



TUTKIMUSRAPORTTI

VTT-R-02415-17



Uudet dieselmoottorin biopolttoaine- vaihtoehdot

Kirjoittajat: Nils-Olof Nylund, Juhani Laurikko,
Matti Kytö, Päivi Aakko-Saksa

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi Uudet dieselmoottorin biopolttoainevaihtoehdot		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot TEKES Jukka Leppälahti		Asiakkaan viite 40223/13
Projektin nimi Uudet dieselpolttoainetta korvaavat biopolttoainevaihtoehdot: yhteistyö, verkottuminen ja pilotointi		Projektin numero/lyhytnimi 100 802/2GBioPilot
Raportin laatija(t) Nils-Olof Nylund, Juhani Laurikko, Matti Kytö, Päivi Aakko-Saksa		Sivujen/liitesivujen lukumäärä 88/0
Avainsanat Biopolttoaineet, dieselmoottori, liikenne, päästöt, analysointi		Raportin numero VTT-R-02415-17
Tiivistelmä ”Uudet dieselpolttoainetta korvaavat biopolttoainevaihtoehdot: yhteistyö, verkottuminen ja pilotointi” oli etupäässä raskaan kaluston polttoainevaihtoehtoihin painottuva Tekesin rahoittama hankekokonaisuus, joka koostui yritysten pilotointi-hankkeista ja niiden rinnalla toteutusta VTT:n tutkimuslaitoshankkeesta. Pilotoinneissa keskityttiin erityisesti tuplalaskennan säännöt täyttäviin jätteistä ja tähteistä tuotettuihin biopolttoaineisiin. Hankekokonaisuus kokosi yhteen tärkeimmät biopolttoaineisiin panostavat energiayhtiöt ja tärkeimmät bussi- ja kuorma-auto-operaattorit. Tämä vahva kotimainen yhteistoimintaverkko kytkettiin myös IEA –toimintaan synergiaetujen saavuttamiseksi. Yritysten hankkeissa oli kolme pääteemaa (suluissa Tekes-rahoitusta saanut yritysosapuoli): • Etanolin osuuden lisääminen raskaassa kalustossa (NEOT/St1) • Mäntyöljyyn perustuva uusiutuva dieselpolttoaine (UPM) • Biometaanin osuuden lisääminen raskaassa kalustossa ja lisäarvo uusituvalle parafiiniselle dieselpolttoaineelle dual-fuel -ratkaisuihin (ryhmähanke Stara ja Itella/Posti) Yleisellä tasolla kokonaisuudella tavoiteltiin mm. uusien bionielujen avaamista (etanoli, bio-kaasu) raskaissa dieselajoneuvoissa sekä uusiutuvan dieselpolttoaineen tarjonnan laajentamista varmentamalla uuden kotimaisesta metsäraaka-aineesta valmistetun polttoaineen toimivuus käytännön oloissa. VTT:n tutkimuslaitoshanke keskittyi uudenlaisten biopolttoaineiden tuottamien pakokaasupäästöjen karakterisoinnin vaatimaan menetelmäkehitykseen ja vaihtoehtoihin polttoaineisiin liittyvään IEA-yhteistyöhön palvellen koko hankekokonaisuutta. Hanke toteutettiin vuosina 2013 – 2016 pitkälti alkuperäisen suunnitelman mukaisesti. Hankkeen kokonaiskustannusarvio oli n. 3,8 M€, josta yritysveloisen pilotointiosan laajuus oli noin 3,0 M€ ja tutkimuslaitososion 0,8 M€.		
Luottamuksellisuus	Julkinen	
Espoo 28.4.2017		
Laatija	Tarkastaja	Hyväksyjä
Juhani Laurikko Johtava tutkija	Jukka Lehtomäki Tiimipäällikkö	Johannes Hyrynen Tutkimusalueen johtaja
VTT:n yhteystiedot Juhani Laurikko, Juhani.Laurikko@vtt.fi		
Jakelu (asiakkaat ja VTT) TEKES/Jukka Leppälahti, VTT Kirjaamo, UPM, St1, Posti, Stara, Neste, Gasum.		
VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.		

Alkusanat

Tekesin osarahoittama, verkottunut tutkimuskokonaisuus ”Uudet dieselpolttoainetta korvaavat biopolttoainevaihtoehdot: yhteistyö, verkottuminen ja pilotointi” painottui raskaan ajoneuvokaluston uusien jäteistä ja tähteistä tuotettavien biopolttoainekonseptien kehittämiseen ja pilotointiin. Kokonaisuus koostui kolmesta yrityshankkeesta ja niitä tukevasta tutkimuslaitoshankkeesta.

Keskeisenä tavoitteena oli synnyttää uutta liiketoimintaa ja/tai uusia toimintamalleja niin polttoaineiden tuottajille kuin ajoneuvo-operaattoreillekin sekä synnyttää uusia kustannustehokkaita biopolttoainenieluja.

Tutkimuskokonaisuus oli yrityspainotteinen, sillä uusien polttoainevaihtoehtojen pilotointiin keskittyvien yrityshankkeiden osuus kokonaiskustannuksista oli lähes 80 %.

VTT:n tutkimuslaitoshankkeen työtä ohjaava ryhmä koostui Tekesin, Gasumin, NEOTin, Nesteen, Postin, Staran, St1:n, UPM:n, LVM:n, TEMin ja VM:n edustajista.

Tähän raporttiin on koottu sekä tutkimuskokonaisuuden yrityshankkeiden että tutkimuslaitoshankkeen keskeiset tulokset.

Tekijät kiittävät ohjausryhmää ja kokonaisuuden yrityshankkeiden vastuuhenkilöitä hyvästä yhteistyöstä.

Espoo 28.4.2017

Tekijät

Sisällysluettelo

Alkusanat	2
Sisällysluettelo	3
OSA I: HANKKEEN YLEINEN KUVAUS, YHTEENVETO JA SYNTEESI	5
0. Tiivistelmä ja synteesi	6
1. Johdanto ja viitekehys	9
2. BioPilot-hankkeen yleiskuvaus	12
OSA II: YRITYSHANKKEET JA NIIDEN TULOKSET	15
3. Mäntyöljypohjainen uusiutuva diesel (UPM)	16
3.1 Yleiskuvaus	16
3.2 Kokeet henkilöautoilla	16
3.3 Materiaali- ja säilyvyyskokeet	23
3.3.1 Materiaalikokeet	23
3.3.2 Stabiiliteettitesti/Säilyvyyskoe	26
3.4 Bussikokeet	27
3.4.1 Kenttätestin suorittaminen	27
3.4.2 Pakokaasumittaukset	29
3.5 Yhteenveto ja johtopäätökset	33
4. Raskaan kaluston etanoli (NEOT, St1)	34
4.1 Taustaa	34
4.2 Hankkeen yleiskuvaus	34
4.3 Seurantatutkimuksen kohteet ja tutkimusvälineet	35
4.4 Ajosuoritteet	36
4.5 Mittausohjelma	36
4.6 ED-bussien polttoaineen kulutus	37
4.7 Lähipäästöt	39
4.8 Yhteenveto ja johtopäätökset	41
5. Dual-fuel kuorma-autot (Stara, Posti)	42
5.1 Yleistä	42
5.2 Dual-fuel ajoneuvot	42
5.3 Käyttökokeen toteutus	44
5.4 Dual-fuel käyttökokeen tulokset	45
5.4.1 Käyttökokemukset	46
5.4.2 Energiankulutus ja kaasun osuus energiasta	46
5.4.3 Päästöt	46
5.5 Yhteenveto	48
OSA III: VTT:N TUTKIMUSLAITOSHANKE JA SEN TULOKSET	49
6. VTT:n tutkimuslaitoshanke ja sen tulokset	50
6.1 Menetelmäkehitys	50
6.1.1 Tausta	50
6.1.2 Tavoite ja toteutus	50
6.1.3 Tulokset	51
6.1.4 VTT:n analyysimenetelmien tarkastelu, kehitys ja validointi	52
6.1.5 Mittauskampanja	54

6.1.6 Yhteenveto.....	57
OSA IV: IEA-YHTEISTYÖ JA TULOKSIA VTT:N ERILLISHANKKEISTA	59
7. IEA yhteistyö.....	60
7.1.1 Yleistä.....	60
7.1.2 End-use working party (EUWP)	60
7.1.3 IEA Advanced Motor Fuels (AMF) Technology Collaboration Programme (TCP).....	61
7.1.4 COMVEC-hanke	62
8. Tuloksia VTT:n erillishankkeista.....	71
8.1 Alkoholli dieselpolttoaineena	71
8.1.1 Yleistä.....	71
8.1.2 VTT:n koeohjelma.....	71
8.1.3 Tulokset	72
8.1.4 Yhteenveto.....	77
8.2 Dual-Fuel -kuorma-autojen polttoaineen optimointi	78
8.2.1 Toteutus.....	78
8.2.2 Tulokset	79
9. Tieliikenteen päästöjen vähentäminen vuoteen 2030.....	82
OSA V: YHTEENVETO	86
10. Yhteenveto	87

OSA I: HANKKEEN YLEINEN KUVAUS, TIIVISTELMÄ JA SYNTEESI

0. Tiivistelmä ja synteesi

"Uudet dieselpolttoainetta korvaavat biopolttoainevaihtoehdot: yhteistyö, verkottuminen ja pilotointi" eli lyhyemmin BioPilot oli raskaan kaluston polttoainevaihtoehtoihin painottuva Tekesin rahoittama hankekokonaisuus, joka koostui yritysten pilotointihankkeista ja niiden rinnalla olleesta VTT:n tutkimuslaitoshankkeesta. Pilotoinneissa keskityttiin uusiin, etenkin raskaan dieselmoottorin polttoaineeksi sopiviin RES-direktiivin (2009/28/EY) mukaisiin tuplalakennan säännöt täyttäviin jätteistä ja tähteistä tuotettuihin biopolttoaineisiin.

Pilotointihankkeen yritysosiossa oli kolme pääteemaa (suluissa Tekes-rahoitusta saanut yritysosapuoli):

1. Etanolin osuuden lisääminen raskaassa kalustossa (NEOT/St1)
2. Mäntyöljyyn perustuva uusiutuva dieselpolttoaine (UPM)
3. Biometaanin osuuden lisääminen raskaassa kalustossa ja lisäarvo uusituvalle parafinisolle dieselpolttoaineelle dual-fuel ratkaisussa (ryhmähanke Stara ja Itella/Posti, koordinaattorina Stara)

Näiden rinnalla oleva VTT:n tutkimuslaitoshanke keskittyi uudenlaisten biopolttoaineiden tuottamien pakokaasupäästöjen karakterisoinnin vaatimaan menetelmäkehitykseen ja vaihtoehtoisin polttoaineisiin liittyvään IEA-yhteistyöhön palvelien koko hankekokonaisuutta.

Kokonaishanke kokosi yhteen tärkeimmät biopolttoaineisiin panostavat energiayhtiöt ja tärkeimmät bussi- ja kuorma-auto-operaattorit. Syntynyt vahva kotimainen yhteistoimintaverkko kytkettiin IEA Advanced Motor Fuels (AMF) –toimintaan synergiaetujen saavuttamiseksi.

Yleisellä tasolla kokonaisuudella tavoiteltiin mm. uusien bionielujen avaamista (etanoli, biokaasu), kohteena raskaat dieselajoneuvot, uusiutuvan dieselpolttoaineen tarjonnan laajentamista varmentamalla uuden kotimaisesta metsäraaka-aineesta valmistetun polttoaineen toimivuus käytännön oloissa.

Hanke toteutettiin vuosina 2013 – 2016 pitkälti alkuperäisen suunnitelman mukaisesti. Hankkeen kokonaiskustannusarvio oli n. 3,8 M€. Yritysvetoisen pilotointiosan osuus oli noin 3,0 M€ ja tutkimuslaitososion 0,8 M€.

Hanke on merkittävästi myötävaikuttanut aivan uuden, mäntyöljystä valmistetun dieselpolttoaineen (UPM BioVerno) markkinoille tuloon, ja varmentanut sen yhteensopivuutta ja käytettävyyttä nykydieseleissä. Polttoaineen täyden mittakaavan kaupallinen tuotanto alkoi jo hankkeen aikana tammikuussa 2015, ja se tuli kuluttajakeluun keväällä 2015. Koska se ei perustu ruokaketjuun kuuluviin raaka-aineisiin, ei sen käytölle ole tulossa rajoitteita. Se ei myöskään suoraan kilpaile raaka-aineesta muun vetykäsittelyyn perustuvan uusiutuvan diesel-tuotannon kanssa.

Etanoli-dieselteknologialla on omat etunsa, joista vähäiset hiukkaspäästöt lienevät selkein. Koska etanoli kuitenkin vaatii erikoismoottorin, sen käytön laajenemisen edellytyksenä on nykyistä laajempi tarjonta eri teholuokissa sekä moottorien nykydieselä suuremman huoltotarpeen vähentäminen, ja sitä kautta käyttökustannusten pienentäminen. Käynnistyessään EU-hanke uuden sukupolven etanolidieselmoottoreista ja –polttoaineista, jota Scaniaan johdolla esitettiin helmikuussa Horizon 2020 –ohjelmaan, varmasti vahvistaa tämän teknologian jalansijaa. Suomesta hanke-esityksessä ovat mukana NEOT ja VTT.

Metaanin käyttö raskaan autokaluston polttoaineena on ollut perinteisesti suosituinta kaupunkibusseissa. Nestemäisen metaanin (LNG) jakelun laajeneminen on tekemässä siitä houkuttelevaa vaihtoehtoa myös raskaassa maantieliikenteessä. Niissä käyttötehtävissä nykyiset kipinäsytytteiseen ottomoottoriteknologiaan perustuvat kaasumoottorit eivät kuitenkaan ole kilpailukykyisiä, sillä useimmat ovat teholtaan liian pieniä ja ottomoottori häviää hyötysuhteessa dieselprosessille. Tässäkin hankkeessa tutkittu dual-fuel kaasu-dieselteknologia taas on kohdannut suuren haasteen pakokaasumääräysten kiristyessä. Koska polttoainetaloudella on merkittävä rooli raskaassa liikenteessä, on ensiarvoisen tärkeää, että myös kaasua dieselprosessilla käyttävien moottorien teknologia saadaan vastaamaan nykyvaatimuksia, ja siihen perustuvia moottoreita saadaan markkinoille riittävän tehokkaina. Viitteitä tästä

on jo olemassa, sillä Volvo on kuluvan vuoden aikana tuomassa markkinoille Euro VI-vaatimukset täyttävän moottorin.

Seuraavassa on esimerkkejä hankkeen tärkeimmistä aikaansaannoksista, havainnoista ja vaikuttavuudesta teemoittain:

Raskaat etanoliautot:

- kahden Scania etanolibussin kenttäkoe toteutettiin onnistuneesti
- bussit jatkavat liikennöintiä vuonna 2017 Helsingin Seudun Liikenteen (HSL) ympäristöbonuksen turvin
- polttoaineen koostumuksen ja lisääineistuksen vaikutuksia tutkittiin IEA Advanced Motor Fuels (AMF) -ohjelmalle raportoidussa osuudessa
- moottorikokeet saivat jatkoa mm. EU Summeth (Sustainable Marine Methanol) EU-hankkeessa
- yhteistyö Scanian kanssa saatiin käyntiin
- Scanian ja 10 muun partnerin kanssa jätettiin helmikuun 2017 alussa Horizon 2020 GV-01-2017 hakemus "RED ROAD" uuden sukupolven etanolidieselmootoreista - ja polttoaineista, jossa Suomesta ovat mukana NEOT ja VTT

Mäntyöljyyn perustuva uusi dieselpolttoaine:

- uuden polttoaineen suorituskyvyn määrittely laboratoriossa tehdyin ajoneuvokokein ja kenttäkokein
- aloitus henkilöautoilla ja seospolttoaineella, vaiheittainen siirtyminen 100 %:seen mäntyöljypohjaiseen polttoaineeseen bussikalustossa
- pitkäkestoiset materiaalikokeet
- BioPilot-hankkeen aikana UPM on siirtynyt koetutannosta täysmittaiseen kaupalliseen tuotantoon

Dual-fuel kaasukuorma-autot:

- Volvon toimittamien Euro V -tasoisten dual-fuel autojen pakokaasupäästöt ja dieselin korvausaste eivät vastanneet odotuksia
- yksinkertaisella imusarjaan kaasua ruiskuttavalla dual-fuel tekniikalle ei pystytä täyttämään Euro VI päästömääräyksiä
- Volvolla on kehitteillä uusi kaasun suoraruiskutustekniikkaan perustuva (High Pressure Direct Injection) dual-fuel moottori
- Neuvoteltu suomalaisten osapuolien kanssa tämän uuden teknologian kokeilusta osana mahdollista uutta IEA AMF projektia

Pakokaasuanalytiikka vaihtoehtoisille polttoaineille:

- Onnistuttiin kehittämään kustannustehokas "harm - no harm" -testausmetodi vaihtoehtoisille polttoaineille
- Menetelmäkehitystä tehtiin osittain IEA-yhteistyönä
- Aiheesta on tehty useampi tieteellinen julkaisu, joista uusin huhtikuun 2017 Atmospheric Chemistry and Physics -lehdessä

IEA-toiminta:

- Yhteistoiminta Kiinan CATARC tutkimuslaitoksen kanssa hankkeessa "Research on Unregulated Pollutants from Alcohol Fuelled Vehicles" (Annex 44)
- tanskalaisen DTU korkeakoulun kanssa yhteishanke alkoholien käyttämisestä dieselmootoreissa "Alcohol Applications in Compression Ignition Engines" (Annex 46)
- Toteutettiin VTT:n vetämänä laaja "Fuel and Technology Options for Commercial Vehicles (COMVEC) -hanke (Annex 49). Siinä koottiin yhteen kahdeksan tutkimuslaitoksen mittaamat, yhteensä 35 erikokoisen hyötyajoneuvon tulokset eri polttoainevaihtoehtoilla

- IEA AMF:n Executive Committee vierailee Helsingissä toukokuun 2017 lopulla tutustumassa Suomen energia- ja ilmastolinjauksiin sekä suomalaiseen polttoaineteknologiaan

Suureksi osaksi BioPilot –hankkeen myötä syntyneessä yhteistyöverkostossa on myös valmistelu ja käynnistetty Helsingin seudun liikenteen ja Helsingin kaupungin (Stara) yhteinen BioSata-hanke:

- osittain BioPilot-hankkeeseen tukeutuen ja pohjautuen HSL ja Stara ovat työ- ja elinkeinoministeriön tuella käynnistäneet BioSata-hankkeen, joka tähtää siihen, että HSL:n tilaama bussiliikenne ja Staran autot ja työkoneet siirtyvät vaiheittain 100 %:seen biopolttoaineeseen

1. Johdanto ja viitekehys

Vaihtoehtoiset ja vähähiiliset polttoaineet ovat merkittävä elementti liikenteen päästöjen vähentämisstrategioissa, niin eurooppalaisella kuin kansallisella tasolla. Erityisesti kestävästi tuotetuilla biopolttoaineilla tulee olemaan tärkeä asema liikenteen kasviuonekaasupäästöjen ja öljyriippuvuuden vähentämisessä

EU:n vuoden 2020 energia- ja ilmastopaketti¹ sekä uusiutuvan energian edistämistä koskeva direktiivi 2009/28/EY² edellyttävät, että uusiutuvan energian osuus liikenteessä on 10 % vuonna 2020. Vuoden 2030 energia- ja ilmastopaketissa tosin ei ole erillistavoitetta liikenteen uusiutuvalla energialle.

Tammikuussa 2013 Komissio julkaisi vaihtoehtoisia polttoaineita koskevan tiedonannon: ”Puhdasta energiaa liikenteen alalla: eurooppalainen vaihtoehtoisten polttoaineiden strategia”³. Tiedonannossa todetaan mm.:

- *Eurooppa on liikkuvuudessaan ja liikenteessään hyvin riippuvainen tuontiöljystä: vuonna 2010 öljyn osuus oli 94 prosenttia energian kulutuksesta liikenteessä, ja 55 prosentin osuudella liikenne on suurin öljynkuluttaja. Öljystä 84 prosenttia on tuontiöljyä, jonka kustannukset olivat 1 miljardi euroa päivässä vuonna 2010.*
- *Vähähiiliset vaihtoehdot ovat myös välttämättömiä liikenteen hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi asteittain. Tällaisista polttoaineista on usein myös hyötyä kaupunkialueille niiden pyrkiessä täyttämään ilmanlaatua koskevat unionin velvoitteet.*
- *Tiedonannon tavoitteena on vahvistaa pitkän aikavälin politiikkakehitys ohjaamaan näiden polttoaineiden käyttöön liittyvää teknologista kehitystä ja investointeja sekä lisäämään kuluttajien luottamusta.*
- *Käytettävissä olevat vaihtoehdot ja niiden kustannukset ovat kuitenkin eri liikennemuodoissa erilaiset. Vaihtoehtoisten polttoaineiden hyödyt ovat alkuvaiheessa suuremmat kaupunkialueilla, joilla epäpuhtauspäästöt ovat suuri huolenaihe, ja tavaraliikenteessä, jossa vaihtoehtoiset polttoaineet ovat jo pitkälle kehittyneitä. Tietyissä liikennemuodoissa, erityisesti maanteiden pitkän matkan tavaraliikenteessä ja ilmailussa, vaihtoehtoja on vain vähän. Liikkuvuuden tulevaisuuden kannalta ei ole olemassa yhtä ainoaa polttoaineratkaisua, ja kaikkia tärkeimpiä vaihtoehtoisia polttoaineita on pyrittävä kehittämään keskittyen kunkin liikennemuodon tarpeisiin.*

Kuva 1.1 havainnollistaa vaihtoehtoisten käyttövoimien soveltuvuutta eri liikennemuotoihin. Kuva on johdettu Komission vaihtoehtoisia polttoaineita koskevasta strategiasta. Kuvasta nähdään, että nestemäiset biopolttoaineet sopivat kaikkiin liikennemuotoihin ja kaikkiin segmentteihin eri liikennemuotojen sisällä. Myös metaani (maakaasu), joko paineistettuna (CNG) tai nesteytetyssä (LNG) muodossa voi laajasti palvella eri liikennemuotoja, lentoliikennettä lukuun ottamatta.

Vaihtoehtoisten polttoaineiden strategian kohdalta luotiin direktiivi 2014/94/EU vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta. Direktiivin mukaan vaihtoehtoisia polttoaineita ovat:

- sähkö
- vety
- biopolttoaineet, siten kuin ne on määritelty direktiivin 2009/28/EY 2 artiklan i alakohdassa
- synteettiset ja parafiiniset polttoaineet
- maakaasu, mukaan lukien biometaani, kaasumaisessa muodossa (paineistettu maakaasu - CNG) ja nesteytetyssä muodossa (nesteytetty maakaasu - LNG)
- nestekaasu (LPG)

¹ https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_fi

² <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=FI>

³ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013PC0017&from=EN>

Alternative Fuels for Transport

	Road						Air	Rail	Water		
											
Range	Urban	Medium	Long	Short	Medium	Long			Inland	Short sea	Maritime
Natural gas					LNG	LNG	✗		LNG	LNG	LNG
Electricity		✗	✗		✗	✗	✗			✗	
Biofuels											
Hydrogen						✗	✗				✗

Kuva 1-1: Vaihtoehtoiset käyttövoimat eri liikennemuodoissa. (Steen 2014⁴)

Direktiivin mukaan kunkin jäsenvaltion on vahvistettava kansallinen toimintakehys vaihtoehtoisten polttoaineiden markkinoiden kehittämiseksi liikenteen alalla ja asiaan liittyvän infrastruktuurin käyttöönottamiseksi. Siihen on sisällyttävä vähintään seuraavat osa-alueet:

- markkinoiden nykyisen tilan ja tulevan kehityksen arviointi liikenteen alan vaihtoehtoisten polttoaineiden osalta, ottaen huomioon myös niiden mahdollinen yhtäaikaisten ja yhdistetty käyttö, sekä vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin kehityksen arviointi ottaen tilanteen mukaan huomioon sen rajojen yli ulottuva jatkuvuus
- kansalliset tavoitteet 4 artiklan (sähkön jakelu liikennettä varten) 6 artiklan (maakaasun jakelu liikennettä varten) sekä soveltuvin osin 5 artiklan (vedyn jakelu maantieliikennettä varten) nojalla vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönottoa varten

Vaihtoehtoiset polttoaineet nostetaan esille myös Komission 20.7.2016 ns. kesäpaketin osana esittämässä vähäpäästöistä liikkuvuutta koskevassa eurooppalaisessa strategiassa⁵. Strategiassa toimenpiteet liikenteen päästöjen vähentämiseksi oli jaoteltu kolmeen pääryhmään:

1. Liikennejärjestelmän parempi tehokkuus
2. Liikenteen vähäpäästöinen vaihtoehtoinen energia
3. Vähäpäästöiset ja päästöttömät ajoneuvot

2. kohdan alla vaihtoehdot ja toimenpiteet luetellaan seuraavassa järjestyksessä:

- a. edistyselliset biopolttoaineet
- b. sähkö
- c. vety
- d. uusiutuvat synteettiset polttoaineet
- e. liikenteen sähköistämisen esteiden poistaminen

Suomen hallitus hyväksyi 24.11.2016 kansallisen energia- ja ilmastostrategian vuoteen 2030⁶. Se annettiin selontekona eduskunnalle. Liikenteen osalta strategiassa on mm. seuraavat kirjaukset:

⁴ http://www.a3ps.at/sites/default/files/conferences/2014/papers/02_jrc_steen.pdf

⁵ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52016DC0501&from=fi>

⁶ http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79189/TEMjul_4_2017_verkkajulkaisu.pdf?sequence=1

- Liikenteen päästöjä vähennetään vuoteen 2030 mennessä noin 50 prosenttia verrattuna vuoden 2005 tilanteeseen. Päästövähennystoimenpiteet kohdistetaan erityisesti tieliikenteeseen, jossa päästövähennyspotentiaali on suurin.
- Liikenteen biopolttoaineiden energiasisällön fyysinen osuus kaikesta tieliikenteeseen myydyistä polttoaineista nostetaan 30 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä.
- Toimintaympäristön vakauttamiseksi ja uusien investointien varmistamiseksi tulee huolehtia biopolttoaineiden markkinoiden jatkuvuudesta koko EU:ssa. Lisäksi tarkastellaan mahdollisuuksia saada aikaan yhteispohjoismaiset biopolttoainemarkkinat.
- Uusien polttoaineiden (kuten kaasu ja vety) jakeluasemaverkosto sekä sähköautojen vaatima latauspisteverkko rakennetaan Suomeen pääsääntöisesti markkinaehtoisesti. Lisäksi arvioidaan kustannustehokkaita keinoja edistää sähköautojen latausverkon ja kaasuautojen tankkausverkon laajentamista huomioon ottaen asiaa pohtineen ja -keluinfatryöryhmän suosituksia.
- Valtion tulee kuitenkin huolehtia siitä, että uusien teknologioiden osuus autokannasta saadaan markkinoiden toimivuuden näkökulmasta riittävälle tasolle. Tavoitteena on, että Suomessa olisi vuonna 2030 yhteensä vähintään 250 000 sähkökäyttöistä autoa (täyssähköautot, vetiautot ja ladattavat hybridit) ja vähintään 50 000 kaasukäyttöistä autoa.

Kuvasta 1-1 nähdään, että tieliikenteessä sähköistys sopii parhaiten taajamiin ja lyhyille ajo- matkoille. Toisaalta, raskas pitkänmatkan maatiiliikenne ei sovellu sähköistykselle. Raskaat dieselkäyttöiset ajoneuvot ovat monelta kannalta välttämättömiä yhteiskunnan tärkeimpien kuljetustoimintojen kannalta. Niinpä on perusteltua kohdistaa vaihtoehtoisten polttoaineiden kehitystyö nimenomaan raskaan kaluston perinteistä dieselpolttoainetta korvaaviin vaihto- ehtoihin. Näin myös siksi, että lento- ja laivaliikenne käyttävät kasvavassa määrin keskitis- leitä (kuva 1-2).

Dieselmootoreilla ja niihin sopivilla polttoaineilla on merkittävä rooli myös tavoiteltaessa 40 %:n CO₂-päästövähennemää biopolttoaineilla. Etanolia käytetään pääasiassa bensiinin kom- ponenttina, mutta sen määrää ei voida nopeasti kasvattaa, koska nykyinen autokantamme voi ongelmitta käyttää enintään 10 til-% etanolia sisältävää polttoainetta, ja muiden bioraaka- aineesta valmistettujen bensiinikomponenttien tuotanto on rajoittunutta.

Substitution of fossile diesel oil is crucial!

Threats	Solutions
• Already shortage of Diesel oil in Europe • Higher share of dieselcars due to regulations of fuel consumption. • Aviation fuels and diesel oil are competitors • Environmental marine regulations will raise demand for diesel oil?	– Biofuels ought to be used in heavy vehicles – Biomethane – Synthetic diesel oil – Dimethyleter (DME) – Electrification of roads....



Kuva 1-2: Tarve dieselpolttoainetta korvaaville vaihtoehtoisille. (Hådell 2012⁷)

⁷ http://www.transec.fi/files/534/Alternative_Energy_and_New_Technology_for_Heavy-duty_Vehicles_Olle_Hadell.pdf

2. BioPilot-hankkeen yleiskuvaus

"Uudet dieselpolttoainetta korvaavat biopolttoainevaihtoehdot: yhteistyö, verkottuminen ja pilotointi" eli lyhyemmin BioPilot oli raskaan kaluston polttoainevaihtoehtoihin painottuvaa Tekesin rahoittama hankekokonaisuus, joka koostui yritysten pilotointihankkeista ja niiden rinnalla olleesta VTT:n tutkimuslaitoshankkeesta. Pilotoinneissa keskityttiin uusiin, perinteistä dieseliä korvaaviin RES-direktiivin (2009/28/EY) mukaisiin tuplalaskennan säännöt täyttäviin jätteistä ja tähteistä tuotettuihin biopolttoaineisiin. Syntynyt vahva kotimainen yhteistoiminta-verkko kytkettiin IEA Advanced Motor Fuels (AMF) –toimintaan synergiaetujen saavuttamiseksi

Pilotointihankkeen yritysosiossa oli kolme pääteemaa/lohkoa (suluissa Tekes-rahoitusta saanut yritysosaosuus):

4. Etanolin osuuden lisääminen raskaassa kalustossa (NEOT/St1)
5. Mäntyöljyyn perustuva uusiutuva dieselpolttoaine (UPM)
6. Biometaanin osuuden lisääminen raskaassa kalustossa ja lisäarvo uusituvalle parafinille dieselpolttoaineelle dual-fuel ratkaisussa (ryhmähanke Stara ja Itella/Posti, koordinaattorina Stara)

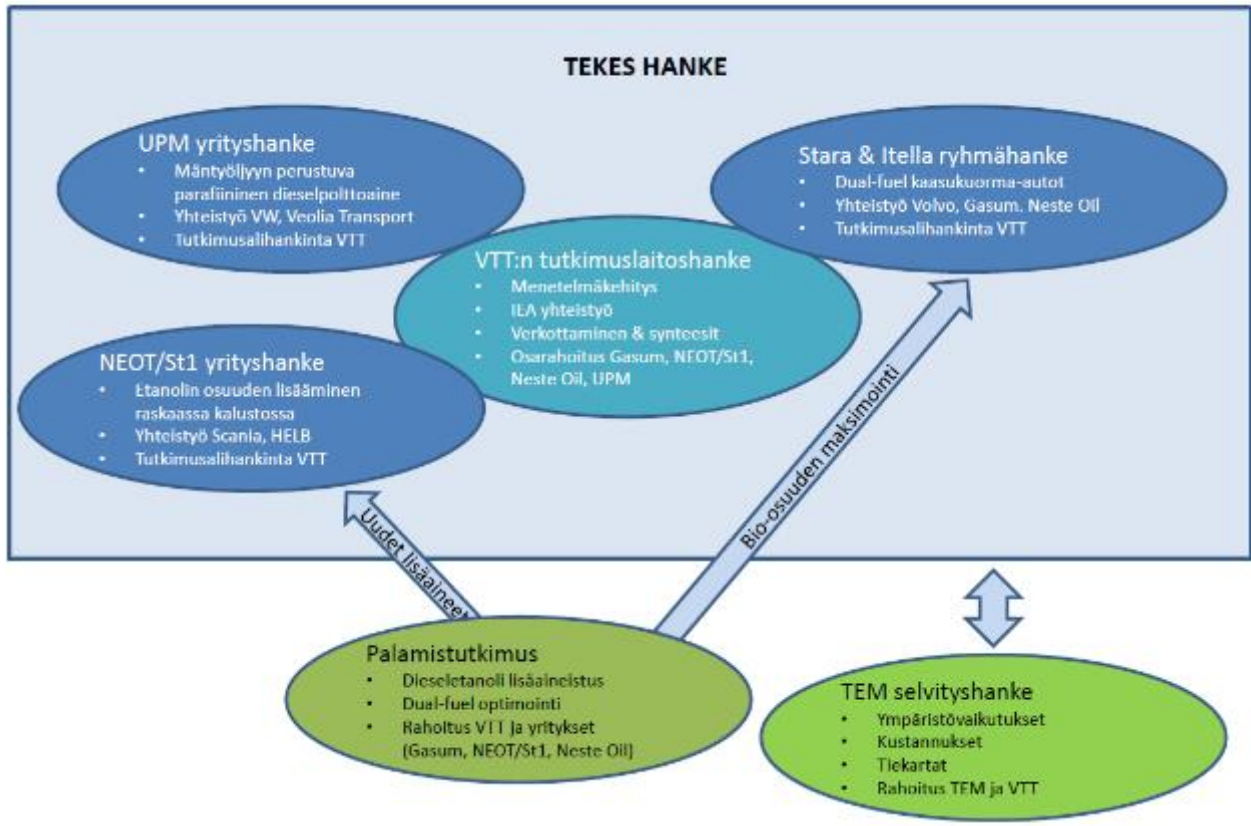
Näiden rinnalla oleva VTT:n tutkimuslaitoshanke keskittyi uudenlaisten biopolttoaineiden tuottamien pakokaasupäästöjen karakterisoinnin vaatimaan menetelmäkehitykseen ja vaihtoehtoihin polttoaineisiin liittyvään IEA-yhteistyöhön palvelleen koko hankekokonaisuutta. Kokonaisuhanke kokosi yhteen tärkeimmät biopolttoaineisiin panostavat energiayhtiöt ja tärkeimmät bussi- ja kuorma-auto-operaattorit.

Yleisellä tasolla kokonaisuudella tavoiteltiin seuraavia asioita:

- Mahdollistetaan uusiutuvien energialähteiden käyttö liikenteessä Suomen tavoitteiden mukaiselle tasolle ja luodaan uusia liiketoimintamahdollisuuksia edistyksellisistä biopolttoainevaihtoehdoista
- Luodaan tehokas yhteistoimintaverkko suomalaisille biopolttoainetoimijoille
 - uusia liiketoimintamahdollisuuksia yrityksille
 - win-win -tilanne yrityksille ja julkiselle sektorille
 - määritellään eri polttoainevaihtoehtojen tehokkaimmat sovelluskohteet
- Linkitetään kotimaiset pilotointihankkeet kansainväliseen verkkoon varmistamalla tehokas kaksisuuntainen tiedonsiirto vaihtoehtoihin polttoaineisiin liittyvässä IEA-yhteistyössä
 - luodaan myös suorat kontaktit ajoneuvovalmistajiin
- Avataan uusia bionieluja, jotka korvaava dieseliä raskaissa autoissa:
 - etanolille: RED95 kokonaan kotimaisena, ml. lisäaineet
 - biokaasulle: kaasudiesel moottorit korkealla hyötysuhteella
- Laajennetaan uusiutuvan dieselpolttoaineen tarjontaa ja käyttöä mm. varmentamalla uuden kotimaisesta metsäraaka-aineesta valmistettavan polttoaineen toimivuus käytännön oloissa
- Rakennetaan arvoketjut (tuottaja>jakelija>käyttäjä) em. polttoainevaihtoehdoille linkittämällä biopolttoaineiden tuottajat, jakelijat, ajoneuvovalmistajat ja suurimmat ajoneuvo-operaattorit
- Arvioidaan jatkuvasti päivittyvän ja kokonaan uuden tilannetiedon nojalla Suomen biopolttoainestrategioiden toteutumismahdollisuuksia ja esim. sitä, mille tasolle biopolttoaineen jakeluvelvoitteet voidaan tai tulisi asettaa (kytkentä TEM selvityshankkeeseen).

Hanke toteutettiin vuosina 2013 – 2016. Hankkeen kokonaiskustannusarvio oli n. 3,8 M€. Yritysvetoisen pilotointiosan osuus oli noin 3,0 M€ ja tutkimuslaitososion 0,8 M€.

BioPilot-hankkeen rakenne ja siihen kytkeytyneet hankkeet on esitetty kuvassa 2-1.



Kuva 2-1: Kokonaishankkeen rakenne.

Osahankkeissa yhteistyösopuudet olivat seuraavat:

NEOT/St1 yrityshanke: Etanolin osuuden lisääminen raskaassa kalustossa

- ajoneuvo-operaattori: Helsingin Bussiliikenne (HELB)
- ajoneuvojen toimittaja: Scania (Ruotsi) ja Scania Finland
- liikenteen tilaaja ja osarahoittaja: Helsingin seudun liikenne (HSL)
- tutkimusalihankinta: VTT (kenttäkokeen seuranta)

UPM yrityshanke: Mäntyöljyyn perustuva uusiutuva dieselpolttoaine

- ajoneuvo-operaattori (bussit): Veolia Transport Finland, sittemmin Transdev Finland
- liikenteen tilaaja: Helsingin seudun liikenne (HSL)
- ajoneuvojen toimittaja (henkilöautot): VV-Auto/Volkswagen
- tutkimusalihankinta: VTT (ajoneuvojen laboratoriokokeet, kenttäkokeen seuranta)

Stara ja Itella/Posti ryhmähanke: Biometaanin osuuden lisääminen raskaassa kalustossa ja lisäarvo uusituvalle parafiiniselle dieselpolttoaineelle dual-fuel ratkaisuisa

- Stara ja Itella/Posti ajoneuvo-operaattoreina
- ajoneuvojen toimittaja: Volvo (Ruotsi) ja Volvo Trucks Finland
- polttoainetoimittajat: Gasum (biokaasu) ja Neste (uusiutuva diesel)

VTT:n tutkimuslaitoshanke: Menetelmäkehitys, IEA yhteistyö ja synteesit

- osarahoittajina Gasum, NEOT/St1, Neste ja UPM
- laaja IEA kontaktiverkko

Yrityskohtaisten pilot-hankkeiden tavoitteita olivat:

1. Etanolin osuuden lisääminen raskaassa kalustossa
 - uutuusarvo: uudet kustannustehokkaat etanolipolttoainekonseptit raskaalle kalustolle, mm. komponentteja ja lisäaineita mahdollisimman korkealla kotimaisuusasteella
2. Kotimaisesta metsäraaka-aineesta valmistettavan uusiutuvan "mäntydieselin" optimaalinen käyttö
 - uutuusarvo: ensimmäiset perusteelliset suorituskykymittaukset ja kenttäkokeet täysin uudella polttoainelaadulla
3. Biometaanin energiatehokas hyödyntäminen raskaassa kalustossa
 - uuden dual-fuel tekniikan pilotointi
 - uutuusarvo: suorituskyvyn ja bio-osuuden maksimointi käyttämällä biokaasun (pääpolttoaine) ja uusiutuvan dieselin (sytytyspolttoaine) yhdistelmää

VTT:n tutkimuslaitoshankkeen tavoitteena oli kehittää polttoainetutkimuksessa tarvittavia mittausten menetelmiä (mm. pakokaasuanalytiikka uusille polttoainelaaduille) ja muodostaa linkki IEA:n Advanced Motor Fuels -ohjelman vaihtoehtopolttoainetoimintaan. Menetelmäkehitystä tehtiin yhdessä kiinalaisen osapuolen kanssa hankkeessa "Research on Unregulated Pollutants Emissions from Alcohol-Fuelled Vehicles"⁸ (Annex 44). IEA AMF:n puitteissa VTT vastasi hankkeesta "Fuel and Technology Alternatives for Commercial Vehicles - COMVEC"⁹ (Annex 49). Tässä hankkeessa 8 tutkimuslaitosta eri maissa tekivät yhteistyötä paketti- ja kuorma-autojen suorituskyvyn määrittämiseksi.

