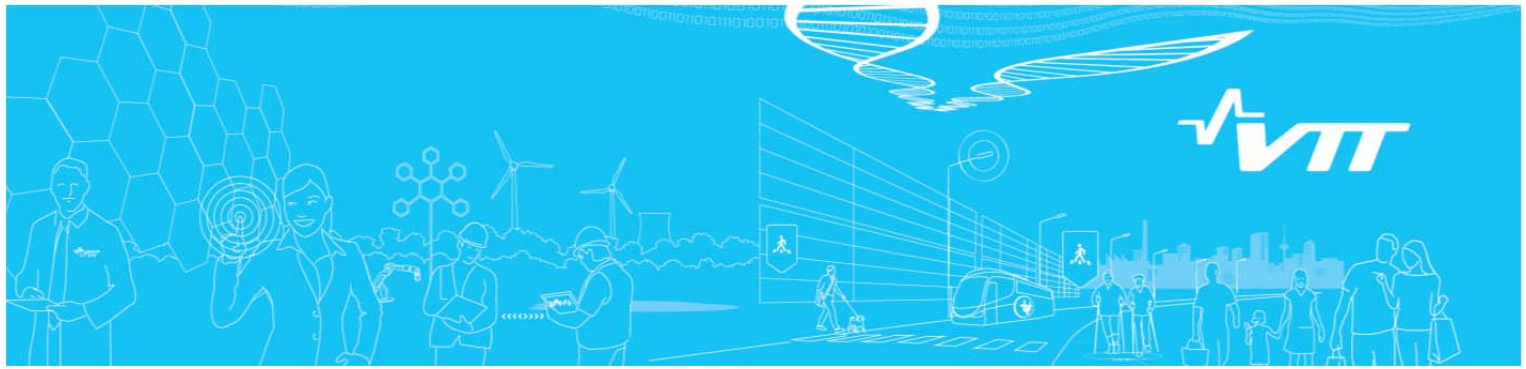


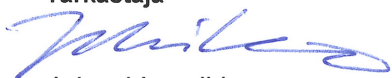


Vuoden 2014 TransSmart ajoneuvotutkimus Trafille

Raportti Trafín vuonna 2014 TransSmart-ohjelman puitteissa rahoittamasta toiminnasta.

Kirjoittajat: Laine Petri, Murtonen Timo, Rautalin Jan (VTT)
Karjalainen Panu, Rönkkö Topi (TTY)

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi Vuoden 2014 TransSmart ajoneuvotutkimus Trafille	
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi Keijo Kuikka	Asiakkaan viite
Projektin nimi	Projektin numero/lyhytnimi 88853 LD-EMFACT-14
Raportin laatija(t) Laine Petri, Murtonen Timo, Rautalin Jan (VTT) Karjalainen Panu, Rönkkö Topi (TTY)	Sivujen/liitesivujen lukumäärä 34/4
Avainsanat	Raportin numero VTT-R-01720-15
Tiivistelmä Käsillä oleva raportti on vuosiraportti Trafin TransSmart-ohjelman puitteissa rahoittamasta toiminnasta. Se koostuu kolmesta osiosta. Kahdessa ensimmäisessä tarkastellaan Euro 6/VI-päästö määräysten mukaisten ajoneuvojen polttoaineen kulutusta sekä pakokaasupäästöjen mittauksia. Ensimmäinen osio käsittelee henkilöautomittauksia ja toinen osio kuorma-autojen mittauksia. Kolmannessa osiossa on tutkittu millaisia hiukkaspäästöjä aiheuttaa Euro 3 päästö määräysten mukainen kuorma-auto moottorijarrutusten aikana (TTY/VTT yhteistyö). Lisäksi liitteenä 2 on myös tilanneraportti katsastuksen yhteydessä tehtävästä hiukkasmitaustutkimuksen etenemisestä (TuAMK).	
Luottamuksellisuus	Julkinen
Espoossa 8.5.2015 Laatija  Jan Rautalin Tutkija	Tarkastaja  Juhani Laurikko Johtava tutkija
Hyväksyjä  Mikko Pihlatie Tutkimustiimin päällikkö	
VTT:n yhteystiedot	
Jakelu (asiakkaat ja VTT) Trafi (3), VTT (3), TTY (1), sähköinen jakelu www.transsmart.fi -portaalin kautta.	
VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.	

Sisällysluettelo

Sisällysluettelo.....	2
1. Johdanto	3
2. Henkilöautomittaukset	5
2.1 Tavoite	5
2.2 Koeautot	5
2.3 Mittaukset	6
2.4 Ajo-ohjelmat ja olosuhteet	6
2.5 Henkilöautojen polttoaineet ja ajovastukset	6
2.6 Tulokset	7
2.7 Tulosten tarkastelu	14
2.8 Johtopäätökset	14
2.8.1 Dieselkäyttöiset henkilöautot	14
2.8.2 Bensiinikäyttöiset henkilöautot	15
2.8.3 Vertailu diesel vs. bensiinikäyttöiset	15
3. Raskaiden ajoneuvojen mittaukset	16
3.1 Tavoite	16
3.2 Ajoneuvomittaukset	16
3.3 Polttoaineen kulutus	16
3.4 Hyötykuormaan suhteutettu kulutus	18
3.5 Päästöt	19
3.6 Johtopäätökset	22
4. Hiukkaspäästöt kuorma-auton moottorijarrutuksessa.....	23
4.1 Tavoite	23
4.2 Mittaukset	23
4.3 Ajoneuvot	25
4.4 Mittalaitteet ja mittausmenetelmät	25
4.5 Tulokset	27
4.5.1 Säänneltyt päästöt	27
4.5.2 Hiukkaspäästöt 40→20 km/h moottorijarrutuksessa	27
4.5.3 Hiukkaspäästöt 80→20 km/h moottorijarrutuksessa	29
4.5.4 Hiukkaspäästöt WHVC-syklissä	30
4.5.5 Moottorijarrutuksen aikaisten hiukkasten osuus kokonaispäästöstä	32
4.6 Yhteenveto ja johtopäätökset	32
Lähdeviitteet	34
Liitteet	35
Liite 1	Euro 6 -henkilöautojen tuottamat NO- ja NO ₂ -päästöt
Liite 2	Tutkimushankkeen tilannekatsaus: dieselautojen katsastuspäästömittauksen kehittäminen (TuAMK)

1. Johdanto

Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi on rahoittanut autojen ympäristövaikutuksiin liittyvää tutkimusta sekä TransEco (2009–2013) että TransSmart (2013–, www.transsmart.fi) tutkimusohjelmissa. Yksi tärkeä tehtävä on ollut totuudenmukaisten päästökertoimien tuottaminen. Perinteisesti Helsingin seudun liikenne (HSL) on rahoittanut busseihin kohdistuvaa päästö-tutkimusta. TransEco-ohjelmassa henkilöautoihin liittyvää tutkimusta tehtiin Efficaruse-hankkeessa, jossa päärahoittajana oli Tekes. Niinpä Trafin rahoitusta on suunnattu pääasiassa paketti- ja kuorma-autojen mittauksiin.

Koska uusien ajoneuvojen pakokaasupäästöjen rajoitukset ovat edelleen kiristyneet Euro 6/Euro VI-määräysten voimaan tulon myötä, on ajoneuvojen tekniikkakin kehittynyt vastaamaan näihin vaatimuksiin. Siksi on edelleen tarve tehdä mittauksia uusimpien autojen suori-tuskyvystä. Efficause-hankkeen päätyttyä on myös ollut tarpeen järjestellä henkilöautojen mittauksia uudella tavalla. Ratkaisuksi tähän on löytynyt yhteistoiminta norjalaisen partnerin Transportøkonomisk Instituttin (TØI) kanssa, jolla Norjan tielaitos (Vegvesen) teettää tutki-musta uusimpien ajoneuvojen suori-tuskyvystä, mutta koska Norjassa ei ole ajoneuvojen pa-kokaasupäästöjä mittaavia laboratorioita, TØI on kääntynyt VTT:n puoleen. Eri osapuolien (Trafi, HSL, TØI) kanssa on nyt sovittu yhteistyöstä kaikkien ajoneuvoluokkien päästökerto-i-mien generoinnissa. TØI osallistuu rahoitukseen ja saa käyttöönsä VTT:n tuottamia päästö-tuloksia. Vuodelle 2014 Trafi esitti listauksen tutkimustarpeista. Listalla olivat mm. seuraavat aiheet:

- Tieliikenteen hiukkaspäästöt
 - o Erikseen mainittuna moottorijarrutuksen aiheuttamat hiukkaspäästöt ja hiuk-kaspäästömittausten kehittämistyö katsastuksien yhteyteen
- Vaihtoehtoisten energioiden infrastruktuuri ja autokaluston uudistumisen nopeuttami-nen erilaisin ohjaustoimenpitein
- Automaattiajoneuvon tekniikan kehitys ja tähän liittyvä regulaatio
- Meriliikenteen aiheuttaman vedenalaisen melun sääntelyyn varautuminen

Kahdesta viimeksi mainitusta aiheesta tehtiin erilliset tiiviit selvityksen TransSmart-ohjelman koordinaation puitteissa.

Liikenteen vaihtoehtoiisiin energioihin ja erilaisiin ohjauskeinoin on käynnissä selvityksiä niin liikenne- ja viestintäministeriön kuin työ- ja elinkeinoministeriönkin toimesta. Trafin kans-sa käydyissä neuvotteluissa päätettiin, että meneillään oleva työ on tässä vaiheessa riittävä, eikä vuonna 2014 ole tarpeen suunnata Trafin varoja näihin aiheisiin.

Niinpä keskeisiksi teemoiksi vuoden 2014 toiminnassa nousivat uusien Euro 6/VI -autojen päästökertoimet ja jo käytössä olevien autojen hiukkaspäästöt, joista kaivattiin uutta tutki-mustietoa vahvistamaan alustavia havaintoja.

Vuonna 2014 Trafin rahoitusta ohjattiin Euro 6 -tasoisten henkilö- ja Euro VI-tasoisten kuor-ma-autojen päästökertoimienmäärittämiseen. Bussimittauksia tehtiin edelleen pääosin HSL:n rahoituksella. Edellä mainittu TØI-yhteistyö toi osarahoitusta koko tähän toimintaan.

Tampereen teknillinen yliopisto (TTY) julkaisi keväällä 2014 uutisen havainnoistaan, että moottorijarrutus nostaa vanhempien dieselautojen hiukkaspäästöjä merkittävästi. Ilmiötä tut-kittiin yhdellä bussilla ja yhdellä kuorma-autolla VTT:n raskaan kaluston alustadynamometril-lä loppuvuodesta 2014. TTY:n kustannusten kattamiseksi VTT kanavoi TransSmart-ohjelmalle suunnattua Trafi rahoitusta edelleen TTY:lle. TTY osallistui kustannuksiin myös omalla rahoituksellaan.

Turun ammattikorkeakoulu (TuAMK) puolestaan käynnisti tutkimuksen hiukkasmittauksista katsastuksen yhteydessä. Myös Turun ammattikorkeakoululle kanavoitiin Trafin rahoitusta.

Käsillä oleva raportti on vuosiraportti Trafin TransSmart-ohjelman puitteissa rahoittamasta toiminnasta. Se koostuu kolmesta osiosta. Kahdessa ensimmäisessä tarkastellaan Euro 6/VI -päästömääräysten mukaisten ajoneuvojen polttoaineen kulutusta sekä pakokaasupäästöjen mittauksia. Ensimmäinen osio käsittelee henkilöautomittauksia ja toinen osio kuorma-autojen mittauksia. Kolmannessa osiossa on tutkittu millaisia hiukkaspäästöjä aiheuttaa Euro 3 päästömääräysten mukainen kuorma-auto moottorijarrutusten aikana (TTY/VTT yhteistyö).

Lisäksi liitteenä 2 on myös tilanneraportti katsastuksen yhteydessä tehtävästä hiukkasmitaustutkimuksen etenemisestä (TuAMK).

Bussien päästökertoimet raportoidaan erillisessä raportissa. Automaattiajoneuvoista ja vedenalaisesta melusta on niin ikään raportoitu erillisraportein.

2. Henkilöautomittaukset

2.1 Tavoite

Henkilöautojen osalta Euro 6 -päästötason käyttöönotto ei bensiinikäyttöisille autoille tuo mitään muutoksia kaasumaisten päästöjen raja-arvoihin, mutta tuo suoraruiskutusmoottorisille autoille Euro 5-määräyksissä annettujen hiukkasten massan (PM) rajoituksen rinnalle myös hiukkasten lukumäärän (PN) mittaamisen ja raja-arvot. Tämä saattaa johtaa hiukkas-suodattimien käyttöönottoon myös bensiinimoottorisissa autoissa, mutta lukumäärän mittaamismenetelmän pitkä kehitystyö johti kuitenkin tilanteeseen, että kolmen ensimmäisen vuoden aikana sovelletaan raja-arvoa $6,0 \times 10^{12}$, joka on kertaluokkaa korkeampi kuin suunniteltu raja-arvo $6,0 \times 10^{11}$.

Samat hiukkasrajoitukset koskevat myös dieselnäyttöisiä autoja, mutta koska niissä on hiukkassuodattimet, ne eivät ole samalla lailla merkityksellisiä. Sen sijaan Euro 6 merkitsee niille typen oksidien päästörajojen merkittävää alenemista. NO_x:n Euro 6 raja-arvo (80 mg/km) on jo lähes yhtä alhainen kuin bensiinikäyttöisten autojen (60 mg/km), ja pakottaa valmistajat ottamaan käyttöön tehokkaampia keinoja päästöjen vähentämiseen.

Lisäksi julkisessa keskustelussa on ollut esillä autojen polttoaineen kulutuksen ja päästöjen suhteen tyyppihyväksynnän ja todellisen käyttötilanteen välillä vallitsevat erot. Aihetta käsitellessä puhutaan kuitenkin useimmiten vain polttoaineen kulutuksesta ja CO₂-päästöjen määrästä. Tässä tutkimuksessa haluttiin todentaa mahdollisia eroja myös muiden päästökomponenttien osalta käyttämällä muuttujina mittauksissa erilaisia ajo-ohjelmia sekä kahta eri lämpötilaa.

Henkilöautomittauksiin hankittiin mahdollisimman uutta pakokaasujen jälkikäsittelyteknikkaa mm. SCR ja Lean NO_x Trap (LNT) sisältäviä Euro 6 -päästötason mukaisia ajoneuvoja. Eri polttoaineiden ja moottoritekniikan vaikutusta pyrittiin saamaan esiin valitsemalla mitattaviksi kaksi eri vertailuparia, kukin ao. valmistajan valitusta mallisarjasta siten, että autot olivat käytettävää polttoainetta ja voimalinjaa lukuun ottamatta mahdollisimman samankaltaisia.

2.2 Koeautot

Tässä osiossa mitattiin henkilöautojen polttoaineen kulutusta ja pakokaasupäästöjä. Mittauksia tehtiin kahdella Euro 6 -päästö määräysten mukaisella dieselautolla ja kahdella bensiinikäyttöisellä autolla. Edellisten lisäksi tehtiin vertailun vuoksi mittauksia yhdellä Euro 5 päästö määräysten mukaisella dieselautolla, jotta nähtäisiin mahdolliset erot euroluokkien välillä.

Taulukossa 1 on esitetty koeautojen tiedot. Merkkejä ja malleja ei ole yksilöity, vaan ne on esitetty koodina, jolla saman valmistajan autot voidaan yhdistää. Näin haluttiin tehdä, koska haluttiin välttää koeautojen "leimautuminen" mahdollisten raja-arvojen ylittymisen takia, sillä oli todennäköistä, että muillakin vastaavilla autoilla olisi käynyt näin, jos niillä olisi tehty vastaavia mittauksia. Samanlainen käytäntö on ollut jo vuosia kuorma-autojen osalta.

Taulukko 1. Mitattujen henkilöautojen tekniset tiedot

ID	Valmistaja	Mallisarja	Vuosim.	EURO	Syl.tilavuus (cm ³)	Polttoaine	Vaihteisto	Matkamitt. lukema	Pakokaasun jälkikäs.	Oma-massa (kg)
1	A	A	2014	Euro 6	2143	Diesel	A7	17158	KAT+SCR+DPF	1570
2	A	A	2014	Euro 6	1595	Bensiini	M6	10376	KAT	1395
3	B	C	2014	Euro 6	1969	Diesel	A8	465	KAT+LNT+DPF	1635
4	B	C	2014	Euro 6	1969	Bensiini	A8	2782	KAT	1583
5	A	B	2014	Euro 5	1461	Diesel	DCT7	7279	KAT+DPF	1425

2.3 Mittaukset

Mittaukset tehtiin dynamometrikokeina VTT:n ajoneuvolaboratoriossa. Polttoaineen kulutus mitattiin punnitsemalla sekä laskemalla kaasumaisista päästöistä. Autoissa olleiden pakokaasujen jälkikäsittelylaitteiden käyttämien lisäaineiden (mm. AdBlue) kulutusta ei mitattu, sillä syöttöjärjestelmään on hyvin vaikeata liittää mitta-anturia, ja säiliön täyttötason havainnointi oli myös siinä määrin hankalaa, että sen kautta saatu tulos olisi hyvin epätarkka. Koska on kuitenkin tiedossa, että urealisäaineen kulutus on henkilöautosovelluksissa varsin vähäistä suhteessa raskaiden ajoneuvojen käyttämään, joka on noin 3–5% polttoaineen kulutuksesta, ei lisäaineen kulutus ole samalla lailla merkityksellistä.

Säänneltyjen pakokaasupäästöjen (CO, THC, NO_x, PM) mittaamisen lisäksi mitattiin Euro 6 -autoista joukko ei-säänneltyjä päästökomentteja käyttäen FTIR-analysaattoria. Nämä tulokset on esitetty liitteessä 1.

2.4 Ajo-ohjelmat ja olosuhteet

Jokaisella viidellä ajoneuvolla tehtiin kuusi erilaista mittausta, joissa käytettiin kolmea erilaista ajosykliä (NEDC, Helsinki ja Maantie) sekä kahta eri lämpötilaa (+23 °C ja –7 °C). Lisäksi jokaiselle mittaukselle tehtiin yksi toistokoe. Mittauksia tehtiin siten yhteensä 60 kappaletta.

NEDC (New European Driving Cycle) on henkilöautojen tyyppihyväksynnän yhteydessä käytettävä standardisoitu ajosykli. Muut kaksi ovat VTT:n kehittämiä ajosyklejä, joista Helsinki-sykli simuloi ruuhka-ajoa Helsingin kantakaupungin alueella ja jälkimmäinen maantieajoa yleisesti.

Ennen ensimmäistä mittaukskerta jokaisella autolla ajettiin ns. lämmittelyajo, jossa varmistettiin auton ja pakokaasujen keräyslaitteiston toiminta. Mikäli autossa oli olemassa toiminto, jolla ajoneuvon järjestelmät (esim. lukkiutumattomat jarrut ja ajonvakautusjärjestelmät) voidaan asettaa dynamometrillä ajoa varten erityiseen mittaustilaan, toiminto kytkettiin päälle ennen jokaista mittausta.

Jokainen NEDC-sykli ajettiin kylmällä moottorilla, joka oli asettunut testaustilan lämpötilaan vähintään 12 tuntia ennen mittausta. Helsinki- ja maantiesykliä ajettiin puolestaan aina normaaliin käyntilämpötilaan lämmentyneellä moottorilla. Vastaavat toistokokeet tehtiin kertaalleen, yleensä seuraavana päivänä.

Epäonneksi yksi ajoneuvoista (ID 3) ei suoriutunut kaikista –7 °C:n lämpötilassa käytetyllä kesälaatuisella dieselpolttoaineella tehdyistä mittauksista ilman käyntihäiriöitä, joten tämän ajoneuvon osalta NEDC- ja maantiesyklien testitulokset (–7 °C) puuttuvat. Helsinki-syklin ajaminen onnistui, kun moottoria ja polttoainelaitteita lämmitettiin lämmityspuhaltimella, mutta maantiesyklin ajaminen häiriöttä ei onnistunut, luultavasti suuremman tarvittavan polttoainevirtauksen takia, jolloin kylmä polttoaine aiheutti liian suuren painehäviön hienosuodattimessa häiriten polttoaineen syöttöä.

