



Energiatehokas ja älykäs raskas ajoneuvo – HDENIQ - Vuosiraportti 2009

Kirjoittajat: Kimmo Erkkilä, Tuukka Hartikka, Petri Laine, Matti Ahtiainen, Pekka Rahkola, Nils-Olof Nylund, Kari Mäkelä, Maija Lappi, Kai Nojonen (OY), Heikki Liimatainen (TTY)

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi Vuosiraportti 2009		
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), Tuukka Hartikka (VTT), Petri Laine (VTT), Matti Ahtiainen (VTT), Pekka Rahkola (VTT), Nils-Olof Nylund, Kari Mäkelä (VTT), Maija Lappi (VTT) Kai Noponen (OY), Heikki Liimatainen (TTY)	Sivujen/liitesivujen lukumäärä 52/0	
Avainsanat Energiankulutus, ajoneuvot, päästöt, raskaat ajoneuvot, bussit, kuorma-autot, linja-autot	Raportin numero VTT-R-04540-10	
Tiivistelmä <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.</p> <p>HDENIQ-projektin rahoitus varmistui kesällä 2009, ja varsinainen tutkimustoiminta käynnistyi alkusyksystä 2009.</p> <p>Älykkäästä linja-autosta tehtiin esiselvitys ja organisoitiin ajo-opastimen sekä automaattisen liukkauden- ja kuormantunnistuksen pilotointeja yhteistyöyritysten ajoneuvoissa.</p> <p>Alustadynamometrillä tutkittiin mm. uusimpien raskaimpien 60t Euro V –päästoluokan autojen suorituskykyä polttoaineenkulutuksen ja päästöjen kannalta. Kaupunkibussien osalta jatkettiin RASTU-projektissa aloitettua seurantamittaussarjaa ja mitattiin muutamia uusia EEV-busseja.</p> <p>Menetelmäkehitystä tehtiin ajovastusten määrittelyn tarkkuuden parantamiseksi ja palvelulinja-autojen mittaamisen mahdollistamiseksi.</p> <p>Lisäksi mitattiin mm. apulaitteiden energiantarpeita ja käynnistettiin muita projektisuunnitelman mukaisia ajoneuvoteknisiä alatehtäviä.</p>		
Luottamuksellisuus	julkinen	
Espoo 13.7.2010 Laatija	Tarkastaja	Hyväksyjä
Kimmo Erkkilä, tutkimusinsinööri	Jukka Lehtomäki teknologiapäällikkö	Satu Helynen teknologiajohtaja
Jakelu HDENiq johtoryhmä, TransEco tutkimusohjelma - http://www.transec.fi/		
VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.		

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	4
2	Tutkimuksen sisältö.....	6
3	Ajoneuvotekniikka (VTT, AALTO).....	8
3.1	Yleistä.....	8
3.2	Aerodynamiikka.....	8
3.3	Apulaitteiden energiankulutus ja päästöt.....	9
3.4	Rengastutkimus.....	11
3.4.1	Suunnitelma.....	11
3.4.2	Tulokset.....	11
4	Älykäs raskas ajoneuvo (VTT, OY).....	13
4.1	Yleistä.....	13
4.2	Ajo-opastin.....	13
4.3	Automaattinen liukkaudentunnistus.....	17
4.4	Automaattinen kuormantunnistus.....	18
4.5	Taustajärjestelmät.....	18
4.6	Tulevaisuuden älykäs raskas ajoneuvo.....	18
4.6.1	Älykkään linja-auton esiselvitys (OY).....	18
4.6.2	Älykkään kuorma-auton esiselvitys.....	20
4.6.3	Ajoneuvon tiedonkeruujärjestelmän suunnittelu ja toteutus.....	20
5	Raskaiden ajoneuvojen todellinen suorituskyky ja raskaan kaluston elinkaaren hallinta (VTT, Turun AMK).....	20
5.1	Yleistä.....	20
5.2	Uudet ajoneuvot.....	21
5.2.1	Kuorma-autot.....	21
5.2.2	Kaupunkilinja-autot.....	25
5.2.3	Palveluliikenneajoneuvojen vertailumittaukset.....	30
5.2.4	Erikoispäästömittaukset.....	33
5.2.5	Päästömittaukset maantiellä.....	36
5.3	Jälkiasennettavat pakokaasujen puhdistuslaitteet.....	36
5.4	Autojen ylläpito.....	38
5.4.1	Yleistä.....	38
5.4.2	Raskaiden ajoneuvojen jarrutarkastus katsastuksessa (Turun AMK).....	38
6	Raportointimenetelmät ja toimenpiteiden vaikutusten arviointi (TTY, VTT).....	41
6.1	Yleistä.....	41
6.2	Asiakaskohtainen kuljetusten päästöjen mittaaminen ja raportointi.....	41
6.2.1	Tavoite tai yleiskuvaus.....	41
6.2.2	Kirjallisuusselvitys.....	41
6.2.3	Kyselytutkimus.....	42
6.2.4	Suunnitelmat.....	43
6.3	Energiatohokkuustoimenpiteiden vaikutusten arviointi.....	43
6.3.1	Tavoite tai yleiskuvaus.....	43

6.3.2 Kirjallisuusselvitys	44
6.3.3 Joukkoliikenteen ETS-tietopankki	45
6.3.4 Suunnitelmat	46
7 Menetelmäkehitys (VTT).....	47
7.1.1 Ajovalustien määritys.....	47
7.1.2 Uudet ajoneuvotyypit	48
7.1.3 Uudet ajosyklit.....	50
8 Projektin ohjaus	52

1 Johdanto

Energiatehokas ja älykäs raskas ajoneuvo, 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.

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

Yleinen viitekehys tekemiselle, liittynyt muihin projekteihin ja viestintäasiat on esitetty huhtikuussa 2010 valmistuneessa TransEco-ohjelman 2009 vuosiraportissa (VTT-R-03160-10), joka on haettavissa ohjelman verkkosivuilta osoitteesta: <http://www.transeco.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. polttoainetalouksien, 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.

Alussa toiminta painottuu tutkimukseen ja päätöksenteossa tarvittavan perustiedon generointiin. Tästä siirrytään vaihtoehtoisten toimintapolkujen teknistä-taloudelliseen arvioon ja ohjaustoimien suunnittelun kautta uusien teknologioiden markkinoille tulon avustamiseen ja toivottujen toimintatapojen juurruttamiseen.

TransEcon tavoitteet määriteltiin seuraavasti:

TransEco-tutkimuskokonaisuus toimii työkaluna sopeutettaessa Suomen tieliikenne mahdollisimman kustannustehokkaasti EU-tason ja kansallisiin ilmasto- ja energiatarpeisiin. Näin kyetään myös tehokkaimmin vaikuttamaan EU:n direktiivivalmisteluun ja Suomelle sopivimpien ratkaisujen ja teknologiaviennin kehittämiseen. Keskeisiä tehtäviä ovat energiankäytön tehostaminen ja uusiutuvan (hiilidioksidipäästöttömän) energian käyttöönotto tieliikenteessä. Ohjelman avulla luodaan Suomelle uusiutuvan energian, energian säästön ja CO₂-vähennysten kehityspolut sekä identifioidaan tärkeimmät sellaiset keinot, joilla kehitystä voidaan pyrkiä ohjaamaan halutulle uralle. Toimintamalli perustuu päättäjien, yritysten, tutkijoiden ja muiden liikennesektorin toimijoiden hyvään yhteistyöhön.

HDENIQ-projektin suurimmat yksittäiset rahoitukset varmistuivat kesäkuussa 2009. Täysimittainen tekeminen päästiin aloittamaan alkusyksystä 2009. 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 (ITC-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.
- Säätöominaisuudet
- 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 määritystarkkuus maantiemittauksissa
- Uudet ajoneuvotyypit

Vuoden 2009 aikana käynnistettiin jo suurin osa edellä mainituista alatehtävistä. Seuraavassa esitellään alatehtävien aikaansaannoksia ja suunnitelmia tarkemmin.

3 Ajoneuvotekniikka (VTT, AALTO)

3.1 Yleistä

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 siihen, miten ja millä hyötysuhteella tuotettu energia lopulta käytetään. Polttomoottorin osalta tutkimus rajataan käyttäjän vaikutusmahdollisuuksien tasolle.

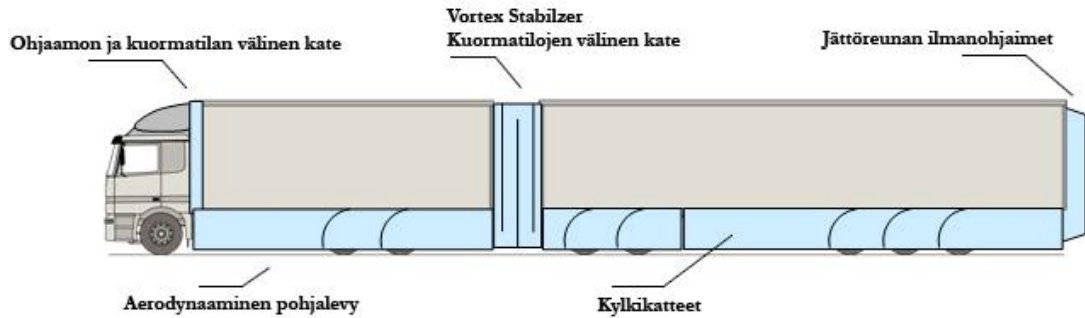
Projektin ensimmäisenä vuonna ajoneuvotekniikan kokeellinen tutkimus painottui pääosin apulaitekokeisiin. Myös aerodynamiikan ja rengastuksen saralla tehtiin suunnitelmia ja järjestelyjä tulevia mittauksia varten. Nokian renkaiden toimesta tehtiin tutkimusta renkaiden liukaspitoon liittyen ja näiden kokeiden tulokset esitellään tässä raportissa.

3.2 Aerodynamiikka

Raskaan kaluston muotoilussa aerodynamiikka on yleisesti vähemmällä huomiolla. Muotoilua on ohjannut mm. ajoneuvoyhdistelmien pituutta rajoittava lainsäädäntö. Rajoitusten takia käytettävissä oleva tila on haluttu käyttää mahdollisimman tehokkaasti kuormatilana.

Raskaan ajoneuvoyhdistelmän ajovastukset maantienopeudessa koostuvat vierivastuksesta sekä ilmanvastuksesta. Täyteen kuormatussa yhdistelmässä (umpikori) ilmanvastuksen osuus on tyypillisesti noin 40 % kokonaisvastuksista, 80 km/h nopeudessa. Aerodynaamisten parannusten kautta, ilmanvastuskertoimeen vaikuttamalla, voidaan tätä osuutta pienentää merkittävästi. Nykyaikaisen ajoneuvoyhdistelmän ilmanvastuskerroin on välillä 0.6-0.8 johtuen lähinnä kuormatilojen määrittelemästä epäedullisesta muodosta. Mikäli parannuskeinojen avulla voitaisiin saavuttaa esimerkiksi puolet alhaisempi vastuskerroin, olisi vaikutus kokonaisajovastuksiin noin 20 %. Vastaava hyöty energiankulutuksessa saavutettaisiin esimerkiksi laskemalla ajonopeudet noin 56 km/h:ssa.

Potentiaali energiankulutuksen vähentämiseksi toimii lähtökohtana aerodynamiikan alatehtävässä. Tavoitteena on toteuttaa mahdollisimman käytännöllisillä muutoksilla, jo olemassa olevaan ajoneuvokalustoon, aerodynaamisia parannuksia ja saavuttaa merkittävä suorituskyvyn korotus. Parannukset toteutetaan pääosin siten, etteivät ne haittaa ajoneuvoyhdistelmän käytettävyyttä tai vaikeuta sen kuormankäsittelyä. Aerodynamiikan muutokset koostuvat erilaisista kateista joita asennetaan testiyhdistelmään. Kuvassa 1 on esitetty kateratkaisuja, joiden toteutusmahdollisuuksia ensivaiheessa selvitetään.



Kuva 1. Aerodynaaminen kehitystavoite.

Aerodynamiikan osatehtävässä tarkastellaan ilmanvastuksen pienentämisen ohella myös tuuliolosuhteiden vaikutusta ajoneuvoyhdistelmän ajovakauteen. Tutkimus lisää ymmärrystä ajoneuvoyhdistelmän ajostabiliteetista ja siihen vaikuttavista tekijöistä sekä antaa tietoa ajoneuvoyhdistelmän aerodynaamista suunnittelua varten.

Sivutuuliherkkyyden tutkimisessa sovelletaan tietokonesimulointia. Ajoneuvoyhdistelmästä muodostetaan simulointimalli monikappaledynamiikan menetelmää hyödyntäen. Simulointimallissa ajoneuvoyhdistelmän ajoneuvoyksiköihin kohdistuvat ilmanvastusvoimat kuvataan pistevoimina. Voimien suuruuden, suunnan ja vaikutuspisteen sijainnin arvioinnissa hyödynnetään RASTU-projektissa saatua kokeellista aineistoa, joka on saatu pienoismallilla tehdyistä tuulitunnelikokeista.

Työssä tutkitaan virtauksen kohtauskulman ja suuruuden vaikutusta eri akseleilta vaadittavaan kitkatasoon renkaiden ja tienpinnan välillä. Lisäksi erikoistapauksina tarkastellaan jarrutusta liukkaissa olosuhteissa sivutuulen vaikuttaessa sekä sivutuulen nopeaa ja suurta muutosta esimerkiksi tultaessa metsästä aukealle paikalle.

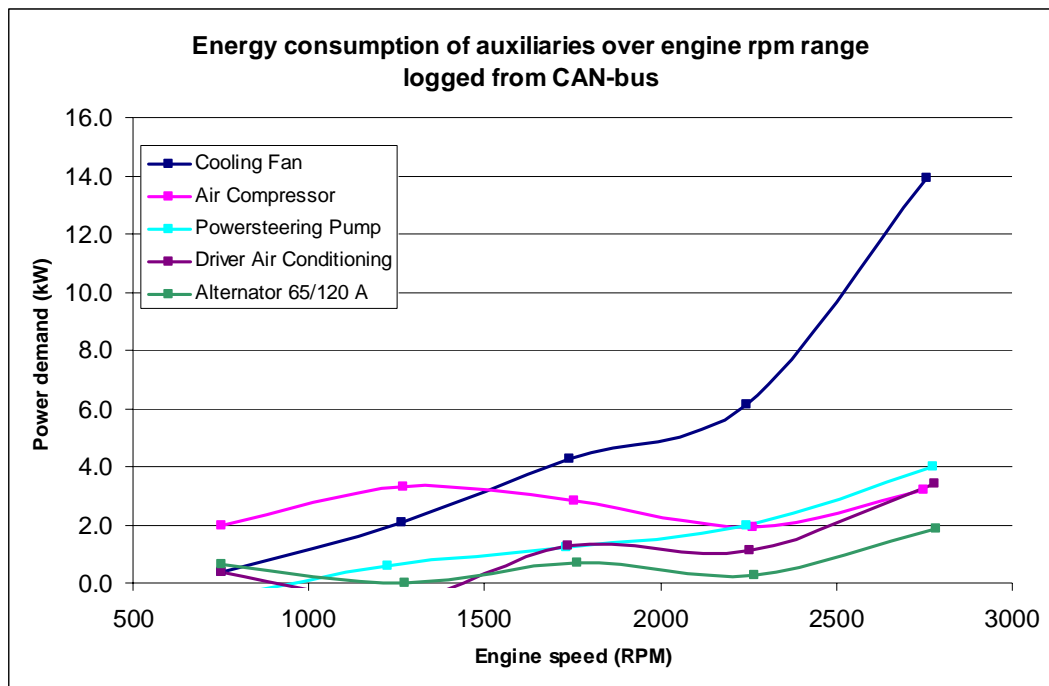
3.3 Apulaitteiden energiankulutus ja päästöt

Kesällä 2009 tehtiin kokeita apulaitteiden energiankulutukseen liittyen. Kokeilla pyrittiin selvittämään apulaitteiden energiankulutusta eri olosuhteissa ja toimintatiloissa. Testien tuloksia käytetään hyväksi tutkimuksen myöhemmässä vaiheessa, jossa kaksi kaupunkilinja-autoa, pikavuorolinja-auto, jakeluauto ja kaksi raskasta kuorma-autoa varustetaan tiedonkeruulaitteistoin. Tiedonkeruulaitteistolla tallennetaan apulaitteiden käyttö- ja olosuhdetietoja. Näistä tiedoista saadaan johdettua apulaitteiden energiankulutustietoa todellisissa ajo- ja käyttöolosuhteissa. Lisäksi tuloksia voidaan hyödyntää sähköisiä apulaitteita mitoitettaessa.

Testejä varten Koiviston autolta saatiin lainaksi Kabus ML kaupunkibussi vuosimallia 2009, joka instrumentoitiin mittausten suorittamiseen tarvittavin anturein. Moottorin kuormitusta luettiin ajoneuvon omasta CAN-väylästä ja antureiden tiedot tallennettiin tiedonkeruuseen. Testattavia apulaitteita olivat:

Moottorin jäähdytyspuhallin, paineilmakompressori, ohjaustehostin, kuljettajan ilmastointi ja laturi. Kokeita varten kyseisiä laitteita irrotettiin sekä niitä pakotettiin maksimikuormitukselle tiettyä tilannetta kuvaavasti.

Moottorin jäähdytyspuhallinta tässä bussimallissa ohjataan magneettikytkimellä jossa on kolme asentoa: Pois käytöstä, kytkin osittain kiinni ja kytkin täysin kiinni. Kokeet tehtiin kytkin täysin kiinni ja puhallin pois käytöstä asennoissa. Paineilmakompressoria testattaessa kompressori pakotettiin maksimituotolle ja sen painetasoa tarkkailtiin. Toisessa testissä paineilmakompressori irrotettiin kokonaan. Ohjaustehostinta kuormitettiin rattia kääntämällä koko testin ajan ja ohjaustehostimen pumpun tuottamaa painetta tarkkailtiin. Näin saatiin ohjaustehostimen pumpun kuormitus tyypillisellä painetasolla. Kuljettajan ilmastointia ohjattiin pyyntiarvoja muuttamalla ja nollassa mitattiin katkaisemalla ilmastoinnin magneettikytkimen virta. Laturia mitattaessa sitä kuormitettiin ajoneuvon omilla virrankuluttajilla sekä lisäkuormitusvastuksella, joka oli kytketty akulle. Laturin virtaa sekä jännitettä tarkkailtiin testien yli.



Kuva 2. Apulaitteiden energiankulutus moottorin pyörintänopeuden suhteen.

Kuvasta 2 nähdään eri apulaitteiden energiankulutus pyörintänopeuden suhteen. Tästä voidaan todeta että jäähdytyspuhallimen energiakulutus kasvaa eksponentiaalisesti pyörintänopeuden noustessa yli 2000 kierroksen minuutissa. Muiden apulaitteiden energiankulutus on melko tasaista pyörintänopeuden suhteen. Tuloksia ei verifioitu alustadynamometrillä aikatauluongelmien vuoksi. Mittauksia kuitenkin pyritään jatkamaan seuraavana vuonna, jolloin myös verifiointi tullaan tekemään.

Apulaitetutkimukseen liittyen AALTO-yliopistossa aloitettiin diplomityö aiheesta HVAC – heating, ventilation, air-conditioning (lämmitys, ilmanvaihto ja ilmastointi). Työ valmistuu kevään 2010 aikana.

Vuonna 2010 tullaan tekemään myös kirjallisuusselvitys apulaitteiden tehontarpeista (Auxiliary power needs).

3.4 Rengastutkimus

3.4.1 Suunnitelma

Uusi tutkimus täydentää ja laajentaa aiemmissa projekteissa tuotettuja tuloksia. Rengastutkimuksessa selvitetään rengaskoon, epätasapainotuksen, ilmanpaineen ja kulumisasteen vaikutusta ajoneuvon energian kulutukseen. Tutkimus suoritetaan maantiemittauksin, alustadynamometrimittauksin sekä kenttäkokein.

Maantiemittauksissa rengaskoon vaikutusta tutkitaan kahdella samanlaisella perävaunulla joissa käytetään erikokoista rengastusta. Vertailuparina käytetään Ekerin perävaunuja, joissa rengastuksena 385/65 22.5 ja 445/45 19.5. Epätasapainotuksen vaikutusta selvitetään renkaisiin lisättävien painojen avulla.

Alustadynamometrillä tutkitaan rengasmerkkien, rengasepätasapainon ja ilmanpaineen lisäksi rengaskoon vaikutusta energian kulutukseen.

Rengastutkimuksen kenttäkokeet suoritetaan Transpointin sekä Veolian kalustolla. Toimipisteistä valitaan ajoneuvoja, jotka liikkuvat toistuvasti samoilla reiteillä ja soveltuvat tiedonkeruuseen. Ajoneuvot varustetaan tiedonkeruulaitteistoilla sekä erilaisilla rengastuksilla. Kenttätestit antavat kuvan eri renkaiden toiminnasta ja suorituskyvystä Suomen oloissa. Tietoa saadaan sekä LIKU (liukkaudentunnistus) järjestelmästä että kuljettajien kokemuksesta. Tarkkailtavia asioita ovat myös renkaiden kuluminen ja jossain määrin polttoaineenkulutuserot.

Kenttätesteissä tutkittavat neljä uutta rengassarjaa:

- Noktop 41
- Noktop 31
- Noktop 45 (AllSeason)
 - Normaali
 - Saipattu (*Hienouritettu rengas, jonka pintaan on tehty noin puoleen väliin poikittaiset viillot n. 10 mm välein*).

