattavat vaikuttaa tilastoista saataviin tuloksiin. Esimerkiksi EBS-modulaattoriventtiilin vika saattaa olla joko mekaaninen, sähköinen tai sen kiinnitys voi olla puutteellinen.

## Huoltohistoriatietojen selvittäminen

Huoltohistoriatietoja selvitettiin Schenker Cargo Oy:n Turun kaluston huolto-raporttien perusteella. Erityisesti keskityttiin sähköisesti ohjattuihin jarrujärjestelmiin ja niissä havaittuihin vikoihin. Saimme käyttöömmme 75 ajoneuvon huolto-raportit kymmenen vuoden ajalta. Huolto-raporttien perusteella erilaisia jarrujärjestelmiin liittyviä sähkövikoja oli 34 % kaikista vioista. Tyypillisin havaittu sähkövika oli ABS/EBS-pistoke vika (68 % kaikista sähkövioista). Myös kaikista jarrujärjestelmiin liittyvistä vioista ABS/EBS-pistoke oli yleisin (30 %).

Ajoneuvojen huoltojen ajankohtaa verrattiin myös niille suoritettuihin määrä-aikaiskatsastuksiin. Tällä pyrittiin selvittämään, onko auto jouduttu viemään jarruvian takia korjaamolle pian katsastuksen jälkeen, jolloin jarrut todennäköisesti olisivat olleet vialliset jo autoa katsastettaessa. Tällaisia tapauksia ei juurikaan havaittu.

Huoltohistorian perusteella tietojen saaminen jarrukorjauksista osoittautui haasteelliseksi, koska korjaustiedot olivat tallennettuna korjaamo-ohjelmistoihin kaikkien muiden huolto- ja korjaustoimenpiteiden kanssa. Eri nimikkeillä kirjattujen jarrukorjausten poimiminen erilleen osoittautui varsin työlääksi tässäkin mittakaavassa.

### Korjaamohaastattelut

Jarrukorjauksia suorittavien korjaamoiden haastatteluilla pyrittiin selvittämään korjaamojen näkemyksiä nykyisistä tarkastusmenetelmistä. Haastatteluja suoritettiin Turun alueella toimivissa jarrukorjaamoissa. Lähinnä pyrittiin keskittymään sähköisesti ohjattuihin jarrujärjestelmiin.

Haastatteluissa ilmeni, että korjaamojen ja katsastusasemien tarkastusten tulokset olivat pääsääntöisesti yhteneviä. Joitakin vikoja oli havaittu korjaamolla, joita katsastuksessa ei oltu pystytty havaitsemaan. Esimerkiksi jousipalkeen painetunnistimen lähettämää väärää painetietoa ei katsastuksessa pystytä havaitsemaan. Vika on havaittavissa vasta järjestelmätesterin avulla.

Kyselyssä tiedusteltiin myös tarkastusvälin tihentämisestä. Tähän kysymykseen kaikki vastasivat nykyisen välin olevan sopiva. Keskusteluissa ilmeni myös yhden korjaamon asiakkaiden siirtyminen puolivuotistarkastuksista kerran vuodessa tehtäviin tarkastuksiin.

### Schenker Cargo Oy kuljettajakysely

Kysely toteutettiin autoinsinöörin opinnäytetyön yhteydessä. Tarkoituksena oli tutkia raskaan kaluston jarrujärjestelmän ongelmakohtia ja ongelmien laatua. Tarkoituksena oli myös selvittää, miten ongelmatilanteissa kuljetusyrityksessä on toimittu ja miten ne on ratkaistu. Lähtökohtana työlle oli ammattikuljettajille tehty kyselytutkimus.

Kyselyssä kerättiin kuljettajilta tietoa ja näkemyksiä raskaan kaluston jarrujärjestelmän toimivuudesta. Samalla kyseltiin mielipiteitä tienvarsitarkastuksista ja raskaan kaluston katsastuksista.

Ajotietokoneen ilmoittaman vian oli havainnut vuoden aikana lähes puolet kuljettajista. Vetoauton ja perävaunun jarrujen välisen epätasapainon oli havainnut yli puolet kuljettajista. Tyypillisin kuljettajien havaitsema yksittäinen vika oli perävaunun ja auton välinen sähkökytkentä. Yli puolet kuljettajista oli sitä mieltä, että tienvarsitarkastuksia oli riittävästi. Kaikki vastaajat pitivät katsastustiheyttä riittävänä ja 95 % piti katsastusta riittävän laajana.

### Uuden katsastusdirektiivin vaikutus toimintaan

Uusi katsastusdirektiivi on annettu 5. päivänä heinäkuuta 2010. Katsastusdirektiivi tulee pääosiltaan voimaan 31. päivänä joulukuuta 2011. Direktiivissä on uutena vaatimuksena tiehidastuvuusmittauksen suorittaminen, ellei ajoneuvoa pystytä tarkastamaan perinteisellä jarrudynamometrillä. Tämä edellyttää hidastuvuusmittalaitteen hankintaa tarkastuksia suorittaville katsastustoimipaikoille.

## **7 Joukkoliikenteen ja kuljetusten energiatehokkuuden seuranta, raportointi ja kehittäminen (TTY, VTT)**

Tässä alatehtävässä kehitetään energiatehokkuuden seuranta- ja raportointijärjestelmiä kuljetusketjuissa, luodaan energiatehokkaan ja taloudellisesti menestyvän kuljetusyrityksen toimintamalli, siihen liittyvä mittaristo ja energiatehokkuuden kehittämisen toimenpidesuunnitelmat ja hyödynnetään seuranta- ja raportointijärjestelmien tietoja yrityksissä toteutettavien energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutusten arvioinnissa.