2.5 Henkilöautojen polttoaineet ja ajovastukset

Oheisessa taulukossa 2 on mainittu henkilöautojen mittauksissa käytetyt, tavanomaisesti kaupan olevat polttoainelaadut, sekä niille määritetyt tiheydet.

Taulukko 2. Polttoainelaadut henkilöautojen mittauksissa.

Tyyppi	Kauppanimi	Tiheys (kg/m ³)
Diesel	Neste diesel 0 °/-10° (Neste Oil) ¹⁾	833.5
Bensiini	Neste bensiini 95E10	742.5

¹⁾ Neste-diesel -0/-10 polttoaine on tarkoitettu keskikesäkäyttöön.

Dieselpolttoaineen suodatettavuus on -10 °C.

Dieselpolttoaineen samepiste on 0 °C, joka on myös sen alin

varastoinnin lämpötila ajoneuvon säiliössä tai maanpäällisessä säiliössä.

Henkilöautojen mittauksissa käytettiin dynamometrikokeiden ajovastuksina (dynamometrin asetusarvoina) ns. taulukkoarvoja, jotka on valittu auton vertailumassan (ilmoitettu omamassa) ja sitä vastaavaan hitausmassaluokan perusteella (ohje 96/44/EEC). Käytetyt ajovastukset näkyvät oheisessa taulukossa 3.

Taulukko 3. Henkilöautojen dynamometrikokeissa käytetyt ajovastukset.

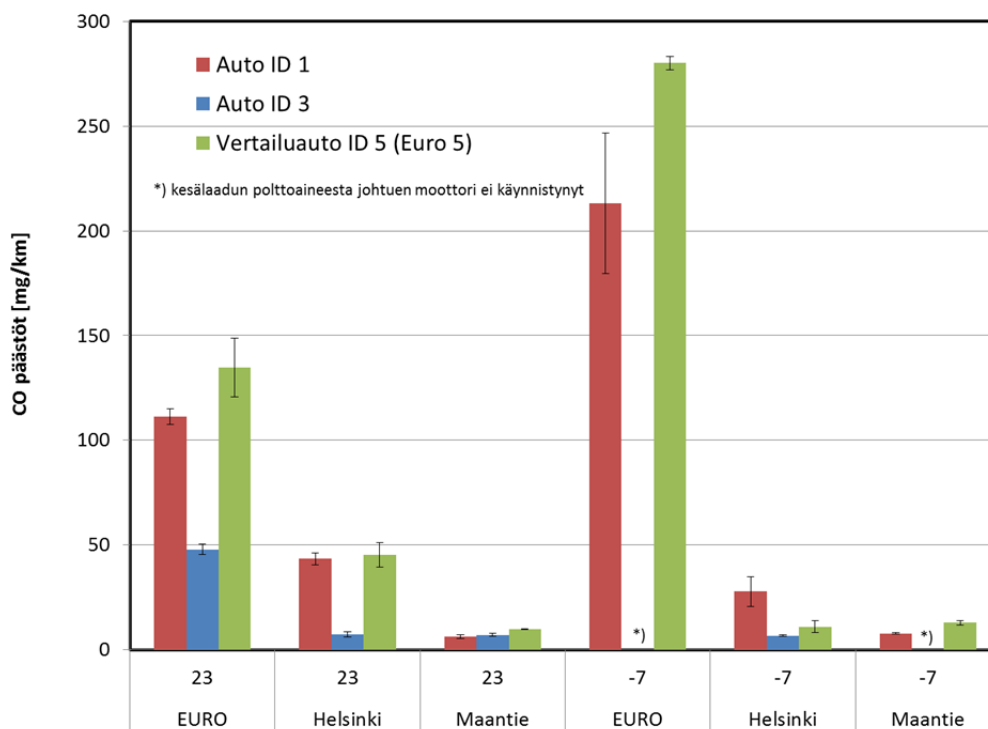
Ajoneuvo ID	Valmistaja	Mallisarja	Vuosim.	Inertia	F0	F1	F2	Oma-massa (kg) ilmoitettu
1	A	A	2014	1590	7	0	0.0515	1570
2	A	A	2014	1360	7	0	0.0481	1395
3	B	C	2014	1700	8	0	0.0536	1635
4	B	C	2014	1590	7	0	0.0515	1583
5	A	B	2014	1470	7	0	0.0502	1425

Tässä yhteydessä katsottiin taulukkovastusten olevan riittävän edustavia eikä näin ollen tehty vaihtoehtoisia rullauskokeita maantiellä tai dynamometrillä, koska vuodenajasta ja sääolosuhteista johtuen ne eivät olisi antaneet luotettavia tuloksia.

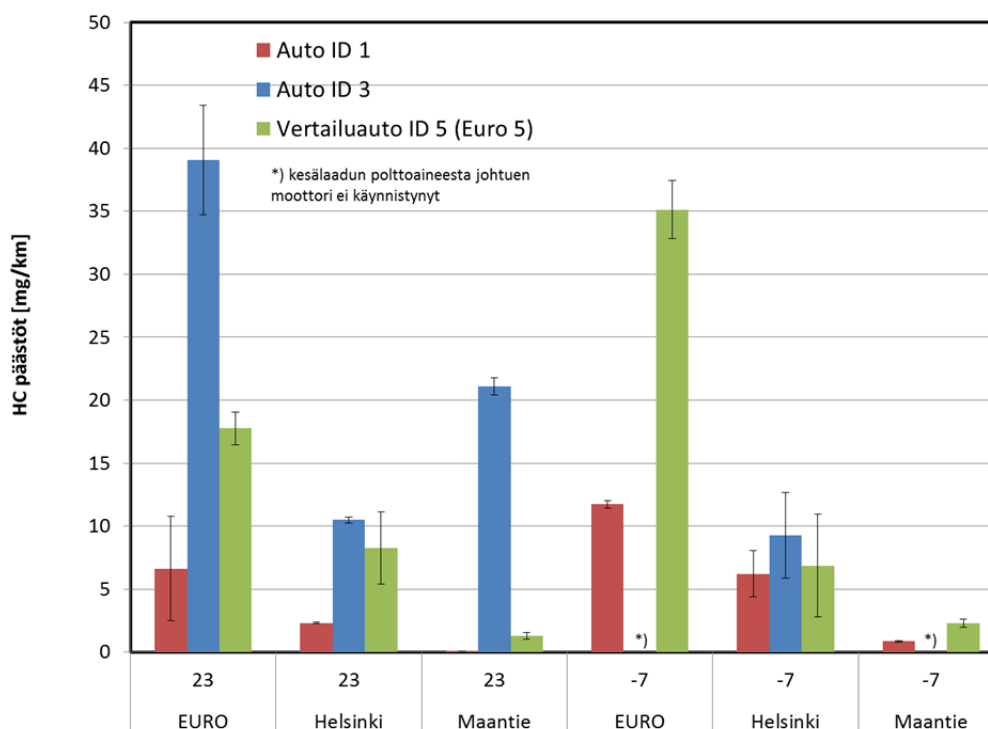
2.6 Tulokset

Oheiset tulokset on laskettu kahden toistomittauksen keskiarvona. Kuten jo todettiin, yksi ajoneuvoista (ID 3) ei suoriutunut kaikista -7 °C:n lämpötilassa tehdyistä mittauksista ilman käyntihäiriöitä, joten tämän ajoneuvon osalta NEDC- ja maantiesyklien testitulokset (-7 °C) puuttuvat.

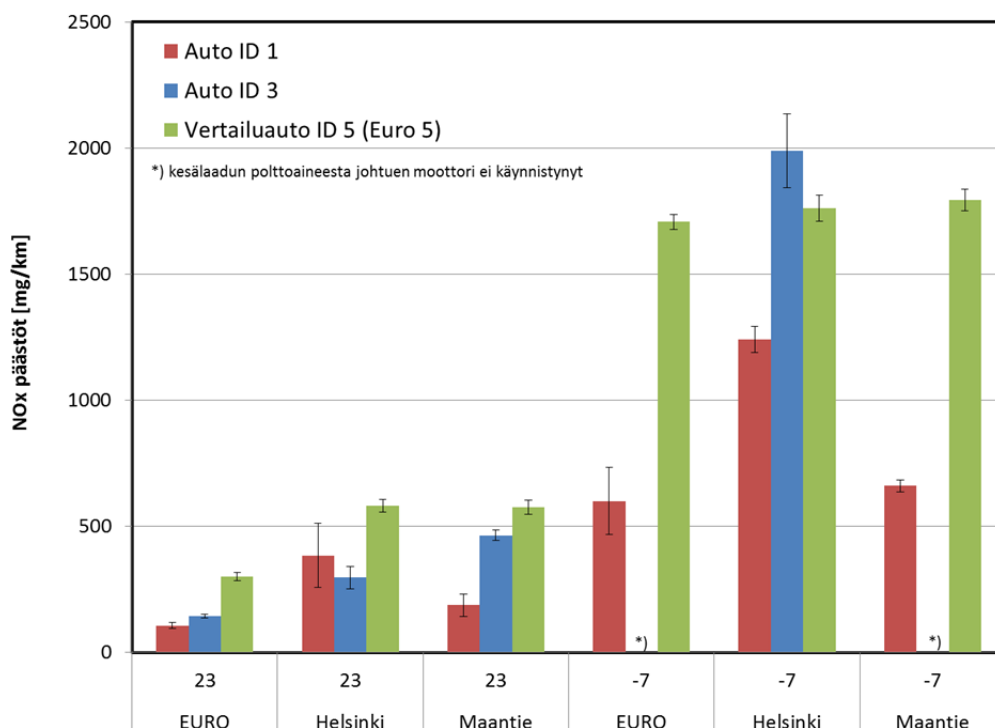
Kuvioissa 1–6 on esitetty dieselpolttoisten henkilöautojen mittaustulokset sekä mitatut polttoaineen kulutustiedot. Kuvioissa 7–12 on esitetty bensiinikäyttöisten henkilöautojen mittaustulokset sekä mitatut polttoaineen kulutustiedot.



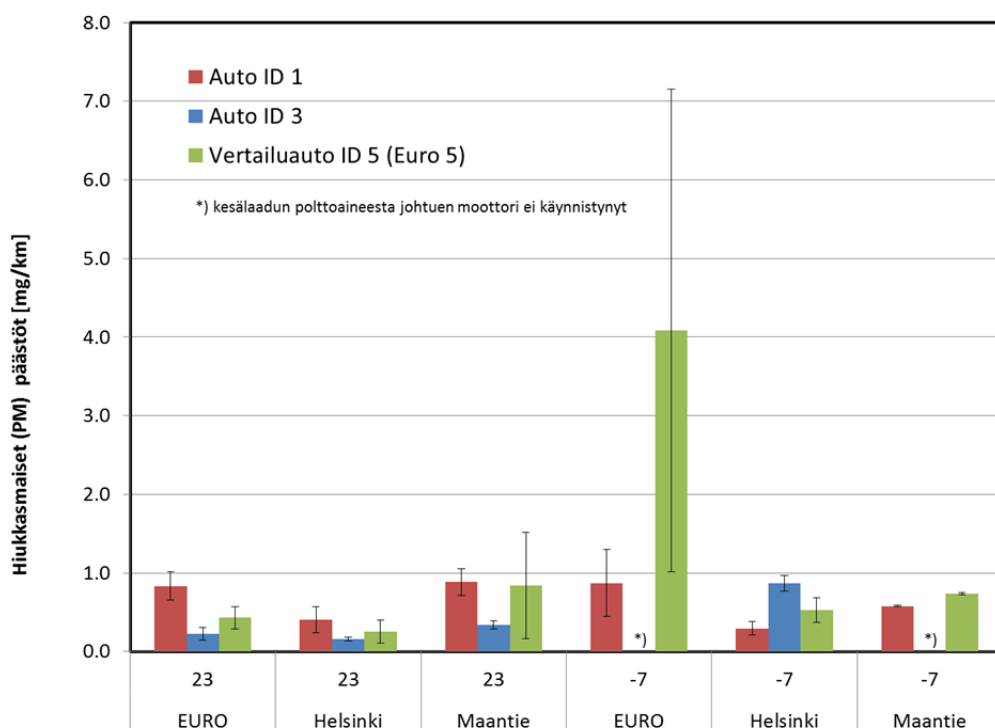
Kuvio 1. Henkilöautojen (diesel) hiilimonoksidipäästöt (CO) eri ajosykleissä ja lämpötiloissa.



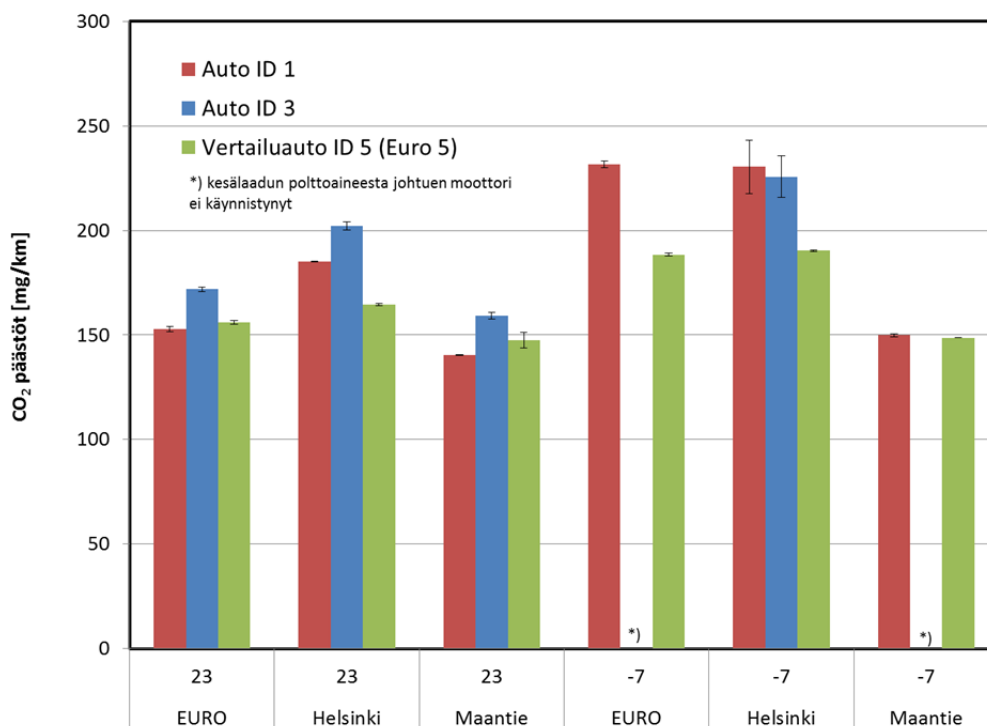
Kuvio 2. Henkilöautojen (diesel) palamattomien hiilivetyjen (HC) päästöt eri ajosykleissä ja lämpötiloissa.



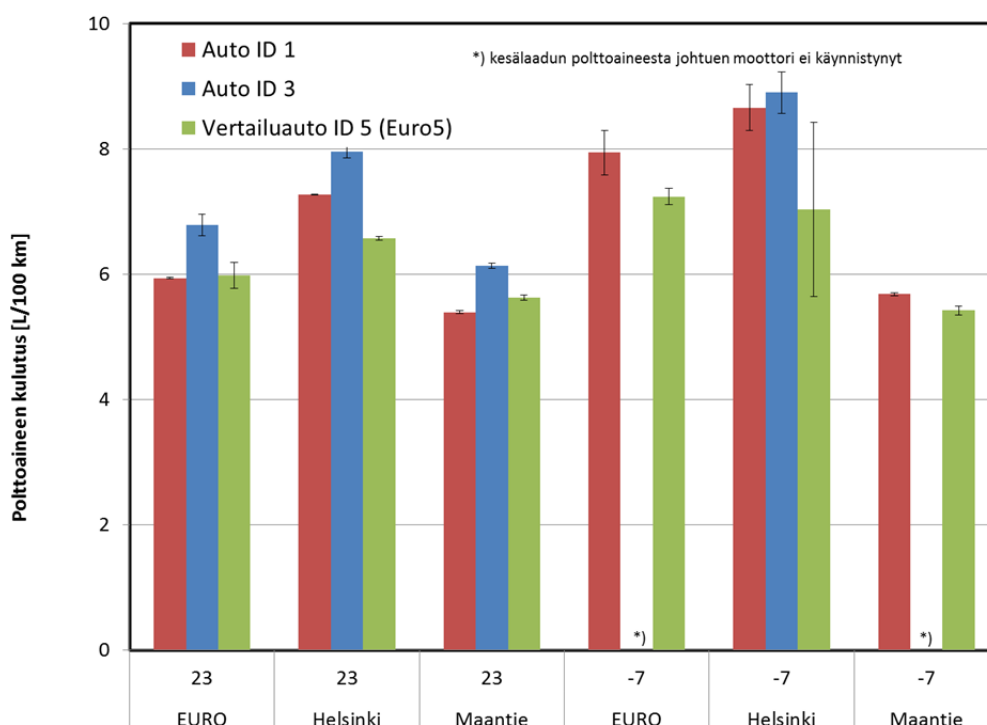
Kuvio 3. Henkilöautojen (diesel) typenoksidipäästöt (NO_x) eri ajosykleissä ja lämpötiloissa.



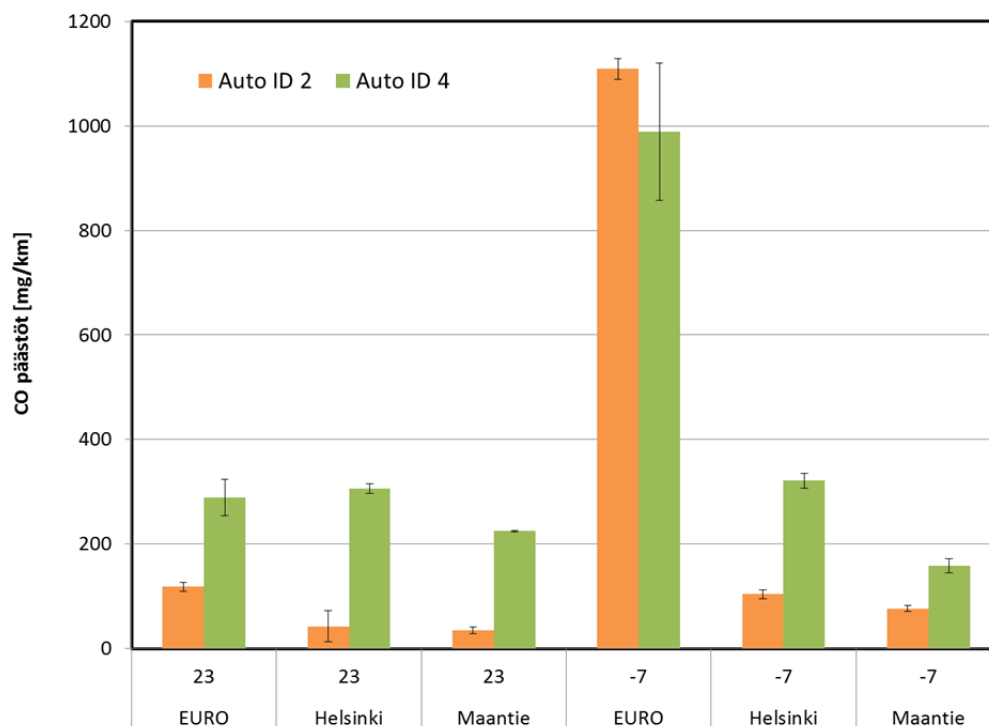
Kuvio 4. Henkilöautojen (diesel) hiukkasmaiset päästöt (PM) eri ajosykleissä ja lämpötiloissa.



