






Rakebus 2019 -projektin vuosiraportti

Kirjoittajat: Petri Söderena

Luottamuksellisuus: Julkinen

| | | |
|--|--|---|
| Raportin nimi Rakebus 2019 -projektin vuosiraportti | | |
| Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Helsingin seudun liikenne HSL, Reijo Mäkinen | Asiakkaan viite VTT-CRM-160458-19 | |
| Projektin nimi Rakebus 2019 - Kaupunkibussien päästömittaukset | Projektin numero/lyhytnimi Rakebus 2019 | |
| Tiivistelmä <p>Rakebus 2019 -projekti on jatkumoa Helsingin seudun liikenteen (HSL) VTT:ltä tilaamille kaupunkibussien suorituskykyarvioinneille. Projektin tavoitteena oli suorittaa alustadynamometrillä HSL:n tilaaman liikenteen piirissä oleville kaupunkibusseille päästömittauksia autojen päästötason todentamiseksi sekä päivittää HSL-VTT yhteistyössä kehitettyä kaupunkibussien päästötietokantaa. HSL käyttää dataa mm. bussiliikenteen kilpailutukseen. Vastaavanlaisia kaupunkibussien päästötason todentamisprojekteja on suoritettu vuodesta 2002 lähtien.</p> <p>Luotu tietokanta on kattava ja ainutlaatuinen. Vuoden 2019 Rakebusprojektin jälkeen kaupunkibussien päästötietokanta kattaa 183 Euro I-VI luokan bussin mittaustuloksen Braunschweig syklillä ja 36 bussin mittaustuloksen WHVC syklillä.</p> <p>Vuonna 2017 otettiin päästötietokannassa käyttöön bussien tulosten jaottelu mittauksissa olleiden bussien ajokilometrien perusteella. Jaottelun johdosta voidaan havaita Euro VI autojen NO_x-päästöjen olevan alle 150 tkm ajettuina todella matalla tasolla. NO_x-päästöt näyttäisivät kuitenkin tämän hetken tilanteen perusteella nousevan merkittävästi ajokilometrien kasvaessa.</p> <p>Vuoden 2018 Rakebus projektin raporttiin lisättiin ns. CF-kerroin (conformity factor) havainnollistamaan mitattujen NO_x-päästöjen perusteella arvioitua suhdetta Euro VI lainsäädännön tyyppihyväksyntä (WHTC) ja käytönaikaisten päästöjen sääntöjen mukaisuustestin (ISC) raja-arvoihin.</p> <p>Tämän hetken tietojen (kaksi 2-akselista bussia) mukaan Euro VI bussien ikääntyminen yli 500 tkm ajetuilla busseilla näkyy siten, että sekä Braunschweig syklillä (kuuma käynnistys) että WHVC syklillä (kylmä- ja kuumakäynnistykseen yhdistelmä) NO_x päästötaso nousee Euro VI päästölainsäädännön raja-arvojen (varsinaiset raja-arvot ja ISC) yli. NO_x-päästöt näytävät selkeästi siis kasvavan ajokilometrien kasvaessa.</p> | | |
| Espoo 4.2.2020 | | |
| Laatija  Petri Söderena Tiimipäällikkö | Tarkastaja  Juhani Laurikko Principal Scientist | Hyväksyjä  Jukka Lehtomäki Manager, Operational Support |
| VTT:n yhteystiedot VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 111 (vaihe, klo 8.00 - 16.30) Sähköpostiosoitteet: etunimi.sukunimi@vtt.fi | | |
| Jakelu (asiakkaat ja VTT) HSL, VTT | | |
| <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 | Paineistettu maakaasu |
| CO | Carbon oxide | Hiilimonoksidi |
| CO ₂ | Carbon dioxide | Hiilidioksidi |
| CVS | Constant volume sampler | Pakokaasukeräin (vakiovirtaus) |
| DOC | Diesel oxidate catalyst | Diesel hapetuskatalyysaattori |
| DPF | Diesel particulate filter | Diesel hiukkassuodatin |
| EEV | Enhanced Environmentally Friendly Vehicle | Euro V ympäristöystävällisempi päivitys |
| HC | Hydrocarbon | Hiilivety |
| EAT | Exhaust aftertreatment | Pakokaasujen jälkikäsitely |
| EGR | Exhaust gas recirculation | Pakokaasujen takaisinkierätyk |
| NO _x | Nitrogen oxides | Typpioksidit |
| SCR | Selective catalyst reduction | Selektiivinen katalyyttinen pelkistäminen |
| SI | Spark ignition | Kipinäsytytteinen (kaasumoottori) |
| PM | Particulate mass | Partikkelimassa |
| PN | Particulate number | Partikkelilukumäärä |
| WHTC | World harmonized transient cycle | Moottorien sertifiointisykli |
| WHVC | World harmonized vehicle cycle | WHTC:aa vastaava ajoneuvosykli |

