Mikko Pakarinen, Pekka Lesonen,

Juha-Matti Lipponen, Rauli Sillanpää, Markku Ikonen

DIESELHENKILÖAUTOJEN HIUKKASMITTAUS KATSASTUKSESSA

– mahdollisuudet modernisoida mittausmenetelmää

LOPPURAPORTTI 21.12.2015

Sisällysluettelo

1 JOHDANTO ... 4

OSA 1: EURO 3- JA EURO 4 -PÄÄSTÖLUOKAT

2 MITTAUKSET ... 6

2.1 Mittausmenetelmät ... 6

2.2 Mittausten suorittaminen ... 8

2.3 Mittaustapahtuma ... 11

2.3.1 Opasiteettiperiaate ... 11

2.3.2 Massavirtaperiaate ... 15

3 TULOSTEN ESITTELY ... 16

3.1 K-arvo eri mittausmenetelmillä ... 16

3.2 Tulosten keskiarvo, keskihajonta ja mediaani ... 24

4 TULOSTEN ANALYSOINTI ... 27

4.1 Päätelmät tuloksista ... 27

4.2 Tuloksiin vaikuttavat tekijät ... 28

LÄHTEET ... 30

LIITTEET ... 301

OSA 2: EURO 5- JA EURO 6 -PÄÄSTÖLUOKAT

5 MITTAUSTULOSTEN KERÄÄMINEN ... 34

5.1 Mittausmenetelmä ... 34

6 TULOKSET ... 36

6.1 K-arvot eri mittausmenetelmillä ... 36

6.2 Tulosten keskiarvo, keskihajonta ja mediaani ... 43

7 PÄÄTELMÄT ... 46

7.1 Miksi mittausmenetelmää pitäisi muuttaa? ... 46

7.2 Euro 5 -päästötaso ... 47

8 YHTEENVETO EURO 5 JA EURO 6 -AUTOISTA ... 51

LÄHTEET 52

LIITTEET 523

OSA 3: DIESELKATSASTUKSEN PÄÄSTÖMITTAUS ERI EUROOPAN MAISSA

9 TUTKITTAVAT MAAT 57

9.1 Saksa 57

9.2 Itävalta 60

9.3 Tšekki 62

9.4 Belgia 63

9.5 Puola 65

9.6 Ruotsi 66

10 POHDINTA MUIDEN MAIDEN MENETTELYISTÄ 69

LÄHTEET 73

LIITTEET 734

OSA 4: VIKATILAN VAIKUTUS DIESELAUTOJEN HIUKKASPÄÄSTÖÖN

11 MITTAUKSIEN SUORITTAMINEN 77

11.1. Mittaustulosten kerääminen 77

11.2. Mittausmenetelmä 77

12 MITTAUSTULOKSET 81

12.1 Euro 3 -päästötason auto 81

12.2 Euro 4 -päästötason autot 82

12.3 Euro 5 -päästötason autot 88

13 TULOSTEN KÄSITTELY JA PÄÄTELMÄT 97

13.1 Tulosten käsittely 97

13.2 Päätelmät 98

14 YHTEENVETO VIKATILAN VAIKUTUKSESTA 100

LÄHTEET 101

LIITTEET 102

1 JOHDANTO

Dieselhenkilöautojen hiukkas- ja muiden päästöjen tyyppihyväksyntärajojen kiristäminen on pienentänyt niiden pakokaasupäästöjä runsaasti kuluneen 10 vuoden aikana. Euro 4 -päästötason tullessa voimaan v. 2005 raja-arvo hiukkasille aleni 0.05 g/km:stä puoleen eli 0.025 g/km:iin. Euro 5 -taso alensi sallittua hiukkaspäästöä viidennekseen eli 0.0025 g/km:iin syksyllä 2009. Viimeistään tässä vaiheessa hiukkassuodattimen käyttöönotto oli käytännöllisesti katsoen välttämättömyys raja-arvon saavuttamiseksi.

Päästöjen käytönaikaisessa valvonnassa eli katsastuksessa ei hiukkasten mittausmenetelmää eikä raja-arvoja ole kuitenkaan muutettu, vaikka päästötaso on alentunut. Niinpä käytössä oleva virallinen opasiteettiin eli valonläpäisemättömyyteen perustuva menettely antaa uusimmille dieselautoille käytännöllisesti katsoen nollatuloksen, koska menetelmän mittaustarkkuus ei riitä.

Näin ollen voi tapahtua, että katsastuksessa hyväksytään auto, jonka päästötaso on jonkin ongelman takia selvästi suurempi kuin valmistajan tarkoittama, mutta tätä ei mittauksessa pystytä havaitsemaan. On siis perusteltua miettiä katsastuksessa käytettävän mittausmenetelmän kehittämistä tai vaihtamista nykyistä tarkempaan menettelyyn.

Tässä tutkimuksessa on vertailtu toisiinsa nykyisin käytössä olevaa opasiteettimittausmenetelmää sekä uutta mittalaitetta, joka mittaa hiukkasten massavirtaa perustuen valon sironnan havaitsemiseen. Dieselhenkilöautojen hiukkaspäästöt mitattiin molemmilla mittalaitteilla, ja tuloksia on verrattu keskenään. Lisäksi autoista otettiin talteen OBD-järjestelmän mahdolliset vikakoodit. Mittauksia tehtiin erikseen hieman vanhemmille Euro 3- ja Euro 4 -autoille (58 autoa) sekä uudemmille Euro 5- ja Euro 6 -autoille (72 autoa). Yhteensä aineisto sisältää siis 130 auton mittaustulokset ja analysoinnin.

Lisäksi tutkimukseen kuului selvitys muiden Euroopan maiden käytännöistä dieselhenkilöautojen hiukkaspäästöjen käytönaikaisessa valvonnassa. Tietoja onnistuttiin saamaan kuudesta maasta, jotka olivat Saksa, Itävalta, Tšekki, Belgia, Puola ja Ruotsi.

Tämä raportti on jaettu kolmeen osaan. Osassa 1 on esitetty Euro 3- ja Euro 4 -autojen tulokset, ja osassa 2 Euro 5- ja Euro 6 -autojen tulokset. Muiden maiden käytännöt on esitelty raportin osassa 3.

Sovittuun tutkimuskokonaisuuteen kuuluu myös vikaantuneiden dieselautojen mittaukset ja niistä tehtävät johtopäätökset. Koska aluksi suunnitteilla ollut keinotekoinen autojen vikaannuttaminen todettiin riskejä sisältäväksi ja mahdollisesti todellisia tilanteita vastaamattomaksi, suunnitelmaa muutettiin. Tarkoitus on poimia merkkihuoltoon tuotavia todellisesti vikaantuneita dieselautoja mitattaviksi ja analysoitaviksi. Koska tämä on mahdollista tehdä vasta kesän 2015 aikana, se tullaan raportoimaan erikseen syksyn 2015 kuluessa.

OSA 1

MIKKO PAKARINEN

EURO 3 JA EURO 4 -PÄÄSTÖLUOKAT

2 MITTAUKSET

Virallisen opasiteettimittauksen suorittamiseen käytettiin Diagno Oy:ltä hankittua AVL DiTest GmbH:n laitteistoa. Virallinen pakokaasuanalysaattori AVL DiSmoke 480 -savutusmittamoduuli oli kytketty tietokonepäätteeseen yhdessä AVL DiOBD 880 OBD -päätteen, AVL DiLink 480 väylämoduulin sekä uuden AVL DiTest Smoke 2000 -massavirtakammion kanssa. Voimassa oleva ohjelmiston versio oli DSS OM-FI V13.0. Laitteiston kalibrointi suoritetaan vuosittain vuosihuollon yhteydessä. Viimeksi tämä on tehty 26.6.2014. Savutusmittamoduuli joutui syyskuussa vikatilaan, jonka seurauksena loput mittaukset suoritettiin lainakammiolla, joka kalibroitiin 17.9.2014 ja toimitettiin käyttöön heti tämän jälkeen.

Mittauksissa käytetty AVL:n valmistama mittauslaitteisto edustaa alan uusinta teknologiaa. Malli on ollut Turun ammattikorkeakoululla muutaman vuoden, joten uusikin versio on jo ilmestynyt. Voidaan silti puhua uudehkosta mittalaitteistosta.

Uuden vastaavan yhdistelmälaitteen, AVL CDS 450, hankintahinta on tällä hetkellä 8 500 euroa arvolisäveron ollessa 0 %. Arvioitu hinta uudella massavirtakammiolla varustettuna on noin 9 500 euroa (alv 0 %).

Laitteen huolto sisältää lähinnä vuosikalibroinnin ja suodattimien vaihdon, eli kyseessä on toimenpide, joka on hyvin lähellä nykyistä bensiinianalysaattorin huoltoa. Bensiinianalysaattorin vuosihuollon kustannus on noin 200 - 300 euroa (alv 0 %) Diagno Finland Oy:n toimitusjohtaja Juha Seppälän mukaan. Uuden laitteen huolto- ja ylläpito-kustannukset ovat nykyisen virallisen laitteiston kaltaiset.

Varsinaisena tutkimuskohteena ollut uuteen mittausperiaatteeseen nojaava Smoke 2000 -mittakammio ei ole vielä sarjatuotannossa ja sen hyväksyttäminen Saksan hyväksyntäviranomaisella PTB:llä oli vireillä mittauksia tehtäessä. Hyväksyntäprosessi valmistui vuoden 2014 lopulla ja laite on tulossa lähiaikoina sarjatuotantoon.

2.1 Mittausmenetelmät

Opasiteettimittauksessa on kyse väliaineen eli pakokaasun kyvystä absorboida valoa. Pakokaasuun kyky absorboida valoa ilmoitetaan absorptiokertoimella eli k-arvolla (m^{-1}). Mitä suurempi on väliaineen opasiteetti, sitä tehokkaammin se vaimentaa läpikulkevaa säteilyä ja sitä suurempi on k-arvo (Turun yliopisto 2011). Pakokaasunäyte saadaan pakoputkeen asetetulla sondilla, jolla osa pakokaasuvirrasta ohjataan talteen. Näyte kulkeutuu mittakammioon, jossa opasiteetti mitataan ja tulos ilmoitetaan näyttö-päätteellä.

Opasiteettimittauksessa mittaustulokseen voi hiukkasten lisäksi vaikuttaa myös esimerkiksi valkea savu, joka voi syntyä, kun moottori on ollut pitkään tyhjäkäynnillä. Savu on hiilivetyjen, vesihöyryn ja typpimonoksidin kemiallinen yhdistelmä, joka muodostuu kylmän katalysaattorin lämmetessä nopeasti. Savu on valoa absorboivaa, joten se vaikuttaa mittaustulokseen huonontaen mittaustulosta, kuten tekee myös moottorin voiteluöljyn palaessa syntyvä sininen savukin (Paavola 2011, 46). Tuloksesta ei saada eriteltyä vaikuttavia tekijöitä, joten ajoneuvo voidaan hylätä katsastuksessa, vaikka varsinaiset hiukkaspäästöt eivät ylittäisikään sallittua raja-arvoa (kuva 1.1).

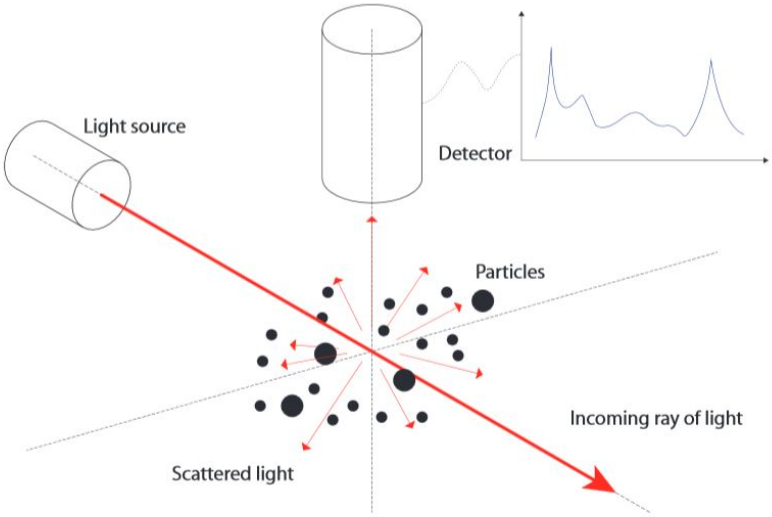
Stage	Date	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM	PN
		g/km					#/km
Compression Ignition (Diesel)							
Euro 1†	1992.07	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	0.14 (0.18)	-
Euro 2, IDI	1996.01	1.0	-	0.7	-	0.08	-
Euro 2, DI	1996.01[a]	1.0	-	0.9	-	0.10	-
Euro 3	2000.01	0.64	-	0.56	0.50	0.05	-
Euro 4	2005.01	0.50	-	0.30	0.25	0.025	-
Euro 5a	2009.09[b]	0.50	-	0.23	0.18	0.005[f]	-
Euro 5b	2011.09[c]	0.50	-	0.23	0.18	0.005[f]	6.0×10^{11}
Euro 6	2014.09	0.50	-	0.17	0.08	0.005[f]	6.0×10^{11}

* At the Euro 1..4 stages, passenger vehicles > 2,500 kg were type approved as Category N_1 vehicles
† Values in brackets are conformity of production (COP) limits
a. until 1999.09.30 (after that date DI engines must meet the IDI limits)
b. 2011.01 for all models
c. 2013.01 for all models
d. and NMHC = 0.068 g/km
e. applicable only to vehicles using DI engines
f. 0.0045 g/km using the PMP measurement procedure
g. 6.0×10^{12} 1/km within first three years from Euro 6 effective dates

Kuva 1.1 Pakokaasupäästöjen raja-arvot diesel henkilöautoille, Dieselnet 2013.

Kuvasta 1.1 selviää pakokaasujen päästörajat dieselhenkilöautoille. Hiukkaspartikkelien mittausarvot ovat toiseksi viimeisessä sarakkeessa kohdan PM alla.

Massavirtamittauksessa, eli seuraavan sukupolven opasiteettimittauksessa, itse näytteen ottaminen suoritetaan samalla tavalla kuin opasiteetin kohdalla, mutta se, miten kammio laskee tuloksen, eroaa opasiteettimittauksesta. Uuden mittakammion toimintaperiaate perustuu valon sirontaan (kuva 1.2).



Kuva 1.2 Valon siroutumiseen perustuvan hiukkasmittauksen periaate, AVL DiTest GmbH 2010.

Kuvasta 1.2 havaitaan, että ”pakokaasunäytteeseen ohjataan valonsäde, josta sironneet valonsäteet havaitaan ja lasketaan k-arvo empiirisesti määritetyn, epälineaarisen funktion avulla” (AVL DiTest GmbH 2010). Tästä k-arvosta johdetaan myös massavirran suuruus, joka ilmoitetaan milligrammoina kuutiometriä kohden (mg/m³). Massavirta määritetään edelleen valon siroamisesta saman funktion avulla. Arvojen laskemiseen käytetty funktio on määritetty vertailevilla mittauksilla Saksan kansallisessa tutkimuskeskuksessa PTB:ssä.

Katsastusdirektiivi tuntee hyväksyttävänä mittausarvona vain k-arvon, joten tuloksena näytetään ensisijaisesti opasiteetti k-arvona, ja massavirtatulos näytetään tämän lisäksi.

2.2 Mittausten suorittaminen

Euro 3 ja Euro 4 -päästöluokkien mittaukset suoritettiin syksyn 2014 aikana. Pekka Lesosen opinnäytetyössä raportoituja Euro 5 -päästöluokan autoja mitattiin pääsääntöisesti keväällä 2014, mutta kolmasosa niistä mitattiin syksyllä vanhempien autojen mittauksien yhteydessä. Mitattavat autot valikoitiin rekisteröintipäivämäärän mukaan. Tässä työssä käsitellään mittaustuloksia autoista, jotka on ensirekisteröity ennen syyskuuta 2010.

Ennen mittausprojektin aloittamista sovimme opinnäytetyöni ohjaajan Markku Ikosen kanssa tavoitteet tulevalla projektille. Kävimme yhdessä läpi suunnitelmaa toteuttaa

mittaukset hallitusti tietyn aikataulun puitteissa sovitulle automäärälle, joka oli määritelty olemaan 50 (+) autoa. Laitteiston toimintaan olin tutustunut jo aiemmin koulumme autolaboratoriossa suoritettavan Autotekniset mittaukset -kurssilla sekä keväällä 2014 avustaessani Euro 5 -päästöluokan mittausten suorittamisessa. Laitteiston toiminta-periaate ja käyttö käytiin kuitenkin vielä syksyllä läpi Turun ammattikorkeakoulun Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelman laboratorioinsinööri Juha-Pekka Lindqvistin johdolla ennen mittausprojektin aloittamista.

Olen itse mitannut jokaisen syksyllä mitatun auton, jotta mittaustapahtumat olisivat mahdollisimman paljon toistensa kaltaisia ja tulokset helposti purettavissa analysointia varten.

Mittauksia suoritettiin syyskuun aikana siten, että mitattavat autot valittiin Turun alueen autoliikkeiden vaihtoautoista. Autot ajettiin Turun AMK:n autolaboratorioon, joka toimi projektin mittausympäristönä. Autoja saatiin mitattavaksi Turun VV-Autosta, Keskus-autohalli Oy:n Turun toimipisteestä sekä Turun Rinta-Jouppi Oy:ltä. Lisäksi muutama auto saatiin lainaan yksityishenkilöiltä. Siirtoajossa auto saatiin lämpimäksi ja valmiiksi mittausta varten. Auton jäähdytinnesteen lämpötila tuli päästötestin suorittamiseksi olla vähintään 60 Celsius-astetta, jotta ohjelma salli aloittaa mittauksen.

Karstanpolttoa ei suoritettu, vaan ajo oli rauhallista, pääosin kaupunkiin sijoittuvaa siirtymäajoa. Ajotapahtuma oli verrattavissa Turun alueella liikkuvien autojen normaaliin ajotapahtumaan.

Lokakuussa mittauksia suoritettiin siten, että mittalaitteisto siirrettiin ammattikorkea-koulun autolaboratoriosta autoliikkeiden tiloihin (kuva 1.3). Laitteisto on melko helppo kuljettaa. Ainoa haaste on laitteiston korkeus, minkä seurauksena tarvitaan suurehko pakettiauto, jotta laitteiston saa kuljetettua ilman suurempaa purkamista.

Kuva 1.3 Mittaustapahtuma käynnissä Turun Keskusautohalli Oy:n pihalla.

Laitteiden liikuttelua autotaloihin sovellettiin kolmen eri autoliikkeen kohdalla, jotka olivat Turun Keskusautohalli Oy, Delta Auto Oy ja Raision Autokeskus Oy. Mittaaminen autotaloissa mahdollisti paljon suuremman autokannan saannin lyhyemmässä ajassa, kun jokaista autoa ei tarvinnut ajaa erikseen toiselle puolelle kaupunkia lyhyen mittaustapahtuman takia. Moottoria lämmitettiin ajamalla pieni ajosuorite ja antamalla lämmetä tyhjäkäynnillä pihalla rivissä siihen asti, että jäähdytinnesteen tavoitelämpötila saavutettiin.

Kyseiset autoliikkeet suhtautuivat erittäin yhteistyöhaluisesti projektiin ja mittauksia saatiin suorittaa kussakin autoliikkeessä omatoimisesti niin monelle autolle kuin oli tarve. Olosuhteet olivat hyvin samankaltaiset kuin koulumme autolaboratoriossa, joskin joitakin mittauksia piti tehdä taivasalla asentajien hallityöskentelyä haittaavan melun takia. Tästä ei havaittu tulevan eroavaisuuksia tuloksiin, vaan tilanne oli lähtökohdaltaan sama kuin sisällä työskennellessä. Mittauksia ulkona suoritettaessa lämpötila vaihteli 5 - 20 Celsius-asteen välillä. AMK:n Autolaboratoriossa suoritettujen mittauksien aikana hallin ovet olivat auki, joten lämpötila oli lähellä ulkolämpötilaa.

2.3 Mittaustapahtuma

Mittauksia suoritettiin kahdella menettelyllä, joissa tarvittavat toimenpiteet eroavat hieman toisistaan. Vertailua tehtiin opasiteettiperiaatteeseen ja massavirtaan perustuvien mittauskammioiden välillä. Mittauksia suoritettaessa havainnoitiin mahdollisia eroja käytön helppoudessa ja tehokkuudessa. Seuraavassa on käsitelty kumpaakin mittausmenettelyä erikseen.

2.3.1 Opasiteettiperiaate

Perinteinen opasiteettiperiaatteeseen perustuva mittaus aloitetaan ajamalla auto laitteiston viereen. Tietokonepäätteeltä valitaan AVL DSS Suomen päästötesti -ohjelma ja valitaan painikkeista ’Virallinen mittaus’. Tämän jälkeen ohjelmaan syötetään haluttu testi dieselöljyä polttoaineenaan käyttäville autoille tarkoitetuista kohdista, jotka ovat tässä tapauksessa Turbodiesel, Imudiesel tai Euro IV. Suurin osa mitatuista autoista mitattiin käyttämällä Euro IV -kohdan mittausta. Tulokset ovat mittausohjelmasta riippumatta samanlaisia virallisia päästörajoja lukuun ottamatta.

Seuraavaksi ohjelmaan syötetään auton perustiedot. Rekisteritunnus, ensirekisteröinnin päivämäärä, ajokilometrit sekä ajoneuvovalmistajan määrittelemä kyseisen auton kilpiarvo (kuva 1.4). Kilpiarvo on merkitty neliön sisään ja sen sijainti on autokohtainen. Usein se löytyy kuljettajan ovipilarista tai konepellistä moottorin puolelta.

Kuva 1.4 Valmistajan kilpiarvo merkittynä punaisen neliön sisään.

Autolla ajetut kilometrit syötettiin tutkimuksen takia kohtaan ’Ajoneuvon tyyppi’, jotta jokaisessa dokumentissa näkyy myös autolla ajetut kilometrit.

Kun perustiedot on täytetty, käynnistetään auto, mikäli se on sammutettu välissä ja liitetään laitteen OBD-pistoke auton 16-napaiseen diagnostiikkapistokkeeseen kierrosnopeuden ja lämpötilatietojen saamiseksi. OBD-pistokkeen sijainnin havaittiin vaihtelevan ajoneuvovalmistajan toteutustavasta riippuen, löytyen kuitenkin useimmiten suoraan auton hallintapolkimien yläpuolelta tai niiden vierestä (kuva 1.5). Joissain tapauksissa se löytyy esimerkiksi keskikonsolista tai keskikyynärnojan alta.

Kuva 1.5 Kuvassa OBD-pistoke, joka löytyi kyseisessä autossa kuljettajan oven läheisyydestä hallintapolkimien vierestä.

OBD-pistokkeen kytkennän jälkeen sijoitetaan sekä opasiteettiperiaatteella toimivan mittakammion että massavirtakammion mittauspäät auton pakoputkeen. Molempien mittauspäiden sijoittaminen samaan pakoputkeen pyrittiin toteuttamaan siten, että molemmat mittapäät, eli sondit, olisivat mahdollisimman samalla tavalla sijoitettuina pakoputkessa, mutta tämä on käytännössä erittäin vaikea toteuttaa pakoputkien muodoista ja halkaisijoista johtuen. Lisäksi mittauspäät sijoitettiin aina samaan pakoputkeen tulosten vastaavuuden varmistamiseksi (kuva 1.6), sillä pakokaasujen virtaus voi olla erisuuruinen pakoputken eri ulostuloissa. Tulosten täytyy olla vertailukelpoiset keskenään. Tämä onnistuu vain, jos pakokaasumittaukset on suoritettu yhdestä ja samasta pakoputkesta.

Kuva 1.6 Kuvassa mittauspäät sijoitettuna samaan pakoputken ulostulopäähän.

Näiden valmisteluiden jälkeen mittaustapahtuma voidaan aloittaa. Ohjelma pyytää mittaajaa suorittamaan polkaisun, eli painamaan kaasun pohjaan reippaasti (kuva 1.7) ja yhtäjaksoisesti, kunnes ilmoittaa että kaasun voi vapauttaa. Tässä vaiheessa ideana on nostaa pyörintänopeus rajoittimelle ja valvoa, että ryntäyspyörintänopeus on oikea, eikä moottori kierrä yli ajoneuvovalmistajan rajoituksen. Tätä vaihetta kutsutaan ryntäytyspyörintänopeuden määrittämiseksi.

Kuva 1.7 Ryntäytyspyörintänopeuden määritys käynnissä.

Tämän jälkeen aloitetaan varsinaiset mittaukset, joita voi olla 1 - 8 kappaletta tuloksista riippuen. Moottorin ja mahdollisen turboahtimen on oltava joutokäynnillä ennen kutakin vapaata kiihdytystä, joten jokaisen ryntäytyksen jälkeen tulee odottaa 10 sekuntia polkimen nostamisesta ennen kuin aloitetaan seuraava ryntäytys. Tätä odottamisaikaa kutsutaan joutokäynnin vakauttamiseksi.

Vapaassa kiihdytyksessä moottorin on saavutettava normaali ruiskutuksen katkaisun pyörimisnopeus tai valmistajan mittausta varten ilmoittama muu pyörimisnopeus. Automaattivaihteistolla varustetun auton savutusmittauksessa on huomioitava mahdolliset valmistajan antamat erityisohjeet muun muassa vaihteenvalitsimen asennosta ja moottorin pyörimisnopeudesta. Jos automaattivaihteistolla varustetun auton erityistä mittauspyörimisnopeusarvoa ei ole käytettävissä, moottorin on saavutettava 2/3 ruiskutuksen katkaisun normaalista pyörimisnopeudesta. (Trafi 2014.)

Kuten edellä on mainittu, joidenkin uudempien autojen kohdalla kierroksia on rajoitettu ja auto sallii kierrosten noston vain rajallisesti huippuarvoon verrattuna. Tämä voidaan monessa tapauksessa kiertää kytkemällä auton luistonesto pois päältä, painamalla kytkinpoljin pohjaan ja kytkemällä vaihde päälle. Tällöin auto sallii kierrosten noston rajoittimelle asti ja päästömittauksesta saadaan rajoittamattomaan verrattavissa oleva tulos.

Mittaustapahtuma on valmis, mikäli tulos alittaa sallitut rajat. Tarvittaessa ryntäytyksiä suoritetaan useampi, jotta saadaan hyväksytty keskiarvo ryntäytyksien välille. Tämän jälkeen ohjelma siirtyy viralliseen tulosilmoitukseen, josta tiedosto tallennetaan ohjelman kantaan. Seuraavaksi mittaus toistetaan samalla menettelyllä, jotta tutkimukseen saadaan kaksi suoritusta jokaisesta autosta.

Virallista mittausohjelmaa käytetään myös OBD-vikakoodien lukemiseen, joka suoritettiin tutkimukseen liittyen jokaiselle autolle päästömittauksen jälkeen, jotta nähtiin onko autossa päästöihin liittyviä vikakoodeja ja täten vaikutusta tulokseen. Tätä toimenpidettä ei suoriteta normaalisti dieselöljyä polttoaineena käyttäville autoille katsastuksen yhteydessä.

2.3.2 Massavirtaperiaate

Uudella massavirtakammiolla suoritetut mittaukset vastaavat pitkälti perinteistä mittausmenettelyä, mutta mittaustapahtuman läpiviemiseksi tarvittiin rinnalla virallista mittaustapahtumaa, joka ohjeistaa mittaajaa suorittamaan tarvittavat toimenpiteet oikeassa järjestyksessä ja siten, että esimerkiksi pyörintänopeuden tasaus ryntäytyksen jälkeen tapahtuu hyväksytysti. Massavirtaperiaatteella mittaavan Smoke 2000 -mittalaitteen ohjelma piirtää näyttöpäätteelle diagrammia k-arvon muutoksesta ajan suhteen. Ohjelma ei anna ohjeita ryntäytyksen suorittamiseen, eikä hyödynnä esimerkiksi pyörintänopeustietoa, joten varsinaista mittaustapahtumaa seurattiin opasiteettimittauksen tapaan virallisesta mittausohjelmasta ja tulosta verrataan jälkikäteen perinteisen opasiteettikammion tulokseen.

Tuloksen tallennus pysäytetään, kun virallinen opasiteetti-mittaustapahtuma tallennetaan. Tämän jälkeen tulokset nollataan ja mittaus aloitetaan alusta puhtaalla pohjalla. Tiedostot tallennetaan Excel-muotoon, josta ne käsitellään poimimalla mittauspiikin huippukohta vertailuarvoksi opasiteettitulokselle.

Kun massavirtaan perustuva kammio saadaan sarjatuotantoon ja osaksi mittauslaitteistoa, saadaan se kytkettyä ohjelmistoon perinteisen opasiteettikammion tapaan ja tulos näytetään suoraan direktiivin mukaisesti k-arvona näyttöpäätteellä.

3 TULOSTEN ESITTELY

Euro 3 ja Euro 4 -päästövaatimusluokan mukaisia autoja mitattiin 60 kappaletta, mutta kahden epäonnistuneen mittaustuloksen poissulkeminen jälkikäteen aiheutti sen, että otanta on 58 autoa. Tämä ylittää alun perin suunnitellun 50 auton rajan. Tulokset on luetteloitu yksilöllisesti Excel-taulukkoon (Liite 1). Tulokset on listattu suuruusjärjestykseen pienimmästä opasiteettimittauksesta alkaen helpottamaan vertailua.

Mittaustuloksista muodostettiin Excel-kuvaajat, jotka ilmaisevat hyvin otannan autojen mitattuja arvoja. Tuloksissa on verrattu ensimmäistä ja toista mittausta keskenään molemmilla mittausmenettelyillä, ensimmäisen ja toisen mittauksen absoluuttista erotusta k-arvona sekä opasiteetti- ja massavirtamittauksen tuloksen absoluuttista erotusta k-arvona.

Toisessa aiheeseen liittyvässä opinnäytetyössä Pekka Lesonen on koostanut vastaavat taulukot ja kuvaajat Euro 5 ja Euro 6 -päästöluokkien autokannasta.

Käytetyt kuvaajat on jaettu kahteen suuruusluokkaan. Ensimmäisenä tulee kuvaajapari kuvaajista, jotka ovat kymmenyksien suuruisia tai suurempia. Tämän jälkeen on esitetty kahden kuvaajan kuvaajapari joka kuvaa pieniä, lähes Euro 5 -luokitusten mukaisia tuloksia. Tulokset on jaettu siten, että niitä voidaan käsitellä karkeasti todennäköisen hiukkasloukun eli hiukkassuodattimen olemassaolon mukaan.

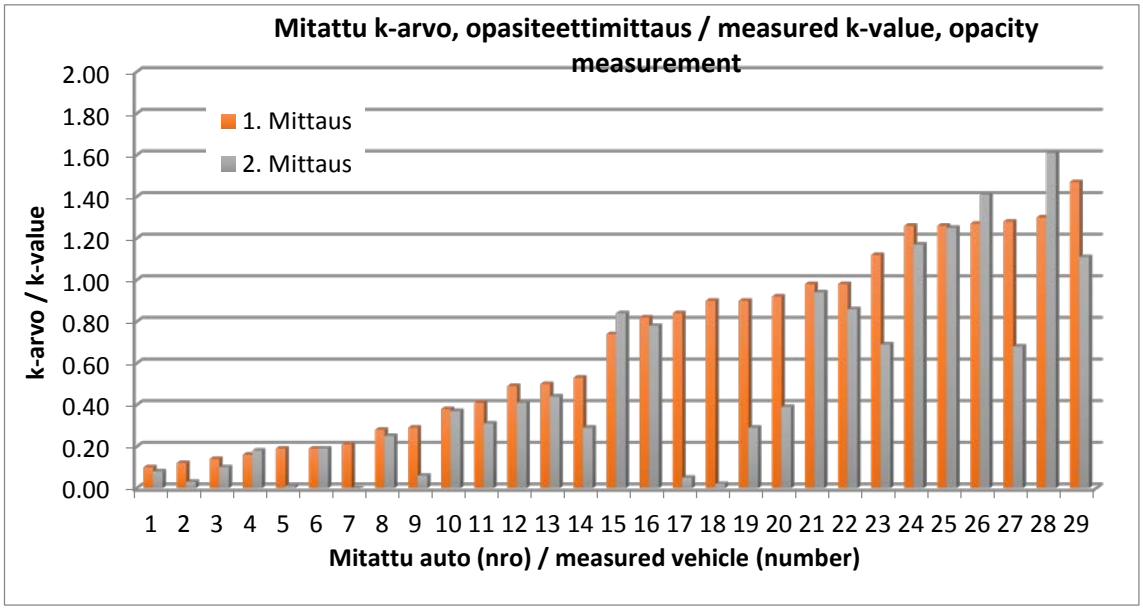
Osa autoista on tehty alittamaan Euro 5 -päästöluokitus, vaikka ne ovat ajoneuvorekisterissä Euro 4 -tasoisina. Euro 5 -päästöluokan alittaminen käytännössä pakotti ajoneuvovalmistajat käyttämään hiukkassuodattimia, mutta osa valmistajista on käyttänyt kyseistä hiukkastenrajoitusmenetelmää jo aiemmin.

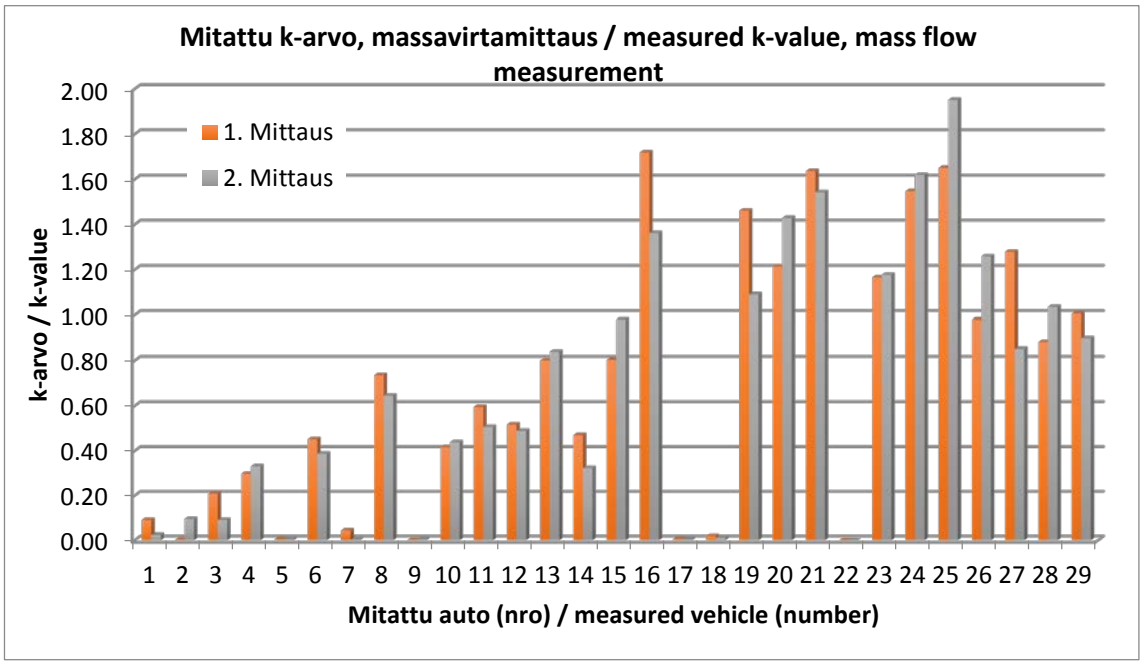
3.1 K-arvo eri mittausmenetelmillä

Kuviosta 1.1 nähdään, että suuressa osassa opasiteettiperiaatteella tehdyistä mittauksista ensimmäinen mittaus tuotti suuremman tuloksen kuin toinen mittaus. Myös massavirtaa esittävistä pylväistä havaitaan, että ensimmäinen mittaustulos on useammin jälkimmäistä suurempi. Tämä johtuu siitä, että usein ensimmäisellä ryntäytyksellä pakoputkistosta tulee enemmän pakokaasukomponentteja kuin toisella, mikäli autoa ei ole niin sanotusti puhdistettu karstasta ajamalla. Tuloksista nähdään myös se, että massavirtatuloksien erot ensimmäisen ja toisen mittauksen välillä ovat keskimäärin pienempiä kuin opasiteettikammiolla saaduissa tuloksissa.

Autot numero 17 ja 18 havainnollistavat hyvin massavirtamittauksen mittaustarkkuuden paremmuutta opasiteettikammioon verrattuna. Ensimmäisellä opasiteettimittauksella

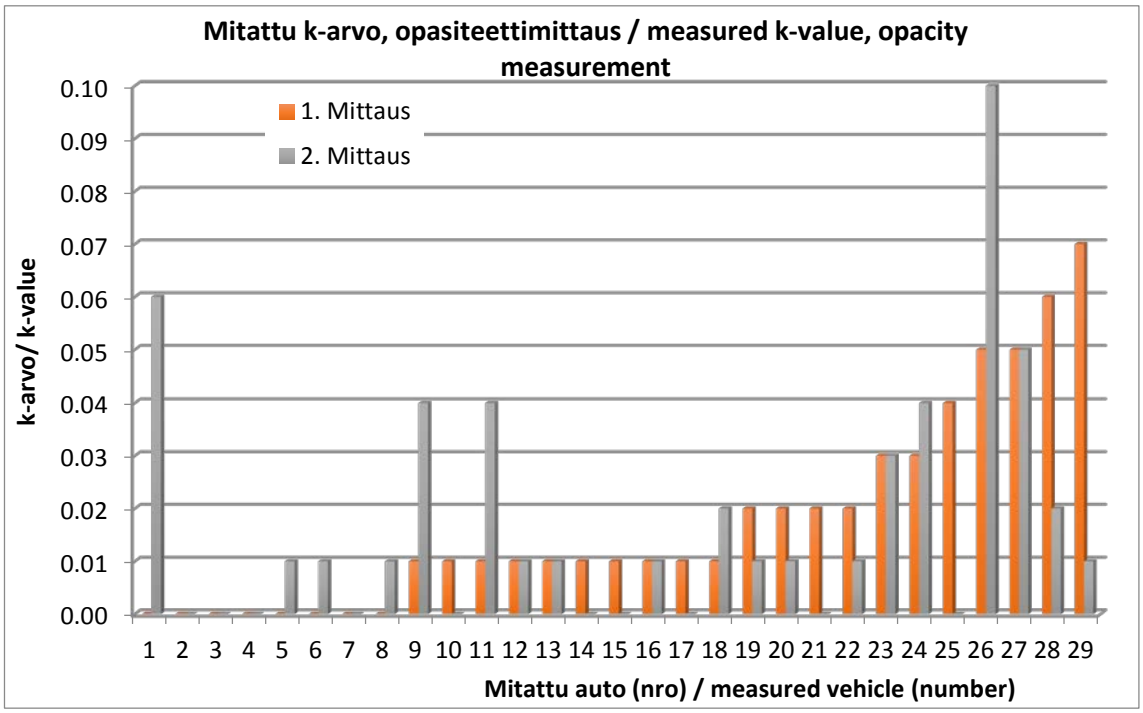
molemmissa tulos on lähes 1,0 suuruinen, mutta seuraavalla mittauksella vain noin 10 prosenttia edellisen mittauksen suuruudesta (k = 0,10). Massavirtamittaus antaa tasaisemman tuloksen, joka on molemmilla mittauksilla samaa suuruusluokkaa kuin toisen opasiteettimittauksen tulos (kuvio 1.1).