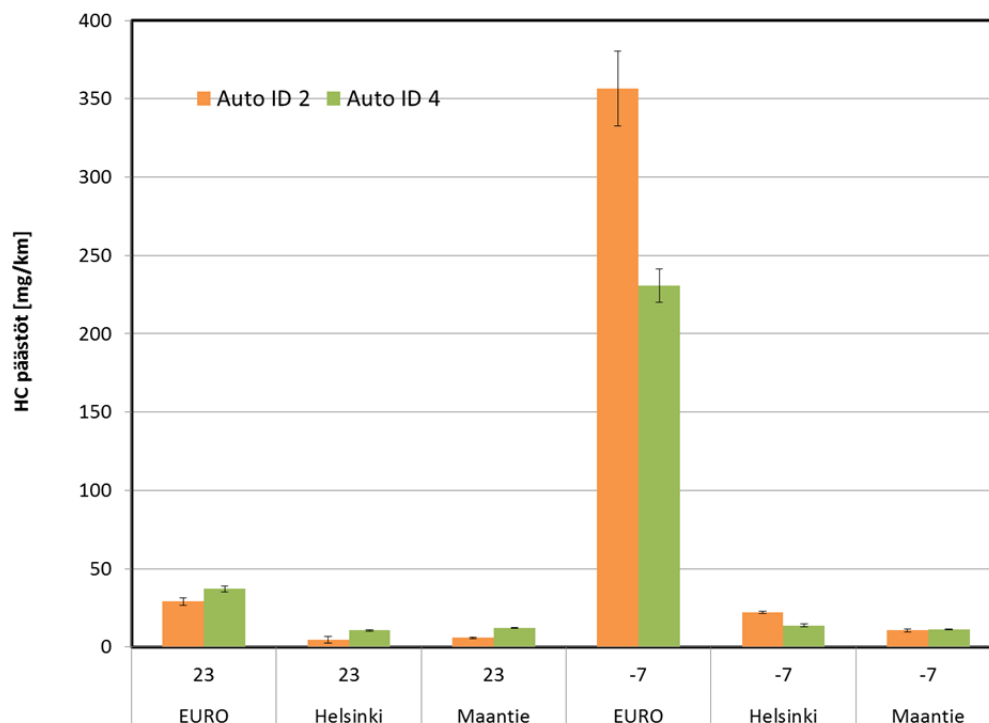
Kuvio 5. Henkilöautojen (diesel) hiilidioksidipäästöt (CO₂) eri ajosykleissä ja lämpötiloissa.



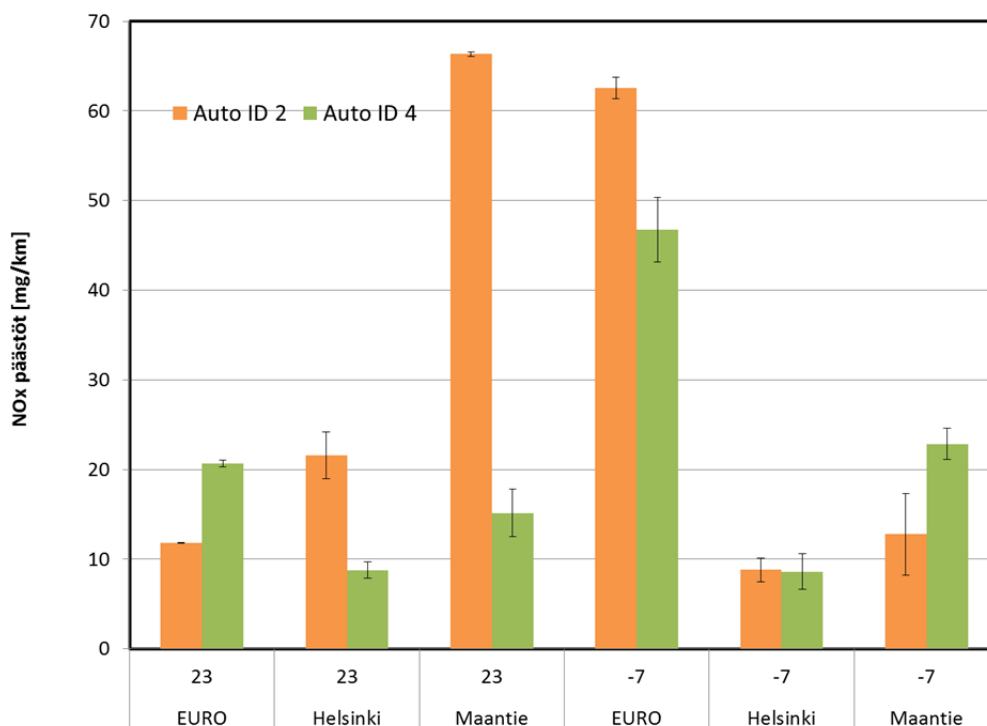
Kuvio 6. Henkilöautojen (diesel) polttoaineen kulutus eri ajosykleissä ja lämpötiloissa.



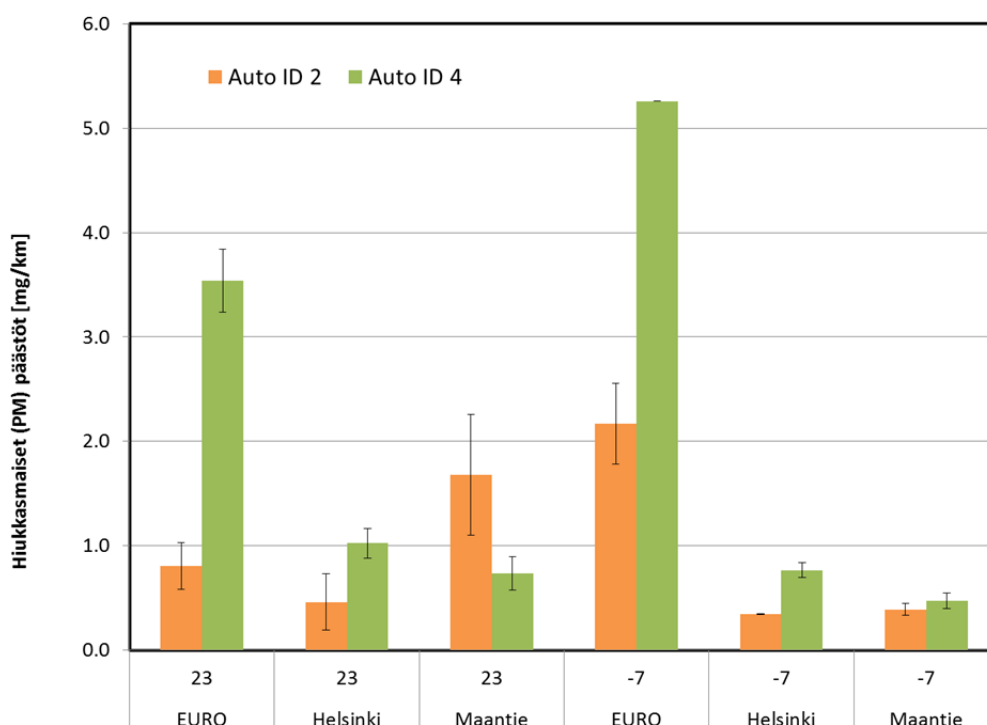
Kuvio 7. Henkilöautojen (benssiini) hiilimonoksidipäästöt (CO) eri ajosykleissä ja lämpötiloissa.



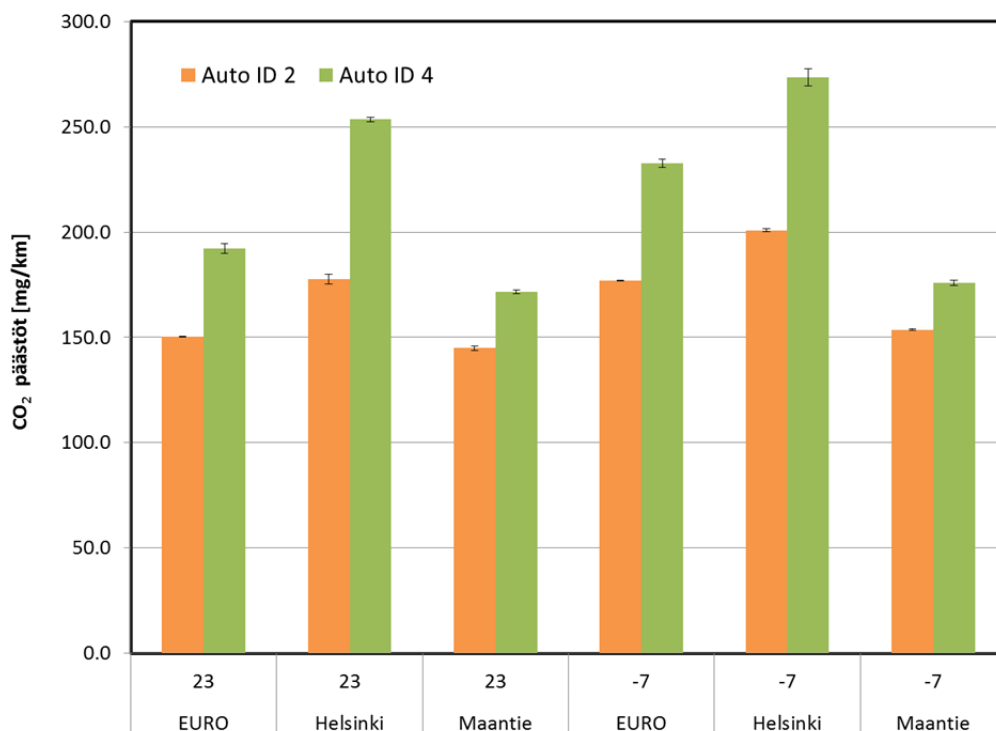
Kuvio 8. Henkilöautojen (benssiini) palamattomien hiilivetyjen (HC) päästöt eri ajosykleissä ja lämpötiloissa.



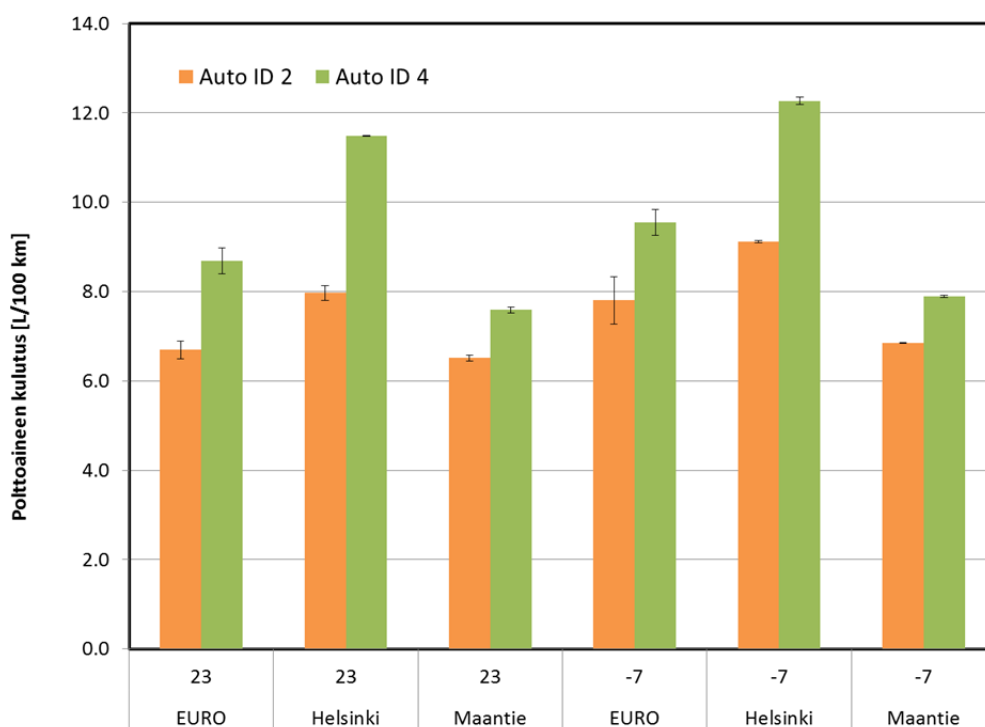
Kuvio 9. Henkilöautojen (benssiini) typenoksidipäästöt (NO_x) eri ajosykleissä ja lämpötiloissa.



Kuvio 10. Henkilöautojen (benssiini) hiukkasmaiset päästöt (PM) eri ajosykleissä ja lämpötiloissa.



Kuvio 11. Henkilöautojen (benssiini) hiilidioksidipäästöt (CO₂) eri ajosykleissä ja lämpötiloissa.



Kuvio 12. Henkilöautojen (benssiini) polttoaineen kulutus eri ajosykleissä ja lämpötiloissa.

2.7 Tulosten tarkastelu

Tarkasteltaessa tuloksien luotettavuutta huomio kiinnittyy eräiden päästöjen sekä auto/ajosykli/lämpötilayhdistelmien kohdalla havaittuihin varsin suuriin poikkeamiin kahden identtisen kokeen välillä.

Käyttövoimasta riippumatta suhteellisesti suurimmat poikkeamat esiintyivät hiukkasmassan (PM) kohdalla. Dieselautoissa erot olivat keskimäärin noin ± 30 % ja bensiinikäyttöisissä vajaa ± 20 %, vaikka suurin yksittäinen ero (± 58 %) havaittiinkin bensiinikäyttöisessä autossa. Tämä on hyvin ymmärrettävää, sillä varsinkin nykyisten dieselmoottoriautojen hiukkaspäästöt ovat niin pienet, että mittausmenetelmän erottelukyky on jo koetuksella. Siksi uusimmille Euro 5b/Euro 6 autoille onkin määritelty uusi, entistä vähän tarkempi mittaustapa. VTT:n nykyisellä laitteistolla sen mukainen määrittäminen ei ole mahdollista, mutta tulevan vuoden aikana laitteistoa päivitetään Euro 6-yhteensopivaksi.

Lähes samaa luokkaa (noin ± 20 %) oli hajonta dieselautojen kokonaishiilivetypäästöissä (THC), etenkin -7 °C lämpötilassa (± 26 %). Bensiinikäyttöisissä vuorostaan hiilimonoksidin (CO) kohdalla esiintyi likimain vastaavan suuruisia eroja, hiilivetypäästöjen erojen ollessa taas likimain samanlaista kuin dieselautojen hiilimonoksidituloksissa.

Typen oksidien osalta erot toistojen välillä olivat keskimäärin noin ± 10 % molemmilla käyttövoimavaihtoehtoilla. Parhaiten toistettavaa oli hiilidioksidipäästöjen (CO₂) mittaaminen, jossa erot olivat kaikissa tapauksissa noin ± 1 %, useissa tapauksissa jopa sitä pienempiä.

Tämän tarkastelun perusteella luotettavimpina voidaan pitää hiilidioksidin tuloksia ja eniten epävarmuutta esiintyi hiukkasmassan kohdalla. Koska koeautojen otanta oli kuitenkin hyvin pieni, vain 2+1 diesel, ja 2 bensiinikäyttöistä autoa, on vaikea arvioida, miten edustavia nyt mittauksiin valittujen autojen päästötulokset ovat koko viiteryhmäänsä nähden.

2.8 Johtopäätökset

2.8.1 Diesikäyttöiset henkilöautot

Diesikäyttöisissä henkilöautoissa esiintyi CO- ja HC-päästöissä varsin selkeä riippuvuus käytetystä ajosyklistä. Kaikkien kolmen auton kohdalla suurimmat päästöarvot (g/km) mitattiin NEDC-syklissä ja vastaavasti yhtä poikkeusta lukuun ottamatta maantieajo tuotti pienimmät päästöt. Lämpötilalla oli myös selkeä, positiivinen päästöjä lisäävä vaikutus kylmäkäynnistetyssä NEDC-syklissä, mutta lämpimällä moottorilla aloitettavien syklien kohdalla vaikutus oli ymmärrettävästi varsin pieni.

Typen oksidien (NO_x) kohdalla ajosykliillä oli vastakkainen vaikutus; pienin tulos saavutettiin NEDC-syklissä, ja noin 2-3 kertaa korkeammat tulokset Helsinki- tai maantiesyklissä. Tämä lienee seurausta EURO-testien kylmäkäynnistykseen raakapäästöä vähentävästä vaikutuksesta (käänteinen CO & HC päästöihin nähden), mutta myös siitä tosiseikasta, että EURO-testin NEDC-sykli on keskiarvoitusajon ja myös dynamiikaltaan varsin maltillinen, jolloin typenoksidien tuotto on kohtuullista ja puhdistusjärjestelmä toimii tehokkaasti. Sen sijaan Helsinki-syklissä dynamiikka (kiihdytykset ja hidastukset) ovat paljon voimakkaampia ja maantieajossa keskiteho ja -kuormitus paljon suurempia. Molemmat myötävaikuttavat suurempiin typenoksidipäästöihin. Hiukkasmassapäästöjen (PM) osalta yleistaso oli niin matala, että erot eri syklien ja lämpötilojen välillä olivat käytännössä merkityksettömiä, vaikka Euro 5-tason vertailuauto tuottikin kylmässä (-7 °C) kylmäkäynnistetyssä EURO-testissä poikkeavan suuret päästöt. Kyseessä lienee kuitenkin jonkinlainen toimintahäiriö, sillä toistojen välillä oli huikea, ± 75 % eroavuus, sillä ensimmäinen tulos oli vähän yli 1 mg/km – samaa suuruusluokkaa useimpien muiden autojen ja syklien kanssa – kun taas jälkimmäisessä kokeessa mitattiin yli 7 mg/km päästö. Samalla autolla lämpimässä ajetussa maantiesyklissä havaittiin vielä tätäkin suurempi ero (± 80 %) kahden ajon välillä. Jälkimmäisen kokeen hyvin matalaan

päästöön lieenee myötävaikuttanut edellisessä maantiesyklikokeessa tapahtunut regeneraatio, jonka takia ajo uusittiin.

Hiilidioksidipäästöjen - ja luonnollisesti myös polttoaineen kulutuksen suhteen – autojen välillä ei ollut kovin suuria eroja. Etenkin NEDC-sykliissä, mutta jonkin verran myös Helsinki-sykliissä oli havaittavissa noin 15 – 30 % suurempi päästö ja kulutus alemmassa lämpötilassa suoritettujen mittausten tuloksissa.

2.8.2 Bensiinikäyttöiset henkilöautot

Molemmissa bensiinikäyttöisissä autoissa hiilimonoksidin (CO) päästöt olivat selkeästi – ja aivan odotetusti – kaikkein suurimmat kylmässä koelämpötilassa (-7 °C) kylmäkäynnistetyssä EURO-testissä. Sama havainto päti myös hiilivetyypäästöihin (HC). Autojen välillä oli selkeä ero hiilimonoksidipäästöissä, mutta hiilivetyypäästöjen suhteen tulokset olivat tasaisempia eri koetilanteiden välillä.

Myös typen oksidien päästöjen (NO_x) osalta molemmat autot tuottivat suuret päästöt kylmässä koelämpötilassa (-7 °C) kylmäkäynnistetyssä EURO-testissä, mutta toiselle autoista (ID2) mitattiin vielä tätä suuremmat päästöt maantieajossa. Kun ero toistokokeiden välillä oli myös erittäin pieni, voidaan tulosta pitää varsin luotettavana. Ero toiseen bensiinikäyttöiseen autoon (ID4) oli melkein 80 %.

Yhtä poikkeusta lukuun ottamatta myös hiukkasmassan (PM) päästöt olivat toisessa (ID4) autossa selvästi korkeammat kuin verrokissa (ID2). Periaatteessa molemmat olivat turboahdettuja ja suoraruiskutteisia, mutta ID4 autossa moottori oli iskutilavuudeltaan 25 % suurempi, ja niin muodoin myös tehokkaampi. Tällä voi olla merkitystä päästöjen kannalta.

Hiilidioksidipäästöissä ja niin muodoin myös polttoaineen kulutuksessa kahden mitatun bensiinikäyttöisen auton välillä oli selkeä ero. Maantieajoa lukuun ottamatta pienimoottorisempi (ID2) kulutti noin 20 – 25 % vähemmän kuin vertailupari (ID4). Autojen omamassoissa oli myös selkeä noin 15 % ero pienitehoisemman hyväksi. Kaupunkiajosykleissä tällä on suuri merkitys.

2.8.3 Vertailu diesel vs. bensiinikäyttöiset

Jos verrataan keskimääräisiä ominaispäästöjä (g/km) nyt mitattujen Euro 6-tasoisten diesel- ja bensiinikäyttöisten autojen välillä, niin havaitaan että häkäpäästöt ovat dieselautoissa keskimäärin (kaikki syklit ja molemmat lämpötilat) vain noin 15 % bensiinikäyttöisten autojen vastaavista, ja hiilivetyypäästötkin ovat keskimäärin noin puolet (50 %) pienemmät. Hiukkaspäästöissä ero on noin 40 % dieselien hyväksi. Hieman yllättäen dieselkäyttöisten kulutus ja hiilidioksidipäästöt olivat vain keskimäärin 3 % pienemmät kuin bensiinikäyttöisten.