Sisällysluettelo

| | |
|--|----|
| Luettelo käytetyistä lyhenteistä | 2 |
| Sisällysluettelo | 3 |
| 1. Toimeksiannon tausta | 4 |
| 2. Johdanto | 5 |
| 3. Mittausmenetelmä | 7 |
| 3.1 Mittausjärjestelmä | 7 |
| 3.2 Mittausyykli | 8 |
| 3.3 Mittausjärjestelyt | 10 |
| 4. Tulokset | 11 |
| 5. Tulosten tarkastelu | 15 |
| 6. Yhteenveto | 17 |

1. Toimeksiannon tausta

Rakebus 2019 -projekti oli HSL:n (Helsingin seudun liikenne -kuntayhtymä) VTT Oy:ltä tilaama kaupunkibussien päästömittauksia koskeva vuoden 2019 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 2019 mitattujen bussien osalta. HSL hyödyntää syntyvää dataa mm. bussiliikenteen kilpailutuksessa ja strategiatyössä.

Asiakas on päättänyt, että bussien päästötietokanta on julkinen.

2. Johdanto

VTT Oy:n ylläpitämää kaupunkibussien päästötietokantaa on koottu vuodesta 2002 lähtien, ja se kattaa tällä hetkellä yhteensä 183 kaupunkibussia (dieselbusseja Euro I - VI-luokissa, kaasubusseja Euro II - VI-luokissa sekä EEV-luokan etanolibusseja) Braunschweig-syklillä mitattuna. Vuoden 2019 aikana tietokantaan lisättiin viiden kaupunkibussin mittaustulokset. Tietokanta pitää sisällään Euro-luokakohtaiset sekä automerkkikohtaiset keskiarvotulokset. Mittaustulokset perustuvat akkreditoituun mittausmenetelmään ja ovat keskenään täysin vertailukelpoisia, mikä tekee tietokannasta laajuudeltaan poikkeuksellisen kattavan ja ainutlaatuisen jopa maailmanlaajuisesti.

Vuonna 2017 mittauksissa otettiin käyttöön lämmenneellä moottorilla ajettavan Braunschweig-syklin rinnalla myös WHVC¹ testisykli, joka ajetaan kylmä- ja kuumakäynnisteisen syklin yhdistelmänä. Lopullinen tulos ilmoitetaan yhdistelmänä kylmän syklin (14%) ja kuumen syklin (86%) tuloksista. Painokertoimet ovat samat kuin varisinaisessa tyyppi hyväksymistestissä käytettävät. Kylmäkäynnisteinen testi lisättiin, koska se tuo hyvin esiin uusimpien autojen herkkyyden lämpötilalle. Tällä hetkellä päästötietokanta sisältää myös 36 kaupunkibussin päästötulokset WHVC syklillä.

Päästötietokanta päivittyy jatkuvasti uusien ajoneuvojen sekä seurannassa olevien ajoneuvojen mittausten myötä. Ajoneuvojen seurannan kautta voidaan arvioida myös kilometrikertymän vaikutusta ajoneuvojen suorituskyvyn ja päästötason pysyvyyteen.

Kaupunkibussien päästö- ja energiankulutustutkimusta on VTT:llä toteutettu useassa projektikokonaisuudessa. Projektit kattavat bussien lisäksi myös kuorma-autokalustoonkohdistuvia hankkeita.

Kertyneiden mittausten myötä on muodostunut selvä kuva ajoneuvojen teknisestä kehityksestä päästöjen ja energian käytön osalta. Koska mittausten taustalla olevat hankkeet ovat olleet pääsääntöisesti julkisesti rahoitettuja, tämä tieto on siten myös pääosiltaan julkisesti saatavilla ja käytettävissä projektijulkaisujen muodossa.