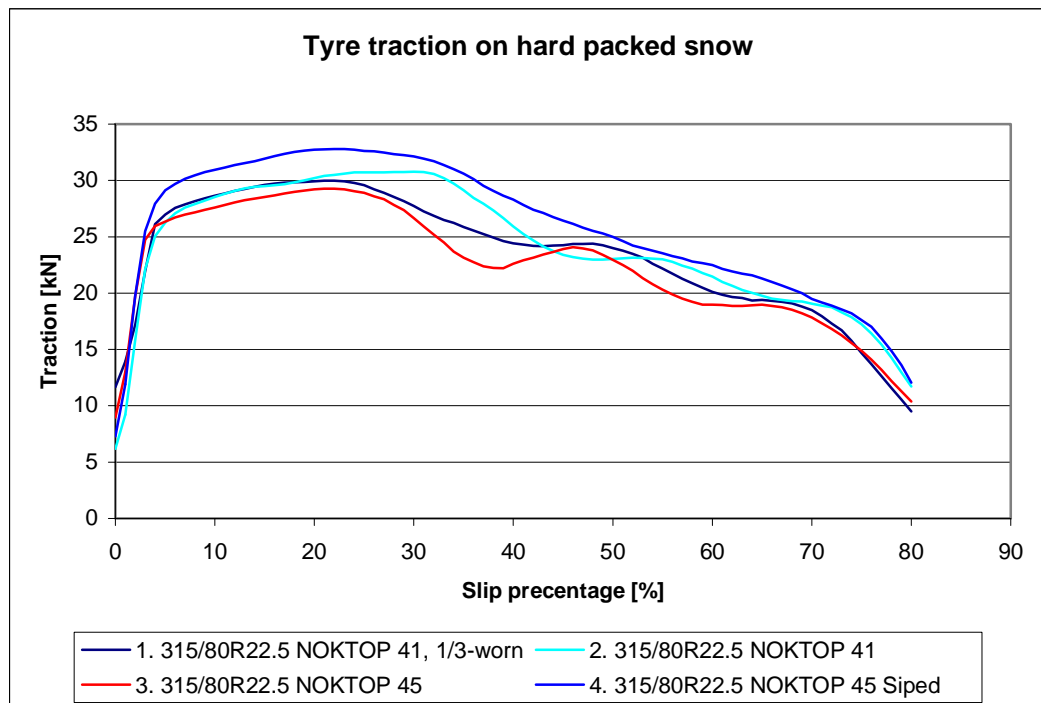
Rengastutkimuksen tuloksia käytetään mm. rengaslaskurin kehittämisessä. Laskurin on tarkoitus toimia, tuotettuihin tutkimustuloksiin perustuvana, rengasvalintaa helpottavana työkaluna. Työkalu ottaa huomioon renkaan hankinta- ja käyttökustannukset, renkaan keston sekä muita parametreja pyrkien mahdollisimman käyttökelpoiseen vertailuun renkaiden välillä.

3.4.2 Tulokset

Osana rengastutkimusta Nokian Renkaat suoritti liukkaan kelin testiradalla vertailevaa tutkimusta eri renkaiden kesken.

Testejä suoritettiin kovalla lumipolanteella, yksittäisasennetuilla renkailla. Akselikuorma testeissä oli 8000 kg ja rengaspaine 8.0 bar. Liukkaan radan testeissä käytetyt renkaat koostuivat seuraavista malleista:

- Noktop 41
 - Normaali
 - Noin 1/3 kuluneet
- Noktop 45 (AllSeason)
 - Normaali
 - Saipattuna



Kuva 3. Vetopito (kN), luistoprosentin funktiona, kovalla lumipolanteella. Nokian Renkaat.

Kuva 3 esittää liukkaanradan testitulokset. Kun testisarjan referenssirengasta (Noktop 41 kulunut) verrataan Noktop 41 uuteen, nähdään että renkaan kuluminen ei vaikuta merkittävästi vetopitoon. Noktop 45 all season antaa hieman huonomman tuloksen kuin muut testisarjan renkaat. Saipattu Noktop 45 all season puolestaan antaa sarjan parhaimman tuloksen. Testien tuloksista voidaan päätellä renkaan saippauksen parantavan pitoa kovalla lumella.

Lisäksi AALTO-yliopistossa on aloitettu diplomityö aiheesta *Renkaiden tasapainotuksen ja paineen vaikutuksista energiankulutukseen ja liikenneturvallisuuteen*. Työ valmistuu kevään 2010 aikana.

4 Älykäs raskas ajoneuvo (VTT, OY)

4.1 Yleistä

Jo tällä hetkellä ajoneuvoissa on käytössä monia IT-järjestelmiä, joilla kerätään erilaista tietoa ajoneuvon toimintaan liittyen. Tätä jo nykyisin olemassa olevaa tietoa voitaisiin hyödyntää nykyistä tehokkaammin kuljetusyritysten päivittäisen operoinnin tehostamiseksi sekä aktiiviseen kuljettajan opastamiseen ja jopa auton toiminnan rajoittamiseen tilanteen niin vaatiessa.

ITC –tekniikat tuovat mahdollisuuden vaikuttaa energiatehokkuuden lisäksi myös liikenneturvallisuuteen ja palvelutasoon, automaattisia raportointimahdollisuuksia unohtamatta.

4.2 Ajo-opastin

Ajo-opastimen tutkimus oli RASTU-hankkeen jälkeen sellaisessa vaiheessa, että opastuslogiikka oli käytössä viidessä ajoneuvossa ja lupaavia tuloksia opastimen vaikutuksesta oli saatu. Opastimen vaikutusten määrittämisen osalta ongelmana oli kuitenkin opastettujen ajosuoritusten hidas kertyminen. Tilanteen helpottamiseksi HDENIQ-hankkeessa hankittiin kymmenen opastinlaitetta lisää Nobinan (entinen Concordia) linjalla 550 liikennöiviin ajoneuvoihin. Hankinta suoritettiin syksyn 2009 aikana ja hankinnan jälkeen laitteita on linjalla 550 kaikkiaan 15 kappaletta. Vuoden 2009 loppuun mennessä linjan 550 ajoneuvoista oli tallennettu lähes 17500 ajosuoritusta. Näistä opastettuja ajoja oli 600, joka on verraten vähän suhteessa koko joukkoon. Kuitenkin loppuvuodesta 2009 saatujen uusien opastinlaitteiden myötä on odotettavissa, että opastettuja ajosuorituksia saadaan jatkossa huomattavasti enemmän.

RASTU-hankeen yhtenä keskeisimmistä tuloksista ajo-opastimen osalta oli sen potentiaalinen osoittaminen mm. polttoaineenkulutuksen pienentämiseksi. Näiden tulosten pohjalta on HDENIQ-hankkeessa edetty ajo-opastimen osalta järjestelmän kaupallistamiseen ja neuvottelut yritysosapuolen kanssa ovat edenneet sopimusvaiheeseen.

Ajo-opastimen tulosten käsittelyä varten on olemassa tutkimuskäyttöön tarkoitettu käyttöliittymä, joka on toteutettu *Matlab*-ympäristössä. Tässä käyttöliittymässä voidaan tarkastella polttoaineen kulutusta, aikataulussa pysymistä sekä ylinopeuksien ajamista kuljettajakohtaisesti. Käytettävyyden helpottamiseksi käyttöliittymästä tarvittiin kuitenkin helpommin hyödynnettävä versio, minkä vuoksi web-pohjaisen käyttöliittymän rakentaminen aloitettiin.

Toteutettava käyttöliittymän sisältää kaikki ajo-opastimen käyttöön liittyvät oleelliset toiminnot. Ensimmäinen vaihe on linjaohjeistuksen muodostus hyödyntäen eri järjestelmistä saatavia linja, aikataulu ja nopeusrajoitustietoja. Kaksi ensimmäistä lähtötietoa saadaan pääkaupunkiseudulla HSL:n järjestelmistä, ja viimeisen osalta selvitetään Digiroad-tietokannan mahdollisuuksia. Linjaohjeistus sisältää siis linja/autokohtaisen tiedoston, jonka perusteella varsinainen ajoneuvoihin asennettu ajo-opastin voi toimia.

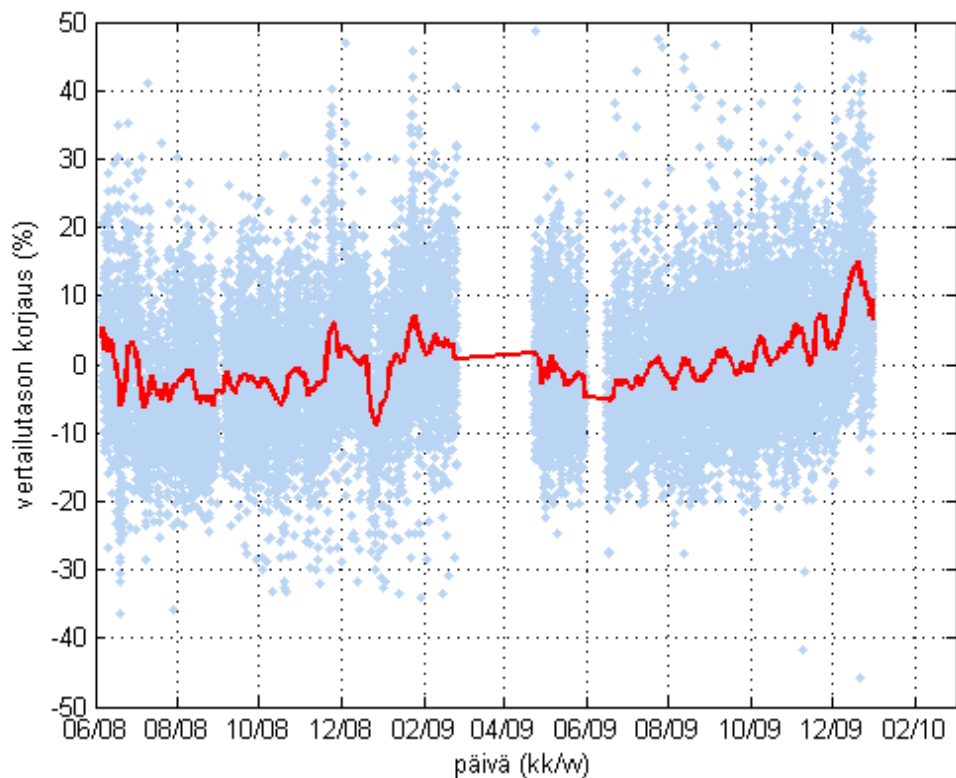
Toinen puoli käyttöliittymästä liittyy ajotapahtumien arviointiin kuljettaja- ja ajoneuvokohtaisesti. Kerätystä datasta muodostetaan kullekin vertailtavalle suurelle referenssit, joihin varsinaisia ajotapahtumakohtaisia tuloksia voidaan verrata.

Seuraavassa on esimerkkejä syksyyn 2009 saakka kerätystä datasta lasketuista tuloksista. Kuvassa 4 on esitetty polttoaineenkulutuksen vertailutason muutos koko aikana, kun dataa on ajoneuvoista kerätty. Erityisesti kuvaajasta havaitaan kesän ja talven vaikutus polttoaineenkulutuksen tasoon.

Taulukossa 1 on esitetty yhteenveto opastettujen kuljettajien polttoaineenkulutuksesta ennen ja jälkeen opastuksen kytkennän. Tulokset näyttävät lupaavan potentiaalisen polttoaineenkulutuksen pienentämiseksi. Ainoastaan yhden kuljettajan polttoaineenkulutus nousi merkittävästi (+4,2%), mutta kyseisessä tapauksessa ennen opastimen kytkentää tallennettuja ajotapahtumia oli vain 20 kpl (katso taulukko 1.). Vastapainoksi kahdella muulla suhteellisen vähän ajaneella kuljettajalla kulutus näytti laskeneen keskimääräistä enemmän (-6,9% ja -8,8%). Ajokertojen lukumäärällä painotettu polttoaineen säästö oli keskimäärin 4,6%.

Kuvissa 5, 6 ja 7 on esitetty esimerkkinä kolmen opastetun kuljettajan suoriutuminen polttoaineenkulutuksen osalta. Opastuksen kytkemispäivä on merkattu pystysuoralla katkoviivalla.

Muita lupaavia vaikutuksia ajo-opastimen tuomista hyödyistä on saatu aikataulussa pysymisen parantumisenä sekä ylinopeuksien tuntuvana vähentymisenä, joka on esitetty kuvassa 8. Kuvasta havaitaan, että erityisesti huomattavat ylinopeudet hävisivät lähes kokonaan opastimen myötä.

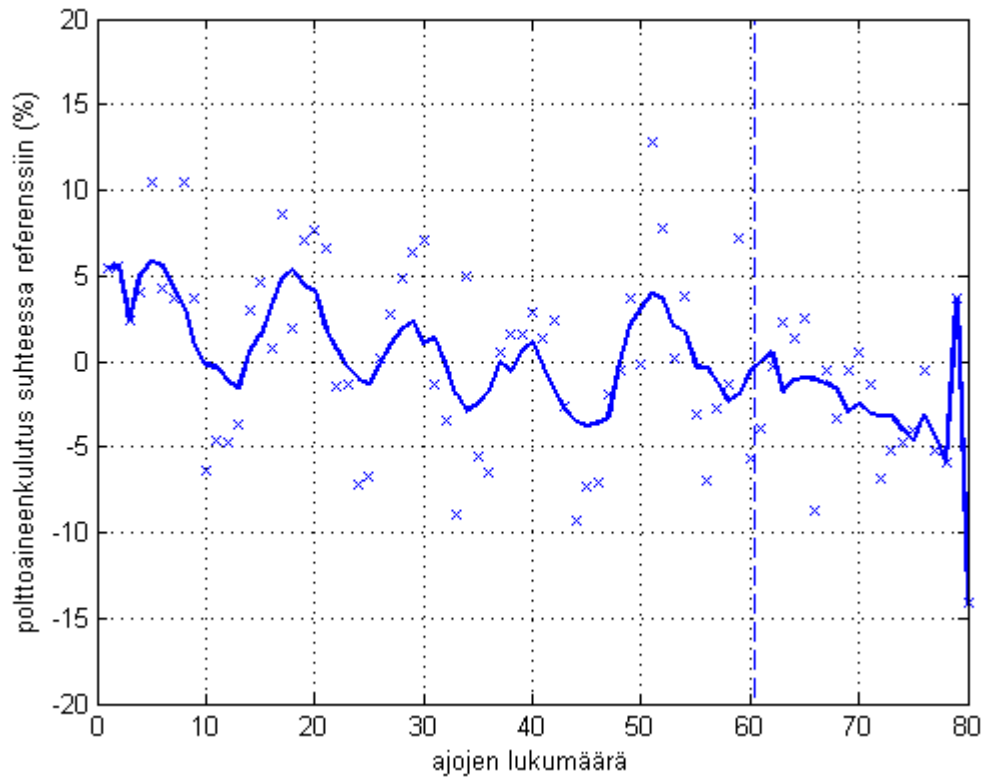


Kuva 4. Keskimääräinen polttoainekulutuksen muutos vuodenajan mukaan sekä yksittäisten ajosuoritusten.

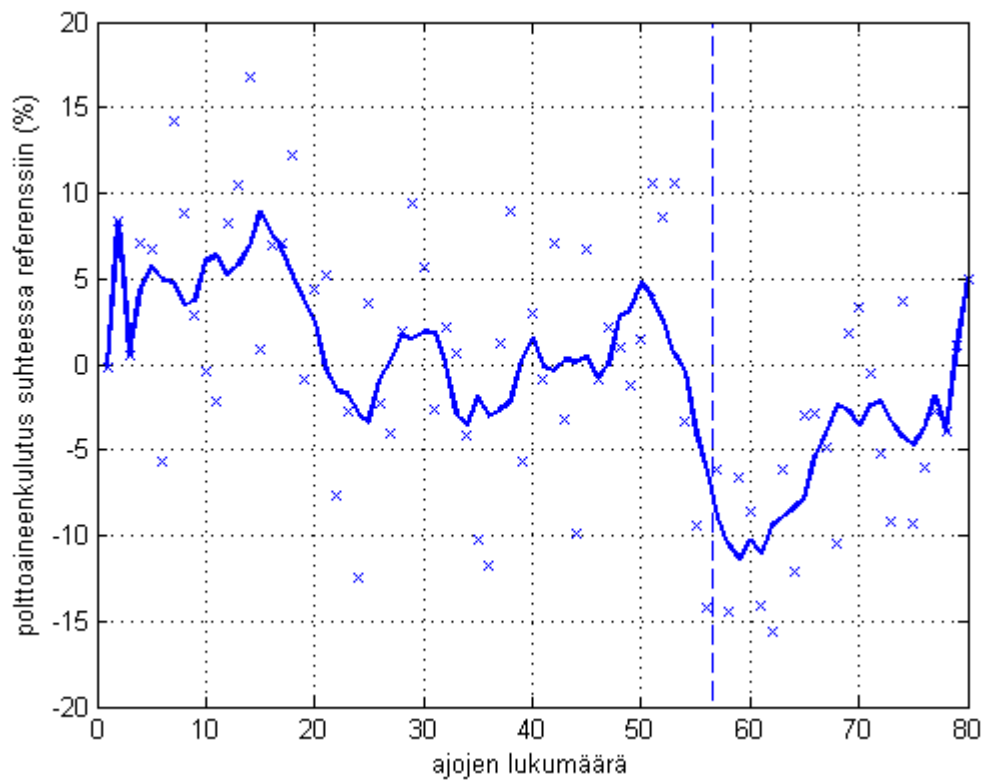
Polttoainekulutus suhteessa referenssiin (%)

kuljettaja	ajojen lkm	ennen opastusta	ajojen lkm	opastuksen kanssa	muutos (%-yks)
1	14	4.0	10	-2.9	-6.9
2	32	-4.1	105	-3.3	0.9
3	20	-14.0	90	-9.8	4.2
4	59	0.4	13	-1.9	-2.4
5	55	1.8	21	-6.9	-8.8
6	281	0.4	46	-2.6	-3.1
7	122	3.9	54	0.8	-3.1
8	69	2.7	69	-0.5	-3.2
9	70	-9.1	88	-9.2	0.0

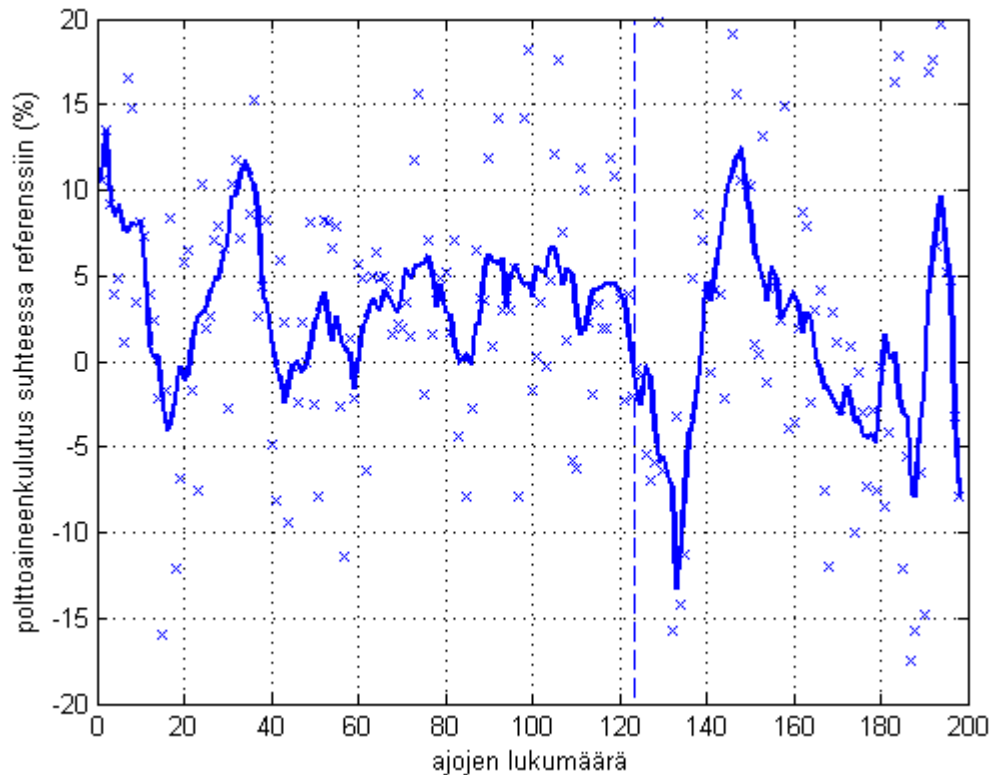
Taulukko 1. Opastettujen kuljettajien polttoainekulutus suhteessa referenssiin ennen ja jälkeen opastuksen kytkennän (syyskuuhun 2009 saakka).



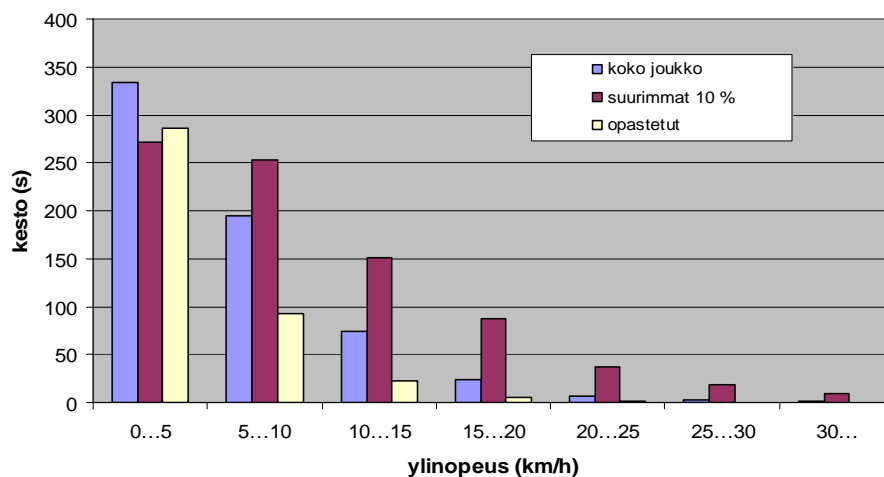
Kuva 5. "Kuljettajan 4" tallennettujen ajosuoritusten polttoaineenkulutushistoria (opastuksen kytkentähetki merkattu pystysuoralla katkoviivalla).