Siitä huolimatta, että uusien Euro 6 -dieselautojen typen oksidien raja-arvo (80 mg/km) on lähes sama kuin bensiinikäyttöisten (60 mg/km), ja vaikka tutkitut dieselautot pääsivät normikokeessa EURO@+23 °C hyvin lähelle raja-arvoa, on vertailupareille lasketuissa keskimääräisissä typen oksidien päästöissä huikkea ero: dieselautojen keskimääräiset tulokset eri sykleissä ja lämpötiloissa ovat noin 4,5 kertaa suuremmat kuin bensiinikäyttöisissä. Dieselautojen typen oksidien puhdistamisessa on siis vielä paljon kehittämisen varaa, varsinkin jos tarkasteluun otetaan huomattavat erot typpidioksidin (NO₂) osuudesta, jota käsitellään liitteessä 1.

3. Raskaiden ajoneuvojen mittaukset

3.1 Tavoite

VTT raskaan kaluston tutkimuksessa painotus on nyt uudessa Euro VI -hyväksytyssä kalustossa, kevyessä kuljetuskalustossa sekä vaihtoehtoisissa teknologioissa. Vuoden 2014 toteutetuissa mittauksissa laajennettiin Euro VI -kuorma-autokaluston tulosjoukkoa yhden uuden auton mittauksilla. Lisäksi jo aiemmin mitattujen ajoneuvojen tuloksia tarkasteltiin litraa per tonni-kilometri näkökulmasta. Uusien ajoneuvojen päästöjä tarkastellaan myös suhteessa moottorin työmäärään, samaan tapaan kuten tyyppihyväksyntätesteissä.

3.2 Ajoneuvomittaukset

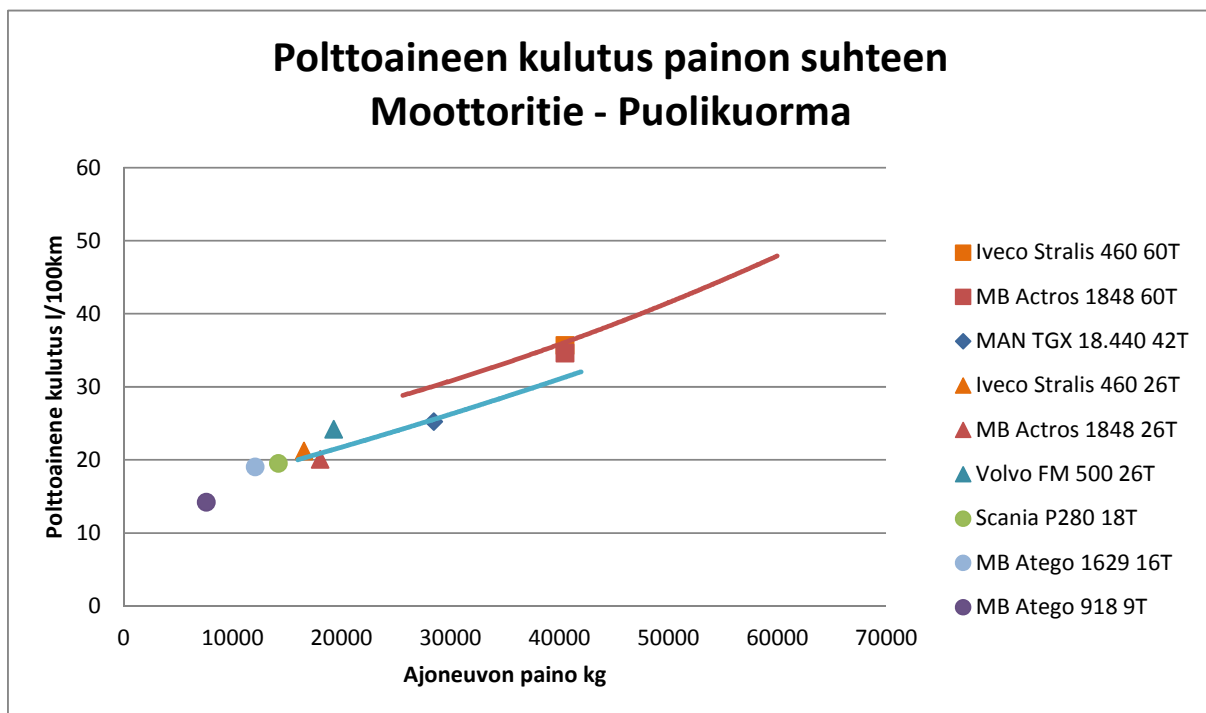
Uusin lisäys VTT raskaan kaluston Euro VI -ajoneuvojen mittaussarjaan oli loppuvuodesta 2014 mitattu Iveco Stralis 60 t vetoauto. Ajoneuvo mitattiin kahdessa ajoneuvoluokassa; 60 tonnin yhdistelmänä moottoriteajosuoritteessa ja 26 tonnin jakeluajoneuvona sekä jakeluetä moottoriteajosuoritteessa. Kaikki tässä raportissa esitetyt ajoneuvot on yksilöity taulukossa 4.

Taulukko 4. Raskaiden ajoneuvojen erittely

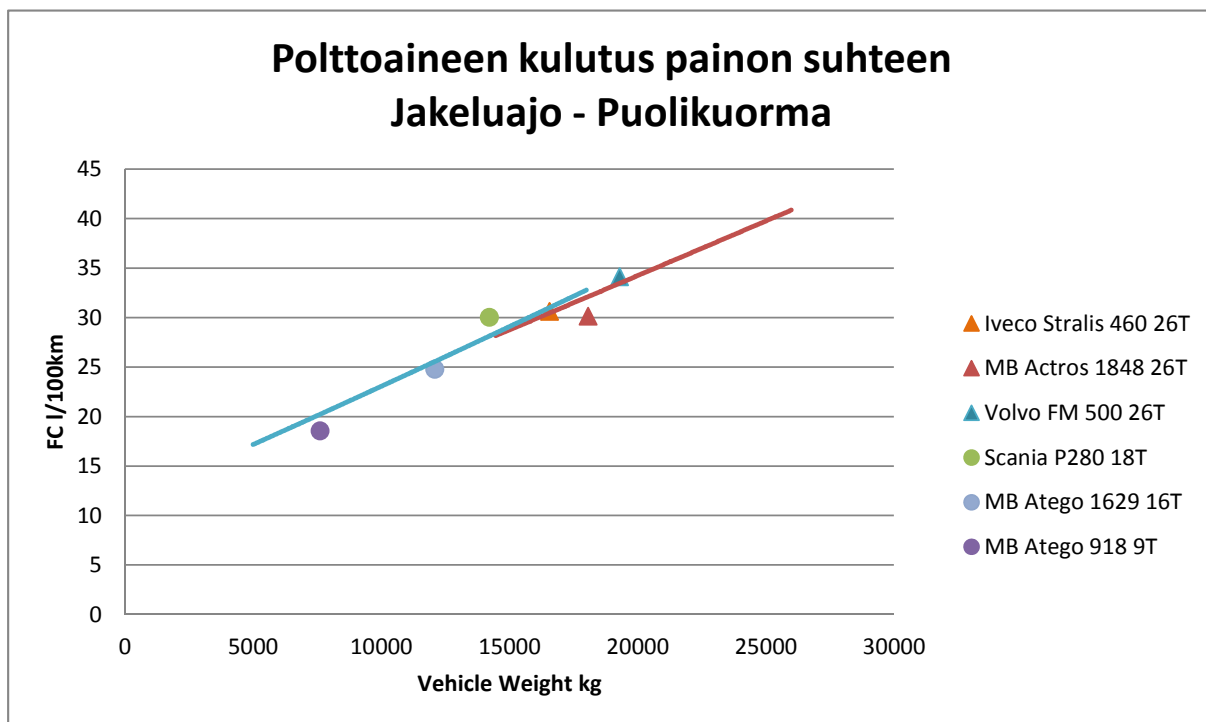
Merkki	Malli	Painoluokka	Mallivuosi	Kilometri	Älkikäsittely	Euro-luokka
Iveco	Stralis 460	60T	2014	1481	SCR	Euro VI
MB	Actros 1848	60T	2012	106162	SCR	Euro VI
MAN	TGX 18.440	42T	2013	14263	SCR	Euro VI
Iveco	Stralis 460	26T	2014	731	SCR	Euro VI
MB	Actros 1848	26T	2012	105903	SCR	Euro VI
Volvo	FM 500	26T	2013	8209	SCR	Euro VI
Scania	P280	18T	2012	3290	EGR	Euro VI
MB	Atego 1629	16T	2012	9627	EGR	Euro V
MB	Atego 918	9T	2012	15494	SCR	Euro V

3.3 Polttoaineen kulutus

Kuviossa 13 on esitetty ajoneuvon litramääräinen polttoaineen kulutus suhteessa muihin Euro VI -ajoneuvoihin moottoriteajosuoritteessa (60 t ja 26 t) ja kuviossa 14 jakeluajosuoritteessa (26 t). Kuviossa 13 esitetään myös 60 tonnisten auton ja varsinaisen perävaunuyhdistelmien sekä 42 tonnisten puoliperävaunuyhdistelmien keskimääräiset kulutuskäyrät vertailuarvona. Vastaavasti kuviossa 14 esitetään vertailukohtana 26 tonnisten, kolmiakselisten jakeluajoneuvojen sekä 18 tonnisten, kaksiakselisten ajoneuvojen keskimääräiset kulutuskäyrät vertailuarvoina. Kaikki keskimääräiset kulutuskäyrät ovat Euro V -ajoneuvojen tuloksista johdettuja keskiarvoja.



Kuvio 13. Litramääräinen kulutus moottoritieajosuoritteessa.



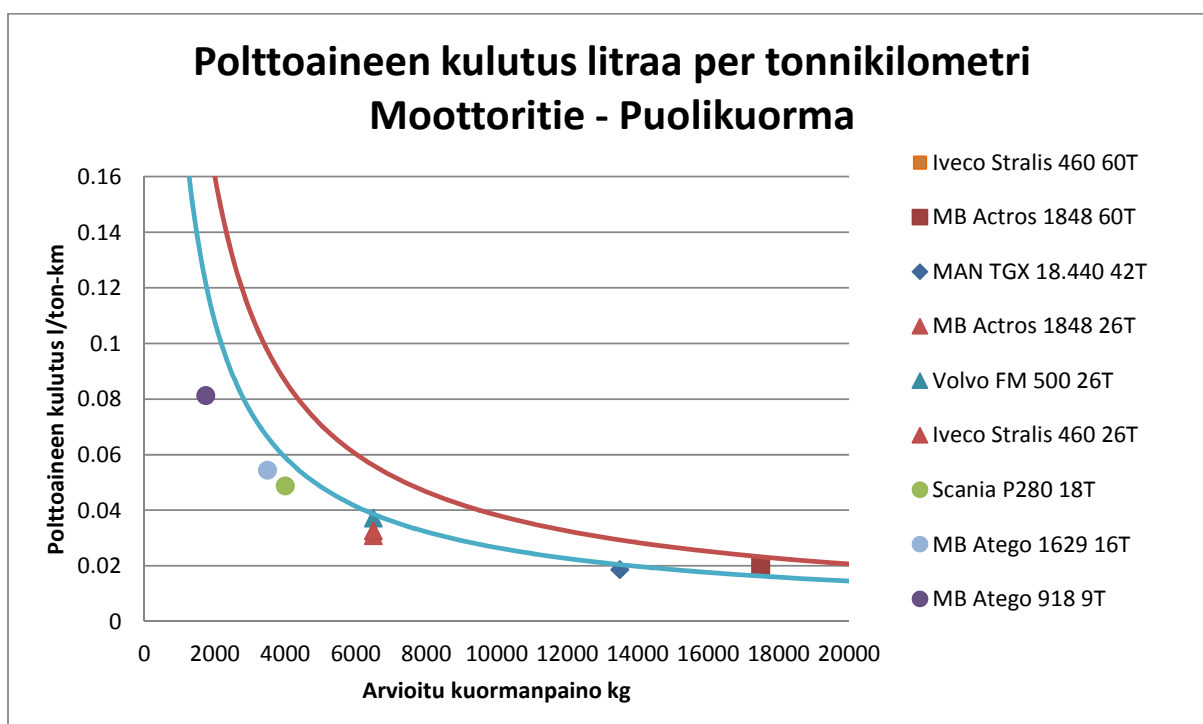
Kuvio 14. Litramääräinen kulutus aluejakeluajosuoritteessa.

Moottoritieajosuoritteessa Euro VI ajoneuvojen tulokset ovat yhdenmukaiset Euro V-autojen tulosten kanssa. Euro VI -ajoneuvojen kohdalla ei siis nähdä nousua polttoaineen kulutuksessa. Tuloksista nähdään myös MB Actros 1848 ajoneuvon keskimääräistä pienempi kulutus (-4 %). Iveco Stralis 460 -ajoneuvon tulos ei puolestaan poikkea Euro V -tasosta.

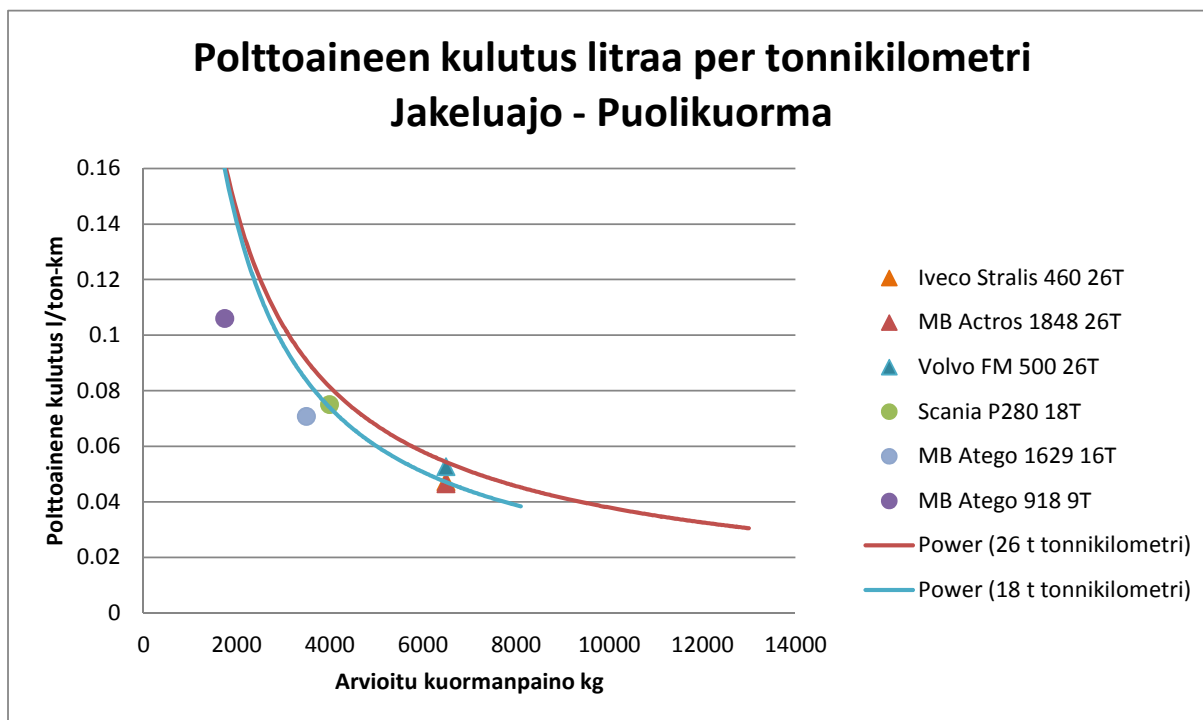
Kolmiakselisten jakeluajoneuvojen suhteen nähdään moottoritieajosuoritteessa sekä aluejakeluajosuoritteessa yhtäläillä MB Actros 1848 ajoneuvon osalta (26 t) pienempi polttoaineen kulutustulos. Ajoneuvo suoriutuu myös jakeluajosuoritteessa selvästi Euro V -keskitasoa paremmin (-6 %). Myös tässä ajoneuvoluokassa Iveco Stralis 460 -ajoneuvo kuluttaa polttoainetta Euro V -keskitason mukaan.

3.4 Hyötykuormaan suhteutettu kulutus

Pelkkä litramääräisen kulutuksen tarkastelu ei kuitenkaan riitä vertailemaan eri painoluokan ajoneuvojen suorituskykyä keskenään. Kuvioissa 15 ja 16 tarkastellaan ajoneuvojen tonnikilometri kulutusta suhteessa keskimääräiseen hyötykuormaan. Hyötykuormaan suhteutetut kulutustulokset peilaavat matkaan suhteutettuja tuloksia, mutta hyötykuormaan suhteutettuna voidaan havaita todellinen suorituskyky eroavaisuus painoluokkien välillä.



Kuvio 15. Tonni-kilometri polttoaineen kulutus moottoritieajosuoritteessa.



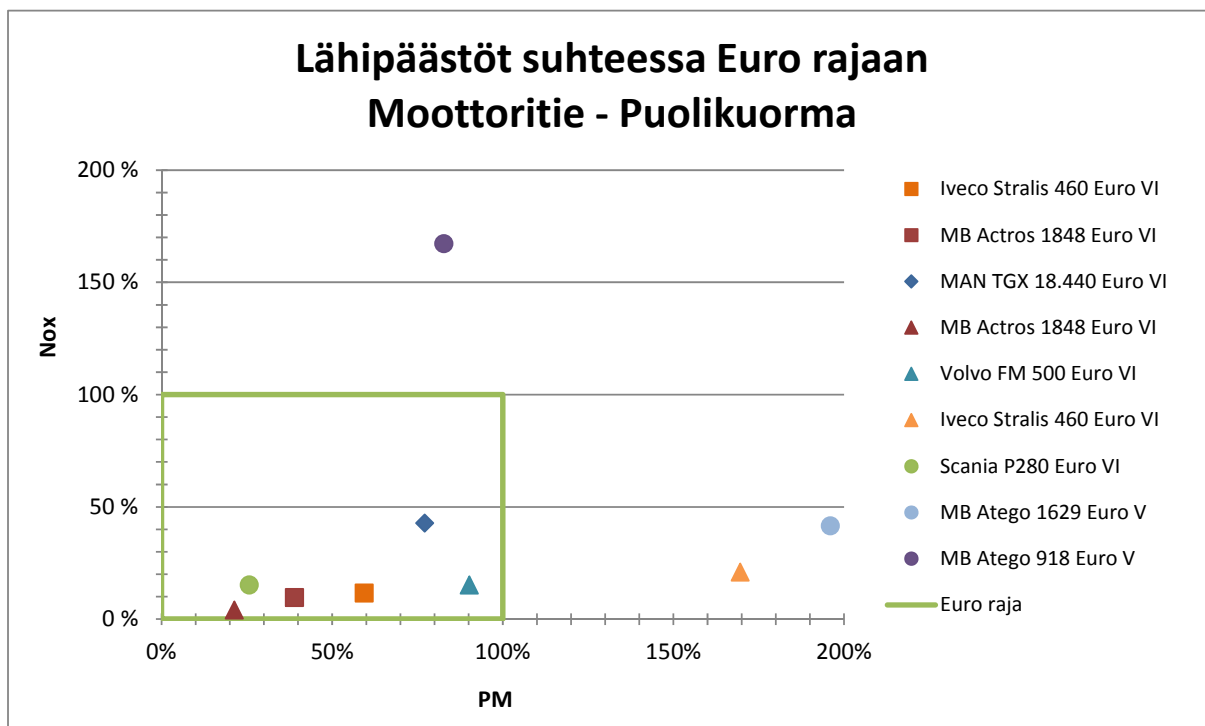
Kuvio 16. Tonni-kilometri polttoaineen kulutus aluejakeluajosuoritteessa.

Ensisijainen huomio hyötykuorman suhteutetuista kulutustuloksista on luonnollisesti ajoneuvoluokkien keskinäinen energian kulutus. Painoluokan alentuessa havaitaan ajoneuvojen hyötykuormana suhteutetun kulutuksen laskevan. Moottoritieajosuoritteessa mittavin ero havaitaan raskaimpien ajoneuvojen osalta. Tulokset osoittavat että kevyempi kuljetuskalusto on energiatehokkaampi vaihtoehto aina maksimihyötykuormaan asti. Erityisesti hyvin pienillä kuormilla kevyemmän kaluston käyttö on suositeltavaa.