Kaupunkibussien päästötutkimus ja menetelmän kehitys aloitettiin VTT:llä laajemmin vuonna 2002 uuden raskaan kaluston tutkimuslaboratorion valmistuttua. Ensimmäiseen vuodet 2002-2004 käsittäneeseen *Bussikaluston pakokaasupäästöjen evaluointi* (RAKEBUS) -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 kaupunkibussien päästöt todellisuutta vastaavassa dynaamisessa ajossa. Tuolloin jo varauduttiin siihen, että pakokaasujen jälkikäsitteilytekniikka lisääntyy merkittävästi. Kaupunkibussien, kuten muidenkin raskaiden autojen, moottorit hyväksytään moottorikoehen perusteella irrallisina, ottamatta huomioon ajoneuvon muita ominaisuuksia, joten

¹ WHVC = World Harmonized Vehicle Cycle

² Pääkaupunkiseudun Yhteistyövaltuuskunnasta YTV:stä ja ja Helsingin kaupungin liikennelaitoksen suunnittelu-yksiköstä muodostettiin vuonna 2010 HSL.

tyyppihyväksymistestien tulokset eivät ole sellaisenaan sovellettavissa todellisen liikenteen päästöjen arvioimiseen. Tyyppihyväksymiskokeessa ei myöskään mitata hiilidioksidipäästöjä eikä polttoaineen (tai energian) kulutusta.

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>

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

RAKEBUS 2017

Söderena, P. 20178. Rakebus 2017 – Projektin loppuraportti. VTT-CRM-114458-17. 16 s.

http://www.transsmart.fi/files/439/Rakebus_2017_Projektin_loppuraportti.pdf

RAKEBUS 2018

Söderena, P. 2018. Rakebus projektin vuosiraportti 2018. VTT-CRM-156716-18. 17 s.



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

⁴ Energieatehokas 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 vastaanottokyky (jatkuva) on 300 kW. Dynamometri on varustettu erittäin nopealla säätöjärjestelmällä ja sähköisellä inertian simuloinnilla mahdollistaen dynaamisen testauksen (transientitestauksen). 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 (alun perin Pierburg CVS-120-WT ja sittemmin osittain AVL laitteilla päivitetty) ja analysaattorijärjestelmän (AMA i60) avulla. Päästöistä kerätään osavirtanäyte koko kokeen (tai osasyklin) ajalta näytepusseihin henkilöautojen testin tapaan, josta muodostetaan yksittäisen kokeen keskiarvotulos. Lisäksi pakokaasuista määritetään hetkelliset massaemissiot. Saatua hetkellisestä massaemissioista integroitua tulosta voidaan verrata näytepusseista saatuun keskiarvotulokseen.



Kuva 1. Yleisnäkymä ajoneuvolaboratoriosta. Ylhäällä oikealla näkyy CVS-laitteiston laimennustunneli. Laboratorion lämpötila vakioidaan mahdollisimman tarkan toistettavuuden saavuttamiseksi.