Kuva 6. "Kuljettajan 5" tallennettujen ajosuoritusten polttoaineenkulutushistoria (opastuksen kytkentähetki merkattu pystysuoralla katkoviivalla).



Kuva 7. "Kuljettajan 7" tallennettujen ajosuoritusten polttoaineenkulutushistoria (opastuksen kytkentähetki merkattu pystysuoralla katkoviivalla).



Kuva 8. Ylinopeuskertymä opastamattomille ja opastetuille kuljettajille.

Jatkossa tulostenkäsittelyä kehitetään mm. ajomukavuuden määrittämiseksi. Samalla tutkitaan opastimesta kerättävän tarkan ajotapahtuman toteutumista kuvaavan tiedon hyödyntämismahdollisuuksia linjojen ja aikataulujen toimivuuden arvioinnissa ja tarkentavassa suunnittelussa.

4.3 Automaattinen liukkaudentunnistus

RASTU projektin aikana käytössä olleet Technosmartin toimittamat liukkaudentunnistus- ja kuormantunnistulaitteet päätettiin hyödyntää uudessa projektissa mahdollisuuksien mukaan. Päätettiin pyytää Technosmartilta tarjous kaikkiaan

yhdeksän laitteen tarkistuksesta, ohjelmiston päivityksestä ja uudelleenasennuksesta sekä ylläpidosta HDENIQ projektin ajan. Transpoint Oy:n kanssa neuvoteltiin yhteistyöstä laitteistojen asennuksesta ja käytöstä täysperävaunurekoissa RASTU projektin tapaan. TechnoSmartin toimittamilla laitteilla tutkitaan itse automaattisen liukkauden- ja kuormantunnistuksen(LIKU)-menetelmän toimivuuden lisäksi myös sitä, miten LIKU-menetelmää voidaan hyödyntää renkaiden käytännön suorituskyvyn arvioimisessa Suomen olosuhteissa (vrt. 2.1.4 Rengastutkimus).

Jo Rastu-projektin aikana hankittujen laitteiden kenttäkokeen lisäksi uuteen projektiin päätettiin hankkia uusia tehokkaampia ajoneuvotietokoneita, joiden avulla voidaan tutkia tarkemmin eri ulkopuolisten tekijöiden vaikutuksia liukkaudentunnistus menetelmän havaintoihin. Samat hankittavat laitteet palvelevat tiedonkeruulaitteina liukkaudentunnistuksen tutkimuksen lisäksi sekä kappaleessa 2.1.3. esitetystä ”apulaitteiden toiminta Suomen olosuhteissa” että automaattisessa kuormantunnistuksessa (2.2.3).

Lisäksi projektissa valmistellaan automaattisen liukkaudentunnistuksen kenttätestaamista yksinkertaisemmilla päätelaitteilla Transpoint Oy:n kalustossa. Tämä koe rahoitetaan erillisellä TULI-rahoituksella HDENIQ-projektin rinnalla.

4.4 Automaattinen kuormantunnistus

Automaattisen kuormantunnistuksen tutkimista jatketaan myöhemmässä vaiheessa projektia, kunhan kohtien 2.13 ja 2.2.2 kanssa yhteiset tiedonkeruulaitteet saadaan toimintaan.

4.5 Taustajärjestelmät

Automaattisen liukkaudentunnistuksen havainnoille kehitetään taustajärjestelmää, jonka tulisi kyetä ylläpitämään eri ajoneuvoista kerättävän tiedon perusteella reaaliaikaista liukkaustilannetta eri teillä. Tämän mahdollistamiseksi taustajärjestelmän tulee pystyä yhteismitallistamaan erilaisista ajoneuvoista saadut havainnot. Lisäksi taustajärjestelmä muodostaa autokohtaiset liukkausvaroitukset sisältävät tiedostot kullekin järjestelmän piirissä olevalle ajoneuville.

Ajo-opastimeen liittyvästä taustajärjestelmästä on kerrottu kohdassa 2.2.1.

4.6 Tulevaisuuden älykäs raskas ajoneuvo

4.6.1 Älykkään linja-auton esiselvitys (OY)

Ensimmäisen projektivuoden aikana tehtiin esiselvitys erilaisiin älykkäisiin autojärjestelmiin, joita esiintyy sekä tieteellisestä kirjallisuudessa että patenteissa. Koska autojärjestelmien tietotekniset sovellukset ovat viime vuosina lisääntyneet nopealla tahdilla, niiden tuoma laskentateho mahdollistaa älykkäiden algoritmien

suunnittelun mm turvallisuuden parantamista varten. Lisäksi älykkään ohjauksen avulla on mahdollista saavuttaa muitakin etuja, kuten mm. polttoaineen säästö. Tämä toisi esimerkiksi liikennepalveluja tuottaville yrityksille taloudellisia etuja. Selvityksessä keskityttiin erityisesti siihen, kuinka älykkäitä järjestelmiä voitaisiin soveltaa linja-autoon. Lähtökohtana oli ITS (Intelligent Transportation Systems) ja aihealueena olivat auton sisäiset järjestelmät ja tietoinfrastruktuuri. Pääpainoalueena olivat älykkäät algoritmit. Selvityksestä luotiin kirjallinen raportti, joka sisältää 74 viitettä tieteellisiin julkaisuihin ja patenteihin.

Selvitys auton sisäiseen järjestelmään käsitti aihealueinaan anturit, sisäisen tietoliikenteen, kuljettajan tiedottamisen, opastamisen ja arvioinnin, diagnostiikan ja huollon, turvallisuuden, ajotapahtuman optimoinnin eri kriteereillä, navigaation sekä matkustusmukavuuden.

Kuljettajaan liittyvistä aihealueista tiedottamisessa keskityttiin turvallisuusnäkökantaan ja siihen, miten tiedottaminen on järjestettävä ajon aikana. Kuljettajan arvioinnissa puolestaan tarkasteltiin kirjallisuudesta löytyviä mitattavia parametreja, joilla tutkimuksessa voitaisiin esimerkiksi luoda indeksejä ajon turvallisuudesta tai taloudellisuudesta.

Sekä diagnostiikkaa, huollon automatisointia että turvallisuutta on kirjallisuudessa luonnollisista syistä tutkittu erittäin paljon. Näiltä aloilta löytyy myös suuri määrä patenteja. Turvallisuuden osalta selvityksessä keskityttiin valmiisiin tuotteisiin, joilla ympäristöä voidaan tarkkailla sekä mahdollisesti rajoittaa auton toimintaa vaaratilanteissa.

Ajotapahtuman optimoinnissa selvitettiin kuinka ajotapahtumaa ja auton toimintaa voidaan säädellä automaattisesti. Lisäksi tarkasteltiin, millä optimointikriteereillä tällaista säätelyä voidaan tehdä. Esimerkkinä suorasta auton toiminnan säätelystä voidaan mainita esimerkiksi adaptiivinen ajonopeuden säädin, jota voidaan käyttää sekä turvallisuuden parantamiseen että muiden optimointikriteerien mukaan. Näistä aihealueista tieteellisessä kirjallisuudessa on eniten tutkittu turvallisuuteen liittyviä sovelluksia.

Älykäs ohjaus vaatii linja-auton paikkatiedon reaaliajassa. Tämän vuoksi selvitettiin navigaation toteutusta eri tavoin. Selvityksessä pyrittiin määrittelemään mitä ominaisuuksia navigaatiosovelluksen on linja-autojen tapauksessa toteutettava. Lisäksi tarkasteltiin valmiita navigaatiosovelluksia sekä tällaisen toteutusta itse joko kaupallisilla tai vapailla kartoilla.

Tietoinfrastruktuurin selvityksessä keskityttiin tietoliikenneyhteyksiin. Selvityksessä katsottiin, miten kommunikaatio autoihin ja niiden välillä voidaan toteuttaa. Linja-autojen ja liikennöitsijän kannalta järkevimmäksi vaihtoehdoksi todettiin keskuspalvelimen malli. Lisäksi selvitettiin tietoliikenneyhteyden toteuttamista auton ja keskuspalvelimen välillä. Vaihtoehtoina ovat mm. GPRS- tai @450-verkko. Näistä @450-verkko todettiin teknisesti pätevimmäksi tällaiseen sovellusskenaarioon, sillä se mahdollistaa vakaan ja nopean yhteyden.

Erityisen tärkeää tietoinfrastruktuurissa on keskittyä tietoturvallisuuteen. Selvityksen mukaan järjestelmälle on jo suunnitteluvaiheessa luotava uhkakuvanalyysi sekä suunniteltava turvallisuusarkkitehtuuri. Erityisesti tietoturvallisuus korostuu, mikäli verkoista on kytkös auton sisäisiin järjestelmiin. Selvityksen

perusteella telematiikkapalvelut kannattaa toteuttaa käyttäen yleisiä web-rajapintoja, jolloin voidaan käyttää niiden tarjoamia tietoturvapalveluja.

4.6.2 Älykkään kuorma-auton esiselvitys

Älykkään linja-auton esiselvityksen laatimisen jälkeen käynnistettiin älykkään kuorma-auton esiselvityksen tekeminen. Tältä osin työ on juuri alkanut, eikä enempää raportoitavaa vielä ole.

4.6.3 Ajoneuvon tiedonkeruujärjestelmän suunnittelu ja toteutus

Syksyn 2009 aikana laadittiin seikkaperäisen vaatimusmäärittelyn, jossa selvitetään, mitä tietoja tiedonkeruujärjestelmän tulee kyetä mittaamaan. Vaatimusmäärittelyssä on määritelty mm. laitteen vaatimat liitännät ja mittausanturit, GPS-navigointitoiminnallisuudet, käyttöliittymään ja hallittavuuteen liittyvät asiat sekä tietojen tallennus ja edelleenlähettäminen langattoman tiedonsiirtoyhteyden yli. Erityistä huomioarvoa on asetettu ajoneuvotietokoneen ja siihen tulevan ohjelmisto suorituskyvyn varmistamiseen. Tässä yhteydessä on myös otettu kantaa etäpalvelimen vaatimaan tietojen hallintaan, tallennukseen ja käsittelyyn sekä ohjelmistokehityksessä tarvittavan laitteiston, kirjastojen ja ympäristön vaatimuksiin.

Laaditun vaatimusmäärittelyn perusteella on VTT:n toimesta jätetty julkinen tarjouspyyntö ajoneuvojen mittausjärjestelmän laitetoimittajille. Tarjouspyyntöön vastasi 15.1.2010 määräaikaan mennessä kolme tarjousta. Tarjousten sisältö, soveltuvuus ja hinta on selvitetty ja laitetoimittaja valittu. Lisäksi on päätetty ajoneuvoihin tarvittavista antureista.

Kun laitteet toimitetaan ja asennetaan ajoneuvoihin, aletaan saada dataa ajoneuvoista ja pystytään sekä jatkamaan liukkauden tunnistusmenetelmän kehittämistä että aloittamaan massan estimointimenetelmän varsinainen kehittäminen. Näitä tehtäviä varten tarvittavan teknisen infrastruktuurin suunnittelu ja toteutus on aloitettu kevään aikana.

5 Raskaiden ajoneuvojen todellinen suorituskyky ja raskaan kaluston elinkaaren hallinta (VTT, Turun AMK)

5.1 Yleistä

Raskaiden ajoneuvojen käyttöikä on pitkä, tyypillisesti yli 20 vuotta. Osatehtävä kattaa niin jo olemassa olevien autojen kuin markkinoille tulevien uusienkin autojen elinkaariasioita energiatehokkuuden, ympäristöominaisuuksien ja turvallisuuden näkökulmista.

Koska raskaiden ajoneuvojen pakokaasuserifiointi perustuu moottorilla tehtäviin kokeisiin, kokonaisille raskaille autoille ei ole olemassa normitettuja päästö- tai polttoainekulutusrajoja. VTT:llä on kehitetty alustadynamometrimittauksiin perustuva menetelmä, jolla voidaan verrata eri autojen energiatehokkuutta ja todellisia pakokaasupäästöjä. Useat liikennöitsijät hyödyntävät jo nyt VTT:n mittausdataa autovalinnoista päätettäessä. Pakokaasumääräysten kiristyneessä on odotettavissa, että merkkikohtaiset suhteelliset erot muuttuvat koko ajan.

Uusien ajoneuvojen tutkimus keskittyi projektin ensimmäisenä vuonna 60-tonnin kuorma-autoihin sekä kaupunkibusseihin. Erikoisempina ajoneuvotyyppinä mittauksiin saatiin myös hybridikaupunkibussi. Erikoispäästömittausten saralla kokeita tehtiin, mutta niiden analyysit ovat vielä kesken, joten tuloksista raportoidaan tarkemmin vasta seuraavassa vuosiraportissa. Mittausten toteutuksesta kerrotaan kuitenkin jo tämän raportin yhteydessä. Myös jälkiasennettavia pakokaasujen puhdistimia testattiin mm. Koskilinjojen kaupunkibussissa alustadynamometrillä.

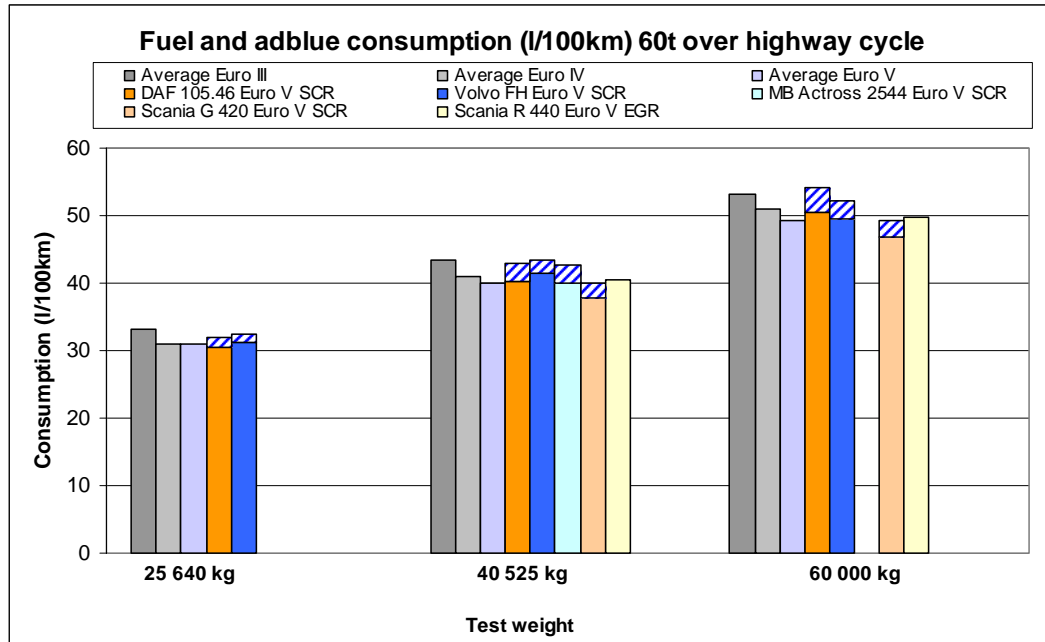
5.2 Uudet ajoneuvot

5.2.1 Kuorma-autot

Vuonna 2009 tehtiin 60-tonnin kokonaispainolla olevien kuorma-autojen mittauksia Euro V -päästoluokassa. Kuorma-autojen osalta ajoneuvotietokantaa päivitettiin yhteensä viidellä uudella ajoneuvolla. Mitatut ajoneuvot olivat: Mercedes Benz Actros 2544L, Scania R440 & G420, DAF 105.46 ja Volvo FH440. Aiemmin 42-tonnin painoluokassa mitattuja Euro V -ajoneuvo raportoititiin jo RASTU-projektin yhteydessä [VTT-R-04084-09], joten niitä ei käsitellä tässä raportissa.

Kuorma-autojen mittaus hankaloituu uusien elektronisten luistonestojärjestelmien myötä. Pelkästään ajoneuvon saaminen liikkeelle alustadynamometrillä usein vaatii merkkikohtaisen testauslaitteiston. Myös ajoneuvojen vaihteiston vaihtologiikassa on havaittu ongelmia dynamometrijossa. Varsinkin luistoestoon puututtaessa (poistettava toiminnasta alustadynamometrillä) vaihtologiikka saattaa muuttua. Tämän vuoksi kaikilla ajoneuvoilla ei pystytty ajamaan Jakelu-sykliä, jossa vaihteiston optimaalinen toiminta on edellytys. Ongelmien selvittämiseen kuluneen ajan vuoksi kaikkia kuormia ei ehditty kaikilla ajoneuvoilla ajamaan.

Merkkien väleillä nähtiin merkittäviä kulutuseroja sekä maantie (TR Maantie), että moottoritie (TR Moottoritie) -sykleissä. Erot eivät kuitenkaan olleet täysin yksiselitteisiä. Merkkien väliset erot muuttuivat kuorman kasvaessa ja syklien välillä. Suurin ero nähtiin maantiesyklissä puolella kuormalla, jossa pienimmän ja suurimman kulutuslukeman välinen ero oli n. 9 %. Keskimäärin kuitenkin Euro V -autot kuluttivat Euro IV -autoja vähemmän polttoainetta ja hieman enemmän ureaa.

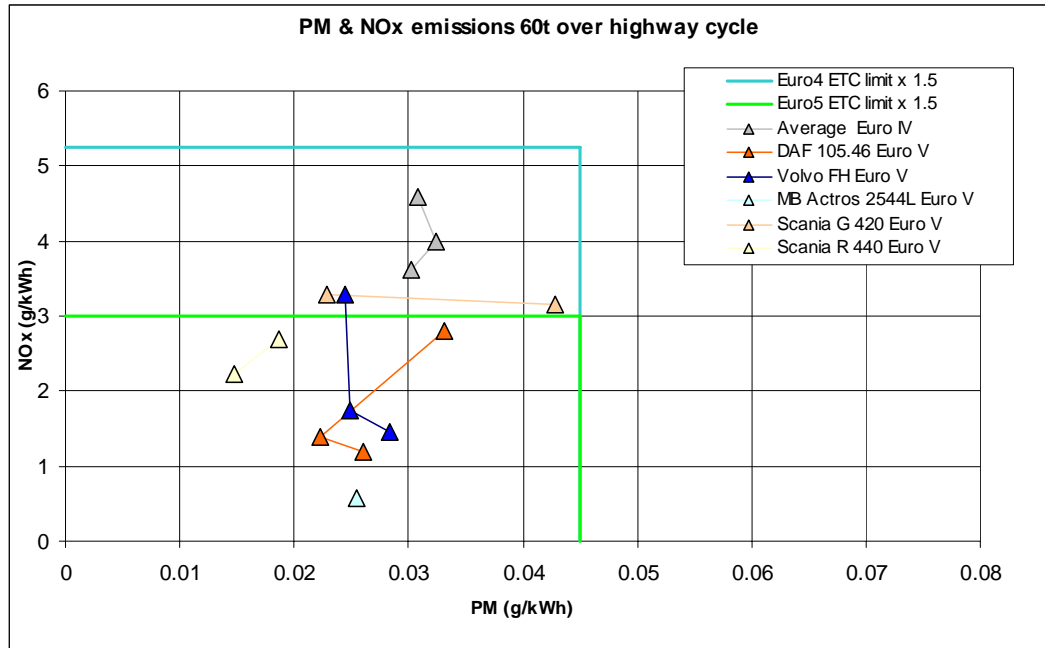


Kuva 9. Polttoaineen ja urean kulutus TR Maantie -syklissä 60 t ajoneuvoilla.

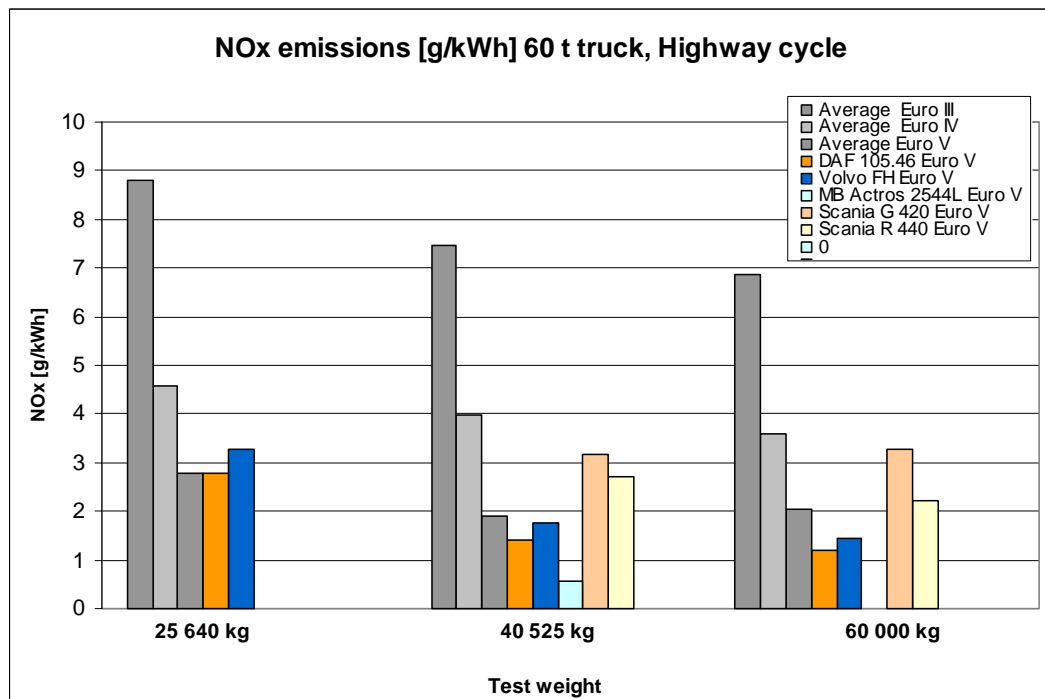
Kuvasta 9. nähdään, että Euro V -autojen polttoaineen kulutuksen keskiarvo on maantiesyklissä Euro IV -keskiarvoa alempana kaikissa kuormissa. Keskimäärin Euro V -ajoneuvot kuluttivat 2.5 % vähemmän polttoainetta kuin Euro IV autot maantiesyklissä. Urean kulutus maantiesyklillä Euro V -ajoneuvoissa oli keskimäärin 12 % korkeampi kuin Euro IV -autoissa. Siirryttäessä Euro IV päästörajoista Euro V:een NO_x-päästöjen raja-arvot muuttuvat 3.5:stä 2 g/kWh. SCR ajoneuvoissa tämä saavutetaan urean ruiskutusta lisäämällä sekä moottoria säättämällä. Tämä nähdään konkreettisesti urean kulutusmittauksista sekä laskeneina NO_x-päästöinä (Kuva 10).

