




Rakebus 2017 - Projektin loppuraportti

Kirjoittaja: Petri Söderena

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi Rakebus 2017 - Projektin loppuraportti		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot HSL, Reijo Mäkinen	Asiakkaan viite VTT-CRM-114458-17	
Projektin nimi Rakebus 2017 - Kaupunkibussien päästömittaukset	Projektin numero/lyhytnimi Rakebus 2017	
Tiivistelmä <p>Rakebus 2017 -projektin loppuraportissa on esitetty vuoden 2017 aikana toteutettu kaupunkibussien päästömittausprojekti. Raportissa on kuvattu tausta kaupunkibussien päästötietokannan synnylle, katsaus Euro VI -moottoritekniikkaan ja päästölainsäädäntöön, VTT:n raskaan kaluston mittausympäristö ja -menetelmät sekä esitetty viimeisin versio VTT:n kaupunkibussien päästötietokannasta.</p> <p>Vuoden 2017 aikana kaupunkibussien päästötietokantaan on tullut lisäyksenä yhteensä 22 dieselbussin tulokset. Busseista kaksi oli EEV-tason busseja ja loput Euro VI -päästötasoa edustavia. Euro VI -päästötason busseista kolme bussia oli ns. retrofit Euro VI -busseja.</p> <p>Tulosten perusteella voidaan todeta Euro VI -luokan bussien, niin diesel kuin CNG, päästöjen olevan huomattavasti matalammalla tasolla kuin kaupunkibusseissa koskaan aikaisemmin.</p> <p>Euro VI -autojen osalta vuonna 2017 otettiin käyttöön uusi mittauskäytäntö. Busseille suoritettiin mittaukset kahdella eri testisyklillä: Täysin lämmenteellä moottorilla ajettu Braunschweig sykli ja kylmäkäynnistyksellä aloitettu WHVC testisykli. Tulokset ilmoitetaan Braunschweig-syklin osalta täysin lämmenteelle moottorille ja WHVC-syklin osalta Euro VI-mittausnormia mukaillen kylmän (14 %) ja kuumen (86 %) syklin yhdistelmänä.</p> <p>Tulosten esittämisessä otettiin myös käyttöön uusi tapa. Päästötietokantataulukkoon EEV ja Euro VI -bussien tulokset jaotellaan ajokilometrien perusteella kolmeen eri luokkaan, ja NO_x-päästöjen osalta ilmoitetaan myös kunkin ajokilometriluokan sekä ajoneuvomerkin sisäinen keskihajonta silloin kun ko. luokassa on useampi kuin yksi yksilö.</p>		
Espoo 22.1.2018 Laatija  Petri Söderena Erikoistutkija	Tarkastaja  Juhani Laurikko Johtava tutkija	Hyväksyjä  Jukka Lehtomäki Tiimipäällikkö
VTT:n yhteystiedot VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 111 (vaihde, klo 8.00 - 16.30) Sähköpostiosoitteet: etunimi.sukunimi@vtt.fi		
Jakelu HSL, VTT, Transsmart ohjelman internetsivut		
<p style="text-align: center;"><i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i></p>		

Luettelo käytetyistä lyhenteistä

CNG	Compressed natural gas	Paineistettumaakaasu
CO	Carbon oxide	Hiilimonoksidi
CO ₂	Carbon dioxide	Hiilidioksidi
DOC	Diesel oxidate catalyst	Diesel hapetuskatalysaattori
DPF	Diesel particulate filter	Dieselhiukkassuodatin
EEV	Enhanced Environmentally Friendly Vehicle	Euro V ympäristöystävällisempi päivitys
HC	Hydrocarbon	Hiilivety
EAT	Exhaust aftertreatment	Pakokaasujen jälkikäsitteily
EGR	Exhaust gas recirculation	Pakokaasujen takaisinkierrätys
NO _x	Nitrogen oxides	Typpioksidit
SCR	Selective catalyst reduction	Selektiivinen katalyyttinen pelkistäminen
SI	Spark ignition	Kipinäsytytteinen
PEMS	Portable emission measurement system	Kannettava päästöjen mittausjärjestelmä
PM	Particulate mass	Partikkelimassa
PN	Particulate number	Partikkelilukumäärä
WHTC	World harmonized transient cycle	
WHVC	World harmonized vehicle cycle	

Sisällysluettelo

Luettelo käytetyistä lyhenteistä	2
Sisällysluettelo.....	3
1. Toimeksiannon tausta	4
2. Johdanto	5
3. Mittausmenetelmä.....	7
3.1 Mittausjärjestelmä	7
3.2 Mittausyhdöt	8
3.3 Mittausjärjestelyt	10
4. Tulokset	11
5. Yhteenveto.....	16

1. Toimeksiannon tausta

Rakebus 2017 -projekti oli HSL:n (Helsingin seudun liikenne -kuntayhtymä) VTT Oy:ltä tilaama kaupunkibussien päästömittauksia koskeva vuoden 2017 kestänyt projekti, joka oli jatkoa ns. Rakebus bussien päästömittaus -projekteille, joita on toteutettu useiden vuosien ajan 2000-luvun alusta lähtien.

Projektin tuloksena HSL saa käyttöönsä VTT:n kaupunkibussien päästötietokannan, jota ylläpidetään jatkuvasti, ja jota on nyt päättyneen projektin tuloksena päivitetty vuosineljänneksittäin vuonna 2017 mitattujen bussien osalta.

Asiakas on päättänyt, että bussien päästötietokanta on julkinen.

2. Johdanto

VTT Oy:n ylläpitämää kaupunkibussien päästötietokantaa on koottu vuodesta 2002 lähtien, ja se käsittää tällä hetkellä yhteensä 147 Euro I - VI -luokan diesel ja CNG -kaupunkibussin Braunschweig-syklin päästötiedot. Vuonna 2017 mittauksissa otettiin käyttöön myös WHVC¹ testisykli, joka ajetaan myös ns. kylmäsyklinä, ja lopullinen tulos ilmoitetaan yhdistelmänä kylmän syklin (14%) ja kuumen syklin (86%) tuloksista. Mittaustulokset perustuvat akkreditoituun mittausmenetelmään ja ovat keskenään täysin vertailukelpoisia, mikä tekee tietokannasta laajuudeltaan poikkeuksellisen kattavan jopa maailmanlaajuisesti.

Päästötietokanta päivittyy jatkuvasti uusien ajoneuvojen sekä seurannassa olevien ajoneuvojen mittausten myötä. Tietokanta sisältää estimaatin eri bussityyppien päästösuurituskyvystä sekä Euro-luokan keskiarvona että yksilöidympänä merkki- ja Euroluokkakoh- taisena keskiarvona. Ajoneuvojen seurannan kautta voidaan arvioida myös kilometriker- tymän vaikutusta ajoneuvojen suorituskyvyn ja päästötason pysyvyyteen.

Kaupunkibussien päästö- ja energiankulutustutkimusta on VTT:llä toteutettu useassa pro- jektikokonaisuudessa. Projektit kattavat sekä bussi- että kuorma-autokaluston tutkimuk- sen.