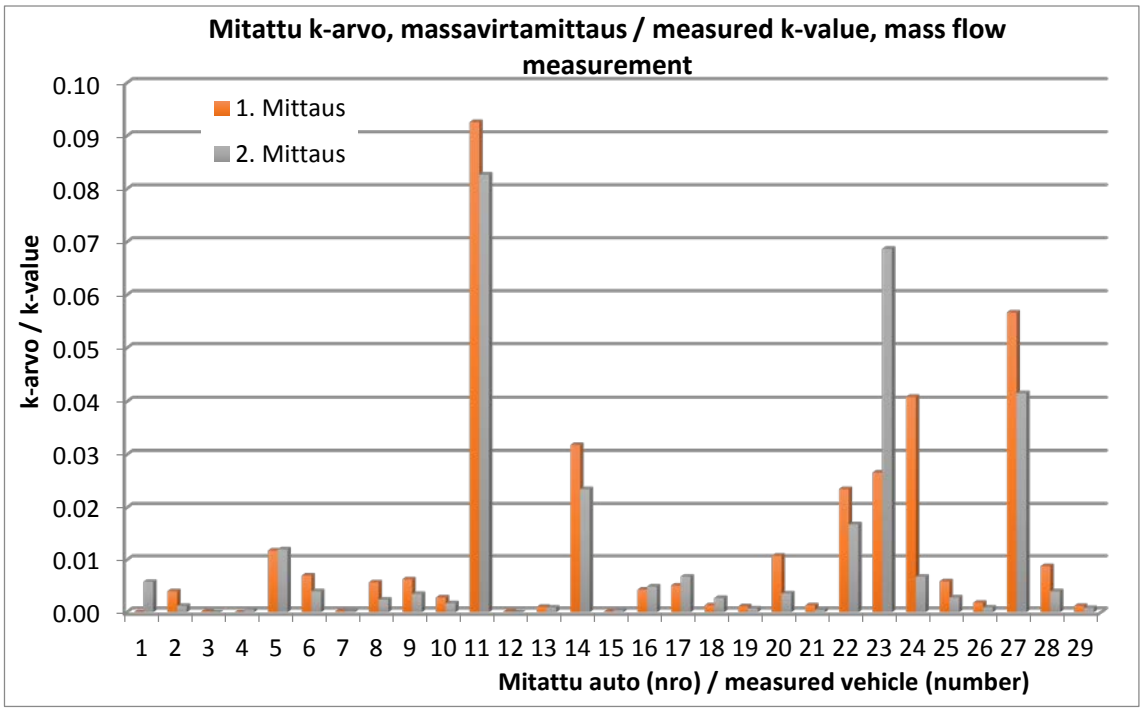




Kuvio 1.1 Opasiteettimittauksen (yläkuvake) ja massavirtamittauksen (alakuvake) k-arvot eniten hiukkasia päästäneillä koeautoilla.

Kuviossa 1.2 on esitetty kuvion 1.1 tapaan k-arvot molemmilla mittaustavoilla vähiten hiukkasia päästäneillä autoilla.

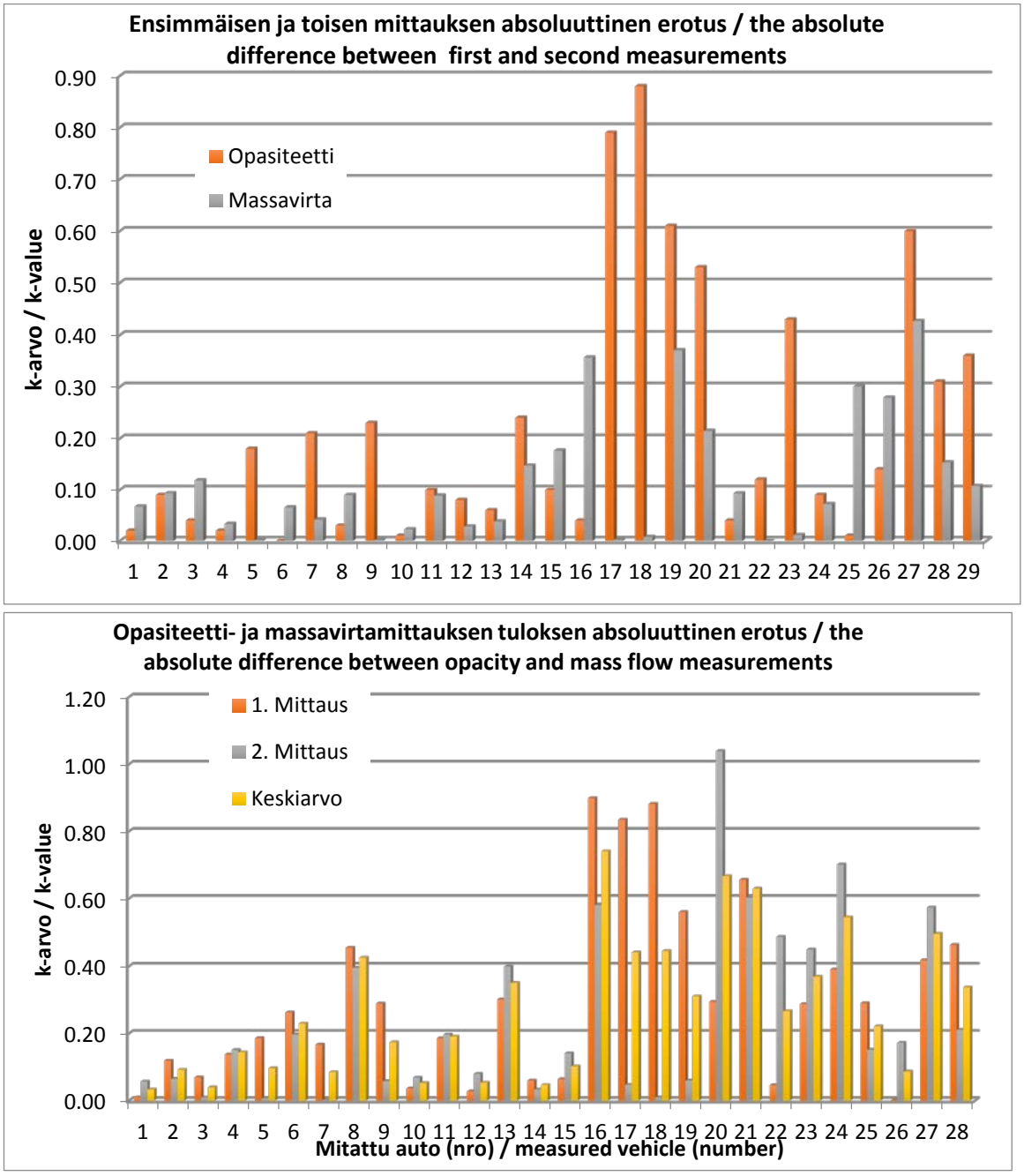




Kuvio 1.2 K-arvot molemmilla mittaustavoilla vähiten hiukkasia päästäneillä autoilla.

Kuviossa 1.2 ensimmäisen mittaustuloksen ero suhteessa jälkimmäiseen ei yhtä selkeästi ole nähtävissä, niin kuin se oli isommilla k-arvoilla. Tulosten ollessa suuruudeltaan 0,00 - 0,10 on niiden välinen ero vaikeampi havaita.

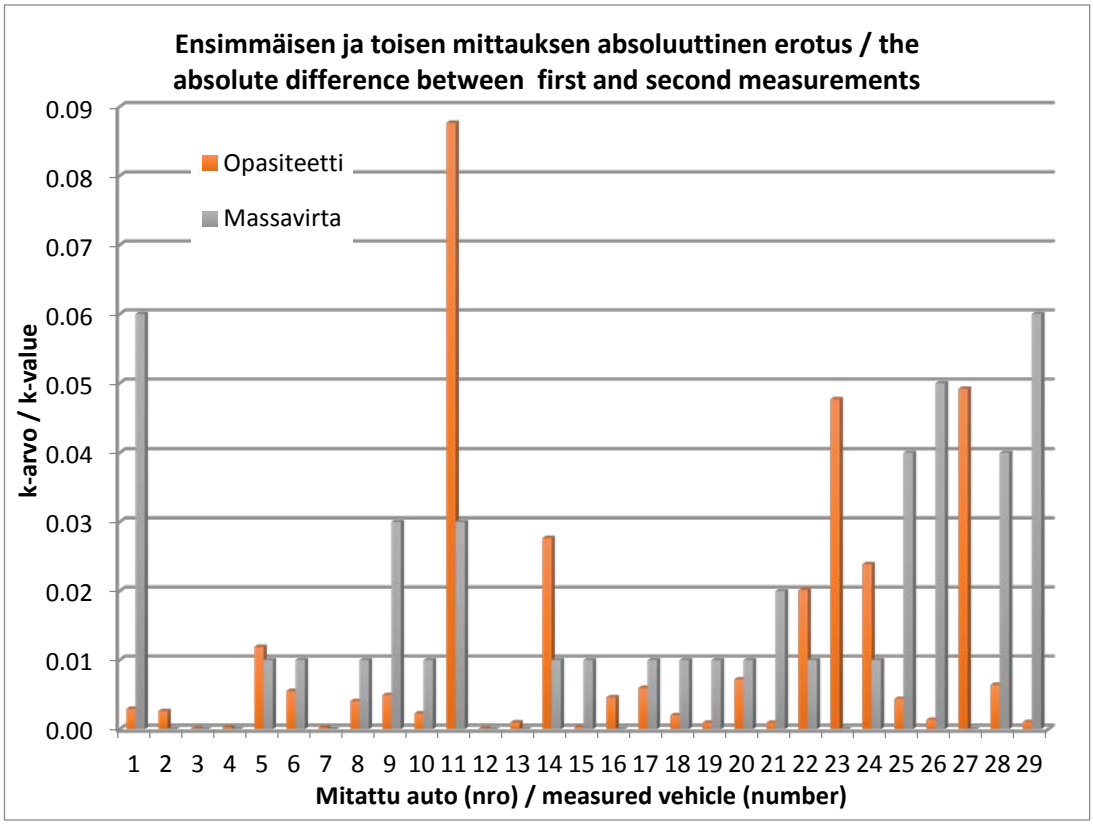
Kuviossa 1.3 esitetään itseisarvona ensimmäisen ja toisen mittauksen absoluuttinen erotus sekä opasiteetti- ja massavirtamittauksen tuloksen absoluuttinen ero ensimmäisen ja toisen mittauksen sekä mittauskertojen keskiarvon mukaan autoille, jotka päästivät eniten hiukkasia.

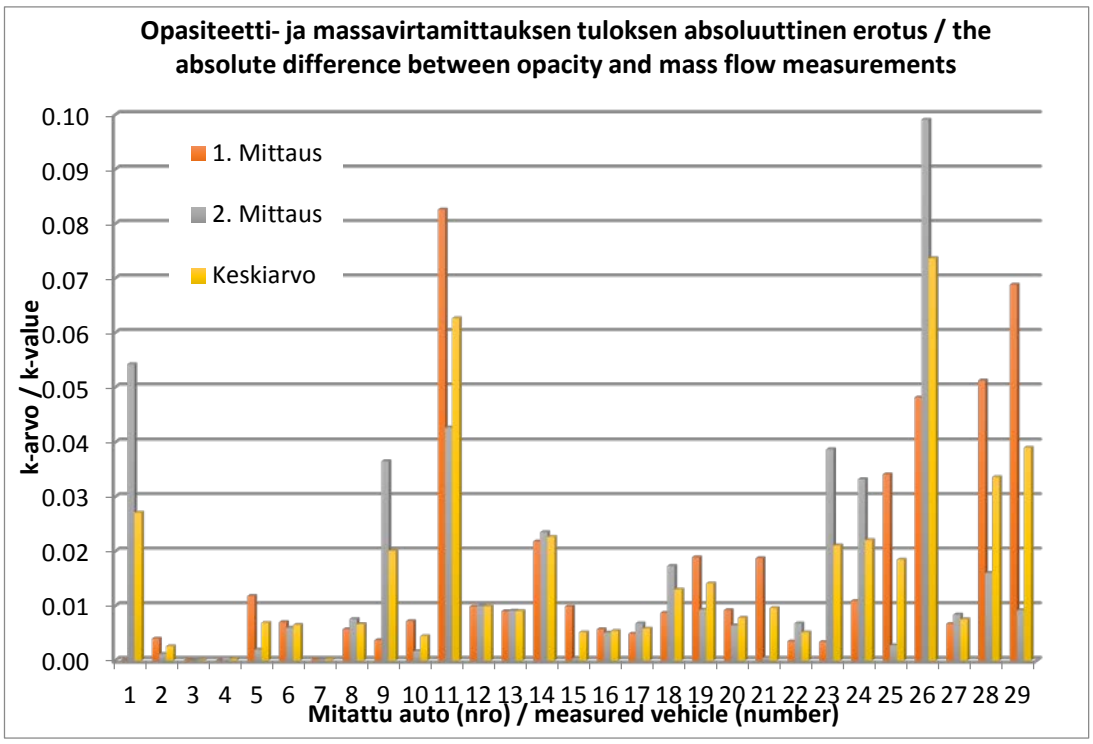


Kuvio 1.3 K-arvon erotuksen itseisarvo mittauskertojen välillä eniten hiukkasia päästäneillä autoilla.

Kuvion 1.3 ylemmästä kuvakkeesta selviää hyvin, että mittausten väliset erot opasiteetti-kammiolla ovat huomattavasti suurempia kuin massavirtamittauksella mitattujen. Opasiteettitulosten erot mittausten välillä ovat jopa kaksi kertaa niin suuria kuin massavirralla mitattujen. Autojen numero 17 ja 18 suuri ero opasiteetti ja massa-virtamittausten välillä näkyy kuvion 1.3 ylemmässä kuvakkeessa. Tämä aiheutuu usein ensimmäisen mittauksen virheellisestä tuloksesta opasiteettimittauksessa, jonka on aiheuttanut esimerkiksi alle ihannelämpötilansa oleva katalysaattori ja sen seurauksena aiheutunut valkea savu tai pakoputkistossa on ollut nokea, joka on lähtenyt liikkeelle ryntäytyksen aikana.

Kuviossa 1.4 esitetään itseisarvona ensimmäisen ja toisen mittauksen absoluuttinen erotus sekä opasiteetti- ja massavirtamittauksen tuloksen absoluuttinen ero ensim-mäisen ja toisen mittauksen sekä mittauskertojen keskiarvon mukaan autoille, jotka päästivät vähiten hiukkasia.

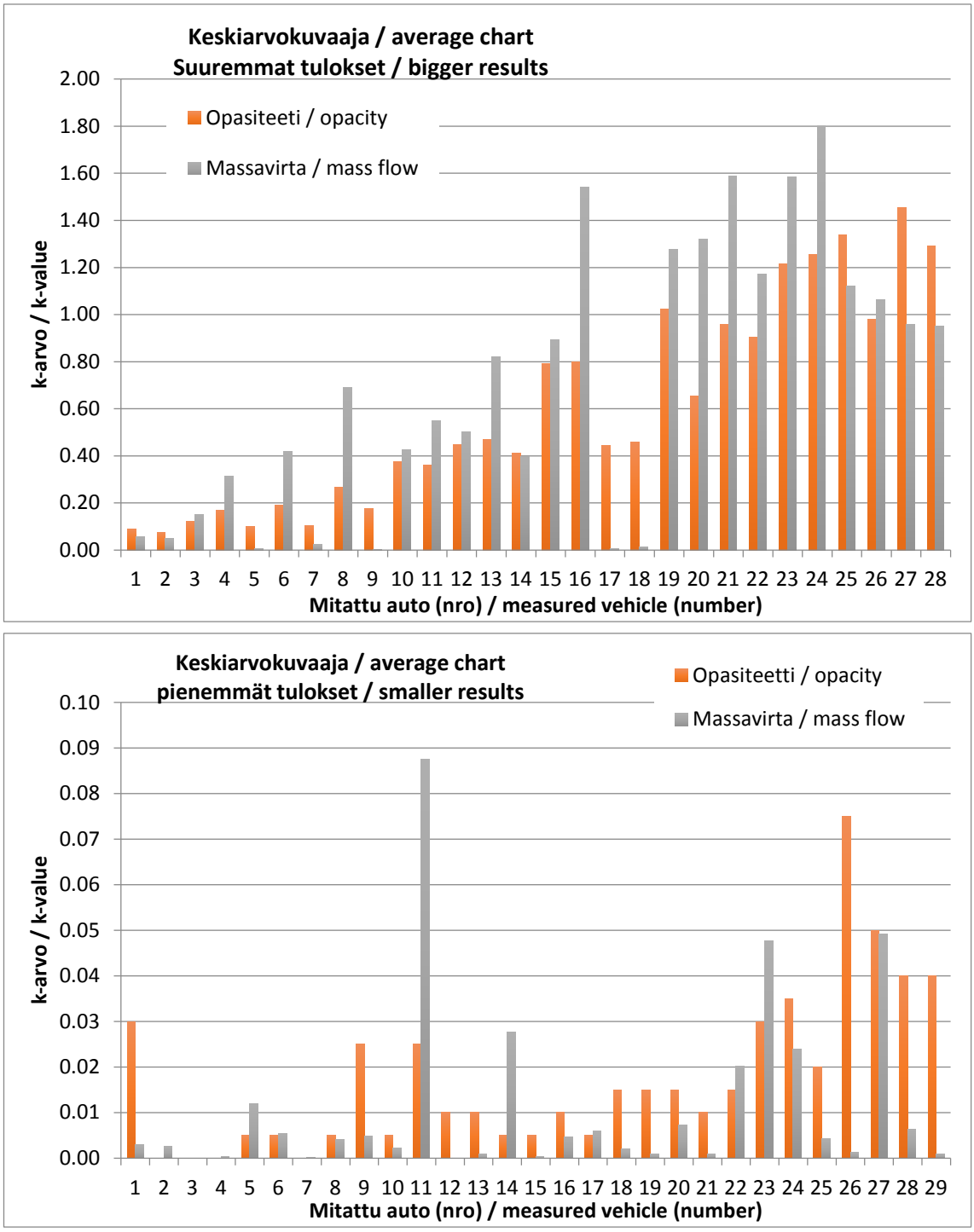




Kuvio 1.4 K-arvon erotuksen itseisarvo mittauskertojen välillä vähiten hiukkasia päästäneillä autoilla.

Kuviossa 1.4 eroavaisuudet eivät vastaa edellistä kuvaajaparia. Tulosten ollessa 0,00-0,10 suuruisia, tulee massavirtamittauksen tarkkuus esiin myös tulosten välisessä eroavaisuudessa. Opasiteettikammion tulos on usein suuruudeltaan 0,00 kun vastaavasti massavirtamittauksella saadaan tulos paljon tarkemmin, jopa tuhannesosien tarkkuudella. Tästä syystä myöskin eroavaisuudet ensimmäisen ja toisen mittauksen välillä ovat sellaisia, että erotuksen ollessa opasiteettimenetelmän kohdalla nolla erottuvat massavirtamittauksen pylväät luonnollisesti korkeampina, vaikka erotus massavirtatulosten välillä ei olisikaan suuri.

Mitattuja k-arvoja rinnakkain eri menetelmillä keskiarvojen avulla on esitettynä kuviossa 1.5.



Kuvio 1.5 Mitatut k-arvot rinnakkain eri menetelmillä keskiarvojen avulla esitettynä.

Kuvion 1.5 ylemmässä kuvakkeessa on esitettynä enemmän hiukkasia päästäneiden autojen keskiarvotulokset. Alemmassa kuvakkeessa on puolestaan vähemmän hiukkasia päästäneiden autojen keskiarvopylväät.

3.2 Tulosten keskiarvo, keskihajonta ja mediaani

Taulukossa 1.1 esitetään opasiteetti- ja massavirtamittausten tulosten keskiarvo, keskihajonta ja mediaani ensimmäisellä ja toisella mittauksella.

Taulukko 1.1 Tulosten keskiarvo, keskihajonta ja mediaani taulukoituna

	1. Opasiteetti (1/m)	2. Opasiteetti (1/m)	1. Massavirta (1/m)	2. Massavirta (1/m)
Keskiarvo / average	0,354	0,267	0,351	0,339
Keskihajonta/ standard deviation	0,459	0,412	0,533	0,529
Mediaani / median	0,085	0,045	0,021	0,012

Taulukon 1.1 tuloksista nähdään massavirtatulosten keskiarvon pieni ero ensimmäisen ja toisen mittauskerran välillä. Tarkastellessa opasiteettimittausten kohdalla samoja keskiarvotuloksia voidaan todeta, että näiden välinen ero on huomattavasti suurempi kuin massavirtamittausten kohdalla.

Molemmilla mittaustavoilla mediaani on selvästi pienempi kuin mittaustulosten keskiarvo. Tämä johtuu siitä, että mitattu k-arvo on uudella, hiukkasloukulla varustetulla dieselautolla usein lähellä tulosta 0,00 1/m. Lähes nollatulosten suuri määrä painaa mediaanin lähelle nollaa. Mittausmenetelmien erosta kertookin enemmän kaksi muuta tulosten tulkintaan liittyvää arvoa, keskiarvo ja keskihajonta.

Keskiarvo on ensimmäisellä mittauskerralla lähes sama mittausmenetelmästä riippumatta. Toisella mittauksella eroavaisuutta mittausmenettelyjen välille syntyy hieman. Nähdään, että massavirtamittauksella saatujen tulosten keskiarvo ei eroa mittauskerrasta riippuen, vaan on stabiilimpi kuin opasiteettimittauksen tulokset, joissa ensimmäisen ja toisen mittauksen välinen tulos voi heitellä suuresti ensimmäisen mittauksen satunnaisista isoista hiukkasista johtuen.

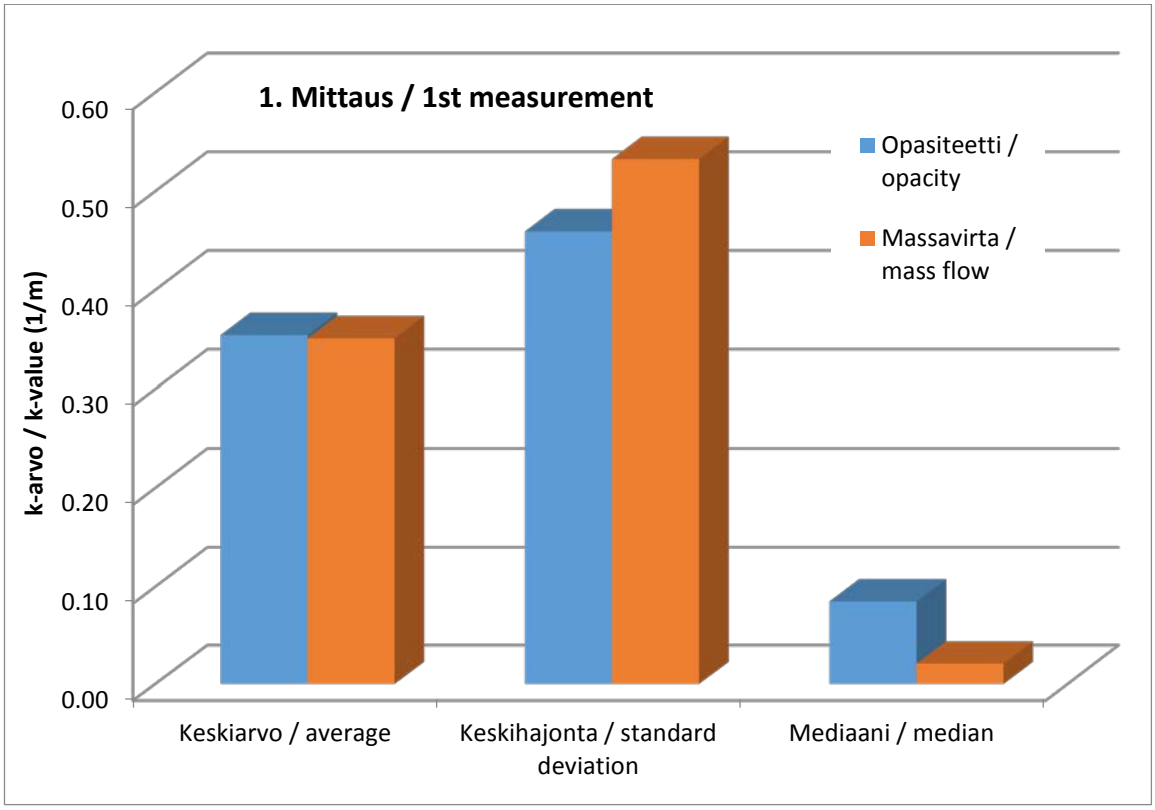
Tulosten keskihajonta on opasiteettimittauksella hieman pienempi kuin massavirtamittauksella. Massavirtamittauksella keskihajonta on tasaisempi mittauskertojen välillä. Massavirtatulosten keskihajonta eroaa toisistaan selvästi alle prosentin kun taas opasiteettimittausten eroavaisuus on noin 12 prosenttia.

Keskiarvo on aritmeettinen keskiarvo. Keskiarvo määritetään laskemalla kaikki mittaustulokset yhteen ja jakamalla saatu summa mittaustulosten lukumäärällä.

Keskihajonta pyrkii mittaamaan arvojen vaihtelua keskiarvon molemmin puolin. Keskihajonta ilmaisee havaintojen keskimääräisen poikkeaman keskiarvosta (Tilastoapu 2011).

Mediaani on suuruusjärjestyksessä olevien tulosten keskimmäinen luku tai kahden keskimmäisen luvun keskiarvo (Tilastoapu 2011). Puolet tuloksista ovat korkeintaan mediaanin suuruisia, toinen puoli tuloksista on suurempia tai vähintään yhtä suuria.

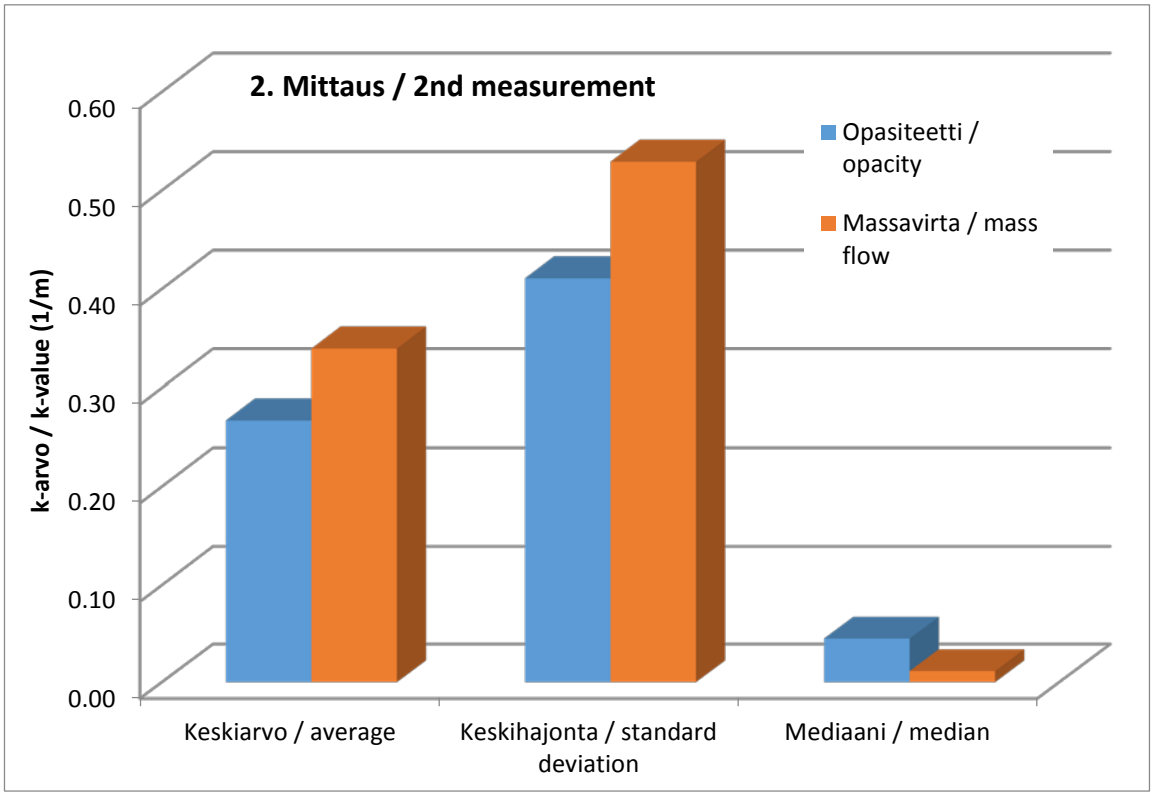
Kuviossa 1.6 esitetään taulukon 1.1 mukaisesti kaikkien mitattujen autojen tulosten keskiarvo, keskihajonta ja mediaani ensimmäisen mittauksen osalta.



Kuvio 1.6 Ensimmäisen mittauksen tulosten keskiarvo, keskihajonta ja mediaani kaikilla autoilla.

Kuviossa 1.6 opasiteettimittauksen tulosten keskiarvo ensimmäisellä mittauksella on 0,354 1/m ja massavirtamittauksella ensimmäisten mittausten keskiarvo on 0,351 1/m. Keskihajonta ensimmäisellä mittauksella on opasiteettimenetelmällä 0,459 1/m ja

massavirtamittauksella 0,533 1/m. Ensimmäisten mittausten mediaani opasiteetti-menetelmällä on 0,085 1/m ja massavirtamittauksella 0,021 1/m. Kuviossa 1.7 esitetään taulukon 1.1 mukaisesti kaikkien mitattujen autojen tulosten keskiarvo, keskihajonta ja mediaani toisen mittauksen osalta.



Kuvio 1.7 Ensimmäisen mittauksen tulosten keskiarvo, keskihajonta ja mediaani kaikilla autoilla.

Kuvion 1.7 opasiteettimittauksen tulosten keskiarvo ensimmäisellä mittauksella on 0,267 1/m ja massavirtamittauksella ensimmäisten mittausten keskiarvo on 0,339 1/m. Keskihajonta ensimmäisellä mittauksella on opasiteettimenetelmällä 0,411 1/m ja massavirtamittauksella 0,529 1/m. Ensimmäisten mittausten mediaani opasiteettimenetelmällä on 0,045 1/m ja massavirtamittauksella 0,012 1/m.

4 TULOSTEN ANALYSOINTI

4.1 Päätelmät tuloksista

Päätavoite savutusmittauksessa nykyisellään on poimia katsastettavien autojen joukosta vain ne yksilöt, joiden päästöt poikkeavat rajoista suuresti ja ovat selvästi haitallisia ympäristölle. Nykyisellään katsastuksessa sovellettavat päästörajoitukset dieselöljyä polttoaineenaan käyttävien henkilöautojen kohdalla ovat niin väljät, että ne sallivat suhteellisen suuret vaihtelut tuloksessa ilman, että niihin puututaan.

Uusi mittausmenettely, joka sisältää mittauksen massavirtakammiolla, mahdollistaisi tämän tutkimuksen tulosten perusteella päästörajoitusten uudelleentarkastelun ja mahdollisuuden tarkempaan valvontaan päästömittauksen yhteydessä.

Pienimmät pakokaasuhiukkaset ovat vaarallisimpia (Autoalan tiedotuskeskus 2012). Myös pienimmät hiukkaset poimiva massavirtamittaus antaa informatiivisimman tiedon dieselautojen pakokaasuista, koska pienimmät hiukkaset eivät näy valonläpäisyyn perustuvassa mittauksessa.

Siinä missä opasiteettimenetelmän tuloksissa eroavaisuudet ensimmäisen ja toisen mittauksen k-arvojen välillä voivat olla luokkaa 0,8 yksikköä, näyttää siltä, että massavirtamittauksella erot ovat pienempiä, suurimmillaan 0,4 yksikön suuruisia. Vaihtelu tulosten välillä jää siis paljon pienemmäksi. Epätarkkuus on täten auttamatta liian suuri tekijä mittausten luotettavuudessa osana päästörajoitusten valvontaa. Jo nyt voimassa olevat sekä tulevaisuudessa yhä tiukkenevat päästörajoitukset tulevat tekemään vaatimustenmukaisuuden toteamisen mahdottomaksi katsastuksessa, mikäli mittausmenettely pysyy nykyisellään.

Tuloksista nähdään, että massavirtamittaus näyttää tulokset huomattavasti tarkemmin sekä aivan alhaisilla hiukkaspäästöillä että mentäessä toista ääripäätä kohti, mittauslukemien k-arvojen ollessa suurempia kuin 1,0. Hiukkaspäästöjen keskialueella tulokset kahden mittaustavan välillä eivät poikkea niin suuresti toisistaan kuin ääripäissä. Ääripäiden tuloserot johtuvat todennäköisesti siitä, että opasiteettimittaus ei havaitse hiukkasmäärän ja valonläpäisykyvyn muutosta toisin kuin valon sirontaan perustuva mittaus.

Uudempaa mittausmenettelyä voisi alustavan päättelyn perusteella soveltaa myös vanhempaan ajoneuvokalustoon, sillä massavirtatulokset näyttävät pysyvän tarkempina k-arvon ylittäessä 1,0 rajan ja ovat täten todenmukaisempia. Tällöin testi olisi "armottomampi" vikaherkille yksilöille, joilla on päästöjen kanssa pientä ongelmaa, mutta jotka kuitenkin läpäisevät päästötestin nykyisellä mittaustavalla vaivatta mittausmenettelyn epätarkkuudesta johtuen. Nykyisellään katsastuksessa hylätään

hyvin pieni prosentti dieselautoista päästöjen perusteella juuri päästörajojen väljyyden takia. Massavirtalaitteisto toisi tarkkuutta ja sen myötä kenties tarkempaa puuttumista päästövikoihin katsastuksen yhteydessä.

Voidaan todeta, että suoritettujen mittausten perusteella valon siroamisen mittaamiseen perustuva mittakammio on tarkkuudeltaan sellainen, jollainen mittauslaitteiston tulisi olla nykyisillä päästörajoituksilla. Kammion tarkkuus sopisi erityisesti hiukkassuodatti-mellisten autojen mittaukseen. Sitä voisi käyttää myös nykyisen opasiteettikammion rinnalla vaihtoehtoisena mittausmenettelynä vanhempienkin autojen kohdalla.

4.2 Tuloksiin vaikuttavat tekijät

Tutkimus toteutettiin oppilastyönä ja sen toteuttamisen ajankohtana vallinneissa olosuhteissa. Käytössä ei ollut suljettua laboratoriotilaa ja mittauksia tehtäessä jouduttiin välillä tekemään kompromisseja, jotta mittaukset saatiin suoritettua. Seuraavassa on kerätty päätelmiä mahdollisista tuloksiin vaikuttavista tekijöistä, jotka mahdollisesti vähensivät tulosten tarkkuutta mutta joita ei pystytty vallitsevissa olosuhteissa optimoimaan tutkimuksen eduksi.

Pakokaasunäytteen ottamisessa käytetyt mittauspäät eli sondit aseteltiin pakoputkeen satunnaisesti suhteessa putken ympyrän halkaisijaan. Lisäksi molemmat kyseiset mittauspäät asetettiin pakoputkeen samaan aikaan, joten ne sijaitsevat eri paikassa suhteessa pakoputken ulostulon keskikohtaa. Tämä voi aiheuttaa heittelyjä mittaustuloksissa, sillä virtaus ei välttämättä ole yhtä suuri reunalla kuin se on keskellä putkea.

Mitattujen autojen moottorin pyörintänopeutta ei nostettu kierrosluvun rajoitinta vasten lämpimäksi ajon aikana ennen mittausten aloittamista, joten ensimmäisellä polkaisukerralla pakoputkistosta on mahdollisesti tullut enemmän päästöjä pakoputkeen kerääntyneiden nokihiukkasten takia kuin toisella mittauksella, mikäli autoilla on ajettu vain lyhyitä pätkiä ja ne ovat sen jälkeen olleet autoliikkeiden myyntihallissa pitkään seisomassa.

Ensimmäisen polkaisun tuottama ”ylimääräinen” noki ei näy massavirtamittauksessa niin selvästi kuin opasiteettimittauksessa. Tämä perustuu todennäköisesti siihen, että vaikka pakoputkesta tulisi muutama kappale isompia hiukkasia, voi niiden massa olla pienempi kuin useamman pienen hiukkasen massa. Valonläpäisyä isot hiukkaset kuitenkin estävät tehokkaammin kuin pienet, jolloin opasiteettimittaus näyttää suurta tulosta, mutta massavirta pienempää. Tästä saadaan eroavaisuus mittausmenettelyjen välille, sillä massavirta ei altistu niin herkästi satunnaisten tulosta muuttavien partikkelien vaikutukselle.

Autot on mitattu pelkästään rekisteröintipäivämäärän perusteella luokiteltuna, joten tarkkaa tietoa päästöluokista ei kaikkien autojen kohdalla ole. Osa rajatapauksien päästöluokista saatiin varmistettua autovalmistajien virallisten maahantuojaliikkeiden kautta. Tuloksia tarkastellessa havaittiin, että useat niistä olivat samaa suuruusluokkaa kuin Pekka Lesosen työssä Euro 5 -autojen kohdalla. Tämä on kuitenkin selitettävissä sillä, että jo Euro 4 -autoja on valmistettu hiukkassuodattimella varustettuina, jolloin ne alittavat selkeästi myös Euro 5 -päästörajat vaikka ovat rekisterissä Euro 4 -tasoisia rekisteröintivuodesta johtuen. Tulosten suuruudesta nähtiin, että noin 25:ssä mitatuista 58 autosta on oletettavasti hiukkasloukku eli -suodatin osana pakoputkistoa.

Tutkimuksen rajallisesta datan määrästä johtuen olisi perusteltua suorittaa jatkotutkimus, joka käsittäisi pitemmän aikavälin ja suuremman ajoneuvokannan, jotta voitaisiin paremmin ottaa kantaa katsastuskäytännön muuttamisen kannattavuudesta.

Työn aiheena oli tutkia mahdollisuuksia uudistaa dieselöljyä polttoaineena käyttävien henkilöautojen katsastuksen yhteydessä suoritettavaa pakokaasujen hiukkasmittausta. Tässä työssä mitattiin 58:n Euro 3 ja Euro 4 -päästötason mukaisen dieselhenkilöauton hiukkaspäästöt kahta erityyppistä mittalaitetta käyttäen. Tehtäväkokonaisuuteen kuului myös toinen opinnäytetyö, jossa mitattiin uusimpien päästöluokkien autoja.

Opinnäytetyössä käytiin läpi perinteinen opasiteettimittausmenettely ja uuden sukupolven opasiteettimittaukseksi kutsuttu valon sirontaan perustuva mittausmenettely. Lisäksi työssä esiteltiin käytetty laitteisto sekä käytiin läpi sen hankinta- ja huolto-kustannukset.