Kuvissa 10 ja 13 on esitetty maantie- ja moottoritisesyklien NO_x- ja PM-tulokset eri kuormilla ajettaessa. Lisäksi kuvaan on piirretty ETC-pakokaasupäästötestin raja-arvot 1.5-kertoimella, joka kuvaa auton voimalinjan, renkaiden ja apulaiteiden aiheuttamia häviöitä. Tämä on ainoastaan karkea arvio, koska häviökerroin riippuu todellisuudessa mm. kuormitustasosta ja ajosyklistä. Siten esimerkiksi Euro V NO_x-päästöjen tyyppihyväksyntä raja-arvo 2 g/kWh kuvataan 3 g/kWh:na.

Maantiesyklissä Scanian SCR-version NO_x-päästöt olivat jopa moninkertaiset matalimpiin tuloksiin nähden. Tähän ei kuitenkaan löydetty mitään suoranaista selitystä. Volvon NO_x-päästöt tyhjällä autolla olivat muuta tasoa korkeammalla. Muiden autojen tulokset olivat hyviä ja MB Actrossin NO_x-päästöt jopa erittäin alhaiset.

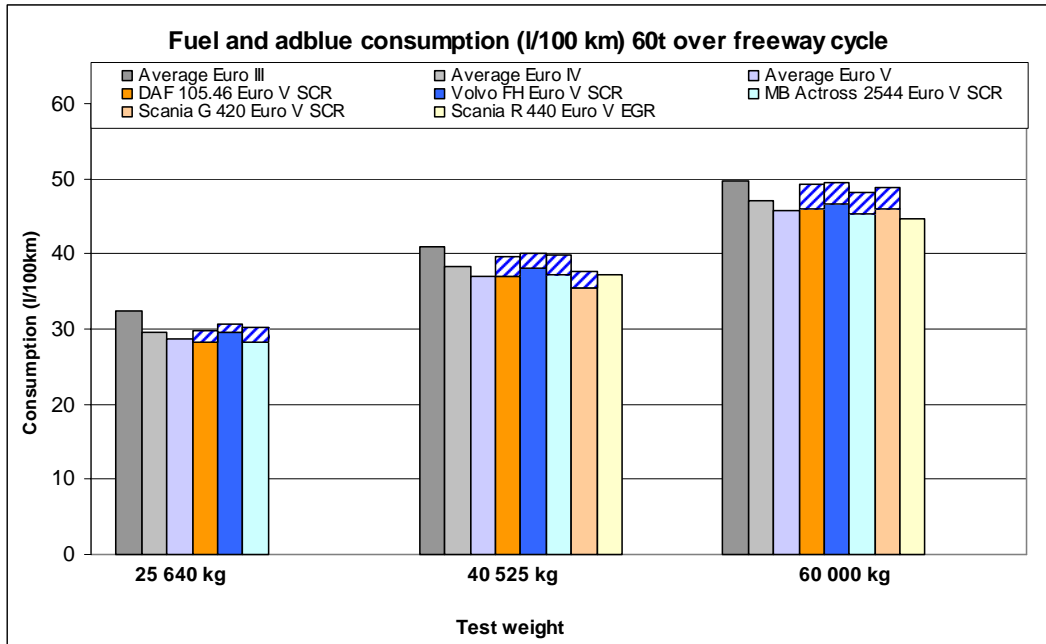


Kuva 10. PM- ja NO_x-päästötulokset TR Maantie -syklissä eri kuormilla.



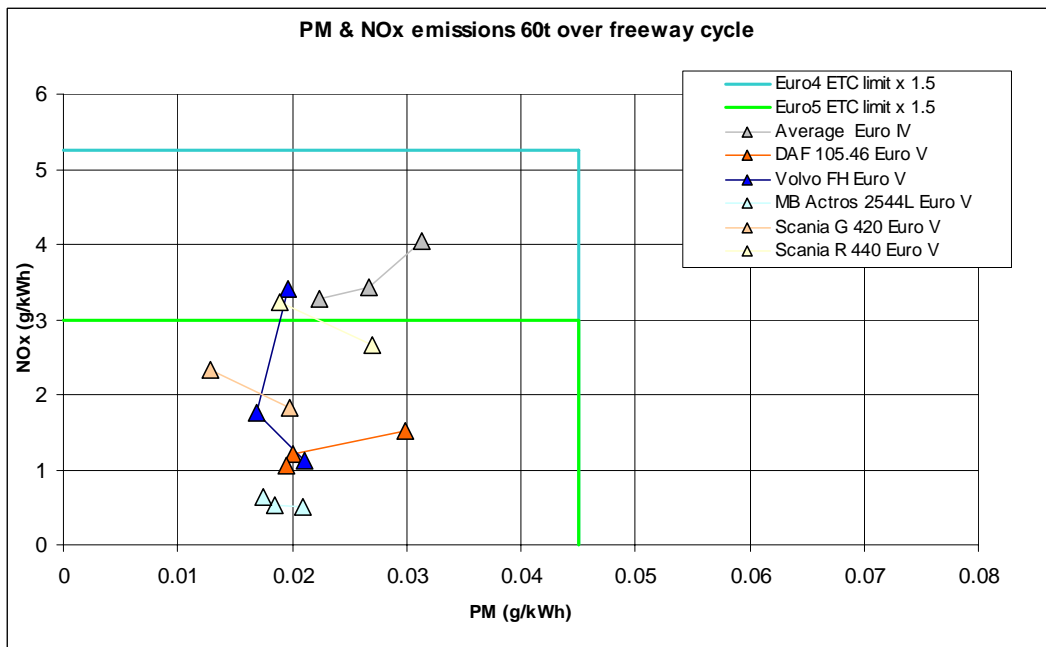
Kuva 11. NO_x-päästötulokset, TR Maantie -syklissä eri kuormilla.

Kuten kuvasta 12 nähdään, myös moottoritisesyklissä Euro V -ajoneuvot kuluttivat Euro IV -autoja vähemmän polttoainetta. Keskimäärin kulutus oli 3 % Euro IV -autoja alempi. Urean kulutus Euro V -autoissa oli keskimäärin 18 % Euro IV -autoja korkeampi. Scanian SCR-version tulos oli sarjasta poikkeava 60 tonnin kuormalla ajettuna (muuta sykli/kuorma -kombinaatioita korkeampi kulutus), mutta tähän ei löydetty mitään selitystä testiolosuhteista tai ajoneuvon käyttäytymisestä.

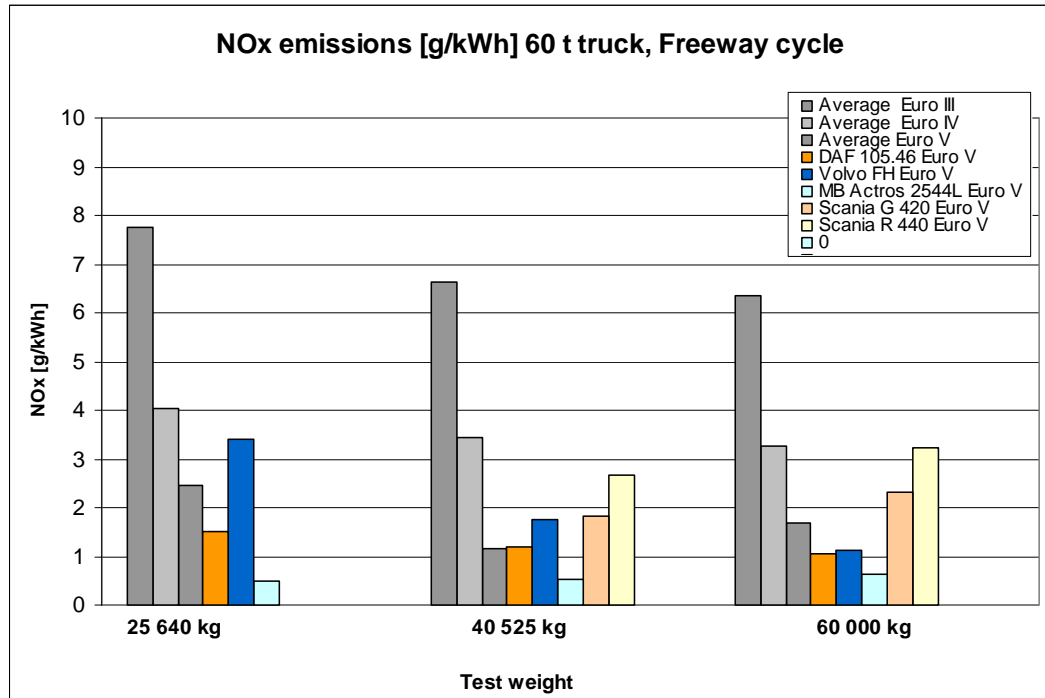


Kuva 12. Polttoaineen ja urean kulutus TR Moottoritie- syklissä 60 t ajoneuvoilla.

Myös pakokaasupäästöjen osalta Euro V -autot pärjäsivät hyvin Euro IV -autoihin verrattuna. Kuten maantiesyklissä, myös moottoritiesyklissä Volvon tyhjän auton NO_x-päästöt olivat yllättävän korkealla. SCR-Scanian päästöt olivat tässä syklissä muiden merkkien tasolla, mutta EGR version NO_x-päästöt olivat muuta malleja korkeammat. Myös TR Moottoritie -syklissä Mercedes-Benz Actrossin NO_x-päästöt olivat erittäin matalat.



Kuva 13. PM ja NO_x päästötulokset TR Moottoritie -syklissä eri kuormilla.

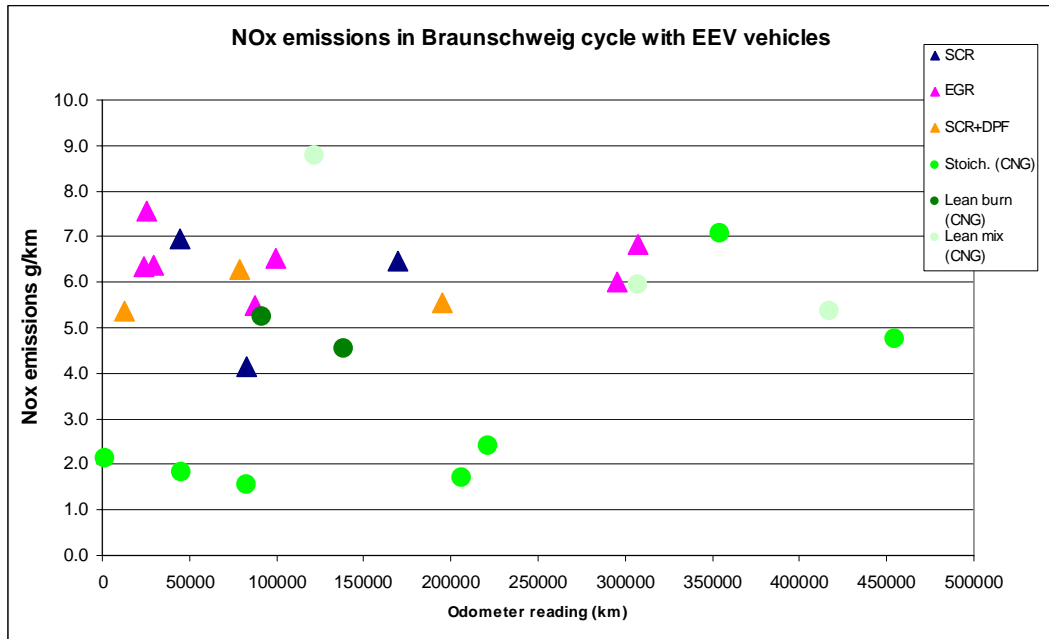


Kuva 14. NO_x- päästötulokset, TR Moottoritie -syklissä eri kuormilla.

5.2.2 Kaupunkilinja-autot

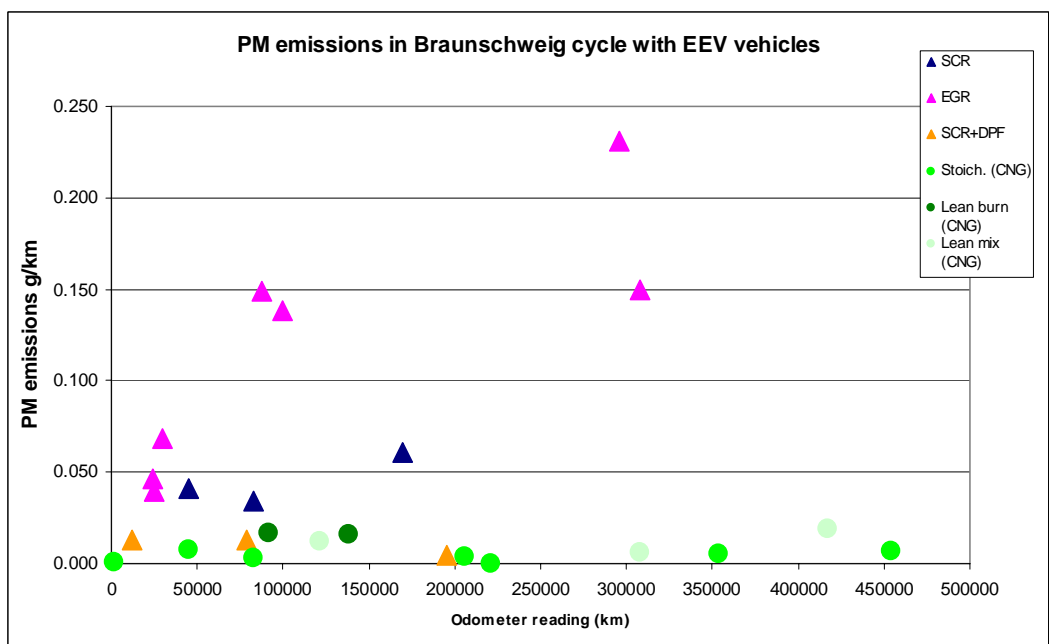
Kaupunkibussien mittauksia tehtiin HDENIQ-projektin puitteissa vuonna 2009 yhteensä yhdeksällä ajoneuvolla. Seurannassa olevia ajoneuvoja olivat: Volvo Euro2 pDPF, Euro V ja EEV, Scania Euro IV ja EEV, Iveco EEV, sekä MAN CNG 2- ja 3-akselinen. Uutena ajoneuvona mittaussarjaan tuli puolalaisen Solariksen Urbino 18 hybridi nivelbussi,.

EEV seuranta-ajoneuvojen NO_x-päästöt kilometrikertymän suhteen on esitetty kuvassa 15. SCR-bussien NO_x-päästöt muuttuvat melko radikaalisti eri mittausten välillä. Tähän mahdollisina syinä ovat SCR-järjestelmän herkkyys pakokaasujen lämpötilan suhteen ja järjestelmän toimintaongelmat. Lean-mix (stoikiometrisen ja laihaseosteisen palamisen yhdistelmä) -maakaasubussin NO_x-päästöt ovat tuntemattomasta syystä todella korkeat noin 100 tkm kohdalla. Stoikiometristä palamista hyödyntävät maakaasubussit antavat taas erittäin matalat NO_x-päästöt noin 350 tkm asti, mutta nousevat dieselbussien tasolle kilometrikertymän kasvaessa. Tähän ei ole löydetty mitään suoraa selitystä, mutta autojen huoltohistoriat otetaan tulevaisuudessa mukaan selvityksiin.



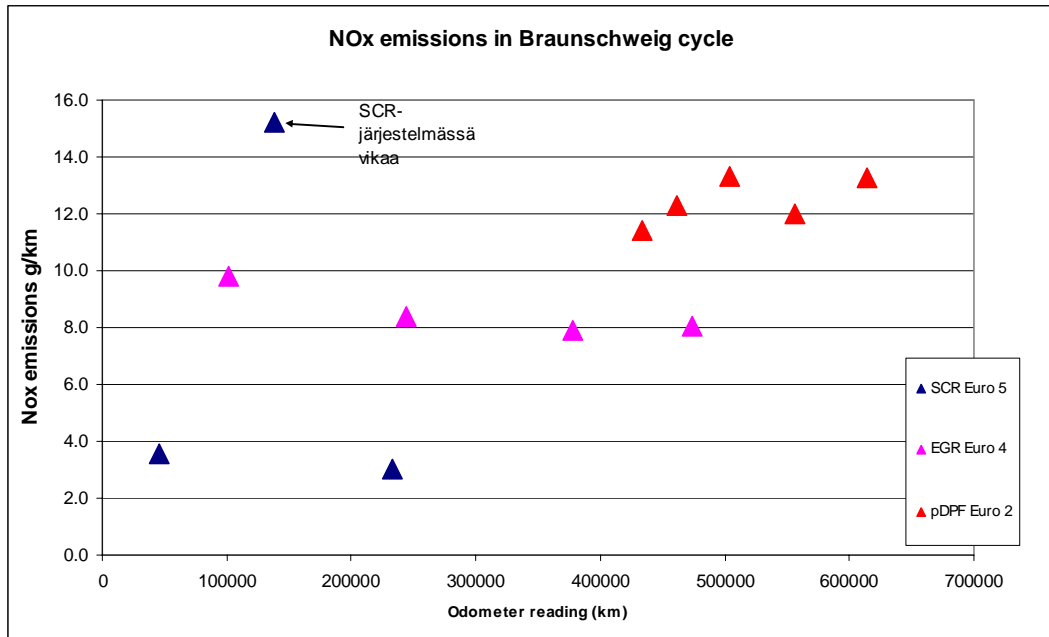
Kuva 15. NO_x- päästöt Braunschweig-syklissä eri kilometrikertymillä. huom. Kuvassa on useita eri autoyksilöitä.

Kuvasta 16 nähdään, että EEV EGR -bussin PM-päästöt kasvavat erittäin radikaalisti jo noin 100tkm:n jälkeen. Käytännössä EEV EGR -bussin partikkelipäästöt ovat Euro III -autojen tasolla (Euro III keskimääräinen tulos 0.195 g/km). Tähän ei ole löydetty mitään selitystä testiolosuhteista, eikä autojen huoltohistoriaa ole vielä tutkittu huoltotietojen saatavuusongelman vuoksi. Mahdollisia aiheuttajia voisivat olla esimerkiksi viat moottorin lambda-säädössä tai kolmitoimikatalysaattorissa. Maakaasuajoneuvojen PM-päästöt ovat erittäin matalalla tasolla koko tarkkailujakson ajan. Myös SCR+DPF-järjestelmällä varustetun bussin partikkelipäästöt pysyvät matalana ainakin 200tkm:iin asti.



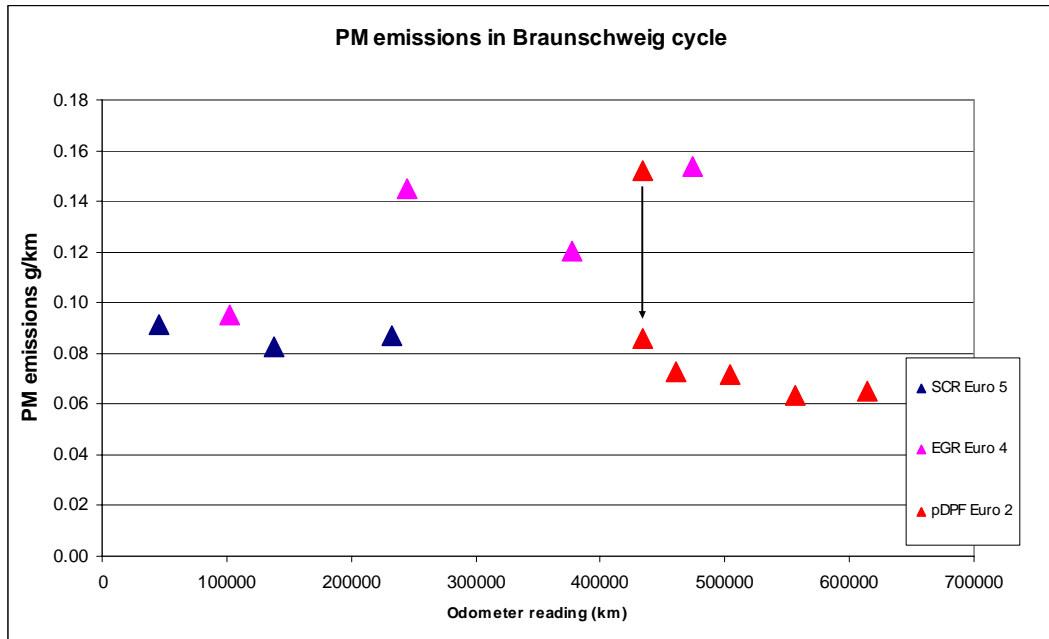
Kuva 16. PM päästöt Braunschweig-syklissä eri kilometrikertymillä huom. Kuvassa on useita eri autoyksilöitä.