Kertyneiden mittausten myötä on muodostunut selvä kuva ajoneuvojen teknisestä kehi- tyksestä päästöjen ja energian käytön osalta. Koska mittausten taustalla olevat hankkeet ovat olleet julkisesti rahoitettuja, tämä tieto on julkisesti saatavilla ja käytettävissä projek- tijulkaisujen muodossa.

Kaupunkibussien päästötutkimus ja menetelmän kehitys aloitettiin VTT:llä laajemmin vuonna 2002 uuden raskaan kaluston tutkimuslaboratorion valmistuttua. Ensimmäiseen vuodel 2002-2004 käsittäneeseen *Bussikaluston pakokaasupäästöjen evaluointi* (RAKE- BUS) -projektiin osallistuivat seuraavat tahot:

- Pääkaupunkiseudun Yhteistyövaltuuskunta YTV
- Helsingin Kaupungin Liikennelaitos, Suunnitteluyksikkö²
- Liikenne- ja viestintäministeriö
- Gasum Oy
- Vägverket (Ruotsi)
- The International Association for Natural Gas Vehicles (Uusi-Seelanti)
- VTT

RAKEBUS-projektissa yhtenä keskeisenä tavoitteena oli selvittää erityyppisten kaupunki- bussien päästöt todellisuutta vastaavassa dynaamisessa ajossa. Kaupunkibussien, kuten muidenkin raskaiden autojen, moottorit hyväksytään moottorikokeen perusteella irralli- sina, ottamatta huomioon ajoneuvon muita ominaisuuksia, joten tyyppihyväksymistestien tulokset eivät ole sellaisenaan sovellettavissa todellisen liikenteen päästöjen arvioimi- seen. Tyyppihyväksymiskokeessa ei myöskään mitata hiilidioksidipäästöjä eikä polttoai- neen (tai energian) kulutusta.

Projektikokonaisuudet, joissa bussitutkimusta on aikaisemmin toteutettu ja internet-osoit- teet lisätiedonhauille:

RAKEBUS 2002 – 2005

<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2005/RAKEBUS.pdf>

<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2007/RakeBus2005.pdf>

<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2007/RakeBus2006.pdf>

¹ WHVC = World Harmonized Vehicle Cycle

² Pääkaupunkiseudun Yhteistyövaltuuskunnasta YTV:stä ja ja Helsingin kaupungin liikennelaitok- sen suunnitteluyskiköstä muodostettiin vuonna 2010 HSL.

RASTU³ 2006 – 2008
http://www.motiva.fi/files/2278/RASTU-loppuraportti_2006-2008.pdf

HDENIQ⁴ 2009 – 2011
<http://www.transec.fi/julkaisut/hdeniq-hanke>
http://www.transec.fi/files/341/VTT_Kaupunkibussien_Paastotietokanta_2010.pdf
http://www.transec.fi/files/556/Kaupunkibussien_paastotietokanta_2011_Yhteenvedo_VTTn_menetelmista_ja_mittauksista.pdf

Hyötyajoneuvot 2012

Erkkilä, K., Laurikko, J. & Karvonen, V. Kaupunkibussien päästötietokanta 2012 – Yhteenvedo VTT:n menetelmistä ja mittauksista. Report VTT-CR-00455-14, 2014. In Finnish.

RAKEBUS 2013

Karvonen, V. 2013. Kaupunkibussien päästötietokanta 2013 – Yhteenvedo VTT:n menetelmistä ja mittauksista. VTT-R-05385-14. 13 s.
http://www.transsmart.fi/files/223/Kaupunkibussien_paastotietokanta_2013.pdf

RAKEBUS 2016

Söderena, P. 2017. Rakebus 2016 – Projektin loppuraportti. VTT-CR-00462-17. 20 s.
http://www.transsmart.fi/files/427/Rakebus_2016_projektin_loppuraportti_20170313.pdf



³ Raskas ajoneuvokalusto: Turvallisuus, ympäristöominaisuudet ja uusi tekniikka 2006-2008

⁴ Energiatehokas ja älykäs raskas ajoneuvo

3. Mittausmenetelmä

3.1 Mittausjärjestelmä

VTT:n raskaiden ajoneuvojen tutkimuslaboratoriossa (Kuva 1) on alustadynamometrin, moottoridynamometrin ja täyden virtaaman keräys- ja laimennuslaitteiston (CVS) lisäksi monipuolinen analyysilaitteisto sekä säänneltyjen päästöjen (CO, HC, NO_x, PM ja PN) että sääntelemättömien päästöjen erikoispakokaasumittauksiin, mukaan lukien laitteistot hiukkasten yksityiskohtaiseen karakterisointiin (mm. massaemissio, kokoluokittelu, lukumäärälaskenta).

FroudeConsinen valmistaman alustadynamometrin rullan halkaisija on 2,5 metriä, ja sen tehon vastaanotto kyky (jatkuva) on 300 kW. Dynamometri on varustettu erittäin nopealla säätöjärjestelmällä ja sähköisellä inertian simuloinnilla mahdollistaen dynaamisen testauksen (transientitestausta). Inertian simulointi on säädettävissä alueella 2.500 – 60.000 kg, eli laitteistolla kyetään jäljittelemään jopa maksimiin kuormattua ajoneuvoyhdistelmää, jonka kokonaismassa on 60 tonnia.

Säännellyt pakokaasukomponentit mitataan Direktiivin 1999/96/EC vaatimukset täyttävän täyden virtaaman CVS –laitteiston (Pierburg CVS-120-WT) ja analysaattorijärjestelmän (Pierburg AMA 4000) avulla. Koska mittaukset tehdään dynaamisia ajosyklejä käyttäen, pakokaasumittaus tapahtuu periaatteessa samalla tavalla kuin transientityyppisissä WHTC-moottorimittauksissa, eli pakokaasuista määritetään hetkelliset pitoisuudet ja yhdistämällä ne hetkelliseen pakokaasuvirtaamaan, saadaan laskettua massaemissio kunkin ajanhetkenä. Lisäksi kerätään osavirtanäyte koko kokeen (tai osasyklin) ajalta näytepussiin henkilöautojen testin tapaan. Siitä saatavaa keskiarvotulosta voidaan verrata hetkellisten emissiotasojen kautta laskettuun kokonaistulokseen.



Kuva 1. Laboratorioon puhalletaan vakiolämpöistä ilmaa mahdollisimman tarkan toistettavuuden saavuttamiseksi.

3.2 Mittaussykli

Päästötietokanta koostuu akkreditoitun mittausmenetelmän mukaan alustadynamometrillä ajettujen testien tuloksista⁵. Tutkimusmenetelmän mukaisesti alustadynamometrillä ajetaan Braunschweig -kaupunkibussisykli käyttäen inertia-asetuksena ajoneuvon (punnittua) omamassaa lisättynä hyötykuormalla, joka on puolet enimmäiskuormasta.