Kerätty data koostettiin Excel-tiedostoksi, josta muodostettiin taulukoita ja kuvaajia. Näitä analysoitiin ja samalla pohdittiin mittausmenettelyjen välisiä eroavaisuuksia.

Analysoinnin tuloksena saatiin positiivinen näyttö siitä, että valon sirontaan perustuvan mittausmenettelyn käyttö nykyisen menettelyn tilalla tai rinnalla olisi suositeltavaa. Valon siroamiseen perustuva mittakammio on huomattavasti opasiteettikammiota tarkempi ja vakaampi mittauskertojen välillä. Uuden teknologian kammio kykenee mittaamaan huomattavasti pienempiä tuloksia kuin perinteinen opasiteettikammio.

Uusi kammio tulisi ottaa käyttöön osana katsastusta, mikäli nykyisten ja tulevien päästörajoitusten vallitessa päästöjenvalvontaa tahdotaan kehittää tehokkaammaksi ja tarkemmaksi. Hyöty uuden mittausmenettelyn käyttöönotosta saavutettaisiin pieni-päästöisillä Euro 4, Euro 5 ja Euro 6 -päästöluokkien ajoneuvoilla. Tätä mittaus-menettelyä voisi kuitenkin käyttää myös nykyisen opasiteettimenetelmän sijaan tai rinnalla vanhemmankin autokaluston kohdalla.

LÄHTEET

Trafi, 2014. Tietoa Trafista. Viitattu 19.11.2014
http://www.trafi.fi/tietoa_trafista

Turun Yliopisto, 2011. Opasiteetti. Viitattu 19.12.2014
http://www.astro.utu.fi/zubi/phys/opacity.htm

AVL DiTest GmbH, 2010. AVL DiTEST SMOKE 2000 – second generation opacimeters. Viitattu 19.12.2014
http://www.avlditest.com/fileadmin/image/pdf_english/AVL_DiTEST_Flyer_Smoke_2000_E.pdf

Paavola P, 2002. Henkilö- ja pakettiautojen savutusmittauksen luotettavuus katsastuksessa. Viitattu 19.12.2014

Dieselnet, 2013. Emission standards. Viitattu 23.1.2015
http://dieselnet.com/standards/eu/ld.php#stds

Tilastoapu, 2011. Tunnuslukuja. Viitattu 19.12.2014
https://tilastoapu.wordpress.com/tag/keskihajonta/

Autoalan tiedotuskeskus, 2012. Liikenteen päästöt. Viitattu 19.12.2014
http://www.autoalantiedotuskeskus.fi/ymparisto/liikenteen_paastot

Liite 1. Yksilölliset mittaustulokset suuruusjärjestyksessä sivu 1 (2)

Auton nro	Virallinen k-arvo	Toinen mittaus	Smoke-2000 k-arvo	Toinen mittaus
1	0,0000	0,0600	0,0000	0,0058
2	0,0000	0,0000	0,0040	0,0012
3	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0005
5	0,0000	0,0100	0,0118	0,0120
6	0,0000	0,0100	0,0070	0,0040
7	0,0000	0,0000	0,0002	0,0002
8	0,0000	0,0100	0,0057	0,0024
9	0,0100	0,0400	0,0063	0,0035
10	0,0100	0,0000	0,0028	0,0017
11	0,0100	0,0400	0,0926	0,0827
12	0,0100	0,0100	0,0001	0,0000
13	0,0100	0,0100	0,0010	0,0009
14	0,0100	0,0000	0,0318	0,0235
15	0,0100	0,0000	0,0001	0,0004
16	0,0100	0,0100	0,0043	0,0049
17	0,0100	0,0000	0,0051	0,0068
18	0,0100	0,0200	0,0013	0,0027
19	0,0200	0,0100	0,0011	0,0007
20	0,0200	0,0100	0,0108	0,0036
21	0,0200	0,0000	0,0013	0,0005
22	0,0200	0,0100	0,0235	0,0168
23	0,0300	0,0300	0,0266	0,0687
24	0,0300	0,0400	0,0409	0,0068
25	0,0400	0,0000	0,0059	0,0028
26	0,0500	0,1000	0,0018	0,0009
27	0,0500	0,0500	0,0567	0,0416
28	0,0600	0,0200	0,0088	0,0040
29	0,0700	0,0100	0,0012	0,0008

Liite 1. Yksilölliset mittaustulokset suuruusjärjestyksessä sivu 2 (2)

Auton nro	Virallinen k-arvo	Toinen mittaus	Smoke-2000 k-arvo	Toinen mittaus
30	0,1000	0,0800	0,0906	0,0235
31	0,1200	0,0300	0,0013	0,0945
32	0,1400	0,1000	0,2090	0,0908
33	0,1600	0,1800	0,2972	0,3303
34	0,1900	0,0100	0,0045	0,0032
35	0,1900	0,1900	0,4521	0,3868
36	0,2100	0,0000	0,0433	0,0015
37	0,2800	0,2500	0,7351	0,6453
38	0,2900	0,0600	0,0011	0,0024
39	0,3800	0,3700	0,4159	0,4384
40	0,4100	0,3100	0,5950	0,5065
41	0,4900	0,4100	0,5173	0,4892
42	0,5000	0,4400	0,8010	0,8390
43	0,5300	0,2900	0,4704	0,3230
44	0,7400	0,8400	0,8036	0,9802
45	0,8200	0,7800	1,7186	1,3621
46	0,8400	0,0500	0,0054	0,0033
47	0,9000	0,0200	0,0184	0,0109
48	0,9000	1,1500	1,4612	1,0906
49	0,9200	0,3900	1,2140	1,4287
50	0,9800	0,9400	1,6357	1,5426
51	1,1200	0,6900	1,1657	1,1771
52	1,2600	1,1700	1,5472	1,6194
53	1,2600	1,2500	1,6502	1,9510
54	1,2700	1,4100	0,9799	1,2588
55	1,2800	0,6800	1,2790	0,8517
56	1,3000	1,6100	0,8820	1,0354
57	1,4700	1,1100	1,0066	0,8991

OSA 2

PEKKA LESONEN

EURO 5 JA EURO 6 -PÄÄSTÖLUOKAT

5 MITTAUSTULOSTEN KERÄÄMINEN

Mittaustuloksia kerättiin vuoden 2014 aikana. Ensimmäiset mittaukset suoritettiin helmikuussa ja viimeiset lokakuussa. Mittauksia tekivät Turun Ammattikorkeakoulun auto- ja kuljetustekniikan vuonna 2011 aloittaneet opiskelijat osana Auton ajotilan perusteet -kurssia. Lisäksi lisämittauksia suoritti opinnäytetyön tekijä Pekka Lesonen ja toinen samasta aiheesta opinnäytetyön tekevä auto- ja kuljetustekniikan opiskelija Mikko Pakarinen. Mitattuja autoja on yhteensä 72, jokaisesta autosta otettiin kaksi mittausta molemmilla mittausmenetelmillä, joten tutkimusaineistossa on yhteensä 288 mittaustulosta.

5.1 Mittausmenetelmä

Mittalaitteina käytettiin AVL:n DITEST SMOKE 2000 -massavirtamittaria, joka on koekäytössä oleva prototyyppi, jolla ei ole sarjanumeroa tai muita tunnistetietoja, sekä AVL:n DISMOKE HEAT 480 -opasiteettimittaria, sarjanumero 637, tunnistenumero BO7339. Opasiteettimittari oli kalibroitu kesäkuussa 2013 ja massavirtamittari kalibroitiin mittausten aikana kesäkuussa 2014.

Mittaukset suoritettiin molemmilla laitteilla yhtä aikaa. Mitattavan auton moottori käytettiin normaaliin käyntilämpötilaan ennen mittauksen aloittamista. Molemmat sondit työnnettiin samaan pakoputkeen yhtä syvälle (kuva 2.1). Samanaikaisella mittauksella pyritään minimoimaan eri mittauskertojen väliset vaihtelut tuloksia verrattaessa.

Kuva 2.1 Mittaustilanne.

Kuvassa 2.1 mitattavan auton pakoputkeen on työnnetty molempien mittalaitteiden näytteenottosondi. Auton vasemman etuoven yläpuolella näkyvissä näytöissä on avoinna mittausohjelmat, vasemman puoleisessa on virallinen päästömittausohjelma ja oikean puoleisessa vertailtavan massavirtamittarin ohjelma.

Mittaus suoritettiin Trafin tieliikenneohjeen TRAFI/33622/03.04.03.03/2010 mukaisesti. Mittauksessa kuormittamaton moottori ryntäytetään joutokäyntikierroksilta ruiskutuksen katkaisupisteen kierroksille vaihteen ollessa vapaalla ja kytkimen kytkettynä. Mitattavien autojen moottorin pyörintänopeustieto saatiin OBD-pistokkeen kautta. Päästö-mittauksien lisäksi kaikille mitattaville autoille tehtiin OBD-testi ja tarkistettiin oliko vikamuistissa merkintöjä päästöihin vaikuttavien toimintojen tai komponenttien vioista.

Hiukkasten massavirtaa mittaavalla mittalaitteella oli oma ohjelma, joka tallensi pakokaasun laskennallisen massavirtatiedon sadasosasekunnin välein. Massavirran tallennus käynnistettiin samaan aikaan kuin virallinen dieselpäästö-mittaus aloitettiin, joten jokaiseen massavirtamittauksen tulostaulukkoon kuului sekä moottorin ruiskutuksen katkaisukierrostenmääritys että varsinainen päästömittausryntäytys.

Päästömittauksessa määritetään ensin moottorin ruiskutuksen katkaisu-kierrokset ryntäyttämällä moottoria kunnes kierrokset eivät enää nouse. Päästömittausohjelma ohjaa mittaajaa kertomalla, koska kaasu tulee painaa pohjaan ja koska kaasu tulee vapauttaa. Tämän jälkeen määritetään joutokäyntikierrokset antamalla moottorin käydä vähintään kymmenen sekunnin ajan joutokäyntikierroksilla. Kun molemmat kierrosluvut on määritetty, suoritetaan varsinainen päästömittaus ryntäyttämällä moottori joutokäynniltä polttoaineen syötön katkaisupisteeseen saakka.

Massavirtamittalaitteen ohjelma ei erottele ryntäytyksiä toisistaan, joten tuloksista k-arvo luettiin aina toisesta ryntäytyksestä, joka on virallisessa mittauksessakin varsinainen mittaustapahtuma.

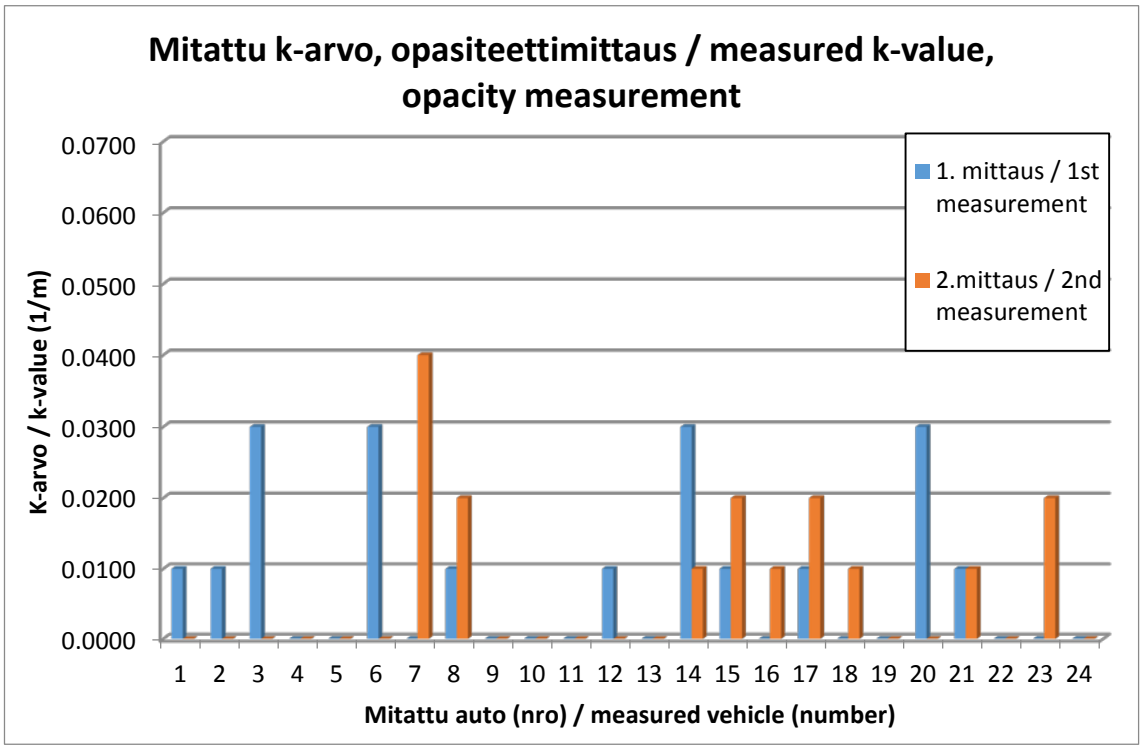
Mittauksista suurin osa suoritettiin Turun Ammattikorkeakoulu Oy:n autolaboratoriossa. Kaikkia mittauksia ei kuitenkaan voitu logistisista syistä suorittaa siellä. Mittauksen kohteena oli mm. muutamien autoliikkeiden vaihtoautoja, jotka oli rekisteröity myyntivarastoon ja poistettu tieliikennekäytöstä, joten niiden kuljettaminen Turun Ammattikorkeakoulun autolaboratorioon olisi vaatinut suhteettoman paljon aikaa. Jokai-selle autolle olisi pitänyt tehdä erikseen koeajolupa ja kiinnittää koeajorekisterikilvet.

Osa mittauksista suoritettiin tästä johtuen autoliikkeiden myymälöiden pihoilla. Ulkotiloissa tehdyissä mittauksissa ulkolämpötila oli 7 - 20 Celsius-astetta.

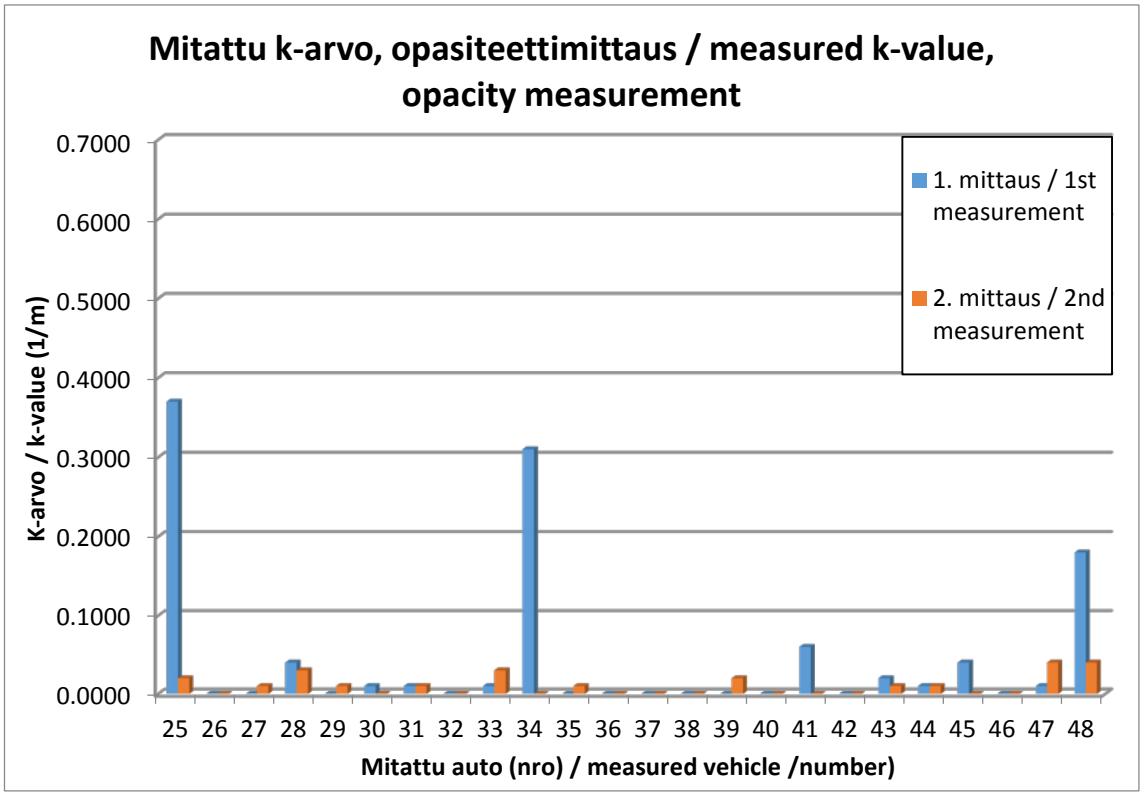
6 TULOKSET

6.1 K-arvot eri mittausmenetelmillä

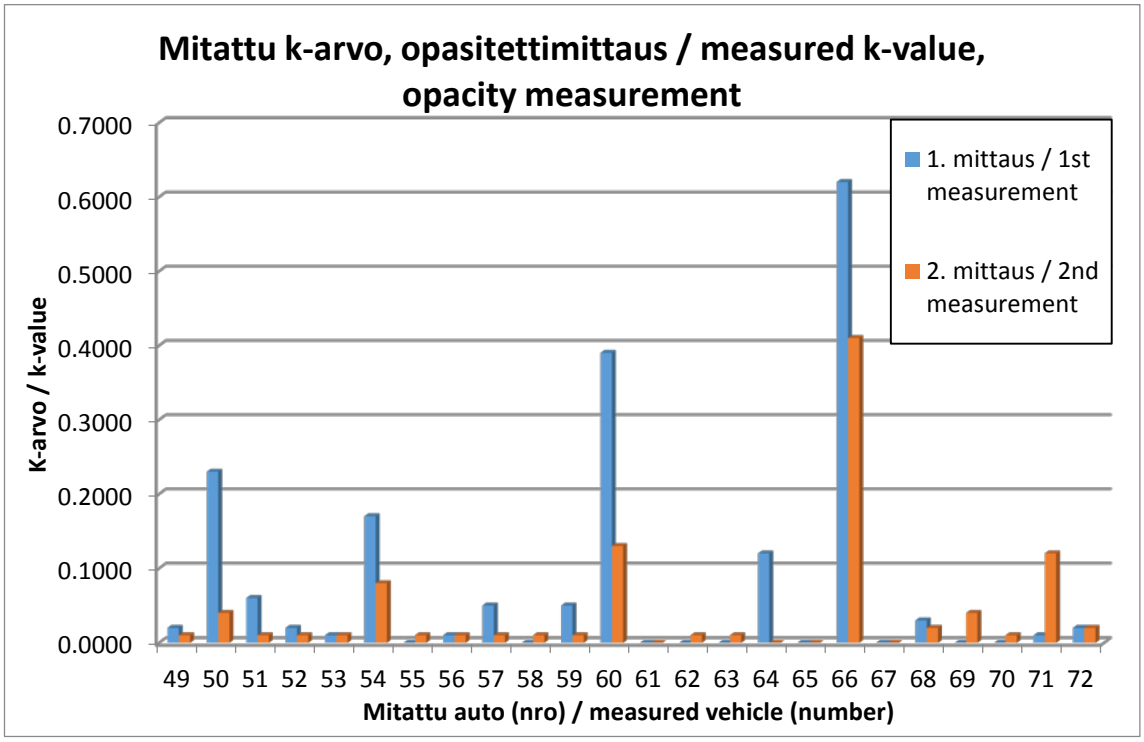
Molemmilla mittausmenetelmillä kaikkien mitattujen autojen molemmat mittaukset olisivat antaneet hyväksytyn tuloksen katsastuksessa. Yksikään mittaustulos ei ollut lähelläkään raja-arvoa. Suurin mitattu tulos oli 0,62 1/m, kun Euro 5 -päästötason täyttävien ahdettujen dieselmoottorien päästöraja määräaikaiskatsastuksessa on k-arvona 1,5 1/m. Opasiteettimittauksella tulosten hajonta oli huomattavasti suurempi kuin massavirtamittauksella. Mitattujen autojen opasiteettimittaukset on esitetty kuvioissa 2.1, 2.2 ja 2.3.



Kuvio 2.1 Opasiteettimittauksella mitatut k-arvot, autot 1-24 / Chart 2.1 k-values based on the opacity measurement, vehicles 1-24.



Kuvio 2.2 Opasiteettimittauksella mitatut k-arvot, autot 25-48 / Chart 2.2 k-values based on the opacity measurement, vehicles 25-48.



Kuvio 2.3 Opasiteettimittauksella mitatut k-arvot, autot 49-72 / Chart 2.3 k-values based on the opacity measurement, vehicles 49-72.

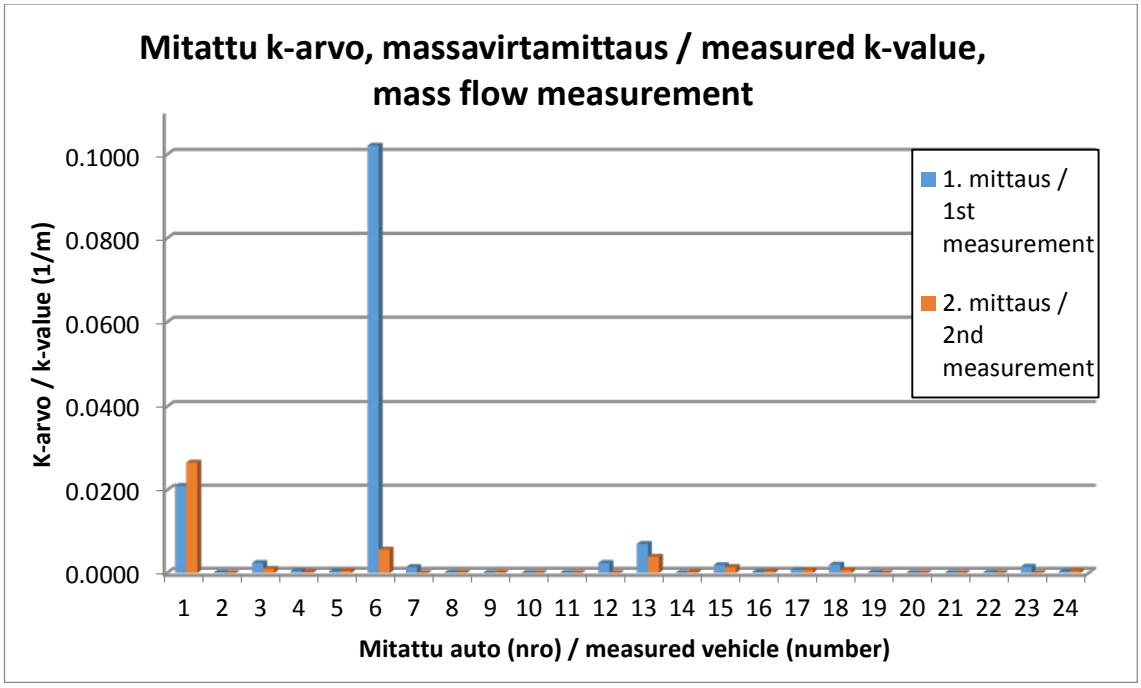
Kuviot 2.1, 2.2 ja 2.3 esittävät kustakin autosta kaksi mittaustulosta. Kuvioista on helposti havaittavissa suhteellisen suuri hajonta tulosten ja jopa samalle autolle tehtyjen peräkkäisten mittausten välillä. Joissakin tapauksissa toinen tai molemmat mittauksista ovat antaneet niin pienen tuloksen, että pylväs ei käytännössä näy. Samalle autolle peräkkäin tehtyjen mittausten välillä ei ole johdonmukaisesta kaavaa siitä, kumpi tulos olisi suurempi. Ensimmäinen mittaus on suurempi 26 auton kohdalla ja toinen mittaus 20 auton kohdalla, lopuissa 26 autossa tulos oli täysin sama molemmilla mittauskerroilla.

Mittausten väliset erot ovat pääsääntöisesti hyvin pieniä ja parhaiten niitä selittääkin mittalaitteen huono erottelukyky pienillä partikkelimäärillä. Suurin osa eroista tuloksissa on k-arvona 0,01 1/m, joka on mittalaitteen tarkkuus. Näissä tapauksissa ero on siis vain mittalaitteen laitekohtaisen mittavirheen suuruinen.

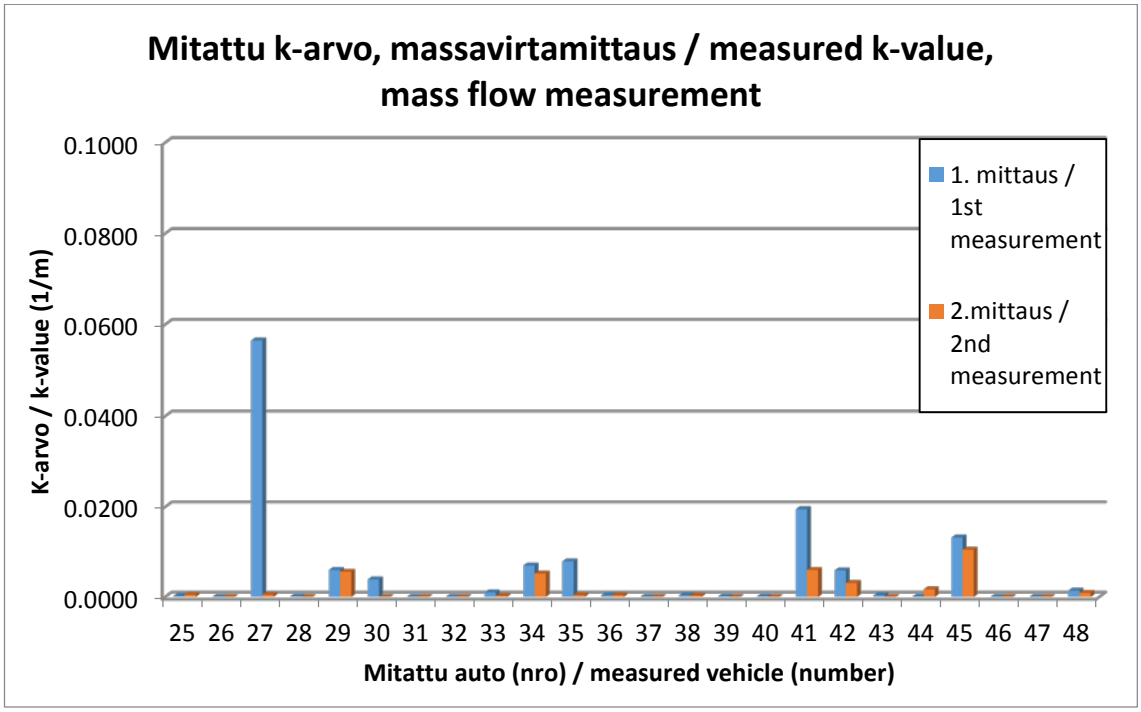
Kuvioita tarkastellessa on syytä huomioida, että lukemisen helpottamiseksi kuvion numero 2.1 skaala on vain kymmenesosa kuvioiden 2.2 ja 2.3 skaalasta.

Suurimmat erot samalle autolle tehtyjen kahden peräkkäisen mittauksen välillä ovatkin kuvioissa 2.2 ja 2.3 olevien autojen mittaustuloksissa. Kuvioissa 2.2 ja 2.3 on havaittavissa yhteensä kahdeksan autoa, joissa peräkkäisten mittausten välillä on huomattava ero mittaustuloksessa. Kyseessä ovat autot numeroilla 25, 34, 48, 50, 54, 60, 66 ja 71. Mittaustuloksissa on näissä tapauksissa eroa ainakin 0,1 1/m, pois lukien auto numero 54, jonka tapauksessa ero on 0,09 1/m.

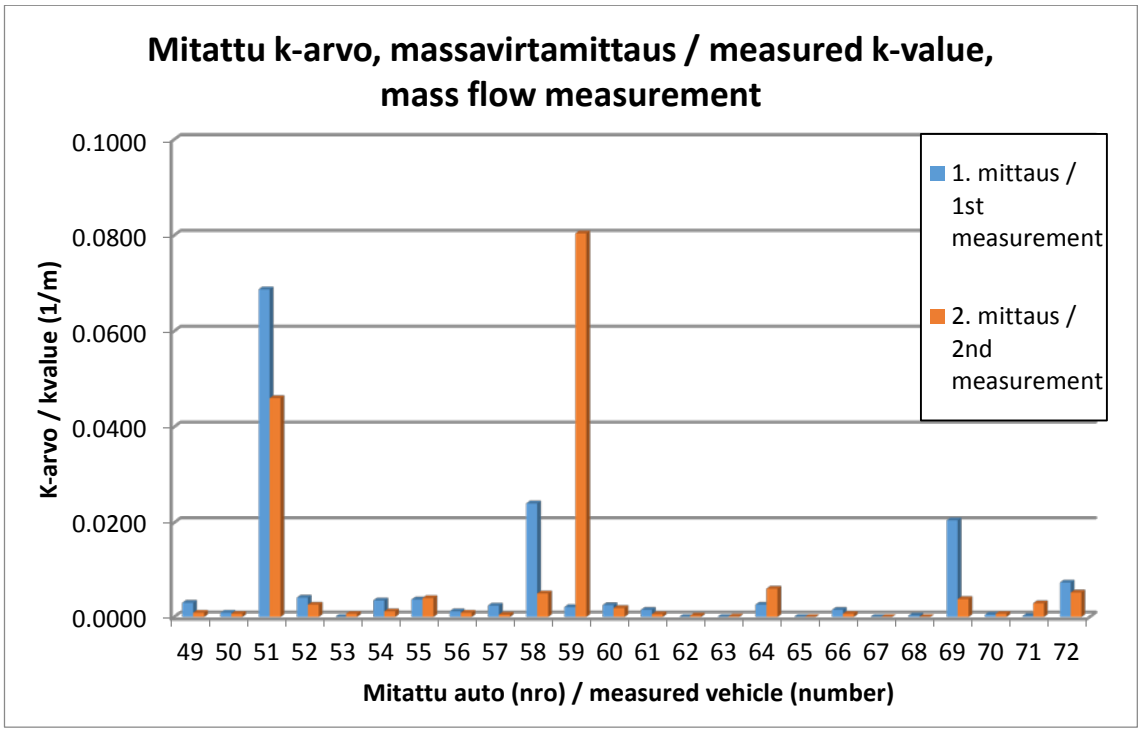
Vastaavat tulokset massavirtausmittarilla mitattuna on esitetty kuvioissa 2.4, 2.5 ja 2.6.



Kuvio 2.4 Massavirtamittauksella mitatut k-arvot, autot 1-24 / Chart 2.4 k-values based on the mass flow measurement, vehicles 1-24.



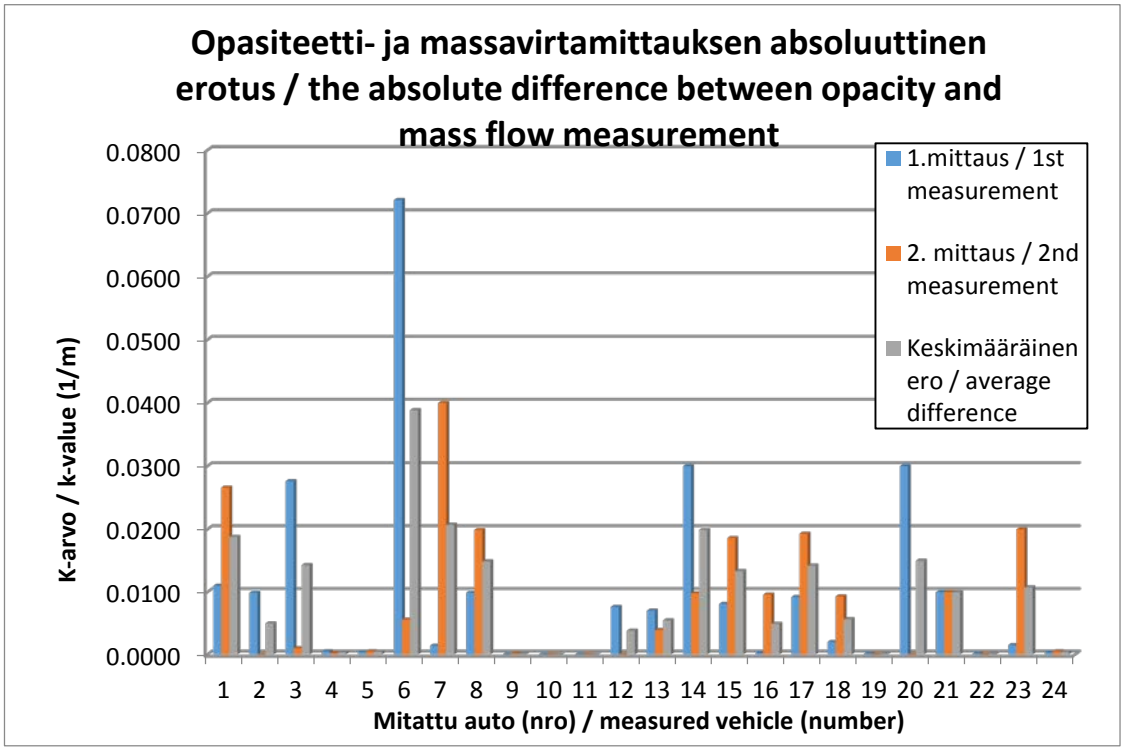
Kuvio 2.5 Massavirtamittauksella mitatut k-arvot, autot 25-48 / Chart 2.5 k-values based on the mass flow measurement, vehicles 25-48.



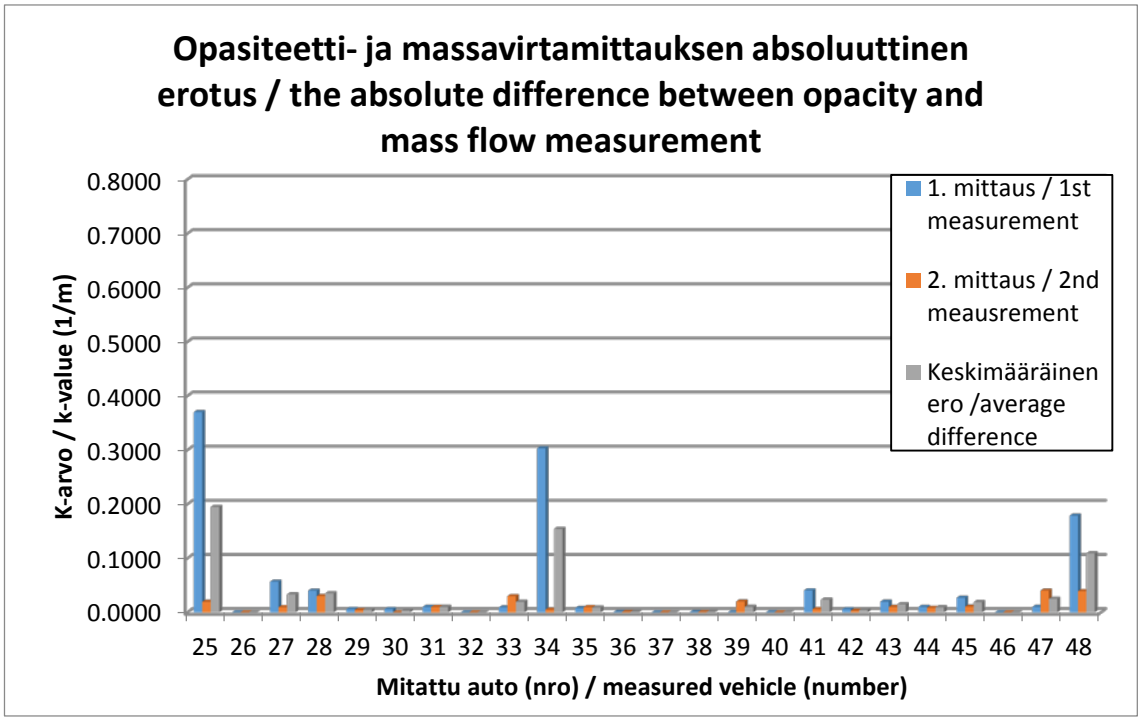
Kuvio 2.6 Massavirtamittauksella mitatut k-arvot, autot 49-72 / Chart 2.6 k-values based on the mass flow measurement, vehicles 49-72.

Kuviot 2.4, 2.5 ja 2.6 esittävät kustakin autosta kaksi mittaustulosta. Kuvioiden skaala on kaikissa sama, mikä osoittaa mittausmenetelmän tuottavan tasaisia tuloksia. Huomioitavaa on se, että suurin yksittäinen mittaustulos on k-arvona vain noin 0,1 1/m. Saman auton kohdalla tehtyjen mittausten välillä on huomattavaa eroa vain muutamissa tapauksissa. Kussakin kuviossa on yksi selvästi erottuva pylväspari, jossa mittausten välillä on selvä ero tuloksissa. Nämä ovat autot numero 6, 27 ja 59. Kuitenkaan yhdenkään auton kohdalla mittausten välinen ero ei ole yli 0,1 1/m, suurimmillaan ero on auton numero 6 tapauksessa, 0,096 1/m.

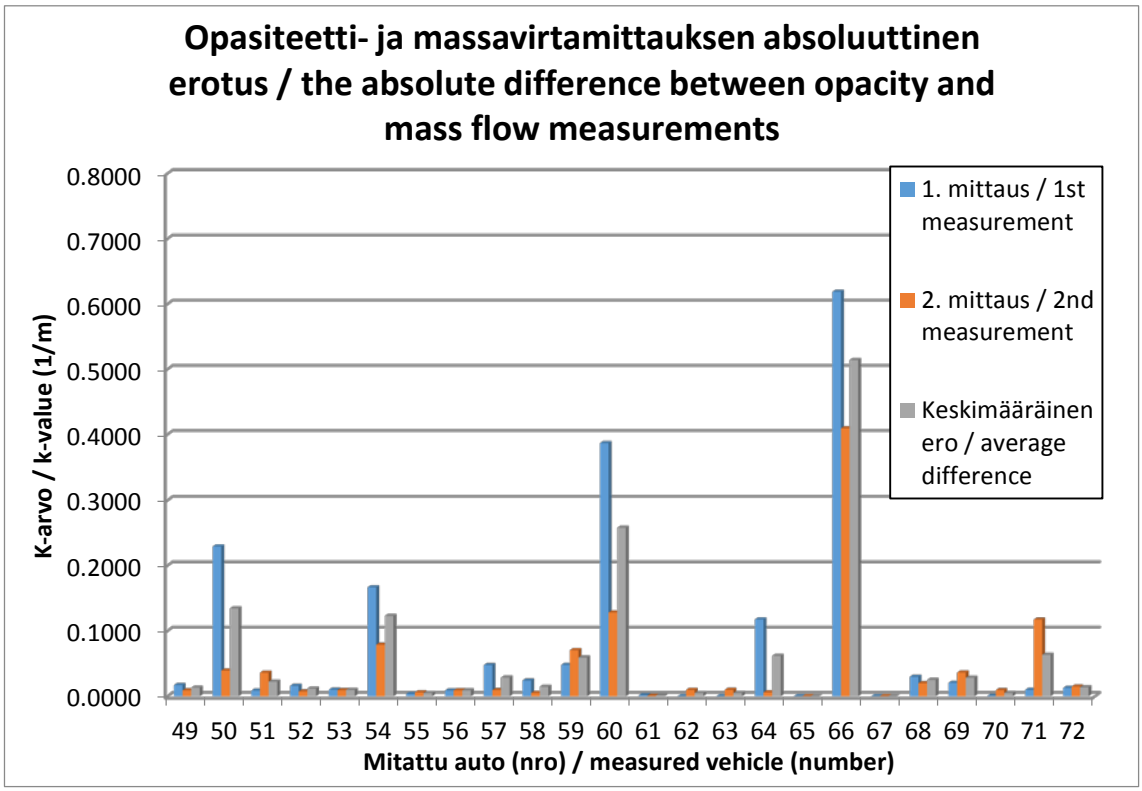
Kuvioissa 2.7, 2.8 ja 2.9 on esitetty opasiteettimittauksen ja massavirtamittauksen absoluuttinen erotus jokaisesta mittauksesta erikseen sekä mittausten keskimääräinen ero.