Seurannassa oli myös mukana Euro II pDPF-partikkelipuhdistimella varustettu bussi, Euro V SCR -Volvo sekä Euro IV EGR -Scania. Kuva 17 esittää näiden ajoneuvojen NO_x-päästöt kilometrien kertyessä. Erikoisen korkea NO_x-päästö Euro V Volvolla johtui SCR-järjestelmässä esiintyneestä viasta, joka korjattiin testien jälkeen. Tulos kuitenkin antaa kuvan Euro V -autojen päästötasosta silloin kun SCR-järjestelmä ei ole toiminnassa, tai ureaa ei voida esim. käyttöolosuhteista johtuen ruiskuttaa. Muiden ajoneuvojen NO_x-päästöt ovat pysyneet stabiileina mittausjakson ajan. Näiden autojen seuranta päätettiin lopettaa vuoden 2009 jälkeen ja tilalle pyritään ottamaan uudempaa kalustoa.



Kuva 17. NO_x-päästöt Braunschweig-syklissä eri kilometrikertymillä.

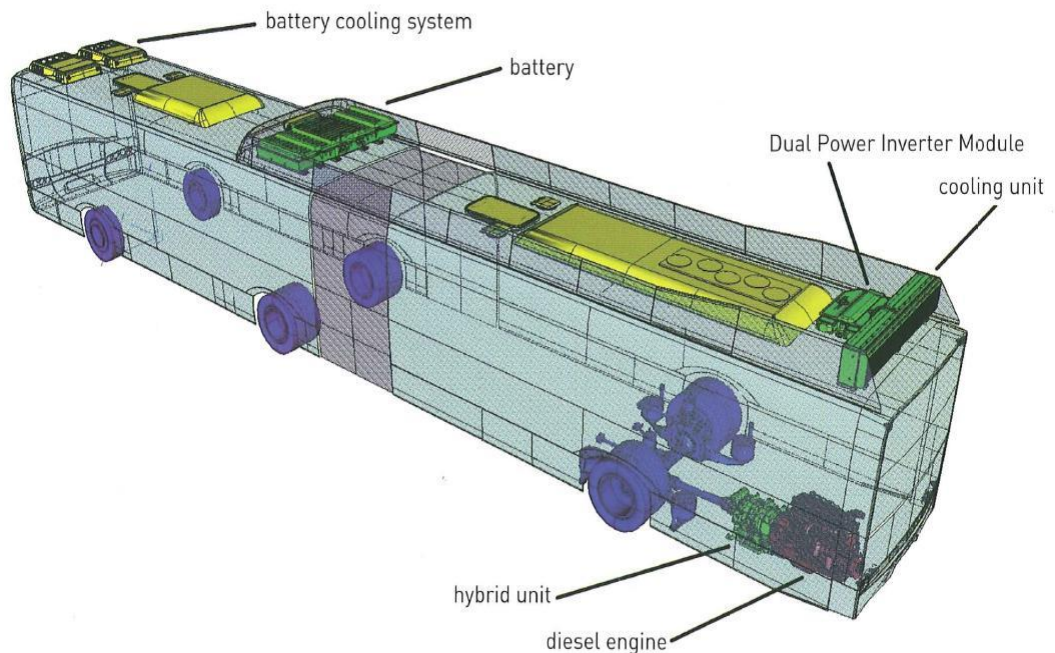
Kuvasta 18 nähdään, että Euro IV -Scanian partikkelipäästöt nousivat noin 200 tkm jälkeen yli 50 %. 370tkm mittauksessa PM-päästöt olivat hieman edellistä mittausta alempana, mutta silti lähtötasoa huomattavasti korkeammalla. Testiolosuhteista ei löytynyt selitystä tälle ajoneuvon käyttäytymiselle. PDPF-partikkelipuhdistimella varustettu Euro II -bussin PM-päästöt ovat pysyneet hyvin matalalla tasolla puhdistimen asennuksesta lähtien. PDPF:llä saavutettiin noin 55 prosentin partikkelipäästöalennema lähtötilanteesta.



Kuva 18. PM-päästöt Braunschweig-syklissä eri kilometrikertymillä.

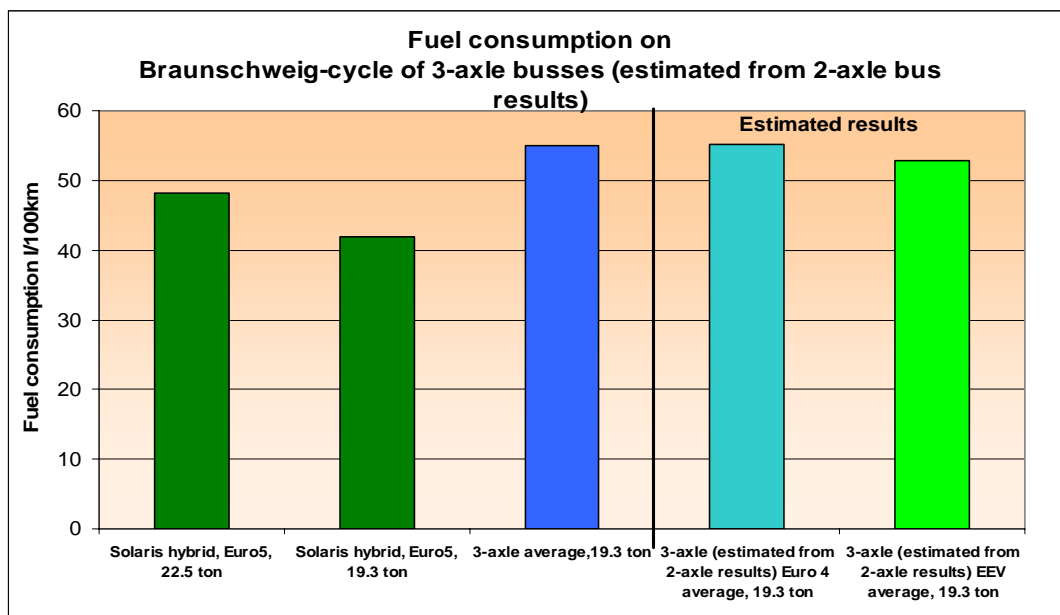
Loppuvuodesta 2009 Veolia ja HSL järjestivät kenttäkokeen Solaris-hybridibussille. Bussia koekäytettiin normaalissa linjaliikenteessä. Tämän lisäksi sille testattiin pakokaasupäästöt VTT:n alustadynamometrilla.

Kuva 19 esittää Solaris-hybridibussin rakennekuvan. Bussissa on tavanomainen Cummins ESB6.7 250B -polttomoottori, jonka maksimi tehontuotto on 181 kW. Moottori on varustettu SCR – pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmällä. Hybridijärjestelmä koostuu kahdesta sähkömoottorista, synkronisista kytkimistä sekä planeettavaihteistosta. Järjestelmän akut ovat nikkeli-metallihydridi -akkuja (NiMH) ja niiden kokonaispaino on 437 kg. Bussin EP50-hybridijärjestelmä on tyypiltään rinnakkaishybridijärjestelmä.



Kuva 19. Solaris hybridi bussin tekninen rakennekuva.

Solaris-hybridibussi mitattiin vuoden 2009 lopulla. Bussin oli nivelmallinen, 18 metriä pitkä ja auton kokonaismassa 28 tonnia. Hybridijärjestelmä oli Allison transmissions:in valmistama EP50-rinnakkaishybridi. Kuvassa 20 on esitetty polttoaineen kulutustulokset Solaris hybridibussilla kahdella kuormalla (22.5 tonnia kuvastaa nivelbussin puolikuormaa ja 19.3 tonnia 3-akselisen bussin puolikuormaa). Kuvan 17 oikealla puolella olevat 3-akselisten Euro IV- ja EEV-autojen vertailutulokset on arvioitu 2-akselisten bussien kulutustulosten perusteella. Braunschweig-syklissä Solariksen kulutus oli, massa suhteutettuna, keskimäärin 20 % EEV-kaupunkibussia ja 24 % Euro IV-bussia matalampi.



Kuva 20. Polttoaineenkulutus Solariksen hybridibussilla kahdella kuormalla sekä vertailuarvot 3-akselisille Euro IV- ja EEV-busseille (3-akselisten vertailuarvot suhteuttu 2-akselisen bussien tuloksista).

Taulukossa 2 on esitetty uusimmat päästökertoimet kaupunkibusseille Braunschweig-syklissä. Samat kertoimet Helsinki 3 syklille esitetään taulukossa 3. Taulukoissa kuvataan säänneltyjen päästöjen sekä polttoaineen kulutuksen keskiarvotulokset VTT:llä mittauksissa käyneistä kaupunkibusseista.

Braunschweig	CO g/km	HC g/km	CH ₄ * g/km	NO _x g/km	PM g/km	CO ₂ g/km	CO ₂ eqv g/km	FC kg/100km	FC MJ/km
Diesel Euro I	1.39	0.32	0.00	15.59	0.436	1219	1219	38.6	16.4
Diesel Euro II	1.48	0.19	0.00	12.94	0.202	1270	1270	41.0	17.4
Diesel Euro III	0.79	0.15	0.00	8.57	0.190	1182	1182	38.0	16.2
Diesel Euro IV	2.77	0.11	0.00	8.32	0.116	1197	1197	38.6	16.4
Diesel Euro V**	2.77	0.11	0.00	8.32	0.094	1197	1197	38.6	16.4
Diesel EEV	0.93	0.03	0.00	6.12	0.071	1126	1127	36.9	15.7
CNG Euro II	4.32	7.12	2.33	16.92	0.009	1128	1283	42.1	20.7
CNG Euro III	0.15	2.14	1.70	9.82	0.013	1222	1271	45.1	22.1
CNG EEV	2.73	1.08	0.91	3.34	0.007	1251	1272	45.0	21.9

* For diesel CH₄ = 0
** Euro 5 emission factors are estimated by Euro 4 results

Taulukko 2. Kaupunkibussien päästökertoimet Braunschweig-syklissä.

Helsinki3	CO g/km	HC g/km	CH ₄ * g/km	NO _x g/km	PM g/km	CO ₂ g/km	CO ₂ eqv g/km	FC kg/100km	FC MJ/km
Diesel Euro I	1.12	0.26	0.00	12.63	0.353	988	988	31.1	13.2
Diesel Euro II	1.20	0.16	0.00	10.48	0.163	1029	1029	33.0	14.0
Diesel Euro III	0.64	0.12	0.00	6.94	0.154	957	957	30.6	13.0
Diesel Euro IV	2.24	0.09	0.00	6.74	0.094	970	970	31.2	13.2
Diesel Euro V*	2.24	0.09	0.00	6.74	0.076	970	970	31.2	13.2
Diesel EEV	0.75	0.02	0.00	4.95	0.058	912	913	29.7	12.6
CNG Euro II	3.50	5.76	1.89	13.70	0.007	914	1039	33.9	16.7
CNG Euro III	0.13	1.74	1.38	7.95	0.010	990	1030	36.3	17.8
CNG EEV	2.21	0.87	0.73	2.71	0.006	1013	1030	36.3	17.6

* For diesel CH₄ = 0
 ** Euro 5 emission factors are estimated by Euro 4 results

Taulukko 3. Kaupunkibussien päästökertoimet Helsinki 3 -syklissä.

5.2.3 Palveluliikenneajoneuvojen vertailumittaukset

Palveluliikennettä kuvaamaan muodostettua Jouko-sykliä käytettiin ensimmäistä kertaa vuoden 2010 alussa. Syklin muodostusta on kuvattu tarkemmin kohdassa *menetelmäkehitys*. Helsingin Palveluauton Mercedes-Benz Sprinttereillä suoritettiin vertailumittauksia diesel- ja CNG-versioiden välillä palveluliikennetyypistä ajoa kuvaavalla Jouko-syklillä.

Mittauksissa käytetyt ajoneuvot olivat henkilöautoiksi (M1) rekisteröityjä eli niiden suurin sallittu kokonaismassa on 3500 kg. Palveluliikenteessä käytettävät ajoneuvot ovat tyypillisesti M2-luokan ajoneuvoiksi rekisteröityjä pienlinja-autoja, joiden suurin sallittu kokonaismassa on 5000 kg. Tämän vuoksi vertailumittauksissa käytettiin simulointimassoina M2-luokan ajoneuvolle tyypillisiä kuormia: tyhjä: 3610 kg, puolikuorma: 4305 kg ja täyskuorma 5000 kg. Diesel-ajoneuvon malli oli Sprinter CDI 315 ja CNG-ajoneuvon Sprinter NGT 316. CNG-ajoneuvo oli varustettu kaksoispolttoainejärjestelmällä. Moottori käynnistetään bensiinillä ja kun riittävä käyntilämpötila on saavutettu, vaihdetaan kaasukäytölle. Molemmat vertailuajoneuvot olivat päästöiltään EU 4 -tasoisia. Testeissä havaittuja päästöjä ei voi verrata hyväksyntämittausten päästöihin, sillä vertailumittauksissa käytetyt simulointikuormat olivat ajoneuvoille epätyypilliset ja käytetty ajosykli poikkeaa huomattavasti hyväksyntämittauksista käytetystä.

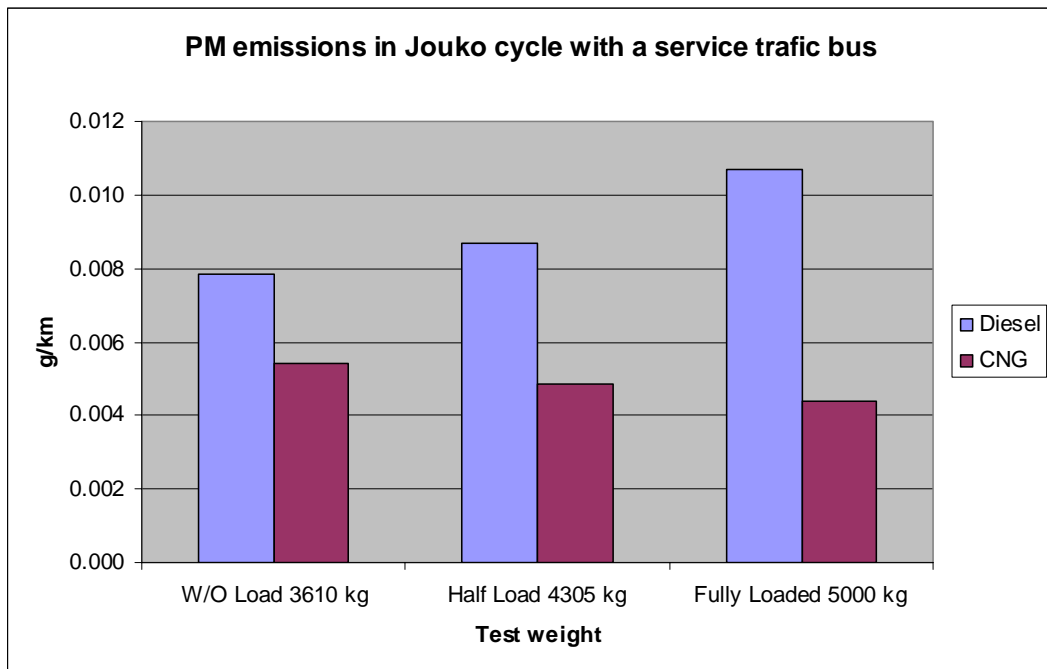
Ajoneuvojen polttoaineen kulutus mitattiin molemmista ajoneuvoista punnitsemalla. CNG-ajoneuvon kaasun kulutus syklin yli mitattiin käyttäen Inspecta oy:n maakaasutankkausasemien tarkastusta varten valmistettua vaaka-ajoneuvoa.

Taulukossa 4 on esitetty diesel- ja CNG-vertailuajoneuvojen päästökertoimet eri kuormilla. Taulukosta voidaan mm. havaita CNG-ajoneuvon käyttämän OTTO-prosessin heikompi hyötysuhde; CNG-ajoneuvo on käyttänyt kilometriä kohden enemmän energiaa.

Jouko cycle	Load	CO (g/km)	HC (g/km)	CH ₄ (g/km)	NO _x (g/km)	PM (g/km)	CO ₂ (g/km)	CO ₂ eqv (g/km)	FC (kg/100km)	FC (MJ/km)
Diesel vehicle	w/o load	0.023	0.020	0.001	2.056	0.008	351.519	351.519	11.379	489.298
	half load	0.043	0.017	0.002	2.251	0.009	382.278	382.278	12.450	535.358
	full load	0.051	0.011	0.002	2.508	0.011	416.642	416.642	13.463	578.927
CNG vehicle	w/o load	0.035	0.021	0.011	0.025	0.005	317.159	317.652	12.240	612.016
	half load	0.020	0.022	0.011	0.034	0.005	342.236	342.732	13.429	671.448
	full load	0.027	0.000	0.012	0.026	0.004	372.813	372.813	14.486	724.311

Taulukko 4. Diesel- ja CNG-palveluliikenneajoneuvojen päästökertoimet.

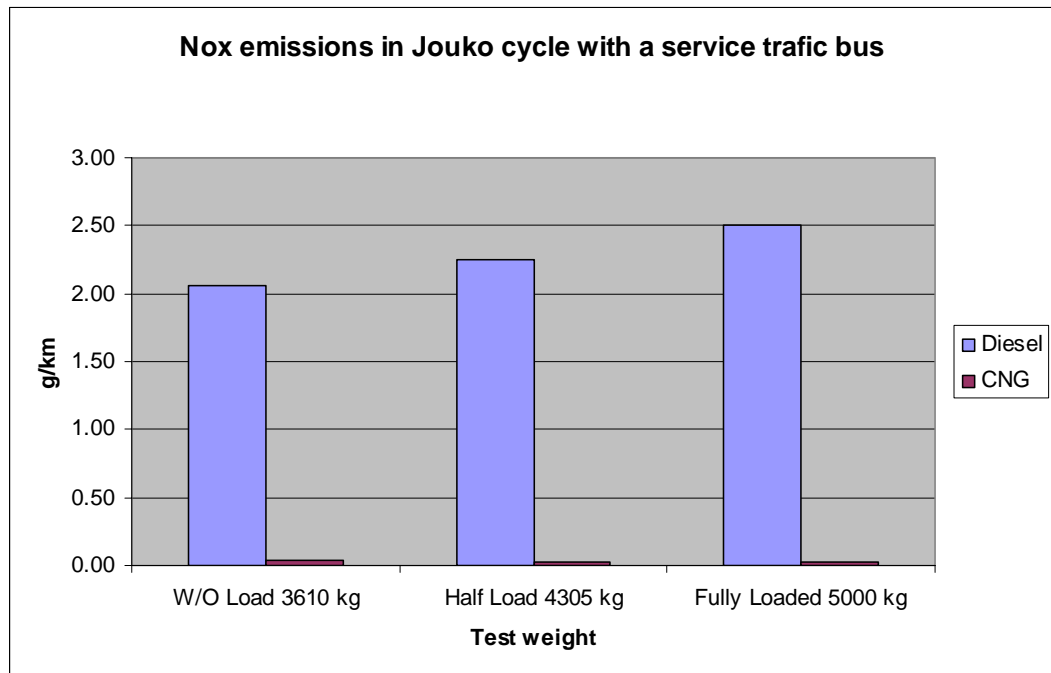
Kuvassa 21 on esitetty diesel- ja CNG-versioiden partikkelipäästötuloksia ajettaessa Jouko-sykliä eri kuormilla. Molempien testiajoneuvojen PM-päästöt olivat hyvin alhaisia. Kuorman kasvaessa diesel-ajoneuvolla partikkelipäästö kasvoi hieman. CNG-ajoneuvolla kehitys suhteessa kuormaan oli päinvastainen. Diesel-ajoneuvolla ajettaessa ilman kuormaa havaittiin partikkelipäästöissä testisykliä toistojen välillä huomattava ero, mikä nostaa partikkelituloksena käytettyä mittausten keskiarvoa. Ensimmäisessä testisyklissä havaittiin lähes täyden kuorman tasoa vastaava PM-päästö. Syynä havaittuun eroon oletetaan olevan ajoneuvon partikkelisuodattimen regenerointi syklin aikana. Regeneroinnin aikana moottorin pakokaasun lämpötilaa pyritään nostamaan ruiskuttamalla enemmän polttoainetta moottoriin. Pakokaasujen lämpötiloissa ei kuitenkaan havaittu eroja toistojen välillä. Myöskään polttoaineen kulutuksessa testin aikana ei ollut havaittavissa selkeitä muutoksia sykliä välillä, joten selkeää näyttöä regeneroinnista ei ole.



Kuva 21. Diesel- ja maakaasupalveluajoneuvojen hiukkaspäästöt Jouko-palveluliikennesyklissä.

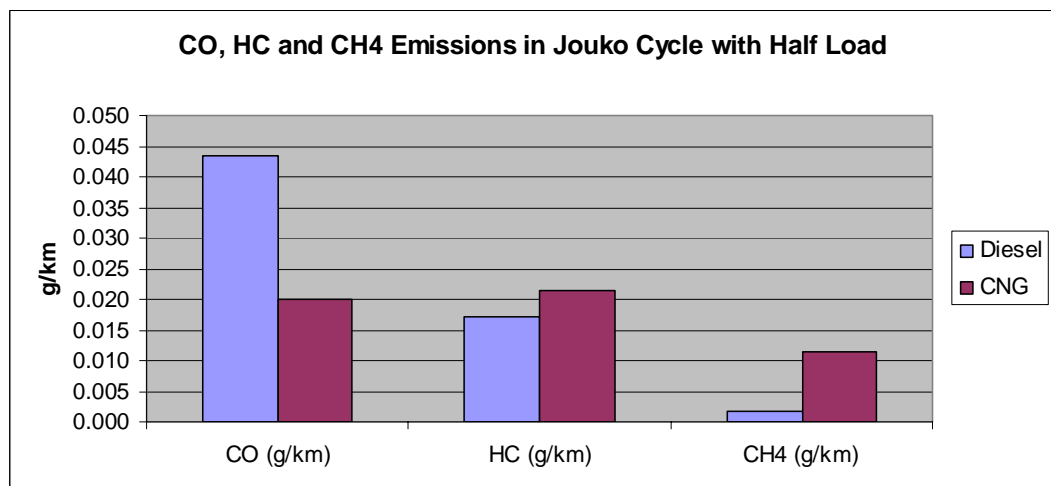
Kuvassa 22 on esitetty diesel- ja maakaasuaajoneuvojen NO_x-päästötulokset. Maakaasuaajoneuvon NO_x-päästöt ovat varsin alhaisella tasolla. Ero diesel-ajoneuvon NO_x-päästöön on huomattava, ero on noin 100-kertainen. Kun NO_x-päästöt suhteutetaan täysikokoisten kaupunkilinja-autojen kulutuksen suhteen, on diesel-ajoneuvon NO_x-päästö varsin lähellä täysikokoisen päästöä. Kun CNG-

ajoneuvon NO_x-päästö suhteutetaan samalla tavoin, jää päästö suhteutuksesta huolimatta huomattavan alhaiseksi.