Vuonna 2017 otettiin käyttöön Braunschweig-kaupunkibussisyklin lisäksi WHVC-testisykli, joka suoritetaan myös ns. kylmäsyklinä. Siinä mitattava auto on seissyt yli yön testitilassa, ja ensimmäinen WHVC-testisykli aloitetaan heti moottorin käynnistyksestä. Inertia-asetuksena käytetään Braunschweig-testisyklin tapaan hyötykuormaltaan puolikuormaa vastavaa massaa. Testisykliä aikana kertyneet ympäristöpäästöt ja polttoaineenkulutus ilmoitetaan massoina ajomatkaan suhteutettuna [g/km], [kg/km] ja energiankulutus ilmoitetaan myös muodossa [MJ/km].

Ajo-ohjelmana käytetty Braunschweig-sykli on saksalaisperäinen, Braunschweigin kaupungin bussiliikenteestä aikoinaan kerätty sykli, mutta sittemmin yleisesti tunnettu ja laajalti käytetty varsinkin kaupunkiliikenteen bussien mittaamisessa. Sykli on tallennus ajoneuvon nopeudesta ajan suhteen (Kuva 2), ja se kuvaa vertailumittausten mukaan hyvin myös Helsingin keskustan tyyppistä ajoa. Todellisesta ajosuoritteesta tallennettu nopeus/aika-profiili toistetaan kaikilla tutkimuksen ajoneuvoilla. Toisin sanoen kaikilla ajoneuvoilla toteutetaan samanlainen ajosuorite. Tämä on keskeisen tärkeää tulosten vertailukelpoisuuden saavuttamiseksi. Erityyppisillä ajosuoritteilla ajoneuvojen suorituskyky ei ole vertailukelpoinen.

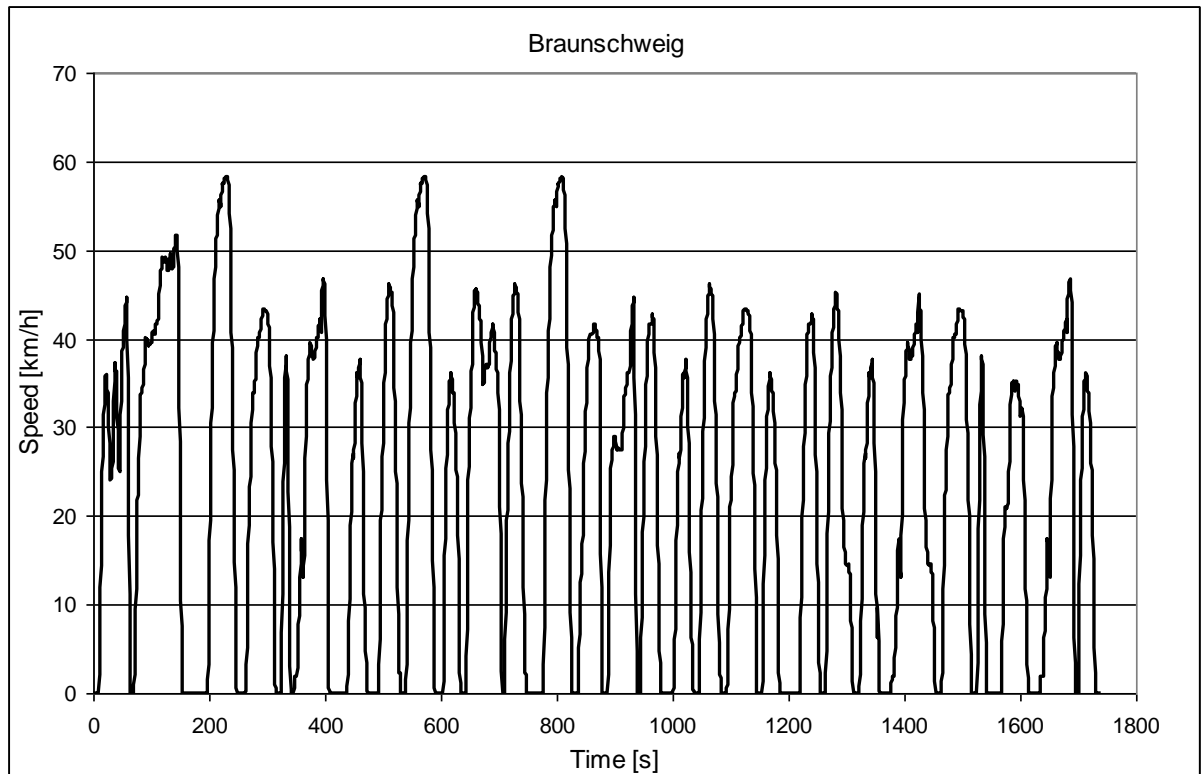
WHVC-testisykli on ollut pohjana raskaan kaluston Euro VI-moottoreiden sertifiointiin käytettävän WHTC⁶-testisyklin muodostamisessa. Jotta dynamometrimittausten tuloksille saadaan parempi vertailtavuus Euro VI-moottoreiden sertifiointisykliin, päätettiin WHVC-testisykli ottaa mukaan kaupunkibussien päästötietokantaan. WHVC-sykli ei ole nimenomainen kaupunkibussisykli, vaan testisyklillä on tarkoitus jäljitellä ajoneuvon käyttöä kaupunki-, maantie- ja moottoriteliikenteessä. Kullekin liikennetyypille on oma jakso syklissä. Kuva 3 on esitetty WHVC-testisyklin eri jaksot ja niiden nopeusprofiilit.

VTT:n menetelmässä Braunschweig-testisyklillä ajettaessa ajoneuvo lämmitetään ennen mittauksia normaaliin käyttölämpötilaan ajamalla puoli tuntia nopeudella 80 km/h. Tämän jälkeen ajoneuvon tila vakioidaan ajamalla yksi kokonainen mittasykli, esim. Braunschweig-sykli (1740 s). Vakioinnin jälkeen suoritetaan kaksi peräkkäistä testiajoa, joiden tuloksien keskiarvo on varsinainen ilmoitettava tulos. Mittaus tapahtuu normaalissa huoneenlämmössä.