Tekes-hankekokonaisuuden rinnalla VTT toteutti lisäksi kaksi muuta hanketta:

- Etanoli- ja kaasumootoreihin liittyvä palamistutkimus
 - VTT:n ja yritysten yhteisrahoitus
 - dieseletanolipolttoainetta koskeva osuus raportoitiin IEA AMF:lle osana hanketta "Alcohol Applications in Compression Ignition Engines"¹⁰ (Annex 46)
 - kaasumootoreihin liittyvä tutkimusosuus raportoidaan nyt käsillä olevassa raportissa
- Selvitys "Tieliikenteen 40 %:n hiilidioksidipäästöjen vähentäminen vuoteen 2030: Käyttövoimavaihtoehdot ja niiden kansantaloudelliset vaikutukset"
 - rahoittajina työ- ja elinkeinoministeriö, liikenne- ja viestintäministeriö sekä VTT
 - kaksi raporttia, vuoden 2015 varsinainen raportti¹¹ ja keväällä 2017 julkistettu vuoden 2016 päivitys¹²

⁸ http://www.iea-amf.org/app/webroot/files/file/Annex%20Reports/AMF_Annex_44.pdf

⁹ http://www.iea-amf.org/app/webroot/files/file/Annex%20Reports/AMF_Annex_49.pdf

¹⁰ http://www.iea-amf.org/app/webroot/files/file/Annex%20Reports/AMF_Annex_46.pdf

¹¹ http://www.transsmart.fi/files/297/Tieliikenteen_40_hiilidioksidipäästöjen_vahentaminen_vuoteen_2030_Kayttovoimavaihtoehdot_ja_niiden_kansantaloudelliset_vaikutukset_VTT-R-00752-15.pdf

¹² http://www.transsmart.fi/files/430/Tieliikenteen_40_hiilidioksidipäästöjen_vahentaminen_vuoteen_2030_Vuoden_2016_paivitys_VTT-R-00741-17.pdf

OSA II: YRITYSHANKKEET JA NIIDEN TULOKSET

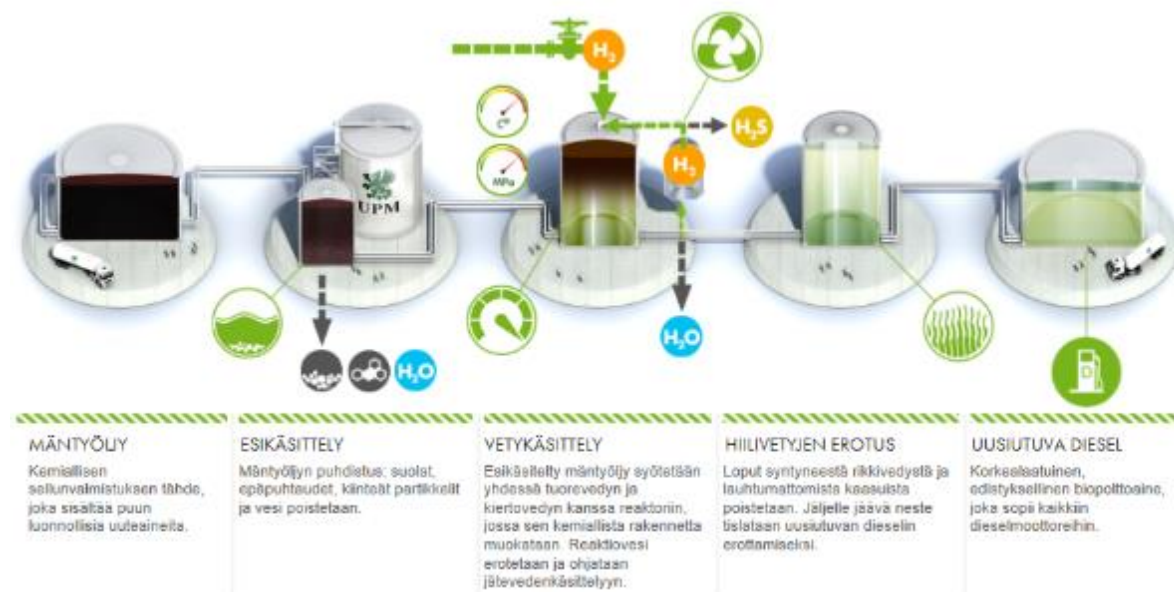
3. Mäntyöljypohjainen uusiutuva diesel (UPM)

3.1 Yleiskuvaus

UPM on kehittänyt ja tuonut markkinoille uudenlaisen, mäntyöljyyn perustuvan dieselpolttoaineen, jota markkinoidaan nimellä "UPM BioVerno". BioPilot-hankkeessa keskityttiin tämän polttoaineen käyttökokeisiin. Ensimmäinen vaihe oli henkilöautoilla toteutettu käyttökoe, koska silloin varsinainen tuotantolaitos Lappeenrannassa ei ollut vielä toiminnassa, ja polttoaine oli tuotettu pilot-mittakaavan laitteistolla. Myöhemmässä vaiheessa, kun tuotantolaitos oli otettu käyttöön, käyttökokeet laajenivat kaupunkibusseihin.

UPM BioVerno on uusiutuva diesel. Se luokitellaan kehittyneisiin biopolttoaineeseen (advanced biofuels) erotuksena perinteisiin ensimmäisen sukupolven biopolttoaineisiin, joita valmistetaan pääasiassa ravinnoksi kelpaavista raaka-aineista ja eri menetelmillä kuin kehittyneitä biopolttoaineita. Sen käytölle ei siis ole EU:ssa tulossa rajoitteita, kuten ruokaketjuun kuuluvia raaka-aineita käyttäville polttoaineille on jo säädetty.

Tuotantoprosessi on syntynyt UPM:n innovaationa Lappeenrannan tutkimuskeskuksessa, yhteistyössä Haldor-Topsoen kanssa. Tuotannon vaiheet ovat esikäsitteily, vetykäsitteily ja tislauksen. Tuotantoprosessissa syntyy päätuotteena uusiutuvaa dieseliä sekä pieniä määriä uusiutuvaa bensiiniä. Kuva 4-1 esittää valmistusprosessin eri vaihteita.



Kuva 3-1: UPM BioVerno –dieselpolttoaineen valmistuksen vaiheet (UPM).

3.2 Kokeet henkilöautoilla

Osahankkeen ensimmäinen vaihe käsitti henkilöautoilla tehtäviä mittauksia, jotka käsittivät a) kenttätestin neljällä identtisesti samanlaisilla, tätä hanketta varten vuokratuilla uusilla autoilla, b) em. kenttätestiin liittyviä laboratoriomittauksia, c) laboratoriomittauksia viidellä eri-ikäisellä ja erilaista dieseltekniikkaa edustavalla koeautolla, jotka lainattiin kokeita varten.

Kenttätestin pituudeksi valittiin 20,000 km, ja koepolttoaineseokseksi 20 % mäntyöljydieseliä (UPM BioVerno, HTO), mineraaliöljydieseliin sekoitettuna, pääasiassa siitä syystä, että polttoainetta ei ollut vielä käytettävissä kovin suurilla määriä, koska sitä valmistettiin vasta pilot-laitteistolla, ja varsinainen täyden mittakaavan tuotantolaitos oli vasta rakenteilla. Kaksi autoa ajoi koepolttoaineella ja kaksi vertailuautoa käytti pelkkää mineraaliöljydieseliä (DFO), joka oli samaa polttoainetta, johon koepolttoaineseos oli valmistettu.

Kenttätestin ajaminen ja kaikki siihen liittyvät tankkaukset tapahtuivat VTT:n henkilökunnan toimesta, joka on aikaisemmin suorittanut useita samantyyppisiä, pitkäaikaisia polttoainetestejä. Testipolttoaineita varten oli VTT:llä omat erityiset säiliöt, joista tankkaus tapahtui.

Kenttätestiautot olivat uusia, vuoden 2013 mallisia Volkswagen Golf TDI BlueMotion –autoja, jotka vuokrattiin testikäyttöön suoraan maahantuojan luovutushuollosta. Siksi niillä ajettiin sisäänajoa noin 3500 km ennen varsinaisen testin aloittamista ja siihen liittyvien laboratorio-testien suorittamista. Tämä oli tarpeen moottorien ja pakokaasun puhdistusjärjestelmän toiminnan vakauttamiseksi, ja vastaa tyyppihyväksymissäädöksissä esitettyä minimiajomatkaa (3200 km) ennen hyväksymismittausten suorittamista.

Sisäänajon jälkeen autoilla tehtiin alkumittaukset VTT:n ajoneuvolaboratoriossa, jossa määritettiin säännelty pakokaasupäästöt, polttoaineen kulutus sekä joukko ei-säänneltyjä komponentteja. Ennen varsinaisen kenttäkokeen aloittamista kaikista autoista irrotettiin, tarkastettiin ja valokuvattiin polttoaineen ruiskutuslaitteet, ja sama toistettiin kokeen päätyttyä.

Kuvassa 3-2 nähdään koeautot VTT:n Otaniemen toimipisteessä, polttoainevaraston edessä, ja kuvassa 3-3 yksi koeautoista VTT:n ajoneuvolaboratorion henkilöautojen mittaustilassa, kuvattuna ensimmäisten pakokaasukokeiden suorittamisen yhteydessä.

Taulukossa 3-1 on esitetty joitain teknisiä arvoja koeautoista.

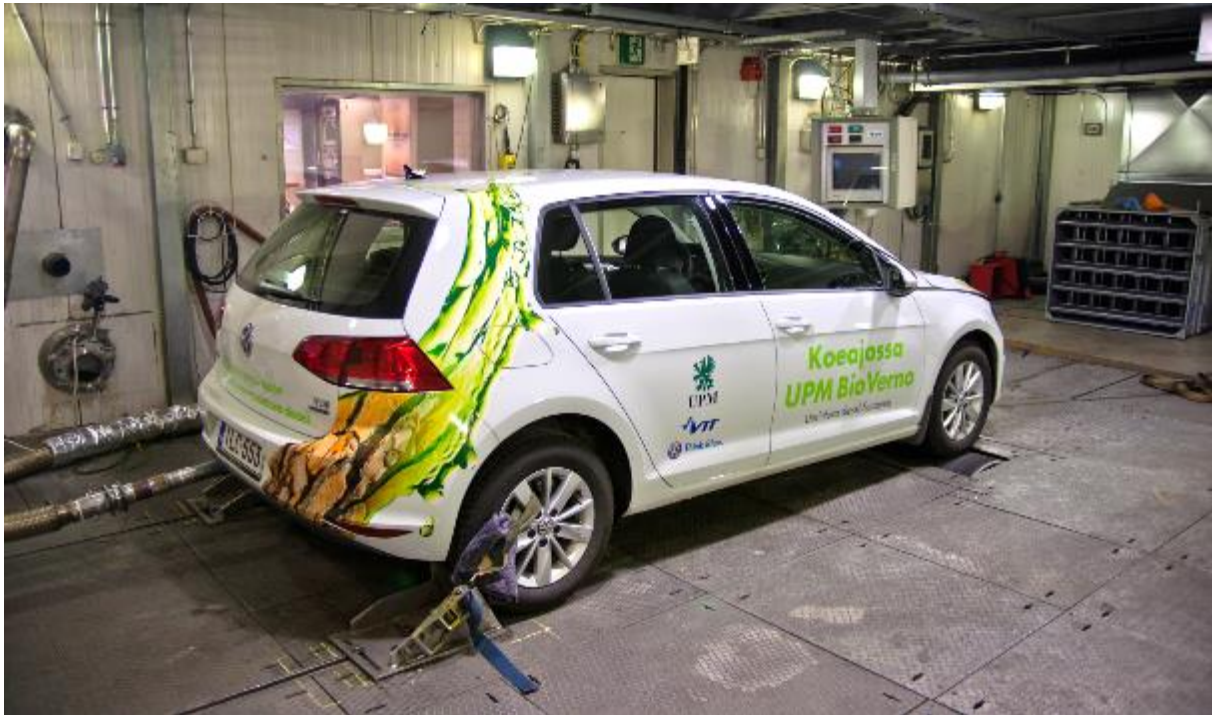
Taulukko 3-1: Eräitä teknisiä arvoja koeautoista.

Moottori	Max.teho	Max. vääntö	Polttoainejärjestelmä	Vaihteisto	Korityyppi	Omamassa
1.6 TDI	77 kW	250 Nm	yhteispaine-ruiskutus	DSG7	4-ovinen	1337 kg

Kaikissa VTT:n laboratoriossa tehdyissä pakokaasumittauksissa käytettiin eurooppalaista tyyppihyväksymistestisykliä (NEDC). Suurin osa mittauksista tehtiin normaalissa lämpötilassa (+23°C), mutta joitain mittauksia tehtiin myös -7 °C lämpötilassa, joka vastaa tyyppihyväksymismenettelyn Type VI –testin lämpötilaa. Ko. testissä ajetaan kuitenkin normin mukaan van ECE15-ajojakso, ja raja-arvot on säädetty vain CO- ja HC-päästöille. Tämän tutkimuksen yhteydessä käytettiin kuitenkin koko NEDC -ajo-ohjelmaa, ja pakokaasuista määritettiin sekä kaikki normin mukaan säännelty että useita ei-säänneltyjä komponentteja.

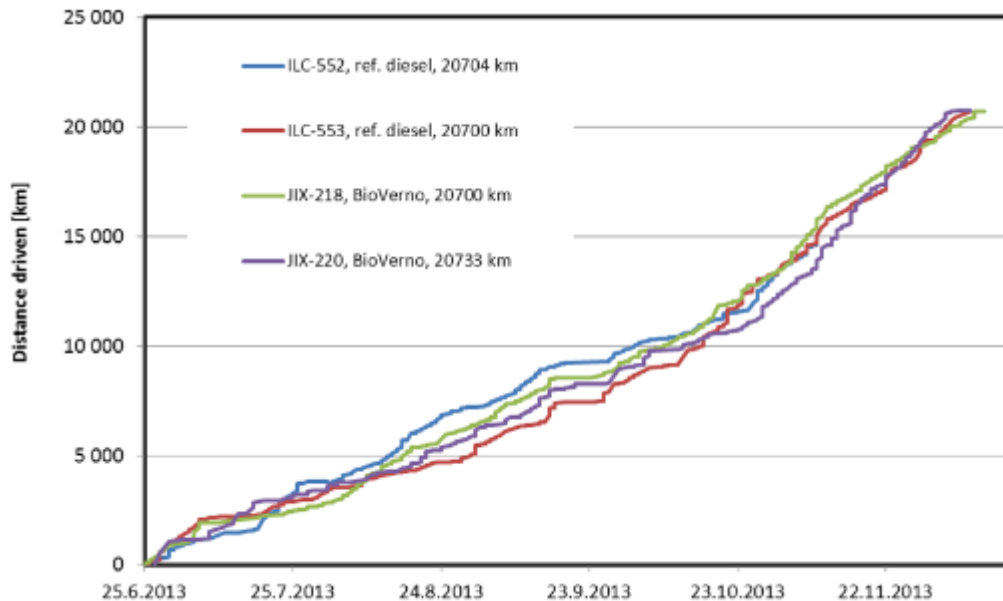


Kuva 3-2: Kenttäkokeen koeautot VTT:n Otaniemen toimipisteen pihassa.



Kuva 3-3: Yksi koeautoista VTT:n ajoneuvolaboratorion henkilöautojen mittaustilassa.

Kenttätestin ajaminen alkoi kesäkuun 2013 lopulla, ja tavoitekilometrit saavutettiin joulukuun 2013 alussa. Kuvassa 3-4 esitetään kilometrikertymät ajan funktiona.



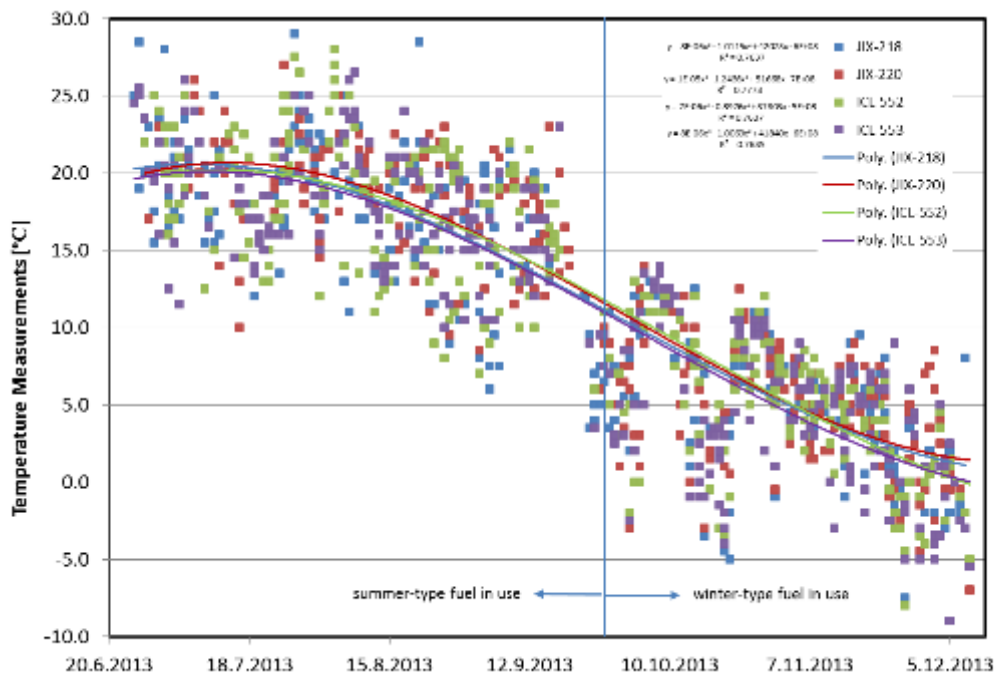
Kuva 3-4: Kilometrikertymät koeautoille ajan funktiona.

Koska kaikki tankkaukset piti tehdä erityissäiliöistä, autoilla ajettiin enimmäkseen Etelä-Suomessa, lähinnä Uudenmaan läänin alueella, mutta muutamia pitempiäkin matkoja tehtiin, koska täydellä tankillisella polttoainetta autojen ajomatka oli noin 950 ... 980 km, ja 20 litran varasäiliöllä jopa yli 1100 km.

Testiin osallistui yhteensä 20 eri kuljettajaa, jotka ajoivat joko yhtä tai useampaa autoa. Viisi kuljettajaa ajoi kuitenkin lähes 60 % kaikista kilometreistä tasaisuuden takaamiseksi. Tyypillisesti autoilla ajettiin viikolla erimittaisia työmatkoja (13 – 120 km/suunta), ja viikonloppuina pidempiäkin maantiematkoja.

Analysoitaessa ajomatkojen pituuksia havaittiin, että keskimäärin n. 17 % matkoista oli alle 5 km mittaisia, mutta vastaava määrä oli myös yli 100 km pituisia matkoja. Kaikista matkoista vähän alle puolet oli lyhyempiä kuin 25 km, mutta näiden matkojen osuus kokonaisajokilometreistä jäi reilusti alle 10 % osuuteen. Vaihtelu eri koeautojen välillä oli vähäistä.

Olosuhteet kenttäkokeen aikana vaihtelivat normaalin vuodenaikavaihtelun mukaan kesästä alkutalveen joulukuun alussa. Kuva 3-5 esittää lämpötilahavaintoja kenttäkokeen ajalta. Kuvaan on myös merkitty ajankohta syys-lokakuun vaihteessa, jolloin polttoaineet vaihdettiin kesälaatuista paremmin kylmää kestävään laatuun. Kuvan mukaan lämpötilojen hajonta oli aika suuri, mutta jos havaintopisteiden mukaan sovitaan 2-asteen polynomi, joka kuvaa parhaiten havaintoaineistoa, eri autojen välillä oli hyvin vähän eroja.



Kuva 3-5: Lämpötilahavainnot kenttäkokeen suorittamisen yhteydessä.

Eräs tärkeitä seurattavia suureita kenttätetissä oli polttoaineen kulutus. Sitä mitattiin paitsi laboratoriomittauksissa käyttäen tyyppihyväksymiskokeen ajosykliä (NEDC), myös normaali- ajossa tankkausten kautta. Taulukossa 3-2 on esitetty laboratoriomittausten mukaiset kulutuslukemat testi- ja vertailupolttoaineelle erikseen autokohtaisesti sekä keskiarvona kummallekin polttoaineelle. Vastaavasti Taulukko 3-3 esittää tulokset kenttäkokeen yhteydessä tehtyjen havaintojen mukaan. Samat tulokset on esitetty graafisesti kuvassa 3-6.

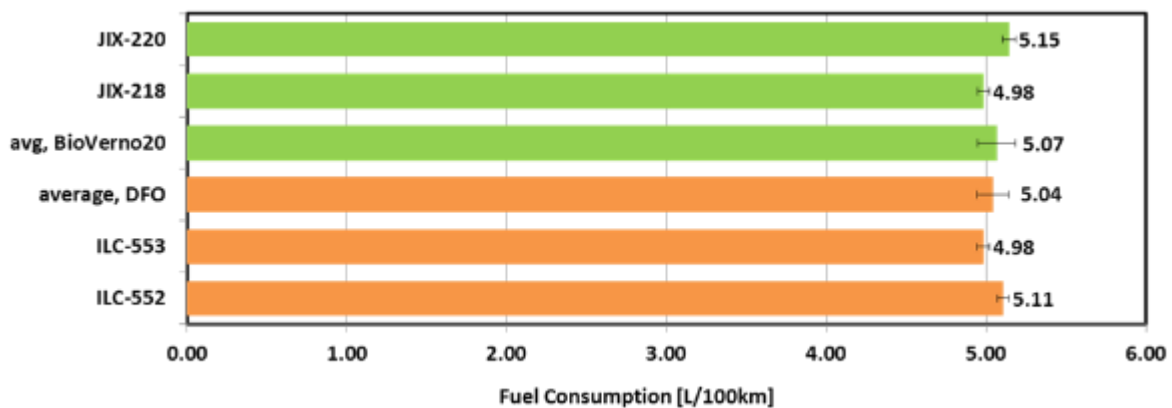
Taulukko 3-2: Polttoaineen kulutus laboratoriomittausten mukaan.

Auto	ILC-552	ILC-553	JIX-218	JIX-220	keskimäärin	
Polttoaine	DFO	DFO	BioVerno	BioVerno	DFO	BioVerno
tilanne	L/100km	L/100km	L/100km	L/100km	L/100km	L/100km
alku, DFO	4.96	5.13	5.21	5.05	5.09	
BioVerno20	5.33	5.13	5.23	5.06		5.19
loppu, DFO	4.79	4.85	5.09	4.87	4.90	
BioVerno20	5.18	4.94	5.04	4.82		5.00

Kuten Taulukosta 3-2 nähdään, autojen polttoaineen kulutus väheni kokeen aikana, sillä kummankin autoparin keskilukutus pieneni noin 0,2 L/100 km verran, eli vajaat 4 %. Tulos oli sama riippumatta polttoaineesta, sillä alku- ja loppumittausten yhteydessä kaikki autot mitattiin kummallakin polttoaineella. Tämä voi johtua moottorin ja voimasiirron ”sopivasta” kulumisesta, jolloin niiden aiheuttamat sisäiset kitkat pienenevät verrattuna lähes uuteen moottoriin.

Taulukko 3-3. Polttoaineen kulutus kenttäkokeen aikana.

Auto	ILC-552	ILC-553	JIX-218	JIX-220	Average	
Polttoaine	DFO	DFO	BioVerno	BioVerno	DFO	BioVerno
Yhteensä (L)	1057.3	1031.4	1031.9	1067.1	2088.7	2098.9
Yhteensä (km)	20704	20700	20700	20733	41 404	41 433
L/100 km	5.11	4.98	4.98	5.15	5.04	5.07
Virhemarginaali L/100 km	0.04	0.04	0.04	0.04	0.10	0.12



Kuva 3-6: Polttoaineen kulutus kenttäkokeen aikana.

Kuten Taulukosta 3-3 ja kuvasta 3-6 nähdään, normaalissa liikenteessä ajatussa kenttäkokeessa polttoainetta kului myös molemmissa autopareissa aivan sama määrä, joka oli myös mittausepä-tarkkuus huomioon ottaen sama kuin keskiarvo laboratoriomittauksissa.

Kenttäkokeeseen liittyvien alku-, väli- ja loppumittausten lisäksi VTT:n ajoneuvolaboratoriossa tehtiin mittauksia neljällä eri-ikäisellä ja erilaista diesel(ruiskutus)tekniikkaa edustavalla autolla. Lisäksi tähän osioon osallistui yksi kenttäkoeautoista. Taulukko 3-4 yksilöi tarkemmin nämä koeautot, joista kolme oli aivan uusia (Euro5b ja Euro 6a) ja kaksi vanhempaa, alun perin Euro 4 ja Euro 3 –normien mukaan tyyppi-hyväksytyjä. Kuvassa 3-7 nähdään kolme tämän ryhmän autoa VTT:n ajoneuvolaboratoriossa mittauksen yhteydessä.

Taulukko 3-4. Koeautot laboratoriotestiosiossa.

Merkki ja malli	Vuosi-malli	Matkamittarin lukema (km)	Tyyppi-hyväksyminen	Ruiskutus-järjestelmän tyyppi
Volkswagen Golf 1.6 TDI	2013	~ 3500	Euro5b	Yhteispaine (CR)
Volkswagen Polo 1.2 TDI	2012	~ 3500	Euro5b	Yhteispaine (CR)
Mazda6 2.2 SkyActiveD	2013	~ 1500	Euro6a	Yhteispaine (CR)
Audi A3 2.0 TDI	2008	~ 63 000	Euro4	Pumppusuutin (PD)
Opel Corsa 1.7D	2000	~ 325 000	Euro2	Jakajapumppu (VP)



Kuva 3-7: Laboratoriotestiosion koeautoja VTT:n ajoneuvolaboratorion koetilassa.

Tässä osiossa tavoitteena oli selvittää mahdolliset erot polttoaineen vaikutuksessa erilaisten dieseltekniikoiden välillä. Pääpaino oli uusimmissa autoissa, joissa käytetään yhteispaine-ruiskutusta (common rail injection, CR), minkä vuoksi niitä oli kolme. Lisäksi yksi autoista oli varustettu ns. pumppusuutin (unit injector, PD) järjestelmällä, ja kaikkein vanhin auto sen ajan tyypillisellä jakajapumpulla (rotary pump, VP).

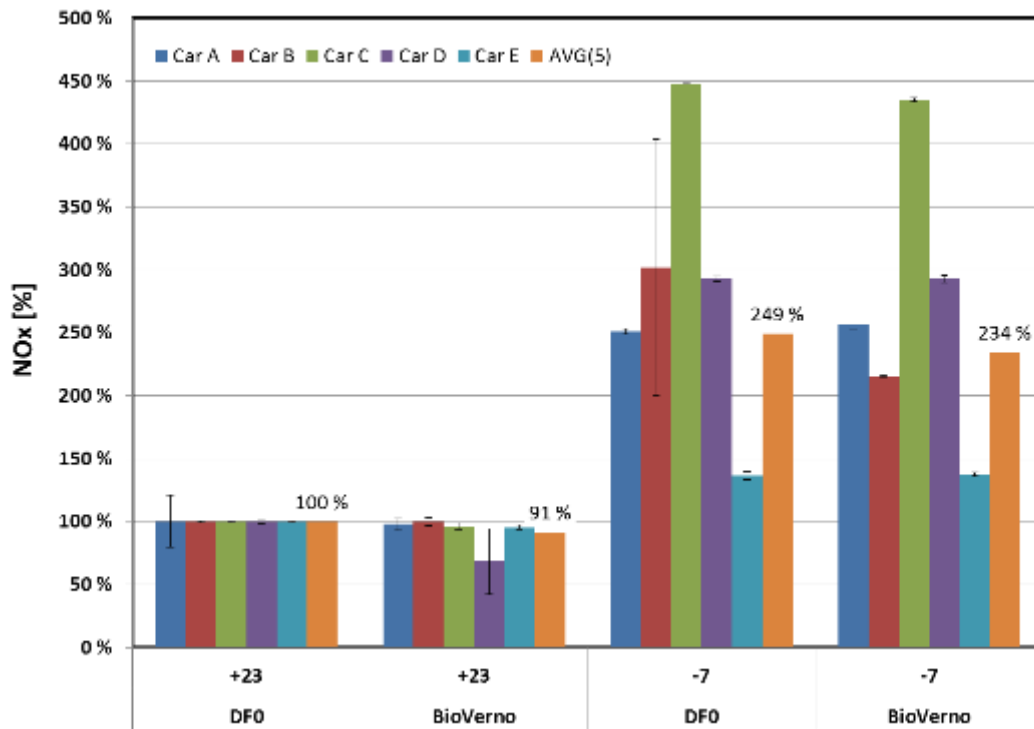
Pakokaasumittaukset käsittivät sekä tyyppihyväksymisvaatimusten mukaiset säännellyt päästöt (CO, THC, NO_x, PM) että useita ei-säänneltyjä komponentteja, joita voitiin mitata FTIR-menetelmällä.

Esimerkkinä tuloksista on kuvissa 3-8 ja 3-9 esitetty dieselautoille kriittisten typen oksidien (NO_x) ja hiukkaspäästöjen (PM) tulokset. Selvyyden vuoksi tulokset on esitetty suhteellisina niin, että kunkin auton tulos normaalilla dieselpolttoaineella (DFO) normaalissa lämpötilassa (+23 °C) on merkitty 100 %:lla, ja muut tulokset on suhteutettu tähän tulokseen. Tämä esitystapa sopii polttoaineen vaikutuksen selvittämiseen, eivätkä erot autojen absoluuttisissa päästötasoissa näy lainkaan. Jos kuviot ja vertailu olisi tehty absoluuttisten arvojen mukaan, korostuisi niissä vanhempien autojen nykyautoja monin verroin korkeammat päästöt.

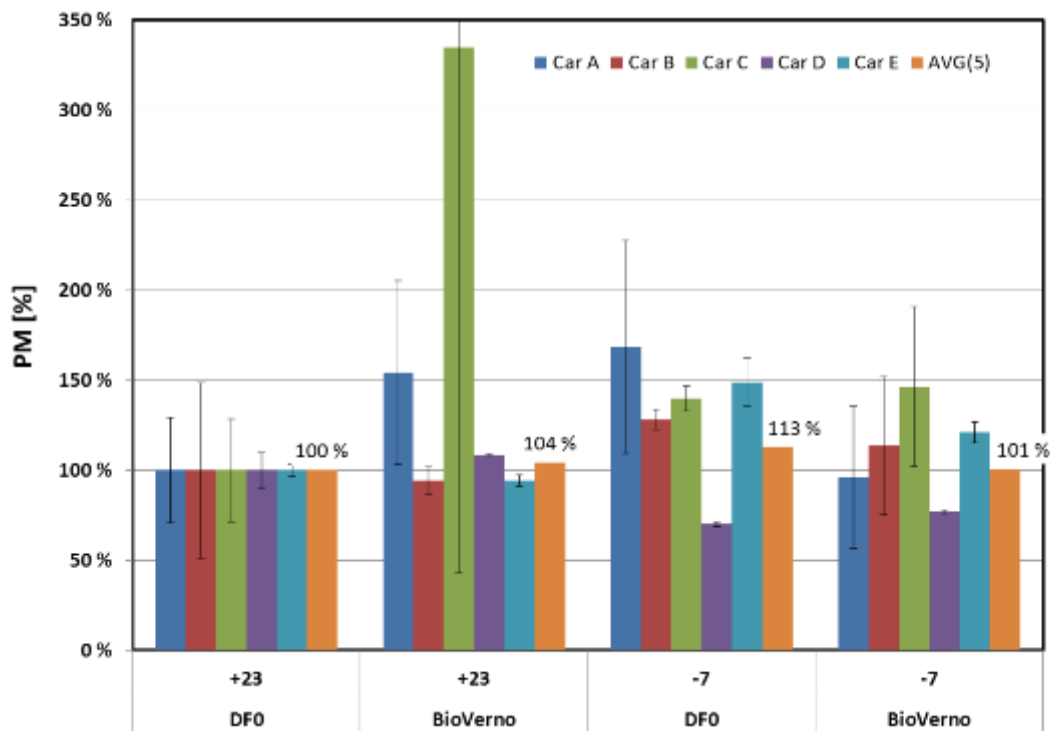
Kuten kuvioista nähdään, autokohtaiset erot olivat suuriakin, mutta viiden auton keskiarvossa ei ollut suurta eroa testipolttoaineen (BioVerno 20%) ja vertailupolttoaineen (DFO) välillä.

Yhdellä kenttäkoeautolla tehtiin myöhemmin lisää pakokaasumittauksia varsinaisesta tuotantolaitoksesta peräisin olevalla polttoaineella. Niissä ei havaittu mitään merkittävää eroa koikeissa käytetyn, pilot-laitteistolla valmistetun polttoaineen ja täyden mittakaavan laitoksesta saatavan laadun välillä.

Kyseisellä autolla myös jatkettiin ajoa 20 % BioVerno sekoitteella noin 25.000 km, jonka jälkeen sille tehtiin vielä loppumittaukset VTT:llä. Niissä ei havaittu mitään merkittävää poikkeamaa säännellyissä päästöissä tai polttoaineen kulutuksessa.



Kuva 3-8: Typen oksidien (NO_x) päästöt (suhteelliset) laboratoriokeautoille.



Kuva 3-9: Hiukasmassa (PM) päästöt (suhteelliset) laboratoriokeautoille.

3.3 Materiaali- ja säilyvyyskokeet

Ajoneuvokokeiden lisäksi suoritettiin UPM BioVerno -dieselin osalta materiaali- ja stabiiliusmittaukset. Tässä tutkimuksessa testattiin UPM BioVerno -dieselin mahdollisia vaikutuksia, puhtaana polttoaineena sekä polttoaineseoksien osana, ajoneuvoissa ja moottoreissa käytettäviin materiaaleihin. Näille samoille polttoaineille sekä seoksille suoritettiin lisäksi säilyvyystutkimukset, joissa seurattiin UPM BioVerno -dieselin ja kaupallisten polttoaineiden ominaisuuksien muutoksia vuoden kestäneen varastoinnin aikana.

Polttoaineiden jakeluverkosto sekä ajoneuvojen polttoainejärjestelmät perustuvat materiaaleille, joiden on todettu kestävän perinteisiä polttoaineita, jotka sisältävät ainoastaan hiilivetyjä. UPM BioVerno -dieselin vaikutuksen näissä materiaalitesteissä odotettiin olevan vastaavanlainen kuin perinteisillä kaupallisilla dieselpolttoaineilla, sen ollessa myös näitä vastaava hiilivety pohjainen polttoaine.

3.3.1 Materiaalikokeet

UPM BioVernon vaikutusta materiaaleihin tutkittiin puhtaana polttoaineena sekä sekoitteena kaupallisen fossiilisen dieselpolttoaineen kanssa. Tutkimuksen tavoitteena oli määrittää UPM BioVerno -dieselin mahdollisia vaikutuksia polttoainejärjestelmissä käytettäviin materiaaleihin ja miten ne poikkeavat fossiilisen kesädieselin aiheuttamista muutoksista.

Tutkimuksessa käytettävät materiaalit olivat järjestelmissä käytettäviä yleisimpiä metalleja (kupari, alumiini ja ruostumaton teräs) sekä erilaiset polymeereistä, muoveista ja kumeista valmistetut osat (esim. O-renkaat, tiivisteet, polttoainetankin pinnat)

Materiaalitestissä käytetyt polttoaineet olivat:

- 1) Fossiilinen kesädiesel (referenssidiesel)
- 2) 100% UPM BioVerno uusiutuva diesel (lisäaineistamaton) ja
- 3) 20% UPM BioVerno uusiutuva dieselseos referenssidieselin kanssa.

Kokeessa käytettävät materiaalit/polttoainejärjestelmän osat upotettiin koepolttoaineisiin sekä osa materiaaleista asetettiin roikkumaan polttoaineen yllä olevaan kaasufaasiin (polymeerit/muovit/kumiosat 1000h, metalliosat 5000h). Näillä testattiin vaikutuksia materiaaleihin tilanteissa joissa materiaali, kuten tiiviste on suorassa kosketuksessa polttoaineen kanssa tai polttoaineesta mahdollisesti haihtuvien komponenttien kanssa.



Kuva 3-10: Materiaalitesti – materiaalit upotettuina polttoainenäytteisiin.



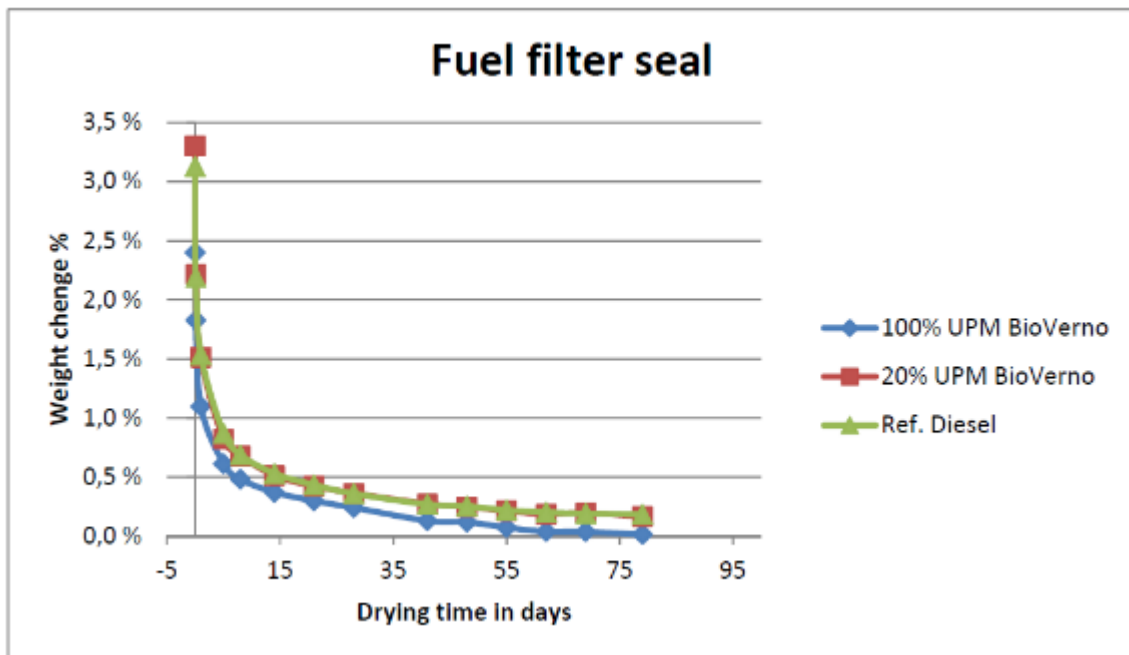
Kuva 3-11: Materiaalitesteissä käytettyjä suodattimien osia sekä tiivisteitä



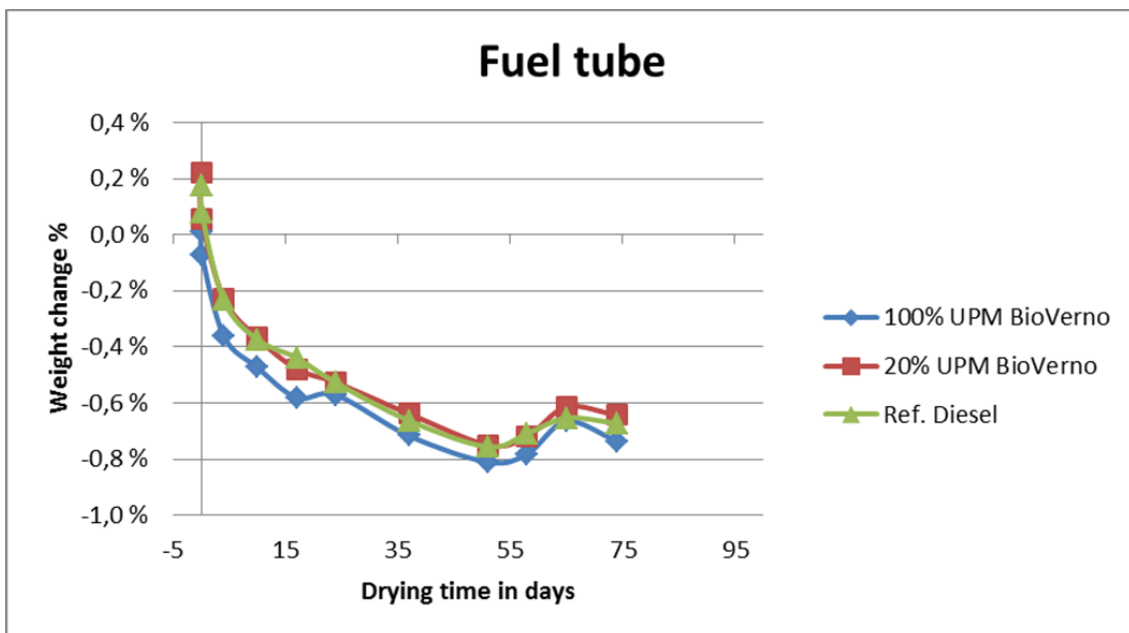
Kuva 3-12: Materiaalitesteissä käytettyjä metallilevyjä (vasemmalta: ruostumaton teräs, alumiini ja kupari)

Polttoaineiden vaikutusta polymeereihin, muoveihin ja kumiosiin määritettiin mittaamalla testikappaleiden mitat (pituus, leveys, paksuus ja massa) testin alussa sekä testin päätyttyä. Testauksen päättymisen jälkeen näytteet ensin puhdistettiin liuottimella, jonka jälkeen ne

kuivattiin, mitattiin (dimensiot) ja valokuvattiin. Tämän jälkeen näytteiden annettiin kuivua 100 vuorokauden ajan, jonka aikana kappaleiden painoa seurattiin punnitsemalla.



Kuva 3-13: Polttoainesuodattimen tiivisteiden massan muutos kuivauksen aikana



Kuva 3-14: Polttoaineputken massan muutos kuivauksen aikana

Tutkimuksesta voitiin todeta, että kaikki testissä käytetyt polttoaineet vaikuttivat materiaaleihin samalla tavalla. Testatuissa metalleissa ei havaittu merkittäviä muutoksia millään testatuista polttoaineista, ei neste- eikä kaasufaasissa. Polymeeri-, muovi- ja kumiosissa huomautetut muutokset myös olivat samanlaisia kaikilla polttoaineilla. Pieniä muutoksia tiivisteiden massoissa huomattiin puhtaalla UPM BioVerno dieselillä, joka selittyy kyseisen polttoaineen parafiinisuuksella. Muutamissa polymeeri-, muovi- ja kumiosissa oli havaittavissa muutoksia kappaleiden koossa ja massoissa, mutta muutokset eivät olleet merkittäviä.