### **7.1 Asiakaskohtainen kuljetusten päästöjen mittaaminen ja raportointi**

Vastuutaho: Tampereen teknillinen yliopisto, Tiedonhallinnan ja logistiikan laitos

Raportointi: Heikki Liimatainen

Tampereen teknillinen yliopisto tarkasteli vuoden 2010 aikana energiatehokkuuden seuranta- ja raportointia sekä tehostamistoimenpiteiden vaikutusten arviointia tavaraliikenteessä ja linja-autoliikenteessä. Molemmista osa-alueista on julkaistu loppuraportit, joiden päätelmät ja suositukset esitetään seuraavassa. Loppuraportit ovat ladattavissa seuraavista linkeistä:

Metsäpuro, P., Liimatainen, H., Rauhamäki, H., Mäntynen, J. 2011. Joukkoliikenteen energiatehokkuuden seuranta, raportointi ja kehittäminen. Sektoritutkimuksen neuvottelukunnan julkaisuja 1:2011. [[http://www.minedu.fi/export/sites/default/OPM/Tiede/setu/liitteet/SETU\\_1-2011.pdf](http://www.minedu.fi/export/sites/default/OPM/Tiede/setu/liitteet/SETU_1-2011.pdf)]

Liimatainen, H. 2010. Kuljetusalan energiatehokkuuden raportointi ja tehostamistoimenpiteiden vaikutusten arviointi. Tampereen teknillinen yliopisto. Tiedonhallinnan ja logistiikan laitos. Liikenne- ja kuljetusjärjestelmät. Tutkimusraportti 77. Tampere. 42 s. [<http://URN.fi/URN:NBN:fi:ty-201011151365>]

Lisäksi tutkimusosioista on julkaistu seuraavat konferenssiartikkelit:

Metsäpuro, P., Liimatainen, H. 2010. Joukkoliikenteen energiatehokkuus tilaajien ja tuottajien näkökulmasta. Väylät & Liikenne 2010. Jyväskylä 13.-14.10.2010.

Liimatainen, H. 2010. Shippers' Views on Environmental Reporting of Logistics and Implications for Logistics Service Providers. Logistics Research Network 2010 Proceedings. September 8-10, Harrogate, United Kingdom. 7 p.

## 7.2 Joukkoliikenteen energiatehokkuuden seuranta, raportointi ja kehittäminen – suositukset

Energiatehokkuuteen ei kaupunkien joukkoliikenteen tilaamisessa ole toistaiseksi kiinnitetty huomiota. Tilaajat kokevat, ettei heillä ole riittävää osaamista tai resursseja osaamisen hankkimiseen. He eivät myöskään ole tietoisia liikenteen energiankäytöstä. Tilaajien tulisi edellyttää energiatehokkuuden säännöllistä raportointia, sillä energiankulutustaan tarkasti seuraava liikennöitsijä on useimmiten myös energiatehokas. Energiatehokkuussopimukseen liittymistä voitaisiin myös käyttää kilpailutuksen kriteerinä. Yritykset ovat kokeilleet melko laajasti halpoja ja yksinkertaisia energiatehokkuustoimenpiteitä, (ajonopeudet, tyhjäkäynti, rengaspaineet ja taloudellinen ajotapa). Suuria investointeja vaativat toimenpiteet, kuten kevytrakenteisten tai hybridautojen hankinta, eivät ole käytössä. Niiden edistämiseksi ehdotetaan hankintatukitoiminnan käynnistämistä.

Joukkoliikenteen tilaamisessa yhteiskunnan toimenpiteet ovat toistaiseksi kohdistuneet haitallisten lähipäästöjen vähentämiseen. Kasvihuonekaasujen ja energiankulutuksen vähentäminen on kuitenkin jo noussut EU:n ja Suomen liikennepoliittisissa linjauksissa tärkeään asemaan. On myös nähtävissä, että edullisen fossiilisen energian aika alkaa olla menneisyyttä. Tämä lisää entisestään kuljetusyritysten ja koko yhteiskunnan tarvetta toimenpiteille energiatehokkuuden parantamiseksi. Suurin osa joukkoliikenteestä tuotetaan fossiilisia energiavaroja hyödyntämällä ja toiminnan ylläpitämiseksi valtion ja kaupunkien on tuettava joukkoliikennettä subventoimalla siihen. Kallistuvan energian ja kirstyvän kuntatalouden tilanteessa tarvitaan toimenpiteitä joukkoliikenteen energiankulutuksen pienentämiseksi.

Energiatehokkuuden parantamiseksi jokaisen tahon tulisi tiedostaa ja tunnistaa omissa käsissä olevat työkalut, mutta myös hahmottaa oma tehtävänsä kokonaisuuden osana. Tähän raporttiin on koottu työkaluja, joilla tilaaja ja tuottaja voivat osaltaan vaikuttaa joukkoliikenteen energiatehokkuuteen. Joukkoliikenteen tilaajien kohdalla ongelmaksi koettiin se, että heillä ei ole tällä hetkellä tarpeeksi tietoa vaikutusmahdollisuuksistaan parantaa energiatehokkuutta. Joukkoliikenteen tuottajat taas kokevat, että suurin ongelma energiatehokkuuden parantamiseksi on resurssien puute. Pienten askelten politiikka ja toimiva energiankulutuksen seuranta voisi olla avain energiatehokkuuden parantamiseen, jolloin pientenkin toimenpiteiden vaikutuksista saataisiin positiivisia kokemuksia.

### **Valtakunnan tason suosituksia**

Jatkokehitystä tarvitaan erityisesti kilpailuskriteerien tarkempaan määrittelyyn ja siihen, että löydetään keinoja kriteerien painotuksen määrittämiseen. Kilpailutuksen kriteerien tulkinnanvaraisuuden vähentämiseksi pitäisi valtakunnan tasolla tehdä määrittelyksiä esimerkiksi siitä, mitä käytännössä tarkoittavat hybridi-, kevytrakenne- ja aerodynaamisesti muotoiltu linja-auto, alhaisen vierinvastuksen renkaat tai taloudellisen ajotavan seuranta- ja kannustinjärjestelmä?

Energiatehokkuustoimenpiteiden tekemisen rohkaisemiseksi pitäisi ETS-tietopankkiin lisätä osio, jossa esitellään esimerkiksi uutta kalustoa ja

toimenpiteitä, joiden avulla liikennöitsijät ovat parantaneet energiatehokkuuttansa. ETS-tietopankkiin tulisi myös liittää sovellus, jolla liikennöitsijät voisivat ennakoida mahdollisten energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutuksia energiankulutukseen ja talouteen omalla kalustollaan. Tällaisen sovelluksen taustatiedoiksi tarvitaan runsaasti tutkimustietoa eri toimenpiteiden vaikutuksista. Tietopankin kehittämiseksi tulisi myös selvittää mahdollisuutta saada autokohtaiset poltto-aineenkulutustiedot siirrettyä suoraan polttoaineen jakelijan tietojärjestelmästä ETS-tietopankkiin. Autokohtaisilla polttoaineen maksukorteilla tämän pitäisi olla teknisesti täysin mahdollista. Myös liikennesuoritetiedon automaattinen kerääminen tankkausten yhteydessä on mahdollista telemaattisilla järjestelmillä. Tällaisia järjestelmiä on käytössä joillain yrityksillä omilla varikoillaan, jotka on varustettu polttoainesäiliöillä. Monilla suurilla yrityksillä on myös omat, yksityiskohtaisetkin ympäristöasioiden seuranta- ja raportointijärjestelmät. Tällaisten järjestelmien tietojen pitäisi olla mahdollisimman automaattisesti siirrettävissä ETS-tietopankkiin. Näillä toimenpiteillä ETS-tietopankista saataisiin yritysten näkökulmasta houkuttelevampi ja useampien yritysten raportoidessa tietopankkiin, siitä tulee käyttökelpoinen väline myös valtakunnallisten ja alueellisten tavoitteiden seurantaan.