3.2 Mittaussyklit

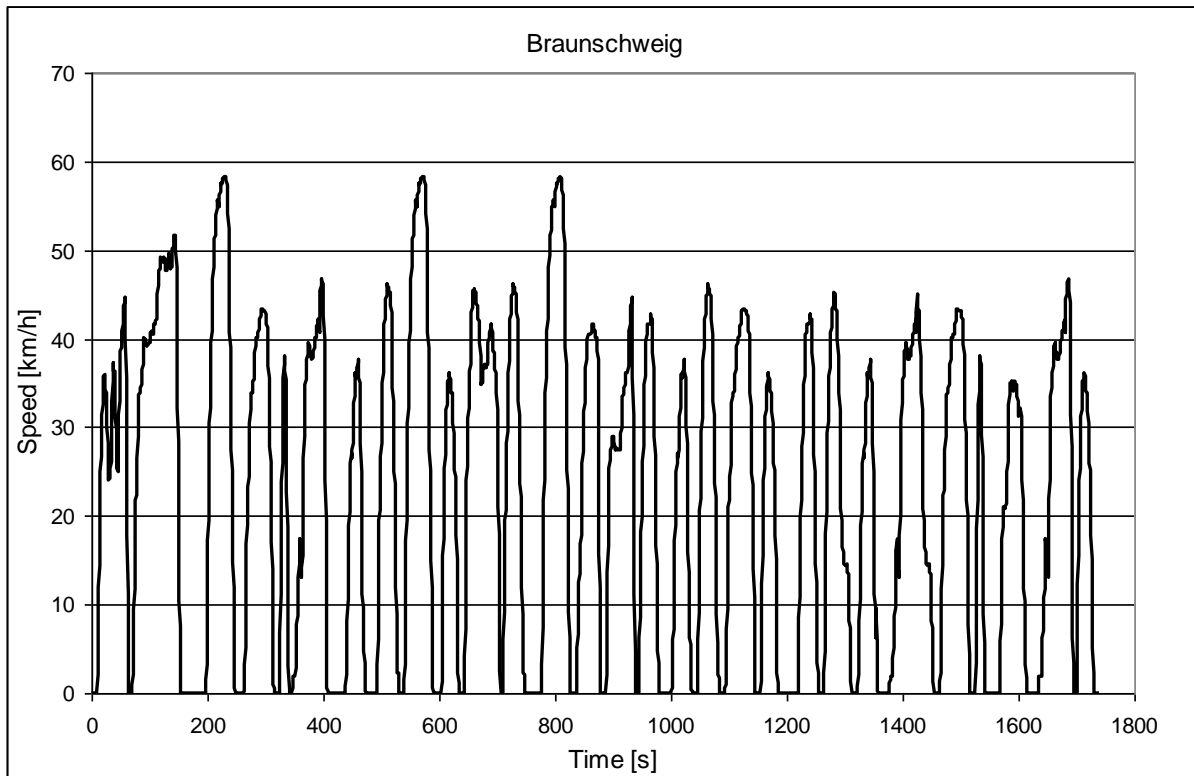
Päästötietokanta koostuu akkreditoidun mittausmenetelmän mukaan alustadynamometrilla ajettujen testien tuloksista⁵. Alustadynamometrilla ajetaan tutkimusmenetelmän mukaisesti Braunschweig -kaupunkibussisykli sekä ja WHVC kylmä-kuuma yhdistelmäsykli käyttäen inertia-asetuksena ajoneuvon (punnittua) omamassaa lisättynä hyötykuormalla, joka on puolet rekisteriotteen mukaisesta sallitusta enimmäiskuormasta.

Alusta asti mukana olleena mittaussyklinä 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. VTT:n menetelmässä Braunschweig-testisyklillä ajettaessa ajoneuvo sekä dynamometri 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 testiajtoa, joiden tuloksien keskiarvo on varsinainen ilmoitettava tulos. Mittaus tapahtuu normaalissa huoneenlämmössä (noin +20...+23 °C).