Materiaalitestin tulokset ovat suuntaa-antavia, koska virallisia standardisoituja materiaalitestaustamkeitä ei valittu käytettäväksi projektissa. UPM BioVernon ominaisuudet ovat hyvin samankaltaisia kuin jo kaupallisesti saatavilla olevien parafiinisten dieselien ja siksi oletettiin, ettei mitään erityisiä tai yllättäviä ongelmia materiaalien suhteen ilmene ja screenaustestaus riittää. Mitään yllättäviä, suuria tai huolestuttavia muutoksia ei ilmennytäkään testiajan jälkeen missään testatussa materiaalissa ja materiaalitestin tulokset olivat siten odotetut.

3.3.2 Stabiilitestit/Säilyvyyskoe

Stabiilitestissä testipolttoaineita (taulukko 3-5) säilytettiin vuosi huoneenlämmössä, valolta suojattuna ja valittujen ominaisuuksien muutoksia seurattiin kolmen kuukauden välein.

Polttoaineista lähetettiin näytteet viralliseen polttoainelaboratorioon (ASG Analytik-Service Gesellschaft mbH in Germany), jossa näytteistä mitattiin stabiilisuuden kannalta oleellisia polttoaineiden kemiallisia ja fyysisiä ominaisuuksia (taulukko 3-6).

Taulukko 3-5: Stabiilitestissä käytetyt testipolttoaineet

Nr	Base fuel	Vol-% Blending	Water addition, vol-%	Other	Volume, mL
1	Reference diesel*	-	-	-	2000
2	Reference diesel	-	10	-	2500
3	UPM BioVerno ***	-	-	-	2000
4	UPM BioVerno	-	10	-	2500
5	Reference diesel	20, UPM BioVerno	-	-	2000
6	Reference diesel	20, UPM BioVerno	10	-	2500
7	Reference diesel	20, GTL	-	-	2000
8	Reference diesel	20, GTL	10	-	2500
9	GTL ****	-	-	-	2000
10	GTL	-	10	-	2500
11	Reference diesel	20, FAME**	-	-	2000
12	Reference diesel	20, FAME	10	-	2500
13	Reference diesel	20, UPM BioVerno	10	copper plate	1000
14	Reference diesel	20, GTL	10	copper plate	1000
15	Reference diesel	20, FAME	10	copper plate	1000

Taulukko 3-6: Testissä seurattavat polttoaineiden ominaisuudet

Analysis	ASG Analytik: Method used
Water content	DIN EN ISO 12937
Density (15 °C)	DIN EN ISO 12185
Kin. Viscosity (40 °C)	DIN EN ISO 3104
Acid value	DIN EN ISO 14104, DIN EN 12634
Peroxide number	ISO 3960:2007
Total contamination	DIN EN 12662:1998/2014
Bacteria	Screen test
Fungi	Screen test
Yeast	Screen test
Oxidation stability	DIN EN 15751
Copper strip corrosion	DIN EN ISO 2160
Appearance	Visual
Sulphur content	DIN EN ISO 20884

Vuoden säilyttämisen jälkeen suurin osa polttoaineiden ominaisuuksien muutoksista oli minimaalisia, vaikkakin muutamia suuntauksia oli nähtävissä esim. hapetuskestävyyden suhteen eri polttoaineilla. Todettiin myös suurempia ja enemmän muutoksia polttoaineissa, jotka oli säilytetty huonelämpötilassa suojaamatta valolta ja joihin oli lisätty vettä ja kuparilevy potentiaalisia muutoksia nopeuttamaan. Todettiin siis valon, veden ja kuparin vaikuttavan varastointistabiliteettiin huonontavasti, kuten oli odotettukin. UPM BioVernon varastointisäilyvyydessä ei todettu mitään yllättäviä tuloksia. Tutkimuksessa voitiin myös todeta vesifaasin (10% vettä) aiheuttavan selkeää mikrobikasvustoa näytteissä, joissa oli 20% perinteistä biodiesel-polttoainetta (FAME) (Kuva 3-15).



Kuva 3-15: Säilyvyyskokeet: vesifaasin (10% vettä) vaikutus polttoainenäytteeseen (Näyte: perinteisen biodieselin 20% -seos), **havaittava mikrobikasvusto vesifaasissa**.

Vastaavasti polttoainenäytteessä, jossa biokomponenttina oli UPM BioVerno uusiutuva diesel, ei vastaavaa mikrobikasvustoa ollut havaittavissa vuoden varastointiajan jälkeen (Kuva 3-16).



Kuva 3-16: Säilyvyyskokeet: vesifaasin (10% vettä) vaikutus polttoainenäytteeseen (Näyte: UPM BioVerno 20% -seos), **puhdas vesifaasi**.

3.4 Bussikokeet

3.4.1 Kenttätestin suorittaminen

Kun täyden mittakaavan laitos oli saatu tuotantoon, eikä polttoainekomponentin määrä ollut enää rajoitettu, käyttötestejä jatkettiin linja-autoilla. Tämä koevaihe toteutettiin yhdessä TransDev Finland Oy:n kanssa, ja se käsitti vuoden mittaisen koeajon normaalissa Helsingin Seudun Liikenteen (HSL) tilaamassa paikallisliikenteessä sekä mittauksia VTT:n ajoneuvolaboratoriossa.

Koeautoiksi valikoitui neljä identtistä Volvo 8908 RLE kaupunkilinja-autoa. Niillä oli kokeen alkaessa ajettu noin 100.000 – 115.000 km, mutta niihin oli kaikkiin vaihdettu moottori vähän ennen testin alkua, joten ne vastasivat lähes uusia autoja. Kaksi autoa ajoi koepolttoaine-seoksia ja ajoi kaksi normaalilla EN590-dieselpolttoaineella, jota ne tankkasivat varikolla. Koepolttoaineita oli kolme: 20 %:n ja 50 %:n BioVerno seokset dieselöljyssä sekä puhdas, 100 % BioVerno. Pakokaasutesteissä käytettiin vertailupolttoaineena samaa, NEOT'in toimitamaa NEDI-10 –dieselpolttoaine-erää, mutta yhdessä mittausarjassa mittaukset vertailuautoilla tehtiin myös niiden tankeissa olevalla polttoaineella, joka oli siis niiden normaaliajossa käyttämää laatua.

Kenttäkoe ajettiin HSL:n sopimusliikenteen linjalla 633, joka kulkee Helsingin rautatieaseman ja Keravan rautatieaseman välillä. Taulukossa 3-7 on esitetty joitain tunnuslukuja tästä linjasta. Se on verrattain ”raskas”, koska (teoreettinen) keskinopeus on noin 50 km/h, ja osalla reittiä (Tuusulanväylä) ajetaan jopa 80 km/h. Silti pysäkkejä on keskimäärin 1.5 kilometriä kohden, joten reitillä on jaksoja, joissa pysähdellään pari-kolme kertaa kilometrin matkalla.

*Taulukko 3-7: Tunnuslukuja HSL linjalle 633 (Helsinki-Kerava)
(lähde: HSL Reittiopas)*

Tunnuslukuja LINJA 633	
Reitin pituus (km)	37.8
Pysäkkien määrä (#)	58
Pysäkkejä/km	1,53
Normaali ajoaika (min)	45
Keskinopeus (km/h)	50,4
Lähtöjen määrä työpäivinä	28/27
Lähtöjen määrä viikon- loppuina ja pyhäpäivinä	14/14
Viikoittainen ajomäärä, kaikki lähdöt (km)	12,500

*Taulukko 3-8: Kokonaisajomatkat koeautoilla.
(lähde: Transdev Finland, ajotietojärjestelmä)*

Auton ID#	Polttoaine	Kokonais-ajomatka (km)	Keskimäärin päivää kohden (km)
1402	Diesel	125,616	330
1403	Diesel	112,190	294
1410	Testipolttoaineet	91,166	239
1411	Testipolttoaineet	97,524	256
	Yhteensä	426,496	280 (keskiarvo kaikista)

Kenttätestin yhteydessä seurattiin polttoaineiden kulutusta bussioperaattorin normaalin tankkauskirjanpitomenettelyn avulla. Sen mukaan kummankin bussiparin keskimääräinen kulutus koko testin noin 100,000 km matkalla oli aivan sama ottaen huomioon kulutuksen määrittämiseen liittyvät epätarkkuudet, kuten esim. bussien matkamittarien virhe, jota ei mitenkään tarkistettu. Koska sopimusliikenne on tiukasti kilpailtua, operaattori ei kuitenkaan anna lupaa julkistaa kulutuslukemaa tässä julkisessa raportissa.

3.4.2 Pakokaasumittaukset

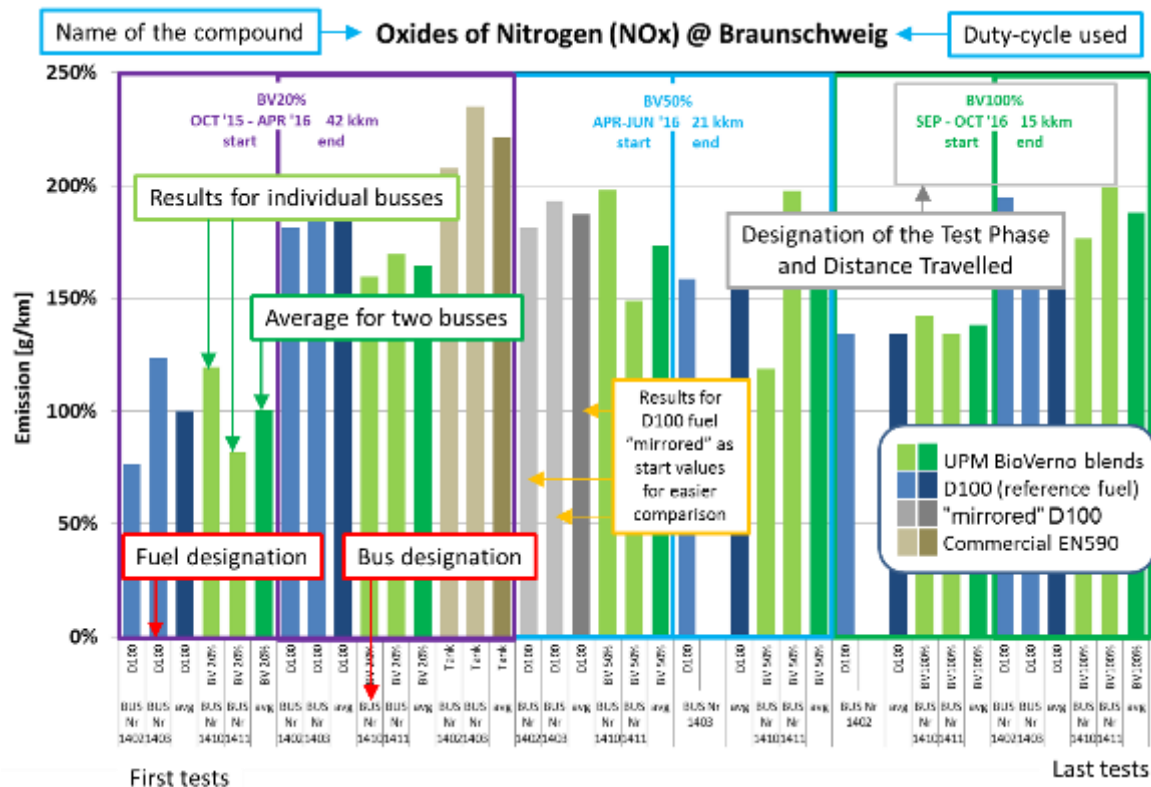
VTT:n ajoneuvolaboratoriossa tehtiin kenttätestiin liittyviä mittauksia seuraavasti:

- 1) Testiin aloitus, lokakuu 2015
 - polttoaineet 20% BioVerno-seos ja vertailupolttoaine (DFO)
- 2) Välitesti I, huhtikuu 2016
 - polttoaineet 20% ja 50% BioVerno-seokset sekä vertailupolttoaine (DFO) + kauppalaatuinen EN590-diesel vertailuautojen tankeissa.
- 3) Välitesti II, kesä/heinä ja elo/syyskuu
 - polttoaineet 50% ja 100% BioVerno-seokset sekä vertailupolttoaine (DFO)
- 4) Lopputesti, lokakuu 2016
 - polttoaineet 100% BioVerno ja vertailupolttoaine (DFO)

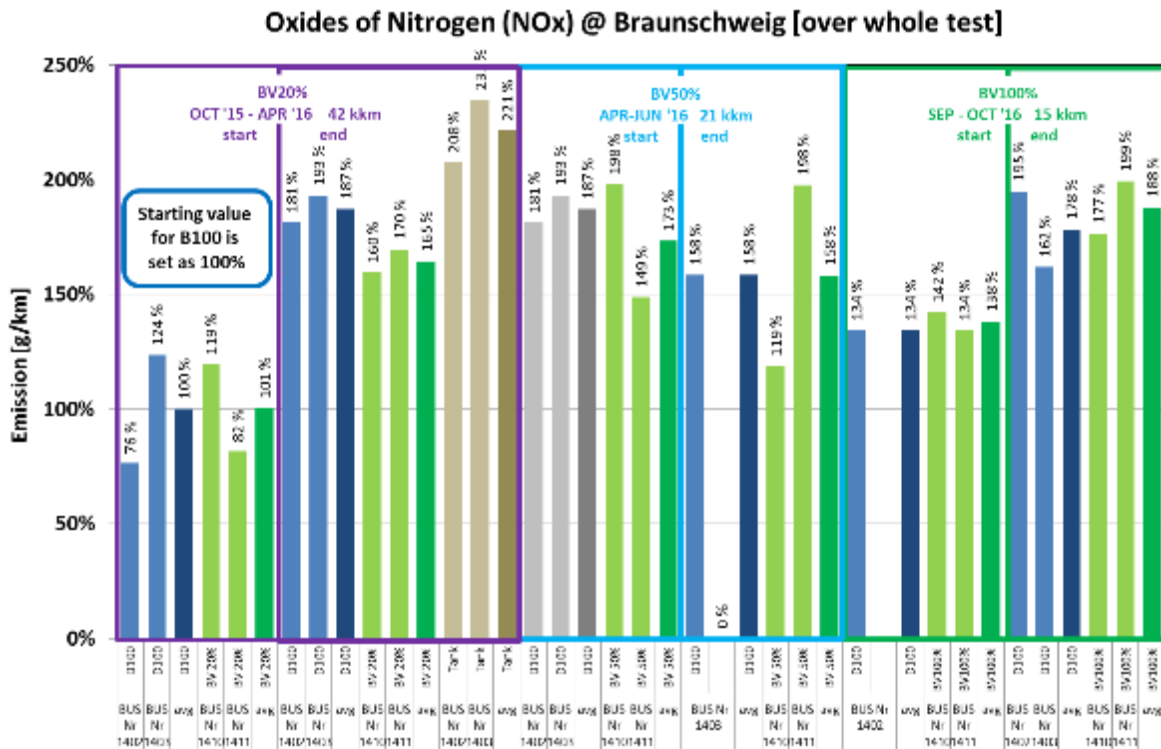
Kaikissa testirupeamissa tehtiin mittaukset sekä Braunschweig-bussisyklillä että WHVC-syklillä. Tämä EURO VI-tyyppihyväksymissykliä vastaava ajo-ohjelma ajettiin sekä kylmällä moottorilla (ts. laboratorion lämpötilassa (+23 ±3 °C) olevalla moottorilla että lämpimällä moottorilla, pitäen ajojen välillä 10 (±1) minuutin tauko. Kylmän ja lämpimän testin tulokset yhdistettiin EURO VI-tyyppihyväksymismenetelyn mukaisilla painokertoimilla 0,14 (kylmä) ja 0,86 (lämmin). Braunschweig-sykli ajettiin aina lämpimällä moottorilla aloitettuna.

Yhteensä tehtiin yli 100 pakokaasutestiä. Kukin auto mitattiin aina sille nimetyllä polttoaineella, siis joko testiseoksella tai vertailudieselillä, poikkeuksena Välitesti I, jolloin vertailuautot mitattiin myös niiden tankeissa olevalla, normaalilla kauppalaatuisella EN590-dieselillä.

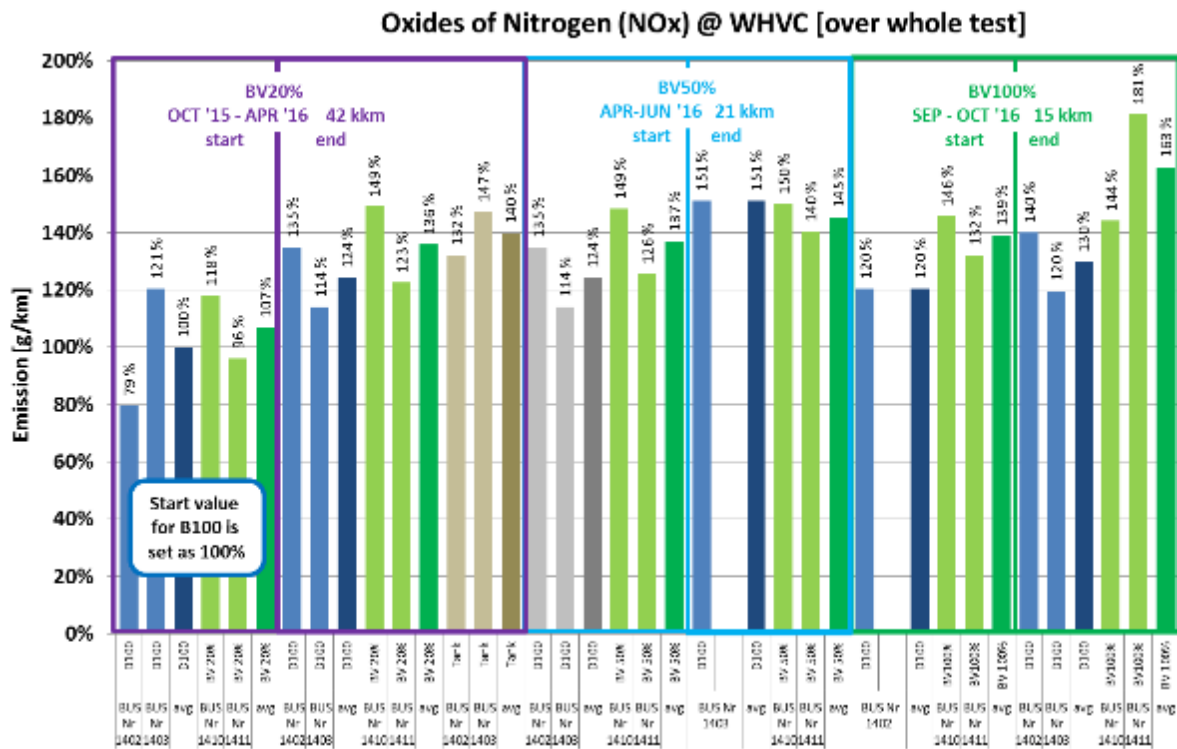
Kuvissa 3-17 ... 3-23 on esimerkkeinä laboratoriotestien mittaustuloksista typen oksidien ja polttoaineen kulutuksen tulokset testin eri vaiheissa. Ensimmäinen eli Kuva 3-17 on "Mallikuva, joka selvittää tulostulosten rakennetta.



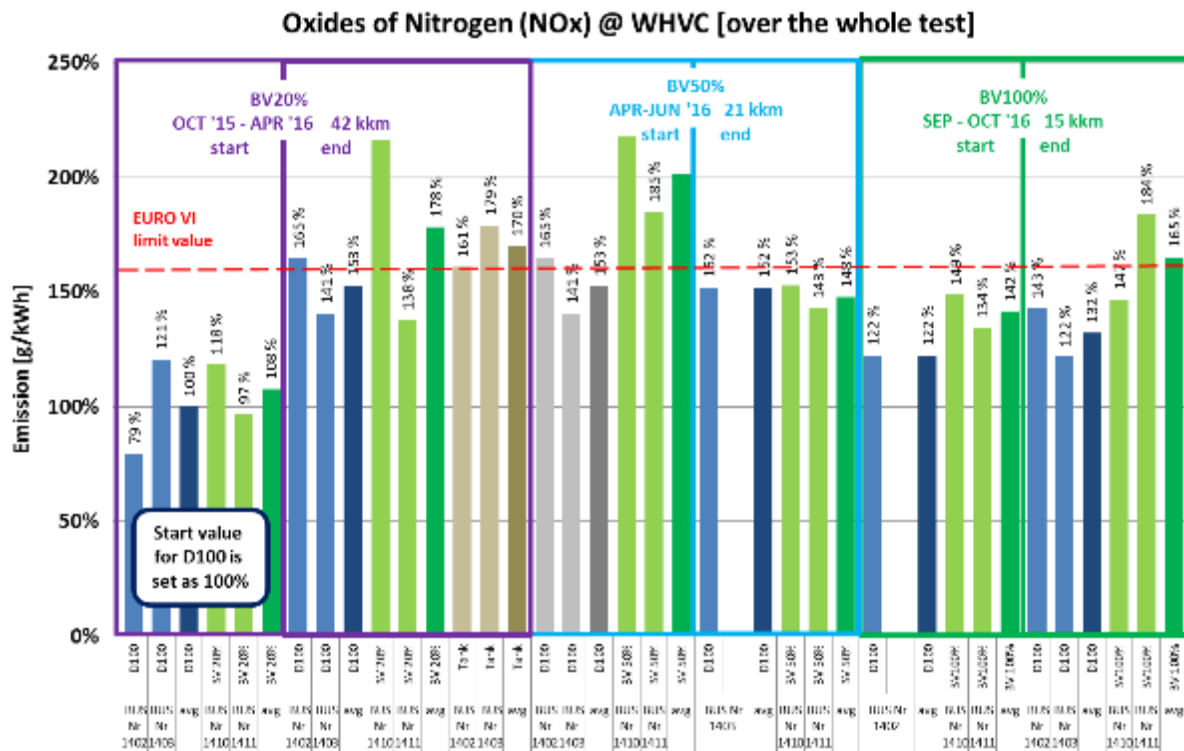
Kuva 3-17: "Mallikuva" tulostulosten rakenteesta.



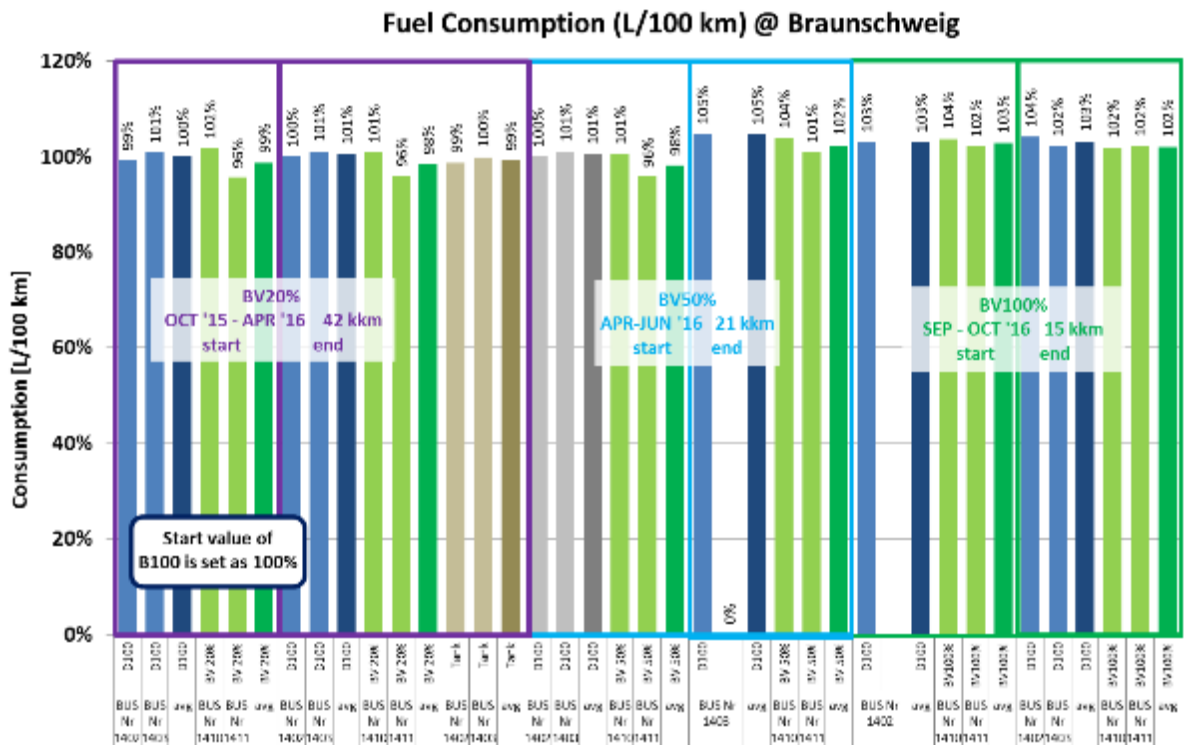
Kuva 3-18: Typen oksidien päästöt (g/km) Braunschweig-syklissä suhteutettuna vertailupolttoaineen keskitulokseen testin alkaessa.



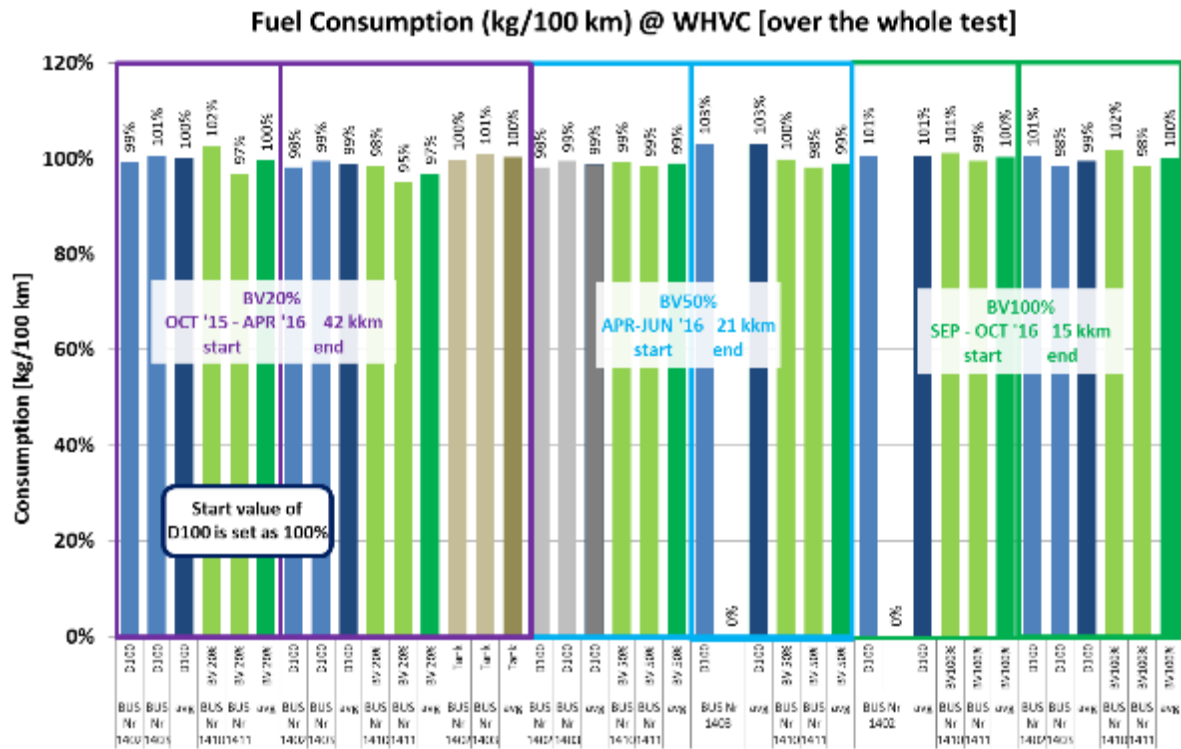
Kuva 3-19: Typen oksidien päästöt (g/km) WHVC-syklissä suhteutettuna vertailupolttoaineen keskitulokseen testin alkaessa.



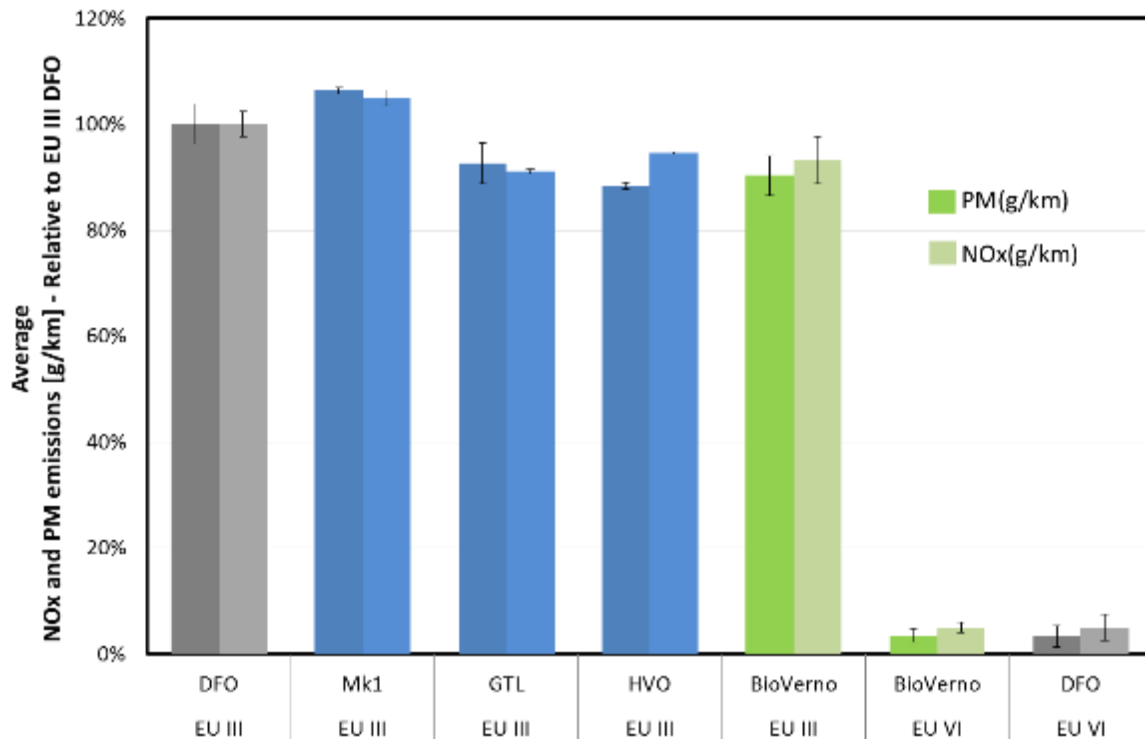
Kuva 3-20: Typen oksidien päästöt (g/kWh) WHVC-syklissä suhteutettuna vertailupolttoaineen keskitulokseen testin alkaessa.



Kuva 3-21: Polttoaineen kulutus (L/100 km) Braunschweig-syklissä suhteutettuna vertailupolttoaineen keskitulokseen testin alkaessa.



Kuva 3-22: Polttoaineen kulutus (L/100 km) WHVC-syklissä suhteutettuna vertailupolttoaineen keskitulokseen testin alkaessa.



Kuva 3-23: Keskimääräiset typen oksidien (NOx) ja hiukkasmassan (PM) päästöt Braunschweig-syklissä eri polttoaineilla EURO III-tasoisella kaupunkilinja-autolla.

Kuten kuvista nähdään, mitään vahvaa trendiä ei typen oksidien päästöissä tai kulutuksessa havaittu, vaan tulosten vaihtelu vaikuttaa enemmänkin sattumanvaraiselta, ts. pakokaasun puhdistuslaitteiston toiminnan vaihtelut ovat merkitsevempiä kuin esim. polttoaineen vaihtuminen 20%>50%>100% BioVerno, tai ajomatkan kertyminen. Myös polttoaineen kulutus py-

sytteli koko testin ajan lähes samalla tasolla ollen "raskaammassa" Braunschweig-testissä noin 50 – 52 L/100 km ja tasolla 32 – 34 L/100 km "kevyemmässä" WHVC-testissä. Tässä yhteydessä "kevyt" ja "raskas" viittaavat energian ominaiskulutukseen, joka riippuu testisyklin ominaisuuksista. Keskimääräinen työmäärä Braunschweig-testissä on tyypilliselle kaupunkibussille noin 1,4 kWh/km, kun se WHVC-testissä on vain noin 0,8 kWh/km.

3.5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Eri kokeissa voitiin todeta UPM BioVerno –polttoaineen korvaavan perinteistä mineraaliöljydieseliä ongelmitta. Polttoaineen kulutus ei muutu suurillakaan seospitoisuuksilla, eikä materiaalikokeissa havaittu mitään epänormaaleja muutoksia tai polttoaineen pilaantumista, kuten usein käy perinteisen FAME-tyyppisen biodieselin tapauksessa.

UPM BioVerno täyden mittakaavan kaupallinen tuotanto alkoi hankkeen aikana tammikuussa 2015, ja se tuli kuluttajakeluun keväällä 2015. Suomessa sitä jakelevat St1 ja ABC-ketjut, joille polttoaineet toimittaa NEOT.

4. Raskaan kaluston etanoli (NEOT, St1)

4.1 Taustaa

Scania on kehittänyt dieselmoottorin pohjalta etanolia voimanlähteenä käyttävän moottorin jo 1980-luvulla, ja Tukholmassa etanolimoottorit ovat olleet bussikäytössä jo vuodesta 1989 asti. Vuonna 2011 Tukholmassa operoi peräti 500 etanolikäyttöistä bussia.

Etanoli-diesel polttoaine (ED95) poikkeaa ominaisuuksiltaan dieselpolttoaineesta. Vaikka molemmilla polttoaineilla voidaan käyttää diesel-sykliä, ei tavallinen dieselmoottori sellaiseen ole toimiva ratkaisu etanoli-diesel polttoaineen kanssa.

Etanolin setaaniluku on noin 8, eikä se siksi toimi sellaisenaan tavallisessa dieselmoottorissa. Moottorien puristus- ja/tai ahtosuhdetta on nostettava huomattavasti. Lisäksi polttoaine tarvitsee syttyäkseen syttyvyyden parantajana tunnetun lisäaineistuksen. Vaikka muitakin strategioita sytytykseen on olemassa, vaaditaan etanolipolttoaineen käyttöön kaikissa tapauksissa erikoismoottori.

Scanian uusi, 4. Sukupolven etanolimoottori perustuu Scanian 9-litraiseen Euro IV-tason dieselmoottoriin. Käyttökokeen bussien 3. sukupolven etanolimoottori on tyyppihyväksytetty EEV päästöluokkaan. Moottorin puristussuhde on nostettu erikoismännillä dieselin 17:1:stä arvoon 28:1. Lisäksi moottorissa on erikoissuuttimet koska etanoli-dieselpolttoaineen energiasisältö on tilavuusyksikköä kohden pienempi, joten sitä on ruiskutettava suurempi määrä. Moottorin hyötysuhde on 43 %, eli lähes sama kuin diesel moottorissa.

Ennen tässä raportoitavaa tutkimusta VTT toteutti vuosina 2012 - 2014 RED95-polttoainetta käyttävien kuorma-autojen kenttätutkimuksen, jonka rakenne pitkälti vastasi tässä esitettyä tutkimusta. Tulokset kuorma-autotutkimuksesta antoivat hyvän pohjan hankkeen suunnitteluun ja bussikaluston tarkasteluun, ja toisaalta molemmat tutkimukset tukevat toisiaan yhtenevien ilmiöiden osalta.

4.2 Hankkeen yleiskuvaus

Tässä raportissa käsitellään etanolidieseliä (ED) polttoaineena käyttävän moottoritekniikan soveltumista kaupunkibussien käyttöön.

Viranomaiset ja kuljetusten tilaajat haluavat jatkossakin edistää uusiutuvien polttoaineiden käyttöä niin joukkoliikenteessä, tavarankuljetuksissa kuin muussakin toiminnassa. Uusiutuvista raaka-aineista valmistettu etanoli on tässä joukossa yksi erittäin varteenotettava vaihtoehto. Tutkimus antaa vastauksia kysymyksiin, onko projektiosapuolten mahdollista siirtyä laajemmin käyttämään ED-tekniikkaa, ja mitä etuja ED-autoilla voidaan saavuttaa. Tutkimusta voidaan hyödyntää kalustovalinnassa, hanke tarjoaa tietoa myös kuljetusten tilaajille sekä päättäjille ja tukee näin ollen koko teollisuuden sektorin päätöksentekoa.

Hankkeessa on seurattu kahden ED-käyttöisen kaupunkibussin pakokaasupäästöjen ja polttoaineen kulutuksen muuttumista määräaikailla laboratoriomittauksilla jokapäiväisten tuotantotehtävien lomassa. Projektin aikana on seurattu ED-käyttöisten ajoneuvojen suorituskykyä niin yleisen käyttövarmuuden, käytännön suorituskyvyn, pakokaasupäästöjen kuin käytötaloudenkin osalta.

Tutkimuksen tavoitteena oli seurata ED-polttoainetta käyttävien bussien suorituskykyä toistuvilla mittauksilla, ja näin osoittaa teknologian toiminnallisuus pitkällä aikavälillä. Tavoitteena oli myös luoda liikennöitsijälle käyttökokemusta etanolidieselkalustosta ja sen suorituskykyä sekä toimintavarmuudesta. Lisäksi hankkeen tavoite oli luoda eri osapuolille tekninen valmius ja kokemus ED95-bussien laajempaa käyttöönottoa varten.

Laboratoriomittausten ohella ajoneuvojen polttoaineen kulutusta seurattiin jatkuvasti myös Helb:in tietojärjestelmien kautta. Tietojärjestelmän avulla ajoneuvojen suorituskyvyssä tapahtuvia, käyttöympäristöstä johtuvia, muutoksia voitiin havainnoida.



Kuva 4-1. ED-bussi Helsingin bussiliikenne Oy:n (HelB) ajotehtävissä.

4.3 Seurantatutkimuksen kohteet ja tutkimusvälineet

Seurantatutkimus toteutettiin pääasiallisesti VTT raskaan kaluston laboratoriossa. Tämän lisäksi tutkimukseen sisältyi ajoneuvojen käyttökokemusten keräämistä sekä tiedonkeruuporttien ja autojen huoltohistorian seurantaa.

VTT ajoneuvolaboratorion raskaalla alustadynamometrillä voidaan jäljitellä ajoneuvojen todellista ajoa vastaavia ajosuoritteita (kuormitusyklejä). Dynamometrillä ajoneuvon moottori kuormittuu todellisia kuormituksia vastaavasti ajoneuvokohtaisen ajovastusmallin ja valitun massahitauden eli inertian mukaisesti. Hetkelliset ajovastukset ajosuoritteen aikana ovat nopeudesta ja tien korkeusprofiilista (pituuskaltevuudesta) riippuvia.

Laboratoriotutkimus mahdollistaa ajoneuvon suorituskyvyn tutkimisen vakioituissa olosuhteissa, joihin eivät vaikuta maantietesteissä esiintyvät häiriöt, kuten keliolosuhteet, liikennetilanteet tai muut ympäristövaihtelut. Näin ollen ajoneuvon ajosuoritteet ovat toistettavissa suurella tarkkuudella, ja muutokset ajoneuvon suorituskyvyyssä voidaan todeta luotettavasti muutoksiksi, sen sijaan että ne edustaisivat ulkoisista tekijöistä johtuvia häiriöitä.

Tutkimus rakentui ajoneuvojen alkumittauksista sekä kolmen vuoden aikana toteutetuista seurantamittauksista. Mittausten väliset ajanjaksot ajoneuvot olivat normaalissa Helsingin Bussiliikenteen tuotantotoiminnassa. Seurantamittauksissa ajoneuvoista mitattiin energian kulutus sekä pakokaasupäästöt.

Tutkimuksessa mukana olleet ajoneuvot olivat:

- Scania KUB 4x2 Etanoli, kaupunkibussi, HelB nro 1342
- Scania KUB 4x2 Etanoli, kaupunkibussi, HelB nro 1343

Tutkimuksessa käytettävät ajosuorite oli Braunschweig-kaupunkibussisykli, jota yleisesti käytetään juuri kaupunkibussien suorituskvyn tutkimuksissa. VTT:llä on laaja vertailutulosaineisto, joka perustuu juuri tähän sykliin.

Kuormitustasot ja ajoneuvojen massat, jonka mukaan valittiin kokeessa käytettävä inertia, olivat ajoneuvokohtaisesti:

- Tyhjä (omamassa)
- Puolikuorma (omamassa + 50 % sallitusta kuormasta)
- Täyskuorma (suurinta kantavuutta vastaava massa)

Vertailukelpoisten mittaustulosten perusteella voitiin tehdä johtopäätöksiä ED-teknologian soveltuvuudesta vaihtoehdoksi perinteiselle dieselteknologialle. Tutkimuksessa vertailukohta dieselteknologiaan saatiin VTT ajoneuvotietokannasta, joka sisältää kattavasti tuloksia erilaista diesel- ja kaasujoneuvoista. Tutkimuksessa mukana olleet ajoneuvot on eritelty taulukossa 4-1.

Vertailukohtana toimivat ajoneuvot saatiin otoksella VTT tietokannasta kyseisen ajoneuvoluokan, tässä tapauksessa Euro EEV, keskiarvoilla. Keskiarvotulokset tarjoavat riittävän otoksen ja edustavat ajoneuvoluokkaa merkki- ja malliriippumattomasti. Toisena vertailukohtana käytetään ED-bussien kanssa samalla linjalla toimivia, vastaavia, dieselbussseja.