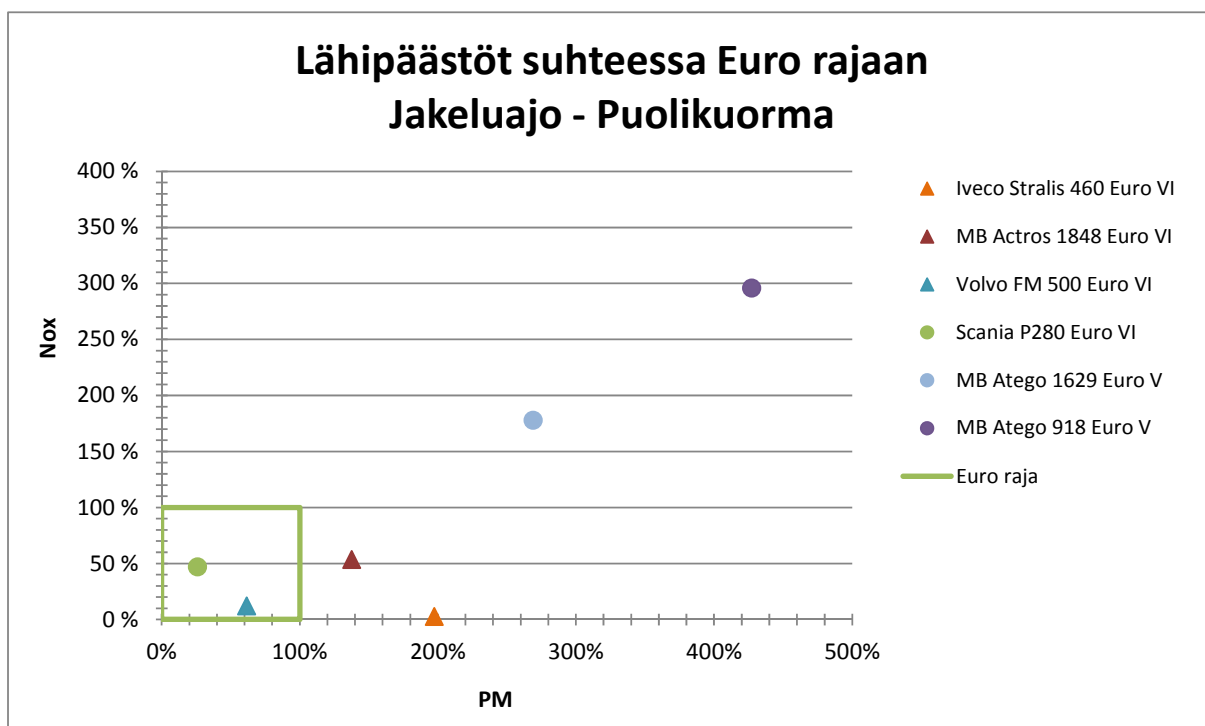
Aluejakeluajosuoritteessa havaitaan sama ilmiö kuin moottoritieajosuoritteessa; kevyempi ajoneuvokalusto on energiatehokkaampi kuljetusmuoto maksimihyötykuormaansa asti. M-B Atego 1629 (16 t) jakeluajoneuvon kulutus puolenkuorman hyötykuormalla (3500 kg) on vähän pienempi (-3 %), kun taas M-B Atego 918 (9 t) jakeluajoneuvon kulutus puolenkuorman hyötykuormalla (1750 kg) on jo huomattavasti pienempi (-39 %) verrattuna 18 tonnisten jakeluajoneuvojen keskiarvoon vastaavissa kuormapisteissä.

3.5 Päästöt

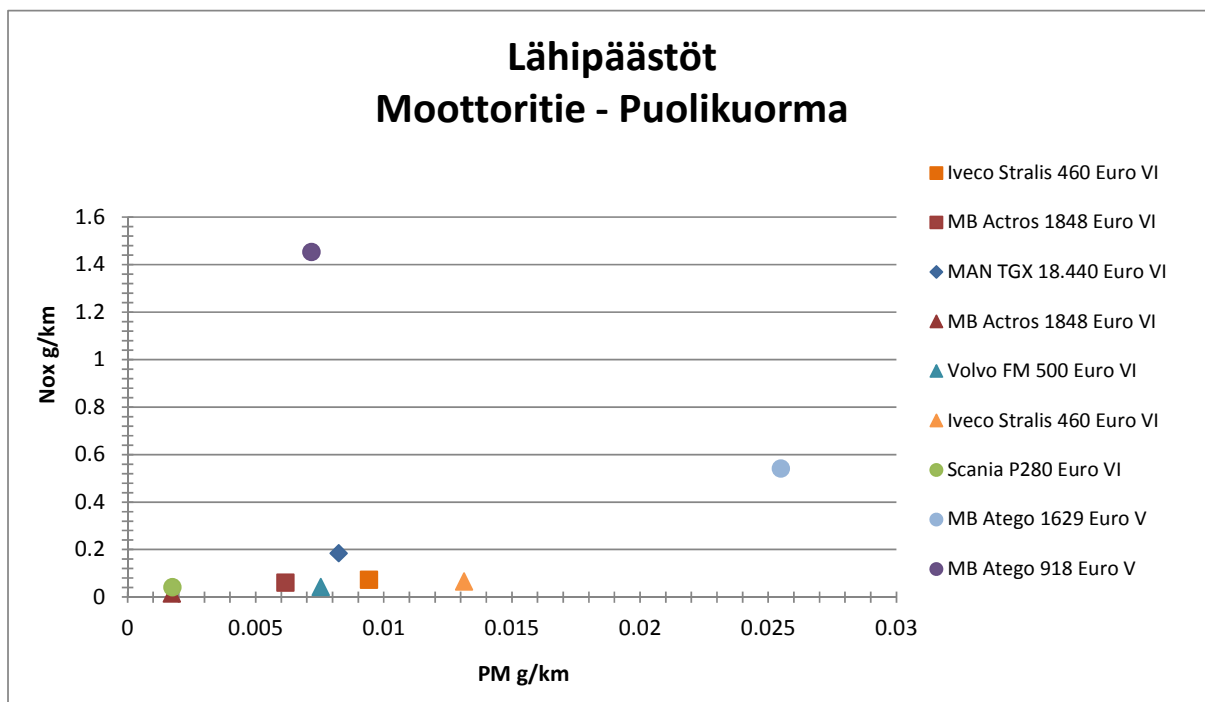
Päästöjen osalta Euro VI -ajoneuvojen suorituskyky voidaan todeta hyväksi. Kuvioissa 17 ja 18 on esitetty nyt tutkittujen ajoneuvojenmoottorin työmäärään suhteutettujen päästöjen suhde Euro-luokkakohtaisiin raja-arvoihin. Suhteutus on toteutettu arvioimalla ajoneuvojen keskimääräiseksi voimansiirtohäviöksi 20 % ja laskemalla moottorin tekemä työmäärä mitattujen vetopyörätyömäärien mukaisesti. Lisäksi kuvioissa 19 ja 20 on esitetty kilometrikohtaiset päästötulokset.



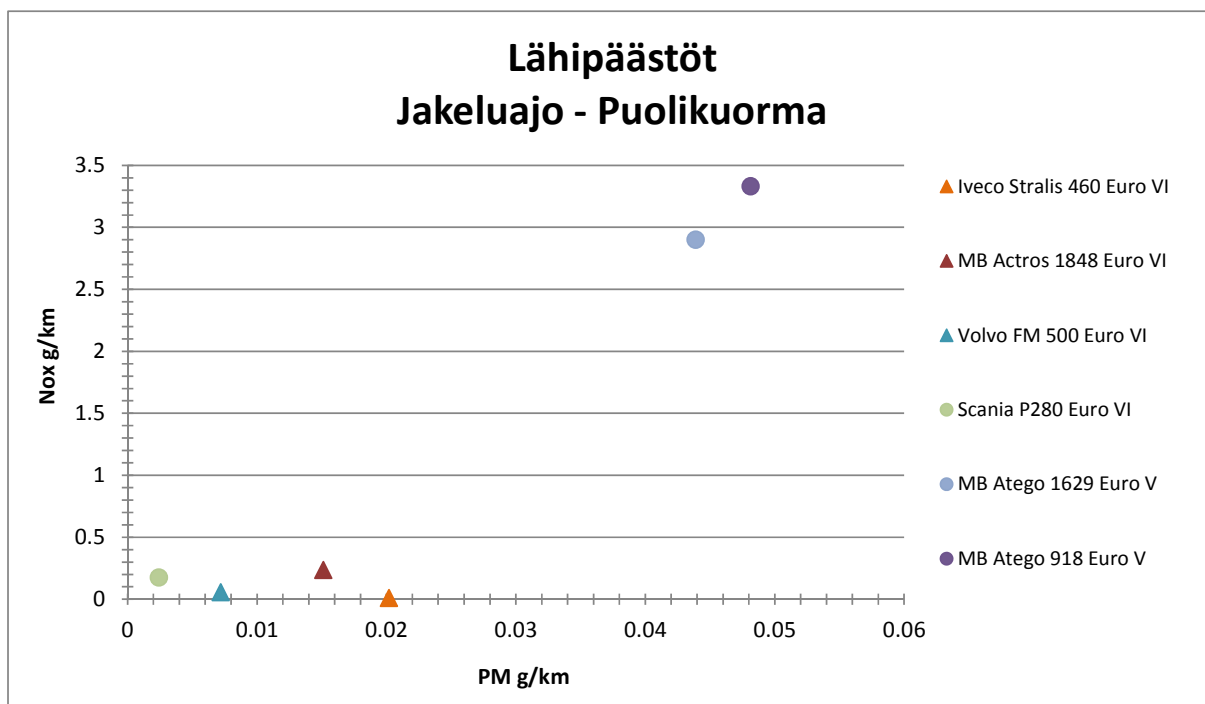
Kuvio 17. Moottorin työmäärään suhteutetut lähipäästöt moottoritieajosuoritteessa.



Kuvio 18. Moottorin työmäärään suhteutetut lähipäästöt aluejakeluajosuoritteessa.



Kuvio 19. Kilometrikohtaiset lähipäästöt moottoritieajosuoritteessa.



Kuvio 20. Kilometrikohtaiset lähipäästöt aluejakeluajosuoritteessa.

Moottoritieajosuoritteessa Euro VI -ajoneuvot suoriutuvat keskimäärin erinomaisesti, ja päästöt ovat niille säädetyissä raja-arvoissa. Iveco Stralis 460 ajoneuvon kohdalla päästöt partikkelimassan osalta kuitenkin nousevat yli Euro VI -raja-arvon (PM +70 %)

Aluejakeluajosuoritteessa Euro VI -ajoneuvot alittavat kevyempien ajoneuvojen osalta edelleen raja-arvot, mutta raskaammassa luokassa ylittävät ne huomattavasti partikkelimassapäästön osalta: Iveco Stralis 460 (PM +98 %) ja MB Actros 1848 (PM: +38 %).

3.6 Johtopäätökset

Euro VI -ajoneuvojen polttoaineen kulutustulokset ovat samalla tasolla Euro V -ajoneuvojen kulutuksen kanssa. Tämä on jossain määrin yllättävää, sillä Euro VI -raja-arvot ovat erittäin tiukat, ja uuden päästörajan oletettiin tuovan haasteita ajoneuvojen kulutuksen osalta. Ensivaikutelma ajoneuvoista kuitenkin on, että niissä yhdistyvät energiatehokkuus sekä ympäristöystävällisyys. Päästöjen osalta Euro VI -ajoneuvot ovat suoriutuneet suurimmilta osilta erinomaisesti.

Iveco Stralis 460 -ajoneuvon osalta havaittiin päästöjen osalta Euro-ajan ylityksiä 26 tonnin kuormituksessa. Moottoritieajosuoritteessa tähän voi olla syynä hiukkassuodattimen regenerointisykli, joita tämän ajoneuvon osalta havaittiin useita mittausten aikana. Mainittakoon vielä, että ajoneuvon täyden kuorman hiukkaspäästöt olivat samalla tasolla kuin mitattu puolen kuorman tulos.

Aluejakeluajosuoritteessa korkeat päästöt voivat osaltaan aiheutua siitä että sekä M-B Actros 1848 että Iveco Stralis 460 ovat rekkavetureita, joiden pääasiallinen työsuorite on moottoritietyyppistä ajoa. Jakeluajoneuvoluokassa (26 tonnia) mittaukset muodostuvat eri ajovastusmallin soveltamisesta näihin ajoneuvoihin. Tällaisen etupäässä maantieajoon tarkoitetun ajoneuvon komponenttien, kuten välityssuhteiden, mitoitus saattaa siis olla epäsopiva jakelutyyppisen ajoon, ja voi osaltaan vaikuttaa lopputuloksiin. Kuten moottoritietuloksista havaitaan, suoriutuvat ajoneuvot varsinaisessa painoluokassaan moitteettomasti.

Aluejakeluajosuoritteessa Euro V -ajoneuvojen päästötulokset ovat moninkertaiset sallittuihin rajoihin nähden, ja ne osoittavat osaltaan kontrastia uuden Euro VI -päästöluokan ja aiempien päästöluokkien välillä. Euro VI -raja-arvoja valvotaan ajoneuvon omalla diagnostikkajärjestelmällä (OBD) tiukemmin kuin edeltäjiään, ja niiden kohdalla onkin havaittu selvä parannus päästöjen osalta verrattuna aiempiin päästöluokkiin.

4. Hiukkaspäästöt kuorma-auton moottorijarrutuksessa

4.1 Tavoite

Aiemmissa tutkimuksissa on havaittu, että ajoneuvon moottorijarrutuksen aikana voi muodostua merkittäviä hiukkaspäästöjä. Ilmiö on havaittu rekan (Euro II) jahtausmittauksissa sekä bensiini- ja dieselhenkilöautojen laboratorio- ja jahtausmittauksissa (Rönkkö et al., 2014; Karjalainen et al., 2014a,b). Tässä projektissa tarkoituksena oli tutkia moottorijarrutuksen aikaisia hiukkaspäästöjä bussilla ja kuorma-autolla tarkkaan kontrolloiduissa laboratorioolosuhteissa raskaan kaluston alustadynamometrillä. Mittauksissa oli tavoitteena havainnollistaa ilmiö ja arvioida sen vaikutusta ajoneuvon kokonaishiukkaspäästöihin. Tämän projektin yhteydessä raportoidaan mittausten suorittaminen ja päätulokset. Koko tulosjoukkoa tullaan jatkossa hyödyntämään tieteellisissä julkaisuissa.

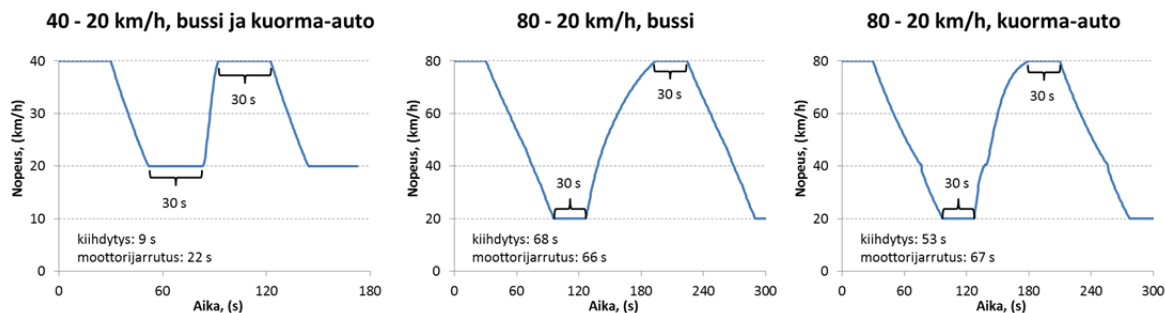
4.2 Mittaukset

Mittaukset jaoteltiin kahteen osaan: hallittuihin vakionopeus-moottorijarrutus –sykleihin sekä todellista ajosuoritetta edustavaan WHVC (World Harmonized Vehicle Cycle) sykliin. Näistä ensimmäisessä oli tarkoitus tutkia moottorijarrutuksen aikaisia hiukkaspäästöjä systemaattisella ajosyklillä, jolloin voidaan selvittää (1) ilmiön toistettavuus, (2) moottorin lämpenemisen vaikutus, (3) kerätä hiukkasia TEM-gridille mikroskooppianalyysiä varten, (4) selvittää hiukkaspäästöt eri ajotilanteissa ja (5) tutkia hiukkasten ominaisuuksia reaaliaikaisilla mittalaitteilla. WHVC-ajosyklillä oli tarkoitus tutkia kuinka suuren osuuden moottorijarrutuksen aikaiset hiukkaset muodostavat ajoneuvon kokonaishiukkaspäästöistä lukumäärän osalta. Mittaukset toteutettiin Taulukon 5 mukaan.

Taulukko 5. Mittausten aikataulu ja kuvaus.

Päivämäärä	Alkuaika	Ajoneuvo	Mittaussykli	Toistot
1.12.	Ajoneuvon asennus, syklien koodaus, laimennussuhteen säätö (kuorma-auto, KA)			
2.12.	9:55	KA	kylmä 40-20 km/h	20
2.12.	10:32	KA	lämmin 40-20 km/h	20
2.12.	11:08	KA	lämmin 40-20 km/h	20
2.12.	12:05	KA	lämmin 80-20 km/h	15
2.12.	14:16	KA	lämmin 80-20 km/h	15
2.12.	15:15	KA	WHVC valmisteluajo	1
2.12.	15:50	KA	WHVC	1
2.12.	16:23	KA	WHVC	1
3.12.	Ajoneuvon vaihto, syklien koodaus, laimennussuhteen säätö (bussi)			
4.12.	9:34	Bussi	kylmä 40-20 km/h	20
4.12.	10:09	Bussi	lämmin 40-20 km/h	20
4.12.	10:47	Bussi	lämmin 40-20 km/h	20
4.12.	11:32	Bussi	lämmin 80-20 km/h	15
4.12.	12:26	Bussi	lämmin 80-20 km/h	15
4.12.	14:32	Bussi	WHVC valmisteluajo	1
4.12.	15:05	Bussi	WHVC	1
4.12.	15:39	Bussi	WHVC	1
5.12.	10:33	Bussi	lämmin 40-20 km/h	12
5.12.	10:54	Bussi	lämmin 40-20 km/h	4
5.12.	11:00	Bussi	lämmin 40-20 km/h	2
5.12.	11:04	Bussi	lämmin 40-20 km/h	1
5.12.	11:16	Bussi	WHVC	1

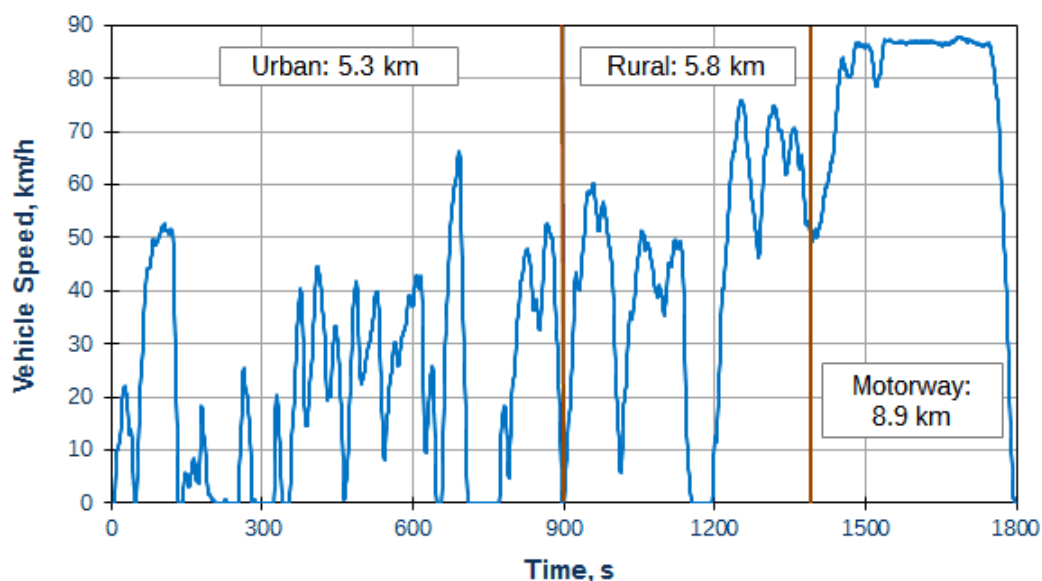
Vakionopeus-moottorijarrutus "ramppisyklejä" ajettiin kahdella eri nopeustasolla. Moottorijarrutuksia suoritettiin 40 km/h ja 80 km/h nopeuksista. Nopeus moottorijarrutuksen päättyessä oli molemmissa tapauksissa 20 km/h, jota ajettiin 30 s ennen kiihdyttämistä takaisin moottorijarrutuksen aloitusnopeuteen. Ramppisyklien profiilit on esitelty kuvassa 21.