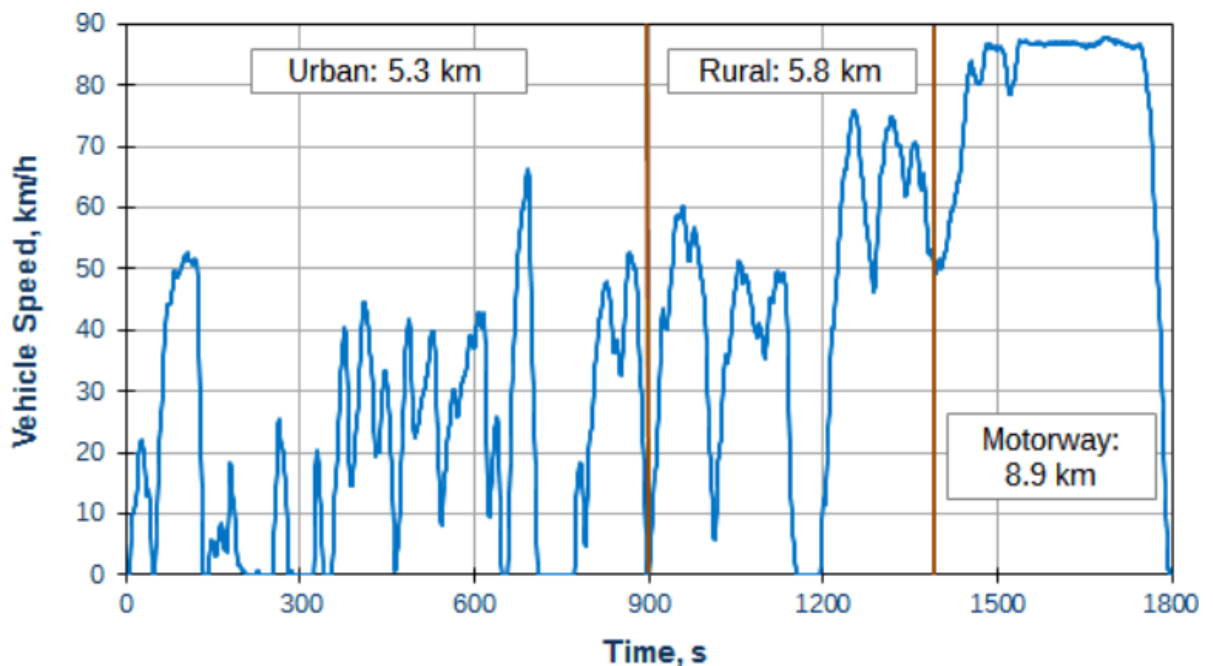
Euro VI-päästöluokan myötä raskaiden ajoneuvomoottorien, ml. bussien moottorit, tyyppihyväksynnässä on siirrytty käytäntöön, jossa moottorin päästöt mitataan WHTC-syklissä sekä kylmänä että lämpimänä. Kylmäkokeen jälkeen pidetään kymmenen minuutin tauko, jonka jälkeen aloitetaan lämmin koe. Moottorin päästöarvot lasketaan näiden kahden tuloksen perusteella, kylmäkokeen painoarvon ollessa 14 % ja lämpimän 86 %. Kaupunkibussien päästömittauksissa on otettu käyttöön WHVC testisyklin osalta tyyppihyväksyntämittausta seuraava menetelmä, jossa Braunschweig testisyklin menettelyn sijasta ensimmäinen testi aloitetaan moottoreiden sertifiointisykli WHTC:n mukaisesti kylmällä moottorilla, pidetään 10±1 minuutin tauko, jonka jälkeen testi ajetaan uudelleen lämpimällä moottorilla. Toisen WHVC-syklin perään ajetaan vielä kolmas moottori välillä pysäyttämättä.

⁵ FINAS:n VTT:lle myöntämän nykyinen akkreditointitunnus on FINAS T259.

⁶ WHTC = World Harmonized Transient Cycle



Kuva 2. Braunschweig kaupunkibussisyklin nopeus – aika profiili.



Kuva 3: WHVC testisyklin nopeus - aika profiili ja eri liikennetyypjä vastavat jaksot.

Euro VI-autojen osalta on muodostettu neljä tulostaulukkoa. Vanhan menetelmän mukaiset tulostaulukot Braunschweig-testin tuloksille ja uudet taulukot WHVC-testin tuloksille.

3.3 Mittausjärjestelyt

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

Ajoneuvon polttoaineen kulutus testin aikana mitataan ulkoisesta polttoainesäiliöstä punnitsemalla. Hiilidioksidipäästöjen määrittämisessä käytetään pakokaasuanalysaattoreiden tuottaman pitoisuustiedon sijasta punnittuun polttoaineenkulutukseen perustuvaa laskentaa paremman mittatarkkuuden vuoksi.

Polttoainetiedot perustuvat dieselin ja maakaasun osalta Euroopan Komission yhteisen tutkimuslaitoksen raportista EUR 26028 EN – 2013 Well-to-Wheels analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context (https://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/sites/iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/files/documents/report_2014/wtt_report_v4a.pdf).

Etanolidieselin (lisäaineistettu etanoli ED95/RED95) osalta laskentaperusteena on käytetty etanolin hiilipitoisuutta ja polttoaineen lämpöarvoa.

Kaupunkibussien ajovastuksina käytetään vastuksia, jotka on määritetty kullekin ajoneuvoluokalle (12m/2-akselinen, 14m/3-akselinen) rullauskokeilla käyttäen kuormana puolta nimelliskuormasta. Puolikuorma antaa kuvan ajoneuvojen keskimääräisestä suorituskyvystä. Kuorman vaikutus runsaasti kiihdytyksiä ja jarrutuksia sisältävässä Braunschweig-syklissä on merkittävä, sillä ajoneuvon massan kiihdyttämiseen käytetään n. 70 % vetopyörälle tuodusta energiasta. Tyypillisesti siis vetopyörälle tuodusta työstä n. 20 % kuluu vierintävastuksen voittamiseen, n. 10 % ilmanvastuksen voittamiseen ja loput n. 70 % käytetään massan kiihdyttämiseen.

Bussit mitataan siinä kunnossa kun ne ovat VTT:lle liikennöitsijöiltä tullessaan olleet. Mahdolliset virheilmoitukset tai moottorin virheellinen toiminta eivät estä mittauksia. Perusteluna tälle on, että ylläpidettävän tietokannan halutaan kuvaavan mahdollisimman hyvin tilannetta, joka vastaa liikenteessä olevien bussien kuntoa ja siten vallitsevaa todellisuutta.

4. Tulokset

VTT:n kaupunkibussien päästötietokannan tiivistelmät koostuvat kahdesta taulukosta: Taulukossa 1 on esitetty kootusti kaupunkibussien keskimääräiset päästöt Braunschweig-syklillä ajoneuvon rakenteen ja polttoaineen perusteella jaoteltuna. Jaottelussa ovat mukana myös hybridi- sekä keveytrakenneteknologiaa käyttävät kaupunkibussit. Taulukossa 2 on esitetty kaupunkibussien päästöt merkkikohtaisesti polttoaineen ja ajoneuvon tyyppin mukaan jaoteltuna.

Vuonna 2017 otettiin käyttöön myös omat taulukot WHVC-syklin tuloksille. Taulukko 3:ssa on esitetty Taulukko 1:n tapaan Euro VI- ja retrofit Euro VI⁷-kaupunkibussien keskimääräiset päästöt WHVC-syklillä. Taulukko 4:ssa on esitetty Taulukko 2:n tapaan merkkikohtaiset päästöt Euro VI-kaupunkibusseille WHVC syklillä.