Kuvio 2.7 Opasiteetti- ja massavirtamittausten absoluuttinen erotus k-arvona, autot 1-24 / Chart 2.7 absolute difference between measured values as k-values, vehicles 1-24.



Kuvio 2.8 Opasiteetti- ja massavirtamittausten absoluuttinen erotus k-arvona, autot 25-48 / Chart 2.8 Absolute difference between measured values as k-values, vehicles 25-48.



Kuvio 2.9 Opasiteetti- ja massavirtamittausten absoluuttinen erotus k-arvona, autot 49-72 / Chart 2.9 Absolute difference between measured values as k-values, vehicles 49-72.

Kuvioissa 2.7,2.8 ja 2.9 on kustakin autosta eri mittalaitteilla saatujen tulosten välinen ero itseisarvona, kummankin mittauksen tapauksesta erikseen sekä autokohtaisten mittausten keskimääräinen ero. Tulosten erotuksessa käytettiin itseisarvoa, jotta vältyttäisiin negatiivisilta tuloksilta erotuksissa. Oleellinen tieto mittausmenetelmiä verrattaessa on kuinka suuri ero tuloksissa on, ei se kumpi laite suuremman tuloksen on antanut.

Kuviossa 2.7 pystyakselin skaala on kymmenesosa kuvioiden 2.8 ja 2.9 pystyakselin skaalasta. Kuviossa 2.7 olevissa tuloksissa suurimmat erot jäävät alle 0,1 1/m, joten ne eivät ole kovin suuria. Kuvioissa 2.8 ja 2.9 on havaittavissa useita suuria mittalaitekohtaisia eroja mittaustuloksissa autojen välillä. Suurimpana erot ovat autojen 25, 34, 48, 50, 54, 60 ja 66 kohdalla.

Kaikissa näissä tapauksissa keskimääräinen ero mittalaitteiden mittaustulosten välillä oli vähintään 0,1 1/m. Suurin yksittäisen mittauksen välinen ero tuloksissa oli auton numero 66 kohdalla, ensimmäisen mittauksen tulosten välinen ero oli peräti 0,61 1/m ja molempien mittausten keskimääräinen erokin oli 0,51 1/m.

Tuloksista havaitaan, että merkittäviä eroja mittaustuloksissa esiintyy noin kymmenessä prosentissa mitatuista autoista. Näin suuri määrä ei selity mittaustapahtumien virheillä, etenkin kun toisella mittausmenetelmällä tehdyissä mittauksissa mittauskertojen välillä ei eroja juurikaan esiinny. Mielestäni mittaustulosten väliset erot kertovat, että mittausmenetelmien tarkkuudessa on eroa ja opasiteettimittaus on epävarmempi ja epätarkempi menetelmä.

Opasiteettimittauksella tulokset vaihtelivat k-arvona välillä 0,00 - 0,62. Yksikään mitattu tulos ei kuitenkaan ollut edes puolta katsastuksessa sovellettavasta raja-arvosta, k-arvo 1,5 1/m. Saman auton peräkkäisten mittausten suurin ero oli k-arvona 0,35 1/m, autolla numero 25. Huomionarvoista on se, että massavirtamittauksella **suurin mitattu k-arvo**, noin 0,10 1/m, oli selvästi pienempi, kuin opasiteettimittauksessa syntynyt **suurin ero** saman auton mittaustulosten välillä.

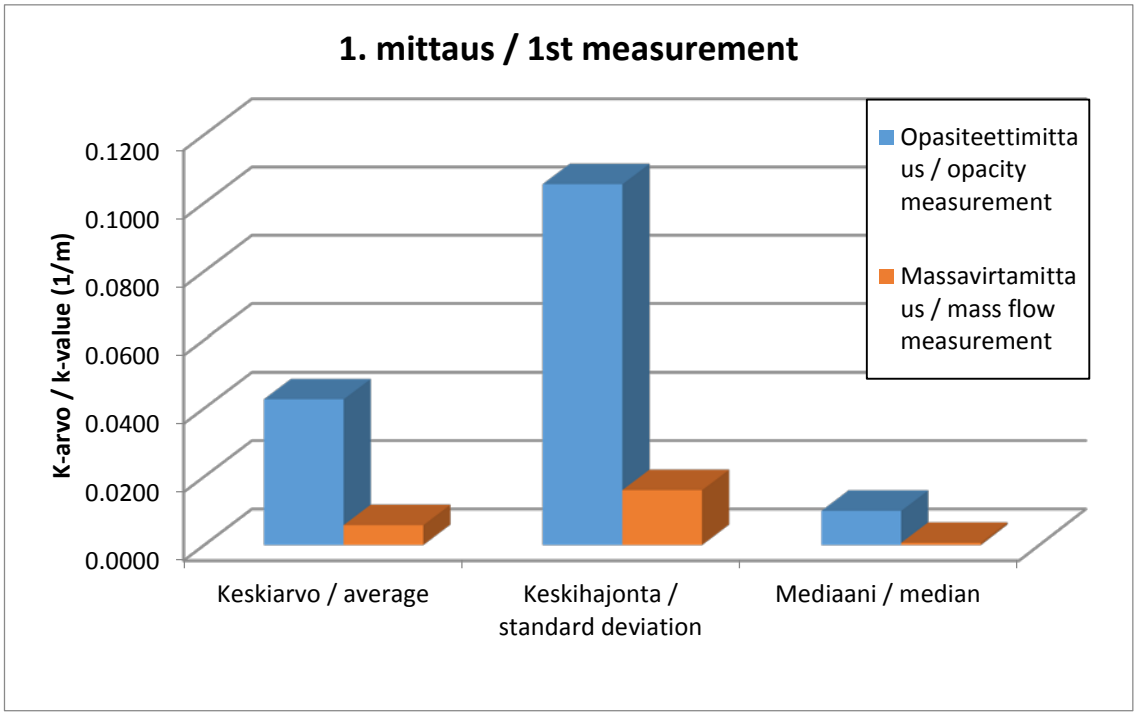
Suurin ero tuloksissa mittausmenetelmien välillä oli 0,61 1/m, auton numero 66 kohdalla. Kyseisessä tapauksessa mittaustulos oli opasiteettimenetelmällä molemmissa mittauksissa selvästi suurempi, mittaustulosten keskimääräinen ero oli noin 0,51 1/m. Massavirtamenetelmällä tuli kyseisessä tapauksessa kummallakin mittauskerralla pienempi arvo. Näin suuri ero mittaustuloksissa on erittäin merkittävä, jos päästörajoituksia halutaan laskea. Valmistajan kilvessä kyseisen auton kohdalla oli k-arvo 0,52 1/m, joten ensimmäinen mittaus opasiteettimittauksella jopa ylitti valmistajan asettaman arvon.

Massavirtamittausmenetelmä vaikuttaa tulosten perusteella olevan tarkempi, sekä peräkkäisten mittausten eron että tulosten keskinäisten erojen perusteella. Massavirtamittauksella suurinkin mitattu k-arvo jäi noin viidesosaan valmistajan kilven

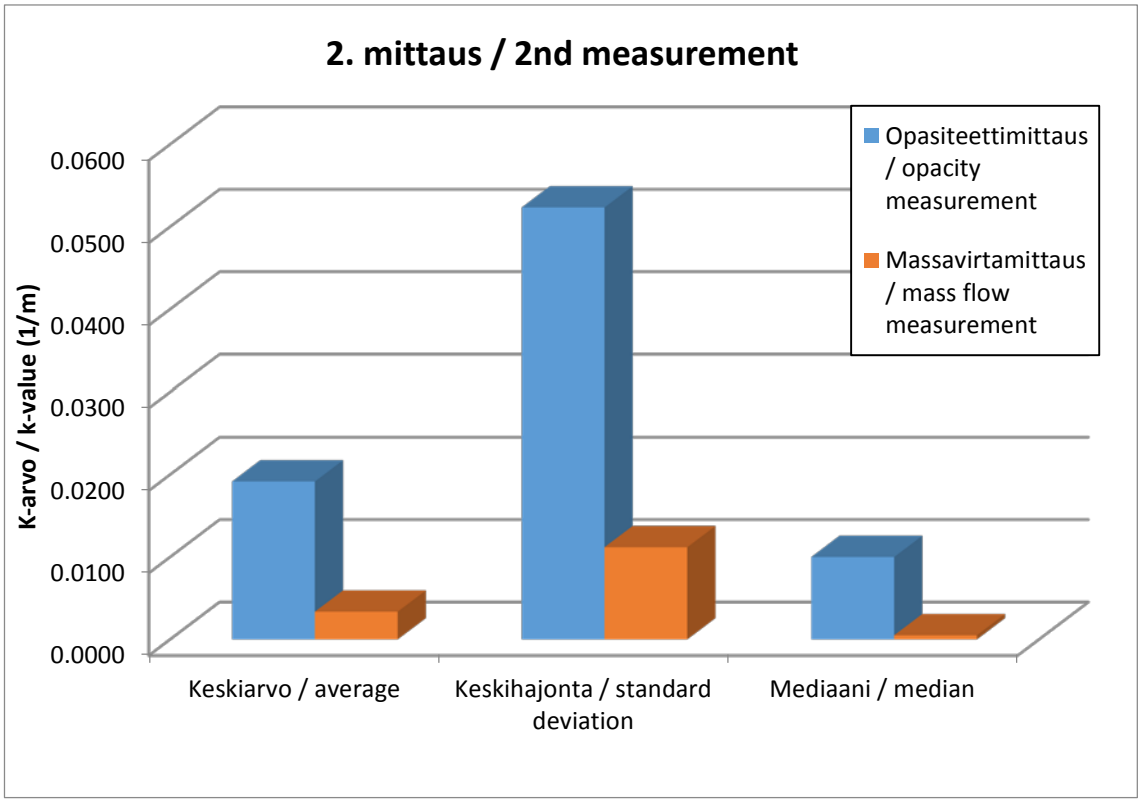
arvosta. Mitatuissa autoissa valmistajan kilpiarvot olivat välillä 0,50 -0,60 1/m, joka vaikuttaa olevan yleinen suuruusluokka Euro 5 tai uudemman päästöluokan auton valmistajan kilpiarvoksi.

6.2 Tulosten keskiarvo, keskihajonta ja mediaani

Kuvioissa 2.10 ja 2.11 on esitetty mittaustuloksista lasketut keskiarvot, keskihajonnat ja mediaanit. Kuviossa 2.10 on ensimmäisen ja kuviossa 2.11 toisen mittauksen tulokset.



Kuvio 2.10 Ensimmäisen mittauksen tulosten keskiarvo, keskihajonta ja mediaani, kaikki autot / Chart 2.10 Average, standard deviation and median of the values measured in first measurement.



Kuvio 2.11 Toisen mittauksen tulosten keskiarvo, keskihajonta ja mediaani, kaikki autot / Chart 2.11 Average, standard deviation and median of the values measured in second measurement.

Kuvioita lukiessa on syytä huomioida, että kuvion 2.11 pystyakselin skaala on vain puolet kuvion 2.10 pystyakselin skaalasta.

Opasiteettimittauksen tulosten keskiarvo on ensimmäisellä mittauksella noin 0,04 1/m ja toisella mittauksella noin 0,02 1/m. Tulosten keskihajonta ensimmäisellä mittauksella on noin 0,10 1/m ja toisella 0,05 1/m. Mediaani on molemmilla mittauskerroilla 0,01 1/m.

Massavirtamittauksella ensimmäisten mittausten keskiarvo on 0,0058 1/m, toisen mittauksen 0,0034 1/m. Keskihajonta on ensimmäisellä mittauksella 0,0161 1/m ja toisella 0,0112 1/m. Tulosten mediaani ensimmäisellä mittauksella on 0,0007 1/m ja toisella 0,0005 1/m.

Keskiarvo on aritmeettinen keskiarvo. Keskiarvo määritetään laskemalla kaikki mittaustulokset yhteen ja jakamalla saatu summa mittaustulosten lukumäärällä.

Keskihajonta pyrkii mittaamaan arvojen vaihtelua keskiarvon molemmin puolin. Keskihajonta ilmaisee havaintojen keskimääräisen poikkeaman keskiarvosta (Tilastoapu 2014).

Mediaani on suuruusjärjestyksessä olevien tulosten keskimmäinen luku tai kahden keskimmäisen luvun keskiarvo (Tilastoapu 2014). Puolet tuloksista ovat korkeintaan mediaanin suuruisia, toinen puoli tuloksista on suurempia tai vähintään yhtä suuri.

Molemmilla mittaustavoilla mediaani on selvästi pienempi kuin mittaustulosten keskiarvo. Tämä johtuu siitä, että mitattu k-arvo on uudella, hiukkasloukulla varustetulla dieselautolla usein 0,00 1/min. Nollatulosten suuri määrä painaa mediaanin lähelle nollaa. Mittausmenetelmien erosta kertookin enemmän kaksi muuta tulosten tulkintaan liittyvää arvoa, keskiarvo ja keskihajonta.

Opasiteettimittausten keskiarvo on molemmilla mittauskerroilla selvästi suurempi kuin massavirtamenetelmällä. Suhteellisesti ero on valtava, opasiteettimittauksen tulosten keskiarvo on ensimmäisellä mittauskerralla noin 7,3 kertaa suurempi kuin massavirta-mittauksen ja toisella mittauskerralla noin 5,6 kertaa suurempi.

Myös tulosten keskihajonta on opasiteettimittauksella selvästi suurempi kuin massavirtamittauksella. Massavirtamittauksella keskihajonta on myös tasaisempi mittauskertojen välillä. Toisen mittauksen keskihajonta on noin 70 prosenttia ensimmäisen mittauksen keskihajonnasta, kun opasiteettimittauksen kohdalla toisen mittauksen keskihajonta on noin 50 prosenttia ensimmäisen mittauksen keskihajonnasta.

7 PÄÄTELMÄT

7.1 Miksi mittausmenetelmää pitäisi muuttaa?

Nykyinen opasiteettimittaus on ollut käytössä siitä saakka, kun dieselautojen hiukkaspäästöjä on säännönmukaisesti määräaikaiskatsastuksissa mitattu, eli vuoden 1995 alusta lukien (Paavola 2002,10).

Dieselautojen kehitys 1990-luvulta tähän päivään on ollut valtavaa. Käytännössä kaikki nykyaikaiset dieselmoottorit ovat ahdettuja, yleensä turboahtimella, ja suoraruiskutteisia, kun vuonna 1995 liikenteessä olleet dieselkäyttöiset autot olivat usein ahtamattomia ja polttoaine ruiskutettiin imusarjaan tai esikammioon. Myös polttoaineen ruiskutuspaineet ovat nousseet, ollen nykyään yleisesti jopa 2000 bar. Ruiskutuspaine ja suuttimien kehitys on johtanut polttoaineen pisarakoon pienemiseen ja sen myötä parempaan sekoittumiseen ilman kanssa. Tästä seuraa polttoaineen parempi ja puhtaampi palaminen.

Nämä ominaisuudet yhdessä vaikuttavat siihen, että polttoaineen ja ilman sekoittuminen sylinterissä on nykymoottoreissa huomattavasti parempaa kuin 90-luvulla käytössä olleissa dieseleissä. Ahtaminen myös parantaa moottorin hyötysuhdetta ja pienentää kulutusta, joten hiukkaspäästöt voivat pienentyä myös polttoaineenkulutuksen vähenemisestä johtuen. Lisäksi Euro 5 -päästövaatimukset täyttävät autot ovat useimmiten varustettuja hiukkasloukulla.

Hiukkasloukut keräävät syntyvät hiukkaset talteen ja polttavat talteen kerätyt hiukkaset tuhkaksi. Hiukkasloukun täyttymisestä kertoo loukun paine-ero ennen ja jälkeen loukun, jolloin moottorin ohjainlaite käynnistää polton loukun puhdistamiseksi paine-eron kasvettua tiettyyn arvoon (Syrjälä 2010, 10). Hiukkasloukku on käytännössä pakollinen varuste, jotta dieselauton hiukkaspäästöt saavuttavat vaaditut raja-arvot Euro 5 tai uudemmissa päästövaatimuksissa. Hiukkasloukun merkitys pakokaasun opasiteettiin voi olla niin merkittävä, ettei nykyisten opasimetrien herkkyys ole riittävä savutuksen mittaamiseksi (Paavola 2002, 19). Mielestäni Paavolan vuonna 2002 ennakoima kehitys on nyt käynyt toteen.

Hiukkaspäästöjä voi vähentää myös palamistapahtuman lämpötilaa nostamalla, johon päästään moottorin yli-ilmamäärää kasvattamalla. Palamistapahtuman lämpötilan noustessa ilmassa olevan typen palaminen kiihtyy ja pakokaasun typpioksidi- ja typpidioksidipäästöt kasvavat ja aiheuttavat näin ollen uuden ongelman (Syrjälä 2010, 10). Palamistapahtuman hallinta onkin kompromissi typen palamisen ja hiukkasten muodostumisen suhteen, syntyviä pakokaasun komponentteja hallitaan erilaisilla pakokaasun jälkikäsittelymenetelmillä, kuten hiukkasloukulla ja urearuiskutuksen vaativalla SCR -katalysaattorilla.

Useat autovalmistajat käyttävät Euro 6 -päästötason täyttävissä dieselmoottorisissa autoissa urearuiskutusta, joten näissä autoissa palamistapahtuman lämpötilan nostaminen voi edelleen pienentää hiukkaspäästöjä, koska urean ja SCR -katalysaattorin avulla saadaan lämpötilan noston seurauksena syntyviä haitallisia typpioksidipäästöjä vähennettyä.

Dieselmoottoreiden kehityksestä huolimatta hiukkaspäästöjä mitataan edelleen samalla menetelmällä kuin vuonna 1995. Päästöraja on asetettu ahdetuilla Euro 4 -tasoisilla tai uudemmilla moottoreilla samaan tasoon, k-arvona raja on 1,5 1/m. Tämä tuntuu oudolta siinä valossa, että aiemmin käytön aikaiset hiukkaspäästörajat ovat tiukentuneet samassa suhteessa kuin tyyppihyväksynnän hiukkaspäästörajat.

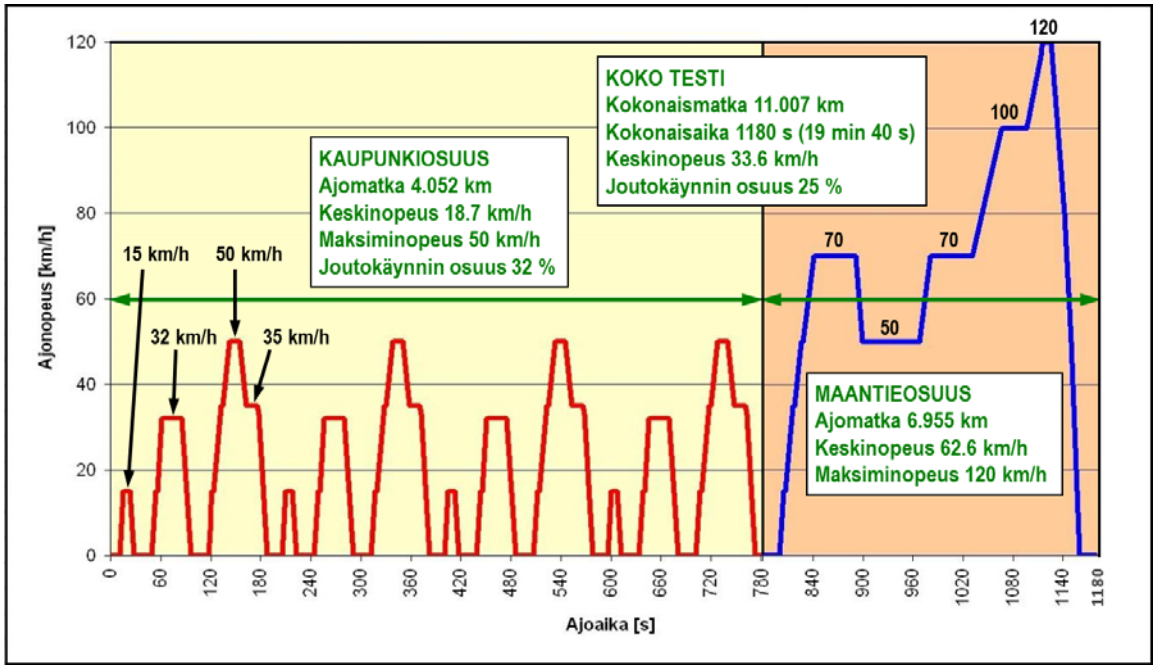
Tähän työhön mitattujen autojen valmistajan kilvissä olleet k-arvot olivat välillä 0,5-0,60. Katsastuksen päästöraja on siis lähes kolminkertainen valmistajien itse asettamiin raja-arvoihin nähden. Olisikin syytä pohtia, onko päästöraja enää mielekäs, kun katsastuksen tavoitteena on poistaa saastuttavat autot liikenteestä.

Dieselmoottorien kehityksen edelleen jatkuessa olisikin syytä myös saattaa päästöjen mittaus samalle tasolle moottoritekniikan kanssa. Massavirtamittausmenetelmä on tässä työssä tehtyjen mittausten perusteella tarkempi, johdonmukaisempi ja luotettavampi menetelmä hiukkaspäästöjen mittaukseen kuin opasiteettimittaus. Massavirtausmenetelmä tarjoaa myös vaihtoehdon k-arvolle, kun päästöjä voitaisiin mitata konkreettisemmalla massavirta-arvolla, jolloin yksikkö olisi g/m³ tai mg/m³.

Jos tulevaisuudessa päädyttäisiin asettamaan päästöraja massavirtana, esimerkiksi tietystä uudesta päästötasosta alkaen k-arvon sijasta, niin kahta mittausmenetelmää ei tarvitsisi käyttää päällekkäin, kun tutkittavana ollut massavirtamittausmenetelmä voisi antaa mittaustuloksen haluttuna tietona, joka olisi suoraan verrattavissa voimassa olevaan raja-arvoon.

7.2 Euro 5 -päästötaso

Opinnäytetyötä varten tehtiin myös Euro 5 -päästötasoisen auton päästömittaus EU-kulutussyklin EC2000 mukaisesti. Mittaus toteutettiin VTT:llä alustadynamometrillä. Samasta autosta mitattiin kulutussyklin jälkeen hiukkaspäästöt opasiteetti- ja massavirtamenetelmällä. Kuvassa 2.1 on graafisesti esitetty EC2000 -kulutussyklissä käytettävä ajonopeus ajan funktiona.



Kuva 2.1 EC2000 -kulutussykli (Ikonen 2013).

Kuvassa 2.1 on eriteltynä testisyklin osioiden ajomatka, keski- ja maksiminopeus sekä joutokäynnin osuus. Yläosassa on esitetty koko testin ajomatka, ajoaika, keskinopeus ja joutokäynnin osuus.

Taulukossa 2.1 on esitetty Euro 5 ja Euro 6 -päästötasojen raja-arvot dieselautoille. Hiukkaspäästöraja on sarakkeessa PM (Particulate Matter).

Taulukko 2.1 Euro 5 - ja Euro 6 -päästötasot dieselautoille (Motiva 2014).

Diesel	voim. kaikille	CO	PM	NO_x	HC + NO_x
Euro 5	1/2011	500 mg/km	5 mg/km	180 mg/km	230 mg/km
Euro 6	9/2015	500 mg/km	5 mg/km	80 mg/km	170 mg(km

Suurin sallittu määrä partikkeleita on 5 mg kilometriä kohden. Muita tyyppihyväksyntään kuuluvia taulukossa olevia päästöjä ei määräaikaiskatsastuksissa tällä hetkellä seurata.

Taulukossa 2.2 on EC2000 -ajosyklin mukaiset mittaustulokset Volvo V60 (NJI-879) mittauksesta, joka suoritettiin VTT:n tutkimuslaboratoriossa.

Taulukko 2.2 EC2000- päästömittauksen tulokset.

koen:o	CO(g/km)	HC+NOx(g/km)	NOx(g/km)	HC(g/km)	PM(g/km)	teor(l/100km)	CO2(g/km)
14077ED	0.1358	0.2481	0.1993	0.0488	0.0004	5.9141	153.25
14080ED	0.1127	0.2380	0.1924	0.0456	0.0005	5.8821	152.47

Taulukossa 2.3 on samalle autolle välittömästi ajosyklin jälkeen tehdyn hiukkaspäästömittauksen tulokset.

Taulukko 2.3 Mitatut k-arvot (1/m).

	Opasiteetti 1.	Opasiteetti 2.	Massavirta 1.	Massavirta 2.
NJI-879	0,0000	0,0000	0,0003	0,0005

Huomionarvoista mitatuissa tuloksissa on se, että auton hiukkaspäästöt virallisessa testisyklissä ovat noin kymmenen prosenttia sallitusta tasosta. Opasiteettimittauksessa k-arvo oli molemmilla mittauskerroilla nolla, massavirtamittauksella k-arvo oli myös lähellä nollaa, mutta mittausmenetelmällä saatiin kuitenkin nollasta poikkeava arvo.

Mittaustulokset kertovat, että hiukkaspäästöjen ollessa virallisessa mittauksessa erittäin alhaiset, myös nopeat hiukkaspäästöjä mittaavat menetelmät antavat alhaisen tuloksen. Testisyklissä auton pakokaasujen hiukkaspäästöt olivat noin 10 prosenttia sallitusta. Mitattu k-arvo oli kuitenkin nolla tai lähes nolla, massavirtamittauksessa saatu tulos oli alle puoli promillea raja-arvosta.

Euro 5 -tason sallitut hiukkaspäästöt ovat 80 prosenttia pienemmät kuin Euro 4 -tason, mutta käytönaikaiset hiukkaspäästörajat ovat samat (Motiva 2014). Päästörajat ovat varsin väljät, kun noin 10 prosenttia sallituista hiukkasista tuottava auto ei savuta edes promillea käytönaikaisesta raja-arvosta. Päästömittauksen tarkoituksenmukaisuus on mielestäni erittäin kyseenalainen Euro 5 ja Euro 6 -päästötason täyttävillä dieselautoilla. Taulukossa 2.4 esitetään Europäästörajojen kehitys.

Taulukko 2.4 Euro -päästönormit (Dieselnet 2015).

Stage	Date	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM	PN
		g/km					#/km
Compression Ignition (Diesel)							
Euro 1†	1992.07	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	0.14 (0.18)	-
Euro 2, IDI	1996.01	1.0	-	0.7	-	0.08	-
Euro 2, DI	1996.01[a]	1.0	-	0.9	-	0.10	-
Euro 3	2000.01	0.64	-	0.56	0.50	0.05	-
Euro 4	2005.01	0.50	-	0.30	0.25	0.025	-
Euro 5a	2009.09[b]	0.50	-	0.23	0.18	0.005[f]	-
Euro 5b	2011.09[c]	0.50	-	0.23	0.18	0.005[f]	6.0×10^{11}
Euro 6	2014.09	0.50	-	0.17	0.08	0.005[f]	6.0×10^{11}

Taulukon 2.4 sarakkeesta PM (Particulate Matter) nähdään, kuinka sallittujen hiukkaspäästöjen määrä (g/km) on laskenut uusien päästönormien tullessa voimaan. Katsastuksessa mitattavan k-arvon lasku on seurannut partikkelien määrän laskua

tultaessa Euro 3 -tasosta Euro 4 -tasolle, mutta Euro 4 -tasolta tultaessa Euro 5 -tasolle katsastuksessa mitattavien päästöjen raja-arvoja ei ole tiukennettu.

Hiukkaspäästöjen määrän ja k-arvon korrelaatiota pitäisi kuitenkin tutkia enemmän, jotta katsastuksen päästörajat saataisiin päivitettyä vastaamaan olemassa olevia päästönormeja. Rajaa ei kuitenkaan tule asettaa niin tiukaksi, että kunnossa olevia autoja jouduttaisiin hylkäämään. Nykyinen raja ei kuitenkaan välttämättä seulo edes selvästi tyyppihyväksynnän hiukkaspäästörajan ylittäviä autoja pois liikenteestä.

Mielestäni katsastuksessa mitattavaa k-arvoa olisi loogista tiukentaa samassa suhteessa kuin tyyppihyväksynnän hiukkaspäästörajaa. Jos hiukkaspäästöjä tiukennettaisiin samassa suhteessa kuin tyyppihyväksynnän päästöjä, 80 prosentin tiukennus Euro 4 -tasosta Euro 5 -tasoon tarkoittaisi k-arvoa 0,3 1/m.

Tutkituissa autoissa valmistajan kilvissä ilmoitetut k-arvot olivat välillä 0,50–0,60. Jos valmistaja ilmoittaa autolle suuremman k-arvon kuin katsastusmääräyksissä on, on valmistajan ilmoitus määräävä. Tästä syystä johtuen käytännöllinen k-arvo Euro 5 ja Euro 6 -päästövaatimukset täyttäville dieselautoille olisi mielestäni 0,60 1/m, jolloin ainakin valtaosa valmistajien ilmoittamista rajoista olisi kyseisen raja-arvon alapuolella ja useimmiten voitaisiin käyttää päästömittauksessa vertailukohtana yleistä raja-arvoa valmistajan ilmoittaman sijaan.

Rajan tiukentaminen ei aiheuttaisi tutkimustulosten valossa juurikaan tarvetta lisäpäästömittauksille katsastuksien yhteydessä. Jos katsastuspäästömittauksessa mitattu k-arvo ensimmäisellä mittauksella on vähintään 0,50 1/m pienempi kuin kyseiselle autolle asetettu päästöraja, useampia mittauksia ei tarvita. Jos arvo ei täytä tätä ehtoa, täytyy mittaus toistaa kolme kertaa, ja jos mittaustulosten keskiarvo on alle päästörajan, mittaus on hyväksytty.

Jos päästöraja olisi 0,60 1/m, niin tutkittavana olleista autoista olisi massavirtamittauksen kohdalla jouduttu yhdelle autolle tekemään koko kolmen mittauksen sarja, opasiteettimittauksen tapauksessa lisämittauksia olisi täytynyt tehdä yhteensä kahdeksaan autoon.

8 YHTEENVETO EURO 5 JA EURO 6 -AUTOISTA

Tutkimus on vasta alku tavoitteena olevasta dieselautojen hiukkaspäästömittauksen kehittämisestä. Tutkittu uusi kehitteillä oleva mittausmenetelmä vaikuttaa potentiaaliselta, mutta lisätutkimusta aiheesta tarvitaan. Massavirtamenetelmän etuna on suurempi erottelukyky pienillä hiukkasmäärillä sekä massavirran mittausmahdollisuus k-arvon lisäksi. Tutkimusmäärän ollessa alle 100 autoa ei vielä voida puhua kattavasta otoksesta, mutta laitteiden eroavaisuuksista saadaan tästäkin mittausmäärästä suuntaa antava kuva.

Ajoneuvojen päästöt ovat vaarallisia, koska ne leviävät suoraan jalankulkijoiden hengitysilman korkeuteen. Hiukkaspäästöjen vaikutukset terveyteen ja sitä kautta myös kansantalouteen aiheuttavat painetta niiden vähentämiseksi. Siksi onkin tärkeää, että vaatimusten mukaan valmistettujen autojen hiukkaspäästöjä on pystyttävä seuraamaan myös käytönaikana mittauksilla, jotka antavat realistisen kuvan auton hiukkaspäästöistä. Käytönaikaisten päästörajoitusten on myös seurattava tyyppihyväksynnän rajoitusten kehitystä, jotta käytönaikaisen valvonnan ympäristöä suojeleva tavoite täyttyisi.

Suurimmassa osassa tapauksista Euro 5 -päästötason täyttävän dieselauton käytönaikaisessa päästömittauksessa saadaan tulokseksi nolla tai lähes nolla, riippumatta mittausmenetelmästä. Autot eivät yksinkertaisesti tuota juurikaan näkyvää savua. Tästä johtuen on erikoista, että autojen käytönaikaiset päästörajat ovat täsmälleen samat kuin vanhemmalla päästötasolla. Päästörajan tiukennus järkevään rajaan ei vaikuttaisi kunnossa olevan auton katsastuskelpoisuuteen eikä mittaustapahtumaan käytännössä koskaan.

Väärien hylkäystulosten ehkäisemiseksi on kuitenkin syytä pohtia, olisiko myös mittausmenetelmän päivittämistä harkittava. Tulosten perusteella valon siroutumiseen perustuva, massavirran ja k-arvon laskeva mittausmenetelmä on huomattavasti tarkempi ja tasalaatuisempi menetelmä kuin opasiteettimittaus. Mittausmenetelmän hyvänä puolena on myös mahdollisuus muuttaa päästömittauksen mitattavaa suuretta tarvittaessa ilman mittalaitteen vaihtoa. Mittalaitteen käyttäminen on yhtä helppoa kuin opasiteettilaitteenkin, joten käytön vaikeuskaan ei muodostuisi käyttöönoton esteeksi.

LÄHTEET

Ikonen M. 2013. Aja taloudellisesti – ajoneuvon, kuljettajan ja olosuhteiden vaikutus polttoaineenkulutukseen. Turun ammattikorkeakoulun oppimateriaaleja 80. Turku: Turun ammattikorkeakoulu.

Motiva 2014. Henkilöautojen päästömääräykset. http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse_auto_viisaasti/henkiloautojen_paastomaaraykset Viitattu 29.11.2014

Paavola, P. 2002. Henkilö- ja pakettiautojen savutusmittauksen luotettavuus katsastuksessa. Ajoneuvohallintokeskus, Helsinki.

Syrjälä J. 2010. Vesi/metanoliruiskutus turbodieselmoottorissa: asennus ja vaikutukset. Seinäjoen Ammattikorkeakoulu. Tekniikan yksikkö, Auto- ja kuljetustekniikka, Auto- ja työkonetekniikan suuntautumisvaihtoehto. Opinnäytetyö

Tilastoapu 2014. Tunnuslukuja. https://tilastoapu.wordpress.com/tag/keskihajonta/ Viitattu 7.12.2014

Trafi tieliikenneohje. TRAFI/33622/03.04.03.03/2010

LIITE 1. Mittaustulokset, sivu 1 (3)

Auto nro	Opasiteetti 1. mittaus	Opasiteetti 2.mittaus	Massavirta 1.mittaus	Massavirta 2.mittaus
1	0,01	0,00	0,0210	0,0266
2	0,01	0,00	0,0001	0,0000
3	0,03	0,00	0,0024	0,0010
4	0,00	0,00	0,0005	0,0002
5	0,00	0,00	0,0004	0,0005
6	0,03	0,00	0,1021	0,0056
7	0,00	0,04	0,0014	0,0000
8	0,01	0,02	0,0001	0,0001
9	0,00	0,00	0,0000	0,0001
10	0,00	0,00	0,0000	0,0000
11	0,00	0,00	0,0000	0,0000
12	0,01	0,00	0,0024	0,0000
13	0,00	0,00	0,0070	0,0039
14	0,03	0,01	0,0000	0,0002
15	0,01	0,02	0,0019	0,0014
16	0,00	0,01	0,0002	0,0004
17	0,01	0,02	0,0008	0,0007
18	0,00	0,01	0,0020	0,0007
19	0,00	0,00	0,0001	0,0000
20	0,03	0,00	0,0000	0,0000
21	0,01	0,01	0,0000	0,0000
22	0,00	0,00	0,0001	0,0000
23	0,00	0,02	0,0015	0,0000
24	0,00	0,00	0,0003	0,0005

LIITE 1. Mittaustulokset, sivu 2 (3)

Auto nro	Opasiteetti 1. mittaus	Opasiteetti 2.mittaus	Massavirta 1.mittaus	Massavirta 2.mittaus
25	0,37	0,02	0,0002	0,0005
26	0,00	0,00	0,0000	0,0000
27	0,00	0,01	0,0565	0,0005
28	0,04	0,03	0,0001	0,0000
29	0,00	0,01	0,0060	0,0056
30	0,01	0,00	0,0039	0,0000
31	0,01	0,01	0,0000	0,0000
32	0,00	0,00	0,0000	0,0000
33	0,01	0,03	0,0010	0,0002
34	0,31	0,00	0,0070	0,0052
35	0,00	0,01	0,0079	0,0004
36	0,00	0,00	0,0004	0,0004
37	0,00	0,00	0,0000	0,0000
38	0,00	0,00	0,0004	0,0003
39	0,00	0,02	0,0001	0,0000
40	0,00	0,00	0,0001	0,0000
41	0,06	0,00	0,0195	0,0060
42	0,00	0,00	0,0059	0,0031
43	0,02	0,01	0,0004	0,0000
44	0,01	0,01	0,0001	0,0017
45	0,04	0,00	0,0132	0,0105
46	0,00	0,00	0,0000	0,0000
47	0,01	0,04	0,0000	0,0000
48	0,18	0,04	0,0014	0,0009

.