Kuvio 21. Vakionopeus-moottorijarrutus syklien nopeusprofiilit.

Syklien kiihdytysrampit määritettiin ennen mittauksia siten, että moottorin kuormitusaste kiihdytyksen aikana oli suurimmillaan noin 70-90 % täydestä kuormasta. Tällä pyrittiin simuloimaan taloudellisen ajotavan mukaan suoritettavaa kiihdytystä. Hidastusrampit toteutettiin ajoneuvon moottorijarrutuksen mukaisesti, eikä ajoneuvon käyttöjarrua käytetty jarrutuksissa apuna. Myöskään kuorma-autossa ollutta pakokaasujarrua ei käytetty mittauksissa. Ramppisykliä aikana mitattiin kaasumaisia päästökomponeentteja ja hiukkaslukumääriä jatkuvatoimisesti.

WHVC-sykli, jota käytettiin kuvaamaan todellista ajosuoritetta, pohjautuu moottoridynamo-metrissä käytettävään Euro VI-moottorien hyväksyntäsykliin (WHTC, World Harmonized Transient Cycle). Mittaus sykli sisältää kolme erityyppistä vaihetta, jotka kuvastavat kaupunki-, taajama- ja maantieajoa (Kuva 22). WHVC-syklissä mitattiin kaasumaiset ja hiukkasmassa- ja lukumääräpäästöt lainsäädännön mukaisilla menetelmillä. Lisäksi mitattiin hiukkaslukumääriä jatkuvatoimisilla laitteilla sekä polttoaineenkulutus punnitsemalla ulkoisesta polttoainesäiliöstä tulevan polttoaineen massa.



Kuvio 22. WHVC sykli (Lähde: <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/whvc.php>).

Molemmista ajoneuvoista tallennettiin kaikkien mittausten aikana myös ajoneuvon CAN-väylädataa. CAN-väylästä saatiin tietoa mm. moottorin pyörintänopeudesta, jäähdytysnesteen lämpötilasta, kuormitusasteesta ja syötetystä polttoaine määrästä. CAN-väylästä mitattuja tietoja käytetään apuna tulosten analysoinnissa.

4.3 Ajoneuvot

Valittaessa ajoneuvoja mittauksiin käytettiin kahta pääkriteeriä: ajoneuvon tulisi olla kaupunkiliikenteeseen tarkoitettu ja siinä ei saisi olla SCR-katalyyttiä tai hiukkassuodatinta. Pakokaasun jälkikäsittelyjärjestelmiä haluttiin välttää, jotta tutkimuskohteena oleva ilmiö saataisiin mahdollisimman hyvin esille. Mittauksiin haluttiin valita kaupunkiliikenteessä käytettävät ajoneuvot, koska kaupunkiliikenteen päästöjen vaikutus ihmisten terveyteen on merkittävä. Näillä perusteilla ajoneuvoiksi valikoitui Euro III-päästötason bussi ja Euro IV-päästötason jakelu-liikenteeseen soveltuva kuorma-auto. Ajoneuvojen perustiedot löytyvät taulukosta 6.

Taulukko 6. Ajoneuvojen tekniset tiedot.

	Vuosi-malli	Päästö-taso	Moottorin isku-tila-vuus, dm ³	Päästöjen hallinta	Kokonais-massa, kg	Vaihteiston tyyppi	Ajokilo-metrit
Bussi	2005	Euro III	9.0	EGR	18 000	automaatti	990612
Kuorma-auto	2007	Euro VI	8.9	EGR	18 000	manuaali	878740

4.4 Mittalaitteet ja mittausmenetelmät

Mittaukset suoritettiin VTT:n raskaan kaluston alustadynamometrilla. Raskaiden ajoneuvojen tutkimuslaboratoriossa on alustadynamometrin ja täyden virtaaman keräys- ja laimennuslaitteiston (CVS) lisäksi monipuolinen analyysilaitteisto säänneltyjen päästöjen (CO, HC, NO_x, PM, PN) mittaamiseen. Säänneltyjen päästöjen lisäksi mitattiin CO₂-päästö sekä polttoaineenkulutus. Alustadynamometri on varustettu erittäin nopealla säätöjärjestelmällä ja sähköisellä inertian simuloinnilla mahdollistaen dynaamisen testauksen (transienttitestauksen). Inertian simulointi on säädettävissä alueella 2.500 – 60.000 kg, eli laitteistolla kyetään jäljittelemään jopa maksimiin kuormattua ajoneuvoyhdistelmää, jonka kokonaismassa on 60 tonnia.

Pakokaasupäästöt mitataan Direktiivin 1999/96/EC vaatimukset täyttävän täyden virtaaman CVS-laimennustunnelin ja analysaattorijärjestelmän avulla. Mittauksia tehdään dynaamisia ajosyklejä käyttäen ja päästöjen laimennetusta pakokaasunäytteestä voidaan mitata kaasumaisten komponenttien pitoisuuksia sekä hiukkasten lukumääräpitoisuutta jatkuvatoimisesti. Lisäksi laimennustunnelista kerätään mittaussyklin aikana osavirtanäyte näytepussiin, josta kaasumaiset komponentit analysoidaan syklin ajamisen jälkeen. Hiukkasten massapäästö mitataan keräämällä näytettä suodattimille mittaussyklin aikana.

Raskaiden ajoneuvomoottorien hyväksymistestaus tapahtuu moottorikokeina ja täten kokonaisille ajoneuvoille ei ole olemassa yleisesti käytettyä mittausmenetelmää. Tästä syystä VTT:llä on kehitetty oma, olemassa oleviin elementteihin perustuva mittausmenetelmä. Näitä elementtejä ovat henkilö- ja pakettiautojen pakokaasupäästöjen hyväksymiseen käytettävä alustadynamometrimittaus (perusdirektiivi 70/220/EEC), muuttuvakuormituksinen, transienttityyppinen ETC-testi raskaille ajoneuvomoottoreille (perusdirektiivi 1999/96/EC), ja amerikkalainen suositus "Recommended Practice for Measuring Fuel Economy and Emissions of Hybrid-Electric and Conventional Heavy-Duty Vehicles" (SAE J2711). VTT:llä kehitetty menetelmä kattaa sekä pakokaasumittaukset että polttoaineen kulutuksen mittaukset. VTT:n menetelmä on Finasin akkreditoima (akkreditointitunnus FINAS T259).

Menetelmässä ajoneuvo lämmitetään ennen mittauksia normaaliin käyttölämpötilaan ajamalla puoli tuntia nopeudella 80 km/h. Tämän jälkeen ajoneuvon tila vakioidaan ajamalla yksi kokonainen mittaussykli (ns. preppi-sykli). Vakioinnin jälkeen samalla mittaussyklillä suoritetaan kaksi peräkkäistä mittausajoa, joiden tuloksien keskiarvo on varsinainen ilmoitettava tulos. Mittaus tapahtuu normaalissa huoneenlämmössä. Näissä mittauksissa tätä menetelmää käytettiin WHVC-syklin kanssa.

Ramppisyklit ajettiin tutkimukseen luonteen vuoksi normaalista menetelmästä poikkeavalla tavalla. Matalamman nopeustason ramppisykli aloitettiin kylmällä ajoneuvolla ja kiihdytysjarrutus ramppi toistettiin 20 kertaa. Tämän jälkeen ramppisykli toistettiin uudelleen lämpimällä ajoneuvolla 20 kertaa. Korkeamman nopeustason kiihdytysjarrutus ramppisykli toistettiin lämpimällä ajoneuvolla 15 kertaa.

Ajovastuksina käytettiin vastaaville ajoneuvoille aikaisemmin määritettyjä vastuksia ja dynamometrillä simuloitiin ns. $\frac{1}{2}$ - kuorman tilannetta, joka tarkoittaa että ajoneuvo olisi ajon aikana kuormattu puoleen nimelliskuormasta. Puolikuorma antaa kuvan ajoneuvojen keskimääräisestä suorituskyvystä. Kuorman vaikutus runsaasti kiihdytyksiä ja jarrutuksia sisältävässä mittaussyklissä on merkittävä, sillä ajoneuvon massan kiihdyttämiseen käytetään n. 80 % vetopöyrille tuodusta energiasta.

Raskaan kaluston alustadynamometrimittauksissa käytetään tavallista jakeluasemilta saatavaa kauppalaatuista, kevät-, kesä- ja syyskäyttöön tarkoitettua (-5/-15) dieselpolttoainetta (Neste). Polttoaine-erät hankitaan VTT:lle n. kaksi kertaa vuodessa ja niistä otetaan kontrollinäytteet, jotka arkistoidaan.

TTY käytti mittauksissa huokoisen putken laimenninta (PTD, Porous Tube Diluter), joka oli asennettu mittausyhteeseen joka sijaitsi pakokaasun siirtolinjassa. PTD-laimennusta on aiemmin käytetty lukuisissa julkaisuissa viimeisen kymmenen vuoden aikana kuvaamaan pakokaasun laimenemista kylmään ilmaan. PTD-laimennuksella mm. haihtuvien nukleatiohiukkasten synty on mahdollista aivan kuten pakoputken päässä, kun pakokaasu laimenee ja jäähtyy. PTD:n laimennussuhde säädettiin mittauksen alla vakioarvoon 12 (11 osaa puhdasta ilmaa ja 1 osa pakokaasua). PTD:n jälkeen laimennettu pakokaasu johdettiin viipymäaikaputkeen ja tämän jälkeen ejektorilaimentimeen. Ejektorilaimentimen (laimennussuhde 8) tarkoitus on tuoda laimennettu pakokaasun ympäristön paineeseen ja laskea mitattavat hiukkaspitoisuudet mittalaitteille sopiville tasoille. Tämän jälkeen osassa mittauksista laimennettu pakokaasu johdettiin termodenuderin (TD, thermodenuder) (Rönkkö et al., 2011) läpi, jolloin mittalaitteille päätyvät hiukkaset ovat haihtumattomia. Viimeisenä mittauspäivänä viipymäaikaputken jälkeen asennettiin TTY:n suunnittelema ja rakentama PAM (Potential Aerosol Mass) –laitteisto, jolla voidaan tutkia pakokaasuperäisten hiukkasten muodostumisissa ilmakehässä usean päivän aikaskaalassa.

TTY:llä oli mittauksissa käytössä hiukkaskokojakauman, hiukkaslukumäärän ja kaasujen mittalaitteita (Taulukko 7). Hiukkaskokojakaumaa mitattiin EEPS:llä (Engine Exhaust Particle Sizer, TSI Inc.), HRLPI:llä (High-Resolution Low-Pressure Impactor, Arffman et al., 2014) ja ELPI+:lla (Electrical Low Pressure Impactor, valmistaja Dekati Oy). Näissä merkittävimpänä erona EEPS luokittelee hiukkaset sähköisen liikkuvuuskoon mukaan, ja HRLPI ja ELPI+ aerodynaamisen hiukkaskoon mukaan. Tämä mahdollistaa mm. hiukkasten efektiivisen tiheyden määrittämisen vertaamalla esim. EEPS:n ja HRLPI:n mittauksia. Hiukkaslukumäärälaskureita (CPC, Condensation Particle Counter) oli mittauksissa kolme kappaletta (TSI Inc.:n CPC 3776 ja CPC 3775 ja Airmodus Oy:n A20), ja kaikissa käytettiin eri leikkausrajoja: 2.5 nm, 7 nm tai 23 nm. TEM-keräintä käytettiin hiukkasten keräämiseen moottorijarrutuksen aikana, mikä mahdollisti näytteiden analysoimisen läpäisyelektronimikroskoopilla (TEM, Transmission Electron Microscope).

VTT:n ja TTY:n hiukkaslukumäärän mittausmenetelmät eroavat näytteen käsittelyn suhteen toisistaan merkittävästi. VTT:n menetelmä on Euro VI –lainsäädännön mukainen (UNECE 2013) ja siinä mitataan vain kiinteät hiukkaset, jotka ovat halkaisijaltaan vähintään 23 nm. TTY:n menetelmä vastaa paremmin hiukkasten todellista laimenemista ulkoilmassa ja menetelmä huomioi myös hiukkasiin kondensoituneet yhdisteet, sekä 23 nm pienemmät hiukkaset.

Taulukko 7. TTY:n käyttämät mittalaitteet ja niiden käyttötarkoitukset.

Mittalaite	Hiukkaskokoalue	Käyttötarkoitus
EEPS	5.6-560 nm	hiukkaskokojakauman mittaus (1 s)
HRLPI	4.5-200 nm	hiukkaskokojakauman mittaus (1 s)
ELPI+	7-10000 nm	hiukkaskokojakauman mittaus (1 s)
CPC 3776	yli 2.5 nm	hiukkaslukumäärän mittaus
CPC A20	yli 7 nm	hiukkaslukumäärän mittaus
CPC 3775 (muokattu asetus)	yli 23 nm	hiukkaslukumäärän mittaus
TEM-keräin	kaikki	hiukkasten keräys gridille
Lämpötilaloggeri		lämpötilat mittauslinjoista
Paineloggeri		paineet mittauslinjoista
SO ₂ -analysaattori		pakokaasun SO ₂ -pitoisuuden mittaus
CO ₂ -analysaattori		laimennussuhteen määrittäminen

4.5 Tulokset

4.5.1 Säännelty päästöt

Ajoneuvojen tulokset WHVC-syklissä on esitetty taulukossa 8. Koska WHVC on verrattain uusi sykli, ei Euro III- ja IV- päästötason ajoneuvoille ole suoria vertailutuloksia aikaisemmista mittauksista. Päästöt ovat joka tapauksessa suuruusluokaltaan järkeviä, jos verrataan niitä samassa syklissä mitattuihin Euro VI-ajoneuvoihin. Myös ajoneuvojen välinen ero PM- ja NO_x-päästöjen osalta on järkevä suhteessa Euro III- ja Euro IV-vaatimustasoon. Tulosten perusteella voidaan olettaa ajoneuvojen olleen teknisesti kunnossa.

Taulukko 8. Säännelty päästöt, CO₂-päästö ja polttoaineen kulutus.

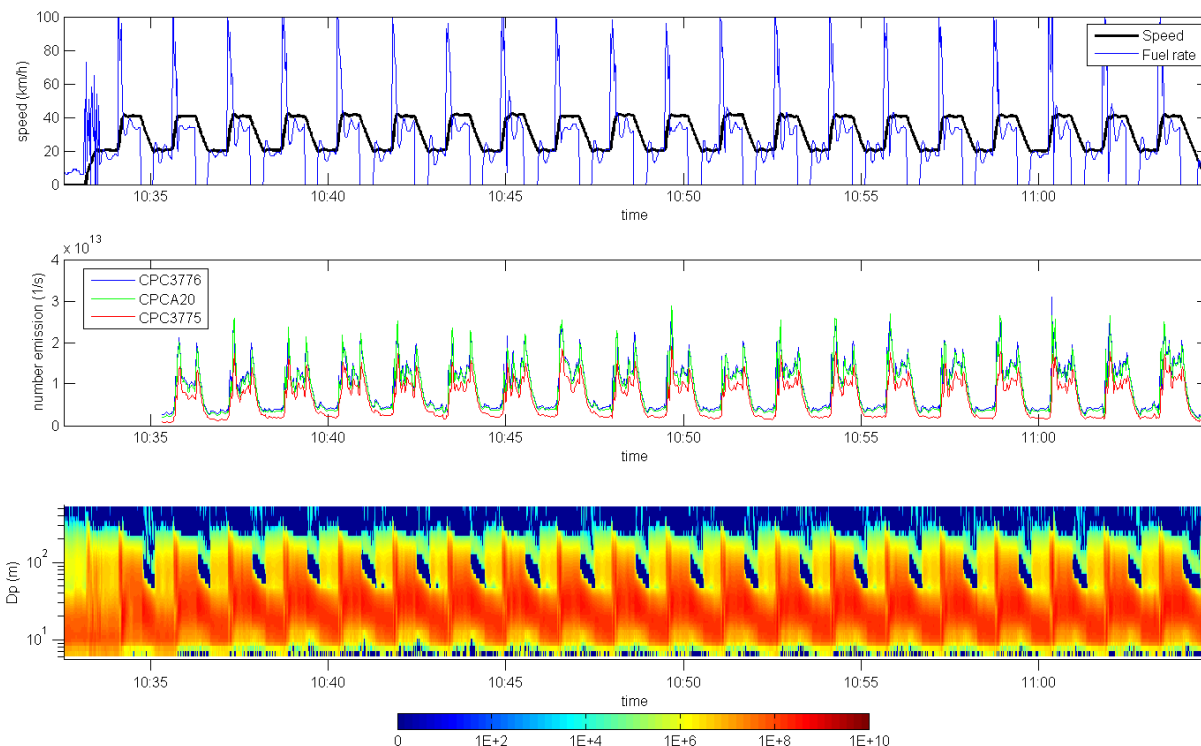
	CO g/km	HC g/km	NO _x g/km	CO ₂ g/km	PM g/km	PN #/km	Polttoaineen kulutus kg/100km
Euro IV-kuorma-auto	1.3	0.1	4.0	717	0.07	7.0E+13	22.0
Euro III-bussi	0.9	0.2	4.8	815	0.13	1.3E+14	25.5

4.5.2 Hiukaspäästöt 40→20 km/h moottorijarrutuksessa

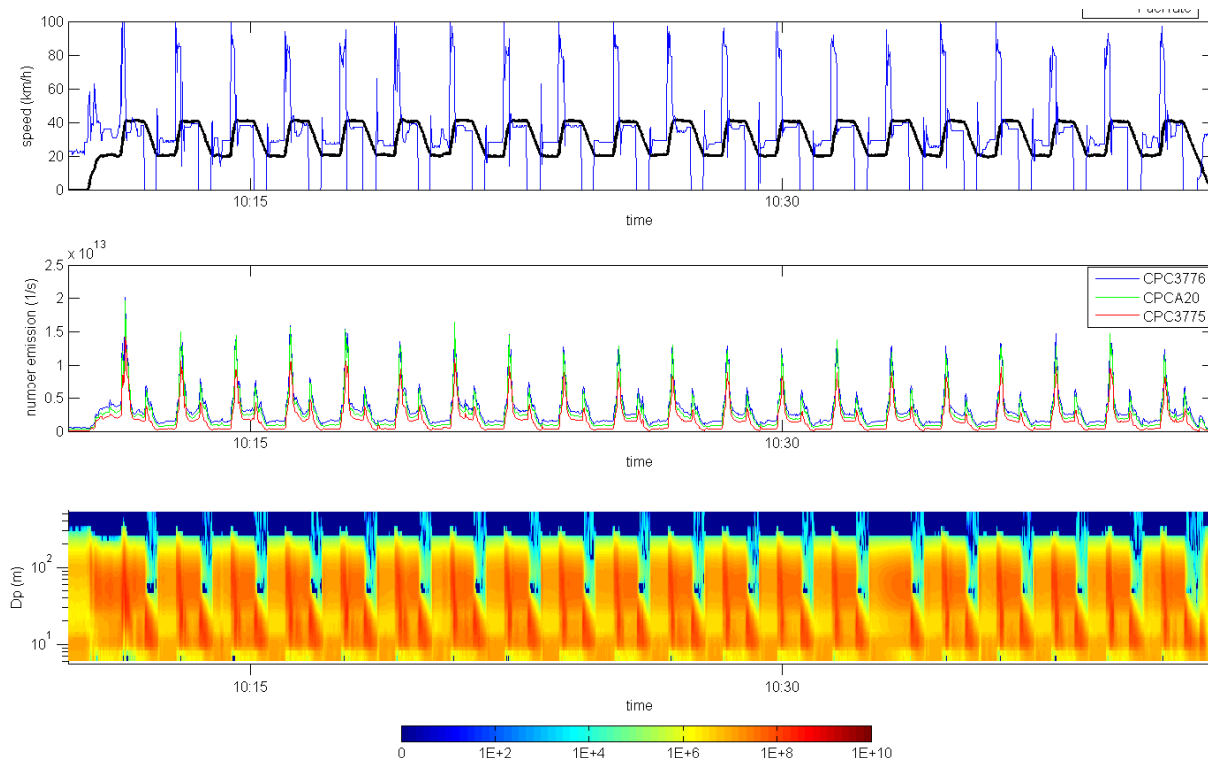
Hiukaspäästöt 40→20 km/h moottorijarrutusasykleissä on esitetty kuvassa 23 kuorma-autolle ja kuvassa 24 bussille. Hiukkasmuodostuksen havaitaan olevan erittäin hyvin toistuvaa peräkkäisissä kiihdytys- ja moottorijarrutustilanteissa. Bussin osalta hiukkasmuodostus näyttäisi olevan jossain määrin stabiilimpaa kuorma-autoon verrattuna. Hetkelliset hiukkapäästöt olivat luokkaa 10¹³ hiukkasta per sekunti, ja hiukaspäästöt olivat jotakuinkin yhtä suuria moottorijarrutusten aikana kuin kiihdytyksissä.