Molempien syklien tulokset ovat keskimääräisiä koostuen useamman eri ajoneuvon päästötuloksien keskiarvosta. Vuonna 2017 myös päästötietokantataulukon esitysasuun tehtiin muutoksia. Tulokset on nyt jaoteltu EEV- ja Euro VI-bussien osalta ajokilometrien perusteella kolmeen luokkaan: luokka 1. alle 150 tkm, luokka 2. 151 tkm ... 500 tkm ja luokka 3. yli 501 tkm. Käyttöön otetun jaottelun perusteena on, että bussit ajomäärän mukaan jaottelemalla saadaan esiin mahdollinen pakokaasujen jälkikäsitteilylaitteiston toiminnan huononemisesta johtuva päästöjen kasvu ajokilometrien karttuessa. Lisäksi NO_x-päästöjen keskihajonnalle on otettu EEV- ja Euro VI-päästötason busseille käyttöön oma sarake, jotta keskiarvotulokseen mahdollisesti vaikuttavien yksittäisten bussien suurten poikkeamien vaikutus olisi lukialle näkyvässä. Mikäli NO_x-päästöjen keskihajonta sarakkeesta puuttuu arvo, se tarkoittaa, että mitattuja autoyksilöitä on vain yksi.

⁷ Retrofit Euro VI-kaupunkibussilla tarkoitetaan bussia, johon on jälkikäteen asennettu pakokaasujen jälkikäsitteilyjärjestelmä, jolla ajoneuvon päästöt täyttävät Euro VI vaatimustason.

Taulukko 1: Euro I - VI diesel ja CNG kaupunkibussien keskimääräiset päästöt Braunschweig-syklillä rakenteen mukaan jaoteltuna.

Braunschweig	Lukumäärä n	Ajomäärä Min	Max	CO g/km	HC g/km	CH ₄ g/km	NO _x g/km	NO _x g/km std.	PM g/km	CO ₂ g/km	CO ₂ eqv** g/km	FC kg/100k m	FC MJ/km
2 - akseliset													
Diesel Euro I	2	555025	672700	1.39	0.32		15.59		0.436	1220	1220	38.6	16.6
Diesel Euro II	13	160500	1125674	1.60	0.21		12.86		0.213	1286	1286	40.7	17.5
Diesel Euro III	14	15934	786164	0.85	0.12		8.48		0.209	1213	1213	38.4	16.6
Diesel Euro IV	8	6105	474152	2.96	0.10		8.36		0.112	1207	1207	38.2	16.5
Diesel Euro V***				2.96	0.10		7.51		0.089	1207	1207	38.2	16.5
Diesel EEV	17	0	150000	0.93	0.03		5.88	1.09	0.061	1160	1160	36.7	15.8
Diesel EEV	14	150001	500000	0.90	0.03		6.21	0.76	0.065	1130	1130	35.8	15.4
Diesel EEV	3	500001	727134	3.65	0.10		5.59	0.30	0.147	1204	1204	38.3	16.5
Diesel Euro VI	7	0	150000	0.14	0.00		0.10	0.13	0.017	1117	1117	35.3	15.2
Diesel Euro VI	4	150001	500000	0.15	0.00		0.48	0.08	0.016	1085	1085	34.3	14.7
Diesel Euro VI	0	500001	-										
Ethanol EEV	4	25249	133297	4.01	0.69		6.25		0.022	1321	1321	69.2	17.5
Diesel Hyb. EEV	5	2602	136255	0.89	0.02		5.12		0.046	848	848	26.9	11.6
Diesel Hyb. Euro VI	1	68310	68310	1.66	0.00		0.21		0.011	943	943	29.8	12.9
CNG Euro II *	2	211000	672946	4.32	7.12	6.76	16.92		0.009	1140	1295	42.1	20.7
CNG Euro III	2	37600	237189	0.05	2.64	2.38	9.44		0.019	1185	1240	43.7	21.5
CNG EEV	6	0	150000	1.25	1.19	0.98	2.91	1.43	0.009	1302	1325	48.0	20.7
CNG EEV	2	150001	500000	2.53	0.44	0.37	2.06	0.34	0.004	1187	1195	43.8	18.9
CNG EEV	3	500001	640252	10.52	2.07	1.85	6.64	0.44	0.005	1263	1306	46.6	20.1
CNG Euro VI	2	347	36047	0.53	0.06	0.04	0.09	0.02	0.025	1068	1068	39.4	19.4
2 - akseliset yhdistetty kylmä ja lämmin testi *****													
Diesel Euro VI*****	3	0	150000	0.16	0.01		1.59	1.10	0.030	1138	1138	36.0	15.5
Diesel Euro VI*****	3	150001	500000	0.26	0.01		0.82	0.37	0.015	1075	1075	34.0	14.7
Diesel Euro VI*****	0	500001	-										
CNG Euro VI*****	2	347	35992	0.61	0.19	0.13	0.42	0.26	0.024	1078	1081	39.8	19.6
2 - akseliset, kevyt													
Diesel***	4	993	26436	0.88	0.03		6.70		0.047	953	953	30.17	13.0
Diesel Euro VI	4	8977	190356	0.11	0.00		0.36	0.25	0.009	964	964	30.51	13.1
3 - akseliset													
Diesel Euro V	4	1400	232494	6.68	0.03		3.16		0.089	1414	1414	44.8	19.3
Diesel EEV	7	0	150000	1.24	0.04		6.02	3.33	0.072	1462	1462	46.3	19.9
Diesel EEV	0	150001	500000										
Diesel EEV	1	500001	718263	0.66	0.08		7.89		0.195	1453	1453	46.0	19.8
Diesel EEV Retro E6	3	297530	392404	0.09	0.00		0.86	0.46	0.018	1480	1481	46.9	20.2
Diesel Euro VI	7	0	150000	0.17	0.01		0.30	0.29	0.012	1355	1355	42.9	18.5
Diesel Euro VI	7	150001	500000	0.12	0.00		2.32	0.68	0.008	1385	1385	43.8	18.9
Diesel Euro VI	0	500001	-										
CNG EEV	1	0	150000	4.91	1.75	1.62	8.77		0.012	1396	1434	51.5	22.2
CNG EEV	2	150001	350000	3.31	0.98	0.86	3.38	2.55	0.005	1411	1431	52.1	22.4
CNG EEV	3	350001	651529	16.19	1.98	1.78	7.22	3.04	0.016	1424	1465	52.5	22.6
3 - akseliset yhdistetty kylmä ja lämmin testi *****													
Diesel Euro VI*****	1	0	150000	0.39	0.00		1.03		0.022	1390	1390	44.0	19.0
Diesel Euro VI*****	3	150001	500000	0.22	0.00		2.25	0.14	0.013	1444	1444	45.7	19.7
Diesel Euro VI*****	0	500001	-										
*Maakaasuautoille käytetty CH ₄ = THC * 0.95													
** CO ₂ eqv = CO ₂ + 23 * CH ₄													
*** Euro V tulokset arvioitu Euro IV tulosten perusteella													
**** sisältää tulokset päästöluokista Euro III, Euro IV ja EEV													
***** Painotettu keskiarvo kylmän (14 %) ja lämpimän (86 %) testin tuloksista													

Taulukko 2: Euro I - VI kaupunkibussien merkkihohtainen päästötaulukko Braunschweig-syklillä päästöluokan sekä ajoneuvon tyyppin mukaan jaoteltuna.