LIITE 1. Mittaustulokset, sivu 3 (3)

Auto nro	Opasiteetti 1. mittaus	Opasiteetti 2.mittaus	Massavirta 1.mittaus	Massavirta 2.mittaus
49	0,02	0,01	0,0030	0,0009
50	0,23	0,04	0,0009	0,0007
51	0,06	0,01	0,0687	0,0460
52	0,02	0,01	0,0041	0,0026
53	0,01	0,01	0,0000	0,0007
54	0,17	0,08	0,0035	0,0012
55	0,00	0,01	0,0037	0,0040
56	0,01	0,01	0,0012	0,0009
57	0,05	0,01	0,0024	0,0005
58	0,00	0,01	0,0240	0,0050
59	0,05	0,01	0,0021	0,0804
60	0,39	0,13	0,0025	0,0019
61	0,00	0,00	0,0015	0,0006
62	0,00	0,01	0,0000	0,0003
63	0,00	0,01	0,0000	0,0001
64	0,12	0,00	0,0026	0,0060
65	0,00	0,00	0,0000	0,0000
66	0,62	0,41	0,0015	0,0007
67	0,00	0,00	0,0000	0,0000
68	0,03	0,02	0,0003	0,0000
69	0,00	0,04	0,0205	0,0038
70	0,00	0,01	0,0005	0,0007
71	0,01	0,12	0,0002	0,0029
72	0,02	0,02	0,0073	0,0052

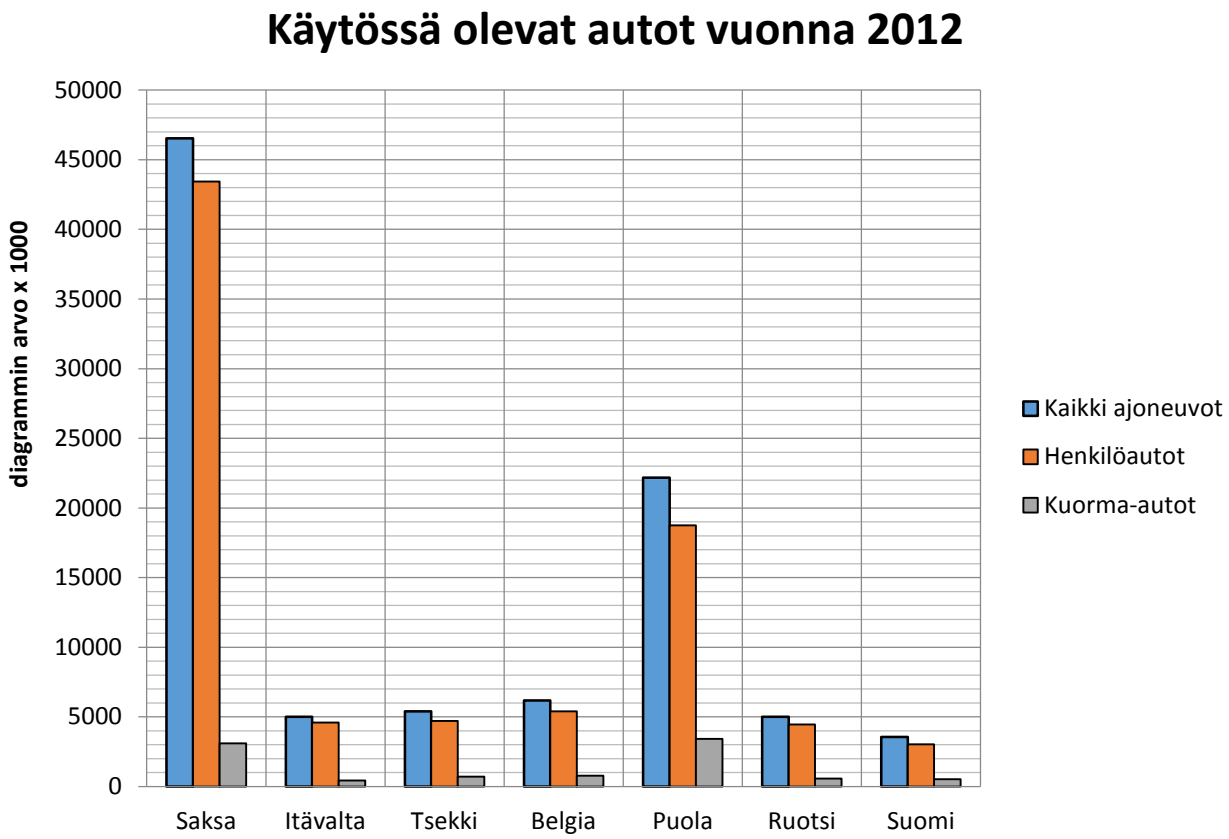
OSA 3

JUHA LIPPONEN

DIESELKATSASTUKSEN PÄÄSTÖMITTAUS ERI EUROOPAN MAISSA

9 TUTKITTAVAT MAAT

Tutkittavina maina ovat Saksa, Itävalta, Tšekki, Belgia, Puola ja Ruotsi. Tavoitteena oli perehtyä eri maissa käytettäviin toimintatapoihin koskien päästömittausta. Tiedot on saatu kyselyn perusteella, joka on lähetetty eri maiden katsastuskonttoreille sekä liikenneministeriöille. Tarkoituksena on käydä läpi suoritettavan päästömittauksen toimintatavat ja periaatteet kyseisessä maassa. Kuviossa 3.1 esitetään vertailun vuoksi tutkittavien maiden autokantoja vuonna 2012.



Kuvio 3.1 Käytössä olevat ajoneuvot tutkittavissa maissa vuonna 2012 (OICA 2012).

Kuten diagrammista voidaan lukea, Saksassa on huomattavasti suurempi autokanta kuin muissa tutkittavissa maissa. Siksi Saksa esitellään ensimmäisenä maana ja perehdytään siihen perinpohjaisemmin kuin muihin maihin.

9.1 Saksa

Tällä hetkellä Saksan koko autokanta on noin 55 miljoonaa ajoneuvoa (Munchenwagen 2014). Kansainvälisen moottoriajoneuvojen valmistajien organisaation OICAN vuoden

2012 tilaston mukaan Saksassa on kyseisenä vuonna ollut kaiken kaikkiaan noin 46,5 miljoonaa rekisteröityä ajoneuvoa. Näistä ajoneuvoista noin 43,4 miljoonaa on henkilöautoja ja noin 3,1 miljoonaa on kuorma-autoja.

Saksassa noudatetaan katsastuksen ohjeena pääsääntöisesti direktiiviä 2009/40/EC, joka on siis sama kuin direktiivi 2009/40/EY. Tämä tarkoittaa, että Saksassa noudatetaan samaa ohjetta kuin Suomessa, mutta myös poikkeuksia on.

Vastuullinen autokatsastusorganisaatio Saksassa on TÛV (Technischer Über-wachungsverein) eli teknillinen tarkastusyhdistys, jonka toimintaan kuuluu autojen katsastuksen ohella muutakin katsastustoimintaa (Erkki Laakso, kirje, München 7.1.2015). TÛV on pääasiallisesti valtion omistama. TÛV ei kuitenkaan ole ainoa katsastuspaikka Saksassa, vaan se myöntää myös katsastusluvat muille yksityisille yrittäjille. Myös ”PTB”, eli Physikalisch Technische Bundesanstalt on laitos, joka on valtuutettu antamaan päästötodistuksia autojen päästöjen osalta. Saksassa noudatetaankin PTB-A vaatimusta, joka on PTB:n laatima ja se koskee dieselautojen päästömittausta. (Thomas Ost, Dekra). Vaatimus on saatavilla vain saksan kielellä.

Kuten yllä todettiin, Saksassa noudatetaan EU-direktiiviä 2009/40/EY. Tämän lisäksi katsastusta säätelee kansallinen laki StVZO, ja tässä laissa pakokaasupäästöjä koskevat pykälät § 47- 48 ”Abgase” eli ”pakokaasut”. Tämän lisäksi on toinen dokumentti, ”Hauptunterschung”, joka koskee katsastustapahtumaa yleisesti (Erkki Laakso, München 7.1.2015). Kyseisessä dokumentissa ympäristömittauksilla on tärkeä osa. Lakipykälät ja tämä dokumentti on saatavilla vain saksan kielellä. Saksassa katsastus tulee suorittaa kahden vuoden välein, ja päästömittaus on osa tätä katsastusta.

Hiukkaspäästöt ovat tärkeässä asemassa katsastuksen mittauskohteena. Suurissa kaupungeissa, kuten Münchenissä, autot luokitellaan hiukkaspäästöjen mukaan luokkiin. Niin sanotuilla ”huonoilla” autoilla eli suuret hiukkaspäästöt omaavilla ei ole asiaa kaupunkien keskustoihin. Näistä alueista, joilla autoilua on rajoitettu hiukkaspäästöjen mukaan, käytetään myös nimitystä ”Green zone”.

Lähetin kyselyn Saksassa katsastuksia tekevään organisaatioon, Dekraan. Seuraavat tiedot pohjautuvat tähän kyselyyn.

Saksassa henkilöauton ensimmäinen katsastus tehdään ensimmäisen kolmen vuoden jälkeen auton ensirekisteröinnistä. Se on siis sama aika kuin Suomessa. Suomen käytännöistä poiketen ensimmäisen kolmen vuoden jälkeen Saksassa pakollinen katsastus tehdään joka toinen vuosi. Päivämäärän 1.1.2006 jälkeen rekisteröityjen autojen kohdalla opasiteettimittausta eli dieselauton savutusmittausta ei tarvitse tehdä, mikäli OBD:n tarkastuksessa ei ilmene vikakoodeja. Ennen tätä päivämäärää rekisteröityjen autojen kohdalla tulee siis aina tehdä savutusmittaus katsastuksen yhteydessä.

Jotta mittaus voidaan suorittaa, on normaali moottorin lämpötilan oltava vähintään 60 astetta. Lämpötila voidaan tarkistaa öljyn mittatikusta tai valmistajan antamien ohjeiden mukaan muulla tavalla. Yleensä suoritetaan puhdistuskiihdytys tai useampi ennen mittausta, mutta se ei ole välttämätöntä, ellei valmistajan ohjeissa ole tätä mainittu. Puhdistuskiihdytykset ovat kuitenkin suositeltavia luotettavien tulosten saamiseksi. Moottorin pyörintänopeus tarkastetaan sekä tyhjäkäynnin että ruiskutuksen katkaisun vaatiman kierrosnopeuden osalta. Näitä verrataan valmistajan tai maahantuojan ilmoittamiin arvoihin ja mikäli ne eivät ole raja-arvojen sisällä, auton päästömittaus hylätään.

Luvanvaraiset korjaamot sekä katsastustoimipaikat voivat molemmat tehdä dieselauton päästömittauksen, joka liittyy kahden vuoden välein tehtävään katsastukseen. Molemmissa toimipaikoissa menettely on täysin samanlainen, välineet ja tietokone-ohjelmistot ovat määräysten mukaisia ja tulosteet samankaltaisia. Luvanvaraisen korjaamon tekemä hyväksytty päästötesti on siis hyväksyttävä, samoin kuin virallisen katsastusaseman. Dekrasta tähän kyselyyn vastanneen henkilön, Thomas Ostin mukaan nykyinen opasiteettimittaus ei ole tarpeeksi luotettava, mutta OBD:n kautta tehtävä tarkistus on, ja siksi vuotta 2006 uudemmissa autoissa ei nähdään tarpeelliseksi pakoputkesta otettavaa opasiteettimittausta, mikäli vikakoodeja ei ole.

Pyysin kuvailemaan varsinaista mittausta muutamalla lauseella kyselyyn vastanneelta taholta. Thomas Ost vastasi näin: *”Teemme ensin vähintään neljä vapaata kiihdytystä, joista kolme viimeistä ovat olennaisia. Täytyy olla kolme peräkkäistä, kunnollista kiihdytystä. Tämä tarkoittaa että, kiihdytyksen on tapahduttava alle kahdessa sekunnissa ja eri kiihdytyksiä vertaillessa niiden aikaero saa olla korkeintaan puoli sekuntia. K-arvon osalta kolmen merkittävän kiihdytyksen keskiarvon tulee olla raja-arvojen puitteissa. K-arvo ei saa myöskään vaihdella yli 0,5* m^{-1}*. Suurin sallittu k-arvo ilmoitetaan autossa olevassa kilvessä. Ennen mittausta on välttämätöntä lämmittää moottori ja päästöjen-vähennyslaitteet.”* Tämä toimintatapa vastaa suurelta osin Suomen toimintatapaa.

Jokaisen kiihdytyksen välillä on odotettava vähintään 15 sekuntia. Tämä toiminto on kuitenkin ohjattu ohjelmiston avulla. Automaattivaihteisen auton vaihteenvalitsimen asento määritetään valmistajan ohjeen mukaan. Yleensä vaihteenvalitsin on kuitenkin ”P” eli ”parking” -asennossa.

Vapaasti hengittävillä dieselmoottoreilla k-raja-arvo näkyy valmistajan ilmoittamana autossa, siihen tarkoitetussa tyyppihyväksyntäkilvessä. Mikäli kilvessä ei ole tätä tietoa, voi testauksen suorittaja tarkistaa tiedon valmistajalta muuta kautta. Mikäli tätäkään tietoa ei ole saatavilla, pidetään ennen 1.1.2006 rekisteröidyillä autoilla sekä vapaasti hengittävällä moottorilla raja-arvona 2,5 m^{-1}. Tätä uudemmilla autoilla raja-arvo on 1,5 m^{-1}. 1.6.2015 lähtien Euro 6 -luokan autoilla raja-arvo on 0,5 m^{-1}, mikäli raja-arvoa ei löydy auton kilvestä. Sama raja-arvo on käytössä myös Suomessa Euro 6 -luokan

dieselajoneuvoille, mikäli tietoa ei löydy auton tyyppihyväksyntäkilvestä. Raja-arvot ovat Saksassa samat vapaasti hengittävälle sekä turboahtimella varustetulle autolle.

Tuloksena raja-arvon laskennalle käytetään kolmen viimeisen kiihdytyksen keskiarvoa. Tätä arvoa verrataan ohjearvoon ja katsotaan meneekö testi läpi. Koko toimenpide on ohjattu ohjelmiston avulla.

Päästötesti voidaan hylätä, mikäli absorptiokertoimen raja-arvo ylittyy mittausvaiheessa, moottorin pyörintänopeudet eivät ole sallituissa rajoissa, OBD antaa vikakoodeja tai moottorin vikavalo palaa. Viimeisenä kyselyssä kysyttiin miten päästötestiä voitaisiin parantaa ja kuinka luotettavana sitä pidetään. Thomas Ost vastasi näin:

”*Tarvitsemme paremman mittausmenettelyn virheettömämpien tulosten saamiseksi. Voitaisiin käyttää laservalon hajontaa sekä kuormituksen diffuusiota, ja myös opasiteetti tekniikassa olisi parannettavaa. Huomiota olisi syytä kiinnittää myös hiukkas-suodattimiin. Pitäisi onnistua saamaan absorptio-arvo alle 0,1 – 1* m^{-1} *turvallisella tavalla. Tulosten vaihteluväli ± 0,01-1,00* m^{-1} *olisi suotavaa tai sopivaa mikäli yksikkönä käytetään* mg/m^3*. Tämän lisäksi DPF:llä varustettujen autojen absorptio-arvon tulisi olla pienempi. Jo 0,5 – 1* m^{-1} *on liian iso, koska nykyautojen käsittelemättömät päästöt ovat jo näin suuria. Olisi hyödyllistä, kun olisi eurooppalainen säädös päästömittaukselle, joka olisi täysin sama kaikissa Euroopan maissa.*” (Thomas Ost, Dekra, 13.1.2015.)

Kuten kyselystä selvisi, Saksassa ei tehdä savutusmittausta autoihin, jotka on rekisteröity 1.1.2006 jälkeen, vaan OBD:n tarkistus riittää päästöjen tarkistuksen osalta. Sen takia on tärkeää että valvontajärjestelmä toimii oikein ja vianilmaisimesta näkee heti, jos jotain on vialla. Dieselautoissa OBD:n on ilmoitettava katalysaattorin vioista, hiukkasloukun vioista, vastattava ruiskutusjärjestelmän toiminnasta sekä mitattava esimerkiksi luotettavasti ilmavirtauksen massaa, ahtopainetta, imusarjan toimivuutta ja ilmavirtauksen tilavuutta. (Paavola 2002.)

9.2 Itävalta

Myös Itävallassa noudatetaan dieselpäästömittauksen ohjeena direktiiviä 2009/40/EY (Erkki Laakso, kirje, München 22.1.2015). Itävallassa savutuksen raja-arvona käytetään mitattavan auton tyyppihyväksyntäkilpeen merkattua arvoa. Tyyppihyväksyntäkilven on oltava direktiivin 72/306/ETY:n mukainen. Mikäli auto on rekisteröity ennen 1.1.1980, savutusmittausta ei tarvitse tehdä tämän direktiivin mukaan. Ajoneuvo on hylättävä, mikäli kolmen peräkkäisen kiihdytyksen aritmeettinen keskiarvo ylittää raja-arvon. Mikäli ajoneuvo alittaa raja-arvon huomattavasti alle kolmella kiihdytyksellä, voidaan päästötesti hyväksyä suoraan. (Direktiivi 2009/40/EY.)

Kysely Itävaltaan lähetettiin katsastuksia tekevälle toimijalle ”TÛV:lle”. TÛV:lta kyselyyni vastasi Christian Weininger. Itävallassa ensimmäinen määräaikaiskatsastus tehdään

henkilöautoille kolmen vuoden jälkeen ensimmäisestä rekisteröinnistä. Tämä ei koske takseja eikä ambulansseja. Myös traktorit, ajettavat työkoneet ja trailerit katsastetaan ensimmäisen kerran ensimmäisen kolmen vuoden jälkeen ensirekisteröinnistä. Ensimmäisen katsastuksen jälkeen on katsastuksesta vapaa vuosi, eli toinen katsastus tehdään kahden vuoden sisällä ensimmäisestä katsastuksesta. Tämän jälkeen katsastus tehdään vuosittain. Katsastukset henkilöautojen osalta suoritetaan siis vastaavasti kuin Suomessa. Päästömittaus tehdään aina katsastuksen yhteydessä. Museoautot katsastetaan kahden vuoden välein ja suuremman kokoluokan hyötyajoneuvot vuosittain.

Ennen päästömittausta tarkistetaan, että moottori on toimintalämpötilassa. Tämän jälkeen tarkistetaan, että OBD on kytketty savutusmittarin ohjelmistoon. Moottorin lämpötila tarkistetaan voiteluöljystä. Tarvittava lämpötila on vähintään 80 °C ja se saadaan katsottua joko öljytasomittarista tai OBD:sta. Kun lämpötila on saatu tarkistettua, tehdään puhdistuskiihdytykset ohjelmiston ohjeiden mukaan. Puhdistussykli on pakollinen. Moottorin kierrosnopeus mitataan manuaalisesti mittaajan toimesta. Arvo laitetaan esitietoihin ja se näkyy mittalaitteen näytössä päästömittauksen aikana. Itävallassa korjaamoilla tehty päästömittaus ei ole virallinen, eikä sitä voida käyttää katsastuksessa. Jotta auto saadaan katsastettua, on päästömittaus tehtävä katsastus-konttorilla.

Christian Weiningerin mielestä direktiivin 96/96/EY mukainen savutusmittaus on vain keino karsia huomattavasti saastuttavat autot muista. *”Nykyaikainen savutusmittaus ei ole riittävän tarkka mittaustapa erottelemaan suuripäästöisiä autoja vähempi-päästöisistä. Hiukkassuodattimilla varustetuilla autoilla tämä mittausmenettely ei lisäksi anna tarpeeksi tarkkoja päästöarvoja, sillä arvot vaihtelevat autosta ja mittalaitteesta riippuen liian paljon. Savutusmittaus on kuitenkin edullinen, helppo ja nopea tapa erottaa suuripäästöiset autot muista.”*

Itävallassa tehtävät dieselkatsastuksen päästömittaukset kulkevat seuraavan kaavan mukaan: lämmitetään auto toimintalämpötilaan, valitaan ohjelmistolle auton vaaditut tiedot, varmistetaan auton toimintalämpötila, tarkistetaan OBD-kytkentä, tarkistetaan moottorin pyörintänopeus, tehdään puhdistuskiihdytykset, asennetaan mittaussondi ja -putki, tehdään mittauskiihdytykset, otetaan mittaustuloste. Kiihdytysten välillä odotetaan 15 sekuntia tyhjäkäynnillä. Automaattivaihteisilla autoilla vaihteenvalitsin on parking-asennossa.

Vapaasti hengittävien dieselkäyttöisten henkilöautojen absorptioraja-arvo on 1.7.2008 jälkeen $k = 1{,}5m^{-1}$. Sama raja-arvo on myös Euro 4 -luokan dieselhenkilöautoilla. Tätä raja-arvoa käytetään, mikäli valmistaja on ilmoittanut sen tyyppihyväksyntäkilvessä tai muussa valmistajan antamassa lähteessä. Tätä aikaisemmin rekisteröidyissä autoissa, raja-arvo on 0,5 m^{-1} ≤ valmistajan ilmoittama arvo tai 2,5 m^{-1}. Turboahdetuissa dieselajoneuvoissa rajat ovat samat, lukuun ottamatta ennen 1.7.2008 rekisteröityjä

ajoneuvoja, joilla raja-arvo on korkeintaan 0,5 m^{-1} ≤ valmistajan ilmoittama raja-arvo tai 3,0 m^{-1}.

Mikäli ensimmäinen kiihdytys alittaa reilusti raja-arvon, ei kiihdytyksiä tarvita enempää. Mikäli ensimmäinen kiihdytys ylittää raja-arvon, tehdään kolmen kiihdytyksen sykli loppuun ja lasketaan niiden keskiarvo ja verrataan raja-arvoon. Mikäli auton pakokaasujärjestelmä tai pakokaasujen vähennyslaite on epäkunnossa tai absorption raja-arvot ylittyvät on pakokaasutesti hylättävä. Kehitysideana Christian Weininger ehdotti, että on saatava tarkemmat mitta-arvot savutustestissä, eli toisin sanoen paremmat mittalaitteet, mistä aiheutuisi myös lisää kustannuksia (laservalon sironta, massavirtaus). *”Tarkempien mitta-arvojen saaminen olisi tärkeää, koska raja-arvot eri autoilla vaihtelevat suuresti ja olisi hyvä saada mahdollisimman tarkat arvot savutusmittauksen yhteydessä.”* (Christian Weininger, TÛV, 20.1.2015.)

9.3 Tšekki

Tšekkiin lähetettyyn kyselyyn vastasi henkilö nimeltä Jakub Bzoch, joka työskentelee Car-care -nimisessä katsastuskonttorissa. Tšekissä ensimmäinen katsastus tehdään henkilöautoille neljän vuoden jälkeen ensirekisteröinnistä. Tämän jälkeen katsastus tehdään kahden vuoden välein. Päästömittaus tehdään aina katsastuksen yhteydessä. Mittaus voidaan suorittaa joko katsastuskonttorilla tai suuremmissa korjaamoissa, jotka ovat valtuutettuja tekemään päästömittauksia.

Ennen varsinaista savutusmittausta on moottori lämmitettävä tarvittavaan lämpötilaan. Moottorin lämpötila tarkistetaan yleensä öljyn mittatikun aukosta tai digitaalisella laserlämpömittarilla. Ennen varsinaista kiihdytyssykliä tehdään myös pakojärjestelmän puhdistuskiihdytykset. Vanhemmissa autoissa moottorin kierrosluku tarkistetaan painamalla kaasupoljin pohjaan muutamaksi sekunniksi. Uudemmissa autoissa tyhjäkäynnin maksimi kierrosluku on rajoitettu automaattisesti 3500 kierrokseen minuutissa.

Tšekissä korjaamolla otettu päästötodistus on täysin virallinen ja se hyväksytään katsastuksessa. Jakubin mielestä nykyinen mittausmenettely ei ole luotettava – varsinkaan, kun suurin osa mitattavista autoista on yksityisten henkilöiden, jotka ajavat suurimmaksi osaksi kaupungissa matalilla kierroksilla. Kun suurin osa näistä autoista on vielä varustettu hiukkassuodattimella, päästömittaus ei anna luotettavaa tulosta, koska hiukkassuodatin saattaa olla tukossa tai epäkunnossa. Hyvin toimivalla hiukkas-suodattimella on kuitenkin hyvin matalat päästöarvot, joten nykyinen savutus-mittausmenettely ei ole tarpeeksi tarkka etenkään uusien autojen kohdalla.

Päästömittaus alkaa sillä, että laitetaan päästöputken sondi pakoputkeen. Tämän jälkeen tarkistetaan moottorin lämpötila. Seuraavaksi tehdään muutama puhdistus-kiihdytys. Testi on hyväksytty, mikäli viiden peräkkäisen kiihdytyksen keskiarvo alittaa absorptioraja-arvon ja kiihdytysten välillä savutuksessa on alle 25 % ero. Kiihdytysten välillä on odotettava 15 sekuntia. Mikäli mittausta tehdään automaattivaihteiselle autolle, vaihteenvalitsimen on oltava ”parking”-asennossa.

Jotta päästömittaus voidaan hyväksyä, on absorption alitettava käytettävä raja-arvo, joka on aina valmistajan määrittämä ja löytyy auton tyyppihyväksyntäkilvestä. Tšekissä ei käytetä muita raja-arvoja. Kehitysideana Jakub kertoi, että olisi hyvä kehittää tapa tarkistaa päästöt diagnostiikkalaitteen kautta, kuten uudemmissa autoissa voidaan tehdä. Nykyinen savutusmittaus ei ole hänen mielestään luotettava, etenkään hiukkassuodattimilla varustetuissa autoissa. (Jakub Bzoch, Car-care, 7.1.2015.)

9.4 Belgia

Kysely lähetettiin Belgian katsastuskonttorille ”GOCA:lle” (*Groupement des Entreprise Agréées de Contrôle Automobile et du Permis de Conduire)*. Se on vastaava taho kuin esimerkiksi A-katsastus Suomessa. ”GOCA:lta” kyselyyn vastasi Stijn Van Ingh. Belgiassa henkilöautot katsastetaan ensimmäisen kerran 4 vuoden jälkeen ensirekisteröinnistä. Se on siis sama aika kuin esimerkiksi Tsekissä. Ensimmäisen katsastuksen jälkeen autot katsastetaan vuosittain. Päästömittaus tehdään aina katsastuksen yhteydessä. Tämä koskee sekä diesel- että bensa-autoja.

Ennen savutusmittauksen aloittamista tarkistetaan, että pakosarja ja -putkisto ovat ehjät, eivätkä vuoda. Tämän jälkeen tarkistetaan moottorin lämpötila. Muista maista poiketen Belgiassa riittää moottorin lämpötilaksi 55 °C. Tämän jälkeen kuulostellaan moottorin käyntiääntä ja kiihdytetään 2/3 moottorin maksimi pyörintänopeudesta ja kuulostellaan vielä uudestaan, kuuluuko moottorista johonkin vikaan viittaavaa ääntää. Moottorin lämpötila mitataan lohkosta käyttäen infrapunalämpömittaria.

Ensimmäiset kaksi kiihdytystä ovat puhdistuskiihdytyksiä. Mikäli kuitenkin absorption arvo alittaa reilusti raja-arvon, voidaan puhdistuskiihdytys laskea mukaan mittaukseen. Kiihdytykset tehdään valmistajan määrittämään ruiskutuksen katkaisun kierrosnopeuteen saakka. Kierroslukua ei tarkisteta erikseen. Toisin kuin esimerkiksi Suomessa, Belgiassa korjaamolla tehty päästötodistus ei kelpaa katsastuskonttorilla, vaan virallinen savutusmittaus on tehtävä katsastuskonttorilla. Stijn Van Inghin mukaan nykyinen savutusmittaus on luotettava ja paras tapa heti rulladynamometrin jälkeen mitata dieselauton päästöt. DPF:llä varustettujen autojen tulisi toimiessaan helposti alittaa raja-arvot, sillä niillä on huomattavasti pienemmät päästöarvot kuin autoilla, joita ei ole varustettu DPF:llä. Nykyisellä mittauskeinolla ”paljon” saastuttavat dieselajoneuvot tulevat kuitenkin eroteltua muista helposti.

Mittausmenettelyssä kaasupoljin painetaan pohjaan nopeasti ja portaattomasti. Se on painettava pohjaan alle sekunnissa ja siten, että moottori saavuttaa polttoaineen ruiskutuksen katkaisun kierrosnopeuden. Tämä kierrosnopeus on pidettävä ryntäytyksen aikana vähintään kaksi sekuntia. Tämän jälkeen kaasupoljin vapautetaan hitaasti ja portaattomasti.

Kiihdytysten välillä on odotettava vähintään viisi sekuntia, mutta kiihdytysväli riippuu käytettävästä laitteistosta. Mikäli mitataan automaattivaihteista ajoneuvoa, vaihteen-valitsimen on oltava vapaalla. Kaasupoljinta ei pidetä alhaalla tiettyä aikaa, vaan järjestelmä kertoo, kun kaasupoljin voidaan vapauttaa. Kaasupoljin tulee kuitenkin painaa pohjaan portaattomasti ja nopeasti, jotta ruiskutuksen katkaisunopeus saadaan saavutettua mahdollisimman nopeasti. Tämän jälkeen on kierrosten annettava laskeutua tyhjä-käyntikierrosluvulle. Seuraavassa taulukossa näytetään käytettävät kansalliset raja-arvot.

Taulukko 3.1 Belgiassa käytettävä raja-arvotaulukko savutusmittaukselle.

Sarake1	Sarake2	Sarake3	Sarake4	Sarake5
≥Euro 4/first in use after 1. July 2008		Limit value K (m-1)	Fast Pass K (m-1)	Fast Fail K (m-1)
YES		1,5	1	3,5
	Naturally aspirated	2,5	2	4,5
NO	turbocharged	3	2,5	5

Vapaasti hengittävillä dieselmoottoreilla absorption raja-arvona käytetään arvoa 2,5 m^{-1}, kun taas turboahdetuilla dieselmoottoreilla raja-arvo on 3,0 m^{-1}. Tämä poikkeaa muiden maiden käytännöistä, missä raja-arvona on yleensä ensisijaisesti valmistajan antama raja-arvo. Belgiassa lasketaan kolmen peräkkäisen kiihdytyksen aritmeettinen keskiarvo ja verrataan sitä yllä esitettyihin absorption raja-arvoihin. Valmistajan ilmoittamaa raja-arvoa ei käytetä. Päästötesti on hylätty, mikäli taulukon 3.1 mukaiset raja-arvot ylittyvät.

Pyysin kertomaan, mitä kehitysideoita kyselyn vastaajalla mahdollisesti on dieselpäästöjen mittauksen suhteen. Stijn Van Ingh vastasi näin: *”Voitaisiin ottaa käyttöön kansainvälisen moottoriajoneuvojen katsastus komitean (CITA) tutkima TEDDIE-niminen mittauspa.”* ”TEDDIESTÄ” lisää tutkimuksen pohdinnan yhteydessä. *”Euro 6 -ajoneuvoissa olisi hyvä käyttää opasiteettimittauksen sijasta OBD:sta saatavia tietoja. Myös NO_x -päästöt eli typpioksidipäästöt olisi hyvä tarkistaa. Vaikka dynamometrillä tehtävä mittaus on hankalampi kuin opasiteettimittaus, voitaisiin myös harkita sen käyttämistä tarkempien arvojen saamiseksi. Opasiteettimittalaitteen sijasta olisi hyvä käyttää tarkempia mittalaitteita kuten massavirtamittalaitetta.”* (Stijn Van Ingh, GOCA, Belgia, 14.1.12015.)

9.5 Puola

Dieselpäästömittauskysely lähetettiin Puolan liikenneministeriölle. Kyselyyn vastasi tekninen valvoja Jan Bożewicz. Puolassa henkilöautojen katsastusaikataulu on sama kuin Suomessa, eli ensimmäinen katsastus on kolmen vuoden jälkeen ensirekisteröinnistä. Tämän jälkeen on katsastuksesta vapaa vuosi ja toisen katsastuksen jälkeen katsastus tehdään vuosittain. M2 ja M3 -ajoneuvoluokilla ensikatsastus tehdään ensimmäisen vuoden jälkeen ja tämän jälkeen aina puolen vuoden välein. N2 ja N3 luokan ajoneuvoilla katsastus tehdään aina vuoden välein ja ensikatsastus on vuoden jälkeen ensirekisteröinnistä. Päästömittaus on aina osa henkilöauton katsastusta.

Ennen varsinaista mittausta pakoputkiston kunto tulee tarkastaa mahdollisten vuotojen varalta. Tämän jälkeen moottori on lämmitettävä sen toimintalämpötilaan. Ennen varsinaisia ryntäytyksiä tehdään muutama puhdistuskiihdytys. Puhdistuskiihdytykset ovat pakolliset. Jokainen savutusmittalaite on varustettu lämpötilamittarilla, joka asetetaan öljyn mittatikun reiästä moottorin sisään. Lämpötila mitataan voiteluöljystä. Lämpötilan on mittauksen aikana pysyttävä muuttumattomana.

Moottorin pyörintänopeus tarkastetaan mittalaitteessa olevan anturin mukaan. Jokaisessa virallisen katsastusaseman savutusmittalaitteessa on oltava pyörintänopeuden ilmaiseva anturi. Anturi kiinnitetään ruiskutusputkeen. Mittalaitteet ovat yleensä samanlaiset korjaamoilla ja katsastusasemilla. Kuitenkin korjaamolta saatu päästötuloste ei ole pätevä katsastuksessa ja päästömittaus on tehtävä aina katsastuksen yhteydessä. Jan Bożewiczin mielestä nykyinen savutusmittaus on luotettava vielä Euro 4 -luokan autoissa mutta uudemmissa päästöluokissa tulisi käyttää jotakin toista menetelmää.

Mittalaitteisto mittaa absorption valon avulla tyhjäkäynnin ja ruiskutuksen katkaisun vaatiman kierrosnopeuden alueilla. Kiihdytysten välillä odotetaan ohjelmiston vaatima aika. Mikäli päästömittausta tehdään automaattivaihteiselle autolle, laitetaan vaihteenvalitsin ”parking”-asentoon.

Vapaasti hengittäville dieselmoottoreille pidetään raja-arvona k ≤ $3{,}0m^{-1}$. Turboahdetuille moottoreille raja-arvo on k ≤ $2{,}5m^{-1}$. Nämä raja-arvot ovat erikoiset, koska yleensä vapaasti hengittävillä moottoreilla raja-arvo on k ≤ $2{,}5m^{-1}$ ja turboahdetuilla moottoreilla k ≤ $3{,}0m^{-1}$, kun verrataan muihin tutkittaviin maihin. Mikäli ajoneuvo on valmistettu 30.6.2008 jälkeen, raja-arvona pidetään k ≤ $1{,}5m^{-1}$. Ohjelmisto laskee neljän onnistuneen kiihdytyksen keskiarvon ja vertaa sitä vaadittavaan raja-arvoon. Kiihdytysten välinen absorptioarvo ei saa vaihdella yli 0,5 m^{-1}. Mikäli tyyppihyväksyntäkilvessä näkyy autolle vaadittava absorptiokerroin, käytetään katsastuksen päästömittauksessa kyseistä raja-arvoa. Päästötestiä ei hyväksytä, jos pakoputkistosta puuttuu osia, se on muuttanut muotoaan (iskut) tai se vuotaa. Toinen syy hylkäykselle on k-arvon ylittyminen.

Kyselyn lopussa kysyin mitä kehitysideoita päästötestin osalta vastaajalla olisi. Jan Bożewicz vastasi näin:

”On todella tärkeää ratkaista ongelma Euro 5 ja sitä suurempien päästöluokkien kanssa päästömittauksen osalta. Nykyinen savutusmittaus ei ole luotettava nämä uudemmat päästöluokat omaavilla autoilla. Ongelmana on, ettei ole keksitty luotettavaa, suhteellisen edullista ja yksinkertaista tapaa mitata näitä Euro 5 ja uudempien päästöluokituksen omaavia autoja.”

“Nykyään on kehitelty elektronisia käyttöliittymiä, jotta voidaan lukea auton antamat vikakoodit OBD: n kautta. Meidän mielestämme tämä menetelmä ei ole kuitenkaan riittävä. Se arvioi osien kunnon, jotka vähentävät päästöjä, mutta ei ratkaise ongelmaa itsessään. Lisäksi tulokset saattavat vaihdella viallisten antureiden takia.”(Jan Bożewicz, Polish Ministry of Transport, 20.1.2015.)

9.6 Ruotsi

Lähetin kyselyn Ruotsiin liikenneministeriöön sekä katsastuskonttorille. Sain vastauksen molemmilta tahoilta. Ruotsissa ensimmäinen määräaikaiskatsastus tehdään henkilöautoille ensimmäisen kerran kolmen vuoden jälkeen ensirekisteröinnistä. Tämä katsastus-aikataulutus ei koske esimerkiksi takseja, jotka on katsastettava vuosittain ensi-rekisteröinnistä lähtien. Samalla tavoin kuin Suomessa, ensimmäisen katsastuksen jälkeen on katsastuksesta vapaa vuosi, jonka jälkeen katsastus tehdään vuosittain. Kun autolle tulee ikää yli 30 vuotta, katsastus tehdään joka toinen vuosi.

Ruotsissa savutusmittaus tehdään aina katsastuksen yhteydessä. Mikäli auto on rekisteröity ennen 1.1.1980, savutusmittausta ei tehdä. Silloin auton pakokaasujärjestelmä käydään vain silmämääräisesti läpi. Jos auto on rekisteröity vuonna 2006 tai sen jälkeen, savutusmittauksen sijasta katsotaan vain vikakoodit OBD:n kautta. Mikäli vikakoodeja päästökomponenttien osalta löytyy, tehdään savutusmittaus myös vuonna 2006 rekisteröidyille ja sitä uudemmille autoille. Jos moottorin käyntiäänessä on jotakin epäilyttävää, jätetään päästömittaus tekemättä, ettei moottori vioitu. Tämä johtaa hylättyyn katsastuspäätökseen.

Ennen mittauksen aloittamista tarkistetaan, ettei pakojärjestelmässä ole vuotoja. Tämän jälkeen lämmitetään moottori toimintalämpötilaan. Päästömittausta tekevä katsastusmies tarkistaa, että moottori on vaaditussa lämpötilassa. Lämpötila tarkistetaan yleensä auton omasta moottorin lämpötilamittarista, jonka arvo näkyy mittaristossa. Jos päästötesti ei mene läpi ensimmäisellä kerralla, voidaan se vielä toistaa ja lämmittää tätä ennen moottoria hiukan lisää. Yleensä tehdään vähintään yksi puhdistuskiihdytys ennen varsinaisia mittaus-kiihdytyksiä. Päästömittauksen tekevä tarkastaja tarkistaa tarvittavan moottorin kierrosluvun.

Ruotsissa päästömittaus on tehtävä katsastusasemalla katsastuksen yhteydessä. Jos päästötesti ei mene läpi, voidaan auton päästötesti tehdä jälkeenpäin valtuutetulla korjaamolla. Korjaamolta saatu hyväksytty päästötesti ei kuitenkaan kelpaa katsastuksessa, vaan ainoastaan jälkitarkastuksen yhteydessä se on hyväksyttävä. Kyselyyn vastanneiden

henkilöiden mielestä nykyinen mittausmenettely ei ole tarpeeksi kehittynyt ja nykyaikainen. Se ei myöskään kerro täyttä totuutta päästöjenvähennyslaitteiden kunnosta. Hiukkassuodattimella varustetut autot antavat paljon pienemmät päästöarvot kuin ilman hiukkassuodatinta olevat. Jo pelkästään tämän takia ei ole järkevää käyttää samaa mittaustapaa DPF:llä varustetuilla autoilla ja ilman DPF:ää olevilla autoilla.

Ruotsissa päästömittaus tehdään tekemällä vapaita kiihdytyksiä. Ensin laitetaan mittausputki pakoputken päähän. Kiihdytykset tapahtuvat painamalla kaasupoljin mahdollisimman nopeasti pohjaan, kunnes moottori saavuttaa polttoaineen ruiskutuksen katkaisun vaatiman pyörintänopeuden. Siinä kierroslukualueella tapahtuu absorptioarvon mittaus. Absorptioarvoa verrataan auton tyyppihyväksyntäkilvessä olevaan raja-arvoon. Jos absorptioarvo alittuu reilusti raja-arvosta ensimmäisellä kiihdytyksellä, ei kiihdytyksiä vaadita enempää.