Liikennöitsijöiden energiatehokkuustyön tukemiseksi tulisi myös käynnistää laaja tiedotus- ja koulutustoiminta, jonka kautta myös ETS-tietopankin uudet toiminnot saataisiin laajamittaiseen hyötykäyttöön. Koulutuksen lisäksi tulisi käynnistää joukkoliikenteen energiakatselmustoiminta, jonka puitteissa liikennöitsijät voisivat tehdä energiatehokkuuden kehittämissuunnitelman energia-asiantuntijan opastuksella. Energiakatselmustoiminnan vauhdittamiseksi valtio voisi korvata osan liikennöitsijälle aiheutuvista kustannuksista.

Valtion ja kuntien taloudellista tukea tarvitaan myös uusien energiatehokkaiden ajoneuvoteknologioiden käyttöönoton vauhdittamiseksi. Monissa maissa esimerkiksi hybridikaluston ostoon on saatavissa suoraa taloudellista tukea ja näistä esimerkeistä voidaan ottaa oppia myös Suomessa. Tukitoimia ei kuitenkaan tule keskittää vain yhden teknologian edistämiseen, koska eri liikennetyypeissä tehokkaimmat keinot energiankulutuksen vähentämiseksi ovat erilaisia. Kaupunkiliikenteessä korostuvat hybriditekniiikan hyödyt, vakiovuoro- ja tilausajoliikenteessä puolestaan aerodynamiikka ja kevytrakenteen tuoma massan vähennys. Julkishallinnon tuen avulla voidaan lisätä uusien teknologioiden kysyntää ja ohjata siten myös ajoneuvovalmistajien tuotekehitystä energiatehokkaaseen suuntaan.

### **Suosituksia joukkoliikenteen tilaajille**

Tilaaja-tuottaja –mallissa joukkoliikenteen tilaajat valitsevat liikennöitsijät kilpailuttamalla heitä erilaisin kriteerein. Tilaajan energiatehokkuustoimenpiteiden suhteen avainasemaan nouseekin juuri kilpailutus ja siinä käytetyt kriteerit. Tehokkaimpien vaikutusten aikaansaamiseksi energiatehokkuustoimenpiteet tulisi kohdistaa ensisijaisesti suuremmille kaupunkiseuduille. Tämän takia suurempien kaupunkien esimerkkiasemaa on korostettu ja niihin on laadittu laajempi kriteeristö kuin pienempiin kaupunkeihin. Toisaalta ympäristötavoitteiden toteutumiseen tarvitaan myös pienempiä, ympäristöystävällisyyden kannalta esimerkillisiä kaupunkeja rohkaisemaan muita.



Haastatteluiden perusteella kävi ilmi, että tilaajat eivät ole kovin tietoisia kilpailuttamansa liikenteen energiankulutuksesta. Energiankulutukseen liittyviä tietoja ei raportoida kuin Tampereella ja Helsingissä kaupungin liikelaitosten osalta. Lisäksi useimmissa kaupungeissa ei ole edes keskusteltu joukkoliikenteen energiatehokkuudesta ja sen parantamisen on ajateltu olevan vain liikennöitsijän tehtävä. Tilaajien tulisikin rohkaista tuottajiaan raportoimaan tietoja energiankulutuksesta. Tietojen hyödyntämisen ja eteenpäin raportoimisen lisäksi tämä olisi keino kertoa myös tuottajalle, että tilaaja on todella kiinnostunut liikennöintiin kuluva energiasta. Tutkimusten mukaan energiankulutustaan tarkasti seuraava yritys on todennäköisesti energiatehokkaampi kuin alan toimijat keskimäärin. Tilaajan kannalta olisi myös hyvä olla tietoinen siitä, mistä he tuottajille maksavat.

Kaupungeissa käytössä olevissa kilpailutuksen kriteereissä pääpaino on kustannuksissa ja melko pienen painoarvonsa siihen tuovat laatu- sekä ympäristöperusteiset kriteerit. Kilpailutuksessa tulisikin ottaa huomioon näiden lisäksi myös tuottajien energiatehokkuus ja kannustaa sen kehittämiseen. Energiatehokkuuden parantuessa myös liikennöinnistä aiheutuvat kustannukset pysyvät pidemmällä aikavälillä vakaampana. Energiatehokkuuden määrittely on kuitenkin monimutkaista ja sopivien kriteerien löytäminen voi olla useimmille tilaajille vaikea tehtävä. Tämän takia ministeriöiden ja alan liittojen tulisi ottaa tässä asiassa vetovastuu ja määrittellä yhteisiä ja yleisesti hyväksyttäviä toimintatapoja energiatehokkuuden huomioimiseksi joukkoliikenteen tarjouskilpailussa.

## **Suosituksia joukkoliikenteen tuottajille**

Ensisijainen toimenpide joukkoliikenteen tuottajilla on luotettavan seurantajärjestelmän käyttöönotto. Seurantajärjestelmä luo edellytykset tarkastella erilaisten toimenpiteiden vaikutusta ja se ohjaa päätöksentekoa kohti energiatehokkaampia ratkaisuita. Seurantajärjestelmä voidaan nähdä johdon työkaluna, jolla voidaan seurata kuljettajien yhden ammattitaidon osa-alueen kehittymistä ja tarvittaessa myös palkita hyvästä suorituksesta.