Braunschweig															
Merkki	Taso	Polttoaine	Tyyppi	Exhaust after treat.	CO [g/km]	HC [g/km]	CH4 [g/km]	NOx [g/km]	NOx [g/km] std.	PM [g/km]	CO2 [g/km]	CO2 eqv. **	FC [kg/100 km]	FC [MJ/km]	UC [kg/100 km]
Volvo	Euro I	Diesel	2 - axle		0.06	0.12		19.47		0.248	1352	1352	42.8	18.4	
Scania	Euro I	Diesel	2 - axle		2.71	0.52		11.71		0.624	1087	1087	34.4	14.8	
Volvo	Euro II	Diesel	2 - axle		1.16	0.14		12.35		0.157	1343	1343	42.5	18.3	
MB	Euro II	Diesel	2 - axle		1.26	0.31		12.43		0.248	1236	1236	39.1	16.9	
Scania	Euro II	Diesel	2 - axle		0.98	0.24		8.77		0.176	1267	1267	40.1	17.3	
Kabus	Euro II	Diesel	2 - axle		4.31	0.15		16.54		0.398	1368	1368	43.3	18.7	
Renault	Euro II	Diesel	2 - axle		2.40	0.26		15.22		0.257	1155	1155	36.5	15.7	
Volvo *	Euro II	CNG	2 - axle		2.87	8.96	8.51	17.58		0.007	1171	1367	43.2	21.3	
Volvo	Euro II	Diesel	2 - axle	PDPF	0.07	0.03		12.34		0.075	1267	1267	40.1	17.3	
Volvo	Euro II	Diesel	2 - axle	CRT	0.04	0.10		11.75		0.407	1589	1589	50.3	21.7	
Volvo	Euro II	Diesel	2 - axle	SCRT	0.12	0.01		1.54		0.010	1314	1314	41.6	17.9	
Volvo	Euro III	Diesel	2 - axle		1.31	0.02		8.81		0.308	1244	1244	39.4	17.0	
Scania	Euro III	Diesel	2 - axle		0.60	0.17		8.30		0.154	1195	1195	37.8	16.3	
Volvo	Euro III	CNG	2 - axle		0.05	2.64	2.38	9.44		0.019	1185	1240	43.7	21.5	
Scania	Euro III	Diesel	2 - axle	PDPF	0.13	0.03		7.37		0.093	1141	1141	36.1	15.6	
Scania	Euro III	Diesel	2 - axle	SCR + DPF	0.06	0.00		2.51		0.007	1194	1194	37.8	16.3	1.40
Volvo	Euro III	Diesel	2 - axle	CRT	1.17	0.10		9.70		0.042	1103	1103	34.9	15.0	
Volvo	Euro IV	Diesel	2 - axle	SCR	6.71	0.02		11.44		0.083	1119	1119	35.4	15.3	0.55
MB	Euro IV	Diesel	2 - axle	SCR	1.41	0.04		2.57		0.058	1130	1130	35.8	15.4	
Scania	Euro IV	Diesel	2 - axle	EGR	1.78	0.14		8.29		0.134	1258	1258	39.8	17.2	
Iveco	EEV	Diesel	2 - axle	SCRT	0.17	0.00		6.87		0.013	1107		35.0	15.1	2.35
Iveco	EEV	Diesel	2 - axle	SCR	5.03	0.04		6.56		0.154	1208	1208	38.2	16.5	
Volvo	EEV	Diesel	2 - axle	SCR	3.18	0.04		6.09		0.072	1120	1120	35.5	15.3	2.20
Scania	EEV	Diesel	2 - axle	EGR	0.41	0.06		6.43		0.107	1228	1228	38.9	16.7	
VDL	EEV	Diesel	2 - axle	SCRT	0.58	0.01		5.66		0.011	1217	1217	38.5	16.6	
Volvo	EEV	Diesel	2 - axle	SCRT	0.04	0.01		6.96		0.031	1107	1107	35.0	15.1	1.75
VDL	EEV	Diesel	lt. 2 - axle	SCR	0.55	0.01		5.47		0.036	919	919	29.1	12.5	
Scania	EEV	Ethanol	2 - axle		4.01	0.69		6.25		0.022	1321	1321	69.2	17.5	
Iveco	EEV	CNG	2 - axle		2.62	1.17	1.11	2.16		0.008	1038	1063	38.3	18.8	
MAN	EEV	CNG	2 - axle		3.86	0.80	0.76	2.69		0.004	1201	1218	44.3	21.8	
MB	EEV	CNG	2 - axle		0.14	2.53	2.40	4.89		0.016	1583	1639	58.4	28.7	
Iveco	Euro VI	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SC	0.08	0.00		0.02		0.004	1119	1119	35.4	15.3	
MB	Euro VI	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SC	0.11	0.00		0.71	0.39	0.027	1052	1052	33.3	14.3	
Scania	Euro VI	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SC	0.09	0.01		0.03	0.02	0.010	1186	1186	37.5	16.2	
VDL	Euro VI	Diesel	lt. 2 - axle	DOC+DPF+SC	0.11	0.00		0.36	0.25	0.009	964	964	30.5	13.1	
VDL	Euro VI	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SC	0.24	0.00		0.56		0.023	1090	1090	34.5	14.9	2.99
Volvo	Euro VI	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SC	0.15	0.01		0.18	0.20	0.008	1102	1102	34.9	15.0	2.10
MB	Euro VI****	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SCF	0.19	0.01		0.72	0.22	0.032	1069	1069	33.8	14.6	
Iveco	Euro VI****	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SCF	0.25	0.01		0.33		0.006	1057	1057	33.5	14.4	
Scania	Euro VI****	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SCF	0.11	0.01		2.69	2.49	0.025	1205	1205	38.1	16.4	
Volvo	Euro VI****	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SCF	0.37	0.01		1.20		0.009	1101	1101	34.8	15.0	2.00
MB	Euro VI	CNG	2 - axle	KAT	0.65	0.10	0.07	0.11		0.029	1025	1027	37.8	18.6	
Scania	Euro VI	CNG	2 - axle	KAT	0.40	0.03	0.00	0.07		0.022	1110	1110	41.0	20.2	
Scania	Euro III	Diesel	3 - axle	SCR + DPF	0.08	0.01		0.47		0.016	1443	1443	45.6	19.7	
Scania	Euro IV	Diesel	3 - axle	EGR	0.98	0.05		9.75		0.162	1501	1501	47.5	20.5	
Volvo	Euro V	Diesel	3 - axle	SCR	6.68	0.03		3.16		0.089	1414	1414	44.8	19.3	2.94
Volvo	EEV	Diesel	3 - axle	SCR	1.33	0.07		4.76		0.082	1483	1483	46.9	20.2	2.70
Scania	EEV	Diesel	3 - axle	EGR	0.13	0.01		9.53		0.082	1395	1395	44.2	19.0	
Golden Dragon	EEV	Diesel	3 - axle	SCR	0.35	0.02		2.97		0.042	1407	1407	44.5	19.2	4.10
VDL	EEV	Diesel	3 - axle	SCRT	3.96	0.02		6.19		0.093	1518	1518	48.0	20.7	1.66
Scania	EEV Ret E6	Diesel	3 - axle	EGR Ret EAT	0.09	0.00	0.01	0.86	0.46	0.018	1480	1481	46.9	20.2	1.81
Scania	Euro VI	Diesel	3 - axle	DOC+DPF+SCF	0.10	0.00		2.10	3.42	0.008	1419	1419	44.9	19.4	
Solaris	Euro VI	Diesel	3 - axle	DOC+DPF+SCF	0.01	0.02		0.02		0.024	1286	1286	40.7	17.5	2.33
VDL	Euro VI	Diesel	3 - axle	DOC+DPF+SCF	0.43	0.00		0.77		0.009	1356	1356	42.9	18.5	4.39
Volvo	Euro VI	Diesel	3 - axle	DOC+DPF+SCF	0.14	0.00		0.88	1.06	0.008	1350	1350	42.7	18.4	2.67
Scania	Euro VI****	Diesel	3 - axle		0.24	0.01		2.40	0.70	0.020	1504	1504	47.61	20.5	
VDL	Euro VI****	Diesel	3 - axle		0.39	0.00		1.03		0.022	1390	1390	43.97	19.0	4.58
Volvo	Euro VI****	Diesel	3 - axle	DOC+DPF+SCF	0.20	0.00		2.11		0.007	1384	1384	43.80	18.9	
MAN	EEV	CNG	3 - axle	EGR	12.90	1.96	1.77	7.75		0.011	1398	1439	51.6	25.4	
Solaris	EEV	CNG	3 - axle	SEGR	3.19	0.63	0.56	0.83		0.004	1445	1458	53.3	26.2	