Taulukko 4-1: ED-ajoneuvojen tekninen erittely

Merkki	Malli	id	Poltto- aine	Euro	Päästöesto- tekniikka	Moottori	Vaihteisto
Scania	KUB 4x2	1342	ED95	EEV	EGR	9.291	Automaatti
Scania	KUB 4x2	1343	ED95	EEV	EGR	9.291	Automaatti

4.4 Ajosuoritteet

Ajosuoritteet eli ajosykli ovat raskaan kaluston laboratoriossa suoritettavia nopeus-aika profiileja, jotka on kehitetty todellisten ajosuoritteiden pohjalta. Eri ajosuoritteet kuvaavat ajoneuvojen toimintaa erityyppisissä tuotantotehtävissä. Mittausten suorittaminen aina samoilla, ennalta määritetyillä ja toistettavilla ajosuoritteilla jokaisten seurantamittausten yhteydessä mahdollistavat ajoneuvojen suorituskvyn seurannan pitkällä aikavälillä.

Pääasiallinen ajosuorite ED-bussitutkimuksessa oli Braunschweig-kaupunkibussisykli. Arvioida ajoneuvojen suorituskvvyssä tehtiin myös rajatusti muissa ajosuoritteissa.

Braunschweig-ajosuorite on vakiintunut sykli VTT-HSL -yhteistyössä ja kuvaa hyvin Helsingin metropolialueen liikennettä. Ajosuorite on sen verrattain voimakkaan dynamiikan johdosta ajoneuvoille haastava, jonka takia ajosuoritteiden antamia suorituskvvytuloksia voidaan pitää erittäin edustavana kuvauksena todellisesta ajotehtävästä.

4.5 Mittausohjelma

Tutkimuksen alaiset ajoneuvot mitattiin kolmeen eri otteeseen. Alkumittaukset toteutettiin vuoden 2014 alkupuoliskolla, kun ajoneuvot olivat suhteellisen uusia. Alkumittausten yhteydessä tarkasteltiin myös rengaskoon ja välityssuhteen vaikutusta ajoneuvojen suorituskvvyyn.

Seurantamittaukset toteutettiin vuoden 2015 alussa ja loppumittaukset alkuvuodesta 2016. Taulukossa 4-2 on esitetty ajoneuvojen kilometrikertymä eri seurantamittausten osalta.

Ajoneuvojen mittaustoiminnan aikana kohdattiin joitakin teknisiä ongelmia, joiden takia eräitä kuormituspisteitä ei ole kaikissa seurantapisteissä onnistuneesti toteutettu. Puuttuvat suori-

tuskyky pisteet on ekstrapoloitu lineaarisesti, pohjautuen tunnettuun tietoon massan lineaarisesta vaikutuksesta ajoneuvojen polttoaineen kulutukseen.

Taulukko 4-2: Ajoneuvojen kilometrikertymät tutkimuksen seurantamittausten aikana

	1. mittaus	2. mittaus	3. mittaus
Ajankohta	02.2014	02.2015	03.2016
Kilometrikertymä	km	km	km
Scania Etanoli/1342	26.000	133.000	251.000
Scania Etanoli/1343	25.000	129.000	238.000

4.6 ED-bussien polttoaineen kulutus

Ajoneuvojen polttoaineen kulutus määritettiin laboratoriossa ensisijaisesti Braunschweig-ajosuoritteessa. Ensisijaisen syklin lisäksi ajoneuvon suorituskyvyn tarkastelua laajennettiin muutamalla lisäajosuoritteella. Lisäajosuoritteiden tuloksia ei käytetä tässä kokonaisvertailussa, mutta niiden tulokset on listattu taulukossa 4-9.

ED-bussien litramääräiset kulutustulokset eri seurantapisteissä puolella kuormalla on esitetty taulukossa 4-3. Litramääräinen kulutus esitetään myös normaalin diesel-vertailukohdan osalta.

Taulukko 4-3: ED-bussien litramääräinen polttoaineen kulutus seurannan aikana.

Ajoneuvo	Id	1. mittaus l/100 km	2. mittaus l/100 km	3. mittaus l/100 km	Keskim.. ero referenssidie- seliin
Scania Etanoli	1342	77,7	85,6	80,7	+84,5%
Scania Etanoli	1343	81,4	90,6	81,7	+91,7%
Diesel-referenssi	Ref.	44,1	44,1	44,1	-

Litramääräisen kulutuksen tarkastelu on hyödyllistä esimerkiksi linjasuunnittelun osalta, mutta tulosten vertailu toiseen energialähteeseen ei ole mielekästä johtuen polttoaineiden perusominaisuuksien (kuten energiasisällön) välisistä eroista. Tutkimuksessa olevien autojen ja vertailukohteen välinen kulutusten suhdeluku on keskimäärin 1,88.

Vertailukelpoisesti tuloksia voidaan tarkastella polttoaineen kulutuksen osalta tarkastelemalla polttoaineen energiasisältöä, toisin sanoen ajoneuvon käyttämää polttoaine-energiaa. Taulukossa 4-4 on esitetty sama vertailu kuin taulukossa 4-3, mutta tällä kertaa energiasisällön osalta.

Litramääräiset kulutukset on tulosten käsittelyssä korjattu mittauksessa tehdyn työmäärän suhteen, jolloin ajoneuvojen suorittama työ ajosuoritteeseen yli yhdenmukaistetaan. Suhteuttamalla lisäksi litramääräinen kulutus energian kulutuserojen mukaisesti (normalisoimalla tuloksista pois ED- ja dieselajoneuvojen väliset tekniset eroavaisuudet), saadaan polttoaineiden litramääräisen kulutusten suhdeluvuksi 1,73, joka on hyvin linjassa ajoneuvovalmistajan ilmoittaman suhdeluvun 1,75 kanssa. Tämän laskelman tulokset on esitetty taulukossa 4-5.

Taulukko 4-4: ED-bussien energiamääräinen kulutus seurannan aikana.

Ajoneuvo	Id	1. mittaus	2. mittaus	3. mittaus	Keskim. ero referenssieseläin
Energian kulutus		MJ/km	MJ/km	MJ/km	
Scania Etanoli	1342	15,8	17,4	16,4	+5,9%
Scania Etanoli	1343	16,5	18,4	16,6	+10,0%
Diesel-referenssi	Ref	15,6	15,6	15,6	-

Taulukko 4-5: Polttoaineen kulutustuloksen normalisointi energian kulutuksen osalta.

Ajoneuvo	Id	Polttoaineen kulutuksen suhde	Energian kulutuksen ero suhteessa Referenssi Dieseläin	Korjattu polttoaineen kulutuksen suhde
Scania Etanoli	1342	1,85	+5,9 %	1,74
Scania Etanoli	1343	1,92	+10,0 %	1,72
Keskiarvo		1,88	+8,0 %	1,73

Tarkasteltaessa ajoneuvojen energian kulutuksen kehittymistä seurantatutkimuksen aikana voidaan suoraan vertailla litramääräistä kulutusta. Taulukossa 4-6 on esitetty ajoneuvon 1342 kulutuksen muutos.

Taulukko 4-6: ED-bussi 1342:n polttoaineen kulutuksen kehitys tutkimuksen aikana suhteessa alkutilanteeseen.

Ajoneuvo	Id	1. mittaus l/100 km	2. mittaus l/100 km	3. mittaus l/100 km
Scania Etanoli	1342	77,7	85,6	80,7
$\Delta\%$			+10,2 %	+3,8 %

Tarkasteltaessa taulukon esittämiä tuloksia havaitaan kulutuksen nousseen huomattavasti 133 tkm kohdalla (+10.2 %), mutta samalla nähdään sen palautuvan lähemmäksi alkuarvoa 251 tkm kohdalla (+3.8 %) verrattuna alkumittauksen tuloksiin.

Taulukossa 4-7 esitetään ajoneuvon 1343 kulutus ja sen vaihtelut seurantamittauksissa.

Taulukko 4-7: ED-bussi 1343:n polttoaineen kulutuksen kehitys tutkimuksen aikana suhteessa alkutilanteeseen.

Ajoneuvo	Id	1. mittaus l/100 km	2. mittaus l/100 km	3. mittaus l/100 km
Scania Etanoli	1343	81,4	90,6	81,7
$\Delta\%$			+16,5 %	+5,0 %

Kulutuksen kasvu on ollut vielä voimakkaampaa tämän ajoneuvon osalta. Polttoaineen kulutus kasvoi 120 tkm kohdalla voimakkaasti (+16.5 %), mutta laski myös tämän ajoneuvon osalta 238 tkm kohdalla lähemmäs alkuarvoa (+5.0 %).

Ajoneuvoyksilöiden välinen energian kulutusero esitetään taulukossa 4-8. Tuloksista nähdään, että yksilöiden välinen eroavaisuus tasoittuu kilometrikertymän kasvaessa.

Taulukko 4-8: ED-bussien keskinäinen polttoaineen kulutusten eroavaisuus.

Ajoneuvo	Id	1. mittaus l/100 km	2. mittaus l/100 km	3. mittaus l/100 km
Scania Etanoli	1342	77,7	85,6	80,7
Scania Etanoli	1343	81,4	90,6	81,7
1343/1342 Δ%		4,7%	5,8%	1,2%

Taulukossa 4-9 tarkastellaan ED-bussien suorituskyyä eri ajotehtävissä. Ajosuorituksen laatu vaikuttaa merkittävästi energian kulutukseen.

Taulukko 4-9: ED-bussien kulutus puolella kuormalla eri ajosuoritteissa.

Ajoneuvo	Id	Testisykli		
		Braunschweig l/100 km	WHVC l/100 km	Linja 11* l/100 km
Scania Etanoli	1342	77,7	56,8	60,7
Scania Etanoli	1343	81,4	63,9	-

*Linja 11 Espoossa (Tapiola-Friisilä) on merkittävä sähköbussien kokeilulinja.

4.7 Lähipäästöt

Lähipäästöjen osalta ED-ajoneuvot omaavat korkean suorituskyyyn ja teknologialle on tyypillistä erityisesti matalat hiukkaspäästöt. ED-ajoneuvon lähipäästöjä voidaan verrata dieselajoneuvojen suorituskyyyn samassa Braunschweig-ajosuoritteessa, jossa myös polttoaineen kulutus on määritelty.

Päästötuloksia tarkasteltaessa on syytä ottaa huomioon, että ajoneuvot on tyypiksi hyväksytty tiettyyn päästörajaan pelkän moottorin osalta. Todellisessa ajossa moottori kuitenkin kohtaa paljon suuremman joukon vaihtelevia kuormitustilanteita, jotka vaikuttavat päästöjen muodostumiseen. VTT:n aiemmassa tutkimuksessa raskaiden ajoneuvojen osalta on useasti todettu, etteivät ajoneuvot alustadynamometrimittauksissa alita niille määriteltyjä Euro – rajoja, paitsi kaikkein tasaisimmissa ajosuoritteissa, kuten moottoritie-ajosuoritteessa. Tämä ilmiö voidaan nähdä myös ED-ajoneuvojen tuloksissa, jotka ovat selvästi yli moottoritestin EEV-raja-arvojen (NO_x 2,0 g/kWh; PM 0,02 g/km).

Verrattaessa ajosyklissä mitattua tulosta (g/km) tyypiksi hyväksynnän raja-arvoihin, tulos pitää kertoa syklissä tyypillisellä työmäärällä ajokilometriä kohden, joka esim. Braunschweig-syklissä on n. 1,8 kWh/km. Tällä kertoimella lasketut tyypiksi hyväksynnän päästörajoja vastaavat viitearvot on esitetty taulukossa 4-10.

Taulukko 4-10: EEV-tyyppihyväksynnän päästörajoja vastaavat viitearvot Braunschweig-syklissä.

Ajosuoritel/ Braunschweig	Kerroin kWh/km	NO _x g/km	PM g/km
EEV rajat	1,8	3,6	0,036

ED-bussien päästöarvot on esitetty typenoksidi-päästöjen (NO_x) ja hiukkaspäästöjen (PM) osalta taulukossa 4-11 ja 4-12.

Taulukko 4-11: ED-bussien NO_x päästöt (puolella kuormalla) seuranmittauksien tulokset.

Ajoneuvo	Id	1. mittaus g/km	2. mittaus g/km	3. mittaus g/km	Keskim. ero referenssi- dieseliin
Scania/etanoli	1342	6,3	7,0	5,8	-3,8%
Scania/etanoli	1343	6,2	6,4	6,5	-4,4%
Diesel-referenssi	Ref	6,7	6,7	6,7	n/a

Taulukko 4-12: ED-bussien PM päästöt (puolella kuormalla) seurantamittauksien tulokset.

Ajoneuvo	Id	1. mittaus g/km	2. mittaus g/km	3. mittaus g/km	Keskim. ero referenssi- dieseliin
Scania/etanoli	1342	0,018	0,017	0,023	-70,5%
Scania/etanoli	1343	0,014	0,020	0,022	-71,2%
Diesel-referenssi	Ref	0,066	0,066	0,066	n/a

Tuloksista nähdään ED-ajoneuvojen selvästi parempi suorituskyky dieselkalustoon nähden sekä NO_x- että etenkin PM päästöjen osalta.

ED-ajoneuvojen NO_x päästöt ovat keskimäärin alemmalla tasolla (-4.1 %), kuin vastaavassa ajosuoritteessa mitattujen dieselmoottoristen bussien referenssien keskiarvo. Ajoneuvon 1342 kohdalla havaitaan merkittävä nousu NO_x päästössä 2. mittauskerran yhteydessä suhteessa 1. mittaukseen (+ 11 %). Toisaalta 3. Mittauksissa NO_x päästöt ovat jälleen laskeneet ja tippuneet 1. mittausten suhteen selvästi alhaisemmalle tasolla (- 8 %). Vaihtelu päästöissä on voimakasta, mutta ei epätyypillistä, ja keskimääräisesti ajoneuvo tuottaa odotusarvoiset NO_x päästötulokset.

PM päästöjen osalta suhteellinen tarkastelu keskiarvon ulkopuolella ei ole mielekästä johtuen hyvin pienistä lukuarvoista. Toisaalta PM päästöt pysyvät koko mittausohjelman ajan selvästi alle referenssitason (-70,9 %).

Taulukossa 4-13 on esitetty kasvihuonepäästöjen (CO₂) määrä, laskennallisesti johdettuna polttoaineen kulutukseen. Tulokset osoittavat, että ED-ajoneuvot tuottavat keskimäärin selvästi vähemmän kasvihuonepäästöjä (CO₂) diesel-referenssiin verrattuna (-7,6 %)

Taulukko 4-13: CO₂ päästöt pohjautuen polttoaineen kulutukseen.

Ajoneuvo	Id	1. mittaus g/km	2. mittaus g/km	3. mittaus g/km	Keskimäär. ero referens- sidieseliin
Scania/etanoli	1342	1240.7	1321.7	1245,3	-8,9%
Scania/etanoli	1343	1256.2	1398.0	1260,2	-6,4%
Diesel-referenssi	Ref	1393,5	1393,5	1393,5	-

Toinen ja ehkä havainnollistavampi tapa esittää ajoneuvopäästöjä on suhteuttaa ne käytettyyn polttoaine-energiaan. Tällainen vertailu on esitetty taulukossa 4-14.

Taulukko 4-14: NO_x-, PM- ja CO₂ päästöt suhteessa käytettyyn polttoaine-energiaan.

Ajoneuvo	Id	NO _x g/MJ	PM g/MJ	CO ₂ g/MJ
Scania/etanoli	1342	0,39	0,0012	77,0
Scania/etanoli	1343	0,37	0,0011	75,0
Diesel-referenssi	Ref	0,43	0,0042	89,3
etanoli vs. diesel Δ%		-11,1 %	-73,0 %	-15,0 %

Ottaen huomioon ajoneuvojen välinen energian kulutusero voidaan päästöarvoja normalisoida ajoneuvojen välisen eron osalta. Normalisointi kuvaa tilannetta, missä ED-ajoneuvot olisivat täsmälleen yhtä energiatehokkaita kuin dieselkäyttöinen referenssi. Normalisoidut tulokset on esitetty taulukossa 4-15.

Taulukko 4-15. Energian kulutuseron suhteen normalisoidut päästötulokset.

Ajoneuvo	Id	NO _x g/MJ	PM g/MJ	CO ₂ g/MJ
Scania/etanoli	1342	0,36	0,0011	72,5
Scania/etanoli	1343	0,33	0,0010	67,5
Diesel-referenssi	Ref	0,43	0,0042	89,3
etanoli vs. diesel Δ%		-18,1 %	-75,0 %	-21,6 %

4.8 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tutkimus on tuottanut hyödyllistä tietoa ED-teknologiasta ja sen toiminnasta kaupunkibussi-sovelluksessa. Toistuvilla laboratoriomittauksilla on voitu osoittaa ajoneuvojen keskimääräinen suorituskky kilometrisuorituksen ajokilometrikertymän kasvaessa. Yhdistettyjen polttoaineen kulutuksen ja huoltokulujen merkitys ajoneuvon käyttökustannuksiin oli merkittävä, eikä arvio polttoaineiden välisestä hintaerosta täysin riitä kattamaan tätä eroa. Toisin sanoen etanolidieselajoneuvot ovat kalliimpia ylläpitää sekä käyttää kuin vastaavat dieselajoneuvot.

Lähipäästöjen osalta etanoli-dieselteknologia puolestaan on merkittävästi parempi kuin perinteinen diesel, etenkin hiukkaspäästöjen osalta. Myös kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä uusiutuvaista tai jäteraaka-aineista valmistettavalla etanolilla ja etanoli-dieselteknologialla on merkittävä potentiaali.

5. Dual-fuel kuorma-autot (Stara, Posti)

5.1 Yleistä

Biometaani on yksi raskaan ajoneuvokaluston polttoainevaihtoehto. Biometaaniksi puhdistettu biokaasu vastaa ominaisuuksiltaan maakaasua. Maa- tai biokaasua käytetään mm. Helsingissä ja Tukholmassa linja-autojen polttoaineena, mutta autot ovat poikkeuksetta varustettuja ottomootoreilla, joiden energiatehokkuus ei ole dieselmoottoreiden tasolla. Dual-fuel tekniikalla energiatehokkuus nousee lähtökohtaisesti tavoitetulle tasolle, ts. biometaani hyödynnetään energiatehokkaasti. Neljän auton pilotoinnilla haluttiin varmistaa paitsi todellinen energiatehokkuus myös autojen päästötaso, metaanin osuus käytetystä energiasta sekä autojen käytettävyys kuljettajien näkökulmasta todellisessa käytössä. Autojen toimintaa seurattiin jatkuvasti tiedonkeruujärjestelmien, ajopäiväkirjojen, vika-kirjanpidon sekä tankkauspäiväkirjojen avulla. Kahden auton suorituskykyä (pakokaasupäästöt, polttoaineen kulutus, teho) seurattiin mittauksilla VTT:n alustadynamometrillä tyypillisesti kerran vuodessa.

Sekä Stara että Posti ottivat kumpikin käyttöönsä kaksi dual-fuel -kuorma-autoa. Käyttökohteet olivat erilaisia; Postin autot olivat jakeluliikenteessä, Staran autot erilaisissa rakentamiseen ja kunnossapitoon liittyvissä töissä, joissa keskimääräinen kuormitustaso saattoi jäädä alhaiseksi ja joutokäynnin osuus suureksi.

5.2 Dual-fuel ajoneuvot

Neljän auton kenttäkoe toteutettiin Staran (Helsingin kaupungin rakentamispalvelu) ja Postin yhteisenä yritysprojektina tiiviissä yhteistyössä autojen valmistajan kanssa. Postin autot olivat 18 tonnin 178 kW moottorilla varustettuja autoja, joista toinen oli jakeluliikenteessä pääkaupunkiseudulla ja toinen terminaalien välisessä liikenteessä. Staran autot olivat 250 kW:n FE-malleja (kuva 5-1), kolmiakselisia yhdeltä akselilta vetäviä kuorma-autoja vaihtolavalaittein. Autoja käytettiin rakentamis- ja kunnossapitotöissä.

Euro V päästötason moottoreissa on nestemäiselle polttoaineelle common rail –ruiskutusjärjestelmä. Pakokaasujen puhdistukseen käytetään hapettavaa katalysaattoria (metaanikatalysaattori) sekä typen oksidien poistoon SCR –katalysaattoria ja urearuiskutusta.



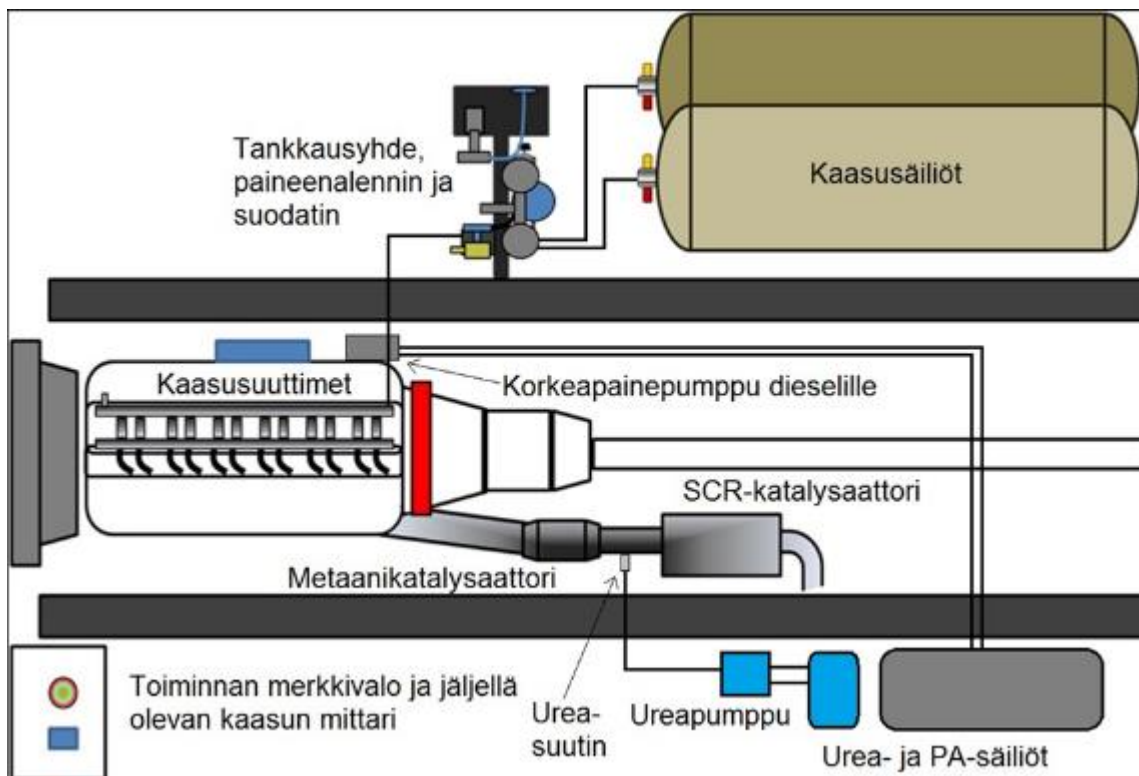
Kuva 5-1: Volvo FE 340 Dual-Fuel kuorma-auto.

Autoihin oli asennettu dual-fuel kaasujärjestelmä Volvon alihankkijana toimivan Hardstaff'in toimesta. Hardstaffilla on omat toimitilat Volvon tehtaan välittömässä läheisyydessä, ja heidän järjestelmänsä oli tilattavissa Volvon tavallisen hankintajärjestelmän kautta tiettyihin uusiin malleihin. Järjestelmä käyttää paineistettua maa- tai biokaasua. Volvolla on tarjolla myös vastaava järjestelmä LNG-käyttöön. Molemmat järjestelmät ovat kuitenkin poistuneet Volvon mallistosta Euro VI -päästövaatimuksien voimaan tulon myötä.

Dual-fuel -järjestelmä pystyy käyttämään kaasua dieselpalamisessa, mutta vaatii nestemäisen dieselruiskutuksen ilma-kaasuseoksen sytyttämistä varten. Ajoneuvosovelluksissa laihaseos kaasumoottorin käyttäminen on haasteellista kapean "palamisikkunan" ja nopeiden kuorman sekä pyörintänopeusvaihteluiden vuoksi. Palamatonta metaania voi jäädä pakokaasuihin suuria määriä, ja tästä syystä Volvon dual-fuel -autoista on SCR-järjestelmän lisäksi metaanin hapettamiseen tarkoitettu katalysaattori.

Kaasujärjestelmä koostuu kahdesta hiilikuituvahvisteisesta kaasusäiliöstä, paineenalennusjärjestelmästä, kaasun suodattimesta, tankkausliitännästä, suihkutussuuttimista, sähköisestä ohjausjärjestelmästä, kuljettajan näyttöpaneelistä sekä pakoputkistoon asennetusta metaanikatalysaattorista (Kuva 5-2). Metaanikatalysaattori sijaitsee lähellä moottoria, ennen SCR-katalysaattoria. Muiden komponenttien osalta auto ei juuri poikkea tavallisesta mallista. Polttoainesäiliö on lähes tavallisen dieselmallin kokoinen (255 litraa), joten kaasujärjestelmän lisääminen pidentää auton toimintasädettä.

Suihkutussuuttimia kaasulle on 12 kappaletta, kuhunkin imusarjan imukanavaan on sijoitettu kaksi suutinta. Kaasujärjestelmän ohjainyksikkö ohjaa kaasun ruiskutusta. Se on liitetty myös SCR-järjestelmän ureasuuttimen sekä common rail -järjestelmän dieselruiskutuksen ohjaukseen. Järjestelmällä ei kuitenkaan ole suoraa yhteyttä auton omaan moottorinohjausjärjestelmään vaan se tarkastelee moottorin toimintaa ainoastaan diesel- ja ureasuuttimien ohjaussignaalien avulla. Järjestelmään liittyy myös muutamia lämpötilamittauksia. Sen lisäksi, että kaasujärjestelmä tarkastelee urea- ja dieselsuuttimien toimintaa, se voi myös vaikuttaa niihin.



Kuva 5-2: Kaasujärjestelmän komponentit.

Auto käynnistetään dieselpolttoaineella ja aluksi se toimii pelkällä dieselöljyllä. Tiettyjen ehtojen täytyttyä kaasujärjestelmä aktivoituu. Kaasujärjestelmä alkaa suihkuttaa kaasua, ja samalla se leikkaa dieselruiskutuksesta jälki- ja pääruiskutusvaihetta. Esiruiskutukseen järjestelmä ei vaikuta. Myös urearuiskutuksen annosta vähennetään, koska moottorin NOx-päästö alenee kaasua käytettäessä.

Kaasujärjestelmän aktivoitumisen ehtoja ovat riittävän korkea metaanikatalysaattorin lämpötila sekä riittävän korkea moottorin kuormitusaste. Auton ollessa kylmä tai liian kevyellä kuormalla kaasua ei ruiskuteta. Jos kaasu on loppunut, järjestelmä ei käynnisty. Kaasujärjestelmän ollessa pois päältä, auto käyttäytyy tavallisen dieselmallin tavoin. Kuljettajalle kaasun käytöstä kerrotaan merkkivaloilla, sekä kaasupullojen paineenmittauksen pohjautuvan polttoainemittarin avulla. Kaasujärjestelmää käytettäessä moottorin suorituskyky ei muutu oleellisesti.

Kaasujärjestelmän valmistajan mukaan järjestelmä pystyy parhaimmillaan 60-70% korvausasteeseen, hieman sovelluksesta riippuen. Parhaaseen korvausasteeseen päästään ajossa, jossa moottoria käytetään tasaisella ja korkealla kuormalla. Matalia ja vaihtelevia kaupunkinopeuksia ajettaessa järjestelmä ei välttämättä pääse lainkaan käynnistymään, mikäli riittävää kuormitusastetta ja toimintalämpötiloja ei saavuteta.

Metaanikatalysaattori pystyy poistamaan palamatonta metaania vasta, kun se on lämminnyt riittävästi. Metaanikatalysaattorin syttyminen edellyttää 300-350 °C lämpötilaa ja 95% konversioasteeseen pääseminen edellyttää vähintään 450 °C lämpötilaa. Vanhetessaan metaanikatalysaattorin syttymislämpötila siirtyy ylemmäs, ja sen suorituskyky muutenkin huonontuu. Vanhenemisen aiheuttaa vierasaineiden keräytyminen (esim. rikki) katalysaattorin kenorakenteeseen.

5.3 Käyttökokeen toteutus

Käyttökoe toteutettiin neljällä dual-fuel -kuorma-autolla, joista kaksi oli Postin käytössä ja kaksi Staran käytössä. Tavoitteena oli kerätä käyttökokemuksia dual-fuel -tekniikan toimivuudesta, käyttökustannuksista ja kaasun polttoaineosuudesta erilaisissa käyttökohteissa.

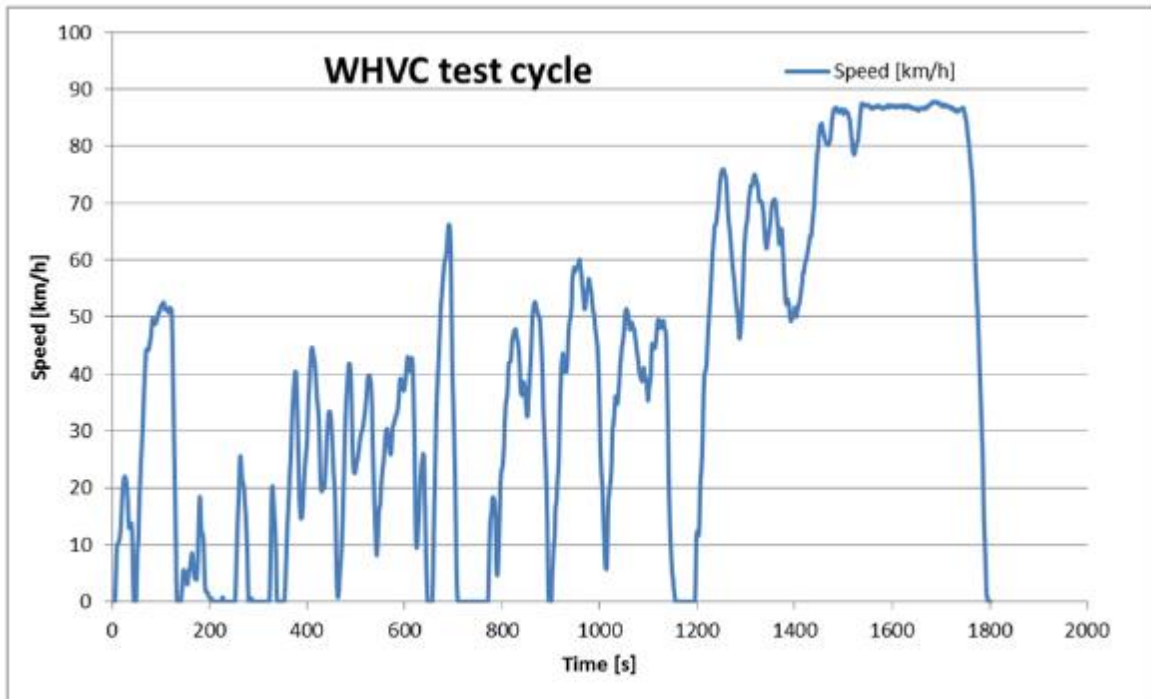
Kenttäkokeen aikana seurattiin ajoneuvo kohtaisesti sekä kaasun että dieselpolttoaineen kulutusta ja kerättiin käyttökokemuksia. VTT mittasi laboratoriossa alustadynamometrillä auton energiankulutuksen ja pakokaasupäästöt kokeen alussa, puolivälissä ja lopussa.

Päästö- ja energiankulutusmittaukset tehtiin esikaupunki- ja maantieajoa sisältävällä WHVC (World Harmonised Vehicle Cycle) syklillä sekä VTT:n maantieajoa kuvaavalla Highway-syklillä (kuvat 5-3 ja 5-4).

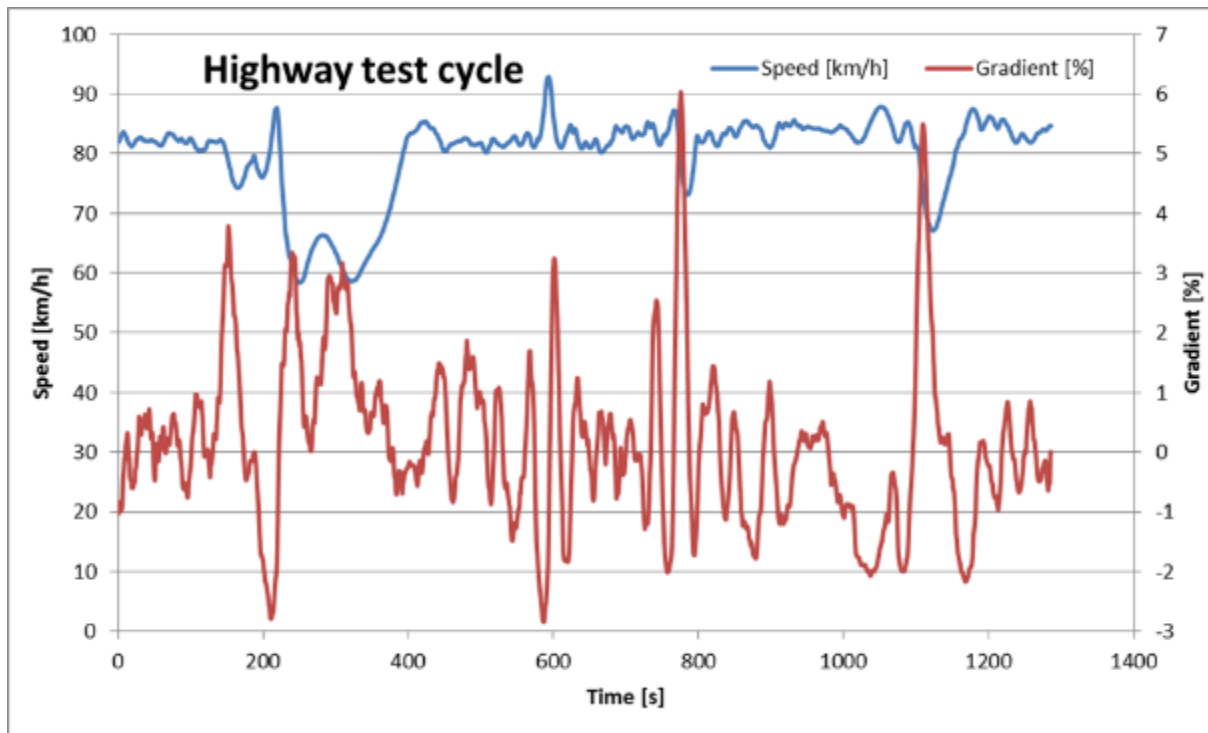
WHVC –syklin kesto on 30 minuuttia. Sykli alkaa 15 minuutin kaupunkiajtoa kuvaavalla paljon pysähdyksiä ja joutokäyntiä sisältävällä jaksolla, jossa keskinopeus on 23 km/h, jatkuu 8 minuutin esikaupunki jaksolla, jota seuraa 7 minuutin maantieajtoa kuvaava jakso. WHVC –sykli on transienttisuutensa ja alhaisen keskikuorman vuoksi kaasujoneuvojen kannalta vaativa sykli ja sitä käytettiin kaikissa mittauksissa.

VTT:n maantieajtoa kuvaavassa Highway-syklissä ei ole pysähdyksiä ja ajonopeuskin pysyy melko tasaisena. Syklin kesto on runsaat 21 minuuttia, ajomatka runsaat 28 km ja keskinopeus 80 km/h. Lähtökohtaisesti Highway-syklissä kaasun osuus polttoaineenkulutuksesta on suuri ja moottorin toiminta kohtuullisen vakaata. Sykli sisältää myös simuloitua ylä- ja alamäkeä, joka näkyy kuvassa 4 gradienttina.

Ajoneuvojen dieselpolttoaine oli normaalia vuodenaikojen mukaan vaihtuvaa kaupallista Neste Oy:n toimittamaa Pro Diesel polttoainetta, joka täyttää WWFC5 –laatuvaatimukset. Kaasu oli maakaasun jakeluasemalta tankattua laatua.



Kuva 5-3: WHVC –ajosykli



Kuva 5-4: VTT:n oma kuorma-auton maantieajoa kuvaava sykli (Highway).

5.4 Dual-fuel -käyttökokeen tulokset

Autojen suoritteet kilometreinä mitattuna olivat hyvin erilaiset johtuen erilaisista käyttöprofiileista. Postilla vuosittainen ajomäärä / auto oli 70 000 – 90 000 km, Staralla vastaava lukema oli luokkaa 10 000 km.

5.4.1 Käyttökokemukset

Autot toimivat käytössä hyvin, eikä kuljettajilta tullut paljoakaan negatiivista palautetta. Tavallisessa käytössä autoissa ei ilmennyt toimintaa häiritseviä ongelmia, ja autoja voitiin käyttää kuten tavallisia dieselkäyttöisiä kuorma-autojakin. Ainoastaan kaasun tankkaaminen eri asemalla kuin dieselin aiheutti ylimääräistä vaivaa.

Staran käytössä olleiden autojen päästötaso oli hyväksyttävä, mutta autot eivät sovi kovin hyvin Staran autoille tyypillisiin kohteisiin, joissa moottorin keskimääräinen kuormitus on pieni ja siitä johtuen kaasulla tuotetun energian osuus jää pieneksi (matala dieselin korvausaste).

5.4.2 Energiankulutus ja kaasun osuus energiasta

Dual-fuel -käytössä polttoaineenkulutus dieselekivalentiksi laskettuna nousi 5 – 7 % kaasua käytettäessä. Kaasujärjestelmä on lisätty ns. valmiiseen dieselmoottoriin, eikä dual-fuel -toimintaa ole optimoitu perusteellisesti. Energiankulutus on mitattu alustadynamometrillä edellä mainituilla kahdella ajosyklillä.

Postin kaupunkien välisessä liikenteessä kaasun osuus energiasta oli noin 50 %, jakeluliikenteessä osuus oli alimmillaan noin 20 %. Staran autoilla kaasun osuus jäi keskimäärin hieman alle 20 %:n. Highway -syklissä kaasun osuus oli noin 60 % ja WHVC –syklissäkin luokkaa 30 %. Lähtökohtaisesti kaasun osuuden maksimointi on tavoite joko kustannus- tai päästösyistä. Siten dual-fuel -tekniikalla varustetut autot soveltuvat parhaiten käyttökohteisiin, joissa moottorin kuormitus on kohtuullisen suuri ja tasainen. Erityisen huonoja kohteita ovat sellaiset, joissa joutokäynnin osuus on suuri.

5.4.3 Päästöt

Autojen päästötaso oli kokeen alussa korkea. Valmistajan tekemillä säätömuutoksilla ja metaanikatalysaattorin vaihdolla taso saatiin laskemaan selvästi. Sittenkin Postin ja Staran käytössä olleiden ajoneuvojen välillä oli selvä ero. Syynä typen oksidien osalta on todennäköisesti erilainen pakoputkiston rakenne, jolla oli vaikutusta ainakin urean pisaroitumiseen ja edelleen jakautumiseen tasaisesti SCR katalysaattorille. Metaanitasojen ero voi myös ainakin osittain johtua erilaisesta putkistosta sikäli, että katalysaattorin lämpötila on oltava riittävän korkea hapetusreaktioiden käynnistymiseksi. Staran autoilla metaanitaso pysyi alun katalysaattorin vaihdon jälkeen alhaisena koko käyttökokeen ajan toisin kuin Postin autoilla. Toisaalta Postin autojen ajosuorite oli moninkertainen Staran autoihin verrattuna.

Autot olivat vielä kehitysvaiheessa olevia versioita, joita sellaisenaan ei ole enää saatavissa. Markkinoille tulossa olevat Euro VI -vaatimukset täyttävät ajoneuvot ovat epäilemättä selvästi kehittyneempiä versioita päästöjen suhteen. Siksi jatkossa päästöjen osalta käsitellään Staran autojen tuloksia esimerkkinä kehitysversioiden parhaasta tasosta.

Dieselajoneuvojen oleelliset haitalliset pakokaasupäästöt ovat typen oksidit (NOx) ja hiukkaset, dual-fuel -autoissa huomiota on kiinnitettävä myös metaaniin. Parhaiten toimivien autojen päästötaso oli alhainen (taulukko 5-1) eivätkä päästöt kohonneet merkittävästi käyttökokeen aikana. Prosentuaalisesti metaanipäästö kohosi selvästi, mutta alle 1 g/km taso on edelleen varsin matala ja metaanikatalysaattorin konversioaste 84 % syklisellä ja matalan keskikuorman WHVC -syklillä osoittaa metaanikatalysaattorin toimivan edelleen hyvin (kuva 5-5).