Kuva 22. Diesel- ja maakaasupalveluajoneuvojen NO_x-päästöt Jouko-palveluliikennesykliissä.

Kuvassa 23 on esitetty diesel- ja CNG-ajoneuvojen hiilimonoksidi-, hiilivety- ja metaani-päästöt puolikuormalla ajettaessa. Hiilivety- ja metaani-päästöt ovat maakaasuajoneuvolla korkeammat, kun taas hiilimonoksidipäästö on diesel-ajoneuvolla suurempi. Kuvassa esitetyt päästöt ovat varsin matalalla tasolla, joten täysin luotettavaa kuvaa ajoneuvojen keskinäisestä suoriutumisesta mittauksissa ei näiden päästöjen osalta kyetä muodostamaan.



Kuva 23. CO-, HC- ja CH₄-päästöt Jouko-sykliissä puolikuormalla.

Taulukosta 5 nähdään, että ajoneuvojen polttoainekustannukset ajettujen mittausten perusteella ovat lähes samat. Suurin ero on nähtävissä täyden kuorman sykliissä, 0,44 e/100 km. CNG-ajoneuvon heikomman hyötysuhteen vaikutus

tasoittuu edullisemmän polttoaineen ansiosta. Polttoainekuluissa ei ole huomioitu dieselin käyttövoimaveroa.

Jouko cycle	Load	FC (kg/100km)	Fuel Price (e/kg)	Fuel Cost (e/100 km)
Diesel vehicle	w/o load	11.379	1.238	14.088
	half load	12.450	1.238	15.415
	full load	13.463	1.238	16.669
CNG vehicle	w/o load	12.240	1.120	13.709
	half load	13.429	1.120	15.040
	full load	14.486	1.120	16.225
Diesel Price 1.04 e/l (www.polttoaine.net, 8.7.2010)				
CNG Price 1.12 e/kg (www.gasum.fi, 8.7.2010)				

Taulukko 5. Diesel- ja CNG-ajoneuvojen arvioidut polttoainekulut eri kuormilla.

5.2.4 Erikoispäästömittaukset

Yleistä

Vuonna 2007 tehtiin ensimmäinen analyysi uusimpien Euro IV-EEV –tason linja-autojen sääntelemättömille päästöille, kolmesta kaupunkilinja-autosta (Aiheesta myös erillinen raportti: VTT-R-04084-09):

- Scania (EGR) Euro IV -päästötason ajoneuvo (vm 2006)
- Iveco (SCRT) EEV -päästötason ajoneuvo (vm 2007)
- MAN CNG (TWC), stoikiometrinen EEV-päästötason ajoneuvo (vm 2007)

Ajoneuvot on kuvailtu tarkemmin taulukossa 6.

Merkki	Pako-laitteet	Vm	Päästö-				Iskutil	Vaiht	Testi-	CO	HC	NOx	CO2	PM	PA-kul (t)	Anal PM	Ames-vaste
			taso	Ajo-km	P-aine	Kuorma											
Scania	EGR	2006	EURO4	244322	DIKC-5/15	50 %	8.87	A	Br	1.84	0.16	8.3	1293	143.3	40.9	19.9 19.6	0 0
Iveco	SCRT	2007	EEV	12337	DIKC-5/15	50 %	7.79	A	Br	0.10	0.004	5.5	1109	14.2	35.0	4.5 4.9 2.6	166 59.0 57.0
MAN	TWC	2007	EEV	82581	CNG	50 %	11.9	A	Br	0.85	0.19	1.6	1299	0.004	47.4	0.64 0.4	0 0

Taulukko 6 Vuoden 2007 Rastu-ajoneuvot, joista analysoitiin ei-säännellyt pakokaasupäästöt.

Nämä erikoismittaukset olivat epäonnisia useassa suhteessa. Kolmen vuoden ikäinen Euro IV -Scania –ajoneuvo (EGR) oli päästöjen, ja erityisesti PM –päästön suhteen jo vaatimattomalla tasolla. Ilmiö on todettu tavanomaiseksi uusissakin Scanian busseissa; kun ajokilometrejä on kertynyt yli 200 tkm, PM –jälkikäsitteilylaitteet, kuten hapetuskatalysaattori ovat menettäneet tehonsa. Toiseksi PAH –analyyseihin liittyi epävarmuutta, koska palveluntarjoaja oli juuri muuttumassa. Tulokset olivat epätydyttäviä. Kolmanneksi myös mutageenisuustestien vasteet olivat yllättäviä, korkea-PM -emissioisen Scania-

bussin PM –päästö antoi 0-vasteen Ames –kokeessa. Tämä on selvästi erilainen tulos kuin aiemmilla vastaavan tekniikan ajoneuvoilla.

Tutkimus vastaavilla ajoneuvoilla päätettiin uusia myöhemmin. Tilaisuus tähän tuli vuoden 2009 HDENIQ –tutkimushankkeessa, jossa on tutkittu vastaavat kolme kaupunkilinja-autoa myös sääntelemättömien päästöjen osalta. Ajoneuvot, yksi CNG ja kaksi dieseliä ovat nyt kahta vuotta uudempia, vm. 2008-09 ja kaikkien tavoiteltu pakokaasupäästötaso on EEV:

- Scania (EGR+hap kat) EEV -päästötason ajoneuvo (vm 2008)
- Volvo (SCR) EEV -päästötason ajoneuvo (vm 2009)
- MAN CNG (TWC), stoikiometrinen EEV-päästötason ajoneuvo (vm 2009)

Ajoneuvot on kuvattu taulukossa 7. Huomattavaa on, että tämänkin 2008 vuosimallin, 300 tkm ajatun EEV Scania-bussin PM –päästötaso oli hyvin korkea, vaikka ajoneuvossa on partikkelikatalysaattori.

Sääntelemättömien päästöjen analyysivalikoima näkyy myös taulukossa 7. Erikoismittauksia tehdään raportissa VTT-R-04084-09 kuvatulla tavalla, eli

Kaasufaasista:

- hiilivetyerittely C1 - C8 -yhdisteille (tolueeni) (GC)
- aldehydit (DNPH -näytteenotto, HPLC)
- ammoniakki NH3 (FTIR)

Hiukkasfaasista:

- hiukkasten lukumääräjakaumat (ELPI) ja kokonaislukumäärä (CPC)
- PAH-analyysi hiukkasmassasta (polyaromaattiset hiilivety-yhdisteet)
- Ames–mutageenisuuskoe hiukkasmassalle.

Make & Exhaust aftertreatm.	Displ. dm ³	Fuel	Emission		Model year	Trans-mission	Mileage km	Driving mode	Test load	Fuel c. kg/100 km	CO g/km	HC g/km	CH ₄ g/km	NO _x g/km	CO ₂ g/km	PM mg/km	NMHC g/km
			level	year													
MAN TWC	11.9	CNG	EEV	2009	A	71300	Br	50 %	44.1	1.41	0.39	0.26	0.85	1230	16.6	0.13	
VOLVO SCR	7.15	DIK 0/-10	EEV	2009	A	17800	Br	50 %	35.6	3.87	0.02	-0.01	5.99	1089	47.3	0.03	
SCANIA EGR	8.87	DIK 0/-10	EEV	2008	A	307500	Br	50 %	37.8	0.53	0.02	0.00	6.83	1171	149.8	0.02	

Make & Exhaust aftertreatm.	Nonregulated emission measurements							
	PM h.c. mg/km	Gaseous HCs	CPC PM # > 7 nm	FTIR components	PM high capacity	Aldehydes	PAH PM filter	Ames mutagenic.
MAN TWC	1.25	x		x	x		x ²	(x) ¹
VOLVO SCR	38.1	x	x	x	x	x	x	x
SCANIA EGR	147.3	x	x	x	x	x	x	x

¹standardi-PM -suodattimet eivät ole tallessa; PM -massaa vähän

²standardi-PM -suodattimet eivät ole tallessa

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

On huomattava, että kaasu- ja hiukkasfaasin väliin jää emission ns. puolihaihtuva aine, jota nykykäytännössä ei kerätä talteen, taikka analysoida. Puolihaihtuvan aineen tiedetään sisältävän mm. suuria määriä 2-4 -renkaisia PAH -yhdisteitä. EPAlla mm. on näytteenottotekniikka (EPA202a), missä kaikki hiukkassuodattimen jälkeinen kondensoituva aine kerätään pakokaasusta talteen analyysia varten. Vain näin on mahdollista saada arvio pakokaasun orgaanisista aineosista kokonaisuutena kuten myös pakokaasun vaikuttavuudesta terveyteen ja ilmakehään.

CNG -kaasubussin PM -emissio on hyvin alhainen ja sen standardinmukainen mittaaminen epävarmaa. Taulukosta 8 on nähtävissä, että ero standardihiukkasmittauksesta ja suurikapasiteettisesta hiukkasmittauksesta lasketun PM -päästön välillä 10-15 -kertainen, so. 17 mg/km vs. 1.25 mg/km, taustakorjaamattomille päästöille. PM -päästötulokseen ja erityisesti standardi-PM:stä tehtyihin analyyseihin tulee näin ollen suhtautua suurella varauksella. Päästötaasoero on systemaattinen ja on esiintynyt myös aiemmin. Syytä voidaan arvioida, mutta varmuutta ei ole. 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. Näin ollen todellinen CNG -auton PM -päästö voi olla mitä tahansa välillä 0 - 16 mg/km. Molempien keräystapojen suodatinlaadut ja pintanopeudet ovat normissa hyväksytyjä. Standardikeräyksen TX40 -suodattimen tiedetään pidättävän päästöstä jonkin verran kaasumaista artefaktia, mitä suurikapasiteettisen keräimen teflonsuodatin ei tee. Punnittavat massat olivat sekä suurikapasiteettisessa että standardikeräyksessä hyvin matalia, samaa luokkaa 0.1-0.3 mg. Suurikapasiteetti-PM -keräyksessä taustapitoisuus oli myös korkea ja edusti 9 - 70 % hiukkasmassasta. Näiden lukujen valossa sekä standardi- että suurikapasiteetti-PM -tuloksia ja analyyseja käytettäessä tunnelien taustamittaukset ja -määritykset on aina tehtävä. Rinnakkaiskokeessa suurikapasiteettisen PM -keräimen taustapitoisuus dieseltunnelista oli 1.8 mg/km (keräysnopeus 600 l/min) ja standardikeräimen 5.1 mg/km (80 l/min). Taulukosta myös nähdään, että PM -päästötason noustessa standardi-PM:n ja suurikapasiteetti-PM:n tasoero häviää, Scanian kohdalla PM -päästötaaso oli molemmilla mittaustavoilla sama.

Tämän työn yhtenä tavoitteena onkin arvioida matalapäästöisten ajoneuvojen hiukkasmittauksen ja hiukkanalyysien luotettavuutta, eli määritysten mielekkyyttä ylipäänsä.

Make & Exhaust aftertreatment	Fuel	Emission level	Test cycle	PM(mg/km) ¹⁾ standard (no b.g. corrected)	PM (mg/km) ²⁾ high capacity (no b.g. corrected)	PM high capacity mass on filter mg	PM standard / PM high capacity %
MAN 2009 TWC	CNG	EEV	Br	12.3	2.0	0.233	
			Br	20.8	1.1	0.130	1068 %
			Br	21.4	0.93	0.107	
			Br	20.5	1.7	0.193	1593 %
			Br	12.2	0.85	0.098	
			Br	14.9	0.91	0.105	1540 %
			gas tunn b.g. - 1	Br	9.4	0.65	0.089
gas tunn b.g. - 2	Br	12.9	0.17	0.024			
Volvo 2009 SCR	DIKC 0/-10	EEV	Br	51.5	38.3	3.521	
			Br	43.1	37.8	3.473	124 %
			diesel tunn b.g.	Br	5.1	1.8	0.247
Scania 2008 EGR (+ox cat)	DIKC 0/-10	EEV	Br	147.4	150.2	10.383	
			Br	152.3	161.4	11.196	96 %
			Ademe	187.3	204.0	9.090	
			Ademe	206.0	232.1	10.303	90 %
Scania 2009 EGR (+ox cat)	DIKC 0/-10	EEV	Br	37.9	33.9	3.055	
			Br	41.3	39.0	3.510	109 %
			diesel tunn b.g.	Br	n.d.	2.5	0.369

¹⁾ TX40 teflon coated glass fibre filter, d=70 mm, 80 dm³/min & 47 cm/s

²⁾ Fluoropore fluorocarbon membrane filter, d=130 mm, 300-500 dm³/min & 38-63 cm/s

Taulukko 8. Vuonna 2009 tutkittujen EEV –kaupunkibussien hiukkaspäästön määritys- ja epävarmuustekijöitä.

Taulukossa 8 on myös vertailun vuoksi uuden, vm. 2009 Scania EEV –bussin hiukkaspäästötaso; ajettu 25 tkm. Tässä linja-autossa jälkikäsitteilylaitteet vielä toimivat, so. PM –päästöt EEV vm 2008 vs. EEV vm. 2009 olivat 150 mg/km vs. 40 mg/km Braunschweig -ajokokeessa.

Tarkemmat hiukkas- ja kaasuanalyysit ovat vielä tekeillä ja sen vuoksi niistä tullaan raportoimaan vasta vuoden 2010 tekemisten yhteydessä.

5.2.5 Päästömittaukset maantiellä

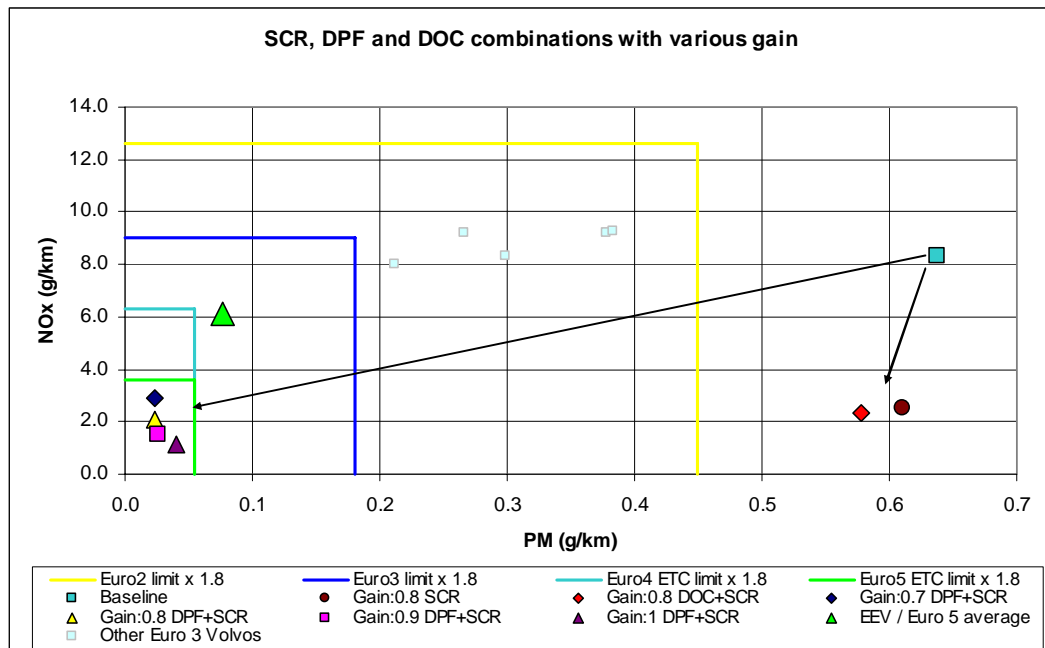
Vuonna 2009 tehtiin mittausten suunnitelmia, mutta itse mittaukset toteutetaan vuonna 2010. Mittaukset pyritään tekemään talviolosuhteissa ja niistä raportoidaan seuraavan vuoden tekemisten yhteydessä. Mittauksissa tullaan käyttämään ns. PEMS(Portable Emission Measurement System)-laitteistoa.

5.3 Jälkiasennettavat pakokaasujen puhdistuslaitteet

HDENIQ –projektin ensimmäisenä vuonna tehtiin kokeita jälkiasennettavan, ns. retrofit-pakokaasujen puhdistuslaitteiston kanssa. Proventian valmistama SCR (Selective catalytic reduction, ts. ureakatalysaattoriin perustuva typen oksidien pelkistysjärjestelmä) + DPF (Diesel particulate filter, partikkelisuodatin) yhdistelmä asennettiin Euro III -päästöluokan Volvo kaupunkibussiin. Laitteiston puhdistustehokkuus todennettiin alustadynamometrimittauksin. Vuoden 2009-2010 aikana SCR-laitteistolla tehdään kenttäkokeita Oulussa Koskilinjojen kaupunkibussissa. Kokeessa tarkkaillaan järjestelmän toimivuutta todellisessa kaupunkiliikenteessä.

Mittauksia varten Proventian toimesta järjestettiin alustadynamometrille Volvo B7RLE Euro III -kaupunkilinja-auto. Auto ajettiin ensin alkuperäisessä tilassa

(Baseline) ilman pakokaasun jälkikäsittelylaitteistoja. Lähtötasoltaan kyseinen ajoneuvo oli luokan huonommasta päästä, eli partikkelipäästöt olivat keskiarvoon nähden todella korkeat (yli 0.6 g/km, kun keskimäärin Euro III autoilla 0.195 g/km). Baseline-mittauksen jälkeen ajoneuvoon asennettiin seuraavat kombinaatiot: SCR, SCR + DPF ja SCR + DOC (Diesel Oxidizing Catalyst). Kaikki testit ajettiin Braunschweig-kaupunkibussi-syklillä, koska tämä kuvastaa tyypillistä pääkaupunkiseudun kaupunkiajtoa ja VTT:n päästötietokanta perustuu tähän sykliin.



Kuva 24. PM ja NOx päästöt Braunschweig syklissä.

SCR-järjestelmän säätösuureissa "gain" arvo kuvastaa typen oksidien ja urean ruiskutuksen suhdetta. Eli mitä suurempi gain arvo, sitä korkeampi urean ruiskutusmäärä suhteessa NOx-päästöjen muodostumiseen. SCR-kennolla ja pakokaasujen lämpötilalla on kuitenkin suuri merkitys puhdistustehokkuuteen, joten optimaalisen arvon hakeminen on tärkeää. Kuvasta 24 nähdään, että gain arvolla 0.8 saavutetaan optimaalinen tilanne päästöjen ja urean kulutuksen kannalta. SCR (gain 0.8) + DPF -yhdistelmällä kyseisestä ajoneuvosta saatiin NOx-päästöjä laskettua n. 75 % ja partikkelipäästöjä yli 95 %. Kun tulosta verrataan VTT:n päästötietokannan EEV-bussien keskiarvoon, nähdään että tässä ajoneuvossa Proventian SCR+DPF -retrofit järjestelmällä saavutetaan huomattavasti EEV keskiarvoa puhtaammat pakokaasupäästöt. Polttoaineen kulutus kasvoi n. 2.5 % SCR+DPF -yhdistelmän asennuksen johdosta ja urean kulutus oli n. 3 % polttoaineen kulutuksesta. Tuloksista tehtiin myös erillinen raportti [VTT-R-01293-10].



Kuva 25. Retrofit SCR + DPF järjestelmän testausta kaupunkibussissa.

5.4 Autojen ylläpito

5.4.1 Yleistä

Autojen elinkaaren liittyy kiinteästi myös ajoneuvojen ylläpito. Vanhoja ajoneuvoja voidaan esim. edellisessä kappaleessa esitetyn mukaisesti päivittää energiatehokkaammiksi tai pakokaasupäästöjen osalta puhtaammiksi. Kuitenkin vielä tärkeämpää on varmistaa ajoneuvojen toimivuus, kuten niiden on suunniteltu toimivan. Huoltamattomat ajoneuvot saattavat aiheuttaa polttoainenkulutuksen ja päästöjen lisääntymisen lisäksi myös turvallisuusriskejä, jos esimerkiksi jarrujärjestelmien huoltoa laiminlyödään. Vuonna 2009 aloitettiin työ raskaiden ajoneuvojen katsastusten jarrutestauksen tehostamismahdollisuuksien selvittämisellä.

5.4.2 Raskaiden ajoneuvojen jarrutarkastus katsastuksessa (Turun AMK)

Suomen katsastuksessa käytettävien jarrutarkastusmenetelmien ajanmukaisuutta on selvitetty keräämällä eri tietolähteistä tutkimustuloksia, joiden perusteella on löydetty kehityskohteet nykyisestä järjestelmästä. Tutkimuksista merkittävin on Ajoneuvohallintokeskuksen teettämä tutkimus sähköisesti ohjatuilla paineilmajarrujärjestelmillä varustettujen kuorma-autojen ja perävaunujen katsastusvaatimusten määrittämisestä (Rahkola, Leppälä; 2005; Edita). Tutkimuksessa on tehty tiehidastuvuusmittauksia, joita on verrattu perinteisiin dynamometrimitoituksiin.