*Maakaasuautoille käytetty CH₄ = THC * 0.95
 ** CO₂ eqv = CO₂ + 23 * CH₄
 *** Euro V tulokset arvioitu Euro IV tulosten perusteella
 **** sisältää tulokset päästöluokista Euro III, Euro IV ja EEV
 ***** Painotettu keskiarvo kylmän (14 %) ja lämpimän (86 %) testin tuloksista

Taulukko 3: Euro VI ja Euro VI retrofit diesel kaupunkibussien keskimääräiset päästöt WHVC-syklillä rakenteen mukaan jaoteltuna.

WHVC	Lukumäärä n	Ajomäärä Min	Max	CO g/km	HC g/km	CH ₄ g/km	NOx g/km	NOx g/km std.	PM g/km	CO ₂ g/km	CO ₂ eqv** g/km	FC kg/100k m	FC MJ/km
2 - akseliset yhdistetty kylmä ja lämmin testi *													
Diesel Euro VI	1	0	150000	0.06	0.00		2.44	0.00	0.011	790	790	25.0	10.8
Diesel Euro VI	5	150001	500000	0.13	0.00		0.44	0.10	0.010	723	723	22.9	9.9
Diesel Euro VI	0	500001	-										
Diesel Euro VI***	1	0	150000	0.17	0.00		0.10	0.00	0.022	691	691	21.9	9.4
Diesel Euro VI***	2	150001	500000	0.09	0.00		0.31	0.18	0.022	690	690	21.8	9.4
3 - akseliset yhdistetty kylmä ja lämmin testi *													
Diesel EEV Retro E6	3	297433	392436	0.01	0.01		1.30	0.01	0.008	917	917	29.0	12.5
Diesel Euro VI	2	0	150000	0.12	0.01		0.21	0.10	0.008	851	851	26.9	11.6
Diesel Euro VI	6	150001	500000	0.25	0.01		1.32	0.05	0.010	872	872	27.6	11.9
Diesel Euro VI	0	500001	-										
* Painotettu keskiarvo kylmän (14 %) ja lämpimän (86 %) testin tuloksista													
** CO ₂ eqv = CO ₂ + 23 * CH ₄													
*** Kevytrakenne													

Taulukko 4: Euro VI ja Euro VI retrofit diesel kaupunkibussien merkkitkohtainen päästöttaulukko WHVC-syklillä päästöluokan sekä ajoneuvon tyytin mukaan jaoteltuna.

WHVC																	
Merkki	Lukumäärä n	Taso	Polttoaine	Tyyppi	Exht.	CO [g/km]	HC [g/km]	CH ₄ [g/km]	NOx [g/km]	NOx [g/km] std.	PM [g/km]	CO ₂ [g/km]	CO ₂ eqv. **	FC [kg/100 km]	FC [MJ/km]	UC [kg/100 km]	
2 - akseliset yhdistetty kylmä ja lämmin testi *																	
Iveco	1	Euro VI	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SCR	0.22	0.00		0.48		0.004	726	726	23.0	9.9		
MB	2	Euro VI	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SCR	0.06	0.00		0.56	0.13	0.009	711	711	22.5	9.7		
Scania	1	Euro VI	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SCR	0.06	0.00		2.44		0.011	790	790	25.0	10.8		
VDL	1	Euro VI	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SCR	0.17	0.00		0.44		0.025	756	756	23.9	10.3	2.80	
VDL***	3	Euro VI	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SCR	0.11	0.00		0.24	0.17	0.022	690	690	21.8	9.4	1.83	
Volvo	1	Euro VI	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SCR	0.06	0.00		0.28		0.003	700	700	22.1	9.5	1.23	
3 - akseliset yhdistetty kylmä ja lämmin testi *																	
Scania	4	Euro VI	Diesel	3 - axle	DOC+DPF+SCR	0.08	0.00		1.27	1.59	0.010	925	925	29.3	12.6		
Solaris	1	Euro VI	Diesel	3 - axle	DOC+DPF+SCR	0.04	0.01		0.11		0.013	841	841	26.6	11.5	1.78	
Volvo	3	Euro VI	Diesel	3 - axle	DOC+DPF+SCR	0.34	0.01		1.02	0.86	0.007	833	833	26.4	11.8	1.12	
* Painotettu keskiarvo kylmän (14 %) ja lämpimän (86 %) testin tuloksista																	
** CO ₂ eqv = CO ₂ + 23 * CH ₄																	
*** Kevytrakenne																	

Taulukon 1 Euro VI-päästöluokan dieselbussien tuloksista voidaan huomata, että päästö-taso on laskenut selvästi Euro V-luokan päästötasosta niin CO-, NO_x- kuin PM-päästöjen osalta. Euro VI-päästöluokan myötä ajoneuvoissa SCR+DPF -yhdistelmä on tullut pakolliseksi pakokaasujen jälkikäsitteilymenetelmäksi, jotta lainsäädännön päästövaatimukset täyttyvät, sillä muulla tekniikalla niin vähäisiin päästöihin ei enää päästä. Kaikissa kolmessa päästökomponeenteissa pienentymä on selkeästi suurempi kuin mitä raja-arvojen muutoksesta suoraan laskeminen antaa.