Liikennöitsijöiden tulisi myös hankkia tietoa erilaisista toimenpiteistä, joilla energiatehokkuutta voidaan parantaa. Kun liikennöitsijällä on tietoa toimenpiteiden vaikutuksista ja niiden tarvitsemista resursseista, on niiden käyttöönotolle paremmat edellytykset. Tiedon hankkimisessa ja jakamisessa ETS-tietopankilla onkin suuri rooli, jossa jaetut käyttäjäkokemukset rohkaisevat muita hyödyntämään erilaisia keinoja energiatehokkuuden parantamiseksi.

Pidemmällä aikavälillä liikennöitsijöiden vaatimukset energiatehokkaammasta kalustosta asettavat myös kalustonvalmistajille paineita kehittää ajoneuvokalustoa energiataloudellisempaan suuntaan. Uudempia teknologioita hyödyntävä kalusto on useimmiten perinteistä kalustoa kalliimpaa. Tähän yhtenä keinona liikennöitsijöillä on yhteishankinta. Yhteishankinnassa kaksi tai useampi liikennöitsijä ostaa valmistajalta kerralla suuremman määrän ajoneuvokalustoa, jolloin ostajan asema esimerkiksi hintaneuvotteluissa on parempi kuin yksin ostaessa.

Linja-auton mitoittaminen matkustajamäärän mukaan on sekä energiatehokkuuden että kustannusten kannalta tärkeää. Kaluston mitoittamisessa tilaajan ja tuottajan on tehtävä yhteistyötä, jotta tuottajan hankkima erikoiskalusto tulee mahdollisimman tehokkaasti hyödynnettyä.

Erityisesti kaupunkiliikenteessä tarvitaan kehitystyötä, jotta linjoilta saadaan luotettavaa tietoa matkustajaprofiileista ja kaluston käyttöä voidaan mitoittaa niiden mukaan.

### 7.3 Kuljetusalan energiatehokkuuden raportointi ja tehostamistoimenpiteiden vaikutusten arviointi – päätelmät

Tutkimuksen tuloksena määritettiin tavarankuljetusten ja logistiikan energiatehokkuussopimuksen tavoite yhtenä energiatehokkuuden lukuarvona ensimmäistä kertaa. Energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutusten arviointiin esitellään raportissa ylhäältä-alas- ja alhaalta-ylös -menetelmät ja näihin liittyvät tietolähteet. Energiatehokkuuden raportointiin ja vaikutusten arviointiin yritystasolla liittyviä seikkoja havainnollistetaan laskentaesimerkin avulla.

Ympäristöasiat, erityisesti energiatehokkuuden parantaminen ja hiilidioksidipäästöjen vähentäminen, tulevat jatkuvasti tärkeämmiksi yhteiskunnallisiksi tavoitteiksi. Kehitys näkyy myös kuljetusalalla konkreettisimmin Tavarankuljetusten ja logistiikan energiatehokkuussopimuksen muodossa. Sopimus on sinällään vahva viesti kuljetusalalle energiatehokkuuden parantamisen tarpeesta, mutta sopimuksen toimeenpanossa ja seurannassa on ratkaistavana suuria kysymyksiä. Suurimmat näistä ovat yritysten motivointi sopimukseen liittymiseksi ja energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutusten todentaminen niin yritys- kuin kansallisellakin tasolla. Nämä kysymykset liittyvät kiinteästi toisiinsa, sillä yrityksiä voisi motivoida liittymään sopimukseen, mikäli sopimuksen valtakunnallinen seurantatyökalu tarjoaisi välineitä energiatehokkuuden kehittämiseen yrityksen päivittäisessä toiminnassa.

Päivittäisen energiatehokkuustoiminnan tukemiseksi ja energiatehokkuustiedon laadun parantamiseksi työkalun pitäisi mahdollistaa matkakohtaisten energiankulutus ja lastitietojen käsittely. Matkakohtaiset tiedot mahdollistaisivat työkalun käyttämisen myös nykyisen Tiekuljetusten tavarankuljetustilaston tietojen täydentäjänä tai jopa korvaajana. Työkalu voisi korvata yritysten omia kalustonhallinnan järjestelmiä, mikäli sillä olisi suora liittymä Trafín ajoneuvorekisteriin. Työkalun pitäisi myös mahdollistaa helppo tiedonsiirto yritysten omien järjestelmien kanssa. Suomen pienyritysvaltaisessa kuljetuskentässä suurimmalla osalla yrityksistä ei kuitenkaan ole omia järjestelmiä, joten valtakunnallisella työkalulla voisi olla aidosti lisäarvoa yritysten toimintaan. Yhtenä lisäarvon lähteenä kaikille yrityksille työkalu voisi myös tarjota kertomuksia energiatehokkuuden parhaista käytännöistä ja puolueetonta tutkimustietoa tehostamistoimenpiteiden vaikutuksista. Tällaista tietoa on tuotettu runsaasti Suomessa HDenergia- ja RASTU-projekteissa sekä TransEco-tutkimusohjelmissa, mutta tiedon jakaminen ja toimenpiteiden jalkauttaminen yrityskentälle on koettu vaikeaksi.

Ilman toimivaa seurantatyökalua energiatehokkuussopimuksen seuranta on vaikeaa. Tämä on käynyt hyvin ilmi sopimuksen kahden ensimmäisen toimintavuoden aikana. Eräs esimerkki tästä on, että sopimuksen tavoite määritettiin yhtenä lukuna (3,57 tkm/kWh) ensimmäistä kertaa tässä raportissa. Määrittelyn myötä havaittiin ongelmia käytettävissä tilastoissa ja itse tavoitteen asettelun sanamuodoissa, joiden myötä energiatehokkuustavoitteesta ollaan tällä hetkellä kauempana kuin sopimustekstistä voisi päätellä.

Määrittelyihin liittyvät ongelmat vaikeuttavat energiatehokkuustyötä myös yritystasolla. Tehdyssä kyselyssä havaittiin, että kuljetusyritysten ympäristöraportoinnille on olemassa selkeä tarve kuljetusasiakkaiden keskuudessa. Tähän tarpeeseen vastaamiseksi kuitenkin tarvitaan selkeitä

pelisääntöjä esimerkiksi hiilidioksidipäästöjen asiakaskohtaiseen laskentaan kuljetustehtävissä. Työ näiden pelisääntöjen määrittelemiseksi aloitettiin tässä tutkimuksessa, mutta niin pelisääntöjen vakiinnuttamiseksi kuin muiden yllä mainittujen energiatehokkuutta parantavien toimien jalkauttamiseksi tarvitaan runsaasti kiinteää yhteistyötä alan viranomaisten, liittojen, tutkimuslaitosten ja yritysten kesken tutkimuksen ja koulutuksen saralla.