NOx –päästö luokkaa 2 g/km on hyvää Euro V -ajoneuvojen tasoa. Vertailukohtana voidaan käyttää IEA Advance Motor Fuels -raportin tuloksia¹³. 18 000 kg Euro V -päästöluokan odotusarvo laskettuna tietyillä oletuksilla moottoreille asetetusta g/kWh päästörajasta on hieman

¹³ Nylund, N.-O. (ed.), Fuel and Technology Alternatives for Commercial Vehicles.

http://transsmart.fi/files/391/Fuel_and_Technology_Alternatives_for_Commercial_Vehicles_COMVEC_Final_Report.pdf

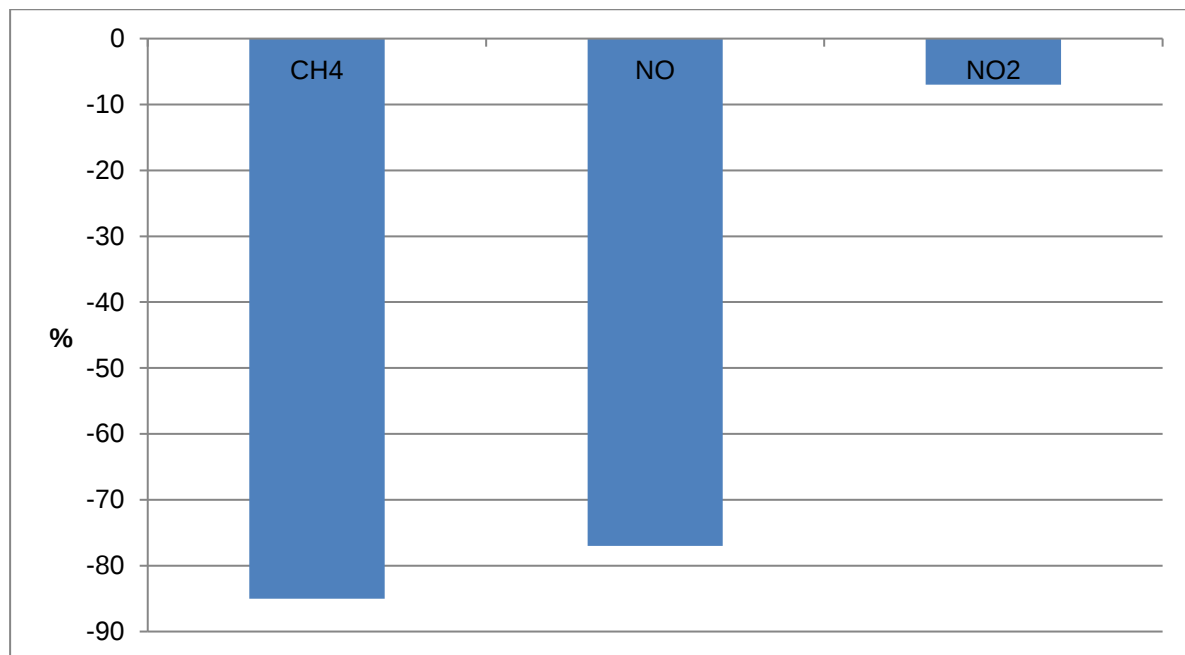
yli 2 g/km. Mainitussa IEA projektissa mitatuilla noin 15 tonnin ajoneuvoilla NO_x-päästö oli korkeampi kuin 2 g/km.

CO₂-päästö laski luokkaa 5 % WHVC syklissä siirryttäessä pelkän dieselin käytöstä dual-fuel -toimintoon, jossa kaasun osuus polttoainekäytöstä energiana mitattuna oli noin 30 %. Vaikka polttoaineenkulutus kohosi 5-7 % kaasun alhainen hiiliosuus käänsi CO₂ -päästön laskuun. CO₂ -ekvivalenttina mitattuna ero pieneni noin 3 %:iin johtuen dual-fuel -käytön metaanipäästöstä.

Taulukko 5-1: Muutos alku- ja loppumittausten välillä, Staran auto.

Sykli	Mittaus	Inertia [kg]	CH ₄ [g/km]	NO _x [g/km]	CO ₂ [g/km]	CO ₂ eqv. [g/km]
WHVC	Alku, ei kaasua	18100	0.00*	2.1	751	751
WHVC	Loppu, ei kaasua	18100	0.00*	1.7	769	769
	Ero		-	-19 %	2 %	2 %
WHVC	Alku, kaasulla	18100	0.53	1.9	728	741
WHVC	Loppu, kaasulla	18100	0.81	2.1	709	730
	Ero		52 %	8 %	-3 %	-2 %

* alle määrittysrajan



Kuva 5-5. Metaanin ja typen oksidien konversioasteet Staran autolla WHVC syklillä käyttökeiden lopussa.

Ajoneuvojen hiukkaspäästö oli tasolla 0,03 – 0,04 g/km, mikä on odotettu taso Euro V luokan ajoneuvoille ja lievästi alhaisempi kuin edellä mainitussa IEA tutkimuksessa mitattu taso. Odottamaton ilmiö oli hiukkaspäästöjen lievä kohoaminen siirryttäessä pelkän dieselpolttoaineen käytöstä dual-fuel -toimintoon. Syynä on erittäin todennäköisesti dieselin ruiskutusstrategian muutos, dual-fuel -toiminnossa dieselin jälkiruiskutus on jätetty pois. Autojen kaasujärjestelmä on tuotu dieselajoneuvoihin eräänlaisena jälkiasennusversiona ja optimointityö on ollut rajallista.

5.5 Yhteenveto

Pre-mixed -tekniikan dual-fuel -kuorma-autot eivät suoriutuneet käyttökokeesta parhaalla mahdollisella tavalla. Kuljettajien käyttökokemukset olivat hyviä, mutta energiatehokkuudessa ei päästy aivan dieselajoneuvojen tasolle, sillä kaasun polttoaineisuus jäi pieneksi muissa käyttökohteissa paitsi kaupunkien välisessä jakeluliikenteessä, eikä kaikilla autoilla saavutettua oletetun alhaista päästötasoa.

Autojen kaasujärjestelmä oli asennettu dieselajoneuvoihin eräänlaisena jälkiasennuksena, toiminnan kannalta lopputulos ei ollut täysin optimi. Tämä näkyi energiatehokkuudessa ja ainakin osittain myös pakokaasupäästöissä. Päästöjen suhteen autoissa oli eroja, Staran autojen päästöt olivat alhaiset kun taas Postin autoissa sekä metaanin että typenoksidien päästötaso oli selvästi Staran autoja korkeampi. Pre-mixed -tekniikallakin (=kaasu ruiskutetaan imuilmaan) on siis mahdollista saavuttaa alhainen päästötaso, jos jälkikäsitteilylaitteisto ja pakokaasulinjasto on suunniteltu huolellisesti.

Uusia pre-mixed -tekniikan kuorma-autoja ei ole enää saatavilla, Euro VI -päästörajojen saavuttaminen ei onnistu tällä tekniikalla. Euro VI -päästötason dual-fuel -autoissa kaasu tullaan ruiskuttamaan korkealla paineella suoraan sylinteriin. Näin on mahdollista paitsi alentaa päästöjä, saavuttaa hyvä energiatehokkuus ja korkea dieselin korvausaste.

OSA III: VTT:N TUTKIMUSLAITOSHANKE JA SEN TULOKSET

6. VTT:n tutkimuslaitoshanke ja sen tulokset

6.1 Menetelmäkehitys

6.1.1 Tausta

Uusien vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöönotto tuo päätöksentekoon haasteita niin kansallisella kuin kansainväliselläkin tasolla. Perinteiset pakokaasujen mittaussmenetelmät eivät riitä määrittämään uusien ajoneuvojen ja vaihtoehtoisten polttoaineiden päästövaikutuksia. Menetelmiä tulee parantaa, jotta valintoja tehtäessä ja uusia polttoainelaatuja käyttöönotettaessa voidaan mahdollisimman luotettavasti arvioida hyötyjä ja haittoja, eikä aiheuteta tahattomasti uudenlaisia päästöongelmia.

Pakokaasupäästöjen haitallisuuden arviointiin käytetään monenlaisia menetelmiä ja tarkat mittaukset ovatkin tärkeä osa polttoainevaihtoehtojen arviointia. Niin kutsuttujen *säänneltyjen päästöjen* (CO, HC, NO_x ja PM) mittaamiseen käytetään vakiintuneita mittaussmenetelmiä, kun taas *sääntelemättömien päästöjen* mittaamiseen on kehitetty tutkimuslaboratorioiden omia menetelmiä. Käytetyt menetelmät on kehitetty ja validoitu perinteisille polttoaine- ja ajoneuvo/jälkikäsittely -tekniikoille, eivätkä ne välttämättä sovellu tai riitä uusille vaihtoehdoille. Esimerkiksi hiilivetyjen, aldehydien, palamattoman etanolin, polyaromaattisten yhdisteiden (PAH), sekä hiukkaskokojakaumien mittaaminen ja yhteismitallistaminen on haasteellista, kun pitäisi huomioida useita mahdollisia uusia toisistaan suuresti poikkeavia polttoaineita.

Pakokaasujen koostumus voi poiketa tavanomaisesta käytettäessä esimerkiksi happea sisältäviä alkoholipolttoaineita. Osalle haitalliseksikin tiedettyjä päästöjä ei ole vakiintuneita mittaussmenetelmiä ja osa nykyisin säänneltyjenkin päästöjen mittalaitteista reagoi virheellisesti uusiin pakokaasujen komponentteihin antaen vääristyneitä tuloksia. Vaihtoehtoisten polttoaineiden tutkimuksen kannalta reaaliaikainen kaasumaisten ja hiukkaspäästöjen mittaaminen on tärkeää, koska päästöt useimmiten reagoivat moottorin kuormituksen muutoksiin. Hiukkasten koostumus vaihtelee eri polttoaineilla, mikä taas voi häiritä esimerkiksi hiukkasten alkuainehiilen ja orgaanisen hiilen (EC/OC) analysointia nykyisiä menetelmiä käytettäessä. Haitallisten yhdisteiden jakautuminen hiukkas- (PM) ja puolihaihtuvan (SVOC) faasin kesken voi olla hyvin erilainen erilaisilla polttoaineilla ja moottori/pakokaasun puhdistustekniikoilla. Polttoaineen uudet yhdisteet saattavat johtaa jopa erittäin haitallisten yhdisteiden muodostumiseen palamisessa. Näiden kaikkien vaikutusten arviointiin tarvitaan kokonaisvaltaisia arviointimenetelmiä, kuten biologisia testejä.

6.1.2 Tavoite ja toteutus

Projektin tavoitteena oli kehittää, parantaa ja optimoida VTT:llä jo olemassa olevia analyysimenetelmiä vaihtoehtoisten polttoaineiden ja tekniikoiden pakokaasupäästöjen tarkempaan karakterisointiin ja vaikutusten arviointiin. Lisäksi tavoitteena oli löytää kokonaisvaltaisempia menetelmiä pakokaasupäästöjen ympäristö-/terveyshaittojen määrittämiseksi. Uusilla teknologioilla ja polttoaineilla on piirteitä, joiden tutkimiseen ei ole ollut olemassa sopivia analyysimenetelmiä.

Seuraavia analyysimenetelmiä tarkasteltiin, parannettiin ja/tai kehitettiin:

- Alkoholipolttoaineiden pakokaasujen hiilivetyanalyysi (HC): *GC-FID ja microGC*.
- Aldehydianalyysin kehittäminen luotettavien tulosten saamiseksi, vaikka pakokaasujen NO₂ –pitoisuudet olisivat korkeat. Tämä on tärkeää erityisesti alkoholipolttoaineita käytettäessä.
- Reaaliaikaisen multikomponenttianalyysin (FTIR) metodit vaihtoehtoisten polttoaineille.
- Hiukkaspäästöjen (PM) alkuaine- ja orgaaninen hiili (EC/OC) soveltuvuus vaihtoehtoisten polttoaineille
- Puolihaihtuvien orgaanisten yhdisteiden (SVOC) keräysmenetelmä: *Empore-suodatin*.

- Kokonaisvaltaisten menetelmien seulonta PM- ja SVOC-faasien terveysvaikutusten arviointiin.
 - Soluton kemiallinen menetelmä oksidatiivisen potentiaalin (OP) määrittämiseen: *DTT-analyysi*.
 - Mutageenisuus pienistä näytemääristä: *MicroAmes*.
 - *Pakokaasutilavuuspohjainen (m³) annostelu* massapohjaisen (mg) tilalle.
 - *Palvelutarjoajia testattiin* PAH-, Ames-, microAmes ja DTT-analyysille.

Analyysimenetelmien validointi suoritettiin kahden mittauskampanjan yhteydessä:

- Alustava validointi IEA AMF Annex 44:ssa: “Unregulated Pollutants Emissions of Vehicles Fuelled with Alcohol Alternative Fuels” (Annex 44, vastuutaho CARARC, Kiina). VTT:llä tutkittiin kahden FFV-auton päästöjä kolmella alkoholipolttoaineella (E10, E85 ja E100) +23 °C:ssa ja -7 °C:ssa. (Aakko-Saksa et al. 2014₁₄)
- Mittauskampanja viidellä henkilöautolla VTT:llä huhtikuussa 2015.

6.1.3 Tulokset

Projektin englanninkielinen loppuraportti koostuu kolmesta osasta (

Kuva 6-1):

- 1) Päästöjen merkitys
- 2) VTT:n analyysimenetelmien tarkastelu, kehitys ja validointi
- 3) Mittauskampanja 2015

Significance of emissions 3.1 General 3.2 Composition of exhaust gas 3.3 Emission regulations 3.4 Health and environmental effects of emissions 3.5 Carbon monoxide (CO) 3.6 Nitrogen oxides (NO _x) 3.7 Nitrous oxide (N ₂ O) 3.8 Ammonia (NH ₃) 3.9 Sulphur dioxide (SO ₂) 3.10 Volatile organic compounds (VOCs) 3.11 Particulate mass (PM) and number (PN), black carbon (BC) 3.12 Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), and their derivatives 3.13 Ozone tropospheric and stratospheric 3.14 Risk factors and external costs for emissions 3.15 Summary 3.16 References	Review, improvement and development of methods at VTT 4.1 Overview 4.2 Sampling 4.2.1 Sampling for the gaseous regulated emissions (Tedlar bags) and PM 4.2.2 Semivolatile organic compounds (SVOCs) 4.3 Gaseous emissions 4.3.1 NO _x interferences and NO _x /NO ₂ ratio 4.3.2 NO _x /NO ₂ ratio 4.3.3 Total hydrocarbons with oxygen containing fuel 4.3.4 Individual hydrocarbons 4.3.5 Carbonyl compounds using DNPH/HPLC 4.3.6 Alcohols 4.3.7 FTIR - multicomponent analysis: NH ₃ , N ₂ O, alcohols, aldehydes, and others 4.4 Particle number, size classification, and characterization 4.5 Compositional analysis of PM 4.5.1 PM and SOF 4.5.2 Anions: sulphates and nitrates 4.5.3 Elemental and organic carbon (EC and OC) 4.5.4 Fuel tube 4.5.5 Metals 4.6 Carcinogenicity, mutagenicity, and toxicity of PM and SVOC 4.6.1 Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) 4.6.2 Ames mutagenicity 4.6.3 Oxidative potential (OP)	Measurement campaign 5.1 General 5.2 Fuels 5.3 Test cars 5.4 Test procedure 5.5 Test matrix 5.6 Analysis methods 5.6.1 Gaseous emissions 5.6.2 PM and SVOC sampling 5.6.3 Solid particle number (SPN) 5.6.4 Anions and EC/OC 5.6.5 PAH, microAmes, and oxidative potential 5.6.6 Analyses laboratories 5.7 Results 5.7.1 Regulated emissions 5.7.2 Individual hydrocarbons 5.7.3 Alcohols, ethers, ammonia, nitrous oxide, and other gaseous components 5.7.4 EC/OC 5.7.5 Anions 5.7.6 Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) 5.7.7 MicroAmes 5.7.8 Oxidative potential (DTT assay)
--	---	---

Kuva 6-1. Projektin loppuraportin sisällysluettelo.

Päästöjen merkitys

Ympäristö- ja terveysvaikutusten minimoiminen on ollut liikennesektorin kiristyvien pakokaasupäästörajoitusten taustalla. Markkinoille onkin tullut yhä puhtaampia autoja ja jälkikäsitteilytekniikoita, joiden kuuluisi noudattaa periaatetta “ei haittaa terveydelle tai ympäristölle”.

14 Aakko-Saksa, P., Murtonen, T., Roslund, P., Koponen, P., Nuottimäki, J., Karjalainen, P., Rönkkö, T., Timonen, H., Saarikoski, S. and Hillamo, R. (2014) Research on Unregulated Pollutants Emissions of Vehicles Fuelled with Alcohol Alternative Fuels - VTT's contribution to the IEA-AMF Annex 44. Research Report : VTT-R-03970-14, 2014 . VTT, 28 p. + app. 6 p.

Polttoaineiden täydellinen palaminen tuottaa hiilidioksidia ja vettä. Perinteisesti "päästöiksi" määritellyt komponentit edustavat vain hyvin pientä osaa kokonaispakokaasupäästöistä, alle 0,5 %:ia. Suurin osa päästökomponenteista on polttoaine- ja moottoririippuvaisia, mutta osa niistä muodostuu jälkikäsittelylaitteissa. Maakaasu- ja biometaanikäyttöiset ajoneuvot tuottavat metaanipäästöjä. Etanoliautot tuottavat esimerkiksi etanoli- ja asetaldehydipäästöjä. Kolmitoimikatalysaattorissa (TWC) muodostuu typpioksiduulia (N_2O) ja ammoniakkia (NH_3) ja ammoniakkipäästöjä tuottaa myös SCR-katalysaattori.

Kolmitoimikatalysaattorilla varustetuilla bensiinautoilla on yleensä alhaiset säännellyt päästöt (CO , HC , NO_x ja PM). Dieselmoottorissa muodostuvien NO_x -ien ja hiukkaspäästöjen vähentämiseksi autoissa käytetään esim. SCR-katalysaattoreita ja hiukkassuodattimia (DPF).

Pakokaasuissa on satoja erilaisia hiilivetyjä, joista osa on myrkyllisiä kuten betseeni ja 1,3-butadieeni ja osa on kasvihuonekaasuja kuten metaani. Bentseeni, formaldehydi ja 1,3-butadieeni luokitellaan myös karsinogeeneiksi ja asetaldehydi mahdollisesti karsinogeeniksi. 1,3-Butadieeni on reaktiivinen ja muodostaa ilmakehässä formaldehydiä, asetaldehydiä ja akroleiinia. Akroleiini on erittäin ärsyttävää hengitettäessä ja pitkäaikaisaltistuminen sille johtaa krooniseen tulehdukseen. Hiukkas- ja semihaihtuvista faaseista löytyy mm. polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä (PAH-yhdisteitä). Monet PAH:t, nitro-PAH:t ja oksy-PAH:t on luokiteltu joko todistetusti, todennäköisesti tai mahdollisesti karsinogeenisiksi. Pakokaasun terveysvaikutuksia arvioitaessa on huomioitava hiukkasten koko ja lukumäärä (PN), erityisesti pienimmät hiukkaset. Lisäksi toksikologiset ja epidemiologiset tutkimustulokset viittaavat siihen, että hiukkasten kemiallinen koostumus on tärkeä osatekijä hiukkasten terveysvaikutuksia arvioitaessa. IARC on luokitellut dieselpakokaasun ihmisille karsinogeeniseksi (ryhmä 1) ja bensiinipakokaasu on luokiteltu ihmisille mahdollisesti karsinogeeniseksi (ryhmä 2B). Dieselpakokaasun luokittelu karsinogeeniseksi perustuu tutkimustuloksiin vanhemmilla dieselmoottoreilla.

Otsonin muodostumiseen maan pinnalla vaikuttavat typen oksidien (NO_x) ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) pitoisuudet sekä ilmakehän lämpö ja auringonvalo. Otsoni aiheuttaa mm. hengityselinten ärsytystä ja vaurioittaa kasveja ja ekosysteemejä. Fytotoksiinista ja mutageenista peroksisasetyylinitraattia (PAN) voi myös muodostua ilmakehässä päästöjen vaikutuksesta.

Hiilidioksidin (CO_2) lisäksi metaani (CH_4), mustahiili (BC), typpioksiduuli (N_2O) ja otsoniprekursorit ovat liikenteeseen liittyviä kasvihuonekaasupäästöjä. Myös ammoniakilla on haitallisia vaikutuksia terveyteen ja kasvillisuuteen.

Pakokaasupäästöjen riskien arviointiin on monia menetelmiä. Riskikertoimia on määritetty esimerkiksi pakokaasujen syöpää aiheuttavalle potentiaalille, otsonin muodostumispotentiaalille, hapettumiselle, fotokemialliselle hapettumiselle, hiukkasten muodostumiselle ja merien rehevöitymiselle.

6.1.4 VTT:n analyysimenetelmien tarkastelu, kehitys ja validointi

Projektin aikana parannettiin tai kehitettiin VTT:llä olevia analyysimenetelmiä ja -tapoja. Lisäksi kehitettiin ja validoitiin kokonaan uusia menetelmiä.

a) Hiilivetyjen analysointi alkoholipolttoainetta käyttävillä autoilla, kuten FFV- ja ED95- ajoneuvoilla.

- Kokonaishiilivetypäästöjen perinteinen mittausta (THC FID) havaitsee kaikki hiiltä sisältävät yhdisteet, myös oksygenaattit. Tämän vuoksi **happea sisältäville polttoaineille suositellaan eriteltujen C_1 – C_8 –hiilivetyjen GC-FID -analyysiä raportoiden myös C_1 – C_8 summa, jolloin saadaan parempi kokonaiskuva hiilivetypäästöistä.**
- VTT:n perinteisen GC-FID –hiilivetyerittelyn rinnalle kokeiltiin microGC:n käyttöä mittauskampanjan aikana. Menetelmällä päästään noin kahden minuutin analyysiaikoihin (semi-online), mutta sillä voidaan analysoida vain pieniä hiilivetyjä (me-

taani, etaani, eteeni ja propaani) ja lisäksi määritysrajat ovat korkeat, joten microGC:n käyttöä ei todettu hyödylliseksi ajoneuvojen päästömittauksissa.

b) Aldehydit/karboonyyliyhdisteet

- Korkeat typpidioksidin (NO₂) pitoisuudet häiritsevät aldehydianalyysiä erityisesti alkoholipolttoaineilla. VTT:n aldehydien analyysimenetelmää parannettiin, jotta saataisiin luotettavia tuloksia myös korkeilla pakokaasujen NO₂ -pitoisuuksilla. Analyysiä häiritsevät **NO₂-pitoisuudet määritetään nyt alustavasti auton prep-paussyklin yhteydessä ja tulosten perusteella suunnitellaan sopiva näytteenottojärjestely**. Aldehydipäästöjen tarkka määrittäminen on tärkeää alkoholipolttoaineita käyttäville ajoneuvoilla.

c) Reaaliaikainen multikomponenttianalyysi (FTIR)

- FTIR vaatii erilliset menetelmät erilaisille pakokaasujen koostumuksille. **Tarkempien analyysitulosten saavuttamiseksi käytettäessä vaihtoehtoisia polttoaineita Gasmet Cr-2000 FTIR-metodit ja laskenta uusittiin ja metodit parannettiin/kehitettiin vaihtoehtoisille polttoaineille.**

d) Hiukkaspäästöjen (PM) alkuaine- ja orgaaninen hiili (EC/OC) koostumus

- **EC/OC-menetelmä testattiin ja hyväksyttiin käytettäväksi ajoneuvomittauksissa.** Tätä termo-optista menetelmää on käytetty keskinopeiden moottorien tutkimuksissa VTT:llä.

e) Puolihaihtuvat orgaaniset yhdisteet (SVOC)

- Puolihaihtuvan faasin analysointi kaasumaisen faasin ja hiukkasten lisäksi on tärkeää vaihtoehtoisille polttoaineille. **Puolihaihtuvien orgaanisten yhdisteiden (SVOC) keräys Empore-suodattimille hyväksyttiin** kahdesta tutkitusta ja testatusta näytteenkeräysmenetelmästä (Empore-suodattimet ja Tenax-putket).

f) Toksisuus, mutageenisuus ja karsinogeenisuus

- Pakokaasujen karsinogeenisuutta ja mutageenisuutta on perinteisesti VTT:llä määritetty PAH- ja Ames-analysein. Uusia kokonaisvaltaisempia menetelmiä haettiin tähän tarkoitukseen ja **valittiin soluton kemiallinen menetelmä oksidatiivisen potentiaalin (OP) määrittämiseen hiukkas- ja puolihaihtuvafaaseista, nk. DTT-analyysi.**
- **Kehitettiin menetelmä kokonaisvaltaiseen analyysiin aiempaa alhaisemmilla kustannuksilla.**
 - **Pakokaasutilavuuspohjainen (m³) annostelu** hiukkasmassapohjaisen (mg) annostelun tilalle. Hiukkasmassan kerääminen biologisiin testeihin on ollut vaihtoehtoisia polttoaineita käyttävillä uusilla autoilla haasteellista ja kallista vaadittujen lukuisten toistomittausten vuoksi.
 - **MicroAmes testi** indikoimaan mutageenisuutta pienistä näytemääristä.
 - Siirtyminen **vaativista Soxhlet-uutoista pilkottujen suodattimien ultraäänIUuttoon**
- Palvelutarjoajia testattiin mutageenisuustesteille (Ames ja microAmes) sekä DTT- ja PAH-analyysille. **Uudet palveluntarjoajat paransivat testien joustavuutta ja kustannustehokkuutta.**

6.1.5 Mittauskampanja

Mittauskampanjassa VTT:llä keväällä 2015 oli mukana viisi henkilöautoa, neljä uutta Euro 6 autoa ja yksi vanha Euro 2 -dieselauto referenssinä (Fiat Scudo). Autot on eritelty Taulukossa 6-1.

Taulukko 6-1: Mittauskampanjan autot.

Auto	Vuosimalli	moottorityyppi, teho	ID	polttoaine	jälkikäsittely	Euroluokka	CO ₂ (g/km)*
Fiat Scudo	1999	1.9 L, 66 kW	Scudo	diesel (Neste Pro Diesel)	n/a	Euro 2	n/a
Volkswagen Golf	2015	1.4 TSI, 110 kW	E10	E10	TWC	Euro 6	112
Volkswagen Golf MultiFuel	2015	1.4 TSI, 92 kW	E85	E85	TWC	Euro 6	120 (E10), 116 (E85)
Volkswagen Passat Bluemotion	2015	1.6 TDI, 88 kW	DI	diesel	NOx adsorber catalyst, catalyst 2 x EGR	Euro 6	103
Audi A3 Sportback G-tron	2014	1.4 TFSI, 81 kW	CNG	CNG/bensiini**	TWC	Euro 6	115 (E10), 88 (CNG)

*Tyypin hyväksymisarvo; ** CNG auto käynnistyy bensiinillä.

Mittauskampanjassa käytetyt polttoaineet olivat:

- **E10** bensiini: max. 10% etanolia (kaupallinen)
- **E85**: polttoaineanalyysin mukaan sisälsi 83% etanolia (kesälaatu, kaupallinen)
- **Diesel**: Neste Pro Diesel (talvilaatu, kaupallinen) Scudolla ja tavallinen diesel VW Passatilla
- **CNG** (kaupallinen)

Testisyklinä käytettiin kaikilla autoilla tyypin hyväksymisessä käytettävää NEDC-sykliä ja mitaukset tehtiin -7 °C lämpötilassa.

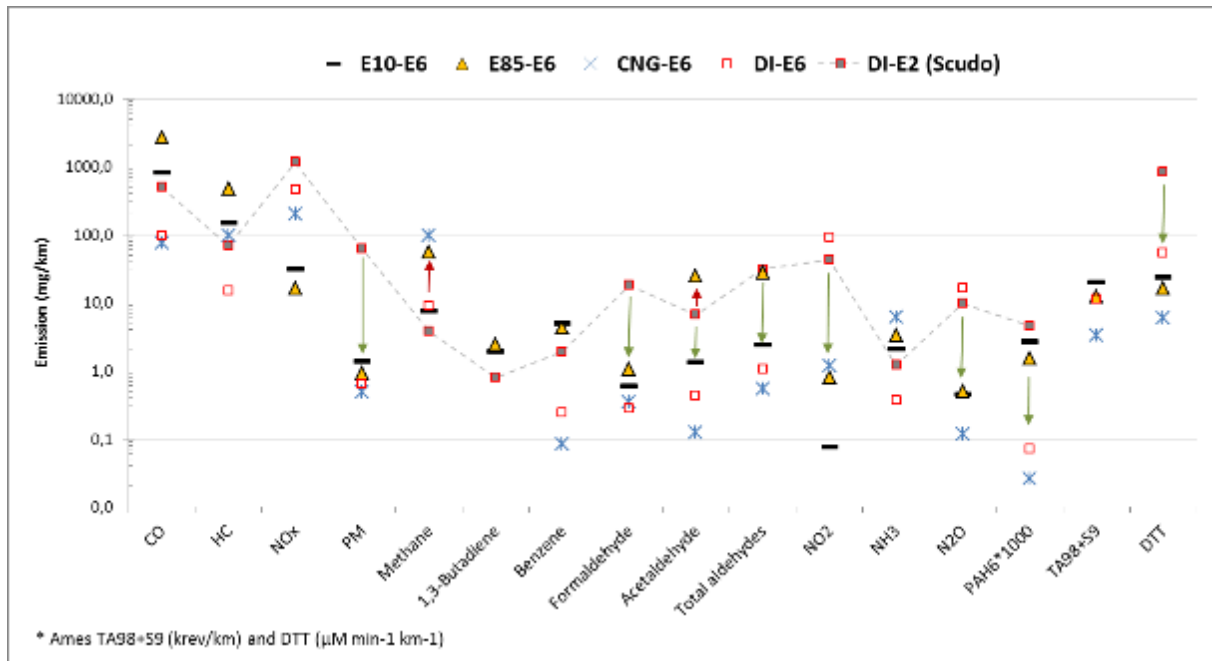
Error! Reference source not found. kokoaa yhteen mittauskampanjan aikana mitatut pakokaasupäästöjen tulokset kaikille autoille. Euro 2 dieselauton (Scudo) päästöt on merkitty katkoviivalla. Useimmissa tapauksissa uudella polttoaine- ja ajoneuvotekniikalla saavutettiin alhaiset päästöt, vaikka jotkin uusien Euro 6 autojen päästöistä ylittävät vanhan Euro 2 dieselauton päästöt.

Mittauskampanjan aikana tavanomaisen hiukkaspäästön lisäksi kerättiin semi-haihtuvia yhdisteitä Empore-suodattimille. Mielenkiintoisin ja yllättävin oli Euro 6 dieselauton (DI-E6) SVOC-näyte: suodattimelle kertyi korkea SVOC-massa, noin 9 mg/suodatin, kun vastaava massa oli muilla uusilla Euro 6 autoilla 0,4 – 0,5 mg/suodatin ja Euro 2 Scudolla noin 4 mg/suodatin. Tämän projektin puitteissa ei ollut mahdollista analysoida tarkemmin DI-auton SVOC-näytteen kemiallista koostumusta.

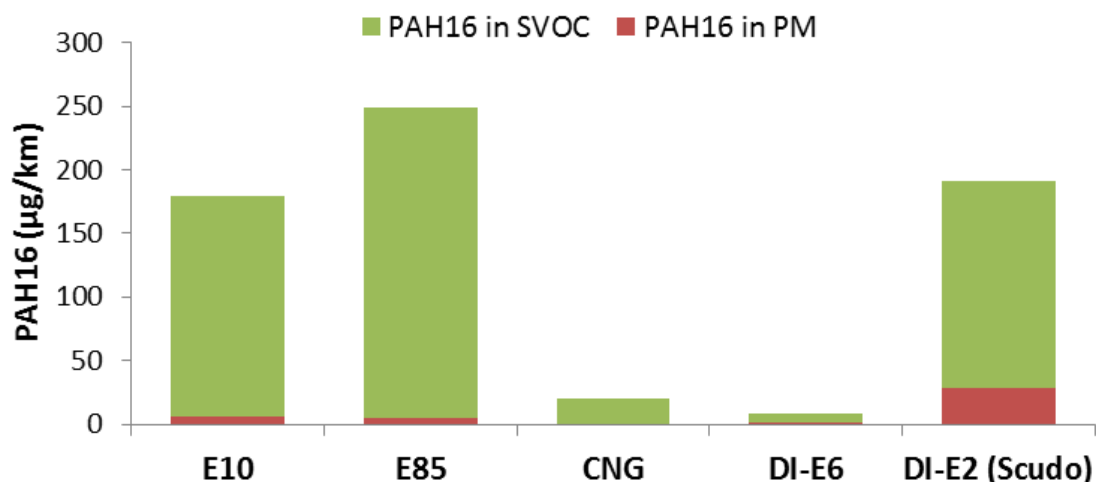
Kuvissa 6-1 ja 6-2 on esitetty hiukkasten ja semi-haihtuvan osuuden raskaiden yhdisteiden summat (PAH16 ja PAH6). Hiukkasten PAH16- ja PAH6-päästöt olivat korkeimmat Euro 2 dieselautolla (Scudo) ja seuraavaksi korkeimmat E10- ja E85-autoilla, kun taas semi-haihtuvan osuuden PAH16-summa oli jopa korkeampi E85- ja E10-polttoaineita käyttävillä autoilla kuin Euro 2 dieselautolla. Euro 6 dieselauton (DI) ja CNG-auton hiukkaset ja semi-

haihtuva osuus sisälsivät erittäin vähän PAH16-summaan kuuluvia yhdisteitä. Haitallisimpia PAH16-summaan kuuluvia yhdisteitä esiintyi vain hiukkasnäytteissä, semi-haihtuvassa osuudessa ei ollut havaittavia määriä kyseisiä yhdisteitä.

Kuvan 6-3 mukaan Euro 2 -dieselauton (Scudo) PAH6-summa oli korkein, mutta myös Euro 6 -bensiiniauton (E10) ja FFV-auton (E85) hiukkasten PAH6-summat olivat yllättävän korkeita. Euro 6 -dieselauton (DI) ja CNG-auton hiukkaset eivät sen sijaan sisältäneet merkittävästi PAH6-summaan kuuluvia yhdisteitä. Semi-haihtuvassa faasissa esiintyi eniten kevyttä naftaleenia ja yleisesti ottaen kevyempiä PAH-yhdisteitä kuin hiukkasfaasissa, josta löytyi raskaita PAH-yhdisteitä.

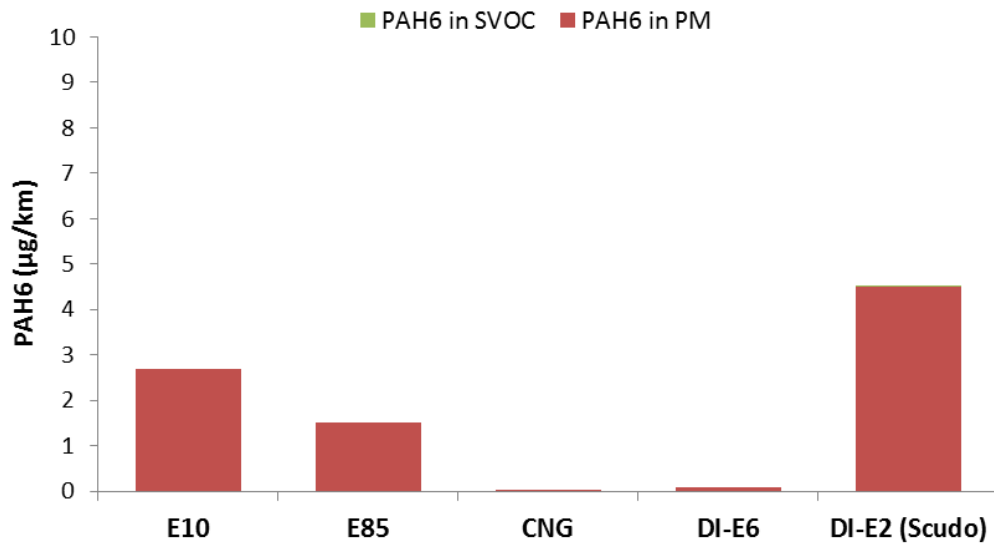


Kuva 6-1: Euro 2 -dieselauton (katkoviivalla merkitty ja neljän Euro 6 -auton pakokaasupäästöt -7 °C:ssa.



E10: 56% (9/16) compounds < DL; E85: 50% (8/16) compounds < DL, CNG: 63% (10/16) compounds < DL; DI: 75% (12/16) compounds < DL; Scudo: 69% (11/16) compounds < DL

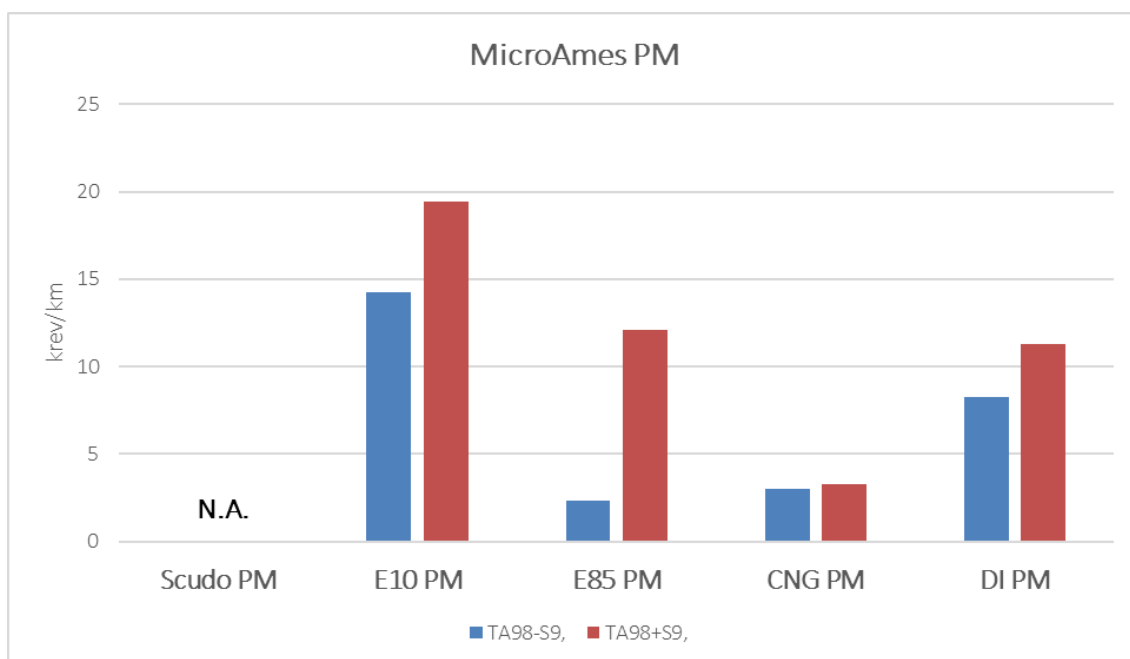
Kuva 6-2. Testiautojen PAH16-tulokset hiukkasista ja semihaihtuvasta faasista. Eurooppalainen pakokaasutesti -7 °C:ssa. Euro 2 -dieselauto (Scudo) ja neljä Euro 6 -autoa.



Kuva 6-3. Testiautojen PAH6-tulokset hiukkasista ja semi-haihtuvasta faasista. Eurooppalainen pakokaasutesti -7 °C:ssa. Euro 2 -dieselauto (Scudo) ja neljä Euro 6 -autoa.

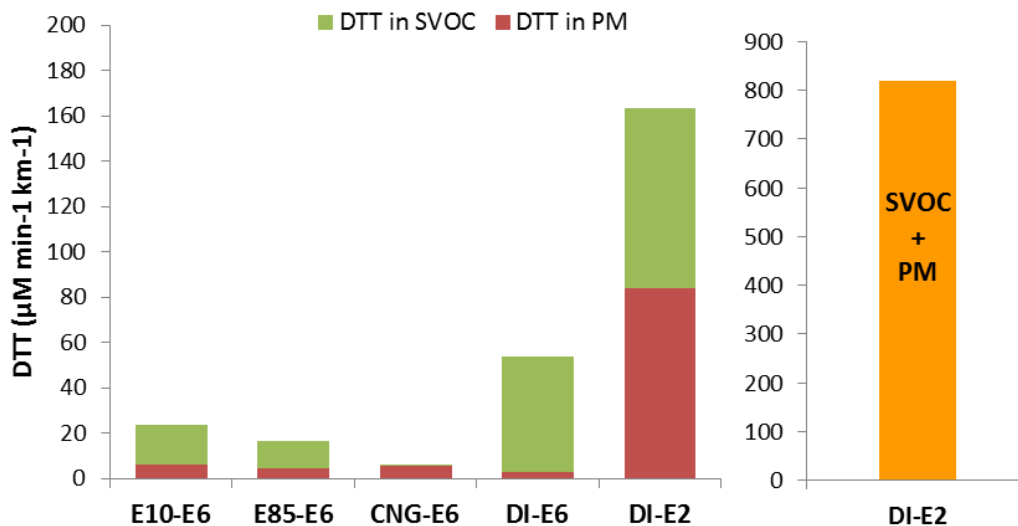
Vaihtoehtoisia polttoaineita käyttävien autojen pienistä pakokaasunäytemääristä johtuen, perinteisen mutageenisuustestin, Ames-testin, sijaan hankkeessa käytettiin microAmes-testiä. Kaikkien autojen hiukkasfaasit olivat mutageenisia, kun taas semi-haihtuvan faasin näytteistä ainoastaan dieselautojen näytteet olivat mutageenisia. Tosin semi-haihtuvan faasin mutageenisuustulokset ovat vain suuntaa-antavia.

Hiukkasten mutageenisuus oli korkeampi Euro 6 -bensiniäutolla (E10) kuin Euro 6 -tasoisilla E85-, diesel- (DI) tai CNG-autolla. Suurin ero aktiivisuudessa ilman metabolista aktivaatiota (-S9) ja metabolisen aktivaation kanssa (+S9) oli E85-auton hiukkasnäytteellä. Tämä viittaa PAH-yhdisteiden merkittävään rooliin E85-auton hiukkasten mutageenisuuden aiheuttajina. PAH-yhdisteet osoittavat epäsuoraa mutageenisuutta vaatiessaan metabolisen aktivaation +S9.



Kuva 6-4. MicroAmes-testin tulokset hiukkasnäytteille (krev/km). Eurooppalainen pakokaasutesti -7 °C:ssa. Euro 2 -diesel auto (Scudo) ja neljä Euro 6 autoa.

Oksidatiivinen potentiaali (DTT) oli korkein Euro 2 -dieselauton (Scudo) näytteille (kuva 6-5). Erityisesti hiukkasnäytteiden osalta muiden autojen oksidatiivinen potentiaali oli vain murto-osa Euro 2 -dieselauton tuloksesta, kun taas semi-haihtuvan faasin osalta myös Euro 6 -dieselauton oksidatiivinen potentiaali oli korkea. Euro 6 -dieselautolla havaittiin myös paljon semi-haihtuvan osuuden massaa. CNG-auton semi-haihtuvan osuuden oksidatiivinen potentiaali oli erittäin alhainen.