EEPS-datasta (kuvien alin paneeli) voidaan havaita hiukkaskokojakauman ajalliset vaihtelut. Kiihdytyksissä hiukkasjakauman nokimoodin keskikohta oli vähän alle 100 nm, mutta moottorijarrutuksen aikaiset hiukkaset olivat kooltaan paljon pienempiä, siten että keskikoko vaihteli 10-30 nm välillä ja oli useassa tapauksessa ajasta riippuva. Moottorijarrutuksen alussa hiukkaset olivat yleisesti isompia.

CAN-väylästä tallennetun polttoaineen kulutustiedon perusteella nähdään, että moottorijarrutuksen yhteydessä syntyvä hiukaspäästö muodostuu polttoaineen syötön katkeamisen jälkeen.



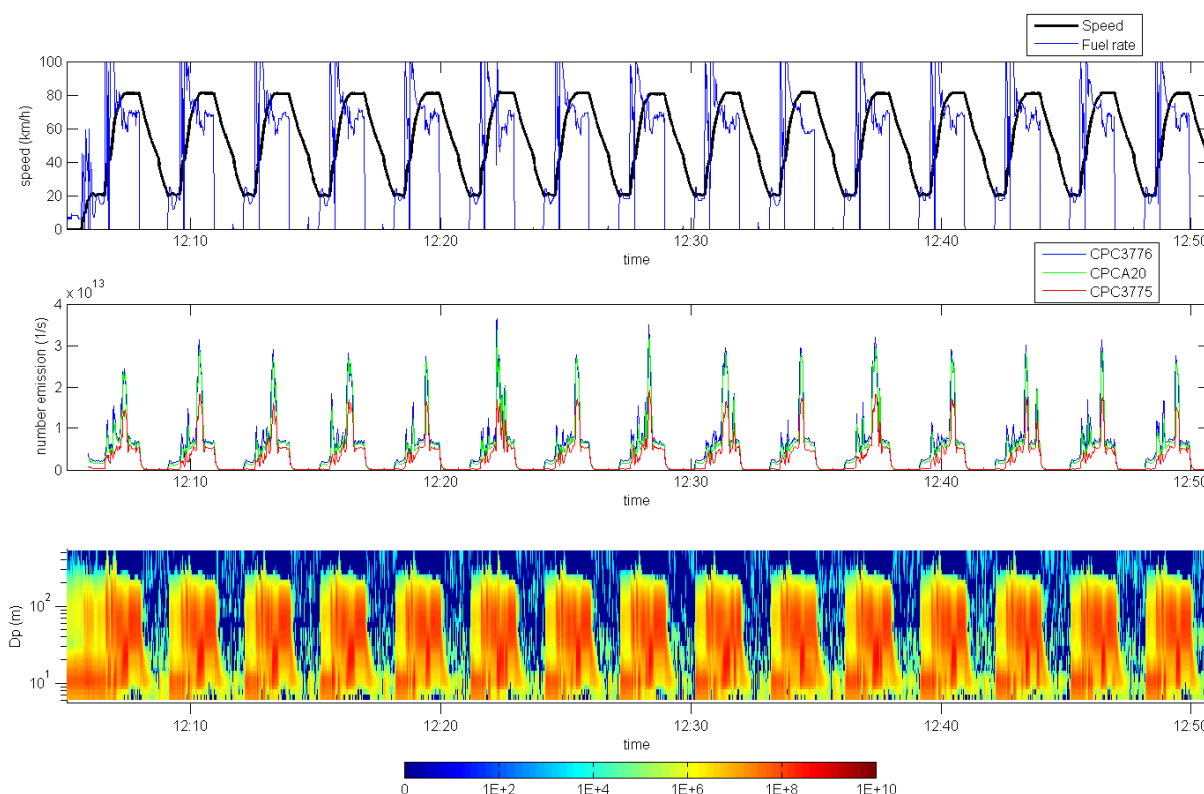
Kuvio 23. Hiukkaspäästöt kuorma-autolle 40→20 km/h ramppisyklin aikana. Ajonopeus ja polttoaineen syöttö yläpaneelissa, lukumäärälaskureiden (CPC) antamat hiukkaspäästöt (lukumäärä/sekunti) keskipaneelissa ja EEPS:n mittaama hiukkaskokojakauma alapaneelissa.



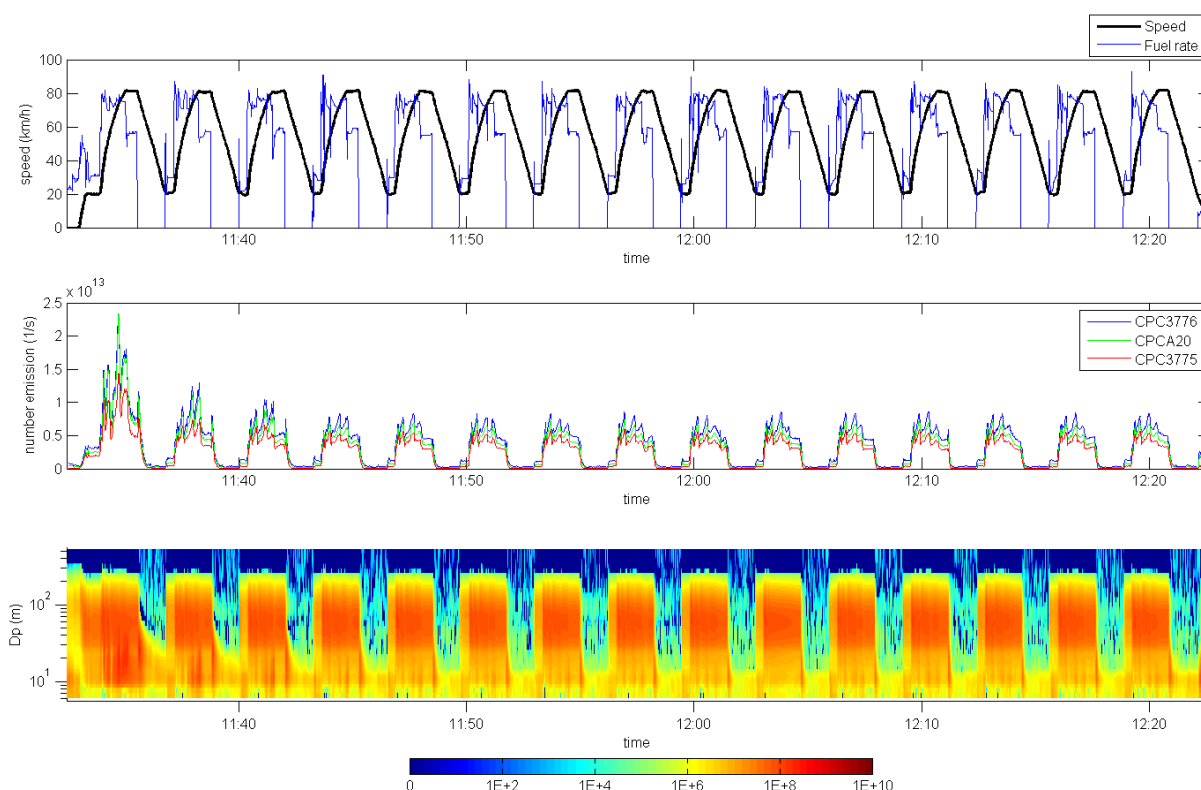
Kuvio 24. Hiukkaspäästöt bussille 40→20 km/h ramppisyklin aikana. Ajonopeus ja polttoaineen syöttö yläpaneelissa, lukumäärälaskureiden (CPC) antamat hiukkaspäästöt (lukumäärä/sekunti) keskipaneelissa ja EEPS:n mittaama hiukkaskokojakauma alapaneelissa.

4.5.3 Hiukkaspäästöt 80→20 km/h moottorijarrutuksessa

80→20 km/h –ajosykli poikkesi 40→20 km/h –ajosyklistä siten, että kiihdytykset ja moottorijarrutukset kestivät huomattavasti kauemmin. Aikasarjoista nähdään, myös että moottorijarrutuksen aikaisia hiukkasia tuli pääasiassa vain aivan alussa polttoaineen syötön katkaisemisen jälkeen (Kuvat 25 ja 26). Jos kuvia tarkastelee lähempää (ei näy hyvin näin laajassa kuvassa), voi havaita vaihteen vaihdon lisäävän hetkellisiä moottorijarrutuksen aikaisia hiukkasia. Bussilla vaihtenvaihtoja oli 3 kappaletta kun taas kuorma-autolla vain 1.



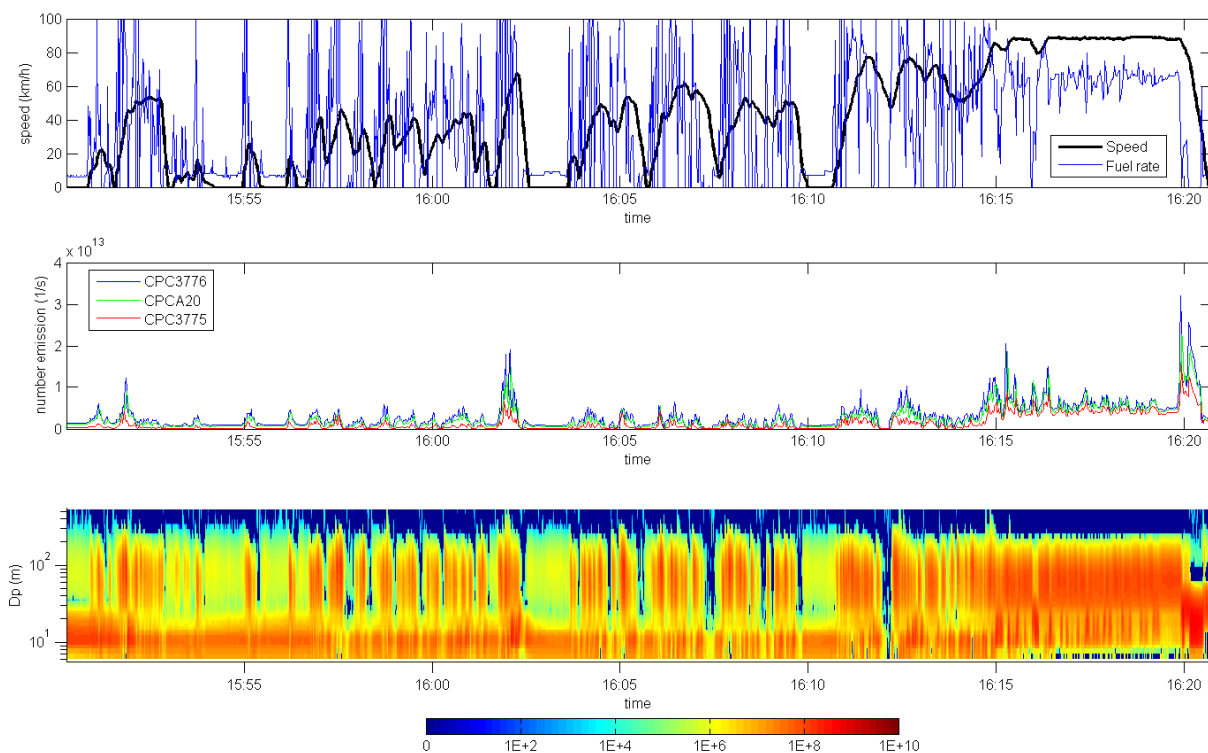
Kuvio 25. Hiukkaspäästöt kuorma-autolle 80→20 km/h ramppisyklin aikana. Ajonopeus ja polttoaineen syöttö yläpaneelissa, lukumäärälaskureiden (CPC) antamat hiukkaspäästöt (lukumäärä/sekunti) keskipaneelissa ja EEPs:n mitaama hiukkaskokojakauma alapaneelissa.



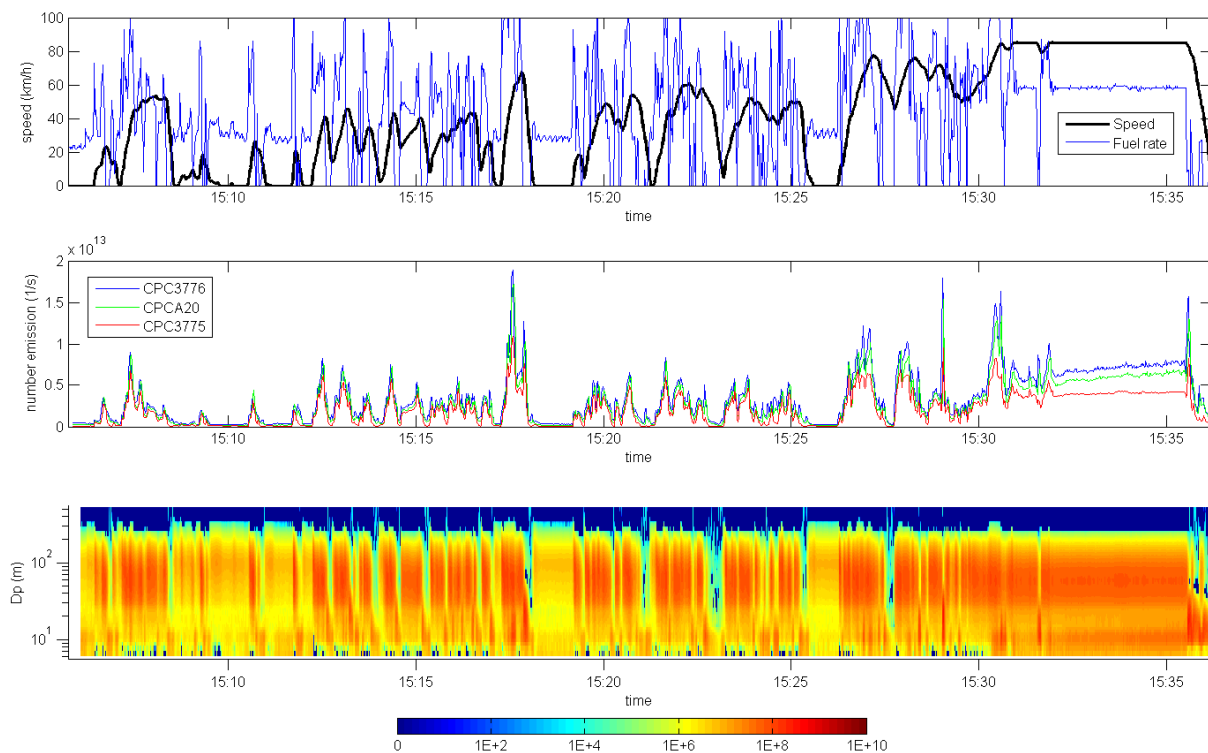
Kuvio 26. Hiukkaspäästöt bussille 80 → 20 km/h ramppisyklin aikana. Ajonopeus ja polttoaineen syöttö yläpaneelissa, lukumäärälaskureiden (CPC) antamat hiukkaspäästöt (lukumäärä/sekunti) keskipaneelissa ja EEPS:n mittaama hiukkaskokojakauma alapaneelissa.

4.5.4 Hiukkaspäästöt WHVC-syklissä

WHVC-sykli kaupunki-, maaseutu- ja maantiesuoksineen kuvastaa todellisempaa ajosuoritusta kuin edelliset ramppisyklit vakionopeuksien välillä. WHVC-syklin tulokset on esitetty kuvissa 27 ja 28 kuorma-autolle ja bussille. Transientista ajosuoritteesta johtuen hiukkaspitoisuudet muuttuivat alati syklin aikana. Myös tässä ajosyklissä suurimmat hetkelliset hiukkaspäästöt ilmenivät kiihdytysten ja moottorijarrutusten aikana. Huomionarvoista on kuorma-auton erittäin suuret hiukkaspäästöt syklin lopun moottorijarrutuksen aikana. Nämä syntyivät tilanteessa, jossa ajoneuvolla oli ajettu noin 4 minuuttia yli 80 km/h vauhtia. Myös bussilla oli suuret hiukkaspäästöt tässä tilanteessa, mutta ei kuitenkaan suhteellisesti yhtä suuret verrattuna muihin hiukkaspäästöihin syklin aikana.



Kuvio 27. Hiukkaspäästöt kuorma-autolle 80→20 km/h ramppisyklin aikana. Ajonopeus ja polttoaineen syöttö yläpaneelissa, lukumäärälaskureiden (CPC) antamat hiukkaspäästöt (lukumäärä/sekunti) keskipaneelissa ja EEPS:n mittaama hiukkaskokojakauma alapaneelissa



Kuvio 28. Hiukkaspäästöt bussille 80→20 km/h ramppisyklin aikana. Ajonopeus ja polttoaineen syöttö yläpaneelissa, lukumäärälaskureiden (CPC) antamat hiukkaspäästöt (lukumäärä/sekunti) keskipaneelissa ja EEPS:n mittaama hiukkaskokojakauma alapaneelissa

4.5.5 Moottorijarrutuksen aikaisten hiukkasten osuus kokonaispäästöstä

Moottorijarrutuksen aikaisten hiukkaspäästöjen osuus kokonaislukumääräpäästöstä selvitetiin aikakohdistamalla hiukkaslaskureiden, pakokaasun massavirran ja CAN-väylä datat sekunnin tarkkuudella. Pakokaasupäästö (hiukkasta/sekunti) laskettiin pakokaasun massavirran ja pakokaasun lasketun hiukkaspitoisuuden perusteella. Pakokaasupäästön integraali koko syklin yli kertoo, kuinka monta hiukkasta pakoputkesta tuli ulos koko mittausjakson aikana. Kun huomioidaan vain ne ajat, jolloin moottorin polttoaineensyöttö (CAN-datan mukaan) on nolla, saadaan tulokseksi hiukkaspäästö moottorijarrutustilanteissa.

Taulukossa 9 on esitetty kokonaishiukkaspäästöt ja hiukkaspäästöt moottorijarrutuksen aikana eri mittausykyille ja molemmille ajoneuvoille. Moottorijarrutuksen aikaisten hiukkaspäästöjen osuus oli 3.3-25.9% ajoneuvojen kokonaispäästöistä, mikä on lukumäärällisesti hyvinkin merkittävä osuus. Kaikkein parhaiten todellista ajosuoritetta kuvaa WHVC-sykli, minkä aikana moottorijarrutuksen aikaisten hiukkaspäästöjen osuudet olivat kuorma-autolle 13.4% ja bussille 8.8%. Vertailtaessa bussin ja kuorma-auton tuloksia, havaitaan että ajosykliä oli paljon suurempi vaikutus. 40→20 km/h -ajosykliä moottorijarruhiukkasten osuudet olivat noin yhtä suuret, mutta 80→20 km/h ja WHVC-sykleissä tulokset olivat päinvastaiset. Mitä ilmeisimmin 80→20 km/h -ajosyklin aikaisten bussin suuremmat hiukkaspäästöt moottorijarrutuksen aikana johtuivat automaattivaihteiston lukuisista vaihteen vaihdoista moottorijarrutuksen aikana. Vaihteen vaihdon havaittiin aina nostavan hetkellisiä hiukkaspäästöjä, mikä on ymmärrettävää moottorin pyörintänopeuden muuttuessa.