## Vuosi 2011

Vuonna 2011 joukkoliikenteen energiatehokkuuden tutkimusta jatketaan selvittämällä hybridibussien käyttökokemuksia ja vaikutuksia energiankulutukseen. Selvityksessä haastatellaan ja tehdään tutustumismatkoja eurooppalaisiin kaupunkeihin, joissa hybridibusseja on käytössä.

Tiekuljetusalan energiatehokkuuden tutkimusta jatketaan ”Tiekuljetusalan energiatehokkuuden ja hiilidioksidipäästöjen tulevaisuus (KULJETUS)” -hankkeella. Tutkimuksen tavoitteena on ennakoida Suomen tiekuljetusalan energiatehokkuuden ja hiilidioksidipäästöjen tulevaisuutta vuoteen 2016 ja 2030 nykyisten trendien valossa sekä esittää toimenpidesuosituksia energiatehokkuus- ja hiilidioksidipäästötavoitteiden saavuttamiseksi. Päättökysymys on: Miten Suomen tiekuljetusala saavuttaa sille asetetut energiatehokkuus- ja hiilidioksidipäästötavoitteet vuonna 2016 ja 2030?

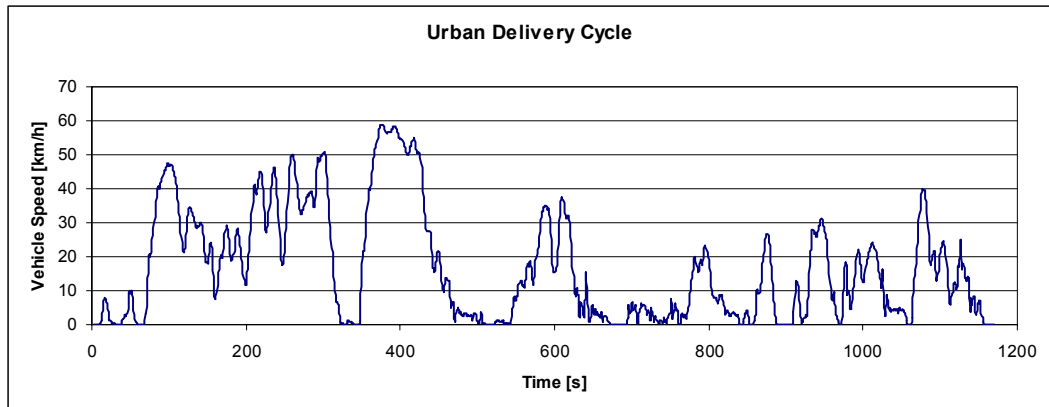
Tutkimuskysymykseen vastataan hyödyntäen neljää tarkastelutapaa, jotka ovat:

1. toimintaympäristön kartoitus (kirjallisuuskatsaus),
2. tilastotietojen tarkastelu (trendianalyysi),
3. tiekuljetusoperaattoreiden näkemysten kartoitus (laaja internet-kysely) ja
4. asiantuntijapaneelin näkemysten kartoitus (Delfoi-kysely).

Tutkimusosioiden taitekohdissa toteutetaan työpajat helmikuussa, toukokuussa ja marraskuussa. Työpajoihin kutsutaan hankkeen tutkijat, rahoittajat ja yhteistyökumppanit sekä ulkopuolisia asiantuntijoita ja sidosryhmien edustajia. Työpajoissa tarkastellaan valmistuneiden tutkimusosioiden tuloksia ja syvennetään osioissa kerättyä tietoa työpajojen osallistujien näkemyksillä.

## 8 Menetelmäkehitys (VTT)

Jakeluautojen mittauksiin kehitettiin uusi keskustajakelusykli. Kuvassa 52 oleva sykli perustuu tallenteeseen todellisesta jakeluajosta 18 tonnin ajoneuvolla Helsingin keskusta-alueella. Aiemmat jakelusyklit ovat suunnattu joko pienille kuorma-autoille (kevyen >3.5t kuorma-auton ”rullakkojakelu”) tai kehäteitä pitkin tapahtuvaan jakeluun (raskaampien max. 26 tonnin kuorma-autojen aluejakelu).



Kuva 52: Aika-nopeusprofiili keskustajakelusyklistä.

Syklin keskeisimmät ominaisuudet on esitetty Taulukossa 11. Verrattuna aluejakelusykliin, keskinopeus ja huippunopeus ovat edellä mainituista syistä keskustajakelusyklissä huomattavasti alhaisemmat.

Taulukko 13. Alue- ja keskustajakelusykliden tunnuslukuja.

	Aluejakelu	Keskustajakelu
Kesto (s)	1915	1170
Matka (km)	19.49	5.46
Keskinopeus (km/h)	36.69	16.8
Max. Nopeus (km/h)	88.80	58.9
Joutokäynti%	12.6 %	10.8 %

Kesällä 2010 tehtiin myös joukko maantiemittauksia tuuliolosuhteiden vaikutusten huomioimiseksi maantiellä tapahtuvissa ajovastusmäärittelymittauksissa. Mittauksia jatketaan kesällä 2011 ja tulokset raportoidaan 2011 vuosiraportin yhteydessä.

## 9 Projektin ohjaus

Projektia ohjaa rahoittajista ja tutkijaosapuolista koostuva johtoryhmä. Johtoryhmä kutsutaan koolle kaksi kertaa vuodessa. Projektisuunnitelmaa tarkennetaan tarvittaessa johtoryhmän päätöksellä myös projektin aikana. Näin hyvät esiin nousseet ajatukset voidaan ottaa arvioitavaksi projektin aikana.

Vuoden 2010 aikana johtoryhmä kokoontui kaksi kertaa, 27.1. VTT:llä ja 2.9. HSL:n tiloissa. Alla on listattuna osallistujatahot vuoden 2010 kokoonpanossa

- Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi (aiemmin AKE)
- Liikenne- ja viestintäministeriö LVM
- Helsingin seudun liikenne (aiemmin HKL & YTV)
- Kabus Oy
- Transpoint Oy Ab
- Nokian Renkaat Oyj
- Gasum Oy
- Itella Oyj
- Veolia Transport Finland Oy
- Neste Oil Oyj
- Proventia Emission Control Oy

Tutkimusosapuolet:

- Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT
- Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu (ent. TKK)
- Tampereen teknillinen yliopisto, TTY
- Turun ammattikorkeakoulu, Turun AMK
- Oulun yliopisto, OY

Johtoryhmän kokoonpano vahvistetaan vuosittain.