Kuva 6-5. Testiautojen pakokaasupäästöjen oksidatiiviset potentiaalit. Eurooppalainen pakokaasutesti -7 °C:ssa. Euro 2 -dieselauto (Scudo) ja neljä Euro 6 -autoa.

6.1.6 Yhteenveto

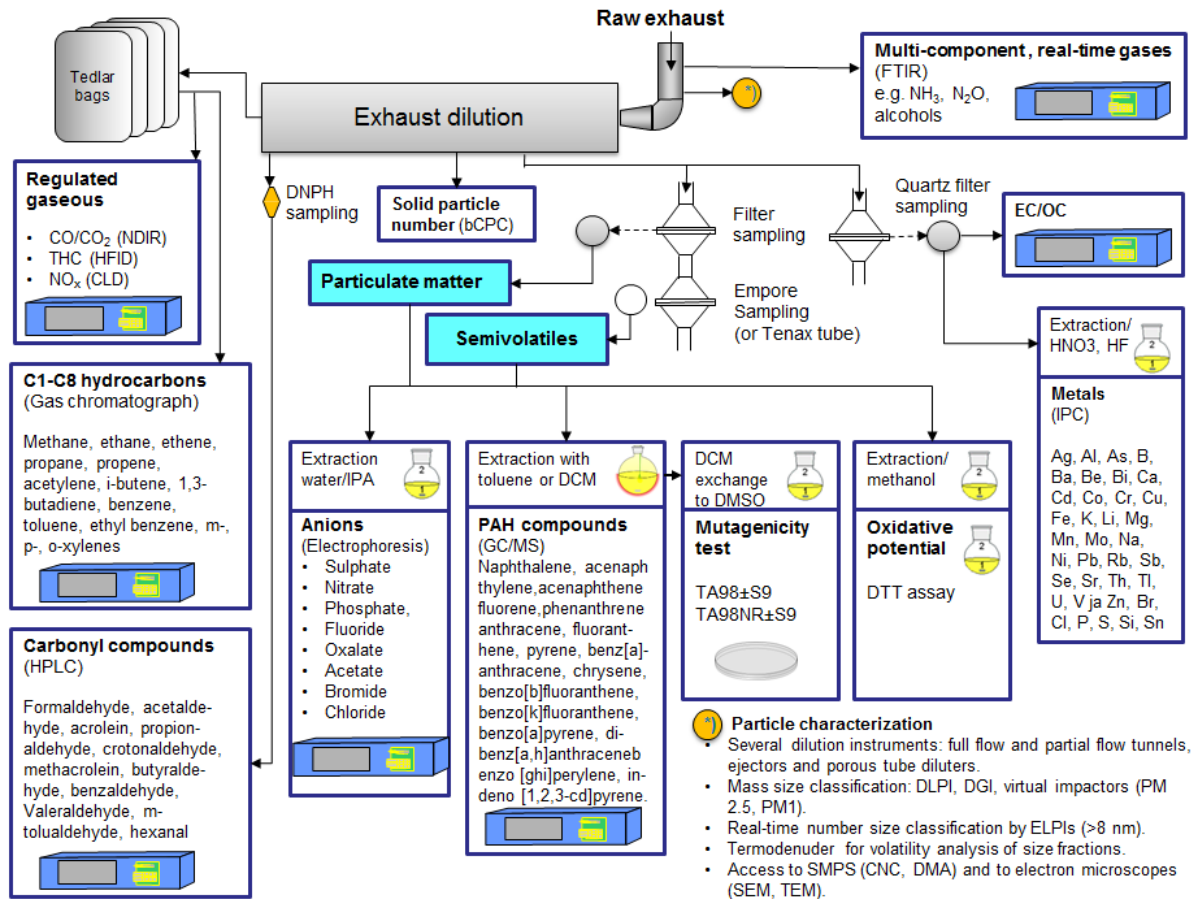
Projektin tavoitteena oli kehittää, parantaa ja optimoida VTT:n olemassa olevia mittaussmenetelmiä ja ottaa käyttöön uusia kokonaisvaltaisempia menetelmiä vaihtoehtoisten polttoaineiden ja tekniikoiden pakokaasupäästöjen karakterisointiin ja terveys- sekä ympäristövaikutusten arviointiin.

Hankkeen aikana parannettiin useita menetelmiä ja kehitettiin uusia. Hiilivetyerittelyä ja aldehydianalyysiä parannettiin vaihtoehtoisille polttoaineille sopiviksi. Yksi uusi hankkeessa kehitetty menetelmä on pakokaasun puolihaihtuvien yhdisteiden keräys (Empore-suodattimet) ja niiden huomioiminen päästöjen vaikutusten arvioinnissa. Hankkeessa kehitettiin ja otettiin käyttöön pakokaasutilavuuspohjainen näyteannostelu biologisiin testeihin. Näin uusien polttoaine-, moottori- ja jälkikäsittelytekniikoiden vaikutuksia voidaan tutkia kohtuullisin kustannuksin. Hankkeessa otettiin käyttöön uusia näytteiden käsittelymenetelmiä, kuten hiukkasten ultraääninuutto aikaa ja liuottimia paljon kuluttavan Soxhlet-uuton tilalle PAH-näytteiden valmistelussa. Hiukkasten ja semi-haihtuvan osuuden biologisten vaikutusten arviointiin otettiin käyttöön oksidatiivisen potentiaalin määrittäminen (DTT-analyysi) ja pienten näytemäärien mutaagenisuustesti (microAmes). Mittausmenetelmien kehitystyön lisäksi projektin aikana testattiin ja arvioitiin eri analyysipalvelujen tarjoajia. Uudenlainen lähestyminen näyteannosteluihin ja uutuihin sekä uudet palveluntarjoajat parantavat testien joustavuutta ja kustannustehokkuutta.

Uusia menetelmiä validoitiin mittauskampanjan avulla. Uusilla Euro 6 –päästötason autoilla (E85, CNG, E10 ja diesel) saavutettiin useimmissa tapauksissa alhaisemmat päästöt kuin Euro 2 –päästötason dieselautolla (Scudo).

Kaiken kaikkiaan projektin aikana kerättiin paljon tietoa niin kirjallisuusselvitysten kuin käytännön työn ansiosta. Tässä hankkeessa kehitettyjä menetelmiä ja kerättyä tietoa voidaan vastaisuudessa käyttää hyväksi vaihtoehtoisten polttoaine-, moottori- ja jälkikäsittelytekniikoiden pakokaasupäästöjen suorien ja epäsuorien vaikutusten arvioimisessa. Kuva 6-6:ssä on esitetty kootusti hankkeen aikana validoitu ja hyväksytty joustavampi ja kustannustehok-

kaampi pakokaasupäästömittausmenetelmien valikoima autoille ja ajoneuvoille VTT:llä. Hankkeen loppuraporttiin on myös kattavasti ja yksityiskohtaisesti kerätty ajantasainen tieto VTT:llä käytössä olevista pakokaasumittausmenetelmistä, minkä lisäksi loppuraportista löytyy kattavasti tietoa pakokaasupäästöistä ja niiden vaikutuksista.



Kuva 6-6. VTT:n autojen ja ajoneuvojen pakokaasupäästömittausmenetelmien valikoima.

OSA IV: IEA-YHTEISTYÖ JA TULOKSIA VTT:N ERILLISHANKKEISTA

7. IEA yhteistyö

7.1.1 Yleistä

IEA yhteistyö tuo hyödyllistä tietoa uusista polttoaineladuista ja uusien polttoainelaatujen käyttöönotosta. VTT on jo pitkään edustanut Suomea eräissä kansainvälisen energiajärjestön IEA:n toiminnoissa. VTT:n tutkimusprofessori Nils-Olof Nylund on toiminut mm. Advanced Motor Fuels (AMF) sopimuksen puheenjohtajana ja varapuheenjohtajana vuodesta 1998 lähtien. Lisäksi Nylund toimi vuosina 2007 - 2016 hallinnollisessa End-use Working Party (EUWP) -komiteassa liikenteeseen liittyvien tutkimussopimusten koordinaattorina tehtävänä nimikkeellä "EUWP Vice Chairman for Transport". Nylund on myös edustanut Suomea varajäsenenä EUWP-kokouksissa.

Tässä raportoidaan sekä EUWP että AMF toiminta vuosina 2013 - 2016.

7.1.2 End-use working party (EUWP)

EUWP kokoontuu kahdesti vuodessa. Syksyn kokous, joka painottuu hallinnollisiin asioihin kuten tutkimussopimusten jatkoaikahakemusten käsittelyyn, pidetään IEA:n pääkonttorissa Pariisissa. Kevään kokous kiertää paikasta toiseen, ja painottuu strategiseen työhön. Jaksolla 2013 - 2016 kevätkokoukset pidettiin seuraavasti:

- 2013: Bryssel, tutustuminen Exxon Mobilin Antwerpenin jalostamoon
- 2014: Bratislava, eritysteemana kaukolämpö
- 2015: Zurich, eritysteemana "Buildings and Mobility"
- 2016: München, eritysteemana energian varastointi

Vice Chairman for Transport kommunikoi kahdeksan liikenteeseen liittyvän sopimuksen kanssa, toimii linkkinä tutkimussopimusten ja EUWP:n välillä hoitaen raportointia EUWP:n suuntaan kahdesti vuodessa, ja järjestää lisäksi Transport Contact Group –kokouksia, tavoitteena edistää tiedonsiirtoa ja parantaa yhteistyötä liikenteeseen liittyvien tutkimussopimusten välillä. Vice Chairman for Transport osallistuu ajoittain myös eri tutkimussopimusten ExCo-kokouksiin.

Nylund luopui Vice Chairman for Transport tehtävästä maaliskuussa 2016, ja tilalle valittiin Carol Burelle Kanadasta. Burelle oli aikaisemmin hoitanut EUWP:ssä "Vice Chairman for Industry" -tehtävää

Raportointijaksolla järjestettiin neljä Transport Contact Group - kokousta, joista viimeisin Burrellen toimesta:

- Ottawa, helmikuu 2013
- Pariisi, huhtikuu 2014, kaksiosainen tapahtuma:
 - TCG kokous 15.4
 - työpaja "Workshop on Energy Efficient and Intelligent Transport System Complementing Technology with a Systemic Approach"
- Pariisi, tammikuu 2016
- Pariisi, syyskuu 2016

Nylundin aloitteesta EUWP ryhtyi keskustelemaan mahdollisista liikennejärjestelmätason aktiviteeteista. Tästä teemasta järjestettiin siis työpaja keväällä 2014. IEA:n liikenteeseen liittyvät tutkimussopimukset ovat pääasiassa teknologialähtöisiä (polttoaineet, sähköautot, polttokennot, materiaalitekniikka jne.), eikä mikään olemassa oleva tutkimussopimus tai tutkimussopimusten välinen yhteishanke käsittele kokonaisjärjestelmää.

Aloite IEA-tasoisista järjestelmätason aktiviteeteista on edennyt hitaasti, mutta sitä ei myöskään ole täysin haudattu. Aihe otettiin esiin Pariisissa keväen 2017 EUWP kokouksen yhteydessä järjestetyssä työpajassa "Workshop on Gaps and Barriers for Energy Technology De-

velopment and Deployment”. Tässä työpajassa, VTT:n Merja Penttinen piti yhdessä AMF tutkimussopimuksen nykyisen puheenjohtajan Magnus Lindgrenin (Trafikverket, Ruotsi) esityksen ”Integrated Transport System”, osittain pohjautuen kevään 2014 esitykseen. Asia on siis edelleen vireillä EUWP:n sisällä.

EUWP:n kokousmuistiot ovat virallisia IEA dokumentteja, eivätkä ne ole julkisia.

7.1.3 IEA Advanced Motor Fuels (AMF) Technology Collaboration Programme (TCP)

Suomi on ollut mukana AMF-sopimuksessa vuodesta 1990, ja on yksi AMF-sopimuksen aktiivisimmista toimijoista. VTT:llä on vuosien saatossa ollut katkeamaton sarja projekteja (Annexeja). AMF:llä on hyvät verkkosivut osoitteessa www.iea-amf.org

Vuonna 2012 päättynyt, VTT:n vastuulla ollut Annex 37, ”Fuel and technology alternatives for buses: Overall energy efficiency and emission performance”¹⁵ oli AMF:n kautta historian suurin hanke, ja nimettiin IEA:n Energy Technology Initiatives 2012 –julkaisuun AMF:n tärkeimmäksi aikaansaannokseksi 2010 – 2012.

Jaksolla 2013 - 2016 AMF:ssä oli käynnissä yhteensä 17 hanketta. Näistä Suomi oli mukana 15:sta, joko vastuutahona, osarahoittajana tai partnerina ”task sharing” periaatteella. Hankkeet olivat (suluissa hankkeet joissa Suomi ei ollut/ole mukana, keväällä 2017 käynnissä olevat kursivoitu):

- *Annex 55: Real Driving Emissions and Fuel Consumption*
- *(Annex 54: GDI Engines and Alcohol Fuels)*
- *Annex 53: Sustainable Bus Systems*
- *Annex 52: Fuels for Efficiency*
- *Annex 51: Methane Emission Control*
- *Annex 50: Fuel and Technology Alternatives in Non-Road Engines*
- Annex 49: COMVEC - Fuel and Technology Alternatives for Commercial Vehicles (VTT vastuutaho)
- Annex 48: Value Proposition Study on Natural Gas Pathways for Road Vehicles
- *(Annex 47: Reconsideration of DME Fuel Specifications for Vehicles)*
- Annex 46: Alcohol Application in CI Engines
- Annex 45: Synthesis, characterization and use of hydrotreated oils and fats for engine operation
- Annex 44: Research on Unregulated Pollutants Emissions of Vehicles Fuelled with Alcohol Alternative Fuels
- Annex 43: CARPO - Performance Evaluation of Passenger Car Fuel and Powerplant Options (VTT vastuutaho)
- Annex 42: Toxicity of Exhaust Gases and Particles from IC-Engines - International Activities Survey
- Annex 41: Alternative Fuels for Marine Applications - Future Marine Fuels Study
- Annex 39: Enhanced Emission Performance and Fuel Efficiency for HD Methane Engines
- Annex 38: Environmental Impact of Biodiesel Vehicles

Nyt raportoitava Tekes-projekti rahoitti Annex 49:ää (COMVEC) ja epäsuorasti Annex 44:ää (task-sharing toiminnan muodossa). Lisäksi projekti rahoitti yleisen EUWP- ja AMF -toiminnan työaika- ja matkakustannuksia. Vuodesta 2015 alkaen yritykset (Gasum, HSL, NEOT, Neste, Stara ja UPM) ovat maksaneet AMF:n sihteeristömaksun (9.500 €/vuosi).

AMF järjestää kaksi Executive Committee -kokousta vuosittain, toisen keväällä, toisen syksyllä. Jaksolla 2013 - 2016 kokouksia pidettiin seuraavasti:

- Wien, Itävalta, lokakuu 2016
- Chicago, USA, toukokuu 2016

¹⁵ http://www.iea-amf.org/app/webroot/files/file/Annex%20Reports/AMF_Annex_37.pdf

- Jerusalem, Israel, lokakuu 2015
- Gwangju, Korea, maaliskuu 2015
- Pariisi, Ranska, marraskuu 2014
- Kööpenhamina, toukokuu 2014
- Santiago, Chile, marraskuu 2013
- Göteborg, Ruotsi, toukokuu 2013

Kevään 2017 Executive Committee -kokous tullaan järjestämään Helsingissä 29.5-1.6.2017.

7.1.4 COMVEC-hanke

Eri polttoaine- ja käyttövoimavaihtoehdot ovat useimmiten parhaimmillaan tietyissä sovelluksissa. Taajamissa toimivissa ajoneuvoissa korostuu vähäpäästöisyys, pitkän matkan ajoneuvoyhdistelmissä toimintamatka ja polttoaineen energiatiheys. Nyt raportoitavan hankekokoaisuuden puitteissa pilotoidaan kolmea varsin erilaista tekniikkavaihtoehtoa, uusiutuvaa dieselpolttoainetta, lisääineistettua etanolia dieselmootoreissa sekä dual-fuel -kaasuautoja. IEA AMF –yhteistyöllä on mahdollista yhdistää eri tahojen dataa ja kokemuksia yhteisen tietopohjan laajentamiseksi.

VTT oli AMF:n puitteissa toteuttanut kaksi merkittävää yhteishanketta ajoneuvoteknologioiden ja polttoaineiden suorituskyvyn määrittämiseksi ja päätöksenteon tietopohjan vahvistamiseksi, edellä mainitut Annex 37 ("IEA Bus") ja Annex 43 (henkilöautokaluston vaihtoehtoja selvittänyt "CARPO").

Keväällä 2012 Zürichissä pidetyn Executive Committee kokouksessa käytyjen keskustelujen pohjalta mm. Japani ja Ruotsi pyysivät VTT:tä suunnittelemaan uutta hyötyajoneuvoja (pakettiautot, kuorma-autot) koskevaa usean tutkimuslaitoksen hanketta. Hankkeelle kehitettiin työnimi "COMVEC: Alternatives for Commercial Vehicles". Ajatus oli, että bussihanke, CARPO ja COMVEC muodostavat kokonaisuuden, jossa kaikki ajoneuvokategoriat on analysoitu yhteismitallisella tavalla. Tästä kokonaisuudesta saatavan tiedon perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä siitä, missä ajoneuvoryhmissä ja -tyypeissä vaihtoehtoisten tekniikoiden käyttöönotto on kustannustehokkainta: "Optimum allocation of alternative fuels and technologies".

COMVEC-hankkeen tavoitteiksi kirjattiin:

1. Yhteisestä testimetodiikasta sopiminen erilaisten hyötyajoneuvojen suorituskyvy- ja vertailumittauksissa
2. Hyötyajoneuvoja (tavara-ajoneuvoja) koskevan suorituskykydatan generointi täydentämään aikaisempia IEA AMF hankkeita (Annex 37 busseihin, Annexit 38 ja 39 liittyvät kuorma-autoihin ja Annex 43 henkilöautoihin).

COMVEC-hankkeeseen osallistui yhteensä 8 eri tutkimuslaitosta neljältä eri mantereelta (Aasia, Eurooppa, Etelä-Amerikka, Pohjois-Amerikka):

- Environment and Climate Change Canada (ECCC), Kanada
- Centro Mario Molina (CMMCh), Chile
- China Automotive Technology and Research Center (CATARC), Kiina
- Danish Technological Institute (DTI), Tanska
- Organization for the Promotion of Low Emission Vehicles (LEVO), Japani
- Swedish Transport Administration (STA),
- PTT Research and Technology Institute, Thaimaa
- VTT, Suomi (koordinaattori)

Työ alkoi yhteisten testimenetelmien määrittelyllä. Ajoneuvomittauksissa (alustadynamometrimittauksissa) päätettiin käyttää World Harmonized Vehicle Cycle (WHVC) -testisykliä. Ohjeellinen kuorma oli 50 % täydestä kuormasta. Kaikki mittaukset tehtiin täysin lämmenteillä

moottoreilla. Moottoridynamometrimittauksissa käytettiin World Harmonized Transient Cycle (WHTC) -testisykliä.

Alustadynamometrimittauksin testattiin yhteensä 35 erilaista ajoneuvoa, pakettiautoista rek-kavetureihin. Lisäksi japanilainen osapuoli (LEVO) teki polttoainemittauksia moottoridyna-mometriin asennetulla koemoottorilla.

Autot ryhmiteltiin (ohjeellisesti) kolmeen pääluokkaan:

- Luokka 1: kevyet tavara-autot (kokonaispaino 500 – 5 000 kg)
 - paketti- ja avolava-autot
- Luokka 2: keskiraskaat kuorma-autot (kokonaispaino 5 000 – 18 000 kg)
 - jakelukuorma-autot, jäteautot ja vastaavat kaksiakseliset autot
- Luokka 3: rekkaveturit (kokonaispaino ~ 40 000 kg)

Luokassa 1 oli edustettuina Euro 4, Euro 5 ja US Tier 2 -luokan autoja. Luokassa 2 ja 3 oli Euro III...Euro VI -luokan autoja ja lisäksi yksi US 2010 luokan auto.

COMVEC-hanke kattoi seuraavat polttoainevaihtoehdot:

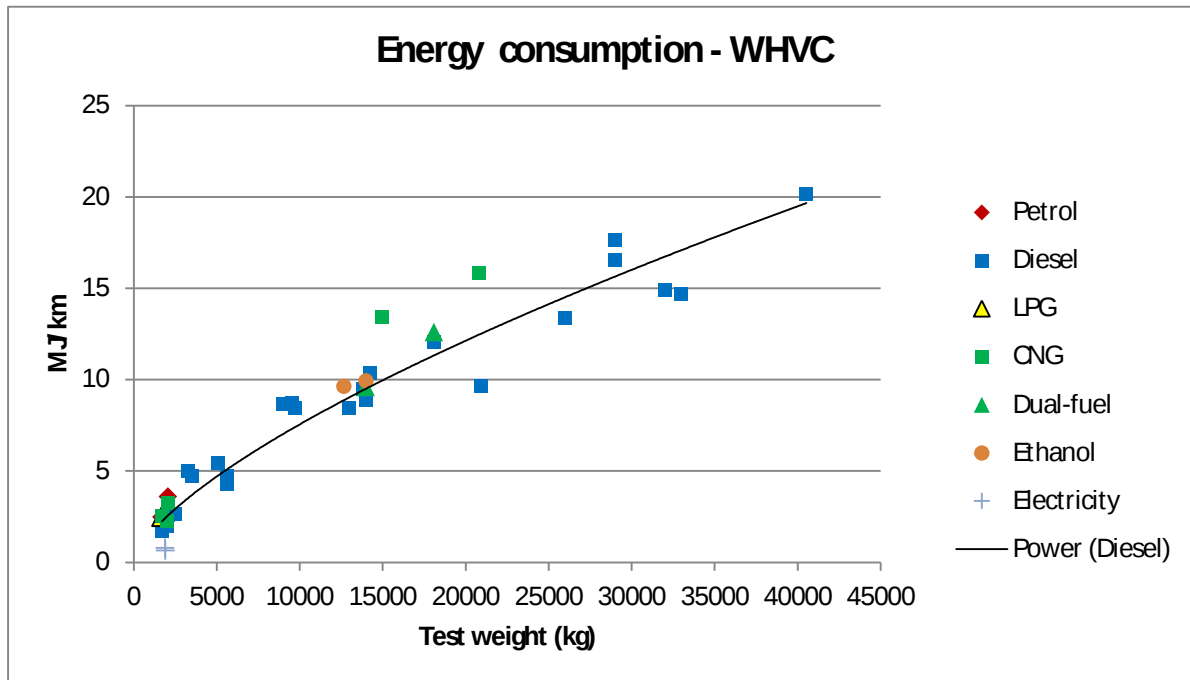
- bensiini (vain pakettiautokokoluokan autoissa)
- diesel (perinteinen)
- dieseliä korvaavat nestemäiset polttoaineet
- maakaasu (metaani)
 - kuorma-autoissa mukana niin kipinäsytytys- kuin dual-fuel -tekniikka (jälkim-mäisen osalta BioPilot-hankkeen autot)
- lisääineistettu etanoli (Scanian konsepti)
- nestekaasu (LPG, vain pakettiautokokoluokan autoissa)
- sähkö (vain pakettiautokokoluokan autoissa)

VTT mittasi eri autoja seuraavasti:

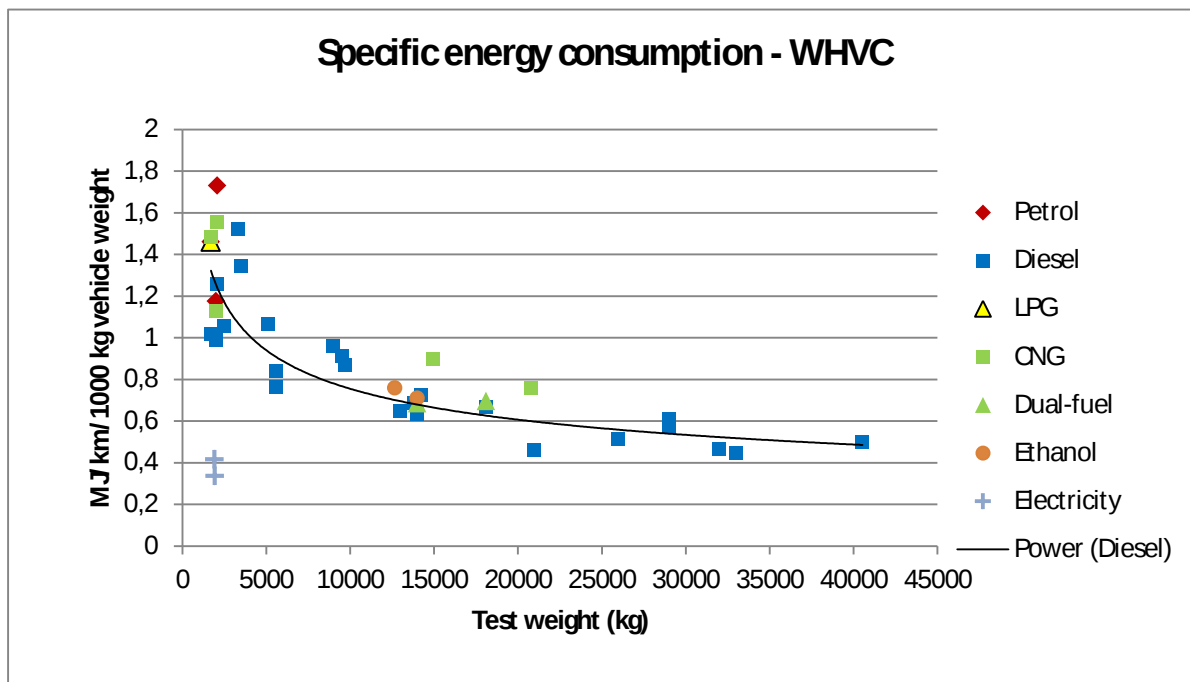
- viisi 1. luokan autoa
 - kolme eri automallia, bensiini, diesel, bi-fuel maakaasu (metaani), sähkö
- yhdeksän 2. luokan autoa
 - joukossa diesel, diesel-hybridi, kipinäsytytys-maakaasu (metaani), dual-fuel maakaasu (metaani), lisääineistetty etanoli
- kolme 3. luokan dieselautoa

Tulokset esitetään seuraavissa kuvissa testipainon funktiona:

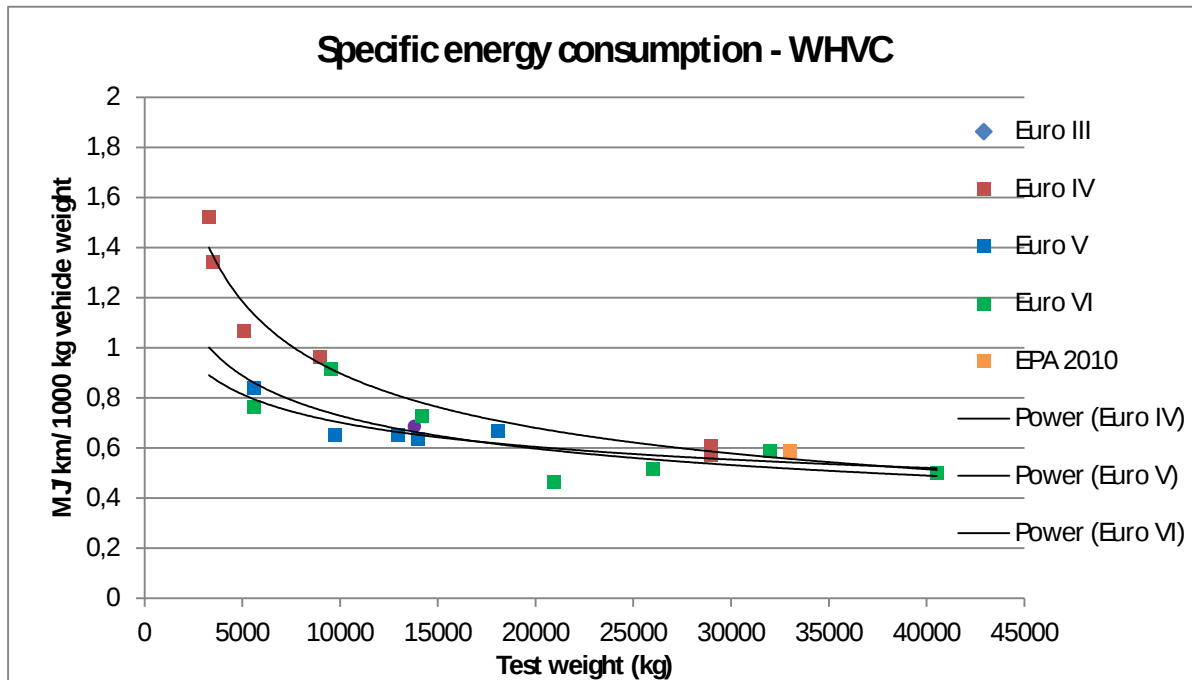
- energian kulutus (MJ/km), kuva 7-1
- energian ominaiskulutus (MJ/km/1000 kg ajoneuvon massaa), kuvat 7-2 ja 7-3
- CO_{2ekv}-päästö (g/km), kuva 7-4
- NO_x-päästö (g/km), kuvat 7-5 ja 7-6
- PM-päästö (g/km), kuvat 7-7 ja 7-8



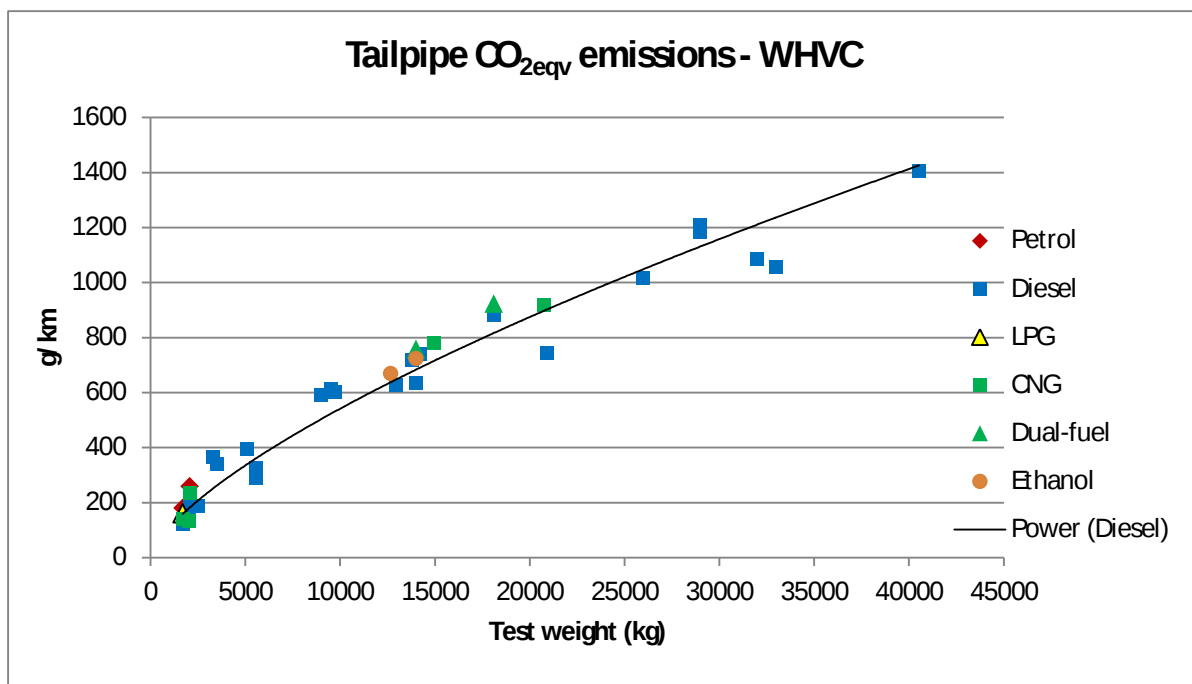
Kuva 7-1: Energian kulutus polttoaineittain.



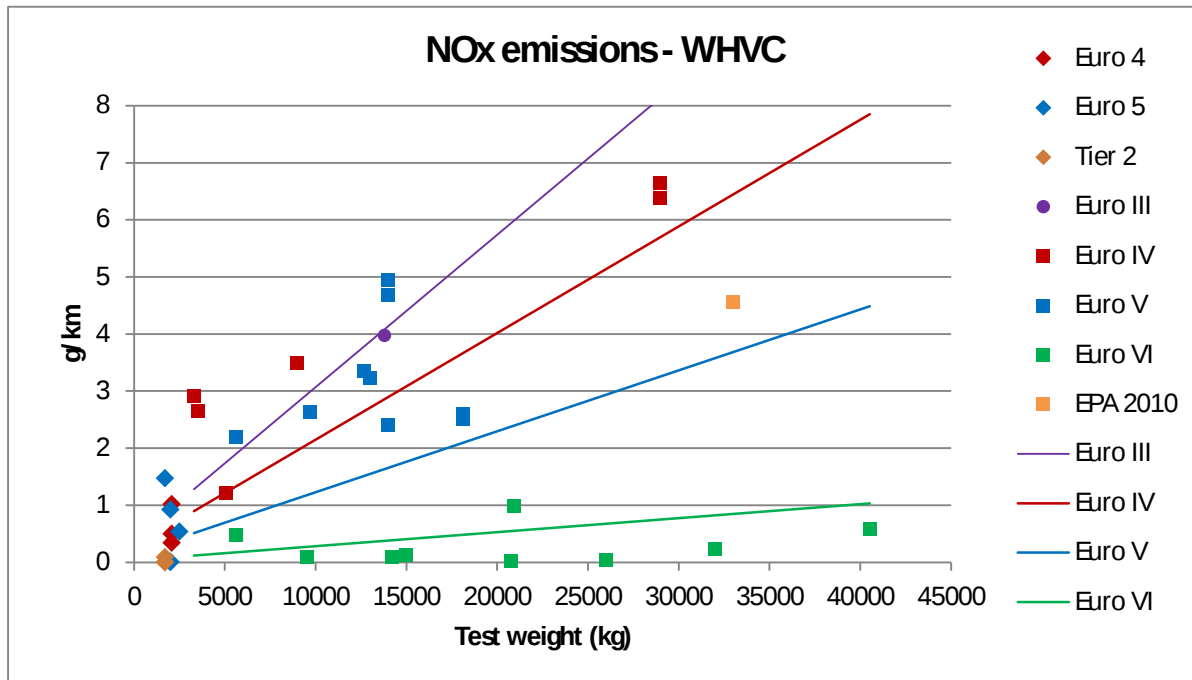
Kuva 7-2: Energian ominaiskulutus polttoaineittain.



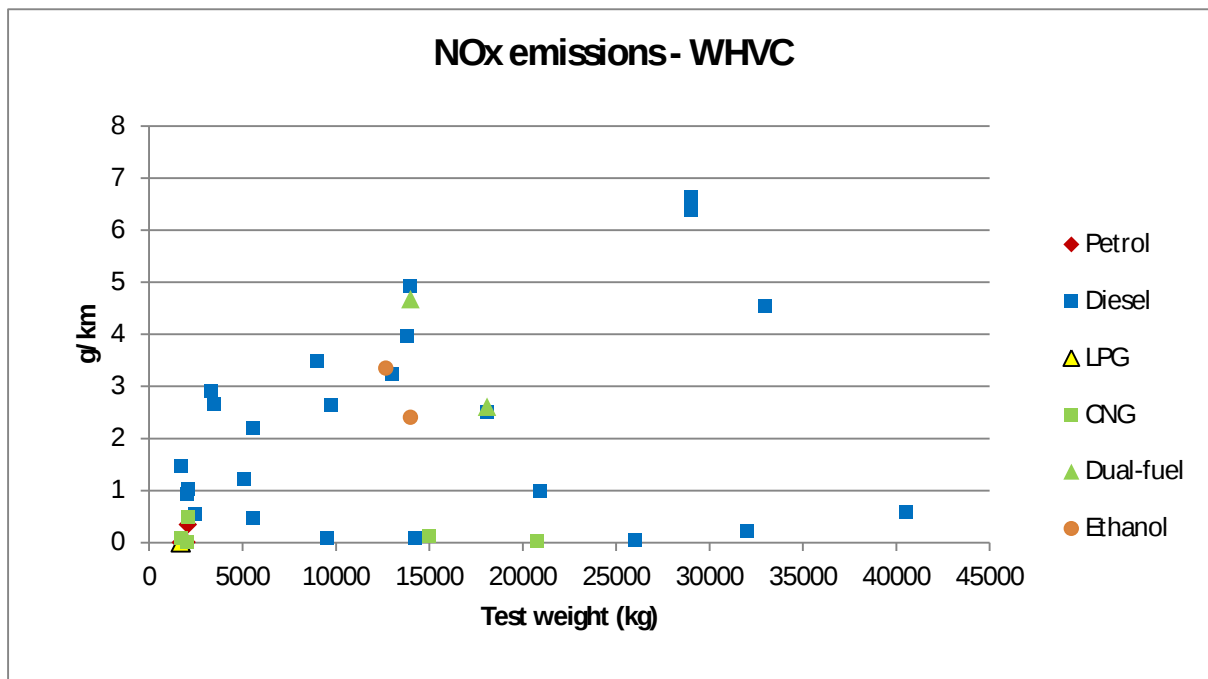
Kuva 7-3: Energian ominaiskulutus päästöluokittain (ajoneuvoluokat 2 & 3).



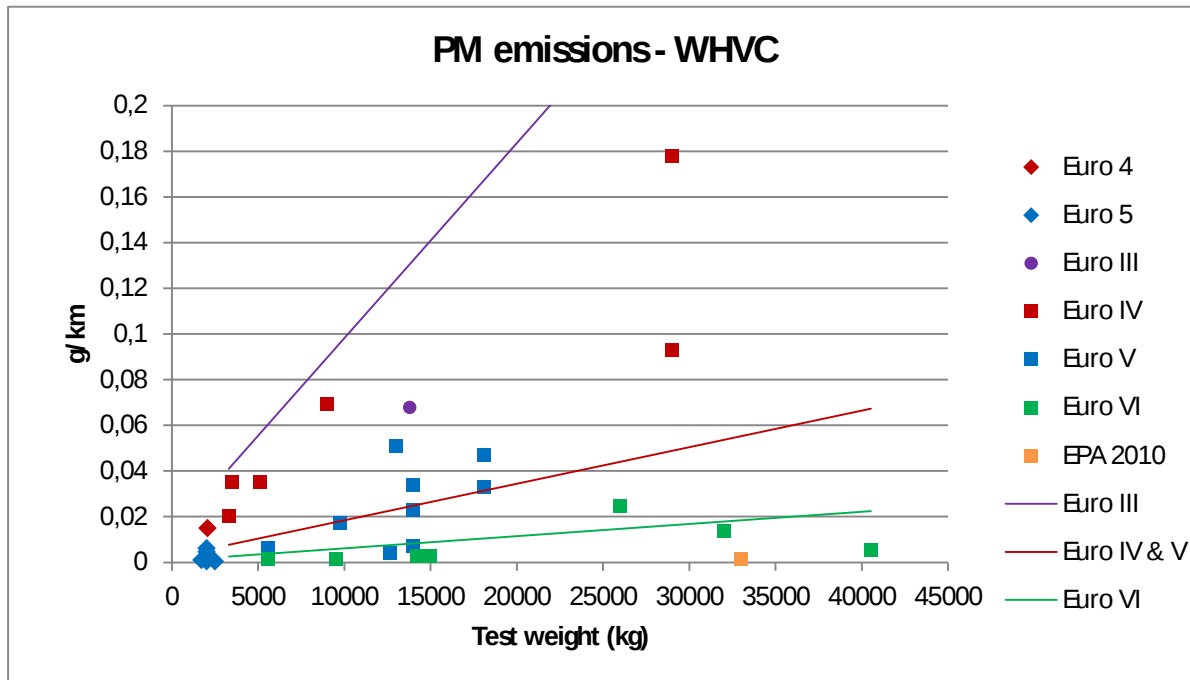
Kuva 7-4: CO_{2eqv}-päästö polttoaineittain.