Kiihdytysten välillä on odotettava, että pyörintänopeus laskee tyhjäkäynnille ennen seuraavaa kiihdytystä. Kun mittaus tehdään automaattivaihteiselle autolle, vaihteenvalitsimen on oltava vapaalla tai ”parking”-asennossa.

Raja-arvona käytetään valmistajan tyyppihyväksyntäkilvessä ilmoittamaa k-arvoa. Jos tätä arvoa ei ole saatavilla, pidetään raja-arvona turboahdetuilla moottoreilla k ≤ $3{,}0m^{-1}$ ja k ≤ $2{,}5m^{-1}$, jos moottori on vapaasti hengittävä. Jos autolla on Euro 4 tai uudempi päästöluokitus, raja-arvona käytetään k ≤ $1{,}5m^{-1}$. Jos auto ei ensimmäisellä kiihdytyksellä alita raja-arvoa, voidaan käyttää kolmen kiihdytyksen aritmeettista keskiarvoa ja verrata sitä raja-arvoon. Ruotsissa on siis sama toimintamenetelmä ja raja-arvot kuin Suomessa. Päästötesti on hylätty, mikäli raja-arvo ylittyy 0,1 m^{-1} . Jos autolla on vanhempi päästöluokitus kuin Euro 4, raja-arvo saa ylittyä 0,5 m^{-1}.

Katsastusasema Carspectin tekninen valvoja Håkan Anderssonin mielestä vuonna 2006 ja sen jälkeen rekisteröityjen autojen kohdalla pitäisi siirtyä lukemaan pelkästään vikakoodit. Hänen mielestään savutusmittaus on turha näiden ”uudempien” autojen kohdalla. (Håkan Andersson, Carspect, 8.1.2015.)

Liikenneministeriöstä kyselyyn vastasi Per Öhlund. Hän vastasi päästömittauksen kehittämiskysymykseen näin:

”Mielestäni uudempien autojen kohdalla määräaikaiskatsastusten yhteydessä tehtävä päästömittaus voitaisiin korvata pelkällä vikakoodien luvulla. Katsastuksessa voitaisiin tarkistaa savutusmittauksen sijasta OBD:n kunto ja ettei moottorin vikavalo pala. Uudemmissa autoissa, eli Euro 6 ja sitä uudemmissa päästöluokissa, on käytössä IUPR (In Use Performance Ratio). Se on järjestelmä moottorinohjausyksikössä, joka valvoo OBD järjestelmää. Uskon, että tulevaisuudessa voidaan käyttää katsastuksessa tätä järjestelmää varmistamaan, että OBD järjestelmä on täysin toiminnassa.”(Per Öhlund, Swedish Ministry of Transport, 9.1.2015.)

Taulukossa 3.2 on esitetty koosteena eri maiden käytännöt ja raja-arvot.

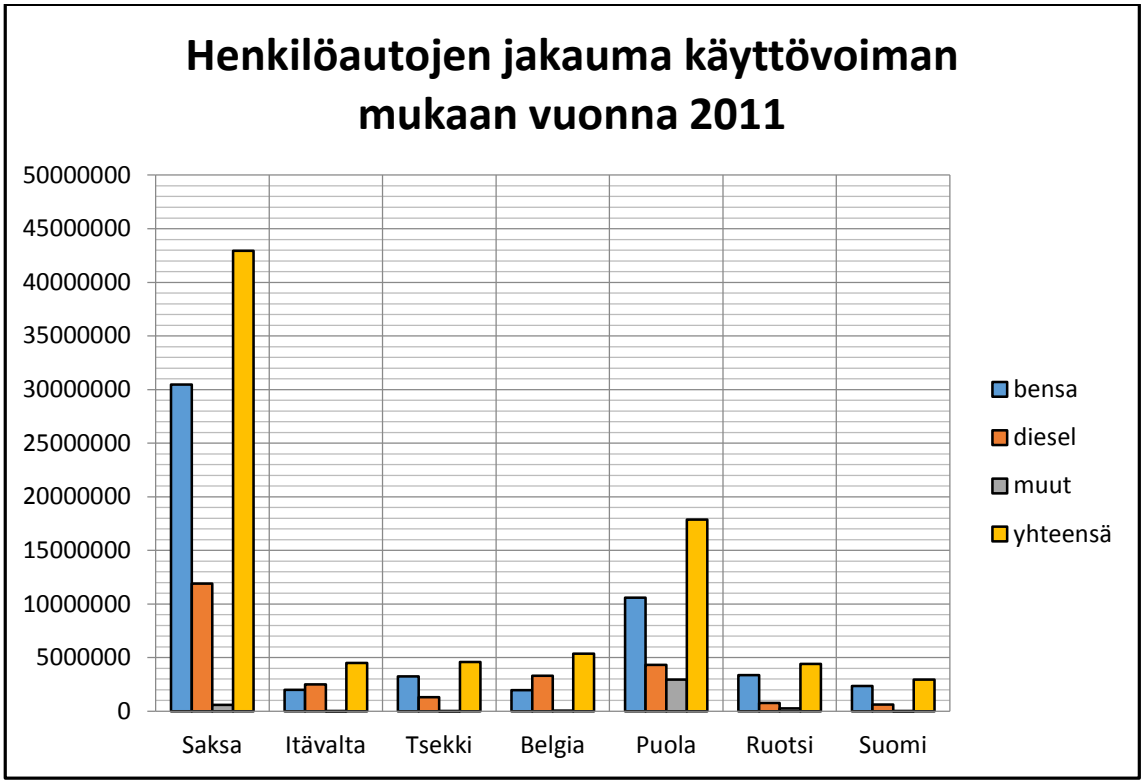
Taulukko 3. 2. Eri maiden käytännöt ja raja-arvot.

KÄYTÄNNÖT	Saksa	Itävalta	Tsekki	Belgia	Puola	Ruotsi
1. Katsastus (ensirekisteröinnistä) (a)	3	3	4	4	3	3
2. Katsastus (ensimmäisestä katsastuksesta) (a)	2	2	2	1	2	2
Katsastusväli kahden ensimmäisen katsastuksen jälkeen (a)	2	1	2	1	1	1
Tehdäänkö opasiteettimittaus, jos rek. 1.1.2006 jälkeen?	EI (VIKAK.)	KYLLÄ	KYLLÄ	KYLLÄ	KYLLÄ	EI (VIKAK.)
Vaadittava moottorin minimilämpötila? (°C)	60	80	80	55	80	80
Miten lämpötila tarkistetaan?	Öljyn mittatikku	>sama	>sama	Infrapuna	Öljyn T	Öljyn T
Kuinka monta puhdistuskiihdytystä?	Vähintään 1	>sama	>sama	Väh. 2	Muutama	Väh. 1
Onko korjaamon tekemä päästötesti virallinen?	KYLLÄ	EI	KYLLÄ	EI	EI	EI
Montako kiihdytystä päästötestissä tehdään?	Vähintään 4	>sama	Väh. 6	Väh.5	n.8	Väh. 4
Monestako kiihdytyksestä lasketaan keskiarvo absorptiolle?	3 viim.	>sama	5	3 viim.	4	3
Mikä on pääasiallinen raja-arvo päästömittauksessa?	Tyyppihyv.kilven arvo	>sama	>sama (ei muita)	Taul.1 (ei muita)	Tyyppih.kilpi	>sama
Yleiset raja-arvot						
≥Euro 4 (m^(-1))	1,5	1,5	valmistaja	1,5	1,5	1,5
<Euro 4						
Vapaasti hengittävä dieselmoottori (m^(-1))	2,5	2,5	valmistaja	2,5	3,0	2,5
Turboahtimella varustettu dieselmoottori (m^(-1))	2,5	3,0	valmistaja	3,0	2,5	3,0
Sallittu max. absorptioarvon vaihtelu kiihdytysten välillä (m^(-1))	0,5	0,5	[25%]	-	0,5	0,5
Kiihdytysten välillä odotetaan väh. (s)	15	15	15	5	Ohjelmisto	>sama

10 POHDINTA MUIDEN MAIDEN MENETTELYISTÄ

Kuten kyselyiden perusteella voidaan todeta, nykyinen savutusmittaus ei ole luotettava uudempien päästöluokkien (Euro 5 ja Euro 6) osalla. Tämä johtuu siitä, että dieselmoottoreiden päästöjä on saatu huomattavasti alennettua, eikä nykyinen savutusmittaus anna tarpeeksi luotettavia ja tarkkoja k-arvoja. Kuten uudempien dieselautojen päästöt, myös tyyppihyväksynnässä sovellettavat Euro 5 ja Euro 6 raja-arvot ovat huomattavasti pienemmät kuin esimerkiksi Euro 4 päästöluokan raja-arvot.

Myös hiukkassuodattimien kehitys on merkittävästi mennyt parempaan suuntaan ja hiukkassuodattimilla varustetut autot antavatkin huomattavasti pienemmät päästöarvot kuin ilman hiukkassuodatinta olevat autot. Hiukkassuodattimien kehitys on yksi merkittävä syy dieselautojen yleistymiseen tieliikenteessä Euroopan eri maissa. Kuviossa 3.2 esitetään henkilöautojen jakauma käyttövoiman mukaan vuonna 2011.



Kuvio 3.2 Henkilöautojen jakauma käyttövoiman mukaan eri maissa vuonna 2011 (ACEA 2011).

Kuten kuviosta nähdään, Saksassa ja Puolassa on suurimmat dieselautokannat verrattuna muihin tutkittaviin maihin. Siellä on muutenkin suurempi autokanta kuin muissa tutkittavissa maissa. Esimerkiksi Itävallassa ja Belgiassa dieselautoja on enemmän kuin bensiiniautoja,

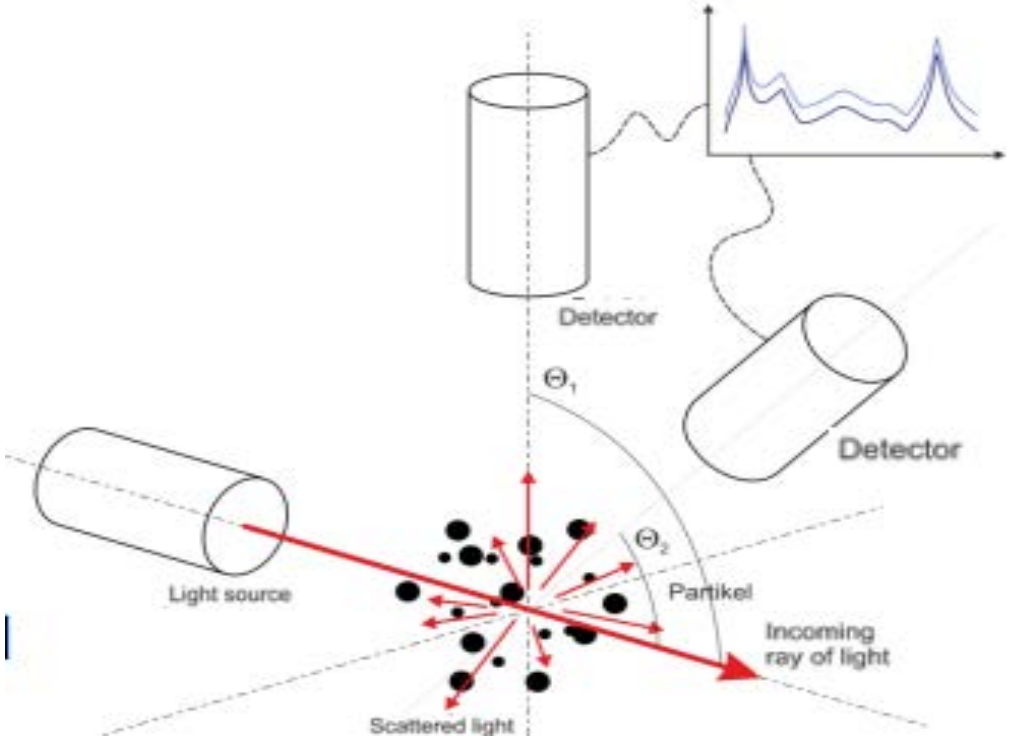
vaikka niiden absoluuttinen määrä onkin pienempi kuin suurissa automaissa. Tulevaisuudessa dieselautojen osuus tulee vielä todennäköisesti nousemaan päästönhallintalaitteiden ja dieselmoottoritekniikan kehityksen ansiosta.

Kyselyissä tuli esille, että monen maan asiantuntijan mielestä nykyinen savutusmittaus voitaisiin jättää kokonaan katsastuksen yhteydestä pois. Savutusmittaus voitaisiin korvata pelkällä OBD:n tarkastamisella ja vikakoodien luvulla. Tämän ehdotuksen lisäksi mainittiin myös nykyisen savutusmittauksen korvaava massavirtamittaus sekä laservalon sirontaan perustuva mittausmenetelmä.

Massavirtamittauksella saadaan tarkempi arvo dieselpäästöille kuin perinteisellä savutusmittauksella. Massavirtamittauksessa mitataan nimensä mukaisesti haitallisten pienhiukkasten massaa tietyn kierrosluvun tuottamassa pakokaasuvirrassa. Toinen tarkemman arvon antava menetelmä on laservalon sirontamenetelmä, joka perustuu opasiteetin mittaukseen käyttämällä valonlähteenä laseria.

Euroopan komissio aloitti vuonna 2011 projektin nimeltä ”TEDDIE” (Test(D)Diesel), jonka tarkoituksena on kehittää uusia mittalaitteita pienhiukkasten mittaamiseen (ec.europa.eu 2011. TEDDIE). Esimerkkinä ”LLSP” eli Laser Light Scattering Photometry, joka tarkoittaa yllä mainittua laservalon sirontamenetelmää. Kuvassa 3.1 on esimerkki LLSP:n toimintatavasta. Se on yksi ”TEDDIE” projektin aikaansaannoksista (cita-vehicleinspection 2013. OBD vs. Tailpipe Testing).

Kyselyihin viitaten yleinen mielipide nykyisen savutusmittauksen osalta on se, että se erottaa huomattavasti suuripäästöisemmät autot normaalit päästöt omaavista autoista. Savutusmittaus oli jokaisessa tutkittavassa maassa osana määräaikaiskatsastusta. Joka maassa savutusmittausta ei kuitenkaan ole välttämätöntä tehdä katsastuskonttorilla, vaan myös valtuutettu korjaamo kelpaa savutusmittauksen tekijäksi, kuten esimerkiksi Suomessa, Tšekissä ja Saksassa. Valtuutetun korjaamon tekemä päästötesti on siis katsastuksessa kelvollinen Saksassa, Tšekissä ja Suomessa. Itävallassa, Belgiassa, Puolassa ja Ruotsissa päästötesti on tehtävä katsastuskonttorilla määräaikaiskatsastuksen yhteydessä. Toisaalta Ruotsissa valtuutetun korjaamon tekemä päästömittaus kelpaa määräaikaiskatsastuksen jälkitarkastuksen yhteydessä luvanvaraiseksi todistukseksi siitä, että ajoneuvo alittaa päästörajat.



Kuva 3.1 Laser light scattering – laservalon sirontaan perustuva absorption mittaustapa (cita-vehicleinspection 2013).

Yksi ”TEDDIEN” tavoitteista on saada luotettavaksi mittaustavaksi OBD:n käyttö hiukkasten tunnistuksessa. Näin ollen OBD:n avulla voitaisiin päätellä, ylittyvätkö sallitut päästöraja-arvot vai ei. OBD:n kautta saadaan myös tietoa pakoputkiston ja päästöjenvähennyslaitteiden kunnosta. Antureiden avulla saadaan selville esimerkiksi hiukkassuodattimen vahingoittuminen, kuten myös muutokset kampikammiossa tai viat ilmamassa-anturissa. Antonio Multarin tekemän tutkimuksen mukaan nykyiset keinot mitata dieselautojen päästöt pakoputken päästä on kuitenkin luotettavampi tapa kuin luottaa pelkkään OBD tarkastukseen. Kuten jo mainittiin, esimerkiksi massavirtamittarilla saadaan huomattavasti tarkempi arvo dieselpäästöille kuin perinteisellä savutusmittauksella. (cita-vehicleinspection 2013. OBD vs. Tailpipe Testing.)

Kyselyiden perusteella autojen tyyppihyväksyntäkilpien raja-arvot ovat pääasiassa käytettävät raja-arvot dieselautojen katsastuksessa. Ellei tyyppihyväksyntäkilvessä ole tarvittavaa tietoa, noudatetaan yleensä direktiivissä 96/96/EY lueteltuja raja-arvoja. Ainoastaan Tsekissä noudatetaan pelkästään tyyppihyväksyntäkilvessä olevia raja-arvoja. Toisaalta Belgiassa, noudatetaan ainoastaan yhteisiä, taulukon 3.1. mukaisia raja-arvoja, eikä valmistajan ilmoittamia raja-arvoja oteta lainkaan huomioon.

Henkilöautojen vaadittavat katsastusväliajat olivat myös pääpiirteissään samoja jokaisessa tutkittavassa maassa. Yleensä ensimmäinen katsastus tehdään kolmen vuoden jälkeen

ensimmäisestä katsastuksesta. Tämän jälkeen saattaa olla katsastuksesta vapaa vuosi, kuten esimerkiksi Ruotsissa ja Suomessa. Toisen katsastuksen jälkeen katsastukset tutkittavissa maissa tehtiin joko vuosittain tai joka toinen vuosi.

On yhteinen tavoite saada pienhiukkaspäästöjä alennettua. Mielestäni muissa maissa voitaisiin ottaa mallia Saksan ”Green Zone” -käytännöstä. Tämä tarkoittaisi, että vähäpäästöisissä autoissa tulisi olla tarra, joka todistaa auton olevan riittävän vähäpäästöinen kulkeakseen suuremmissa kaupungeissa.

Hiukkassuodattimien avulla voidaan säästää ihmishenkiä pitkällä tähtäimellä. Jotta pienhiukkaspäästöjä saataisiin vielä entisestään vähennettyä, tulee päästöjenvähennyslaitteita kehittää entisestään, kuten myös katsastuksessa käytettäviä päästömittalaitteita. ”TEDDIE” on hyvä esimerkki siitä, että pyritään kehittämään entistäkin parempia mittalaitteita. Jotta saadaan paras mahdollinen tulos dieselauton päästömittauksessa, tulisi käyttää OBD:ta enemmän hyödyksi päästömittauksen yhteydessä sekä ottaa käyttöön uusinta savutusmittalaitetekniikkaa

Työn tarkoituksena oli selvittää katsastuksen yhteydessä tehtävän dieselpäästömittauksen toimintatapoja ja siihen liittyviä määräyksiä eri Euroopan maissa. Työ pohjautuu Trafin tilaamaan tutkimukseen, jonka toteuttajana toimii Turun ammattikorkeakoulu. Tulosten saamiseksi tärkein keino kerätä tietoa oli päästömittaukseen liittyvän kyselyn lähettäminen eri maiden liikenne-ministeriöille ja katsastuskonttoreille. Tutkittavat maat olivat Saksa, Itävalta, Tšekki, Belgia, Puola ja Ruotsi.

Tietoja työhön saatiin kyselyn lisäksi Euroopan Unionin lainsäädännöstä, eri hiukkassuo-dattimien valmistajilta ja aiheeseen liittyvistä kirjoista. Työn alkupuolella käytiin pakokaasupääs-töjen tyyppihyväksyntävaatimusten ja katsastussäädösten lisäksi läpi myös hiukkassuodattimen ja savutusmittalaitteen ominaisuuksia ja vaatimuksia. Kyselyiden ja hiukkassuodattimien valmistajien tietojen pohjalta selvisi myös, että hiukkassuodattimilla on todella tärkeä merkitys nykyisten dieselautojen päästöjenvähennyksessä. Hiukkassuodatin eli DPF (Diesel Particulate Filter) on päästöjenvähennyslaite, joka polttaa siihen jääneet myrkylliset dieselpolttoaineen palamisprosessin synnyttämät pienhiukkaset regeneroinnin yhteydessä aika ajoin.

Työssä käytiin läpi merkittävimmät dieselkatsastuksen päästömittaukseen liittyvät säädökset ja määräykset, kuten esimerkiksi direktiivin 2009/40/EY mukainen ohje mittausmenettelystä. Tärkeimpänä huomiona on, että jokaisessa maassa on yhteinen direktiivi koskien dieselauton päästömittausta ja sen yleisiä raja-arvoja. Kyseinen direktiivi on Euroopan Union neuvoston direktiivi 96/96/EY, joka koskee moottoriajoneuvojen ja niiden perävaunujen katsastusta. Työssä tuli esiin myös eri maiden mittauskäytännön eroja. Raja-arvot vaihtelivat maasta riippuen direktiivien antamista ohjeista huolimatta. Kyselyistä kävi ilmi, että myös valtuutetun korjaamon tekemä päästötesti on katsastuksessa kelvollinen Suomen lisäksi myös Saksassa ja Tšekissä. Jäsenvaltioiden tulee ilmoittaa tekemistään dieselpäästömittaustapahtumaan liittyvistä muutoksista muille maille.

LÄHTEET

ACEA 2011. European Motor Vehicle Parc. Viitattu 20.2.2015
http://www.acea.be/uploads/statistic_documents/2013_ANFAC_Report.pdf

Christian Weininger, TÛV. 20.1.2015

Cita-vehicleinspection 2013. OBD vs. Tailpipe Testing. Viitattu 10.2.2015 www.cita-vehicleinspection.org

Direktiivi 72/306/ETY

Direktiivi 96/96/EY

Direktiivi 2009/40/EY

ec.europa.eu 2011. TEDDIE. Viitattu 10.2.2015
http://ec.europa.eu/transport/road_safety/pdf/projects/teddie.pdf

Munchenwagen 2014. Tervetuloa. Viitattu 22.12.2014
http://www.munchenwagen.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=1

OICA 2012. Vehicles In Use. Viitattu 15.2.2015
http://www.oica.net/wp-content/uploads//pc-inuse-2013.pdf
http://www.oica.net/wp-content/uploads//cv-inuse-2013.pdf
http://www.oica.net/wp-content/uploads//total-inuse-2013.pdf

LIITE 1. Tutkittaviin maihin lähetetty päästömittauskysely

Juha Lipponen
Diesel car emission measurement
In roadworthiness test
According to directive 96/96/EC

- **Comparison of Practices between European countries**

Research for Bachelor's thesis
Turku University of Applied Sciences
Turku, Finland

Dear Reader
I study automotive engineering at Turku University of Applied Sciences in Finland. I am preparing my thesis regarding diesel car particulate emission measurement practices in roadworthiness test (directive 96/96/EC) in different EU-countries.
My purpose is to find out how the diesel particulate emission measurement is executed in different European countries. The main focus of the inquiry is diesel passenger cars that fulfill demands of the Euro 4, Euro 5 and Euro 6 classifications.
Your participation will help the execution of this research, and the information won`t be used in any other contacts. You can give your answers with few sentences under the questions. If you need more space for answers, please write it in the end of the inquiry.
Thank you, I appreciate your help!
Juha Lipponen
juha-matti.lipponen@students.turkuamk.fi

ROADWORTHINESS TEST (TECHNICAL INSPECTION) GENERALLY

1. At what age do the cars need a roadworthiness test (official technical inspection) for the first time in your country?

2. How often are the cars inspected after the first time?

3. Is the diesel particulate emission measurement performed at every inspection?

EMISSION MEASUREMENT ARRANGEMENTS

4. What kind of arrangements you perform before the actual measurement?

5. How do you check the engine temperature? What is the required temperature?

6. Do you perform cleansing accelerations before the actual measurement?

How do you make sure that the engine speed is limited the right way?

7. Is the measurement execution similar in official vehicle inspection offices and commercial repair shops? Is the result from workshop recognized as official, and can it replace the measurement performed at an official station?

8. Do you consider the results of the current method reliable? How do you judge the appropriateness of the current method regarding vehicles with a particulate filter and without it?

THE ACTUAL EXECUTION OF THE MEASUREMENT

9. Please, describe the actual measurement procedure with a couple of sentences.

10. How long do you wait until next acceleration when you have just pushed the accelerator pedal?

11. How do you execute the measurement for a car with an automatic gearbox? What position of the gearstick do you use?

PASSING OR FAILING OF THE TEST

12. What absorption limit value (k value) you apply for naturally aspirated diesel engines?

13. What absorption limit value (k value) you apply for turbocharged diesel engines?

14. Do you calculate the average result of the accelerations, and use the average absorption value as the result of the measurement?

15. If an absorption limit value (k value) given by the manufacturer is available, how does this influence the judging of the result? Do you apply this value in such a case?

16. What are the criteria to mark the test as failed?

17. What improvement ideas do you possibly have related to the diesel emission measurement? What would you like to change to improve it?

18. IF YOUR WAY TO EXECUTE THE MEASUREMENT IS COMPLETELY DIFFERENT THAN QUESTIONS ABOVE ARE POINTING AT, PLEASE DESCRIBE IT WITH A FEW SENTENCES.

Thank you for participating to this research. Please send your answers by e-mail to juha-matti.lipponen@students.turkuamk.fi. The form of the attachment can be a pdf or a word document.
You can mark here the country you come from:
Many thanks for your answers!

OSA 4

RAULI SILLANPÄÄ

VIKATILAN VAIKUTUS DIESELAUTON HIUKKASPÄÄSTÖÖN

– OBD-merkkivalon merkitys

11. MITTAUKSIEN SUORITTAMINEN

11.1 Mittaustulosten kerääminen

Opinnäytetyön mittaukset suoritettiin vuoden 2015 kesä- ja heinäkuun aikana Turun AMK:n autolaboratoriossa. Mittausolosuhteet ja lämpötila ollut lähes samanlaiset, koska mittaukset suoritettiin sisällä. Mitattuja autoja oli kaiken kaikkiaan 12 ja tulosten lukumäärä vaihteli sen mukaan, miten autoon sai simuloitua vikatilan päälle. Yhteensä mittaustuloksia tuli 106 kappaletta eli molemmilla mittausmenetelmillä 53 kappaletta. Lisäksi saatiin 31 OBD-testin tulosta, yksi jokaisesta mittauksesta, joka suoritettiin vikatila päällä.

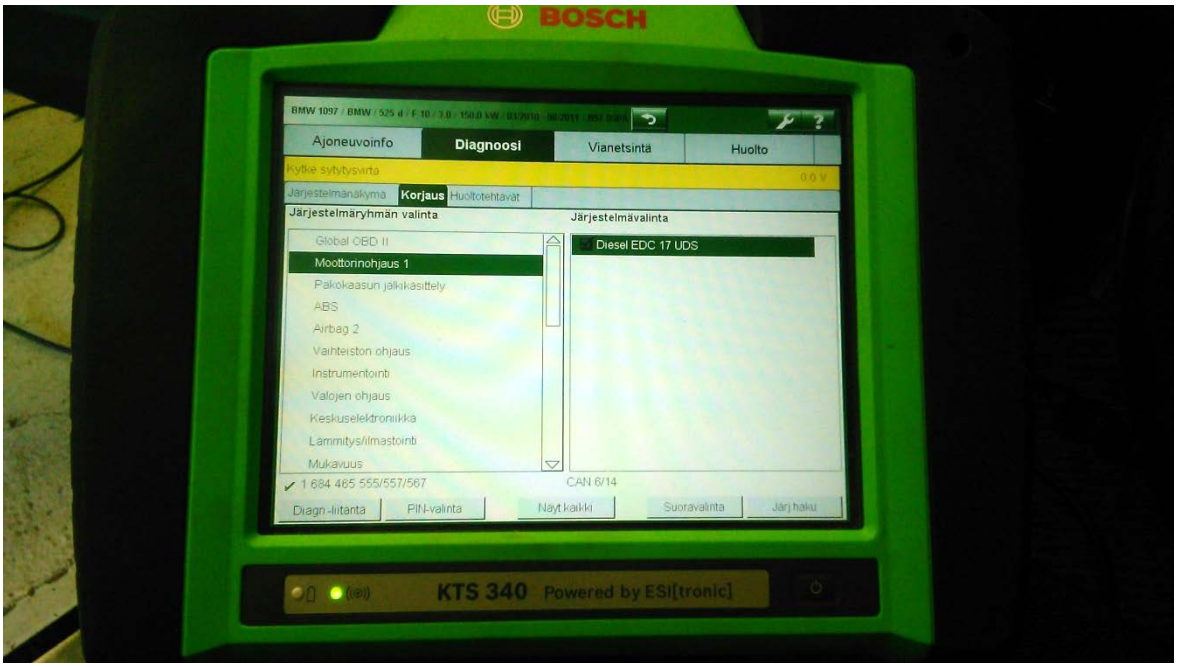
11.2 Mittausmenetelmä

Jokainen ajoneuvo oli autoliikkeen vaihtoauto ja niillä suoritettiin samanlainen ajo ennen mittauksien aloittamista.

Opinnäytetyössä käytettiin mittalaitteina AVL DISMOKE HEAT 480 -opasiteettimittaria (kuva 4.1), sarjanumero 637, tunnistenumero B07339. Opasiteettimittari oli kalibroitu kesäkuussa 2014 ja kalibroitiin mittausten aikana heinäkuussa 2015. Toinen mittalaite oli AVL DITEST SMOKE 2000 -massavirtamittari (kuva 4.1), joka on vasta koekäytössä oleva prototyyppi, eikä sillä ole tunnistetietoja.

Kuva 4.1 AVL DISMOKE HEAT 480 -opasiteettimittari (oikealla) ja AVL DITEST SMOKE 2000 -mittalaite (vasemmalla).

Mittausten aluksi tarkastettiin, ettei autossa ole OBD-vikakoodeja. Käytössä oli kaksi eri Boschin valmistamaa testeriä vikakoodien lukemiseen ja poistoon, molemmat olivat Esitronic 2.0 -ohjelmaa hyödyntäviä. Testerit olivat Bosch DCU 130, jonka lisäosana KTS 540 ja toinen Bosch KTS 340 (kuva 4.2). Lisäksi yhden auton (Toyota Corolla, VOI-354) kohdalla käytettiin mittalaitetta Toyota Intelligent Tester II.



Kuva 4.2 Bosch KTS 340.

Kuvassa 4.2 on näkymä testerin ohjelmasta. Molemmat testerit KTS 340 ja KTS 540 pohjautuivat samaan ohjelmaan (Esitronic 2.0), joten molemmissa on sama näkymä näytössä. Kuvassa näkyvästä valikosta pystytään suoravalinnalla tutkimaan auton yksittäisiä ohjainlaitteita ja niiden ohjaamien toimilaitteiden arvoja.

Mitatuissa autoissa moottorin jäähdytysnesteen lämpötila oli aina normaalissa käyntilämpötilassa mittaustilanteessa. Itse mittaukset aloitettiin vikamuistin tarkistuksen jälkeen seuraavassa järjestyksessä:

1. Alussa tehtiin päästömittaus ajoneuvon ollessa ehjä ja ei OBD-vikakoodeja (jäljempänä ”ehjäalku”).

2. Ajoneuvoon simuloitiin jokin vikatila päälle irrottamalla antureiden liittimiä tai muita asennuksia, jotka estivät tietyn toimilaitteen toiminnan. Vikasimulaatiossa oli edellytyksenä moottorin vikavalon syttyminen.

3. Suoritettiin päästömittaus molemmilla mittalaitteilla ja lisäksi OBD-testi. Sen jälkeen vikamuisti tyhjennettiin ja simuloitiin seuraava vika. Kohdat 2. ja 3. toistettiin simuloitavissa olleiden vikojen mukaan.

4. Lopuksi tehtiin päästömittaus ajoneuvon ollessa ehjä ja ilman OBD-vikakoodeja, jotta saatiin vertailutulos ensimmäiseen mittaukseen (jäljempänä ”ehjäloppu”).

Mittaukset suoritettiin molemmilla mittalaitteilla samaan aikaan (molemmat näytteenotto-sondit samassa pakoputkessa, (kuva 4.3) virallisen opasiteettimittarin ohjeiden mukaisesti, koska massavirtamittarin ohjelma tallentaa pakokaasun laskennallisen massavirtatiedon aina sadasosasekunnin välein, eikä siinä ole erillistä ohjeistusta mittausten suorittamiseen.

Kuva 4.3 Mittaustilanne.

Moottorin pyörintänopeus (kuva 4.4) saatiin kaikissa ajoneuvossa OBD-pistokkeen kautta. Samaan aikaan tehdyn mittauksen avulla myös eliminoitiin mahdolliset virheet, joita olisi saattanut ilmetä, jos mittaukset olisi suoritettu kahdella mittalaitteella erikseen.

Kuva 4.4 Opasiteetti- ja massavirtamittarin mittausohjelmat. Vasemmassa ruudussa mitattavan moottorin pyörintänopeus.

Kuvassa 4.4 vasemmalla on opasiteettimittarin ohjelma, jossa mittauksen suorittamisen ohjeet ja moottorin pyörintänopeus. Oikealla on massavirta-mittauksen ohjelma, jossa vaaka-akselilla aika ja pystyakselilla pakokaasun laskennallinen massavirtatieto.

Mittaus suoritettiin virallisen ohjeen mukaisesti (TRAFI/33622/03.02.03.03/2010), jossa kuormittamaton moottori ryntäytetään joutokäyntikierroksilta polttoaineen ruiskutuksen katkaisupisteen kierroksille asti, vaihteen ollessa vapaalla ja kytkimen kytkettynä.

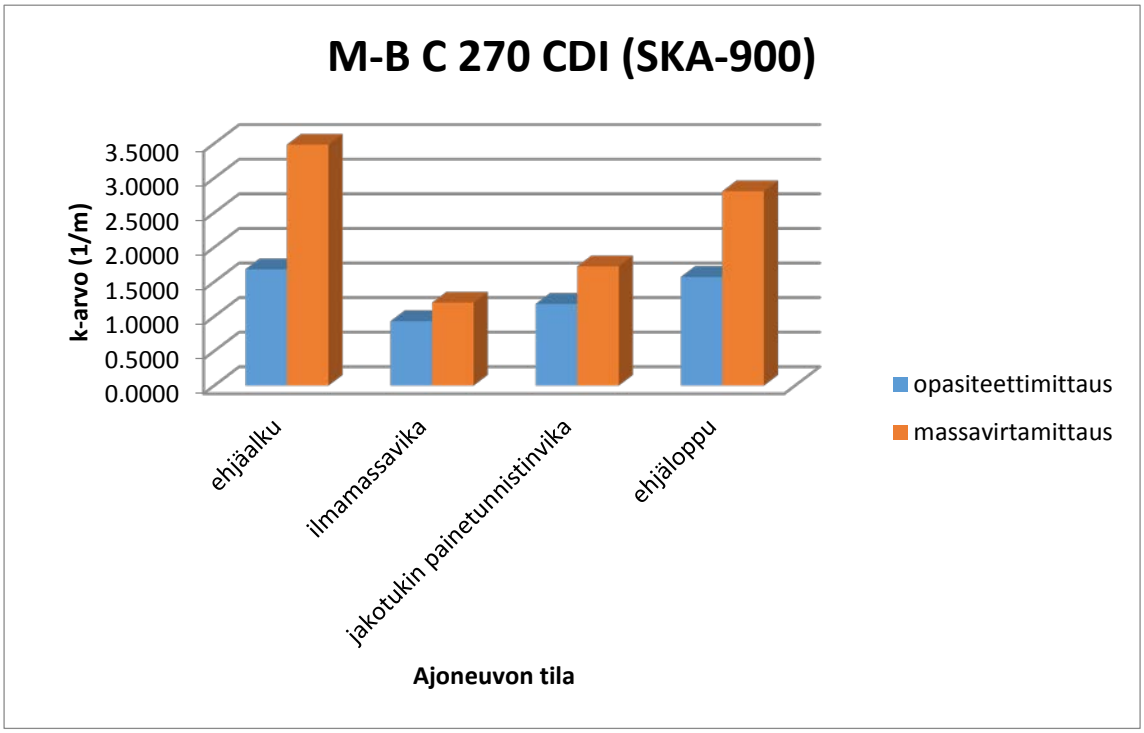
Päästömittauksen alussa suoritetaan ruiskutuksen katkaisupisteen kierrosten määritys siten, että ohjelma käskee, milloin kaasupoljin painetaan pohjaan ja milloin se päästetään. Tämän jälkeen määritetään auton joutokäyntikierrokset antamalla moottorin käydä vähintään kymmenen sekuntia joutokäyntiä. Vasta kierroslukujen määrityksen jälkeen suoritetaan itse päästömittaus ryntäyttämällä moottori joutokäynniltä polttoaineen ruiskutuksen katkaisupisteeseen asti ohjelman ohjeiden mukaisesti.

Massavirtamittalaitteen tuloksista haettiin itse myöhemmän ryntäytyksen huippuarvo (vastaa virallisen mittauksen mittaustulosta), koska se ei erottele kierrostenmääritys- ja mittausryntäytystä toisistaan.

12. MITTAUSTULOKSET

12.1 Euro 3 -päästötason auto

Mercedes-Benz C 270 CDI, moottori 2.7-litrainen turbodiesel ja vm. 2003. Rekisterinumero SKA-900 ja valmistenumero WDB2032161F494129. Auto kuuluu Euro 3 -päästöluokkaan eikä ole varustettu hiukkassuodattimella. Mittarilukema 187321 km. Mittaustulokset on esitetty kuviossa 4.2.



Kuvio 4. 2 Mittaustulokset, vaaka-akselilla ajoneuvon mittauksen aikainen tila ja pystyakselilla k-arvo (1/m).

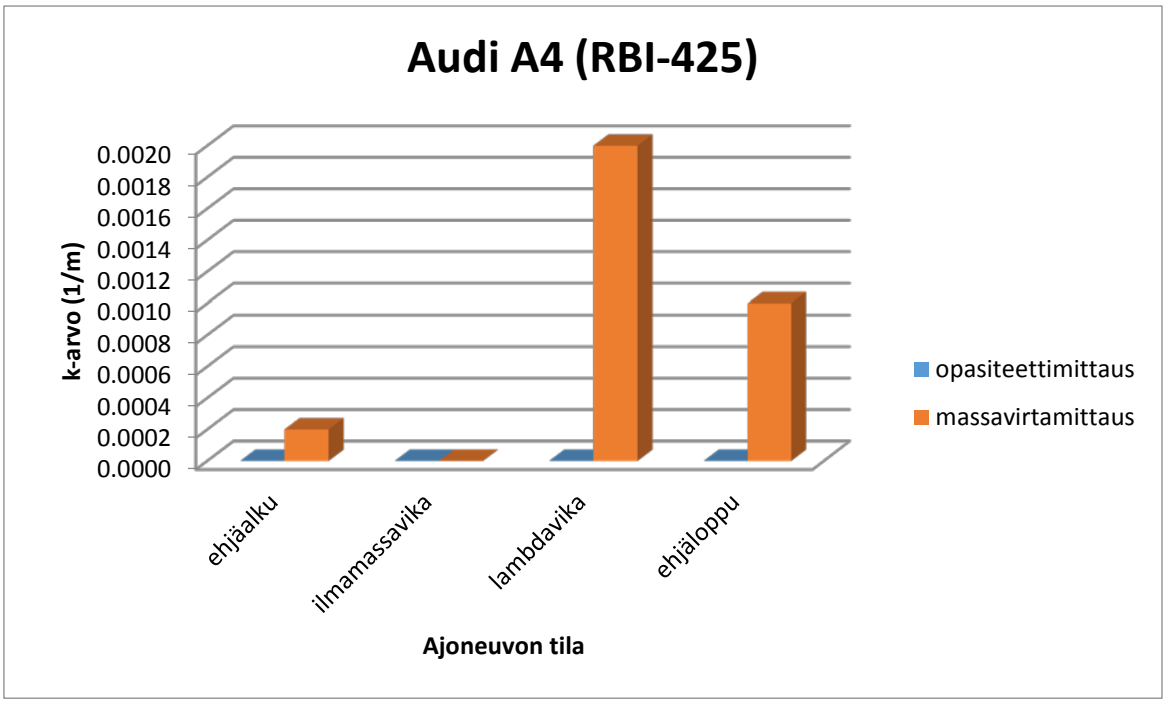
Vikojen päälle saanti oli hankalaa, eikä auto käynnistynyt nokka-akselin asentoanturi tai jakotukin paineensäätöventtiilin liittimen ollessa irti ja auto sammui, jos liitin otettiin irti käydessä.