## 10 Liitteet

LIITE 1: Apulaitteiden olosuhde- ja energiankulutustutkimukseen sekä automaattinen liukkaudentunnistus –tehtäviin liittyvien tiedonkeruujärjestelmien ajoneuvo- ja anturointiluettelo

LIITE 2: Esimerkkejä VTT:n kaupunkibussien tietokannan sisällöstä.

LIITE 3: EEV-bussien PAH- ja AMES-analyysien tulokset



Taulukko 1: Ajoneuvo kohtainen apulaiteanturointi

Veolia kaupunkibussi Scania SMZ-646					
	byte 0-1	byte 2-3	byte 4-5	byte 6-7	
0x0400F117		Ilmastointikompressori			Tilatieto
0x0400F217	Paineilmakompressori				Paine
0x0400F317	Laturi 1	Laturi 2			Virta
0x0400F417	Jäähdytysneste paluu	Moottori öljypohja	Vetopyörästö	Sisätila takana	Lämpötila
0x0400F517					
0x0400F617	Jäähdytyspuhaltimen ohjaus				Pulssisuhde
0x0400F118	Ulkolämpötila	Matkustamo etu	Matkustamo keski		Lämpötila
0x0400F218	Ohjaustehostin hydr.paine				Paine
Transpoint raskaskuorma-atuo MB ZHZ-303					
	byte 0-1	byte 2-3	byte 4-5	byte 6-7	
0x0400F117		Ilmastointikompressori			Tilatieto
0x0400F217	Paineilmakompressori	Ohjaustehostin hydr. Paine			Paine
0x0400F317	Laturi	Webasto ohjaamo	Webasto kuormatila		Virta
0x0400F417	Jäähdytysneste paluu	Vaihteisto	Vetopyörästö	Ulkolämpötila	Lämpötila
0x0400F517					
0x0400F617					
0x0400F118					
0x0400F218					
Transpoint jakelukuorma-auto Scania JFS-539					
	byte 0-1	byte 2-3	byte 4-5	byte 6-7	
0x0400F117	Tuulettimen pyörimisnopeus	Ilmastointikompressori	Jäähdytyksen pakko-ohjaus		Taajuus/Tilatieto
0x0400F217	Paineilmakompressori	Ohjaustehostin hydr. Paine			Paine
0x0400F317	Laturi		Webasto kuormatila		Virta
0x0400F417	Jäähdytysneste paluu	Vaihteisto	Vetopyörästö	Ulkolämpötila	Lämpötila
0x0400F517					
0x0400F617					
0x0400F118					
0x0400F218					
Kabus pikavuorobussi CYP-761					
	byte 0-1	byte 2-3	byte 4-5	byte 6-7	
0x0400F117	Tuulettimen pyörimisnopeus	Ilmastointikompressori			Taajuus/tilatieto
0x0400F217	Paineilmakompressori				Paine
0x0400F317	Laturi	Akku	Webasto		Virta
0x0400F417	Jäähdytysneste paluu	Moottori öljypohja	Vaihteisto	Vetopyörästö	Lämpötila
0x0400F517					
0x0400F617					
0x0400F118	Ulkolämpötila	Matkustamo etu	Matkustamo keski		Lämpötila
0x0400F218	Matkustamo taka				Lämpötila
Nokian Renkaiden testiajoneuvo Volvo EJZ-215					
	byte 0-1	byte 2-3	byte 4-5	byte 6-7	
0x0400F117		Ilmastointikompressori			Tilatieto
0x0400F217	Paineilmakompressori	Ohjaustehostin hydr. Paine			Paine
0x0400F317	Laturi	Webasto ohjaamo			Virta
0x0400F417	Jäähdytysneste paluu	Vaihteisto	Vetopyörästö	Ulkolämpötila	Lämpötila
0x0400F517					
0x0400F617					
0x0400F118					
0x0400F218					
Kabus kaupunkibussi TJY-443					
	byte 0-1	byte 2-3	byte 4-5	byte 6-7	
0x0400F117	Tuulettimen pyörimisnopeus	Ilmastointikompressori			Taajuus/tilatieto
0x0400F217	Paineilmakompressori				Paine
0x0400F317	Laturi	Akku	Webasto		Virta
0x0400F417	Jäähdytysneste paluu	Vetopyörästö		Sisätila takana	Lämpötila
0x0400F517					
0x0400F617					Pulssisuhde
0x0400F118	Ulkolämpötila	Matkustamo etu	Matkustamo keski		Lämpötila
0x0400F218	Ohjaustehostin hydr.paine				Paine

LIITE 2: Esimerkkejä VTT:n kaupunkibussien tietokannan sisällöstä.

**Kaupunkibussien keskiarvotulokset kaksiakselisten ajovastuksilla, Braunschweig-syklissä, puolet nimelliskuormasta**

Päivitetty 27.12.2010

<b>Braunschweig</b>	<i>Lukum. n</i>	<i>Ajomäärä Min</i>	<i>Max</i>	<i>CO g/km</i>	<i>HC g/km</i>	<i>CH<sub>4</sub>* g/km</i>	<i>NO<sub>x</sub> g/km</i>	<i>PM g/km</i>	<i>CO<sub>2</sub> g/km</i>	<i>CO<sub>2</sub> eqv** g/km</i>	<i>FC kg/100k m</i>	<i>FC MJ/km</i>
Diesel Euro 1	2	555025	672700	1.39	0.32	0.00	15.59	0.436	1219	1219	38.6	16.4
Diesel Euro 2	13	160500	112567 4	1.60	0.21	0.00	12.86	0.213	1258	1258	40.7	17.3
Diesel Euro 3	18	15934	692092	0.85	0.12	0.00	8.48	0.209	1191	1191	38.4	16.3
Diesel Euro 4	9	6105	474152	2.96	0.10	0.00	8.36	0.112	1184	1184	38.2	16.2
Diesel Euro 5***	-			2.96	0.10	0.00	7.20	0.091	1184	1184	38.2	16.2
Diesel EEV	14	12378	307502	0.90	0.02	0.00	6.03	0.071	1126	1126	36.4	15.5
CNG Euro 2	2	211000	672946	4.32	7.12	6.76	16.92	0.009	1128	1283	42.1	20.7
CNG Euro 3	2	37600	237189	0.05	2.64	2.51	9.44	0.019	1177	1237	43.7	21.5
CNG EEV	8	1824	454460	2.00	1.11	1.05	2.99	0.008	1250	1274	46.3	22.7