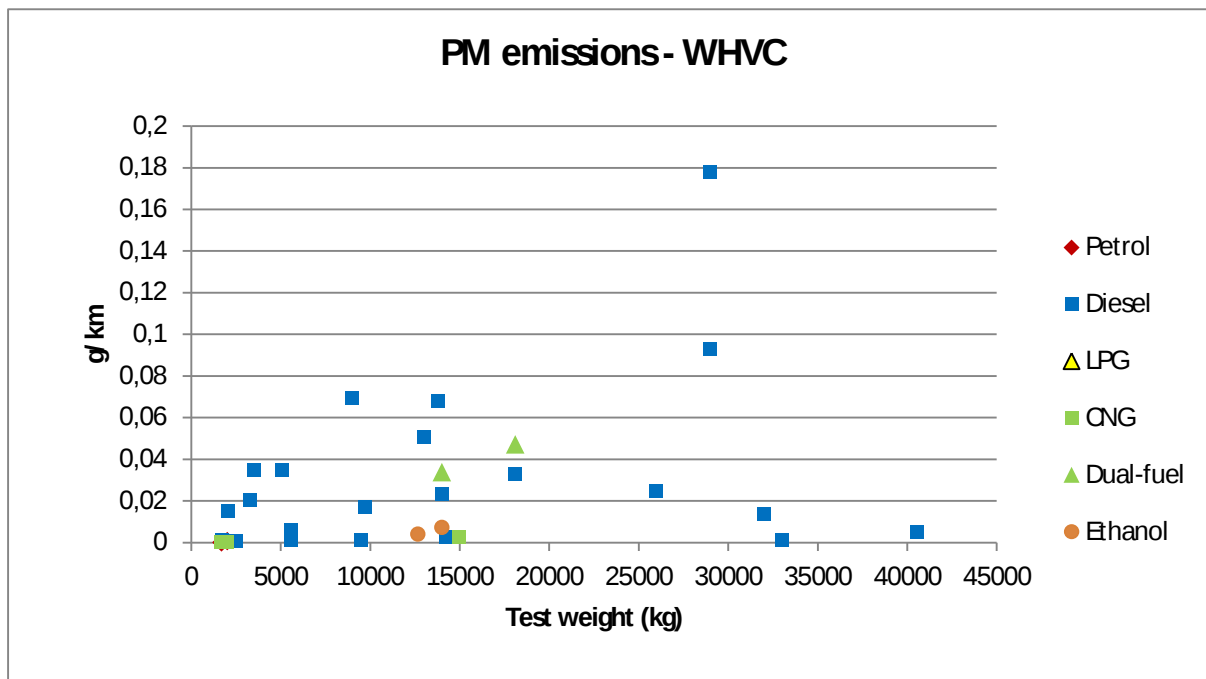
Kuva 7-5: NO_x-päästö päästöluokittain. Yhtenäiset viivat edustavat eri päästöluokkien raja-arvoista johdettuja arvoja.



Kuva 7-6: NO_x-päästö polttoaineittain.



Kuva 7-7: PM-päästö päästöluokittain. Yhtenäiset viivat edustavat eri päästöluokkien raja-arvoista johdettuja arvoja.



Kuva 7-8: PM-päästö polttoaineittain.

Massaan suhteutettuna isot autot ovat pieniä autoja energiatehokkaampia. Tärkein vaikuttava tekijä on ajoneuvon massa. Dieselmääräisten autojen kohdalla kilometriä kohti lasketun energian kulutuksen vaihtelukerroin oli 12, keveimmästä raskaimpaan testattuun ajoneuvoon. Myös moottorin tyyppi (ottomoottori, diesel, sähkö) vaikuttaa energian kulutukseen. Ottomoottorien hyötysuhde on dieselmootoreita huonompi. Niinpä riippumatta ajoneuvon koosta, ottomoottorilla varustetut autot kuluttavat dieselajoneuvoja enemmän energiaa. Energiatehokkuudeltaan sähköautot ovat omaa luokkaansa. Uudet Euro VI -päästöluokkaa

edustavat autot ovat säänneltyjen päästöjen osalta erittäin vähäpäästöisiä, mutta tästä huolimatta ne ovat vähintään yhtä energiatehokkaita kuin vanhemmat autot (kuva 7-3).

Kuvasta 7-4 nähdään, että polttoaine vaikuttaa vain vähän pakoputkesta mitattuun CO₂-päästöön, poikkeuksena tietenkin sähköautot. Etanoliautojen ja kaasuautojen CO₂-päästö on lähes samaa tasoa kuin dieselautojen päästö keskimäärin. Kaasuautojen hyötysuhde on huonompi dieselautoihin verrattuna, mutta polttoaineen kemia (kaasulla dieseliä edullisempi vety/hiilisuhde) kompensoi huonomman hyötysuhteen.

NO_x- ja PM- päästöissä erot ovat todella merkittäviä. NO_x-päästöjen osalta vaihteluväli on 0,001...0,9 g/km auton1000 kg:n massaa kohti, PM-päästöjen osalta 0,001...0,13 g/km auton1000 kg:n massaa kohti.

Seitsemän Euro VI -tasoista autoa yhdeksästä tuotti NO_x-päästöjä alle oletetun Euro VI referenssitason. Referenssitaso laskettiin moottorikokeen raja-arvon, alustadynamometrin eri ajoneuvopainoilla vastaanottaman työmäärän ja oletetun voimansiirron hyötysuhteen perusteella. kahden muun Euro VI auton osalta NO_x-päästö taso oli 2...2,5 -kertainen referenssitason verrattuna. Korkein arvo, joka moottorin kampiakselilla vastaisi n. 1,2 g/kWh, mitattiin hybridiautolle. NO_x-päästöjen osalta on tärkeä huomioida, että mittaukset on tehty täysin lämmenneillä autoilla (autojen SCR-järjestelmät toimivat mahdollisimman hyvin).

Kuva 8-5 osoittaa, että kaikkien Euro IV ja V autojen NO_x-päästöt olivat referenssitasoa korkeammat. Jotkut Euro IV ja V autot tuottivat jopa verrokkina ollutta Euro III -tasoista autoa korkeampia NO_x-päästöjä. Tämän auton NO_x-päästö oli aidosti Euro III -tasoa. Mittausmatriisiin sisältyi yksi pohjoisamerikkalainen US 2010 sertifioitu auto, ja tämän auton NO_x-päästö vastasi lähinnä eurooppalaista Euro V -tasoa.

Kuvasta 7-5 voidaan vetää se johtopäätös, että siirtyminen Euro III -tasosta Euro IV- tai Euro V -tasolle ei välttämättä laske todellisia NO_x-päästöjä. Vasta Euro VI -tasoiset autot alentavat NO_x-päästöjä merkittävästi.

Kuvassa 7-6 on NO_x-päästö polttoaineittain. Tästä kuvasta voidaan vetää seuraavat johtopäätökset:

- hajonta dieselautojen ryhmässä on erittäin suuri
- kipinäsytytteisten kaasumoottoreiden NO_x-päästö on alhainen (tässä tapauksessa stoikiometrisiä kolmitoimikatalysaattorilla varustettuja Euro VI -tasoisia kaasumoottoreita)
- dual-fuel kaasuautojen ja etanoliautojen NO_x-päästö likimain keskimääräistä diesel-luokkaa (tässä tapauksessa Euro V tasoa)
- päästöluokka määrää NO_x-päästöt, ei niinkään polttoaine

Hiukkaspäästöjen osalta tilanne on hieman lohdullisempi kuin NO_x-päästöjen osalta. Kaikkien auton PM-päästöt olivat alle Euro III -tason. Euro IV -luokan dieselauto sijoittuivat Euro III- ja Euro IV/V -referenssitason välimaastoon. Euro V dieselautojen hiukkaspäästöt olivat keskimäärin lähellä Euro V -referenssitasoa. Euro VI -autojen kohdalla kuusi autoa seitsemästä oli alle Euro VI -referenssitason. Tanskainen DTI ei mitannut hiukkasmassaa, ainoastaan hiukkaslukumääriä, ja tästä syystä hiukkastuloksia on vain seitsemästä autosta. US 2010 -tasaisen auton PM-päästöt olivat erittäin alhaiset.

Toisin kuin NO_x-päästöjen kohdalla, polttoaine vaikuttaa hiukkaspäästöihin. Kaasumoottoreiden hiukkaspäästö on luontaisesti matala. COMVEC:issä mitattiin kaksi Euro V -tasoista etanolikuorma-autoa, ja siitä huolimatta, ettei näissä ollut hiukkassuodattimia, hiukkaspäästöt olivat Euro VI -tasoa.

Jotkut tutkimuspartnerit mittasivat myös dieselpolttoainetta suoraan korvaavien polttoaineiden (biodiesel, uusiutuva diesel) vaikutuksia päästöihin. Vaikutukset näkyvät lähinnä vanhemmissa moottoreissa. Happea sisältävät polttoaineet (FAME biodiesel) alentavat hiukkaspäästöjä jopa 50 %, mutta saattavat lisätä NO_x-päästöjä. Parafiininen uusiutuva diesel saattaa vähentää samanaikaisesti niin NO_x- kuin PM-päästöjä.

Siirryttäessä Euro I -tasosta Euro VI -tasoon, säännellyt päästöt vähenevät suuruusluokkaisesti 95 %. Niinpä on selvää, että polttoaineiden väliset erot Euro VI -tasoissa autoissa jäävät pakokaasujen osalta merkityksettömiksi. Jotta Euro VI -tasoisten autojen monimutkaiset pakokaasujen puhdistusjärjestelmät pysyisivät toimintakuntoisina pitkään, näissä autoissa on kuitenkin käytettävä korkealaatuisia polttoaineita.

COMVEC-hankkeen ”key messages” tiivistettiin seuraavasti:

- Siirtyminen Euro III -tasoisista autoista Euro IV- tai Euro V -tasoihin ei välttämättä tuo mukanaan todellisia päästöhyötyjä, vasta Euro VI (tai US 2010) tuo mukanaan merkittäviä päästövähennyksiä
 - tämä tulisi ottaa huomioon kehittyvillä markkinoilla uusista päästövaatimuksista päätettäessä, meillä tämä tulisi ottaa huomioon esim. kuljetuspalveluiden hankinnassa
 - Euro VI dieselautot tosin vaativat kunnossa pysyäksään korkealaatuisia rikitömiä polttoaineita (saattaa olla haasteellista kehittyvillä markkinoilla)
- Päästöjen vähentämisteknologia/päästöluokitus määrää ensisijaisesti säänneltyjen päästöjen tason, ei niinkään polttoaine
- Vaste dieselpolttoainetta suoraan korvaaviin polttoaineisiin (biodiesel, uusiutuva diesel) vaihtelee ajoneuvosta toiseen, ja myös ajoneuvoluokasta (kevyet hyötyajoneuvot vs. kuorma-autot) toiseen
 - Euro VI tasolla polttoaineen suora vaikutus päästöihin on hyvin rajallinen, koska absoluuttinen päästötaso on hyvin alhainen kiitos kehittyneiden päästöhallintajärjestelmien
 - Vanhemmissa ajoneuvoissa esim. parafiininen polttoaine tavanomaisen dieselpolttoaineen sijaan voi alentaa säänneltyjä päästöjä aina 30 %:iin asti, komponentista riippuen
- Polttoaineen tai energian kantajan hiili-intensiteetti määrittelee elinkaaren (well-to-wheel) CO₂, ei niinkään ajoneuvoteknologia
- Vaihtoehtoisten polttoaineiden CO₂ tarkastelut tulisi tehdä well-to-wheel -periaatteella, ei pelkästään pakoputken päästä mitattuja CO₂-päästöjä arvioiden
- Sähköistys yhdistettynä vähähiiliseen sähköön on hyvä vaihtoehto niin paikallisten päästöjen kuin well-to-wheel CO₂ päästöjen kannalta
 - tässä on kuitenkin huomioitava, että sähköistys ei sovellu kaikkiin hyötyajoneuvoihin
- Vastaavasti Euro VI (tai US 2010) -tasoinen ajoneuvo yhdistettynä kestävästi tuotettuun uusiutuvaan polttoaineeseen on hyvä vaihtoehto niin paikallisen ilman laadun kuin ilmaston kannalta
- Tietyt hiljattain ilmestyneet raportit indikoivat, että biopolttoaineet ovat kustannustehokas vaihtoehto tieliikenteen CO₂-päästöjen vähentämiseksi (sähkö- ja polttokenno-autoihin verrattuna)
 - fossiilinen maakaasu sen sijaan ei ole kustannustehokas keino raskaiden ajoneuvojen CO₂-päästöjen vähentämiseksi

Englanninkielinen COMVEC-loppuraportti kokonaisuudessaan (kuva 7-9) on ladattavissa IEA AMF -verkkosivulta ositteesta:

http://www.iea-amf.org/app/webroot/files/file/Annex%20Reports/AMF_Annex_49.pdf

Annex 49



A Report from the IEA Alternative Motor Fuels Technology Collaboration Programme

Fuel and Technology Alternatives for Commercial Vehicles

Edited by
Nils-Olof Nylund
VTT Technical Research Centre Finland Ltd



October 2016

Kuva 7-9: COMVEC-hankkeen (IEA AMF Annex 49) loppuraportin kansi.

8. Tuloksia VTT:n erillishankkeista

BioPilot-kokonaisuuteen läheisesti liittyvinä on VTT:llä toteutettu erillisellä rahoituksella kaksi tutkimushanketta, jotka olivat:

- Alkoholi dieselpolttoaineena
- Dual-Fuel -kuorma-autojen polttoaineen optimointi

8.1 Alkoholi dieselpolttoaineena

8.1.1 Yleistä

IEA AMF-sopimuksen puitteissa toteutettiin vuosina 2013 - 2015 hanke ” Alcohol Applications in Compression Ignition Engines” (Annex 46). Vastuutahona oli Technical University of Denmark (DTU), ja partnereita olivat DTU:n lisäksi Danish Technological Institute (DTI) ja VTT. Scania antoi hankkeelle teknistä tukea. VTT:n osuutta rahoitti VTT:n itsensä lisäksi NEOT.

Hankkeen perusteluiksi ja tavoitteiksi kirjattiin:

”Päämääränä on raportoida parhaimmat tavat alkoholien käyttämiseksi dieselmootoreissa. Tällä tavoitteellaan dieselmootorien polttoainehuollon varmistamista, ja samalla kestävästi tuotettujen biopolttoaineiden käytön edistämistä.”

Etanoli tai yleisemmin kevyet alkoholit sellaisenaan eivät sovellu tavanomaisen dieselmootorin polttoaineeksi, polttoaineen syttyminen on taattava joko polttoaineen lisäaineistuksella tai moottoria modifioimalla, tai näiden toimenpiteiden yhdistelmällä (ks. myös luku 5).

DTU teki kokeita kaksisylinterisellä koemoottorilla, jonka toista sylinteriä käytettiin alkoholi-polttoaineilla. VTT teki kokeita sarjatuotantomoottorilla.

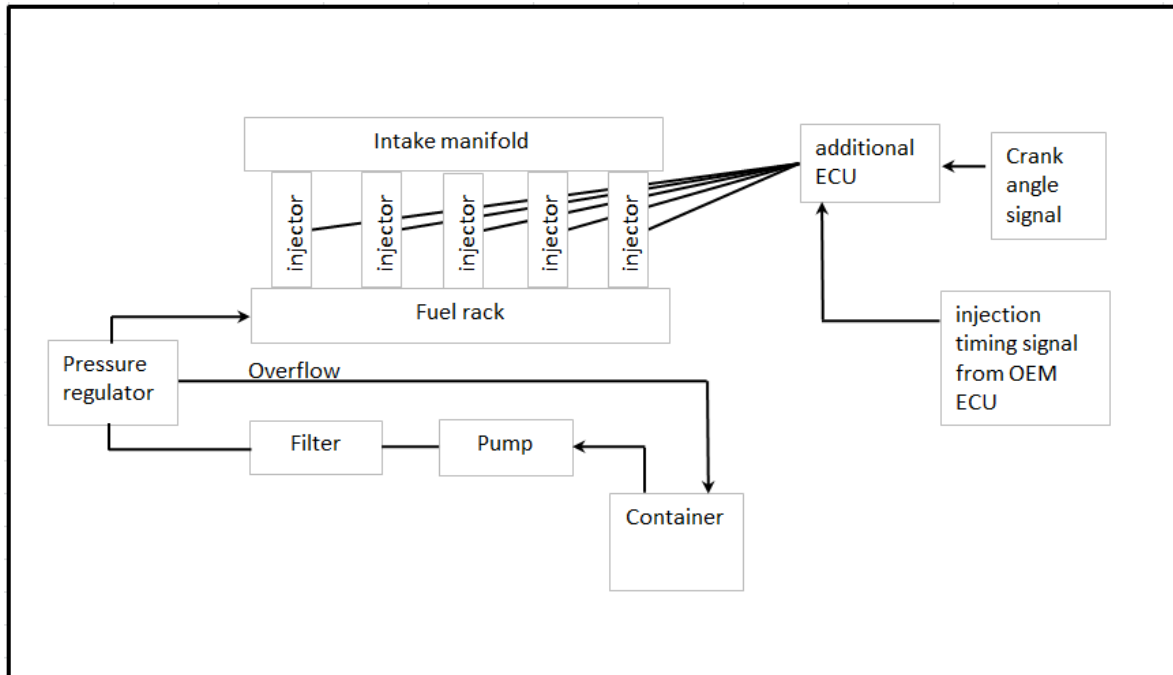
8.1.2 VTT:n koeohjelma

VTT teki kokeita moottoridynamometriin asennetulla Euro V/EEV -tasoisella Scania DC9 E02 270 -moottorilla. Yksi moottorin sylintereistä varustettiin sylinteripaineen mittauslaitteistolla. Lisäksi moottorin imusarjaan asennettiin ylimääräiset polttoaineen ruiskutuslaitteet epäsuoran esiruiskutuksen mahdollistamiseksi (kuva 8-1). Normaalisti moottoriin kuuluu hapetuskatalysaattori, mutta nyt kokeet ajettiin ilman katalysaattoria, jotta polttoaineiden väliset erot päästöissä saatiin mahdollisin hyvin esiin. Mittaukset tehtiin 13-portaisella ESC-testisyklillä.

VTT:llä testaus kattoi seuraavat vaihtoehdot:

- kolme erilaista dieseletanolin (ED95) lisäainepakettia, kaikilla Scanian hyväksyntä
- kolme eri etanolin vesipitoisuutta (noin 0, 5 ja 10 paino-%, joista 5 % normaali ED95 polttoaineen vesipitoisuus)
- kaksi metanolia sisältävää polttoainetta, toinen etanolin ja metanolin seos, toinen pelkkää lisäaineistettua metanolia
- ylimääräinen polttoaineen ruiskutus imusarjaan esireaktioiden käynnistämiseksi ja varsinaisen polttoaineannoksen syttymisen helpottamiseksi

Testipolttoaineiden koostumus on esitetty taulukossa 8-1. Imusarjaruiskutusta kokeiltiin kahdessa kuormapisteessä: 1800 rpm 10 %:n ja 25 %:n kuormalla. Polttoaineena oli ”Fuel 1”, eli normaali kaupallinen ED95. Esiruiskutuskokeissa lisäaineistuksen määrää varioitiin: 100, 50 ja 25 % normaalista annostuksesta.



Kuva 8-1: Koemoottorin ylimääräisen polttoainejärjestelmät (esiruiskutus imusarjaan) periaatekuva.

Taulukko 8-1: Koepolttoaineiden koostumus.

	Density	Ethanol	H2O	Methanol	Carbon	Hydrogen	LHV
	kg/m ³	mass-%	mass-%	mass-%	mass-%	mass-%	MJ/kg
Fuel 1	819	88,9	5,7	0,1	48,8	13,1	24,9
Fuel 2	814	90,5	5,5	0,5	47,8	13,3	24,7
Fuel 3	819	88,7	5,8	0,5	47,2	12,6	25,0
Fuel 4	804	92,3	0,4	0,1	49,6	12,5	26,8
Fuel 5	832	84,0	10,1	0,1	45,1	12,4	23,9
Fuel 6	820	57,0	5,1	28,7	43,2	12,3	23,2
Fuel 7	808	3,2	0,3	87,9	37,7	12,1	20,4

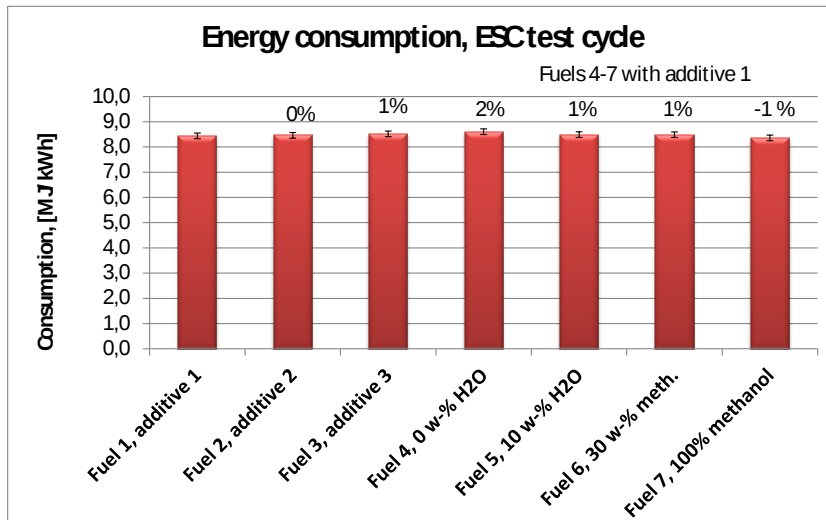
Kokeissa mitattiin mm. seuraavat suuret:

- energian kulutus
- CO₂-päästö
- säänneltyt päästöt (CO, HC, NO_x, PM)
- ei-säänneltyt päästöt (palamaton alkoholi, aldehydit)
- syttymisjättämä ja lämmön vapautuminen

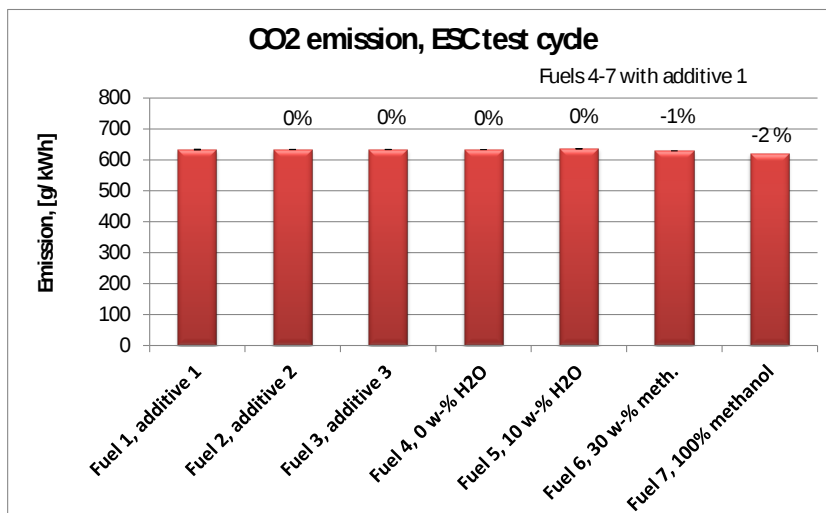
8.1.3 Tulokset

Tulokset on esitetty seuraavasti:

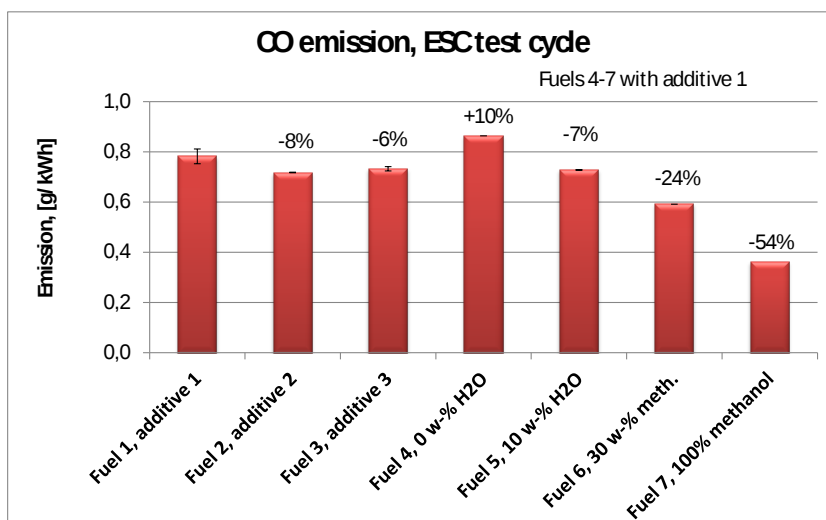
- energian kulutus, kuva 8-2 (ESC)
- CO₂-päästö, kuva 8-3 (ESC)
- säänneltyt päästöt, CO, HC, NO_x ja PM, kuvat 8-4, 8-5, 8-6 ja 8-7 (ESC)
- sylinteripainemittausten tuloksia, kuva 8-8
- esiruiskutuksen vaikutus palamistapahtumaan, kuvat 8-9 ja 8-10



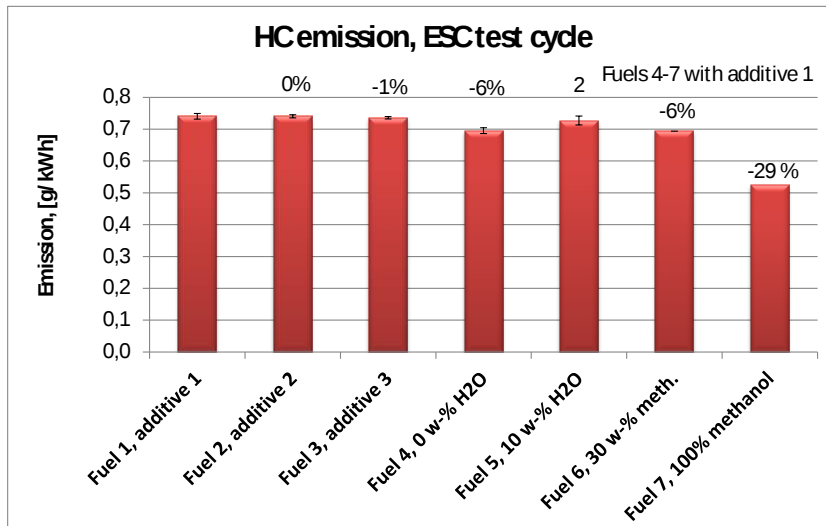
Kuva 8-2: Energian kulutus ESC-syklissä.



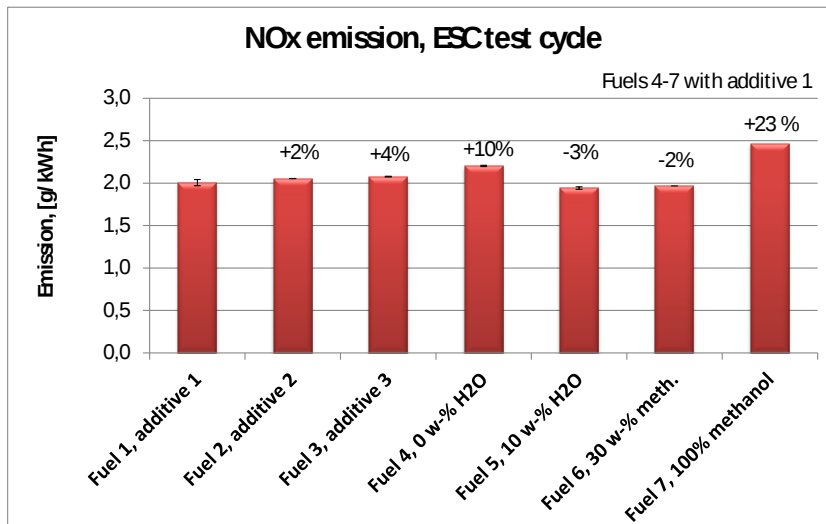
Kuva 8-3: CO₂-päästö ESC-syklissä.



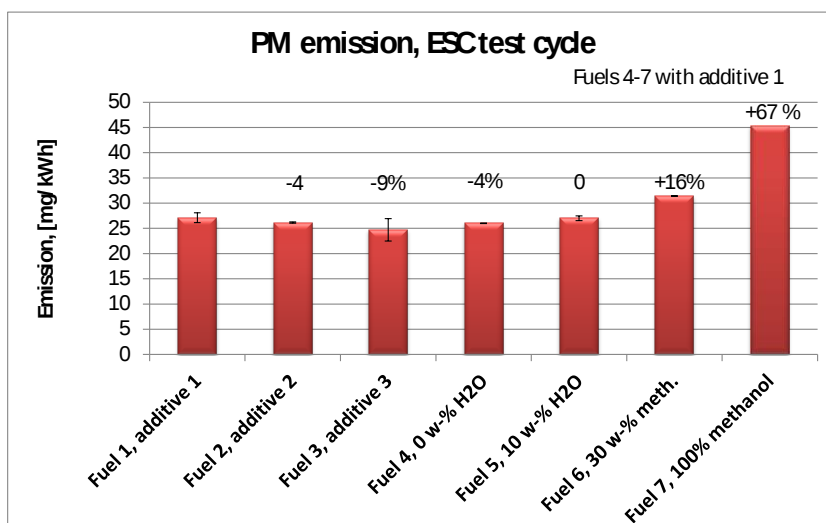
Kuva 8-4: CO-päästö ESC-syklissä.



Kuva 8-5: HC-päästä HC-syklissä.



Kuva 8-6: NO_x-päästö ESC-syklissä.



Kuva 8-7: PM-päästö ESC-syklissä.

Energian kulutuksen (kuva 8-2) ja CO₂-päästöjen (kuva 8-3) suhteen polttoaineiden väliset erot ovat käytännössä olemattomat, jopa metanolipolttoaineen osalta. Hyötysuhteena energian kulutus 8,5 MJ/kWh vastaa lukemaa 42,5 % (tämä ESC syklin yli).

Kaasumaiset päästöt käyttäytyvät oletetusti: erot polttoaineiden 1, 2 ja 3 välillä ovat hyvin pieniä. Metanoli näyttäisi alentavan CO- ja HC -päästöjä, ja taas pelkällä metanolilla NO_x-päästä kasvaa. Myös vesipitoisuuden muutokset vaikuttavat odotetulla tavalla. Standardipolttoaineeseen (1) verrattuna kuiva etanoli lisää niin CO- kuin NO_x-päästöjä, kun taas veden lisääminen alentaa näitä päästöjä marginaalisesti. Moottori on sertifioitu NO_x-arvolle 2 g/kWh, ja tämän arvon moottori myös saavuttaa standardipolttoaineella.

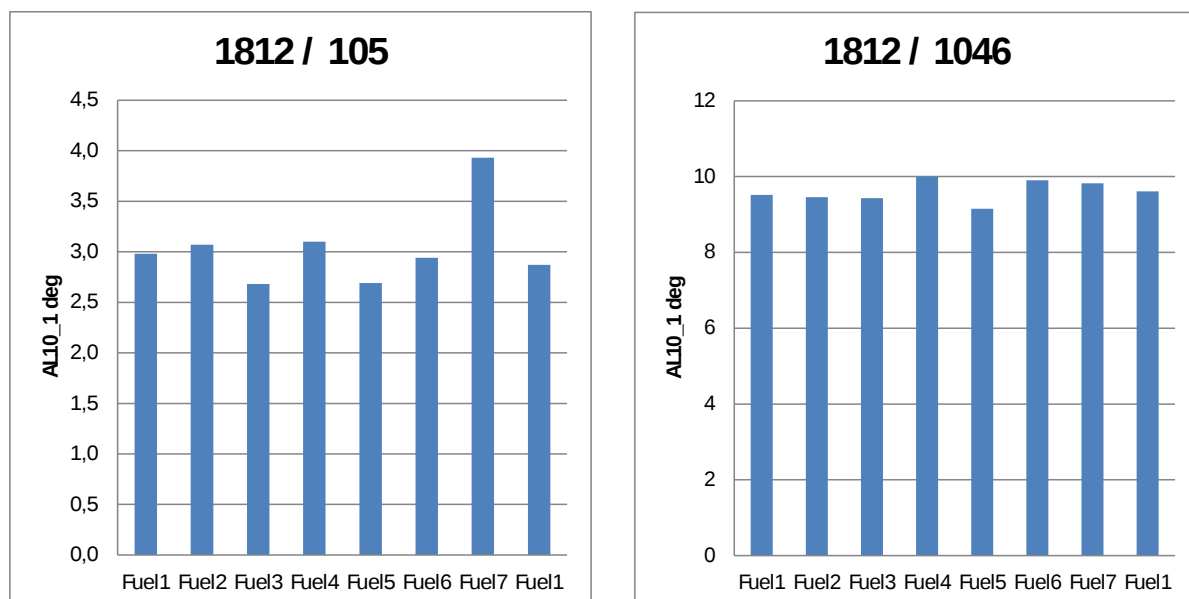
HC- ja etanolipäästöt käyttäytyvät samalla tavalla polttoaineilla 1 - 5, vesipitoisuuden laskeminen vähentää ja vesipitoisuuden lisääminen lisää päästöjä. Polttoaineilla 1 - 5 etanolipäästö on noin 0,8 g/kWh, samalla tasolla kuin metanolipäästö polttoaineella 7.

Hiukkasten osalta tulokset ovat mielenkiintoisia. Erot polttoaineiden 1 - 5 välillä ovat pieniä, mutta metanoli näyttäisi lisäävän hiukkaspäästöjä. Metanoli ei sisällä hiili-hiili -sidoksia, ja hiilipartikkeleiden muodostuminen on näin ollen epätodennäköistä. Näytteenoton hiukkas-suodattimet, jotka ovat valkoisia, tukevat tätä näkemystä. Kyse lienee siis semi-haihtuvista yhdisteistä. Metanolin lämpöarvo on etanolin lämpöarvoa alempi, ja tästä syystä metanolilla ruiskutuksen kesto kasvaa, joka voi selittää ilmiötä.

Aldehydipitoisuudet olivat alhaiset, keskimäärin alle 10 ppm, siitäkin huolimatta, että moottoria ajettiin ilman hapetuskatalyysaattoria.

Normaali lisäaineistuksen annostus takaa moottorin vakaan toiminnan kaikissa olosuhteissa. Moottorissa käytetty sylinteripaineen indikointijärjestelmä mittaa sylinteripainekäyrän, ja laskee lisäksi lämmön vapautumisen. Yksikkösuuttimilla varustetussa moottorissa ruiskutuksen alkuhetkeä ohjataan sähköisesti, eikä tässä tapauksessa muutu polttoaineen ominaisuuksien myötä. Syttymisherkkyuden indikaattorina käytettiin 10 %:n lämmön vapautumista, ts. millä kampiakselin kulmalla tämä saavutetaan (astetta yläkuolokohdan jälkeen). Huonon syttyvyyden omaavalla polttoaineella kulma kasvaa.

Kuvassa 8-8 on 10 %:n lämmönvapautumisen kulma kahdessa kuormapisteessä, 1800 rpm 10 %:n (vasemmalla) ja 100 %:n (oikealla) kuormalla.

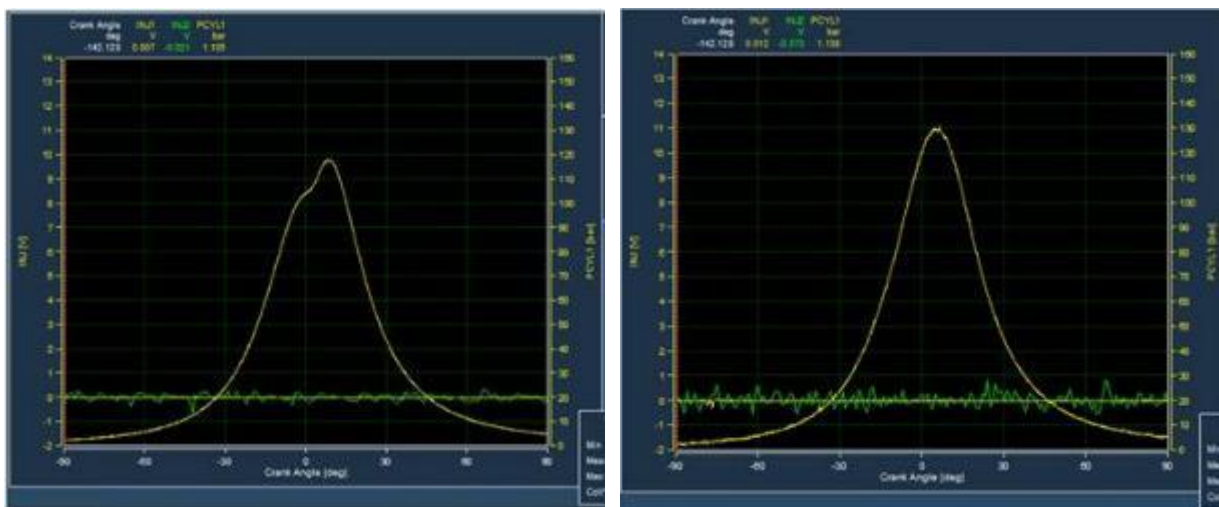


Kuva 8-8: 10 %:n lämmönvapautumisen kammenkulma (jälkeen yläkuolokohdan) kahdessa kuormapisteessä (1800 rpm, 10 ja 100 %:n kuormalla).

10 %:n kuormalla polttoaineilla 1 - 6 erot ovat pieniä, ainoastaan pelkkä metanoli (7) erottuu hitaammasta palamisesta, ja tämäkin polttoaine poikkeaa varsin vähän muista. Täydellä kuormalla polttoaineiden väliset erot tasoittuvat käytännössä kokonaan. Polttoaine 1 ajettiin sekä mittasarjan alussa että lopussa. Kuva 5.8 osoittaa, että toistettavuus on varsin hyvä.

Tuloksista voidaan vetää se johtopäätös, että syttyvyydenparantajalisäaineen annostus on enemmän kuin riittävä, ainakin moottorin ollessa lämmin. 50 %:n annostuksella moottori toimi vielä normaalisti kaikissa kuormapisteissä, ja vasta laskettaessa annostus 25 %:iin moottorin toiminta muuttui epävakaksi.

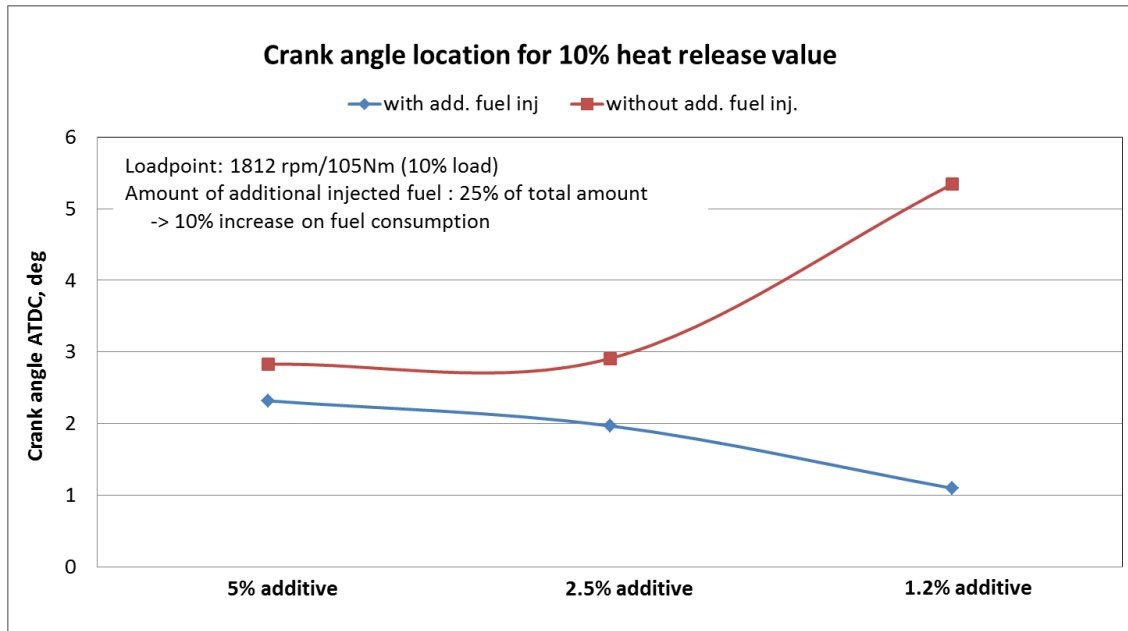
Kuvassa 8-9 on sylinteripaine kuvaajia käytettäessä 25 %:n annostusta. Toimintapiste on 1800 rpm ja 25 %:n kuorma. Vasemmalla on käyrä ilman imusarjaruiskutusta ja oikealla käyrä imusarjaruiskutuksen kanssa. Vasemmassa käyrässä on selvä hitaasta syttymisestä johtuva epäjatkuvuuskohta. Oikeanpuoleinen käyrä taas on tasainen, vastaten käyrää täydellä lisäaineistuksella.



Kuva 8-9: Sylinteripainekäyrät ilman imusarjaruiskutusta (vasemmalla) ja imusarjaruiskutuksen kanssa (oikealla). Toimintapiste 1800 rpm ja 25 %:n kuorma.

Kuvassa 8-10 on 10 %:n lämmönvapautumisen kammien asento lisäaineistustamäärän funktiona ilman imusarjaruiskutusta ja imusarjaruiskutuksen kanssa. Toimintapiste on 1800 rpm ja 10 %:n kuorma. Perustapaus (5 % lisäainetta) vastaa kuvan 8-8 vasenta puolta, eli 10 % lämmöstä on vapautunut 3 ° jälkeen yläkuolokohdan.

Vähennettäessä lisäainemäärä 25 %:iin, 10 %:n lämmön vapautuminen myöhästyy 5 - 6° kohdalle ilman imusarjaruiskutusta. Imusarjaruiskutusta käytettäessä 10 %:n lämmön vapautuminen sijoittuu kohtaan 1 - 2 ° jälkeen yläkuolokohdan. Imusarjaan syötetyn polttoaineen osuus on noin 25 % kokonaismäärästä. Järjestelmä ei ollut missään nimessä optimoitu, koska imusarjaruiskutus lisäsi polttoaineen kulutusta pienillä kuormilla. Koejärjestely kuitenkin osoitti, että imusarjaruiskutus/esiruiskutus voisi pienentää tarvittavaa lisäainemäärää tuntuvasti. Common-rail -ruiskutusjärjestelmällä varustetuissa moottoreissa esiruiskutus voitaisiin järjestää ilman lisälaitteita.



Kuva 8-10: 10 %:n lämmönvapautumisen kammenkulma (jälkeen yläkuolokohdan) lisääneannostuksen funktiona ilman imusarjaruiskutusta ja imusarjaruiskutuksen kanssa. Toimintapiste 1800 rpm ja 10 %:n kuorma.

8.1.4 Yhteenveto

Scanian etanolimoottori pitää minkä lupaa: hyötysuhde on normaalia dieselluokkaa (42,5 % ESC-kokeessa) ja NO_x -päästö 2 g/kWh (Euro V/EEV -raja-arvo) normaalia ED95 polttoainetta käytettäessä.