Ryntäytyksiä suoritettaessa moottorinohjaus katkaisi polttoaineen ruiskutuksen 4800 1/min kohdalla ajoneuvon ollessa ehjä ja vikatila päällä polttoaineen ruiskutus katkaistiin 3000 1/min kohdalla. Vikakoodit: P0102 - Ilmamäärän- tai ilmamassanmittari: Signaali liian alhainen ja P0193 - Polttonesteen painetunnistin jakoputkessa: Signaali liian korkea.

Mittaustuloksien perusteella vikatila laskee hiukkaspäästöjä ja molempien mittalaitteiden tulokset tukevat tätä. On tosin huomattava, että vikatilan ollessa päällä ryntäytyspyörintä-nopeus jäi selvästi ehjää tilaa alemmaksi. Tuloksia katsottaessa on myös hyvä huomata ensimmäisen mittauksen ylittäneen suurimman sallitun k-arvon, joka on 3,0 1/m.

12.2 Euro 4 -päästötason autot

Audi A4, moottori 2.0-litrainen turbodiesel ja vm. 2008. Rekisterinumero RBI-425 ja valmistenumero WAUZZZ8KX9A076983. Auto kuuluu Euro 4 -päästöluokan ajoneuvoihin ja on varustettu hiukkassuodattimella. Mittarilukema 161711 km. Mittaustulokset on esitetty kuviossa 4.3.



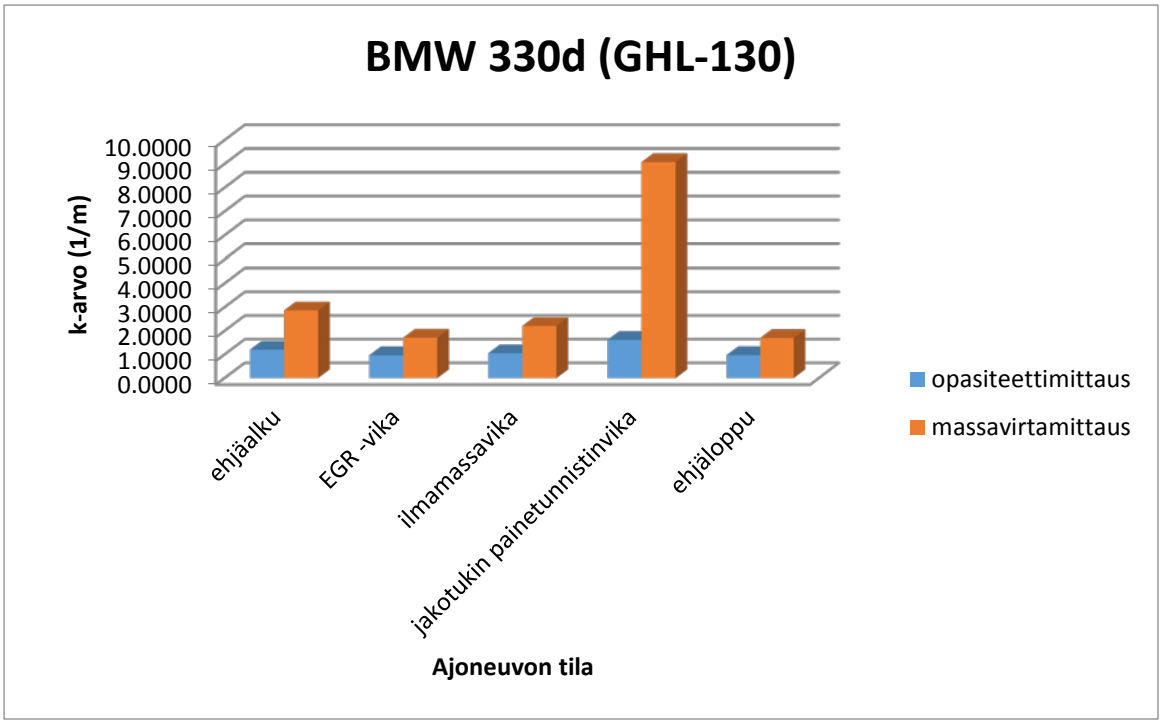
Kuvio 4.3 Mittaustulokset, vaaka-akselilla ajoneuvon mittauksen aikainen tila ja pystyakselilla k-arvo (1/m).

Vikatilojen päälle saanti Audin kohdalla oli helppoa, mutta vikakohteita oli vähän tarjolla. Ilmamassa- ja lambda-anturin liittimen irti ottaminen oli helposti tehtävissä. Tämän jälkeen tarvittiin vain auton uudelleen käynnistys kaksi kertaa, jolloin ohjainlaite oli tehnyt tarvittavat tarkistussyklit ja vikavalo syttyi.

Ryntäytyksiä suoritettaessa moottorinohjaus katkaisi polttoaineen ruiskutuksen 2600 1/min kohdalla. Vikakoodit: P0102 - Ilmamäärän- tai ilmamassanmittari: Signaali liian alhainen ja P0135 - Lambdatunnistin lämmityspiiri (lohko 1, tunnistin 1). Esimerkkinä virallisen päästömittauksen tuloste (Liite 1) ja OBD-testin tuloste (Liite 2).

Mittaustuloksissa opasiteettimittaus antoi vain nollaa k-arvoksi. On kuitenkin syytä huomata, että moottorinohjauksen sallima ryntäytyspyörintänopeus jäi selvästi suurimman tehon pyörintänopeutta pienemmäksi. Massavirtamittauksen osalta on havaittavissa vaihtelua, vaihtelu kuitenkin suurimmillaan k-arvona 0,0020 1/m, joka lukemana on hyvin pieni. Diagrammin mitta-asteikon suuruus on hämäävä, koska esimerkiksi lambdavian ollessa päällä pylväs on selvästi korkeampi, mutta lukuarvo kuitenkin alle 0,0020 1/m. Todella pienistä eroista tulosten lukuarvojen välillä voidaan sanoa, että vikatilalla ei ole vaikutusta hiukkaspäästöihin.

BMW 330d, moottori 3.0-litrainen turbodiesel ja vm. 2003. Rekisterinumero GHL-130 ja valmistenumero WBAED91020FM72630. Auto kuuluu Euro 4 -päästöluokkaan ja ei ole varustettu hiukkassuodattimella. Mittarilukema 265827 km. Mittaustulokset on esitetty kuviossa 4.4.



Kuvio 4.4 Mittaustulokset, vaaka-akselilla ajoneuvon mittauksen aikainen tila ja pystyakselilla k-arvo (1/m).

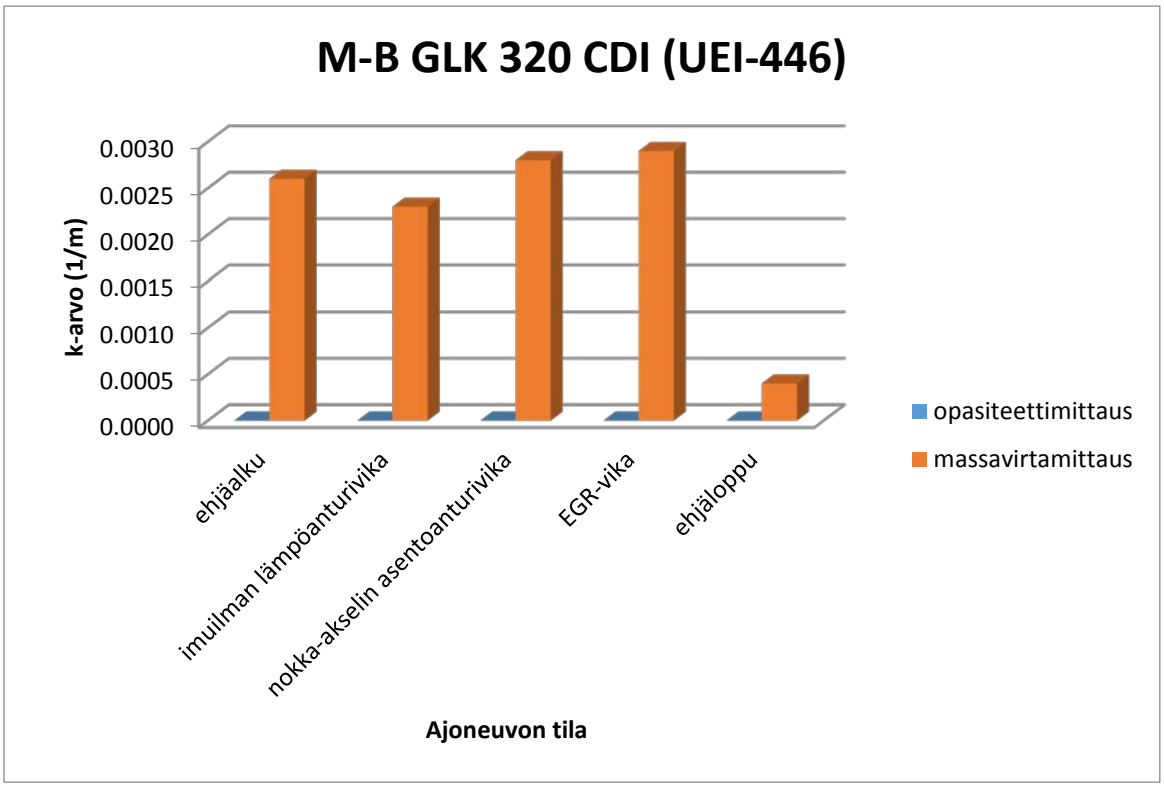
Vikojen simulointi oli hankalaa tämän auton kohdalla, koska useat uudelleen käynnistämiset ja moottorin kuormitus eivät vaikuttaneet vikavalon syttymiseen. Tietoa autosta oli sen verran, että siihen olisi asennettu ”lastu” eli ahtopaineita nostettu ja polttoaineen syöttöä lisätty. Tämä näkyi selvänä mustana savuna, joka on palamatonta polttoainetta.

Ryntäytyksiä suoritettaessa moottorinohjaus katkaisi polttoaineen ruiskutuksen 4000 1/min kohdalla. Vikakoodit: P0401 - Pakokaasujen takaisinkierrätys: Määrä liian alhainen, P010 - Ilmamäärän- tai ilmamassanmittari: Ohjearvoalueen ulkopuolella, P0193 - Polttonesteen painetunnistin jakoputkessa: Signaali liian korkea ja P0001 – Polttonestemääränsäädin: Ohjauspiiri auki.

Mittaustuloksista havaitaan ensimmäiseksi massavirtamittauksen suuremmat tulokset kuin opasiteettimittauksessa. Opasiteettimittauksen mukaan auton päästöt olivat sallitun rajan (1,5 1/m) alapuolella kaikkien muiden vikojen kohdalla paitsi jakotukin paineanturin ollessa irti ja massavirtamittauksen perusteella yläpuolella, jolloin katsastuspäätös olisi hylätty.

Polttoaineen jakotukin anturin ollessa irti massavirtamittauksen perusteella hiukkaspäästöt olisivat nousseet räjähdysmäisesti, mutta opasiteettimittauksen tulos tukee tätä päätelmää huonosti. Tämän suuren eron vuoksi otettiin toinen päästömittaus ja siinä ero oli tasoittunut, mutta silti sallitun rajan (1,5 1/m) yläpuolella. Polttoaineen jakotukin anturin ollessa irti auto ei myöskään käynyt normaalisti, jonka vuoksi hiukkaspäästöjen nousu on ymmärrettävää.

Mercedes-Benz GLK 320 CDI, moottori 3.0-litrainen turbodiesel ja vm. 2008. Rekisterinumero UEI-446 ja valmistenumero WDC2049831F274308. Auto kuuluu Euro 4 -päästöluokkaan ja on varustettu hiukkassuodattimella. Mittarilukema 110368 km. Mittaustulokset on esitetty kuviossa 4.5.



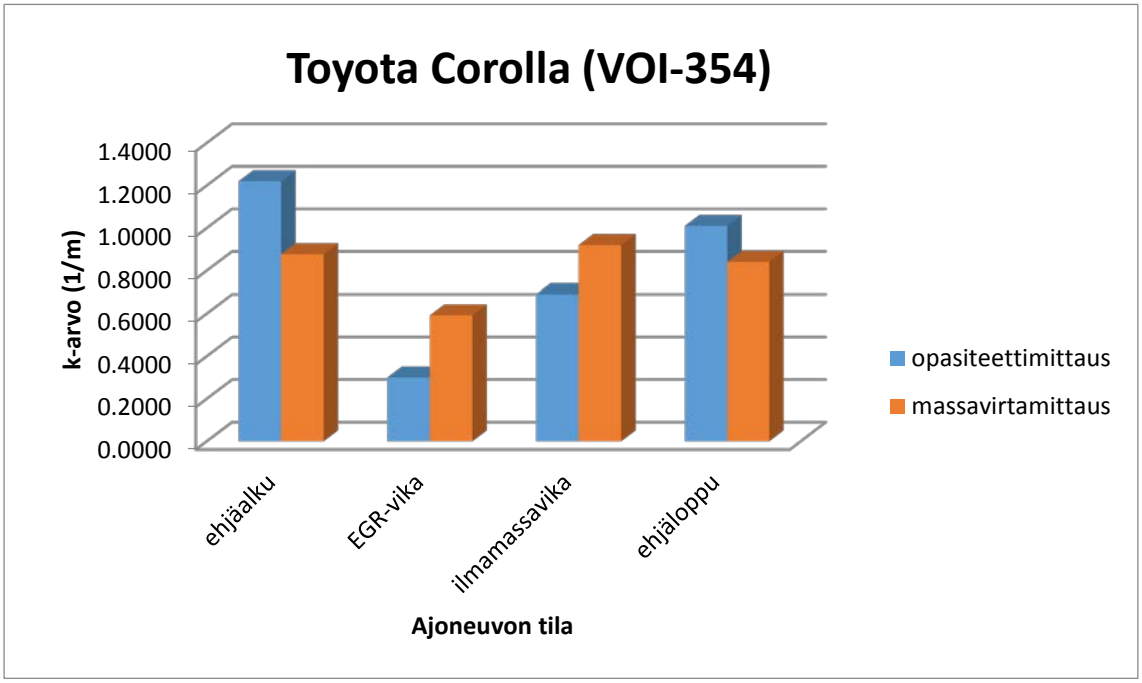
Kuvio 4.5 Mittaustulokset, vaaka-akselilla ajoneuvon mittauksen aikainen tila ja pystyakselilla k-arvo (1/m).

Vikojen päälle saanti oli melko helppoa, riittävän monta uudelleen käynnistystä riitti vikavalon syttymiseen. Ilmamassa-anturin liittimen irti ottamisella ei ollut vaikutusta auton toimintaan, eikä vikavalon syttymiseen.

Ryntäytyksiä suoritettaessa moottorinohjaus katkaisi polttoaineen ruiskutuksen 4500 1/min kohdalla. Vikakoodit: P0112 - Imuilman lämpötunnistin: Signaali liian alhainen, P0111 - Imuilman lämpötunnistin: Ohjearvoalueen ulkopuolella, P0097 - Imuilman lämpötila: Tunnistinpiiri liian alhainen, P0096 - Imuilman lämpötunnistinpiirin mittaus- tai toimintaongelma ja P2413 - Pakokaasu kierrätysjärjestelmä toimintaongelma. Edellä mainitut viat aiheutuneet imuilman lämpöanturin liittimen irti ottamisesta. P0340 - Nokka-akselin asematunnistin. Pakokaasujen takaisinkierrätysvian aikana aiheutuivat seuraavat vikakoodit: P0403 - Pakokaasujen takaisinkierrätys (venttiili/pääteaste) ja P0472 - Pakokaasujen painetunnistin: Signaali liian alhainen.

Vikatilalla ei vaikutusta hiukkaspäästöihin, kuvaaja luettaessa on huomioitava todella pieni asteikko. Massavirtamittauksen perusteella k-arvon huippuarvo noin 0,0025 1/m, joka on tuloksena lähes olematon.

Toyota Corolla, moottori 1.4-litrainen turbodiesel ja vm. 2006. Rekisterinumero VOI-354 ja valmistenumero SB1KC20E20F033008. Auto kuuluu Euro 4 -päästöluokkaan eikä ole varustettu hiukkassuodattimella. Mittarilukema 319192 km. Mittaustulokset on esitetty kuviossa 4.6.



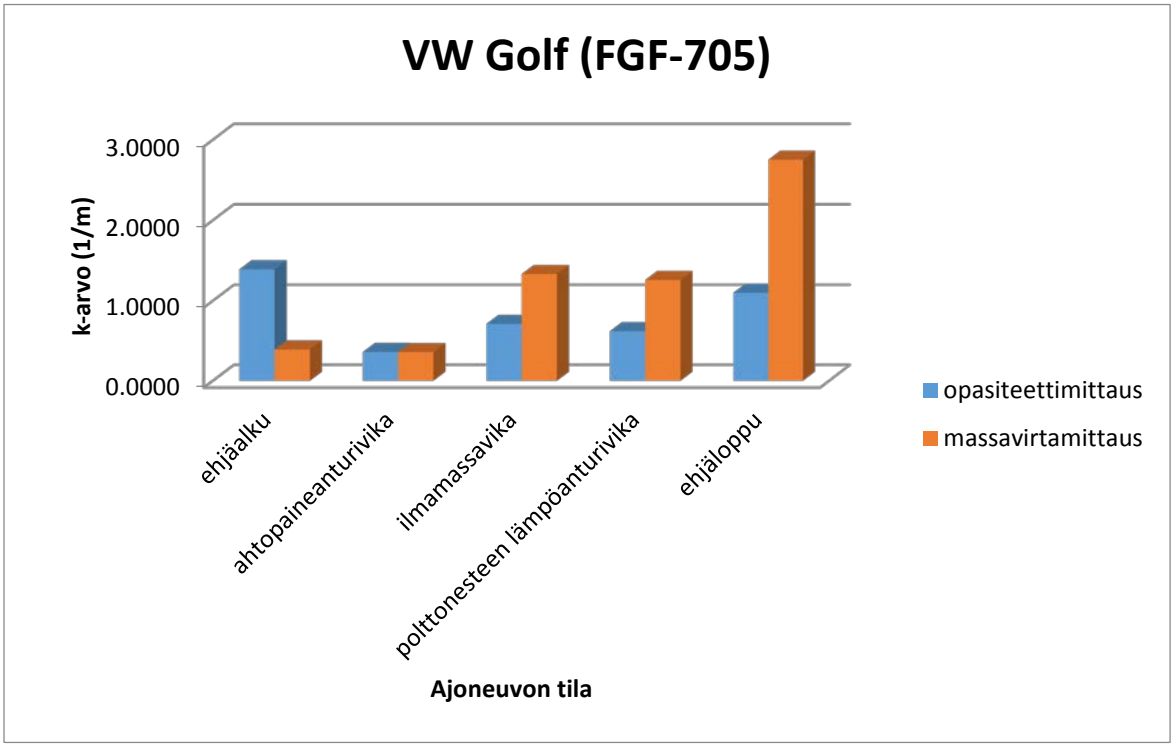
Kuvio 4.6 Mittaustulokset, vaaka-akselilla ajoneuvon mittauksen aikainen tila ja pystyakselilla k-arvo (1/m).

Vikatilan päälle saanti oli erittäin hankalaa, ilmamassamittarin liittimen irti ottamisen jälkeen vaatinut useita uudelleen käynnistyksiä ja kuormitusta vikatilan syttymiseksi. EGR-vian päälle saamiseksi tehtiin Toyotan omalla testerillä EGR:lle tarkoitettu toimilaitetesti, jonka jälkeen moottorinohjaus havaitsi vian.

Ryntäytyksiä suoritettaessa moottorinohjaus katkaisi polttoaineen ruiskutuksen 5300 1/min kohdalla ajoneuvon ollessa ehjä ja vikatila päällä polttoaineen ruiskutus katkaistiin 4100 1/min kohdalla. Vikakoodit: P0403 - Pakokaasujen takaisinkierrätys (venttiili/pääteaste) ja P0100 - Ilmamäärän- tai ilmamassanmittari.

Mittaustulokset ovat hieman ristiriitaiset, mutta pienten tuloserojen vuoksi vikatilalla ei ole ainakaan korottavaa vaikutusta hiukkaspäästöihin. Pientä laskemista on havaittavissa ainakin EGR-vian ollessa päällä ja opasiteettimittauksen perusteella hiukkaspäästöt pienenivät vikatila päällä, tosin myös ryntäytyspyörintänopeus pieneni.

VW Golf, moottori 1.9-litrainen turbodiesel ja vm. 2004. Rekisterinumero FGF-705 ja valmistenumero WVWZZZ1KZ4W012814. Auto kuuluu Euro 4 -päästöluokkaan, eikä ole varustettu hiukkassuodattimella. Mittarilukema 273198 km. Mittaustulokset on esitetty kuviossa 4.7.



Kuvio 4.7 Mittaustulokset, vaaka-akselilla ajoneuvon mittauksen aikainen tila ja pystyakselilla k-arvo (1/m).

Vikatilan päälle saanti oli melko helppoa, kahdella uudelleen käynnistyksellä saatu kaikki viat päälle. Ajoneuvoa ryntäytettäessä oli selvää silmin havaittavaa savutusta.

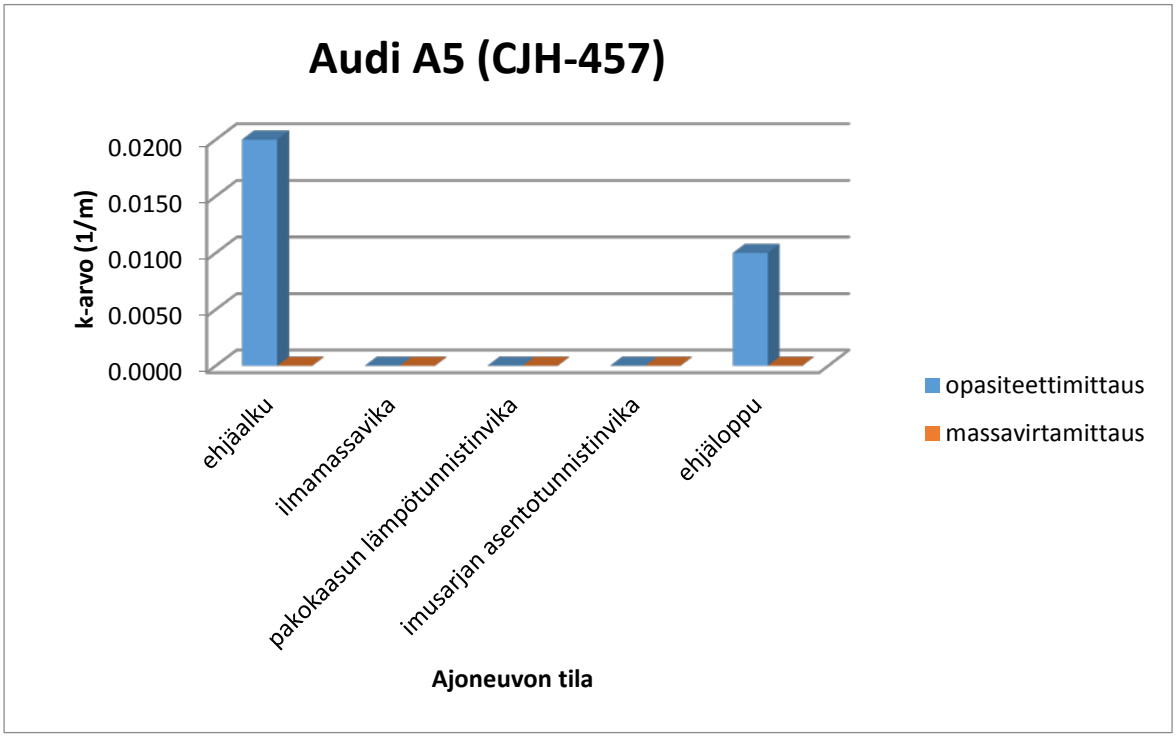
Ryntäytyksiä suoritettaessa moottorinohjaus katkaisi polttoaineen ruiskutuksen 5000 1/min kohdalla joka kerta. Vikakoodit: Ahtopaineanturin ollessa irti syttyi useita vikakoodeja: P0238 - Turboahdin ahtopainetunnistin A: Signaali liian korkea, P0236 - Turboahdin ahtopainetunnistin A: Ohjearvoalueen ulkopuolella ja P0113 - Imuilman lämpötunnistin: Signaali liian korkea. P0183 - Polttonesteen lämpötunnistin A: Signaali liian korkea ja P0102 - Ilmamäärän- tai ilmamassanmittari: Signaali liian alhainen.

Tuloksista ei voida vetää johtopäätöksiä vikatilan vaikutuksesta päästöihin, koska mittauksien edetessä päästöt nousseet koko ajan. Lopuksi auton ollessa ehjä ja ei

vikakoodeja, k-arvo ollut yli 2,7 1/m. Selvää nousua vikatilan ollessa päällä ei kuitenkaan ollut havaittavissa hiukkaspäästöissä.

12.3 Euro 5 -päästötason autot

Audi A5, moottori 3.0-litrainen turbodiesel ja vm. 2012. Rekisterinumero CJH-457 ja valmistenumero WAUZZZ8TXCA042364. Auto kuuluu Euro 5 -päästöluokkaan ja on varustettu hiukkassuodattimella. Mittarilukema 116834 km. Mittaustulokset on esitetty kuviossa 4.8.



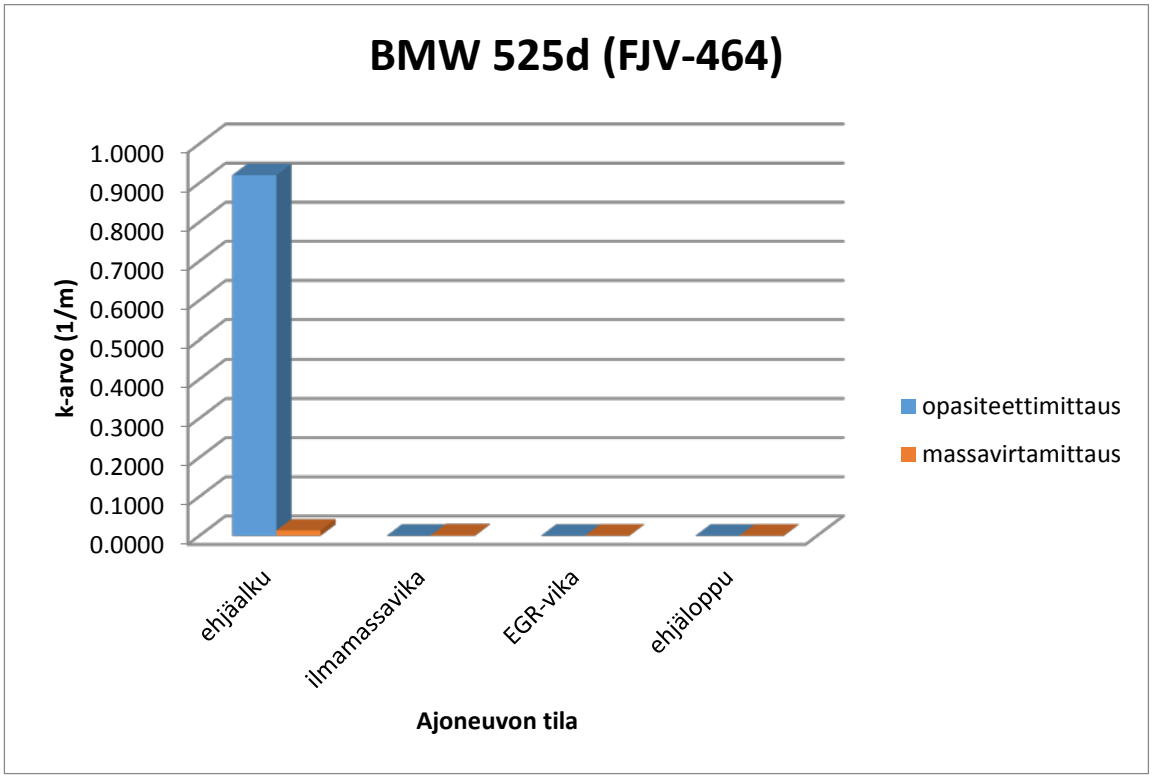
Kuvio 4.8 Mittaustulokset, vaaka-akselilla ajoneuvon mittauksen aikainen tila ja pystyakselilla k-arvo (1/m).

Vikatilan päälle saanti tämän auton kohdalla oli helppoa ja vikakohteita oli hyvin, vikavalon syttyminen vaati jokaisen vian kohdalla kolme uudelleen käynnistystä.

Ryntäytyksiä suoritettaessa moottorinohjaus katkaisi polttoaineen ruiskutuksen melko matalalla, jo 2600 1/min kohdalla. Vikakoodit: P0104 - Ilmamäärän- tai ilmamassanmittari: Hetkellinen vika, P242A - Pakokaasun lämpötunnistin: Kytkentäpiiri lohko 1 tunnistin 3 ja P0217 - Imusarjaputki asentotunnistin/katkaisin piiri (lohko 1): Liian korkea (viittaa imusarjassa oleviin läppiin, joilla pystytään rajoittamaan moottorin ilmansaantia ja täten muuttamaan NO_x-päästöjä ja nostamaan pakokaasujen lämpötilaa).

Mittaustuloksista nähdään massavirtamittauksen antaneen pelkkää nollaa k-arvoksi, mutta opasiteettimittaus on alussa antanut 0,020 1/m ja lopussa 0,010 1/m auton ollessa ehjänä. Vikatilalla ei ole vaikutusta hiukkaspäästöihin.

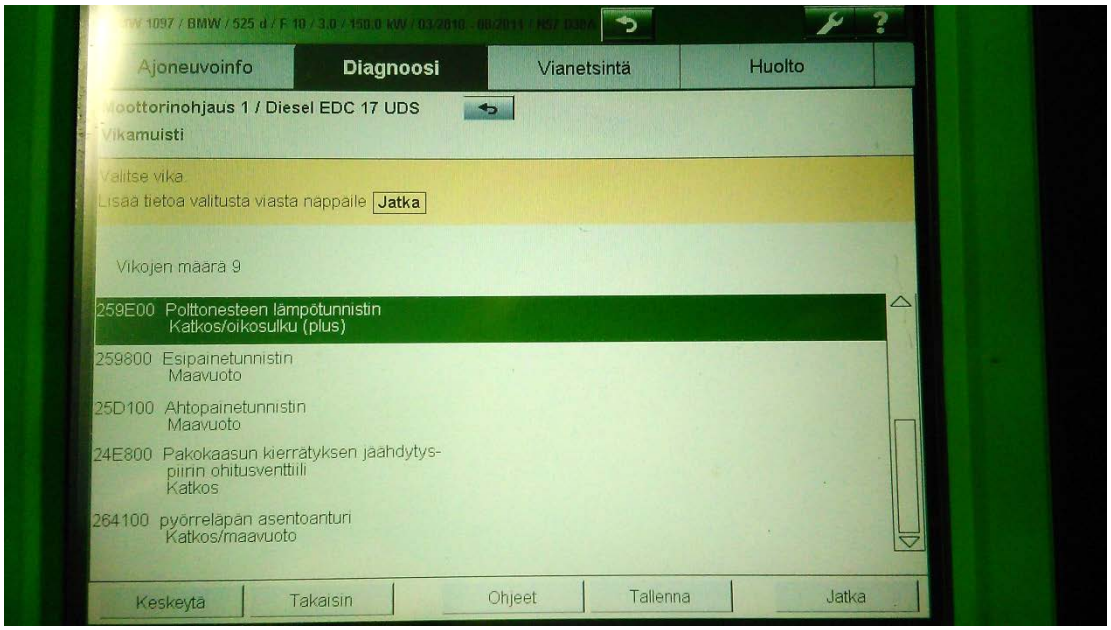
BMW 525d, moottori 2.0-litrainen turbodiesel ja vm. 2010. Rekisterinumero FJV-464 ja valmistenumero WBAMX31000C440549. Auto kuuluu Euro 5 -päästöluokkaan ja on varustettu hiukkassuodattimella. Mittarilukema 139350 km. Mittaustulokset on esitetty kuviossa 4.9.



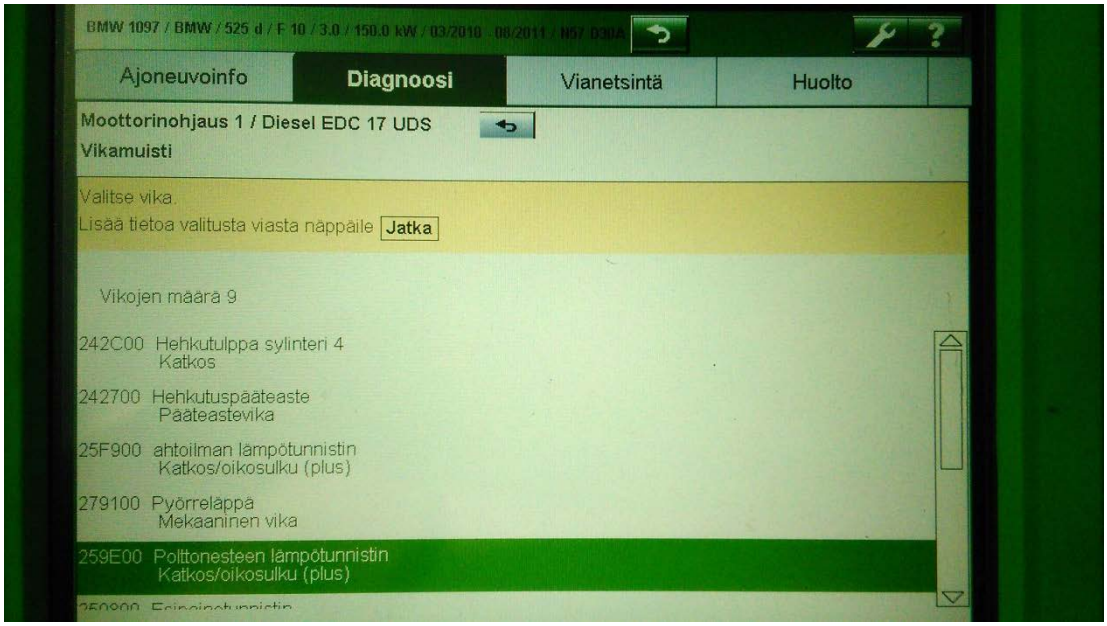
Kuvio 4.9 Mittaustulokset, vaaka-akselilla ajoneuvon mittauksen aikainen tila ja pystyakselilla k-arvo (1/m).

Vikojen simulointi oli hankalaa, vaikka autossa oli paljon vikakohteita. Ne eivät sytyttäneet vikavaloa uudelleen käynnistyksistä tai kuormituksesta huolimatta, vaikka jättivät

vikakoodin. Kaikkiaan neljän eri anturin liittimet olivat irti moottorilta. Ne aiheuttivat yhdeksän vikakoodia, mutta niillä ei ollut vaikutusta ajoneuvon toimintaan, eikä vikavalon syttymiseen. Moottorinohjaukseen tallentuneet vikakoodit on esitetty kuvissa 4.5 ja 4.6.



Kuva 4.5 BMW 525d vikakoodit, listan alkupää.



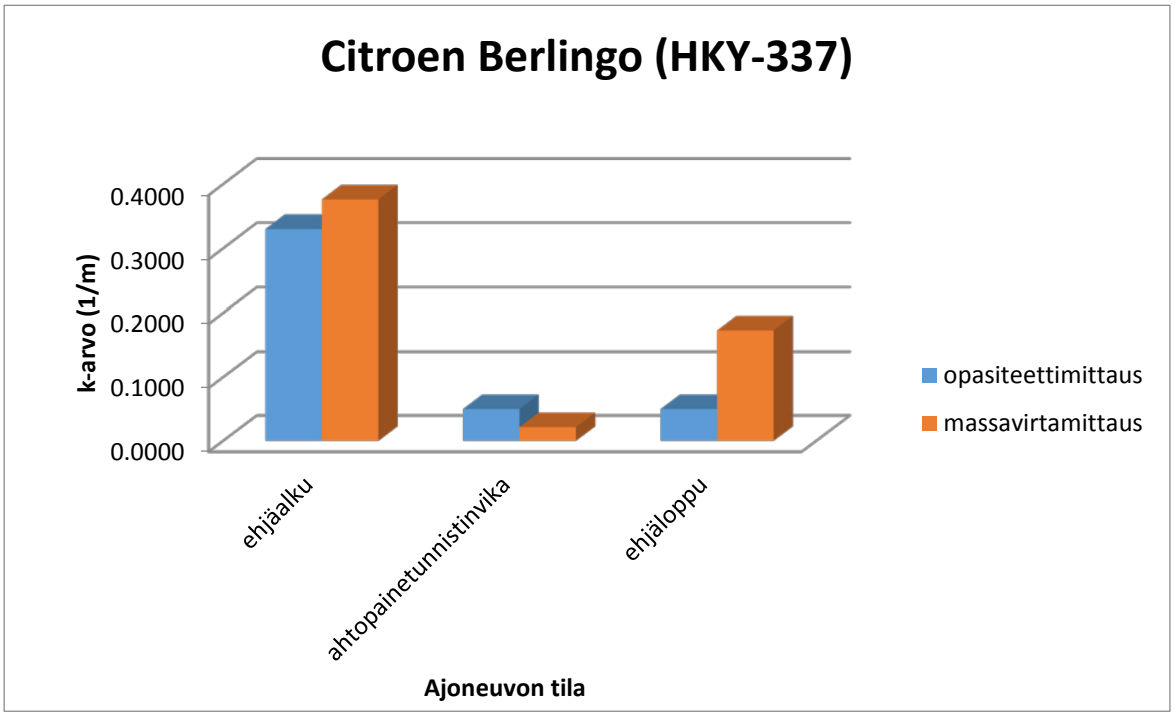
Kuva 4. 6 BMW 525d vikakoodit, listan loppupää.