 \*Maakaasuautoille käytetty CH<sub>4</sub> = THC \* 0.95, dieselille CH<sub>4</sub> = 0

 \*\* CO<sub>2</sub> ekv = CO<sub>2</sub> + 23 \* CH<sub>4</sub>

\*\*\* Euro 5 tulokset arvioitu Euro 4 tulosten perusteella

**Kaupunkibussien keskiarvotulokset kaksiakselisten ajovastuksilla, Braunschweig-sykli, puolet nimelliskuormasta**

Päivitetty 27.12.2010

<b>Braunschweig</b>	<i>Luku- määrä n</i>	<i>Ajo- määrä Min</i>	<i>Ajo- määrä Max</i>	<i>CO g/km</i>	<i>HC g/km</i>	<i>CH4* g/km</i>	<i>NOx g/km</i>	<i>PM g/km</i>	<i>CO<sub>2</sub> g/km</i>	<i>CO<sub>2</sub> ekv** g/km</i>	<i>Kulutus kg/100k m</i>	<i>Kulutus MJ/km</i>
Euro 2 Volvo	6	160500	1125674	1.16	0.14	0	12.3	0.157	1309	1309	42.5	18.1
Euro 2 MB (12l)	3	226723	484546	1.26	0.31	0	12.4	0.248	1221	1221	39.1	16.6
Euro 2 Scania	1	352440	352440	0.98	0.24	0	8.8	0.176	1268	1268	40.1	17.0
Euro 2 Renault	2	295840	489211	2.40	0.26	0	15.2	0.257	1101	1101	36.5	15.5
Euro 3 Volvo (7l)	5	22987	187313	1.31	0.02	0	8.8	0.308	1226	1226	39.4	16.7
Euro 3 Scania	9	15934	692092	0.60	0.17	0	8.3	0.154	1171	1172	37.8	16.1
Euro 3 CRT Scania	2	16630	391233	0.30	0.06	0	7.8	0.029	1216	1216	38.8	16.5
Euro 4 Volvo (7l)	2	6105	13525	6.71	0.02	0	11.4	0.083	1117	1117	35.4	15.0
Euro 4 Volvo (9l)	1	9779	9779	3.14	0.01	0	2.9	0.104	1256	1256	40.4	17.2
Euro 4 MB	1	10896	10896	1.41	0.04	0	2.6	0.058	1064	1064	35.8	15.2
Euro 4 Scania	5	101888	474152	1.78	0.14	0	8.3	0.134	1235	1235	39.8	16.9
EEV Iveco CRT	4	12378	195218	0.13	0.00	0	5.1	0.012	1078	1078	34.4	14.6
EEV Volvo	3	44619	169942	2.93	0.05	0	6.3	0.043	1087	1088	34.8	14.8
EEV Scania	7	24205	307502	0.47	0.02	0	6.4	0.117	1170	1170	38.2	16.2
Euro 2 CNG Volvo	1	211000	211000	2.87	8.96	9	17.6	0.007	1157	1345	43.2	21.2
Euro 2 CNG MB	1	672946	672946	5.76	5.27	5	16.3	0.011	1100	1221	40.9	20.1
Euro 3 CNG Volvo	2	37600	237189	0.05	2.64	3	9.4	0.019	1177	1237	43.7	21.5
EEV CNG MB	2	91340	138381	0.14	2.53	2	4.9	0.016	1586	1644	58.4	28.7
EEV CNG MAN (13l)	1	41972	41972	0.50	0.19	0	2.2	0.003	1300	1304	47.4	23.3
EEV CNG MAN (12l)	5	1824	454460	2.61	0.53	1	2.4	0.004	1156	1167	43.0	21.1
EEV CNG Iveco	1	4806	4806	2.62	1.17	1.1	2.2	0.008	1044	1071	38.3	18.8

(ind.x) = yksilöin tunniste

 \*Maakaasuautoille käytetty CH<sub>4</sub> = THC \* 0.95, dieselille CH<sub>4</sub> = 0

 \*\* CO<sub>2</sub> ekv = CO<sub>2</sub> + 23 \* CH<sub>4</sub>

Taulukko 1. EEV -bussien hiukkasfaasin PAH -emissioita.