Merkittävää on huomata, että lainsäädännön mukainen hiukkaslukumäärälle tarkoitettu mittausmenetelmä ei havainnut moottorijarrutuksen aikana syntyvää hiukkaspäästöä WHVC-sykliä, eikä vakionopeus-moottorijarrutus -sykleissä. Tämä aiheutuu pääasiassa kahdesta mittausmenetelmään liittyvästä tekijästä. Lainsäädännön mukaisessa menetelmässä näytteestä poistetaan haihtuvista yhdisteistä muodostuneet aerosolihiukkaset, sekä kiinteisiin hiukkasiin kondensoituneet yhdisteet. Lisäksi menetelmä mittaa vain yli 23 nm:n hiukkaset. TTY:n käyttämällä menetelmällä ja laitteilla havaitaan myös haihtuvista yhdisteistä muodostuneet hiukkaset, sekä yli 2.5 nm:n hiukkaset.

Taulukko 9. Lukumääräperusteiset hiukkaspäästöt eri ajosykleissä CPC 3776 (> 2.5 nm) mittalaitteen, CAN-datan ja pakokaasuvirtauksen perusteella.

Ajoneuvo	Mittausyky	Hiukkas- päästö koko syklin yli	Hiukkaspäästö moottorijarru- tuksessa	Moottorijarru- tushiukkasten osuus
Kuorma-auto	40→20 km/h	1.65e+16	4.29e+15	25.9%
Bussi	40→20 km/h	6.29e+15	1.51e+15	24.0%
Kuorma-auto	80→20 km/h	1.33e+16	4.39e+14	3.3%
Bussi	80→20 km/h	1.06e+16	8.51e+14	8.0%
Kuorma-auto	WHVC	5.66e+15	7.57e+14	13.4%
Bussi	WHVC	6.15e+15	5.41e+14	8.8%

4.6 Yhteenveto ja johtopäätökset

VTT raskaan kaluston alustadynamometrilla tehdyissä mittauksissa tutkittiin moottorijarrutuksen aikana syntyvää hiukkaspäästöä kontrolloiduissa olosuhteissa ja ajosuoritteissa. Mittauksia tehtiin sekä erityisesti tätä tarkoitusta varten tehdyillä vakionopeus-moottorijarrutus -ajosykleillä että todellista ajosuoritetta edustavalla WHVC-mittausykyllä, joka nykyisin kuuluu Euro VI-säädösten syklivalikoimaan.

Mittauksissa havaittiin vakionopeus-moottorijarrutus sykleissä selkeä hiukkaspitoisuus moottorijarrutuksen alkuvaiheessa. Pitoisuuden nousu tapahtuu tilanteissa, jossa moottoriin ei

enää syötetä polttoainetta. Mittaustulosten perusteella voidaan päätellä, että valtaosa moottorijarrutuksessa syntyvistä hiukkasista on haihtuvia yhdisteitä. Täten voidaan olettaa, että hiukkaspitoisuuden nousu aiheutuu mahdollisesti polttoaineen syötön katkaisun yhteydessä palotilaan jääneestä palamattomasta polttoaineesta, moottorin voiteluöljystä tai näistä molemmista. Aiempien havaintojen mukaan moottorijarrutuksen aikaiset hiukkaset ainakin osittain koostuvat voiteluöljyn metalleista (Rönkkö et al., 2014, Karjalainen et al. 2014a). Tätä tukevat myös nyt tehdyissä mittauksissa saatujen hiukkasnäytteidenalustavat elektronimikroskooppi tulokset. On myös syytä olettaa, että metalleja sisältävät hiukkaset aiheuttavat terveysriskin, joka on yhtä suuri tai jopa suurempi kuin nokihiukkasilla.

Pahimmassa tapauksessa moottorijarrutuksen aikaisen hiukkaspäästön osuus oli vakionopeus-moottorijarrutus –syklissä molemmilla ajoneuvoilla noin neljäsosa koko sykin aikana syntyneestä hiukkaspäästöstä. WHVC-syklissä moottorijarrutuksen aikaisen hiukkaspäästön osuus koko syklin hiukkaspäästöstä oli bussilla 9 % ja kuorma-autolla 13 %. Yhteenvetona voidaankin todeta, että moottorijarrutuksen aikana syntyvällä hiukkaspäästöllä on merkittävä osuus ajoneuvon kokonaispäästöön.

Nyt tehdyissä mittauksissa tutkittiin 7 ja 10 vuotta vanhoja ajoneuvoja. Edellä mainitun ikäiset ajoneuvot edustavat vielä merkittävää osaa ajoneuvokannasta ja siinä mielessä tuloksilla on merkitystä todellisten päästöjen suhteen. On kuitenkin syytä todeta, että uusimmissa, Euro VI –päästötason ajoneuvoissa moottorijarrutuksessa syntyvät hiukkaset eivät oletettavasti vaikuta ajoneuvon kokonaispäästötasoon, koska pakoputkistoon asennettu hiukkassuodatin poistaa tehokkaasti kaikissa ajotilanteissa syntyviä hiukkasia. Suodattimen kuormittumisen ja tarvittavan regenerointivälin kannalta ilmiöllä on kuitenkin merkitystä.

Edellä mainittujen seikkojen perusteella voidaan todeta, että uusimman ajoneuvoteknologian käyttäminen olisi erityisen hyödyllistä kaupunkien keskustoissa, joissa ihmiset helpoiten altistuvat haitallisille päästöille, kuten pienhiukkasille.

Lähdeviitteet

Arffman et al. 2014, Arffman, A., Yli-Ojanperä, J., Kalliokoski, J., Harra, J., Pirjola, L., Karjalainen, P., Rönkkö, T., and Keskinen, J.. High-resolution low-pressure cascade impactor. *J. Aerosol Sci.* 78, 97–109, 2014. doi:10.1016/j.jaerosci.2014.08.006

Karjalainen et al. 2014a, Karjalainen, P., Pirjola, L., Heikkilä, J., Lähde, T., Tzamkiozis, T., Ntziachristos, L., Keskinen, J., and Rönkkö, T.. Exhaust particles of modern gasoline vehicles: a laboratory and an on-road study. *Atmos. Environ.* 97, 262–270, 2014. doi:10.1016/j.atmosenv.2014.08.025

Karjalainen et al. 2014b, Karjalainen, P., Pirjola, L., Heikkilä, J., Lähde, T., Hillamo, R., Keskinen, J., and Rönkkö, T. Exhaust particles formed during engine braking: contribution on total particle emissions of GDI vehicles. 18th ETH Conference on Combustion Generated Nanoparticles, 2014.

Rönkkö et al. 2014, Rönkkö, T., Pirjola, L., Ntziachristos, L., Heikkilä, J., Karjalainen, P., Hillamo, R., Keskinen, J., 2014. Vehicle engines produce nanoparticles even when not fuelled. *Environ. Sci. Technol.* 48, 2043-2050.

UNECE 2013; Regulation No. 49, Revision 6: Annex 4, Appendix 8: Particle number emissions measurement equipment. March 4, 2013.

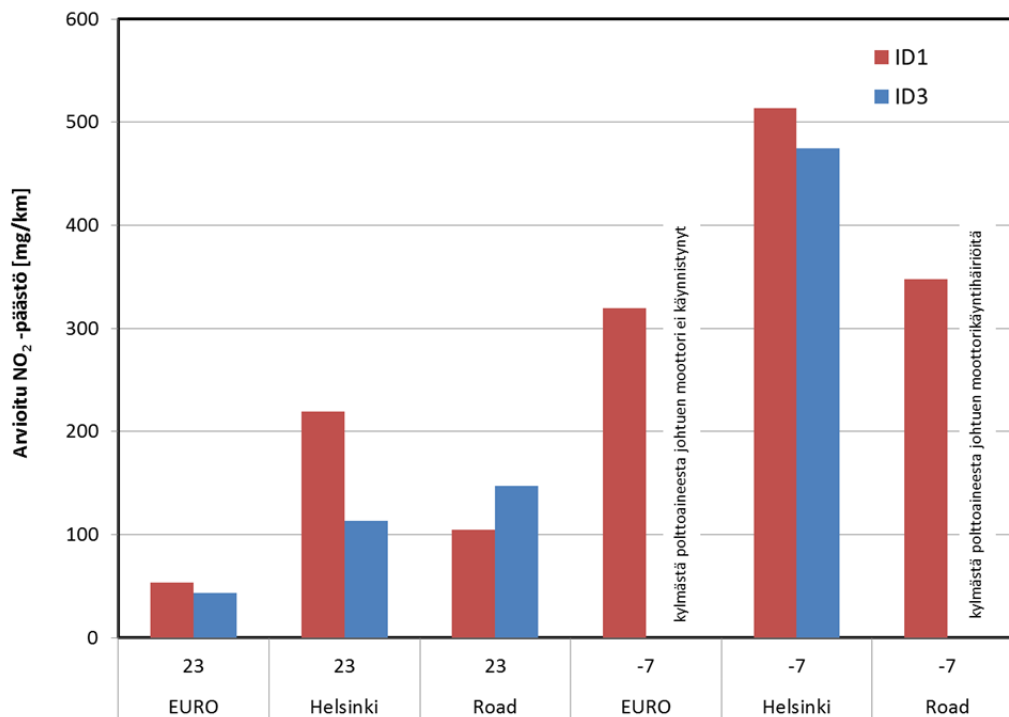
<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2013/R049r6e.pdf>

Liitteet

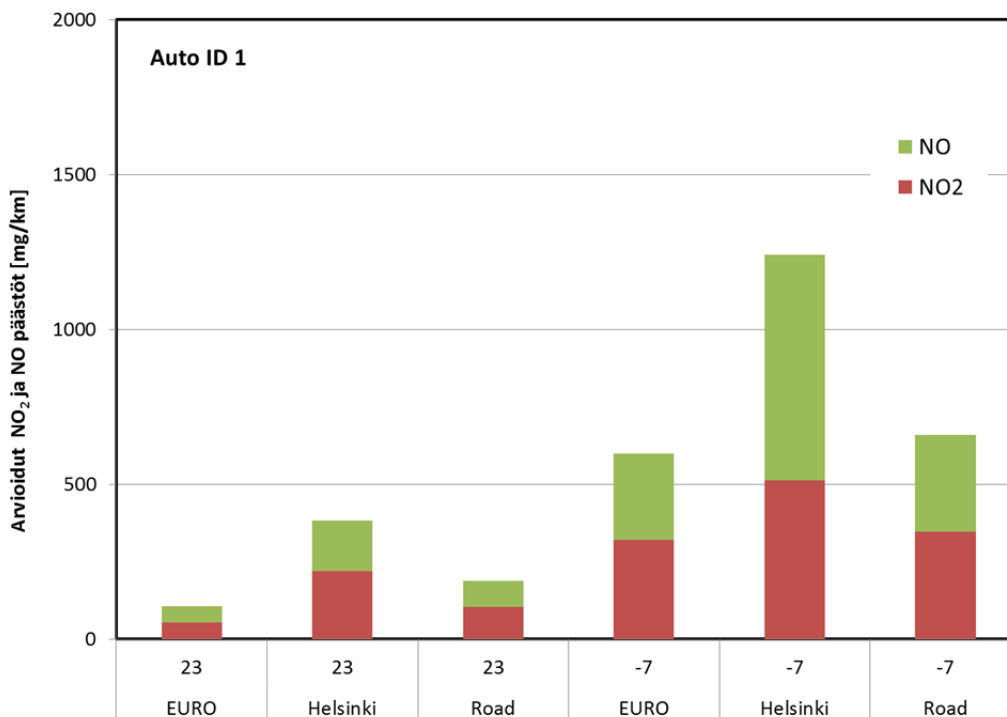
- Liite 1** Euro 6 -henkilöautojen tuottamat NO- ja NO₂-päästöt
- Liite 2** Tutkimushankkeen tilannekatsaus: DIESELAUTOJEN KATSASTUSPÄÄSTÖ-MITTAUKSEN KEHITTÄMINEN

LIITE 1

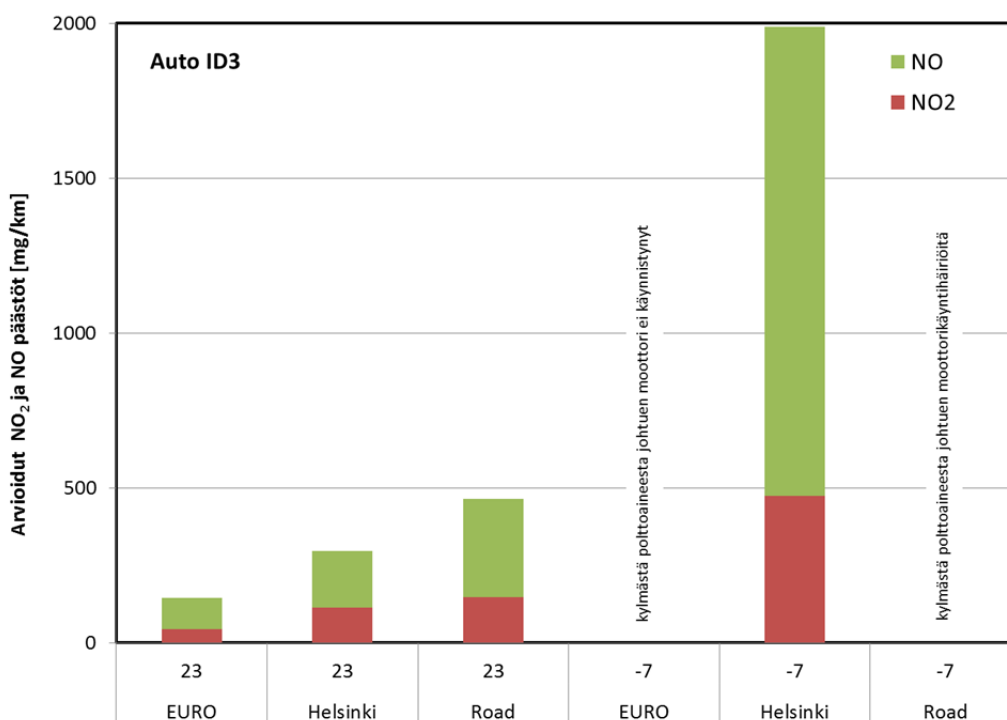
Dieselläkäyttöisten Euro 6 henkilöautojen tuottamien typenoksidien määrää ja jakautumista on tarkasteltu kuvioissa 21–23.



Kuvio 291. Henkilöautojen ID 1 ja ID 3 (diesel) tuottaman typenidioksidin (NO_2) määrien vertailu eri ajosykleissä ja lämpötiloissa.



Kuvio 302. Henkilöauton ID 1 (diesel) tuottamien typidioksidin (NO₂) ja typpimonoksidin (NO) määrät eri ajosykleissä ja lämpötiloissa.



Kuvio 313. Henkilöauton ID 3 (diesel) tuottamien typidioksidin (NO₂) ja typpimonoksidin (NO) määrät eri ajosykleissä ja lämpötiloissa.

LIITE 2

Tilannekatsaus 11.12.2014

Tutkimushanke:

DIESELAUTOJEN KATSASTUSPÄÄSTÖMITTAUKSEN KEHITTÄMINEN

Markku Ikonen
Turun ammattikorkeakoulu
Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

Tausta

Hankkeen suunnittelupalaverissa VTT:llä Otaniemessä päätettiin 28.5.2014 hankkeen suuntaviivoista, tutkimukseen kuuluvista aihealueista sekä rahoituksesta. Rahoittaja on Trafi VTT:n hallinnoiman TransSmart-tutkimusohjelman kautta. Myös Turun AMK osallistuu rahoitukseen. Palaverissa oli Trafin edustajana Keijo Kuikka ja VTT:n edustajina Nils-Olof Nylund, Päivi Aakko-Saksa sekä Jukka Nuottimäki. Turun AMK:n edustajina olivat Rami Wahlsten, Markku Ikonen sekä opiskelija Pekka Lesonen.

Kyseisen palaverin muistioon kirjattiin seuraavaa:

"Katsastuksessa on havaittu, ettei nykyinen savun valoläpäisykykyyn perustuvan mittausmenetelmän erottelukyky riitä tuottamaan luotettavaa tulosta hiukkassuodattimella varustetuista ajoneuvoista. Turun AMK on aloittanut vertailumittaukset uuden tyyppisellä partikkelimassan mittaukseen perustuvalla laitteella, joka tehtyjen mittausten perusteella näyttää tuottavan tarkkoja tuloksia myös pienemmillä hiukkaspäästöillä.

Kokouksessa sovittiin, että Turun AMK jatkaa tutkimusta tekemällä kirjallisuusselvityksen Saksan ja Itävallan katsastuskäytännöistä, joissa ko. uusi laite on jo käytössä. Tutkimuksessa selvitetään myös OBD:n vikakoodien hyödyntämistä katsastuksessa nykyisen ryntäytysmittauksen sijaan. Tutkimusta tullaan täydentämään keräämällä mittausaineistoa noin 50 henkilöautosta. Mittauksiin pyritään saamaan Euro 5 päästötaso vanhempia ajoneuvoja sekä dataa myös vikaantuneista tai vikatilassa olevista ajoneuvoista.

Turun AMK:n toimintaa rahoitetaan Trafin TransSmart-ohjelmalle myöntämästä rahoituksesta. Rahoituksen suuruus on 15 k€ vuonna 2014 ja 10 k€ vuonna 2015. Lisäksi Turun AMK hakee rahoitusta tutkimukselle koulun omasta tutkimusbudjetista. Turun AMK:n tutkimuksen suunniteltu kesto on kesäkuuhun 2015 asti."

Hankkeen nykytila

Joulukuun alkuun 2014 mennessä hiukkasmittaus on toteutettu 72:lle Euro 5 ja Euro 6 -päästötason dieselhenkilöautolle sekä 58:lle Euro 3 ja Euro 4 -tason autolle. Kaikki mittaukset on suoritettu sekä standardin mukaisella opasiteettimittalaitteella (AVL DiSmoke 480) että testattavana olevalla Diagno Oy:ltä testikäyttöön saadulla toistaiseksi ei-kaupallistetulla AVL:n massavirtamittarilla. Mitatuista autosta on kerätty myös OBD-data, josta ei vikakoodia ole juurikaan paljastunut. Lisäksi kolmelle eri-ikäiselle koeautolle tehtiin tyyppihyväksyntä-tyyppinen alustadynamometrimittaus VTT:llä 28.5.2014.

Dieselautojen katsastuspäästöjen mittausmenetelmiä muissa Euroopan maissa on selvitetty Diagno Oy:n kontaktien kautta sekä hyödyntämällä Turun AMK:ssa kuluneena syksynä opiskelien vaihto-opiskelijoiden kontakteja kotimaihinsa. Tämän tiedon hankkiminen on osoittautunut ennakoarvioita hankalammaksi. Lisäksi suunniteltujen vikasimulaatioiden tekemisen toteuttamistapa on suunniteltu ja valmisteltu.

Varsinaisten päästömittaustulosten analysointi on meneillään. Selvästi voidaan kuitenkin havaita, että massavirtamittari pystyy havaitsemaan eroja sellaisten autojen hiukkaspäästöissä, joiden opasiteettimittaustulos näyttää pyöreätä nollaa. Samoin se antaa tarkempia tuloksia myös enemmän hiukkasia päästävistä autoista.

Jatkosuunnitelmat

Kerätyn mittausdatan analyysi valmistuu kevään 2015 aikana. Muiden Euroopan maiden mittauskäytäntöjen selvitystyötä jatketaan ja tarkennetaan. OBD-tiedon hyödyntämismahdollisuudet analysoidaan. Vikatilassa olevien autojen mittaukset käynnistetään. Näiden mittaus-ten toteuttaminen vaatii enemmän aikaa kuin suunniteltiin, koska se on järkevää toteuttaa korjaamo-olosuhteissa korjattavaksi tuleville todellisesti vikaantuneille autoille, joten hankkeen päättäminen ilmeisesti siirtyy myöhempään kuin kesäkuun loppu 2015.