Saatujen tulosten perusteella tiehidastuvuusmittaukset ja dynamometrimittaukset eivät ole vertailukelpoisia keskenään. Kuinka merkittävä ero on tulosten luotettavuuden kannalta, on vakavasti pohdittava asia. Tiehidastuvuusmittausten käyttöönotto katsastusmenetelmänä on edelleen varteenotettava vaihtoehto, jos sen käytännön toteutukseen liittyvät ongelmat saadaan ratkaistuksi. Tiehidastuvuusmittaukset eivät kuitenkaan voisi syrjäyttää täysin dynamometrimittauksia, koska akselikohtaiset jarruvoimat pitäisi edelleen saada tarkastettua dynamometrimittauksella.

Toisena on selvitetty nykyisten jarrumittausjärjestelmien luotettavuuteen liittyviä tutkimuksia kuten jarrudynamometrien/tarkastusohjelmien testausta testivaunulla ja Turun ammattikorkeakoulussa tehtyä päättötyötä kahden eri jarrutarkastusohjelmiston luotettavuudesta. Tarkoituksena tässä osiossa on selvittää nykyisen menetelmän luotettavuus ja verrata niitä mahdollisten vaihtoehtoisten menetelmien luotettavuuteen. Pohdittavana ovat myös nykyisten menetelmien kehitystarpeet, jotta käyttäjästä ja olosuhteista riippuvat epävarmuustekijät saataisiin minimoitua.

Muiden maiden tarkastusmenetelmien vertaaminen

Belgialainen vaihto-opiskelija selvittää opinnäytetyönään tarkastusmenetelmiä muissa Pohjoismaissa ja Euroopassa eri maiden viranomaisilta saatujen tietojen perusteella. Näistä on tarkoituksena selvittää mahdollisesti käyttökelpoisia osaluueita käytettäväksi uudessa testausmenetelmässä.

Tienvarsitarkastusten ja katsastuksen tilastojen käsittely

Tievarsitarkastusten tuloksista on selvitetty havaittuja jarrujärjestelmän vikoja. Tallennetusta tiedosta näyttäisi löytyvän vain otsikkotason maininnat tarkastuskohteittain, kuten esimerkiksi, että vikaa on havaittu jarrujärjestelmässä. Vian laatuun ei siis tällä tiedolla päästä käsiksi. Jarruvikojen laatua on selvitetty tienvarsitarkastuksia Varsinais-Suomessa tekevältä taholta. Heidän tietoonsa ei ole tullut yhtään sähköjarrujärjestelmään liittyvää vikaa, jonka merkkivalo olisi ilmaissut.

Katsastukseen liittyvää tilastotietoa on selvitetty yhdessä TraFi:n kanssa, jotta saataisiin selville nykyisin menetelmin havaittujen vikojen jakaantuminen komponenttitasolla. Tämä selvitystyö on vielä alkuvaiheessa. K1-katsastajien vikatilastot saatuamme pääsemme analysoimaan vikakohteita komponentti komponenttilta. Sähköjarrujärjestelmiin liittyvät viat kirjataan järjestelmään vikana elektronisesti ohjatussa jarrujärjestelmässä, joka voi olla joko merkkivalon toimimattomuus tai merkkivalon ilmaisema vika. Toinen vikavaihtoehto on EBS-modulaattoriventtiiliin liittyvä vika.

Korjaamoilta saatavat tilastotiedot ja kokemukset järjestelmistä

Korjaamohenkilökuntaa haastatteleamalla on selvitetty ja selvitetään sähköjarrujärjestelmiin ja niiden tarkastukseen liittyviä seikkoja. Saamme käyttööme Schenker Cargo Oy:n Etelä-Suomen autokaluston huoltohistorian, josta ilmenee kaikki autoihin tehdyt korjaukset vuoden 2009 aikana. Jarrukorjauksia suorittavien korjaamoiden kanssa yhteistyössä on pyritty selvittämään oikeat menetelmät jarrujen luotettavaan tarkastamiseen. Yhtenä

vaihtoehtona katsastukseen voitaisiin ajatella korjaamon kirjoittamaa todistusta sähköjarrujärjestelmän kunnosta.

Kuljetusyrityksiltä kerättävät kokemukset

Kuljetusyrityksistä on kerätty käytännön kokemuksia lähinnä kuljettajilta suullisesti. Tällä tavoin on pyritty saamaan tietoa siitä miten jarrujärjestelmät käytännössä toimivat. Kyselyä ollaan tällä hetkellä suorittamassa Schenker Oy:ssä kirjallisena. Saatujen vastausten perusteella harkitaan, laajennetaanko tutkimusta myös muihin kuljetusyrityksiin. Tälläkin osa-alueella on tekeillä AMK-insinöörin opinnäytetyö.

6 Raportointimenetelmät ja toimenpiteiden vaikutusten arviointi (TTY, VTT)

6.1 Yleistä

Alatehtävä muodostuu kahdesta osatehtävästä, joista ensimmäisessä selvitetään mahdollisuuksia asiakaskohtaisen päästöjen ja energiankulutuksen mittaamiseen ja raportointiin ja toisessa kehitetään menetelmiä energiansäästötoimenpiteiden vaikutusten arvioimiseksi.

6.2 Asiakaskohtainen kuljetusten päästöjen mittaaminen ja raportointi

6.2.1 Tavoite tai yleiskuvaus

Tutkimuksen tavoitteet määritettiin hakemuksessa seuraavasti: ”Tutkimuksen tavoitteena on toteuttaa tarkan polttoaineenkulutuksen mittaamisen mahdollistavat toimintaprosessit ja tekniset järjestelmät Transpoint Oy:n käyttöön. Tavoitteena on, että järjestelmä tuottaa kuljetussuoritekoista polttoaineenkulutustietoa, jota voidaan hyödyntää sekä yrityksen sisäisessä että ulkoisessa polttoainetehokkuuden seurannassa monella tasolla. Järjestelmän on tarkoitus mahdollistaa ennen kaikkea rahtikirjakohtainen polttoaineenkulutuksen seuranta ja tämän myötä asiakaskohtainen kuljetusketjun hiilidioksidi- ja muiden päästöjen raportointi. Tämän toteuttamiseksi tutkimuksessa selvitetään kuljetusasiakkaiden ja julkisen sektorin tarpeet kuljetusketjujen hiilidioksidi- ja muiden päästöjen raportoinnin suhteen nykyään ja näkemykset tulevaisuuden tarpeista.”

6.2.2 Kirjallisuusselvitys

Tutkimus aloitettiin kirjallisuusselvityksellä, jossa etsittiin tietoa rahtikirja- ja kuljetussuoritekohtaisen energiankulutustiedon mittaamenetelmistä sekä kuljetusketjujen päästöjen raportoinnin käytännöistä. Kirjallisuusselvityksen perusteella liiketoiminnan ympäristövaikutusten seuraaminen ja vähentäminen on noussut tärkeäksi osaksi yrityksen yhteiskuntavastuuta ilmastonmuutoksen hillitsemiseen tähtäävien yhteiskunnallisten tavoitteiden myötä. Suomessa erityisesti eri alojen energiatehokkuussopimukset ovat välineitä energiatehokkuuden raportoinnin ja parantamisen edistämiseksi. Julkisten tavoitteiden lisäksi asiakkaiden ympäristötietoisuus lisääntyy ja tämä asettaa vaatimuksia yritysten ympäristövaikutusten raportoinnille. Joissain yrityksissä on asetettu tavoitteita varustaa yksittäiset tuotteet hiilijalanjälkimerkinnällä näihin kasvaviin odotuksiin vastaamiseksi ja toteutettu hiiliauditoiteja joidenkin tuotteiden osalta. Myös julkisella sektorilla tuotteiden ilmastomerkintöjen kehittäminen on sisällytetty ilmastopoliittisiin linjauksiin.

Hiilijalanjäljen arviointiin on olemassa joitain kansainvälisiä ohjeistuksia, kuten PAS2050, GHG Protocol ja ISO 14064, mutta mikään näistä ei ole saavuttanut kansainvälisen standardin asemaa. Ohjeistukset ovat myös melko yleisellä tasolla ja jättävät monia tärkeitä kysymyksiä arviointia tekevän yrityksen vastuulle. Kehittyvä ympäristöraportointi asettaa haasteita myös logistiikan ympäristövaikutusten mittaamiselle ja raportoinnille. Toimitusketjun hiiliauditointien ongelmiksi on tunnistettu rajaus, kohdentaminen, muutokset, kustannukset ja tietojen saatavuus. Asiakaskohtaisessa kuljetusten ympäristöraportoinnissa erityinen ongelmakohta on päästöjen jakaminen asiakkaiden kesken, erityisesti keräily- ja jakelukuljetuksissa. Erilaisia jakoperusteita käyttämällä yksittäisille asiakkaille voidaan saada hyvin erilaisia päästösuuksia, mutta jakamiseen ei ole olemassa yleisiä toimintaohjeita. Näiden ongelmien vuoksi tuotetason hiilijalanjälkimerkintöihin suhtaudutaan hyvin skeptisesti ja niitä pidetään jopa mahdollisina esteinä toimitusketjutason hiiliauditointien avulla tunnistettaville päästövähennyksille. Kuljetusten ympäristömerkintä kuitenkin lisääisi kuljetusten läpinäkyvyyttä kuljetusasiakkaiden kannalta ja helpottaisi vertailua kuljetusyritysten ja kuljetusmuotojen välillä. Merkintä ei kuitenkaan johtaisi kuljetusten siirtämiseen kuljetusmuodosta toiseen, eivätkä kuljetusasiakkaat ole valmiita maksamaan ylimääräistä ympäristömerkinnän vuoksi.

6.2.3 Kyselytutkimus

Suomalaisten kuljetusasiakkaiden tarpeita kuljetusten ympäristöraportoinnin suhteen selvitettiin kyselytutkimuksella. Kysely oli suunnattu suurille ja keskisuurille, yli 20 henkilöä työllistävälle suomalaisille teollisuuden ja kaupan alan yrityksille. Vastaajien yhteystiedot toimitti MicroMedia. Kysely toteutettiin internetissä Webropol-ohjelmalla tammi-helmikuussa 2010. Kutsu vastata kyselyyn lähetettiin sähköpostitse 2 273 yrityksen toimitusjohtajalle tai vastaavan tason henkilölle. Kutsutuilla oli mahdollisuus toimittaa kutsu eteenpäin organisaatiossaan. 2 009 kutsua toimitettiin onnistuneesti perille ja vastauksia saatiin 115 yrityksestä. Vastusprosentiksi muodostui näin 5,7 %. Vastausprosentti jäi melko pieneksi, mutta vastauksia saatiin monipuolisesti eri toimialoilta ja eri kokoluokan yrityksistä. Näin ollen tutkimuksen tuloksia voidaan pitää edustavina, vaikkakin on syytä huomauttaa, että kyselyyn vastaaminen voi jo kertoa myönteisestä suhtautumisesta ympäristöasioihin, joten kyselyn tulokset saattavat olla ympäristömyönteisempiä kuin todellinen tilanne koko yritysjoukossa on.

Kyselyn perusteella enemmistö suomalaisista kaupan ja teollisuuden yrityksistä ei ole toistaiseksi kokenut vaatimuksia yrityksen ulkopuolelta ympäristöraportoinnin suhteen. Suurissa yrityksissä tällaisia vaatimuksia kuitenkin on olemassa. Myöskään alihankkijoilta yritykset eivät ole ympäristöraportointia laajamittaisesti edellyttäneet. Yritykset ovat olleet proaktiivisia ja kehittäneet omaa ympäristöraportointiaan vaatimuksia laajemmin. Suurin osa yrityksistä myös ennakoivat toteuttavansa vuosittaista ympäristöraportointia vuonna 2016.

Yksittäisten tuotteiden hiilijalanjäljen arviointia oli tehty 15 yrityksessä. Arvioinneista saaduista kokemuksista tulivat esiin samat ongelmat, joita aiemmissa tutkimuksissa on esitetty. Erityisesti arviointimenetelmien standardoinnille nähtiin tarvetta. Ongelmista huolimatta tuotteiden

hiilijalanjälkimerkintöjen yleistymiseen uskottiin hiiliauditointeja jo tehneissä yrityksissä selvästi vahvemmin kuin muissa yrityksissä. Hiilijalanjälkimerkintöjen tulevaisuuteen liittyvästä kysymyksestä tuli selkeästi esiin asiaan liittyvä epätietoisuus, kolmannes vastaajista ei pitänyt niitä todennäköisenä eikä epätodennäköisenä. Sama epävarmuus oli nähtävissä myös muiden tulevaisuusväittämien kohdalla. Vastauksista välittyy kuitenkin selkeä tahtotila liiketoiminnan ympäristövaikutusten vähentämiseen, mutta vähentämisen keinot ovat epäselviä.

Kuljetusten ympäristöraportoinnin kehittämiseksi nähtiin selkeä tarve, erityisesti CO₂-päästöistä, kuljetussuoritekohtaisesta polttoaineenkulutuksesta ja kaluston käyttöasteesta haluttaisiin tietoa. Kyselyn perusteella varsin yksinkertainen raportointi riittäisi monille. Neljännesvuosittain lähetettävä taulukkolaskentatiedosto, joka sisältäisi toimipaikkakohtaiset tiedot kuljetusten ympäristövaikutusten tärkeimmistä tunnusluvuista, vastaisi useimpien yritysten tarvetta. Vastauksista tuli myös selkeästi esiin, että vaikka raportointia arvostetaan ja joissain tapauksissa jopa edellytetään, siitä ei olla valmiita maksamaan ylimääräistä. Myös kuljetusten ympäristöraportoinnin osalta tuli esiin tarve raportoinnin standardoinnille vertailukelpoisuuden varmistamiseksi.

Kyselyn perusteella suomalaisten kaupan ja teollisuuden yritysten suhtautuminen ympäristöystävällisyyden kehittämiseen voidaan kiteyttää kolmeen pääviestiin: ympäristöystävällisyyttä halutaan kehittää, mutta siitä ei olla valmiita maksamaan, ja kehittämisen keinot ovat epäselviä.

6.2.4 Suunnitelmat

Kyselytutkimuksen tulosten analysointia jatketaan edelleen. Kirjallisuusselvityksen ja kyselyn pohjalta arvioidaan asiakaskohtaisen ympäristöraportoinnin tarvetta ja luodaan vaatimusmäärittely mahdollisesti toteutettavalle järjestelmälle. Vaatimusmäärittelyn avulla voidaan suunnitella tiedon tuottamiseksi tarvittavat prosessit ja kehitetään vaatimusten mukaiset tietojärjestelmät. Erityistä huomiota kiinnitetään päästöjen asiakaskohtaisen jakamisen vaihtoehtoihin.

6.3 Energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutusten arviointi

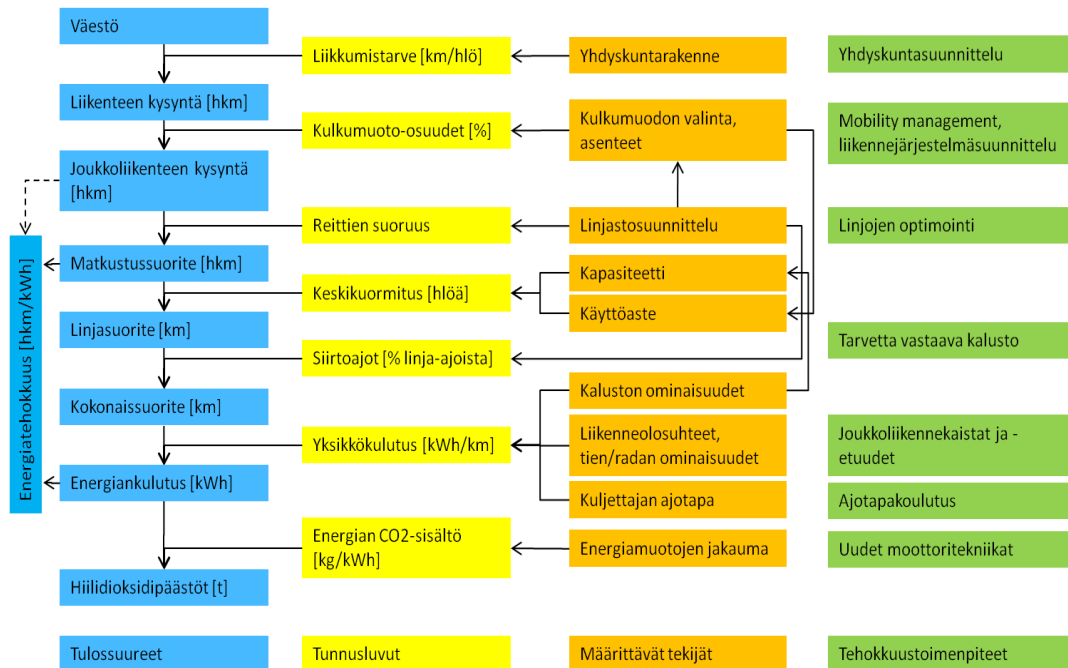
6.3.1 Tavoite tai yleiskuvaus

Tutkimuksen tavoitteet määritettiin hakemuksessa seuraavasti: ”Tutkimuksen tarkoituksena on luoda määrittelyt energiatehokkuustoimenpiteiden arviointimallille. Energiapalveludirektiivi ja niiden pohjalta laaditut energiatehokkuussopimukset edellyttävät joukko- ja tavaraliikenteen energiatehokkuuden parantamista ja tehostamistoimenpiteiden vaikutusten todentamista. Todentamisessa sovellettavat laskentaperiaatteet ovat kuitenkin epäselviä niin kansallisella kuin yritystasollakin. Tutkimuksen tavoitteena on

selkiyttää nämä periaatteet ja luoda niiden pohjalta vaatimusmäärittely laskentasovellukselle, jolla voidaan arvioida energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutusta eri tarkastelutasoilla. Vaatimusmäärittelyssä on tarkoitus kuvata mallin tietosisältö, käyttöliittymä ja käyttötapaukset.”

6.3.2 Kirjallisuusselvitys

Tutkimus aloitettiin kirjallisuusselvityksellä, jossa selvitettiin julkiselle sektorille ja yrityksiin kohdistuvat vaatimukset energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutusten laskennan ja raportoinnin suhteen. Tärkein energiatehokkuuden kehittämistä ohjaava tekijä on EU:n energiapalveludirektiivi, jonka kansallisessa toimeenpanossa energiatehokkuussopimukset joukkoliikenteelle sekä tavarankuljetuksille ja logistiikalle ovat tärkein työkalu. Energiapalveludirektiivissä energiatehokkuus määritellään ”suoritteen, palvelun, tavarankuljetuksen tai energian tuotoksen ja energiapanoksen” väliseksi suhteeksi. Joukkoliikenteessä energiatehokkuus tarkoittaa siis matkustussuoritteen ja energiankulutuksen (hkm/kWh) ja tavaraliikenteessä kuljetussuoritteen ja energiankulutuksen välistä suhdetta (tkm/kWh). Nämä tunnusluvut syntyvät useiden vaikuttavien tekijöiden vuorovaikutuksen tuloksena ja näihin tekijöihin voidaan vaikuttaa monenlaisilla energiatehokkuustoimenpiteillä (Kuva 26).



Kuva 26. Joukkoliikenteen energiatehokkuuden arviointikehikko.

Energiapalveludirektiivin toimeenpanoon liittyen EU:n tasolla on tehty tutkimuksia energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutusten arvioinnin kehittämiseksi. Nämä tutkimukset eivät kuitenkaan ole liittyneet raskaan ajoneuvokaluston energiatehokkuuteen. Näin ei ole olemassa mitään virallista listausta energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutuksista. Suomessa energiatehokkuussopimuksen toimeenpanoon liitettiin myös tiedon tuottaminen tehokkuustoimenpiteiden vaikutuksista. Tällaista tietoa ei kuitenkaan ole tuotettu. Kirjallisuudesta on löydettävissä lukemattomia tutkimuksia

energiatehokkuustoimenpiteistä ja niiden vaikutuksista, mutta kokonaisvaltaista tarkastelua useiden toimenpiteiden yhteisvaikutuksista ei ole juurikaan tehty.

Julkisen sektorin tarpeet energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutusten arvioinnille liittyvät juuri energiapalveludirektiivin ja energiatehokkuussopimusten tavoitteiden toteutumisen arviointiin. Yritysten näkökulmasta puolestaan toimenpiteiden vaikutusten arvioinnissa korostuu oman toiminnan kehittämiseksi tehtävien investointien tietopohjan parantaminen. Yrityksen sisäinen kulutus seuranta on perusedellytys energiatehokkuuden kehittämiseksi ja benchmarking muiden yritysten kanssa voi tuoda monia etuja molemmille osapuolille. Nämä tarpeet voidaan yhdistää kehittyneellä valtakunnallisella seurantajärjestelmällä, joka mahdollistaa automaattisen tietojen tuomisen yritysten omista järjestelmistä ja monipuolisen raportoinnin niin yrityksen omista kuin usean yrityksen kokonaistiedoista. Nykyiset tavaraliikenteen EMISTRA-järjestelmä ja joukkoliikenteen ESS-järjestelmä ovat riittämättömiä tähän tarkoitukseen.

6.3.3 Joukkoliikenteen ETS-tietopankki

Joukkoliikenteen energiatehokkuussopimukseen liittyen on käynnissä valtakunnallisen seurantatyökalun, ETS-tietopankin kehitystyö. ETS-tietopankkia on kehitetty yhteistyössä alan toimijoiden kanssa ja se mahdollistaa kalustotietojen, suorite- ja energiankulutustietojen sekä myös energiatehokkuustoimenpiteiden syöttämisen järjestelmään. Näin ollen ETS-tietopankkia voi käyttää myös energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutusten arvioinnissa. Tällainen mahdollisuus voi myös lisätä yritysten motivaatiota käyttää järjestelmää.