Bus	MAN CNG EEV 2009 TWC		Volvo EEV 2009 SCR				Scania EEV 2008 (but high PM!) EGR (ox cat)				Gas tunnel background		Diesel tunnel background	
Tests	29R518p	29R518- 29R524p	29R541p	29R541	29R542	29R541- 29R542	29R616p	29R616	29R617	29R616 29R617	2.9.2009	4.9.2009	22.9.2009	22.9.2009
Tunnel	gas	gas	diesel	diesel	diesel	diesel	diesel	diesel	diesel	diesel	gas	gas	diesel	diesel
PM for analysis, mg	1.96	2.60	9.14	5.09	5.28	1.69	16.7	15.8	16.4	5.46	0.089	0.024	0.247	0.080
PM (no backgr subtr), mg/km	1.9	1.2	57.4	38.3	37.8	47.3	144.4	150.2	161.4	149.9	0.65	0.17	1.8	5.1
Filter type	FI	FI	FI	FI	FI	TX40	FI	FI	FI	TX40	FI	FI	FI	TX40
Filter size d, mm	142	142	142	142	142	47	142	142	142	47	142	142	142	47
Number of filters in analysis	9	18	1.5	1.5	1.5	2	1.5	1.5	1.5	2	1	1	1	1
Number of tests for analysis	3	6	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1
	µg/km background subtracted										µg/km	µg/km	µg/km	µg/km
Naphthalene	0.02	0.02	0.84	0.75	0.48		15.28	9.8	9.5	5.5				
2-Methylnaphthalene	0.03	0.03	1.88	1.25	1.43		32.87	17.1	20.0	6.4				
1-Methylnaphthalene	0.02	0.01	0.63	0.25	0.24		10.96	5.1	6.6	1.8				
Biphenyl	0.01	0.00	1.05	0.50	0.48		21.62	18.1	23.0	9.2				
Acenaphthyl			0.21				2.31	2.9	2.6	0.9				
Acenaphthene			0.00	0.00			0.58	0.6	0.7	0.0				
Fluorene	0.01	0.01	1.05	0.50	0.72		5.19	5.4	4.3	1.8				
Phenanthrene	0.00	-0.02	6.68	6.24	6.09	0.49	16.00	18.9	14.3	17.9	0.07	0.07	0.15	0.63
Anthracene	0.01			0.50	0.72		1.73	1.6	1.6	1.8				
2-Methylantracene	-0.02	-0.05	5.42	4.97	4.65	0.49	13.04	14.4	10.9	11.5	0.07	0.07	0.22	0.63
1-Methylphenanthrene	-0.05	0.00	1.66	1.74	2.14	0.28	3.39	3.1	3.2	5.5	0.07		0.07	
2-Phenylnaphthalene			0.42	0.25	0.24		0.86	1.3	1.0	0.9				
Fluoranthene	0.03	0.01	0.84	0.50	0.72		1.73	2.5	2.3	1.8				
Pyrene	0.06	0.02	3.98	2.99	3.08	0.56	14.27	25.8	19.9	22.9			0.15	
Benzo[a]fluorene	0.01	0.01												
Benzo[b]fluorene	0.01	0.00	1.26	1.00	0.72	0.28	6.92	17.4	11.2	11.9				
Benz[a]anthracene	-0.18	-0.19	1.19	1.19	0.88	-1.06	0.93	1.37	1.75	0.77	0.22	0.21	0.22	1.90
Chrysene/triphenylene	0.01	0.00	0.21	0.25	0.24		0.29	0.32	0.33					
Benzo[b]fluoranthene	0.02	0.01												
Benzo[k]fluoranthene		0.00												
7,12-Dimethylbenzo[a]anth														
Benzo[e]pyrene														
Benzo[a]pyrene														
Perylene														
Indeno[1,2,3-cd]pyrene														
Dibenzo[a,h]anthracene	0.010	0.00												
Benzo[g,h,i]perylene														
Coronene														

viivan alla = karsinogeenisten PAH -yhdisteiden molekyylikokoluokkaan kuuluvat yhdisteet

Taulukko 2. EEV-bussien mutageenisuusvasteet Ames –kokeessa. Keltaisella merkityt annosmäärät ovat mutageenisia.

Bus			Volvo EEV 2009 SCR		Scania EEV 2008 EGR (ox cat)						TX40 filter	FI <sup>2</sup> filter				
Tests			Mutagenicity 0 control		29R541- 29R542	29R541p 29R541	29R616p 29R616	29R616p 29R616	29R617	29R616 29R617	29R618	29R618p 29R619				
Tunnel <sup>1</sup>			diesel	diesel	diesel		diesel	diesel	diesel	diesel	diesel	diesel				
PM for analysis, mg			10.6	3.6-6.4	15.3-16.6	11.0-11.6	17.1	11.4	3.8	13.5	13.8	15.5	15.5	0	0	
PM (no backgr subtr), mg/km			38.1	38-57	144.4-150.2	144.4-150.2	161.4	161.4	149.9	204.0	204.0	232.1	232.1	0	0	
Filter type			FI	FI	FI	FI	FI	FI	TX40	FI	FI	FI	FI	TX40	FI	
Filter size d, mm			142	142	142	142	142	142	47	142	142	142	142	47	142	
Tot. no. of filters for one PM analysis			3	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2	1.5	1.5	1.5	1.5	2	2	
No. of emission tests per analysis			2 x 1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1	
Number of parallel PM samples (for triplicate dosage)			1	3	2	2	1	1	1	1	1	1	2			
Dynamometer test type			Braunshweig		Braunshweig		Braunshweig		Br	Ademe		Ademe				
Pretreatment Analysis	Lab. b	VTT	A		A		E		VTT	B		C		VTT	VTT	
	Lab. b	VTT	Lab. b	VTT	Lab. b	VTT	Lab. b	VTT	VTT	Lab. b	VTT	Lab. b	VTT	VTT	VTT	
Cell culture	0-control		Dose		rev / plate (non-corrected for blank filters or Ames 0-control)										rev / plate	
TA98-S9	rev / plate		mg PM / plate													
	0		0								43		21.3		21.3	
	30	16.3	0.05								51		28.5		28-34	
	33	29	0.1		34		23.5-30.5		26		48		34		30-37	
	36	18	0.2		37		26-31		27.5		58		46		34-35	
	average	33.0	21.1		37		27.5-34		33		77		62		42-57	
			0.6		25-30		29		29		83.5		53-57		25-26.5	
			0.8		58		27		32.5						30.5-32.5	
			0								34.3		34.3			
TA98+S9	38	32.3	0.05								47		34.3		39-41	
	42	46	0.1		51		41-47.5		35-38		43-48		52		43.5	
	39	24	0.2		46		31-49		43-51		34-43		49		41	
	average	39.7	34.1		54		41-60.5		47		33-34.5		48		36.5	
			0.4		68		56-60		36.5-43		50		28		48	
		0.6		83		54-77		75-86		25-31		64		40		
		0.8												145		
TA98NR-S9	17	28.7	0								21		21		34.3	
	19	n.d.	0.05								18		21		19-20	
	20		0.1				20.5-24.5		40		21		25.5		22-27	
	average	18.7	28.7				21-24		22.5		15		34		23-25	
			0.2				22-27.5		28		24		35		26-30.5	
		0.4				17-40		37		25		41.5		24-25		
		0.6				21.5-30.5		26.5				52		23-30		
		0.8												30.5-38.5		
compare with 0-control value (average) with the same highlight colour; consider mutagenic, if value is > 2xcontrol																
A	Ames extraction at VTT ES & DCM concentration to 50 ml, no solvent change. Whole DCM concentrate shipped to Lab b.															
B	Ames extraction at VTT ES. Ames test both at VTT and in Lab b. Extract is concentrated by VTT to 100 ml. Equal DCM liquid shares to VTT and Lab b.															
C	Ames extraction at Lab b. Equal 50 ml DCM extract shares Ames tested both at VTT and Lab b.															
E	Filters shipped to Lab b. for extraction and Ames test.															
VTT	Sample pretreated and analysed at VTT only.															
1	Tunnel background was not analysed.															
2	Fluoropore membrane filter															