Testit osoittivat lisäksi, että moottorissa on myös tietynlaisia monipolttoaineominaisuuksia. Vakiosäädöissä ollut moottori toimi varsin hyvin jopa lisäaineistetulla 100 %:n metanolilla. Moottori ei tosin saavuttanut täyttä tehoa metanolilla, ja ruiskutustapahtuma pitkittyi etanolikäyttöön verrattuna. Metanoli näyttäisi lisäävän hiukkaspäästöjä. Kyse lienee semi-haihtuvista yhdisteistä, ei hiilihiukkasista, koska metanolissa ei ole hiili-hiili -sidoksia.

Polttoaine, jossa oli 70 % etanolia ja 30 % metanolia laski CO -, HC - ja NO_x -päästöjä peruslaatuiseen ED95-polttoaineeseen verrattuna. Tässä on kuitenkin huomioitava, ettei Scania hyväksy metanolipolttoaineiden käyttöä.

Moottorissa testattiin kolmea erilaista etanolille tarkoitettua lisäainepakettia. Erot eri lisäainepakettien välillä moottorin toiminnassa ovat merkityksettömät. Myöskään sylinteripaine-analyseissa ei havaittu eroja. Testit osoittivat, että normaali lisäaineistuksen määrä on enemmän kuin riittävä, lämpimänä moottori toimi normaalisti 50 %:n lisäainemäärällä. Lisäaineistuksen vähentäminen saattaisi kuitenkin vaarantaa moottorin kylmäkäynnistyvyyden.

Etanolipolttoaineen vesipitoisuus vaikutti oletetulla tavalla. Kuivalla etanolilla CO - ja NO_x -päästöt kasvavat, kun taas vesipitoisuuden lisääminen (5 → 10 %) vähentää näitä päästöjä hieman. Uusimmissa Euro VI -tasoisissa Scanian etanolimoottoreissa on SCR-järjestelmä, joten veden merkitys NO_x -päästöjen hallinnassa pienenee.

Syttävyydenparantajalisäaineen määrää voidaan vähentää esiruiskutuksella. Esiruiskutus johtaa syttymistä helpottaviin esireaktioihin. Kokeissa sovellettiin epäsuoraa imusarjaruiskutusta, jolla saatiin aikaiseksi normaali palaminen (syttymisviive ja lämmön vapautumisen nopeus) vain 25 %:n lisäaineannostuksella. Imusarjaruiskutus tosin lisäsi polttoaineen kulutusta, koska järjestelmää ei pystytty optimoimaan hankkeen resurssien puitteissa. Esiruiskutuksen syttymistä helpottavia ominaisuuksia voitaisiin periaatteessa hyödyntää myös niin, että moottorin puristussuhde (nyt 28:1) pidettäisiin normaalilla tasolla modifikaatioiden välttämiseksi ja mekaanisten häviöiden pienentämiseksi.

Annex 46 -hanke avasi yhteistyön Scanian suuntaan. Scanian ja 10 muun partnerin kanssa jätettiin helmikuun 2017 alussa Horizon 2020 GV-01-2017 hakemus "RED ROAD" uuden sukupolven etanolidieselmootoreista - ja polttoaineista (Suomesta mukana NEOT ja VTT). Uusissa etanolimootoreissa tulee olemaan common-rail -ruiskutusjärjestelmä. RED ROAD EU-hankkeen ensisijainen tavoite on parantaa etanolidieselteknologian kustannuskilpailukykyä niin moottoreita kuin polttoaineita parantamalla. Scanialla on myös suunnitelmassa laajentaa etanoliteknologia uuteen suurempaan 13-litraiseen moottoriin (nykyinen etanolimootori on 9-litrainen).

VTT:n metanolipolttoainekokeilut ovat herättäneet laajaa mielenkiintoa. Käynnissä on yksi EU-rahoitteinen hanke, ja muita hankkeita on kehitteillä.

8.2 Dual-Fuel -kuorma-autojen polttoaineen optimointi

Osahankkeen tavoitteena oli raskaiden dual-fuel -ajoneuvojen suorituskyvyn ja polttoaineen bio-osuuden maksimointi. Biometaanin energiatehokas hyödyntäminen raskaassa kalustossa on mahdollista diesel prosessilla toimivissa moottoreissa, joiden pääpolttoaine on kaasu. Mikäli sytytyspolttoaineena käytetään nestemäistä biopolttoainetta saavutetaan maksimaalinen hyöty kasvihuonekaasupäästöjen kannalta. Korkealaatuinen uusiutuva diesel voi tuoda myös energiankulutus- tai päästöhyötyjä mm. tavanomaista dieseliä parempien syttymisominaisuuksiensa vuoksi. Tavoitteena oli määrittää näiden hyötyjen mahdollinen olemassaolo ja edelleen mahdollisuus optimoida dual-fuel -konsepti korkealaatuisten uusiutuvan dieselpolttoaineen avulla.

8.2.1 Toteutus

Kokeet tehtiin kappaleessa 4.3.1 kuvatulla Staran käytössä olleella dual-fuel -kuorma-autolla. Muuttujana kokeissa sytytyspolttoaine, kaasu oli kaikissa kokeissa samaa maakaasun jake-luasemalta tankattua laatua. Sytytyspolttoaineena käytettiin neljää nestemäistä dieselpolttoainetta:

- 1) B0: Fossiilinen standardin EN590 vaatimukset täyttävä laatu, ei biokomponentteja.
- 2) B7: 7 % kasviöljyn metyyliesteriä (FAME) sisältävä laatu, joka täyttää EN590 vaatimukset.
- 3) WWFC5: World wide fuel charter luokan 5 vaatimukset täyttävä laatu, vaatimustaso ylittää EN590 tason.
- 4) 100 % HVO: Vetykäsitelty uusiutuvista raaka-aineista valmistettu korkealaatuinen dieselpolttoaine.

Taulukkoon 8-2 on koottu eräitä sytytyspolttoaineiden ominaisuuksia. Dieselpolttoaineen syttyvyyttä kuvaavassa setaaniluvussa on polttoaineiden välillä suuria eroja. Mitä korkeampi setaaniluku sitä helpommin / nopeammin sylinteriin ruiskutettu polttoaine syttyy. Käytännössä erot ovat helpoimmin havaittavissa käynnistyvyydessä kylmissä olosuhteissa, mutta hyvä sytytyspolttoaine voi myös nopeuttaa metaanin syttymistä. Lämpöarvo on yhteydessä polttoaineen kulutukseen. HVO:n painoyksikköä kohti laskettu hiukan muita korkeampi lämpöarvo kompensoi alhaista tiheyttä ja edelleen litramääräistä kulutusta. Tislauksen loppupisteellä ja aromaattipitoisuudella on vaikutusta haitallisiin pakokaasupäästöihin. B7-polttoaineessa on pieni määrä FAMEn mukanaan tuomaa happea, muut polttoaineet ovat hapettomia.

Kokeet tehtiin VTT:n raskaiden ajoneuvojen alustadynamometrillä edellä kappaleessa 6.3 kuvatuilla WHVC- ja Highway-sykleillä. Koematriisi on esitetty taulukossa 8-3. Kunkin syklin aikana mitattiin säännellyt pakokaasupäästöt, eli partikkelimassa (PM), typen oksidit (NOx), hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC) ja hiilivedyistä erikseen metaani.

Sekä dieselpolttoaineen että kaasun kulutus mitattiin punnitsemalla syklin aikana käytetyn polttoaineen määrä. Dynamometriltä mitattiin syklin aikana tehty työ, lisäksi seurattiin jatkuvasti pakokaasujen lämpötilaa SCR katalysaattorin jälkeen.

Taulukko 8-2: Sytytyspolttoaineiden ominaisuuksia

Ominaisuus polttoaine	B0	B7	WWFC5	HVO
tiheys, kg/m ³	833,5	837,4	820,9	780,1
setaaniluku	54,5	53,8	60,8	80,4
lämpöarvo, MJ/kg	43,2	42,7	43,4	44,0
tislauksen loppupiste, °C	358	356	343	301
aromaattipitoisuus, %	19,0	18,3	9,2	<0,2

Taulukko 8-3: Koeohjelman sytytyspolttoaine / ajosykli yhdistelmät.

Polttoaine mittaus	Highway ½ kuorma	WHVC ½ kuorma	WHVC täysi kuorma
B7 + CNG	X	X	
WWFC 5 + CNG	X	X	X
100% HVO + CNG	X	X	X
B0 + CNG	X	X	X
B0	X	X	

8.2.2 Tulokset

Tulosten luotettavuus kärsii suuresta hajonnasta osassa kokeita. Toistettavuutta onnistuttiin parantamaan rajatuissa uusintakokeissa pitämällä valmisteluvaiheen syklin sekä varsinaisten mittaussykliden väliset erot tarkasti yhtä pitkinä, jolloin pakokaasun, pakoputkiston ja katalysaattoreiden lämpötilaero eri kokeissa oli mahdollisimman pieni. Silti selkeitä johtopäätöksiä on vaikea tehdä. Varsinkin metaanipäästön osalta tuloksista puuttuu selkeä trendi eri sytytyspolttoaineiden suhteen.

Dieselin korvausaste ja energiankulutus

Dieselin korvausaste, ts. kaasun osuus syklin aikana käytetystä polttoaineesta energiaosuutena laskettuna oli noin 60 % Highway-syklissä ja noin 30 % WHVC-syklissä kaikilla sytytyspolttoaineilla. WHVC syklillä täyden kuorman kokeissa kaasun osuus lisääntyi puolen kuorman kokeisiin verrattuna, mutta myös hajonta ja polttoaineiden väliset erot lisääntyivät. Kaasun käytön alkaminen on tapahtunut epätasaisemmin kuin puolen kuorman kokeissa. Sytytyspolttoaineen ei havaittu vaikuttavan energiankulutukseen. Käyttökokeen dual-fuel –ajoneuvoilla energiankulutus nousi hieman siirryttäessä pelkän dieselin käytöstä dual-fuel -toimintoon.

NOx –päästö

NOx-päästöissä hajonta WHVC-syklillä sekä puolen kuorman että täyden kuorman kokeissa oli poikkeuksellisen suuri. Hajonta aiheutuu eroista pakokaasun lämpötiloissa, lämpötilat syklin alussa ovat typen oksideja pelkistävän SCR–katalysaattorin toiminnan kannalta kriittisiä. Highway-syklissä pakokaasujen lämpötila oli koko ajan SCR–katalysaattorin toiminnan kannalta optimialueella, mikä näkyy WHVC tuloksiin verrattuna matalampana päästötasona ja pienenä hajontana, SCR myös tasaa mahdollisia polttoaineiden välisiä eroja.

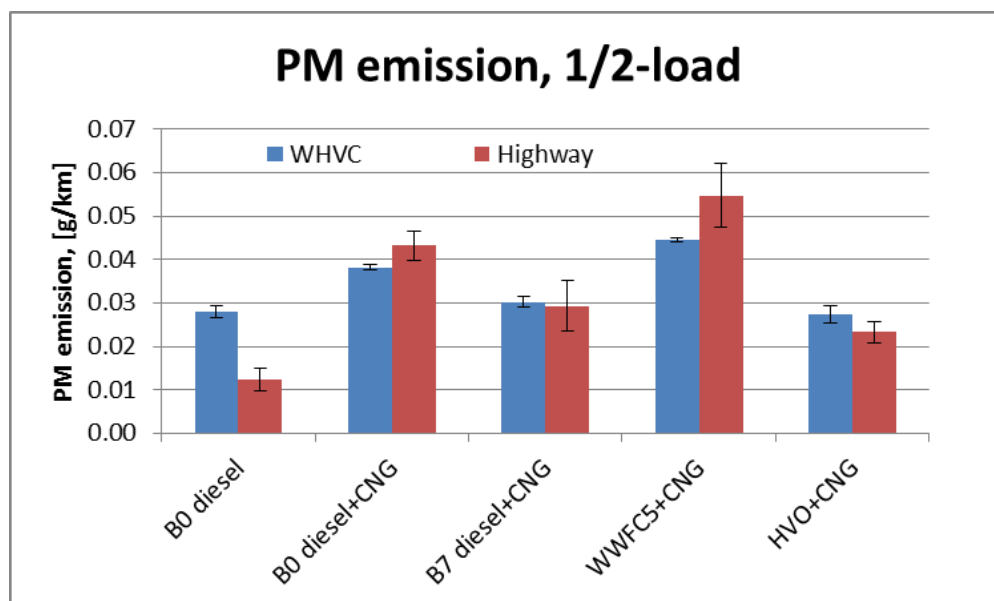
Puolella kuormalla sekä WHVC- että Highway-sykleillä tehdyssä koesarjassa, jossa toistojen väliset tauot pidettiin täsmälleen samoina, tulosten hajonta oli kohtuullisen hyvä. WHVC sykliä päästötaso oli luokkaa 2 g/km, HVO+CNG yhdistelmällä NOx-päästö laski runsaat 15 % B0+CNG yhdistelmään verrattuna. Muilla polttoaineyhdistelmillä tulokset olivat edellä mainittujen polttoaineiden välissä. Lähes saman suuruinen ero polttoaineiden välillä oli myös Highway-syklissä, päästötaso Highway-syklissä oli hieman pienempi kuin WHVC-syklissä johtuen SCR-katalysaattorin lyhyemmästä käynnistysviiveestä, katalysaattorin lämpötila kohosi nopeammin vaaditulle tasolle.

Hiukkaspäästö

Hiukkaspäästöjä tarkasteltaessa vertailu pelkällä dieselpolttoaineella tehtyjen kokeiden ja dual-fuel kokeiden välillä osoittaa, että pienimmät päästöt saavutetaan dieselpolttoaineella. Kaasu sinällään ei lisää hiukkaspäästöjä, valtaosa dual-fuel kokeiden hiukkasmassasta on peräisin dieselpolttoaineesta. Todennäköinen syy hiukkaspäästöjen kasvuun dual-fuel käytössä on dieselpolttoaineen ruiskutusstrategian muutoksessa. Dieselpolttoaineen ruiskutusmäärää vähennetään pää- ja jälkiruiskutuksen osalta. Jälkiruiskutus on tunnettu keino vähentää dieselmootorin hiukkaspäästöjä. Jos jälkiruiskutus jää kokonaan pois hiukkaspäästö voi kasvaa, vaikka suuri osa energiasta on peräisin kaasusta.

WHVC-syklissä, jossa kaasulla tuotettiin noin 30 % energiasta, hiukkaspäästö B7+CNG ja HVO+CNG polttoaineyhdistelmillä oli samalla tasolla kuin pelkällä fossiilisella B0-dieselpolttoaineella, B0+CNG ja WWFC5+CNG –yhdistelmät tuottivat kuitenkin enemmän hiukkasia. Highway-syklissä sytytyspolttoaineiden paremmuusjärjestys hiukkaspäästöjen suhteen oli sama kuin WHVC-syklissä, mutta erot suurenivat jonkin verran ja hajonta mittaustuloksissa samalla polttoaineella kasvoi (kuva 8-11). Pakokaasujen lämpötiloista selittävää tekijää sytytyspolttoaineiden välisille eroille ei löydy.

Yhteenvetona sytytyspolttoaineiden vaikutuksesta hiukkaspäästöihin voidaan sanoa, että HVO + CNG tuotti niukasti alhaisimmat hiukkaspäästöt sekä alhaisimman että korkeimman keskinopeuden sykleillä. Täyden kuorman kokeissa ero muihin polttoaineisiin oli selvä, mutta täydellä kuormalla erot kaasun korvausasteessa oli pääsyy eroihin hiukkaspäästöissä.



Kuva 8-11. Hiukkaspäästö (PM, g/km) WHVC- ja Highway -sykleillä.

Metaanipäästöt

Hajonta oli suuri myös metaanipäästöissä, varsinkin Highway-syklissä sekä WHVC-syklissä täydellä kuormalla. Pakokaasun ja/tai metaanikatalysaattorin lämpötila on todennäköisesti alueella, jossa katalyytin konversio muuttuu voimakkaasti, mikä näkyy heti päästöissä.

Täydellä kuormalla metaanipäästö oli puolta kuormaa suurempi johtuen kaasun syötön aikaisesta alkamisesta. Vaikka pakokaasujen lämpötila on korkeampi kuin puolen kuorman ko-keissa ja metaanikatalysaattorin toimintaedellytykset siten paremmat, keskimääräinen päästö kohosi puolen kuorman lukemista 0,4 – 0,6 g/km kaksinkertaiseksi täydellä kuormalla.

Metaanipäästöjen osalta millään polttoaineella ei saavutettu selvää etua. WWFC5-polttoaine antoi keskimäärin alhaisimman tuloksen lukuun ottamatta Highway-sykliä, mutta pienten erojen ja suuren hajonnan vuoksi ero ei ole merkittävä.

9. Tieliikenteen päästöjen vähentäminen vuoteen 2030

VTT ja Valtion taloudellinen tutkimuskeskus (VATT) toteuttivat yhteistyössä vuosina 2013 – 2015 BioPilot-hankkeen rinnalla selvityksen siitä, millä toimenpiteillä ja millä kustannuksilla Suomen tieliikenteessä voidaan saavuttaa 30 tai 40 %:n vähenemä tieliikenteen hiilidioksidipäästöissä (CO₂) vuoteen 2030 mennessä vertailuvuoden ollessa 2005. Selvityksen päärahoittaja oli työ- ja elinkeinoministeriö (TEM). Selvityksen loppuraportti julkaistiin VTT:n tutkimusraporttina (VTT-R-00752-15)¹⁶ kesäkuussa 2015.

Selvityksen tärkeimpinä tuloksina ja päätelminä listattiin:

- Perusskenaario, jossa toteutetaan vain nykyiset toimenpiteet, päättyy vuonna 2030 tilanteeseen, jossa liikenteen CO₂-päästöjen vähenemä on runsaat 20 % verrattuna vuoden 2005 tasoon. Tarvittavan lisävähenemän aikaan saamiseksi tarvitaan liikenteeseen lisää vähähiilistä tai hiilineutraalia energiaa.
- Kansantalouden kannalta kustannustehokkain tapa vähentää päästöjä on investoiminen kotimaisten, edistyksellisten drop-in -biopolttoaineiden tuotannon ja käytön lisäämiseen. Niiden käytöllä ei ole heijastusvaikutuksia autokalustoon tai jakelujärjestelmään. Myös biokaasun käyttöä voitaisiin lisätä, mutta edellytyksenä on merkittävä kaasujoneuvokannan kasvaminen. Kaluston uusiutumiselle ei kuitenkaan voida asettaa velvoitetta.
- Pääosa lisäkysynnän tyydyttämiseen tarvittavista uusinvestoinneista voitaisiin toteuttaa Suomessa tukeutuen kotimaiseen puu- ja jättepohjaiseen raaka-aineeseen. Kohdistamalla julkista tukea uuden teknologian kaupallistamiseen, kotimainen tuotanto voidaan saada hinnaltaan kilpailukykyiseksi tuontiin nähden. Mikäli kotimaiset uuden teknologian laitokset eivät toteudu, ja jakeluvelvoite halutaan silti toteuttaa, kestävien biopolttoaineiden tuonti kasvaa tai päästöjä joudutaan vähentämään muilla keinoilla.
- Sähköautojen kalliin nykyhinnan takia niiden laajamittainen käyttöönotto kannattaa vasta, kun kyseisten autojen kustannustaso on teknologiakehityksen myötä merkittävästi alentunut.

Pääosa selvityksen laskennoista tehtiin vuonna 2014. Sitten toimintaympäristössä on tapahtunut paljon muutoksia, jotka ovat antaneet aihetta raportin päivitykseen. Alkuperäinen selvitys oli osa VTT:n koordinoimaa TransSmart tutkimusohjelmaa. Keväällä 2016 TransSmart ohjelman ulkoinen ohjausryhmä päätyi suosittelemaan raportin päivitystä. Päivitystyö rahoitettiin osittain TransSmart ohjelman vuoden 2016 koordinaatiohankkeesta, osittain liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) toimesta.

Vuoden 2014 jälkeen toimintaympäristössä esiin nousseita asioita ovat mm. seuraavat:

- sähköautojen tarjonnan lisääntyminen
- pääministeri Juha Sipilän hallituksen strateginen ohjelma, toukokuu 2015
- dieselhenkilöautojen päästöskandaali syysyllä 2015, ja sen laajeneminen 2016
- dieselautojen käytön rajoittaminen ilmanlaatuongelmien takia eräissä kaupungeissa, sekä aloitteet uusien polttomoottoriautojen kieltämisestä vuoteen 2030 mennessä. etenkin suurkaupungeissa
- COP21 ja Pariisin ilmastopöytäkirja loppuvuodesta 2015
- keskustelut biojalostamojen rakentamisesta ja puun riittävydestä Suomessa
- TEM:in asettama työryhmä ILUC-direktiivin edellyttämistä muutoksia kansalliseen lainsäädäntöön sekä biopolttoaineiden edistämistoimista vuoden 2020 jälkeen
- Komission vuoden 2016 ”kesäpaketti”: ei-päästökauppasektorin taakanjakoehdotus, LU-LUCF-asetusehdotus (*land-use, land-use change, forestry*) sekä Komission tiedonanto vähähiilisestä liikenteestä

¹⁶

http://www.transsmart.fi/files/297/Tieliikenteen_40_hiilidioksidipäästöjen_vahentaminen_vuoteen_2030_Kayttovoimavaihtoehto_ja_niiden_kansantaloudelliset_vaiikutukset_VTT-R-00752-15.pdf

- Direktiivi vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta (2014/94/EU) ja sen kansallisesta toimeenpanosta: kansallisen työryhmän loppuraportti suosituksineen julkaistiin 11.11.2016
- Kansallisen vuoteen 2030 ulottuvan energia- ja ilmastostrategian valmistelu ja julkistaminen 24.11.2016
- Komission ”talvipaketin” julkistus 30.11.2016, sisältäen uusiutuvien energialähteiden RE-DII direktiiviehdotuksen

Päivitystyön toteutti VTT. Päivityksen yhteydessä laskentoihin ja arviointeihin tehtiin mm. seuraavat muutokset:

- ajosuoritteita tarkennettiin alkuperäiseen selvitykseen verrattuna:
 - henkilöautojen osalta maltillisemmaksi; vuoden 2030 suorite aleni 8 % aikaisemmasta
 - raskaiden ajoneuvojen osalta suuremmiksi; suorite 9 % suurempi vuonna 2030 kuin aikaisemmassa laskennassa
 - suoritteet vastaavat nyt kansallisen energia- ja ilmastostrategian laskelmien taustalla olevia suoritearvoja
- myös ajoneuvokaluston energiatehokkuuden kehitysarvioita tarkennettiin, etenkin raskaan kaluston osalta
- em. tekijöiden perusteella laskettiin auto- ja energiamäärien perusteella uusi ns. perusura vuoteen 2030, jossa hiilidioksidipäästöt ovat kuitenkin samalla tasolla kuin aikaisemmasakin arviossa, sillä henkilöautoliikenteen päästöt laskevat mutta raskaan liikenteen päästöt kasvavat
- ns. biopolttoaineisiin tukeutuvassa ”kehitys”-skenaariossa sähköautojen lukumäärää kasvatettiin hieman
- luotiin kaksi uutta optimistista autokalustoskenaariota:
 - ”sähkömax”, jossa on yhteensä 600.000 verkosta ladattavaa autoa vuonna 2030
 - ”kaasumax”, jossa on 200.000 kaasuhenkilöautoa vuonna 2030, ja lisäksi kaasulla katetaan 10 % raskaan liikenteen energiantarpeesta
- lisäksi on listattu VNK-Keiju -hankkeen ns. WAM luvut (”With Additional Measures”) autoille ja polttoainemäärille, vastaten likimain uuden energia- ja ilmastostrategian lukuja
- tarkennettiin arvioita uusiutuvien polttoaineiden tuotantomahdollisuuksista
- tarkennettiin sähköautojen hintakehityksen ennusteita
- uusittiin laskelmat ”kehitys” -skenaarion vaikutuksista kansantalouteen, ja lisäksi laskettiin uusina tapauksina ”sähkömax” ja ”kaasumax” -skenaariot

Tarkastellut vaihtoehdot olivat seuraavat:

- Perusskenaario
 - vaihtoehtoisille polttoaineille erikseen sovitettujen ajoneuvojen (etanoli, kaasu, sähkö) lukumäärä on niin pieni (35.000), ettei niillä ole käytännön merkitystä
- ”Kehitys” -skenaario
 - henkilöautoissa 100.000 täyssähköautoa, 50.000 ladattavaa hybridiä ja noin 50.000 kaasuhenkilöautoa, hieman vaihtoehtoisia tekniikoita myös muissa ajoneuvoluokissa
- ”Sähkömax” (uusi)
 - henkilöautoissa 400.000 täyssähköautoa ja 200.000 ladattavaa hybridiä, jonkun verran sähköautoja myös muissa ajoneuvoluokissa
- ”Kaasumax” (uusi)
 - 200.000 kaasuhenkilöautoa, 50.000 kaasukäyttöistä pakettiautoa ja lisäksi kaasulla 10 %:n osuus ajosuoritteesta raskaassa kalustossa
- WAM
 - henkilöautoissa 200.000 täyssähköautoa ja 50.000 ladattavaa hybridiä, jonkun verran vaihtoehtoja muissa ajoneuvoluokissa
 - vastaa likimain hallituksen marraskuun 2016 energia- ja ilmastostrategiaa

Tämä päivitysraportti¹⁷ julkaistiin huhtikuussa 2017. Sen tärkeimmät päätelmät olivat:

- Raportissa vastataan kysymykseen, millä vaihtoehtojilla voidaan maantieliikenteen kasvi-huonekaasupäästöjä vähentää 40 % vuoteen 2030 (ja edelleen vuoteen 2050). Vertailuvuoden 2005 lähtötaso on n. 11,7 Mt CO₂, ja päivityksen perusskenaariossa CO₂ päästöt ovat vuonna 2030 n. 9,2 Mt, eli n. 21 % alemmat kuin vertailuvuonna. Päästöjä pitäisi siis edelleen alentaa n. 2,2 Mt, eli n. 19 %-yksikköä. Perusskenaariossa biopolttoaineiden todellinen osuus (ilman nykyisen jakeluvaihtoiteen tuplalaskentaa) on noin 14 % ja sähkön osuus hyvin pieni.
- Työssä on tarkasteltu viittä eri skenaariota, uusina on esitetty optimistinen "sähkömax"-skenaario, jossa on 400.000 täyssähköautoa ja 200.000 ladattavaa hybridiä, sekä "kaasumax"-skenaario, jossa on 200.000 kaasuhenkilöautoa, 50.000 pakettiautoa ja biokaasulla on 10 % osuus raskaan kaluston suoritteesta. Kummassakin tarvitaan lisäksi 40 %:n KHK-päästöjen vähennykseen korkeaseosteisia nestemäisiä drop-in biopolttoaineita. Kaikissa skenaarioissa, ml. sähköautoja painottava "sähkömax", biopolttoaineiden tarve oli nykyistä käyttöä tai Suomen nykyistä tuotantokapasiteettia suurempi. "Sähkömax"- ja "kaasumax"-skenaariot vaatisivat autokannan muutosten lisäksi merkittäviä muutoksia myös näiden käyttövoimavaihtoehtojen jakeluinfrassa, joista aiheutuu kustannuksia.
- Hallituksen marraskuussa 2016 esittämässä energia- ja ilmastostrategiassa asetettiin tavoitteeksi vähentää liikenteen päästöjä noin 50 % vuoteen 2030 mennessä, ja biopolttoaineiden osuuden tulisi olla 30 % (todellinen energiaosuus). Lisäksi sähköautojen tavoite oli 250.000 ja kaasuautojen 50.000 kpl.
- Tämän tutkimuksen perusskenaarioon (-21 %) verrattuna 250.000 sähköhenkilöautoa vuonna 2030 alentaisivat päästöjä edelleen vajaat 5 %-yksikköä. Vastaavasti, jos biopolttoaineiden osuus nostettaisiin nykyisestä noin 13 prosentista 30 prosenttiin CO₂-päästöt vähenisivät noin 12 %-yksikköä. Tämän valossa voidaan sanoa, että vuonna 2030 tullaan siis ehdottomasti tarvitsemaan sekä edistyskäsisiä biopolttoaineita että hiiletöntä sähköä käyttäviä sähköautoja, jotta päästään 40 tai 50% KHK-päästöjen vähenemiseen.
- Eri ratkaisujen suhteelliset kustannusvaikutukset riippuvat pääosin ulkoisista tekijöistä, kuten raakaöljyn ja sähköajoneuvojen hinnasta. Lisäksi CO₂-päästöjen hinnoittelu sekä EU:n ilmastopolitiikan ohjauskeinot vuoteen 2030 vaikuttavat tilanteeseen. Kotimaisen biopolttoainetuotannon osalta hintakehitykseen voidaan joltain osin vaikuttaa omassa päättävällä olevin toimin. Veroratkaisujen merkitys on tärkeä mentäessä kohti vähähiilistä ja älykästä liikennettä. Hinta-arvio kotimaassa tuotettujen biopolttoaineiden osalta on suuruusluokkaisesti 1000... 1200 €/toe (veroton litrahinta 0,82...0,98 €/l, kun fossiilinen dieselpolttoaine on 0,47 €/l).
- Kustannusvaikutuksia on tarkasteltu niin polttoaineiden jakeluhintojen kuin eri autoluokkien (henkilöauto ja kaupunkibussi) vuosikustannusten osalta. Henkilöauton osalta tarkasteltiin kaikki voimalinja- ja polttoainevaihtoehdot nykyveroin. Vertailukohtana oli bensiinikäyttöinen auto. Vältetyn CO₂-tonnin hinta oli nykyhinnoin ja -veroin biopolttoaineilla (nestemäiset ja kaasut) 50...300 €/tCO₂, lataushybridillä 800...2500 €/tCO₂ ja täyssähköautolla 200...1400 €/tCO₂. Vuotuinen 17.000 tai 30.000 km ajosuorite vaikutti voimakkaasti tulokseen muiden kuin biopolttoaineiden osalta. Dieselöinnillä (fossiilinen dieselpolttoaine) vältetyn CO₂ hinta vaihteli välillä -200...+1800 ja maakaasukäytöllä -100...+180 €/tCO₂. Kummankin kohdalla CO₂-vähennyspotentiaali on kuitenkin rajallinen. Dieselautojen osalta on myös kiinnitettävä huomioita taajamien ilmanlaatuvaikutuksiin. Jos sähköauton verollinen hankintahinta laskisi bensiiniauton tasolle, sähköauto olisi hyvin kustannustehokas halvempien käyttökulujen vuoksi. Sähköbussi on jo nyt varsin kilpailukykyinen korkean käyttöasteen ansiosta.

¹⁷

http://www.transsmart.fi/files/430/Tieliikenteen_40_hiilidioksidipäästöjen_vahentaminen_vuoteen_2030_Vuoden_2016_paivitys_VTT-R-00741-17.pdf

- Kansantaloudelliset vaikutukset arvioitiin laskennallisen, yleisen tasapainomallin avulla. "Sähkömax"-skenaariosta tehtiin kaksi versiota, jotka eroavat toisistaan sähköautojen hintakehityksen osalta: a) "sähkömax"-perusversio, jossa sähköauto on polttomoottoriautoa kalliimpi vielä vuonna 2030, sekä b) "sähkömax2", jossa sähköauton hinta laskee polttomoottoriauton tasolle jo vuonna 2025. Ensin mainittu oli kallein BKT vaikutuksiltaan, jälkimmäinen edullisin. Uusien sähköautojen hintakehityksellä on ratkaiseva merkitys skenaarioiden välisten erojen kannalta, vaikka infrastruktuurin vaatimat investoinnitkin vaikuttavat tulokseen hieman. Laskelmat osoittavat, että mahdolliset laajamittaiset edistämistoimenpiteet sähköautojen osalta kannattaisi aloittaa vasta kun hinnat ovat laskeneet ja autojen (akkujen) suorituskyky on parantunut. Eri skenaarioiden vaikutus BKT:hen oli välillä -2,7...+ 0,1 %.

OSA V: YHTEENVETO

10. Yhteenveto

"Uudet dieselpolttoainetta korvaavat biopolttoainevaihtoehdot: yhteistyö, verkottuminen ja pilotointi" eli lyhyemmin BioPilot oli raskaan kaluston polttoainevaihtoehtoihin painottuvaa Tekesin rahoittama hankekokonaisuus, joka koostui yritysten pilotointihankkeista ja niiden rinnalla toteutetusta VTT:n tutkimuslaitoshankkeesta.

Pilotoinneissa keskityttiin RES-direktiivin (2009/28/EY) mukaisiin tuplalaskennan säännöt täyttäviin jätteistä ja tähteistä tuotettuihin biopolttoaineisiin. Syntynyt vahva kotimainen yhteistoimintaverkko kytkettiin IEA Advanced Motor Fuels (AMF) –toimintaan synergiaetujen saavuttamiseksi.

Pilotointihankkeen yritysosiossa oli kolme pääteemaa/lohkoa (suluissa Tekes-rahoitusta saanut yritysosapuoli):

- Etanolin osuuden lisääminen raskaassa kalustossa (NEOT/St1)
- Mäntyöljyyn perustuva uusiutuva dieselpolttoaine (UPM)
- Biometaanin osuuden lisääminen raskaassa kalustossa ja lisäarvo uusituvalle parafiiniselle dieselpolttoaineelle dual-fuel ratkaisussa (ryhmähanke Stara ja Itella/Posti, koordinaattorina Stara)

Näiden rinnalla toteutettu VTT:n tutkimuslaitoshanke keskittyi uudenlaisten biopolttoaineiden pakokaasukarakterisoinnin vaatimaan menetelmäkehitykseen ja vaihtoehtoihin polttoaineisiin liittyvään IEA-yhteistyöhön palvelen koko hankekokonaisuutta. Kokonaishanke kokosi yhteen tärkeimmät biopolttoaineisiin panostavat energiayhtiöt ja tärkeimmät bussi- ja kuorma-auto-operaattorit.

Yleisellä tasolla kokonaisuudella tavoiteltiin mm. uusien bionielujen avaamista (etanoli, biokaasu), kohteena raskaat dieselajoneuvot, uusiutuvan dieselpolttoaineen tarjonnan laajentamista varmentamalla uuden kotimaisesta metsäraaka-aineesta valmistetun polttoaineen toimivuus käytännön oloissa.

Hanke toteutettiin vuosina 2013 – 2016 pitkälti alkuperäisen suunnitelman mukaisesti. Hankkeen kokonaiskustannusarvio oli n. 3,8 M€. Yritysvetoisen pilotointiosan osuus oli noin 3,0 M€ ja tutkimuslaitososion 0,8 M€.

Kahden Scania etanolibussin käyttökoe toteutettiin onnistuneesti: etanoli osoittautui käyttökokeessa hyvin toimivaksi vaihtoehdoksi linja-auton polttoaineena. Nämä päästötasoltaan Euro V-tekniikkaa edustavat bussit jatkavat liikennöintiä vuonna 2017 Helsingin Seudun Liikenteen (HSL) ympäristöbonuksen turvin. Myös Euro VI -tekniikkaa edustavia etanolibusseja on saatavissa. Etanolin yleistymistä raskaan kaluston polttoaineena rajoittaa sen sopiminen vain etanolille suunniteltujen moottoreiden polttoaineeksi. Yksi laajentuneen käytön edellytys lienee etanolille sopivien ajoneuvojen tarjonnan lisääntyminen, käytännössä toimittajien määrän kasvu. Etanoli on maailman laajuisesti yleisin ja eniten käytetty biopolttoaine. Kevyen autokaluston sähköistyminen vapauttaa pitkällä aikavälillä etanolia muuhun käyttöön. Etanolinelun syntyminen raskaaseen ajoneuvokalustoon on mahdollisesti jopa tarpeen.

Etanolibusseihin liittyvä tutkimus jatkuu mahdollisesti EU-hankkeena, Scanian ja 10 muun partnerin kanssa jätettiin helmikuun 2017 alussa Horizon 2020 GV-01-2017 hakemus "RED ROAD" uuden sukupolven etanolidieselmootoreista - ja polttoaineista (Suomesta mukana NEOT ja VTT).

Uuden mäntyöljypohjaisen dieselpolttoaineen suorituskyky todennettiin sekä henkilöautoilla että busseilla toteutetuilla kenttäkokeilla, laboratoriossa tehdyillä ajoneuvomittauksilla ja pitkäkestoisilla materiaalikokeilla. Loppupäätelmä on, että mäntyöljypohjainen uusiutuva dieselpolttoaine on drop-in tyyppinen polttoainekomponentti, jota voidaan tulosten perusteella käyttää polttoaineen osakomponenttina tai puhtaana polttoaineena dieselkalustossa ongelmitta. BioPilot-hankkeen aikana UPM on siirtynyt koetuotannosta täysmittaiseen kaupalliseen tuotantoon.

Bio- ja/tai maakaasua ja dieseliä polttoaineena käyttävien Euro V -tasoisten dual-fuel kuorma-autot toimivat käyttäjien näkökulmasta hyvin, mutta pakokaasupäästöt ja dieselin korvausaste eivät vastanneet odotuksia. Käyttökokeessa olleet Dual-Fuel ajoneuvot edustivat tekniikka, jossa kaasu ruiskutetaan imukanavaan. Tällä teknologialla ei päästä EURO VI-vaatimusten mukaiseen päästötasoon. Käyttökokeen autoista osalla päästöt pysyivät hyvällä Euro V ajoneuvojen tasolla mutta osalla taas sekä typenoksidien että metaanin päästöt olivat korkeita. Kaasun energiana laskettu polttoaineosuus oli parhaassa tapauksessa yli 50 %, mutta alhaisimmillaan jopa alle 20 %. Ruiskutettaessa kaasua imukanavaan ruiskutus tyypillisesti käynnistyy vasta moottorin kuormituksen noustessa tietylle tasolle, joutokäynnillä ja alhaisilla kuormilla moottori toimii pelkällä dieselillä.

Volvolta on tulossa suoraruiskutteinen EURO VI-vaatimukset täyttävä dual-fuel -moottori. Suomalaisten osapuolien kanssa on neuvoteltu tämän uuden teknologian kokeilusta osana mahdollista uutta IEA AMF -projektia.

Metaani (maakaasu/biokaasu) on etanolin tapaan kalustorajoitteinen polttoaine, joka sopii kaasun käytölle suunniteltuun kalustoon. Yleistymisen edellytyksenä raskaassa kalustossa on etanolin tapaan huoltokustannusten alentaminen ja ajoneuvotarjonnan lisääntyminen.

VTT:n tutkimuslaitoshankkeessa pakokaasuanalytiikkaa koskevassa osuudessa onnistuttiin kehittämään kustannustehokas "harm/no harm" -testausmetodi vaihtoehtoisille polttoaineille. Menetelmäkehitystä tehtiin osittain IEA yhteistyönä. Aiheesta on tehty useampi tieteellinen julkaisu, joista uusin huhtikuun 2017 Atmospheric Chemistry and Physics -lehdessä.

IEA-toiminta käsitti paitsi tiedonvaihdon yleisellä tasolla myös osapuolten välisiä yhteisprojekteja (Annexeja). Kiinan CATARC-tutkimuslaitoksen kanssa tehtiin yhteistyötä hankkeessa "Research on Unregulated Pollutants from Alcohol Fuelled Vehicles" (Annex 44) hankkeessa, joka Suomen osalta tuki vaihtoehtoisten polttoaineiden analytiikan kehitystä. Tanskalaisen DTU korkeakoulun kanssa yhteishankkeessa alkoholien käyttämisestä dieselmootoreissa "Alcohol Applications in Compression Ignition Engines" (Annex 46) raportoitii Suomen osuutena alkoholipolttoainetutkimus Scanian lisäaineistetun etanolin käyttöön suunnitellulla dieselmootorilla. Varsinkin VTT:n osuuteen kuuluneet metanolipolttoainekokeilut ovat herättäneet laajaa mielenkiintoa. Käynnissä on yksi EU-rahoitteinen hanke, ja muita hankkeita on kehitteillä.

VTT:n vetämänä toteutettiin laaja "Fuel and Technology Options for Commercial Vehicles (COMVEC) -hanke (Annex 49). Hankkeessa yhdistettiin kahdeksan eri tutkimuslaitoksen tulokset 35 erikokoisen hyötyajoneuvon tuloksista eri polttoainevaihtoehdoilla (fossiilinen ja uusiutuva diesel, metaani, LPG, etanoli ja sähkö). COMVEC-hankkeen pääviesti on, että siirtyminen Euro III -tasoisista autoista Euro IV- tai Euro V -tasoiisiin autoihin ei välttämättä tuo mukanaan todellisia päästöhyötyjä, vasta Euro VI (tai US 2010) tuo mukanaan merkittäviä päästövähennyksiä. Tietoa voidaan hyödyntää valtioissa, joissa ajoneuvojen päästöjen vähentäminen on vasta alkutaipaleella. Päästöjen vähentämisteknologia/päästöluokitus määrittää ensisijaisesti säänneltyjen päästöjen tason, ei niinkään polttoaine.

IEA Advanced Motor Fuels (AMF) Executive Committee vierailee Helsingissä toukokuun 2017 lopulla tutustumassa Suomen energia- ja ilmastolinjauksiin sekä suomalaiseen polttoaineteknologiaan.

Osittain BioPilot-hankkeeseen tukeutuen ja pohjautuen HSL ja Stara ovat työ- ja elinkeinoministeriön tuella käynnistäneet BioSata-hankkeen, joka tähtää siihen, että HSL:n tilaama bussiliikenne ja Staran autot ja työkonet siirtyvät vaiheittain 100 %:seen biopolttoaineeseen.