Joukkoliikenteen tilaajien ja tuottajien energiatehokkuudesta ja ETS-tietopankista kartoitetaan kevään aikana tilaajaorganisaatioiden haastatteluilla ja tuottajien internet-kyselyllä. Tehdyissä tilaajahaastatteluissa on jo tullut esiin tilaajan tarve seurata joukkoliikenteen energiatehokkuutta alueellaan. ETS-tietopankki voisi soveltua tähän. Haastatteluissa myös esitettiin idea energiatehokkuustoimenpiteiden markkinoinnista ja niiden vaikutusten arvioinnista ETS-tietopankin yhteydessä (Kuva 27).



Kuva 27. Tarkentuva energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutusten arviointi.

Energiatehokkuustoimenpiteiden tarjoajat voisivat antaa tuotteensa tai palvelunsa riippumattomaan arviointiin ja saada siten oikeuden markkinoida tuotetta tai palvelua ETS-tietopankissa arvioinnin tuloksia hyödyntäen. Yrityksen ottaessa arvioidun toimenpiteen käyttöön sen vaikutuksista saataisiin todellista tietoa, joka myös näytettäisiin ETS-tietopankissa. Tavarankuljetuspuolella EMISTRA-järjestelmää voitaisiin myös kehittää tähän suuntaan tai korvata se ETS-tietopankilla.

6.3.4 Suunnitelmat

Energiatehokkuustoimenpiteistä ja ETS-tietopankista tehdään kysely joukkoliikenneoperaattoreille kevään aikana. Näiden tietojen pohjalta muodostetaan ehdotukset energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutusten arvioinnin kehittämiseksi ETS-tietopankkia hyödyntäen. Lisäksi tutkimustuloksia energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutuksista kerätään eri lähteistä ja kootaan tietokannaksi, mikäli resursseja tähän riittää.

7 Menetelmäkehitys (VTT)

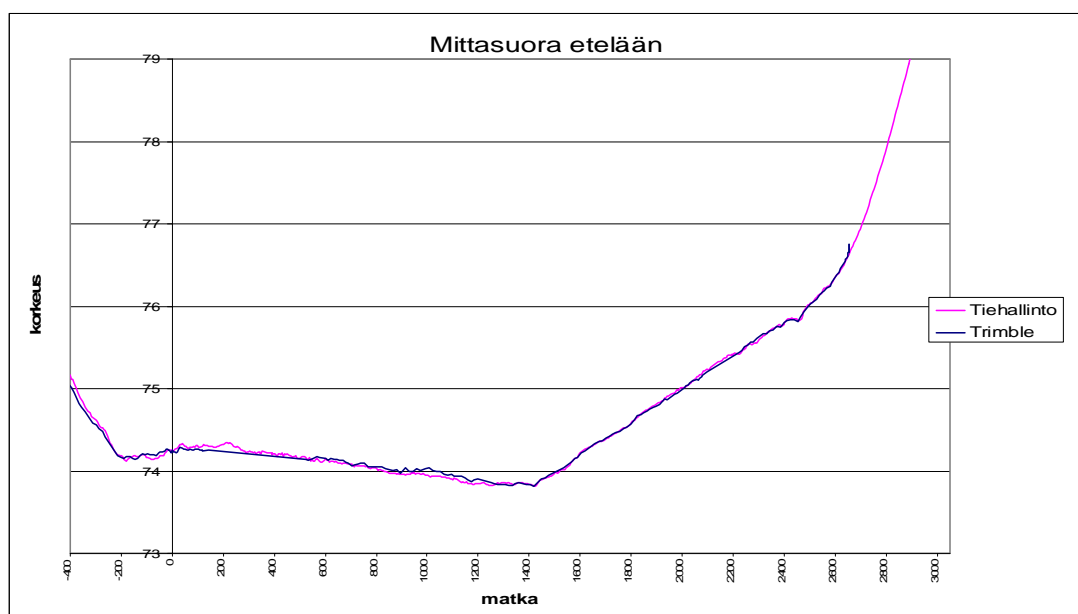
Alustadynamometrimittauksille ei ole olemassa valmiita direktiivejä, tai muita ohjeita joiden mukaisesti mittauksia kokonaisille ajoneuvoille tulisi tehdä. Tästä syystä VTT on kehittänyt omat menetelmät mittauksien toteuttamiseksi, jotka sittemmin akkreditoitiin vuonna 2003 MIKES:n toimesta. Vaikka menetelmät on akkreditoitu, nähdään edelleen tarvetta kehittää niitä mittaustarkkuuden parantamiseksi ja edelleen sovellusmahdollisuuksien laajentamiseksi useampiin ajoneuvotyyppeihin.

7.1.1 Ajovastusten määrittäminen

VTT suorittaa ajoneuvojen ajovastusten määrittelyyn ns. coast-down testien avulla tietyllä mittasuoralla jonka korkeusprofiili tunnetaan. Rullauskokeilla tunnetulla suoralla ajoneuvon aerodynaaminen suorituskyky sekä rullausvastukset saadaan selvitettyä suhteellisen tarkasti.

Rullauskokeissa käytetyn tieosuuden korkeusprofiilin varmistusmittauksia oli suunniteltu jo aiemmin ja ne päätettiin toteuttaa vuoden 2009 aikana. Nurmijärvellä VT 3:lla sijaitsevan mittasuoran profiilin tarkka määrittely on tarpeen korkeampaa tarkkuustasoa vaativissa ajovastusmäärittelyissä, esim. eroteltaessa aerodynaamista vastusta ja vierinvastusta toisistaan. Mittasuoran aiempi määrittely perustuu tiehallinnolta saatuihin tieprofiilitietoihin.

Mittasuoran määrittelyssä käytettiin Geotrim oy:ltä vuokrattua Trimble-merkkistä tarkkuus-GPS -laitetta. Laitteisto koostui keskusyksiköstä ja vastaanottimesta, Trimble R8. Laite käyttää aseman määrittelyssä satelliittien lisäksi maatuksiasemia. Tukiasemien avulla päästään käytännössä noin 2 cm:n tarkkuuteen.



Kuva 28. Mittasuoran määrittely Tiehallinnon tietojen ja GPS-paikannuksen perusteella.

Mittasuoran tarkastuksessa todettiin, että aiempi tiehallinnon tietoihin perustunut profiili piti hyvin paikkansa. Kuvasta 28 on nähtävissä ero aiemman määrittelyn ja GPS-paikannuksen avulla saadun välillä etelään menevällä kaistalla.

Toinen parannuskohde ajovastusten määrittelyyn oli ultraäänitoimisen tuulianturin hankinta. Tuulianturilla saadaan selville tuulen voimakkuus (rullauskokeen aikana ilman nopeus suhteessa ajoneuvoon) sekä sen suuntakulma. Anturi on merkiltään Vaisala WMT52. Seuraavassa kappaleessa kerrotaan tarkemmin anturin toiminnasta.

7.1.2 Uudet ajoneuvotyypit

VTT:n ajoneuvotietokannasta on puuttunut ns. palveluliikenteen kokoluokan, pienlinja-autojen, ajovastus ja sykliprofiilit. Vuonna 2009 toteutettiin Jouko-busseille ajovastusmäärittelyä sekä niille tehtiin käyttöolosuhteita paremmin vastaava testisykli. Jouko-bussien mittaukset alustadynamometrillä suoritetaan vuonna 2010, joten ne käsitellään kyseisen vuoden raportissa.

Jouko-bussin maantierullaukset

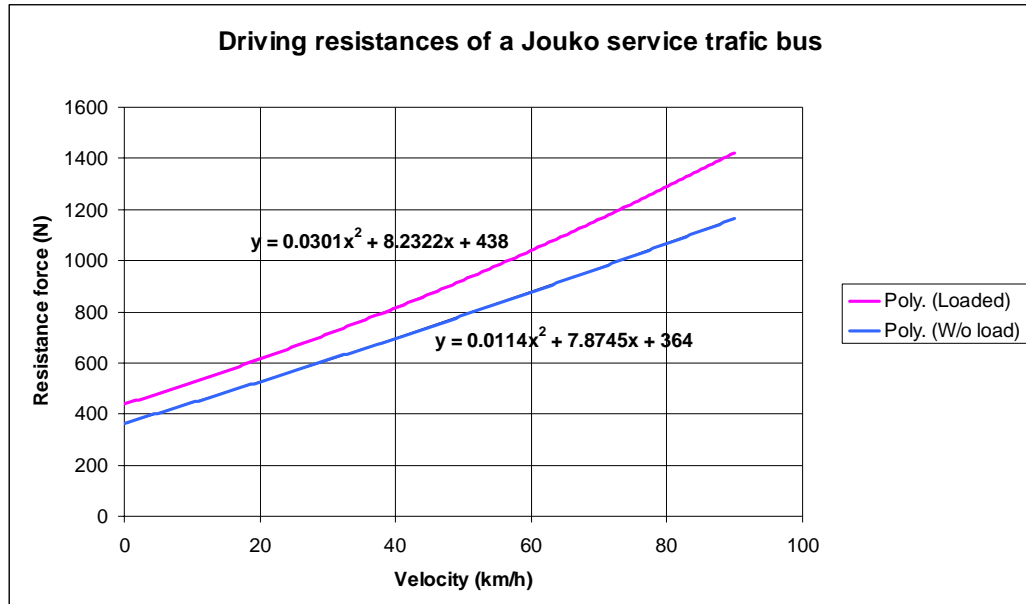
Palveluliikenteen dynamometritestausta varten suoritettiin Jouko-bussilla maantierullauksia. Rullaukset suoritettiin Concordian (nyk. Nobina) Mercedes-Benz -merkkisellä pienlinja-autolla VTT:n käyttämällä mittasuoralla VT 3 Nurmijärvellä. Kuvassa 29 nähdään mittauksissa käytetyn Mercedes-Benz-pikkubussin katolla tuuliolosuhteiden määrittelyyn käytetty Vaisalan tuulienopeusmittari WMT52 ja sijainnin määrittelyyn käytetty Trimble R8 -GPS-vastaanotin. Tuulienopeusmittari on sijoitettu joutsenkaulamaisen kannattimen päähän, jolloin ajoneuvon aiheuttamat ilmavirrat häiritsevät ultraäänitoimisen anturin toimintaa mahdollisimman vähän.



Kuva 29. Mittauksissa käytetty Mercedes-Benz-merkinen Jouko-linja-auto.

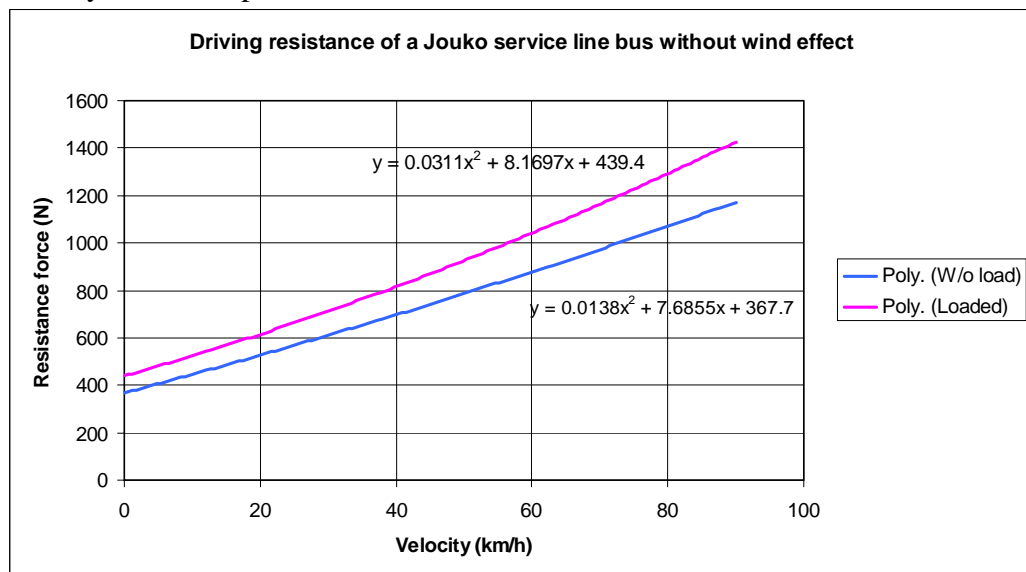
Rullaukset suoritettiin kahdella kuormalla: ilman kuormaa (3610 kg) ja kuormattuna lähelle ajoneuvon suurinta sallittua 5000 kg:n kokonaismassaa (4640

kg) Kuvassa 30 on esitetty rullausten perusteella määritellyt kokonaisvastuskäyrät tyhjälle ja kuormatulle ajoneuvolle. Käyrien yhtälöiden perusteella määritetään kokonaisvastuskertoimet F0, F1 ja F2. Mittauksissa käytetyn tuulianturin avulla on huomioitu tuulen vaikutus vastuksissa. Laskennassa on huomioitu ajoneuvon suuntaisen tuulikomponentin aiheuttaman voiman vaikutus kokonaisvastukseen.



Kuva 30. Jouko-bussin kokonaisajovastukset rullattuna tyhjällä ja kuormatulla ajoneuvolla.

Kuvasta 31 on nähtävissä ajoneuvon kokonaisvastusten käyrät ja niitä vastaavat yhtälöt, jos mittaushetkellä vallinnutta kevyttä tuulta ei huomioida. Edempänä tarkemmin kuvailtavan Jouko-syklin maksiminopeudella 45 km/h jää kokovastusvoimien ero erittäin pieneksi, alle 1 N, kun verrataan tuulen vaikutuksen huomioivia ja huomioimattomia vastusarvoja. 80 km/h nopeudella ero vastusvoimissa on tyhjällä ajoneuvolla noin 4 N, mutta prosentuaalinen ero on merkityksättömän pieni.

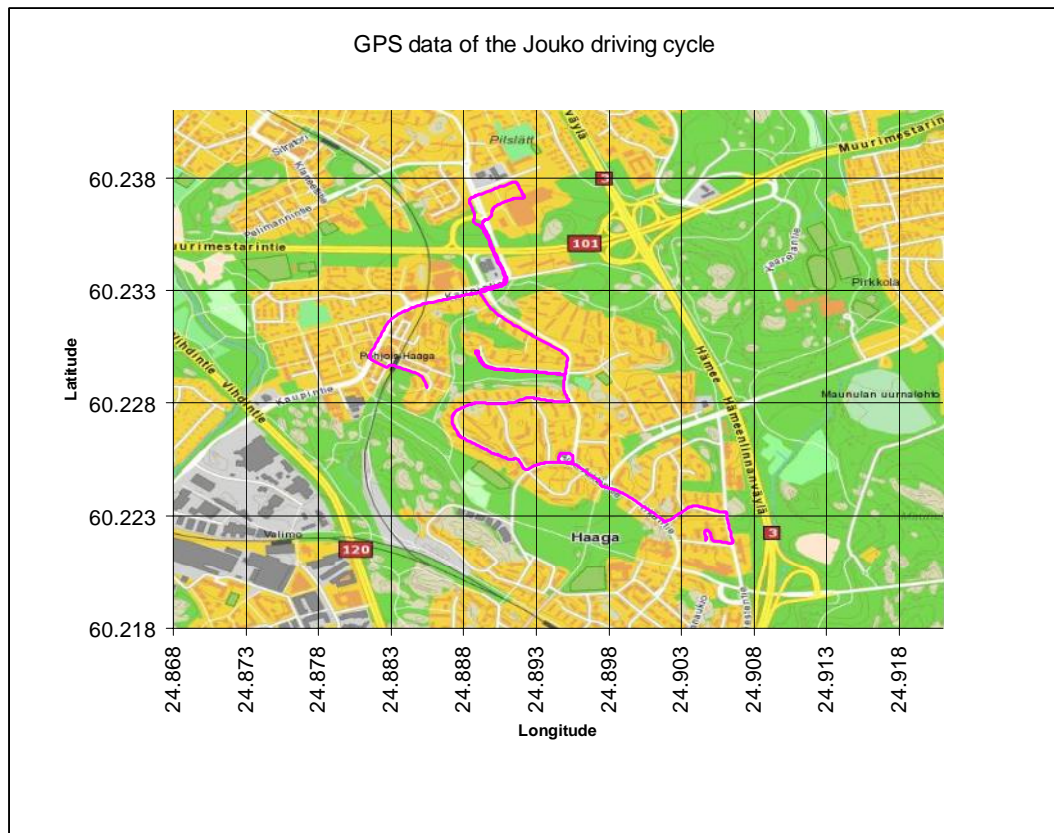


Kuva 31. Jouko-bussin kokonaisajovastukset rullattuna tyhjällä ja kuormatulla ajoneuvolla ilman tuulen vaikutuksen huomiointia.

7.1.3 Uudet ajosykli

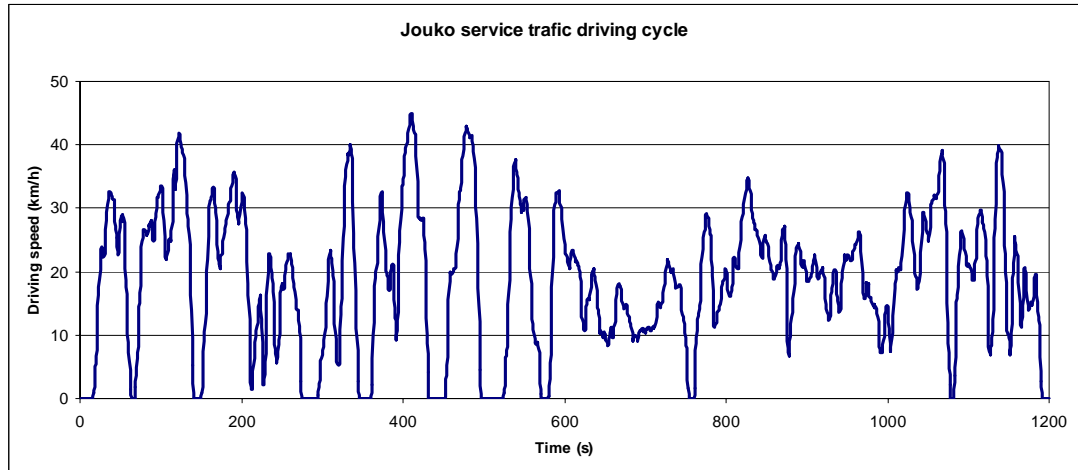
Helsingissä, Espoossa ja Vantaalla liikennöi yhteensä 44 erityyppistä palvelulinjaa. Linjojen suunnittelun lähtökohtana on iäkkäiden, liikuntarajoitteisten ja liikkumisessaan apuvälineitä käyttävien tarpeet. Tästä johtuen palvelulinjojen liikennöinti poikkeaa selkeästi tyypillisestä pääkaupunkiseudun kaupunkibussiliikenteestä sekä ajoneuvokaluston että linjojen ajotavan osalta. Palveluliikenteen kasvaneesta määrästä pääkaupunkiseudulla seuraa tarve tuntea liikennöinnin ympäristövaikutukset. Tätä tarvetta vastaamaan ajosyklivalikoimaan lisättiin vuonna 2009 palveluliikenneajoa kuvaava Jouko-sykli.

Sykli on muodostettu tallentamalla Helsingin kaupunginosalinjan J32 todellista ajosuoritetta. Syklin määrittelyssä on käytetty ajoneuvon CAN-väylästä tallennettua nopeustietoa sekä GPS-paikannustietoa. J32-linjan päätepisteet ovat Haagan palvelutalo ja Munkkiniemen ostoskeskus. Kuvassa 32 on esitetty muodostetun ajosyklin reitti alkaen Haagan palvelutalolta ja päättyen Haagan terveysaseman läheisyyteen.



Kuva 32. Valmiin Jouko-syklin reitti.

Kuvassa 33 on esitetty tallenteiden perusteella muodostetun Jouko-syklin nopeusprofiili ajan suhteen.



Kuva 33. Palvelulinjojen liikennöintiä kuvaava ajosykli.

Taulukossa 9 on esitetty uuden Jouko-syklin perustietoja. Erona täysikokoisten kaupunkibussien linjaliikennettä kaupungissa hyvin edustavaan Braunschweig-sykliin on muun muassa alhaisempi keskinopeus (Braunschweig 22.5 km/h) ja alhaisempi huippunopeus (Braunschweig 58 km/h).

Keskinopeus (km/h)	18.3
Maksiminopeus (km/h)	45.0
Matka (km)	6.12
Paikallaanoloaika (s)	145

Taulukko 9. Jouko-syklin tunnuslukuja.

8 Projektin ohjaus

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

Koska varsinainen tutkimustoiminta käynnistyi vasta syksyllä 2009, pidettiin HDENIQ-projektiin liittyen raportointikaudella vain yksi kaksiosainen kokous 23.9.2009 Otaniemessä. Kyseinen kokous aloitettiin TransEco-ohjelman ajoneuvohankkeille HDENIQ (raskaat) ja EFFICARUSE (kevyet) yhteisellä hallinnollisella kokouksella, jonka jälkeen esiteltiin HDENIQ-projektin tutkimussuunnitelmaa. Tämän lisäksi TransEco tutkimusohjelman puitteissa järjestettiin yhdistetty RASTU-projektin päättö- ja TransEco ohjelman käynnistysseminaarin 4.11.2009 Innopolissa Otaniemessä.

Lopullinen johtoryhmä vahvistettiin konsortiosopimuksella lokakuussa 2009. Alla on listattuna osallistujatahot (Alkuperäisessä HDENIQ-suunnitelmassa mainittu Vibsolas Oy vetäytyi oman rinnasteisen projektin toteutumatta jäämisen johdosta):

- Ajoneuvohallintokeskus AKE
- Liikenne- ja viestintäministeriö LVM
- Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta YTV
- Helsingin kaupungin liikennelaitos HKL
- 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-yliopiston teknillinen korkeakoulu (TKK)
- Tampereen teknillinen yliopisto, TTY
- Turun ammattokorkeakoulu, Turun AMK
- Oulun yliopisto, OY

Johtoryhmän kokoonpano vahvistetaan vuosittain.