Ryntäytyksiä suoritettaessa moottorinohjaus katkaisi polttoaineen ruiskutuksen 4000 1/min kohdalla. Vikakoodit: P0113 - Imuilman lämpötunnistin: Signaali liian korkea, P0101 -

Ilmamäärän- tai ilmamassanmittari: Ohjearvoalueen ulkopuolella, P0237 - Turboahdin ahtopainetunnistin A: Signaali liian alhainen, P245A - Pakokaasun kierrätys jäähdytin – bypass: Ohjauskytkentäpiiri virtakatkos, P2016 - Imusarjaputki asentotunnistin/katkaisin piiri (lohko 1): Liian alhainen ja P046C - Ei tietoja. Vikakoodit P0113 ja P0101 esiintyivät samaan aikaan ilmamassa vian ollessa simuloituna. Vikakoodit P0237, P245A, P2016 ja P046C ovat esiintyneet samaan aikaan pakokaasun kierrätysvian ollessa simuloituna.

Vikatilalla ei ollut vaikutusta auton hiukkaspäästöihin. Opasiteettimittauksen ensimmäinen tulos on virheellinen, koska k-arvo on lähes 1 1/m ja massavirtamittauksen tulos on lähes nolla.

Citroen Berlingo, moottori 1.6-litrainen turbodiesel ja vm. 2009. Rekisterinumero HKY-337 ja valmistenumero VF77J9HZC9J214368. Auto kuuluu Euro 5 -päästöluokkaan ja on varustettu hiukkassuodattimella. Mittarilukema 98005 km. Mittaustulokset on esitetty kuviossa 4.10.



Kuvio 4.10 Mittaustulokset, vaaka-akselilla ajoneuvon mittauksen aikainen tila ja pystyakselilla k-arvo (1/m).

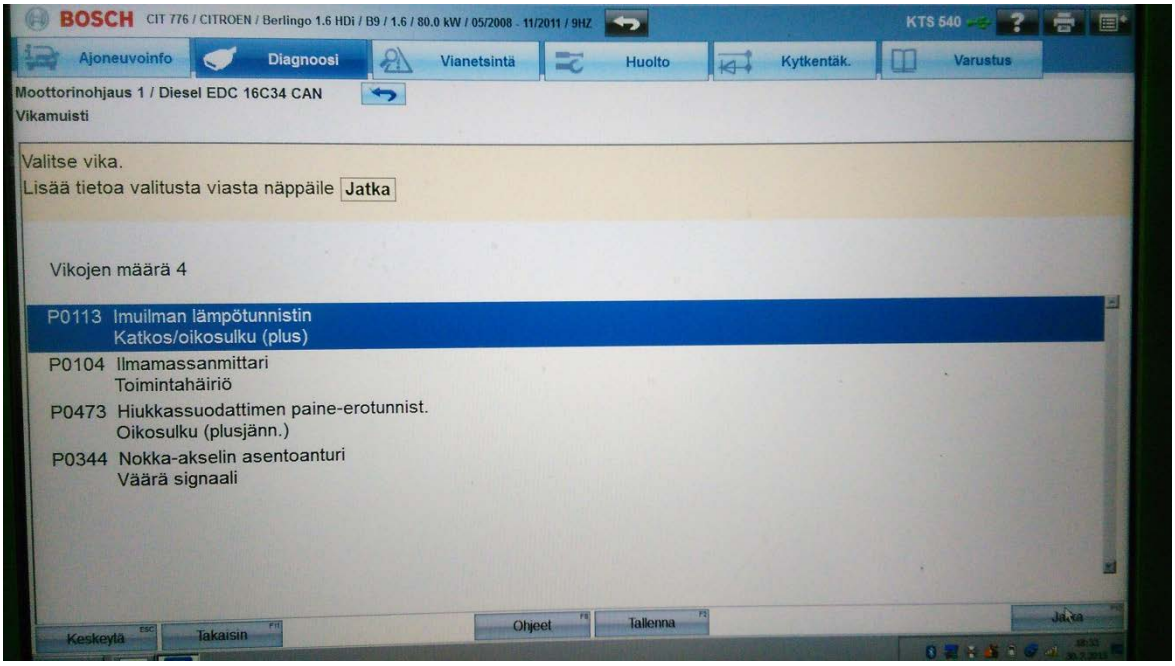
Vikojen simulointi oli erittäin hankalaa, ollut useiden antureiden liittimet irti (kuva 4.7). Ainoa joka vikavalon sytytti, oli ahtopainetunnistin. Sekin vaati useita uudelleen käynnistyksiä ja moottorin kuormitusta.

Kuva 4.7 Esimerkki Citroen Berlingon liittimien irrottamisesta.

Kuvassa 4.7 Citroen Berlingon ahtopainepuolelta on otettu irti useiden antureiden liittimet ja ainoa joka aiheutti vikavalon syttymisen, oli ahtopainetunnistin.

Tämän jälkeen yritetty simuloida toinen vika päälle, mutta tämä aiheutti vain vikakoodit (kuva 4.8), mutta ei sytyttänyt vikavaloa. Nokka-akselin asentoanturin liittimen ollessa irti auto ei käynnistynyt, mutta jos liitin otettiin irti käydessä, tällä ei ollut vaikutusta toimintaan.

Jokaisessa muussa autossa ilmamassamittarin liitin oli helppo vikakohde ja sytytti poikkeuksetta vikavalon, mutta tämän auton kohdalla ilmamassamittarin liittimen irti ottaminen ei vaikuttanut auton toimintaan tai vikavalon syttymiseen. Auto oli varustettu myös lambda-anturilla eli happitunnistimella, mutta sen irti kytkeminen ei aiheuttanut edes vikakoodia.

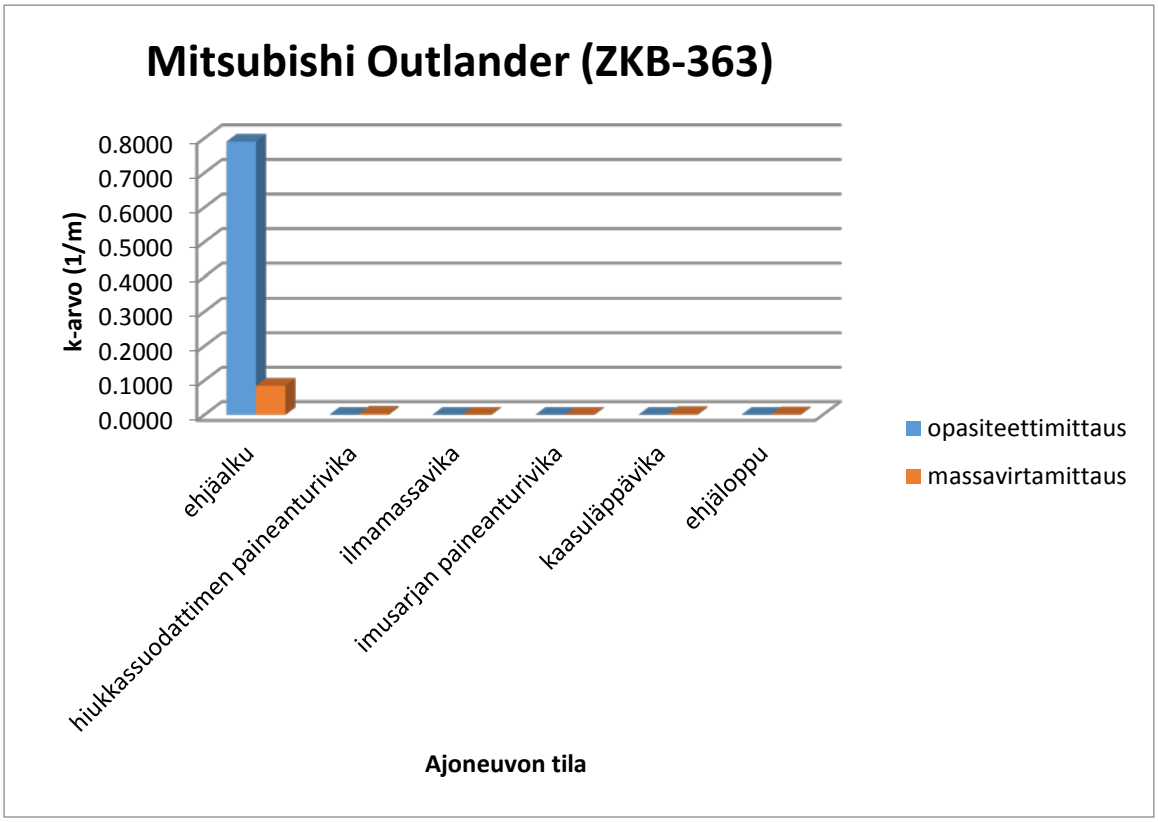


Kuva 4.8 Citroen Berlingon vikakoodit, jotka eivät sytyttäneet vikavaloa.

Ryntäytyksiä suoritettaessa moottorinohjaus katkaisi polttoaineen ruiskutuksen 5000 1/min kohdalla ajoneuvon ollessa ehjä, vikatila päällä polttoaineen ruiskutus katkaistiin 2900 1/min kohdalla. Vikakoodi: P0238 - Turboahdin ahtopainetunnistin A: Signaali liian korkea.

Mittaustuloksista on havaittavissa hiukkaspäästöjen laskeminen vikatila päällä, ja molemmat mittausmenetelmät tukevat tätä havaintoa. Tosin tämän auton kohdalla vikatilan ollessa päällä ryntäytyspyörintänopeus jäi selväksi normaalitilaa pienemmäksi.

Mitsubishi Outlander, moottori 2.3-litrainen turbodiesel ja vm. 2013. Rekisteri-numero ZKB-363 ja valmistenumero JMBXLGF6WDZ404529. Auto kuuluu Euro 5 -päästöluokkaan ja on varustettu hiukkassuodattimella. Mittarilukema 62596 km. Mittaustulokset on esitetty kuviossa 4.11.



Kuvio 4.11 Mittaustulokset, vaaka-akselilla ajoneuvon mittauksen aikainen tila ja pystyakselilla k-arvo (1/m).

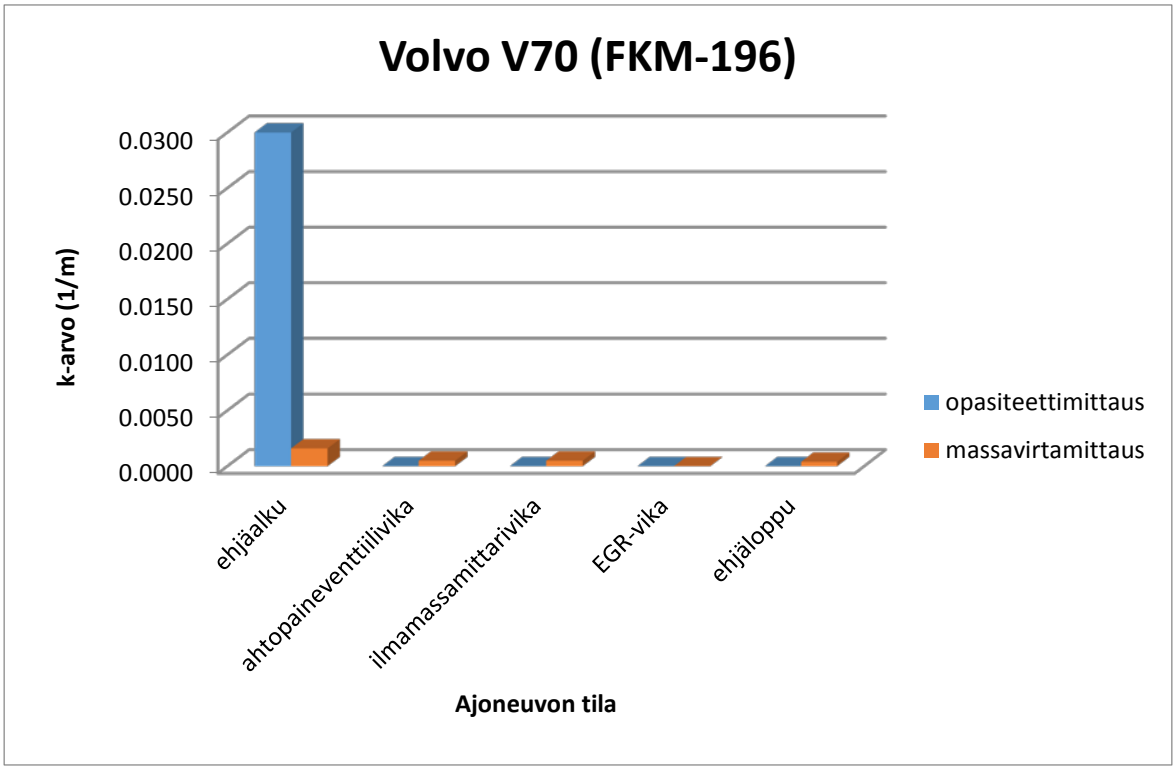
Vikatilan päälle saanti oli melko helppoa, uudelleenkäynnistykset riittivät vikavalon syttymiseen. Ilmamassa-anturin liittimen ollessa irti moottori sammuili ja kävi huonosti, silti tällä ei ollut vaikutusta päästöihin.

Ryntäytyksiä suoritettaessa moottorinohjaus katkaisi polttoaineen ruiskutuksen 4300 1/min kohdalla ajoneuvon ollessa ehjä ja ilmassa- tai imusarjan paineanturivian ollessa päällä polttoaineen ruiskutus katkaistiin jo 3000 1/min kohdalla. Vikakoodit: P2455 - Diesel-hiukkassuodatin paine-ero tunnistinkytkentäpiiri korkea. P0102 - Ilmamäärän- tai ilma-massanmittari: Signaali liian alhainen ja P0073 - Ympäristöilman lämpötunnistin: Signaali liian korkea ilmamassa-anturin ollessa irti. P0107 - Korkeustunnistin/imusarjan paine-tunnistin: Signaali liian alhainen. P0122 - Kaasuläpän/polkimen asematunnistin A: Signaali liian alhainen.

Vikatilalla ei ollut vaikutusta hiukkaspäästöihin. Opasiteettimittauksen ensimmäinen tulos on virheellinen, koska massavirtamittaus ei tue mitenkään tätä tulosta.

Volvo V70, moottori 2.0-litrainen turbodiesel ja vm. 2011. Rekisterinumero

FKM-196 ja valmistenumero YV1BW8850C1221236. Auto kuuluu Euro 5 -päästöluokkaan ja on varustettu hiukkassuodattimella. Mittarilukema 52157 km. Mittaustulokset on esitetty kuviossa 4.12.



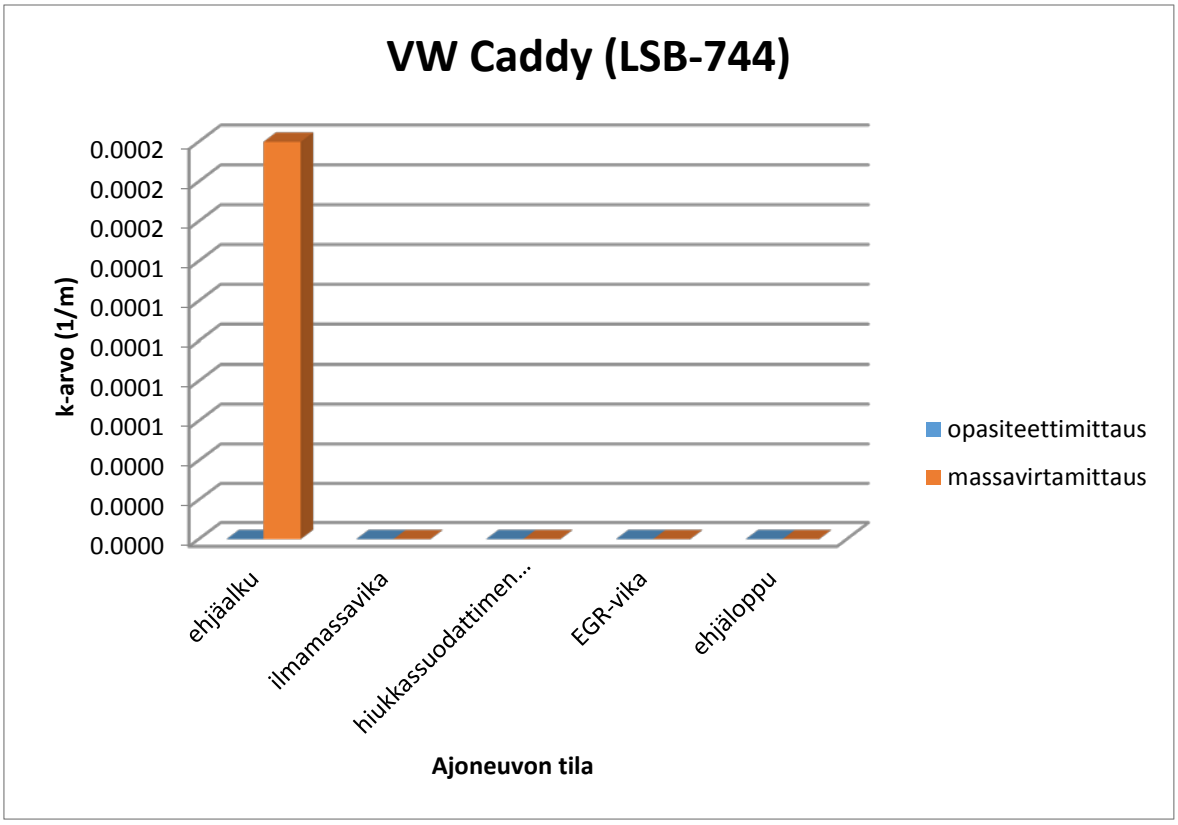
Kuvio 4.12 Mittaustulokset, vaaka-akselilla ajoneuvon mittauksen aikainen tila ja pystyakselilla k-arvo (1/m).

Vikojen päälle saanti oli hankalaa, moottori vaati useita käynnistyksiä ja kuormitusta.

Ryntäytyksiä suoritettaessa moottorinohjaus katkaisi polttoaineen ruiskutuksen 5000 1/min kohdalla ajoneuvon ollessa ehjä tai ilmamassavika päällä. Ahtopaineventtiili- ja EGR-vika päällä polttoaineen ruiskutus katkaistiin 4100 1/min kohdalla. Vikakoodit: P004A - Turboahdin/kompressori ahtopaine sähkömagneetti "B" kytkentäpiiri virtakatkos, P0100 - Ilmamäärän- tai ilmamassanmittari ja P0405 - Pakokaasujen takaisinkierrätystunnistin A: Signaali liian alhainen.

Vikatilalla ei ollut vaikutusta hiukkaspäästöihin. Massavirtamittarin mukaan k-arvo oli lähes nolla joka mittauksella. Tosin tässäkin tapauksessa vikatila alensi ryntäytyspyörintänopeutta selvästi. Kuvaajaa luettaessa on huomioitava todella pieni asteikko.

VW Caddy, moottori 1.6-litrainen turbodiesel ja vm. 2012. Rekisterinumero LSB-744 ja valmistenumero WV2ZZZ2KZDX074631. Auto kuuluu Euro 5 -päästöluokkaan ja on varustettu hiukkassuodattimella. Mittarilukema 32993 km. Mittaustulokset on esitetty kuviossa 4.13.



Kuvio 4.13 Mittaustulokset, vaaka-akselilla ajoneuvon mittauksen aikainen tila ja pystyakselilla k-arvo (1/m).

Vikatilan päälle saanti oli todella hankalaa. Moottorin vikavalon syttyessä, myös hehkutulppien ja ABS-järjestelmän (lukkiutumaton jarrujärjestelmä) merkkivalot syttyivät.

Ryntäytyksiä suoritettaessa moottorinohjaus katkaisi polttoaineen ruiskutuksen 2600 1/min kohdalla joka kerta. Vikakoodit: P0103 - Ilmamäärän- tai ilmamassanmittari: Signaali liian korkea, P2455 - Dieselhiukkassuodatin paine-ero tunnistinkytkentäpiiri korkea ja P2425 - Pakokaasun kierrätys jäähdytysventtiili ohjauspiiri auki.

Vikatilalla ei ollut vaikutusta hiukkaspäästöihin, kuvaaja luettaessa on huomioitava todella pieni asteikko. K-arvo oli lähes nolla kaikissa mittauksissa. On tosin otettava huomioon, että VW Caddy on jälleen esimerkki autosta, jonka moottorin ei sallita ryntäävän lähellekään suurimman tehon pyörintänopeutta, oli vikatila sitten päällä tai ei.

13. TULOSTEN KÄSITTELY JA PÄÄTELMÄT

13.1 Tulosten käsittely

Mittauksien edetessä kuvitelmat tuloksista kumoutuivat täysin. Alun perin oletus oli, että vikatila vaikuttaisi selvästi uudempien autojen kohdalla hiukkaspäästöihin. Uusissa autoissa moottorinohjaus on äärimmäisen tarkka ja käyttää useita kymmeniä toimi- ja ohjainlaitteita tarkan moottorinohjauksen aikaansaamiseksi. Tämän voisi ajatella olevan erittäin vikaherkkä kokonaisuus ja jo yksittäisen vian aiheuttavan merkittäviä ongelmia.

Tulosten tulkintaa vaikeuttaa kuitenkin se, että monissa erityisesti uudemmissa autoissa ryntäytyspyörintänopeus jäi vikatila päällä selvästi normaalitilaa alemmaksi. Toisaalta VAG-konsernin autoissa vikatila ei alentanut pyörintänopeutta, mutta moottorinohjaus ei sallinut sen nousta ilman vikaakaan lähellekään suurimman tehon pyörintänopeutta

Mittausten alussa jo useiden autojen kohdalla yllätyksenä tuli, kuinka hankalaa vikojen simulointi on. Vaadittiin useita uudelleen käynnistyksiä ja kuormituksia edes vikavalon syttymiseen, vaikka esimerkiksi signaalijohto oli otettu irti moottorin ilmamassamittarista, joka on yksi tärkeimpiä tunnistimia tarkan moottorinohjauksen kannalta.

Monen auton kohdalla yritettiin myös useilla vikakohteilla saada vikavaloa syttymään ottamalla irti enemmän kuin yhden anturin liitin. Vikahistoriassa saattoi olla jopa yhdeksän vikakoodia, jotka kaikki olisivat hylkäysperuste esimerkiksi bensiinikäyttöisten autojen määräaikaiskatsastuksella, jossa OBD-testi on pakollinen (OBD-järjestelmä pakollinen 1.1.2001 alkaen). Nämä yhdeksän vikakoodia eivät saaneet aikaan edes vikavalon syttymistä, eikä niillä ollut vaikutusta hiukkaspäästöihin.

Tuloksista on selvästi havaittavissa se, että ainakaan näiden mittausten perusteella vikatila ei nosta hiukkaspäästöjä. Monen auton kohdalla k-arvo ollut nollaa ja savutusta ei ollut havaittavissa lainkaan. Näitä mittaustuloksia tarkastellessa on erityisen tärkeää kiinnittää huomiota kuvaajien pystyakselin arvoihin, jossa k-arvon tulokset saattavat olla vain tuhannesosia. Tällaisella asteikolla korkeankin näköiset pylväät ovat merkityksettömiä.

Mittaustuloksia tulkitessa on myös huomioitava, että moottorin ja pakojärjestelmän oletetaan puhdistuvan mittauksien aikana, koska suoritetaan useita peräkkäisiä ryntäytyksiä. Ennen mittauksia joka autolla suoritettiin täsmälleen samanlainen ajo mittauspaikkaan ja puhdistusryntäykset ennen varsinaisia mittauksia. Silti tuloksista on havaittavissa puhdistumista alku- ja loppumittausten välillä.

13.2 Päätelmät

Tärkein tulos on uudempien dieselautojen osalta selvinnyt vähäinen vikaherkkyys: moottorinohjaus ei ole riippuvainen yhden toimilaitteen tai tunnistimen antamasta tiedosta. Joihinkin autoihin oli lähes mahdotonta saada vikavaloa syttymään simuloimalla ja vaikka vikavalo olisi syttynyt, määräaikaiskatsastuksessa käytettävällä menetelmällä mitattavat hiukkaspäästöt eivät nousseet.

Joidenkin autojen kohdalla vikatilalla oli jopa vähentävä vaikutus hiukkaspäästöihin. Tulosten tulkintaa tosin vaikeuttaa se, että monissa, erityisesti Euro 5-, mutta myös muutamissa vanhemmissa autoissa, ryntäytyspyörintänopeus jäi vikatilan vallitessa ehjää tilaa alemmaksi.

Suurin ero uudemman ja vanhemman dieselauton välillä on DPF-suodatin (Diesel Particulate Filter) eli hiukkassuodatin. Jokainen auto, joka oli varustettu hiukkassuodattimella, antoi lähes olemattomia arvoja päästömittauksessa, opasiteettimittarin mukaan todella usein pelkkää nollaa, koska sen tarkkuus ei ole riittävä niin pienten arvojen käsittelyyn.

Edellä mainittu opasiteettimittarin epätarkkuus on tiedossa ja siitä on myös tehty tutkimuksia verraten sitä massavirtamittaukseen. Tämänkin opinnäytetyön tulosten perusteella voidaan huomata suuri vaihtelu opasiteettimittauksen tuloksissa. Massavirtamittauksen ja opasiteettimittauksen tuloseroista ovat tehneet laajemman tutkimuksen Pekka Lesonen ja Mikko Pakarinen opinnäytetöissään.

Tämän opinnäytetyön tuloksia tulkittaessa on otettava huomioon tutkimuksen verrattain kapea laajuus: 12 dieselauton mittaus ei ole riittävä varmojen tutkimustulosten aikaansaamiseksi. Mittauskokemusten perusteella pitäisi tämän tyylinen tutkimus tulisi suorittaa useilla autoilla, jotka olisivat teknisiltä ominaisuuksiltaan täsmälleen samoja ja ajomäärät vastaisivat toisiaan. Lisäksi mittauksia ei pitäisi suorittaa peräkkäin, vaan mittauksien välissä tulisi olla päästöt ”normalisoiva” ajo ja päästömittaus tulisi suorittaa useita kertoja ajoneuvon ollessa samassa tilassa. Näin suurien mittausten tekemiseen vaadittaisiin suuret resurssit ja varsinkin identtisten autojen löytäminen olisi hankalaa.

Päästömittaus on ehdottoman tärkeä osa vuosittaista määräaikaiskatsastusta, mutta sen merkitys heikkenee, jos mittalaitteita ei kehitetä. Myös OBD-testin suorittaminen on ehdottoman tärkeää. Kaikkia autoja ei käytetä vuosittain huollossa, jossa vikahistoria

tarkistettaisiin, joten sen olisi hyvä olla pakollinen osa vuosittaista määräaikaiskatsastusta myös dieselautoissa.

Dieselautojen moottorinohjaus ja toimilaitteet ovat nykyään erittäin tarkkoja ja silloin myös vikojen riski on ilmeinen. Vaikka opinnäytetyötä suoritettaessa havaittiin, että nykyaikaiset dieselautot eivät kovin vikaherkkiä olekaan, niin tulosten perusteella ei voida sanoa varmaa pitemmän aikavälin ajan vallitsevien vikojen aiheuttamista vaikutuksista.

Moottorinohjauksen kymmenet toimilaitteet nykyaikaisessa dieselmoottorissa vaativat toinen toisensa toimiakseen täydellisesti yhtenä kokonaisuutena. Näitä asioita ajatellessa on syytä muistaa, että tämänkin hetken autot ovat liikenteessä mahdollisesti jopa kymmenen vuoden päästä. Tarkalla moottorinohjauksella on suuri merkitys ympäristön kannalta ja ajoneuvon käyttöiänkin kannalta, jotta moottorin tekniset ominaisuudet säilyvät.

14 YHTEENVETO VIKATILAN VAIKUTUKSESTA

Ulkoilman epäpuhtaudet aiheuttavat merkittäviä terveyshaittoja erityisesti lapsille, vanhuksille ja hengityselin- ja sydänsairaille. Tieliikenteen hiukkaspäästöistä erityisen vaarallisia tekee se, että ne leviävät varsinkin taajama-ajossa suoraan jalankulkijoiden hengitysilman tasolle. Siksi niiden määrää on valvottava ja pyrittävä rajoittamaan.

Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia moottorissa vallitsevan vikatilan vaikutusta dieselautojen määräaikaiskatsastuksessa mitattaviin hiukkaspäästöihin. Samalla tutkittiin, onko katsastuspäästömittauksen tekeminen tarpeellista dieselautoihin, joissa on OBD-järjestelmä, jos merkkivalo ei pala.

Mittaukset suoritettiin kahdella eri mittalaitteella, joista toinen on käytössä määräaikaiskatsastuksen päästömittauksessa (opasiteettimittaus) ja toinen on kehitteillä oleva mittausmenetelmä, joka perustuu valon siroutumiseen. Tästä käytetään nimitystä massavirtamittaus.

Usean auton kohdalla ei vikatilalla ei ollut vaikutusta hiukkaspäästöihin tai se oli olematon. Joissakin tapauksissa havaittiin vikatilalla olevan jopa vähentävä vaikutus hiukkaspäästöihin. Vikatilan vaikutusta päästöön arvioitaessa on otettava huomioon, että useissa autoissa moottorinohjaus rajoitti ryntäytyspyörintänopeuden alemmalle tasolle kuin normaalitilassa. Tämä voi jo sinänsä alentaa syntyvien hiukkasten määrää vikatilan vallitessa tehdyissä mittauksissa.

Mittaustuloksia tarkasteltaessa havaittiin myös kahden käytetyn mittausmenetelmän väliset erot. Erityisesti esiin tulivat puutteet opasiteettimittarin tarkkuudessa, joka ei ole riittävä uusien hiukkassuodattimellisten dieselautojen päästömittauksiin.

Päästömittauksesta ei määräaikaiskatsastuksessa voida luopua, mutta mittaus-menetelmän kehittäminen on tulevaisuudessa välttämätöntä. On kyseenalaistettava sitä, miksi dieselautoihin ei katsastuksessa suoriteta OBD-mittausta. Vaikka tulosten perusteella vikatilalla ei näyttäisi välttämättä olevan vaikutusta päästöihin, katsastuksessa olisi syytä tutkia dieselautonkin vikahistoria, koska autossa voi olla piilossa merkittävä tekninen ongelma, joka ei kuitenkaan heti oireile. Vaikka oireita ei olisi ja päästöt olisivat sallituissa rajoissa, pitäisi vikahistorian kuitenkin olla puhdas. Ajoneuvojen valmistajan autoon asentamilla toimilaitteilla on jokaisella oma tarkoituksensa ja niiden on toimittava täydellisen moottorinohjauksen ja päästöjen hallinnan saavuttamiseksi varsinkin pidemmällä aikavälillä.

LÄHTEET

A-Katsastus 2015. Päästömittaukset. Viitattu 27.7.2015.
http://www.a-katsastus.fi/palvelut-ja-hinnat/katsastukset-ja-paastomittaukset/paastomittaukset

Lesonen, P. 2015. Dieselautojen katsastuspäästömittauksen kehittäminen. Opinnäytetyö, Turun Ammattikorkeakoulu, auto- ja kuljetustekniikka.

Paavola, P. 2002. Henkilö- ja pakettiautojen savutusmittauksen luotettavuus katsastuksessa. Ajoneuvohallintokeskus, Helsinki.

Pakarinen, M. 2015. Dieselautojen katsastuspäästömittauksen kehittäminen. Opinnäytetyö, Turun Ammattikorkeakoulu, auto- ja kuljetustekniikka.

Plus Katsastus 2015. Päästömittaus. Viitattu 3.8.2015.
http://www.plus.fi/palvelut/paastomittaus

Trafi 2014. Liikenteen päästöt ilmaan. Viitattu 27.7.2015.
http://www.trafi.fi/tietopalvelut/analyysitoiminta/indikaattorit/ymparistoindikaattorit/liikenteen_paastot_ilmaan

Trafi tieliikenneohje TRAFI/33622/03.02.03.03/2010

Tilastokeskus 2008. Ilman pienhiukkaset merkittävä terveysongelma. Viitattu 29.7.2015.
http://www.stat.fi/artikkelit/2008/art_2008-05-30_007.html?s=0

LIITTEET

Liite 1. Virallisen päästömittauksen tuloste

Päästötestin tuloste

Päiväys: 01.06.2015 17:30:06

Turun Ammattikorkeakoulu		**Autolaboratorio**	
Sepänkatu 1		**Puh.:**	**050 598 5696**
20700 TURKU		**Faksi:**	

Mittausohjelma:	**Diesel Euro IV**

Ajoneuvon tiedot			
Rekisteritunnus:	RBI-425 EHJÄ1	Ajoneuvon valmistaja:	
Ensikäyttöönotto:		Ajoneuvon tyyppi:	

Testitulokset	**Yksikkö**	**Ohjearvo Min.**	**Ohjearvo Maks.**	**Mitta-arvot**	**Tulos**
Silmämääräinen tarkastus					**# ok**
Valmistelu					
Moottorin lämpötila			Käyntilämpötila saavutettu		# ok
Joutokäyntipyörintänopeus	1/min			830	ok
Ryntäyspyörintänopeus	1/min			2580	ok
Ryntäytykset					
k-arvo	1/m		1.00	0.00	ok

Ryntäytys	**Ryntäytysaika**	**Pitoaika**	**Joutokäynti**	**Rajoitus**	**k**
	s	s	1/min	1/min	1/m
1	0.58	2.77	830	2580	0.00

Tulos	
Päästötesti	Hyväksytty
# Annettu tieto	

Testaaja: Opiskelija

Allekirjoitus		**Leima**		
	Nimitys	**Versio**	**Tila**	**Valmistaja**
Ohjelmistoversio	DSS OM-FI	V1.4	01/2013	AVL DiTEST GmbH
Pakokaasuanalysaattori	AVL DiSmoke 480	V13.0	01/2012	AVL DiTEST GmbH

Liite 2. Virallisen OBD-testin tuloste

Päästötestin tuloste

Päiväys: 01.06.2015 17:44:53

Turun Ammattikorkeakoulu		**Autolaboratorio**	
Sepänkatu 1		**Puh.:**	**050 598 5696**
20700 TURKU		**Faksi:**	

Mittausohjelma: **OBD-diagnoosi**

Ajoneuvon tiedot

Rekisteritunnus:	RBI-425 ILMAMASSA	Ajoneuvon valmistaja:	
Ensikäyttöönotto:		Ajoneuvon tyyppi:	

Testitulokset	**Yksikkö**	**Ohjearvo Min.**	**Ohjearvo Maks.**	**Mitta-arvot**	**Tulos**
Testausvalmius			Kaikki järjestelmätestit suoritettu		
Tuettu				111010100000	
Suoritettu				000000000000	
Vikamuisti					
Pakokaasupäästöihin vaikuttavien vikojen lukumäärä				1	ei ok
Ilmamäärän- tai ilmamassanmittari Signaali liian alhainen				P0102	
Moottorin diagnoosimerkkivalo					
Moottorin diagnoosimerkkivalon silmämääräinen tarkastus				n.i.O	# ei ok
Moottorin diagnoosimerkkivalon tila				n.i.O	ei ok
Moottorin diagnoosimerkkivalon ohjaus				i.O.	# ok

Testaaja: Opiskelija

Allekirjoitus **Leima**

	Nimitys	**Versio**	**Tila**	**Valmistaja**
Ohjelmistoversio	DSS OM-FI	V1.4	01/2013	AVL DiTEST GmbH
Scantool	AVL DiOBD 880	V2.1	12/2012	AVL DiTEST GmbH

Liite 3. Mittaustulokset, sivu 1 (3)

RBI-425	opasiteettimittaus	massavirtamittaus
ehjäalku	0,0000	0,0002
ilmamassavika	0,0000	0,0000
lambdavika	0,0000	0,0020
ehjäloppu	0,0000	0,0010

CJH-457	opasiteettimittaus	massavirtamittaus
ehjäalku	0,0200	0,0000
ilmamassavika	0,0000	0,0000
pakokaasun lämpötunnistinvika	0,0000	0,0000
imusarjan asentotunnistinvika	0,0000	0,0000
ehjäloppu	0,0100	0,0000

GHL-130	opasiteettimittaus	massavirtamittaus
ehjäalku	1,2000	2,8606
EGR -vika	0,9600	1,7073
ilmamassavika	1,0500	2,2056
jakotukin painetunnistinvika	1,6100	9,0724
ehjäloppu	0,9700	1,6941

FJV-464	opasiteettimittaus	massavirtamittaus
ehjäalku	0,9200	0,0138
ilmamassavika	0,0000	0,0015
EGR-vika	0,0000	0,0007
ehjäloppu	0,0000	0,0007

Liite 3. Mittaustulokset, sivu 2 (3)

HKY-337	opasiteettimittaus	massavirtamittaus
ehjäalku	0,3300	0,3761
ahtopainetunnistinvika	0,0500	0,0216
ehjäloppu	0,0500	0,1730

SKA-900	opasiteettimittaus	massavirtamittaus
ehjäalku	1,6800	3,4818
ilmamassavika	0,9300	1,1975
jakotukin painetunnistinvika	1,1800	1,7229
ehjäloppu	1,5700	2,8091

UEI-446	opasiteettimittaus	massavirtamittaus
ehjäalku	0,0000	0,0026
imuilman lämpöanturivika	0,0000	0,0023
nokka-akselin asentoanturivika	0,0000	0,0028
EGR-vika	0,0000	0,0029
ehjäloppu	0,0000	0,0004

ZKB-363	opasiteettimittaus	massavirtamittaus
ehjäalku	0,7900	0,0845
hiukkassuodattimen paineanturivika	0,0000	0,0029
ilmamassavika	0,0000	0,0002
imusarjan paineanturivika	0,0000	0,0000
kaasuläppävika	0,0000	0,0021
ehjäloppu	0,0000	0,0014

Liite 3. Mittaustulokset, sivu 3 (3)

VOI-354	opasiteettimittaus	massavirtamittaus
ehjäalku	1,2200	0,8770
EGR-vika	0,3000	0,5923
ilmamassavika	0,6900	0,9200
ehjäloppu	1,0100	0,8410

FKM-196	opasiteettimittaus	massavirtamittaus
ehjäalku	0,0300	0,0016
ahtopaineventtiilivika	0,0000	0,0005
ilmamassamittarivika	0,0000	0,0005
EGR-vika	0,0000	0,0000
ehjäloppu	0,0000	0,0004

LSB-744	opasiteettimittaus	massavirtamittaus
ehjäalku	0,0000	0,0002
ilmamassavika	0,0000	0,0000
hiukkassuodattimen painetunnistinvika	0,0000	0,0000
EGR-vika	0,0000	0,0000
ehjäloppu	0,0000	0,0000

FGF-705	opasiteettimittaus	massavirtamittaus
ehjäalku	1,3900	0,3906
ahtopaineanturivika	0,3600	0,3578
ilmamassavika	0,7100	1,3317
polttonesteen lämpöanturivika	0,6200	1,2582
ehjäloppu	1,1000	2,7517