Myös Euro VI CNG-bussien osalta CO-, NO_x- ja HC-päästöt ovat laskeneet merkittävästi Euro V-luokan busseihin verrattuna. CNG-bussien hiukkasmassapäästöissä (PM) ei ole tapahtunut merkittävää muutosta Euro I - VI -luokkien välillä. Tämä selittyy yksinkertaisesti sillä, että stokiometrisen seoksen kipinäsytytys palamisen menetelmänä tuottaa maakaasua poltettaessa hyvin vähän hiukkasia.

Vuonna 2017 mittauksissa oli myös kolme retrofit Euro VI-bussia, jotka ovat olleet alun perin EEV-päästötason busseja, mutta joihin oli jälkeen päin lisätty tehokkaampi pakokaasun jälkipuhdistuslaitteisto. Taulukko 1:stä ja Taulukko 3:sta voidaan nähdä, että retrofit Euro VI-bussien säännellyt päästöt ovat varsinaisten Euro VI-bussien tasolla. Eli retrofit-teknologian voidaan todeta pienetävän säännellyt päästöt Euro VI-tasolle, ja näin ollen se on varsin tehokas keino vanhempien bussien päästöjen pienetämiseksi nopealla aikataululla.

Taulukon 1 tuloksista voi myös huomata, että Euro VI-luokassa bussien energiankulutus, niin diesel kuin CNG-polttoaineella, on laskenut edeltäviin Euro-luokkiin nähden. Euro luokkien I - V voimassaoloaikana energiankulutus on pysynyt dieselbusseilla lähes vakiona ollen kaksiakselisilla noin 16,5 MJ/km, kun Euro VI luokan keskiarvo on noin 15,0 MJ/km. Kaasubusseilla energiankulutus on noussut Euro II - V(EEV) luokkien välissä arvosta 20,7 MJ/km arvoon 23,2 MJ/km, mutta laskenut Euro VI-luokkaan siirryttäessä arvoon 19,4 MJ/km.

Ajokilometrien vaikutusta NO_x-päästöihin ei vielä tällä hetkellä pysty toteamaan varmasti. Kuitenkin Taulukko 1:n perusteella näyttäisi siltä, että 2- ja 3-akselisilla Euro VI-busseilla NO_x-päästöt kasvavat jonkin verran ajokilometrienlisääntyessä. Tämän todentamiseksi tarvitaan kuitenkin lisää mittaustuloksia bussiyksilöiltä eri ajokilometreillä.

Taulukko 3 ja Taulukko 4 olevista tuloksista voidaan todeta, että 2- ja 3-akselisten bussien energiankulutus on huomattavasti pienempi WHVC-syklillä kuin Braunschweig-syklillä. Lisäksi 2- ja 3-akselisten bussien suhteellinen ero syklien välillä on pienempi WHVC-syklillä. Selitys tälle voidaan nähdä vertailemalla Kuva 2 ja Kuva 3. Braunschweig-syklissä pysähdyksiä on huomattavasti enemmän, ja siten sen ns. teoreettinen energian tarve ajokilometriä kohden on suurempi kuin WHVC-syklin.

Euro VI-bussien kohdalla Taulukko 1:ssä ja Taulukko 2:ssa NO_x-päästöt ovat selkeästi suuremmat yhdistelmäsyklin (kylmä+kuuma) tuloksia verrattaessa pelkän kuumen syklin tuloksiin, vaikka kylmäsyklin painotus on vain 14 % ja kylmäsyklin kylmäkäynnistys tapahtuu 20 - 25 °C lämpötilasta. Tämä osoittaa sen, että myös Euro VI-luokan bussit ovat parantuneesta EAT-laitteiston lämmönhallinnasta huolimatta vaikeuksissa saavuttaakseen riittävän NO_x-konversiotason matalalla moottorin kuormituksella ja/tai kylmällä EAT-laitteistolla. Tämän takia kenttäseuranta ja ajonaikaisten päästöjen mittaaminen ovat hyvin perusteltuja ja tärkeitä tutkimusaiheita myös Euro VI-luokan busseille.

5. Yhteenveto

Vuoden 2017 Rakebus -projektin myötä VTT:n ylläpitämä kaupunkibussien päästötietokanta käsittää nyt yhteensä 147 diesel- ja CNG-käyttöisten Euro I - VI päästoluokan bussin tulokset esilämmitetyltä Braunschweig -sykliltä. Tulokset ovat toisiinsa nähden täysin vertailukelpoiset samana pysyneen Braunschweig-mittaussyklin ja -menetelmän ansiosta.

Vuoden 2017 aikana otettiin mittauksissa käyttöön myös kylmä WHVC-sykli, jolla tuetaan mittausdataa Euro VI-moottorien sertifiointisykliä WHTC vastaavalta ajoneuvojen testisykliltä, ja näin ollen mahdollistaen osittaisen vertailun moottorivalmistajan ilmoittamiin sertifiointituloksiin. WHVC-syklin tulokset on ilmoitettu ns. yhdistelmätuloksena, joka on painotettu keskiarvo kylmän ja kuumen syklin tuloksista. Painokertoimet ovat samat kuin tyyppihyäksumisessä käytetyt (kylmäsyklin painokerroin on siis 14 %:kköä ja kuumasyklin 86 %:kköä).

Päästötietokannan esitysasuun tehtiin muutoksia. Päästötietokannan tulokset kunkin bussityypin osalta on EEV- ja Euro VI-busseilla nyt jaoteltu ajokilometrien perusteella kolmeen luokkaan. Lisäksi päästötietokantaan lisättiin EEV- ja Euro VI-busseille oma sarake NOx-päästöjen hajonnalle kuvaamaan kunkin bussijoukon yksilöiden keskinäistä hajontaa suhteessa ilmoitettuun keskiarvotulokseen.

Euro VI-päästölainsäädännön myötä moottorivalmistajat ovat selvästi parantaneet EAT-laitteiston tehokkuutta ja sen toimintaa, mikä näkyy myös VTT:n mittaamissa tuloksissa. Päästöt ovat vähentyneet, niin diesel kuin CNG busseilla, selvästi verrattuna edelliseen Euro V-päästoluokkaan. Tuloksista näkyy myös, että Euro VI-luokan busseillakin esiintyy hajontaa erityisesti NOx-päästöissä riippuen bussiyksilöstä ja ajokilometreista. Lisäksi kylmäsyklissä NOx-päästöt ovat selkeästi korkeammat kuin kuumasyklissä. Nämä asiat alleviivaavat tarvetta jatkuvalla päästöjen seurannalla ja erityisesti kenttäkokeille, joissa ajoneuvoja päästään mittaamaan todellisessa käyttötilanteissa ja käyttöolosuhteissa.