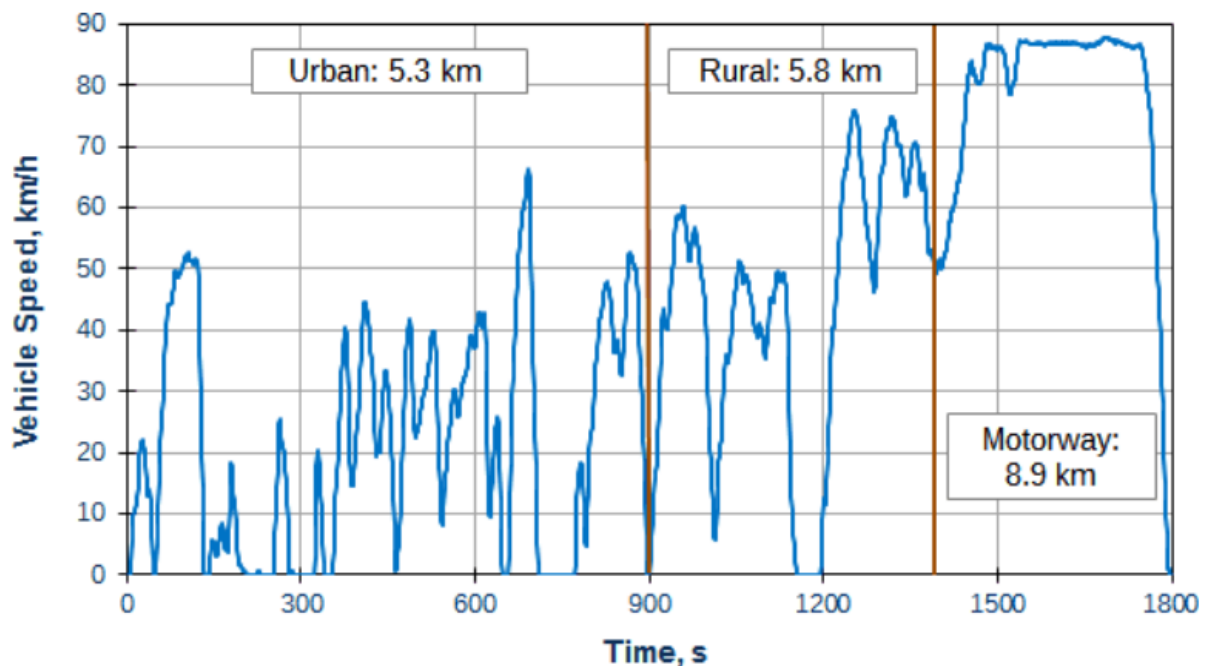
Vuonna 2017 otettiin käyttöön Braunschweig-kaupunkibussisyklin lisäksi WHVC-testisykli, joka ajetaan kylmä- ja kuumasyklin yhdistelmänä. WHVC-testisykli päätettiin ottaa mukaan, jotta dynamometrimittausten tuloksille saadaan parempi vertailtavuus Euro VI-moottoreiden tyyppi hyväksymissykliin (WHTC), josta WHVC on suoraan johdettu muunnos. Moottorin päästöt mitataan WHTC-syklissä sekä kylmäkäynnisteisenä moottori yön yli seisoneena, että lämminkäynnisteisenä. Kylmäkokeen jälkeen pidetään 10±1 minuutin tauko, jonka jälkeen aloitetaan lämmin koe. Moottorin päästöarvot lasketaan näiden kahden tuloksen perusteella, kylmäkokeen painoarvon ollessa 14 % ja lämpimän 86 %. Kaupunkipussien päästötietokantaan suoritettavissa WHVC kylmä-kuumayhdistelmäsykleissä käytetään samaa mittausmenettelyä kokonaiselle ajoneuvolle. 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.

WHVC-testauksessa inertia-asetuksena käytetään Braunschweig-testisyklin tapaan hyötykuormaltaan puolikuormaa vastaavaa massaa. Molempien testisykliä aikana kertyneet ympäristöpäästöt ja polttoaineenkulutus ilmoitetaan massoina ajomatkaan suhteutettuna [g/km], [kg/km] ja energiankulutus ilmoitetaan myös muodossa [MJ/km].

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



Kuva 2. Braunschweig kaupunkibussisyklin nopeus – aika profiili.



Kuva 3: WHVC testisyklin nopeus - aika profiili ja eri liikennetyyppejä vastaavat jaksot.

Euro VI-autojen osalta on muodostettu neljä tulostaulukkoa. Nämä ovat vanhan menetelmän mukaiset tulostaulukot Braunschweig-testin tuloksille ja uudet taulukot WHVC-testin tuloksille. Kummankin syklin osalta esitetään Euro-luokkien keskiarvotulokset ja lisäksi merkkikohtaiset keskiarvotulokset.

3.3 Mittausjärjestelyt

VTT käyttää kaupunkibussien seurantamittauksissa tavallista jakeluasemilta saatavaa kauppalaatuista, kevät-, kesä- ja syyskäyttöön tarkoitettua (-5/-15) dieselpolttoainetta (Neste dieselpolttoaine, B7/EN590). Polttoaine-erät hankitaan VTT:lle noin 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 (tiheys, ominais-CO₂ arvo ja lämpöarvo) perustuvat dieselin ja maakaasun osalta Euroopan Komission yhteisen tutkimuslaitoksen (JRC) raporttiin EUR 26028 EN – 2014 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 (12 metriä/2-akselinen, 14 metriä/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 siis estä mittauksia. Perusteluna tälle on, että ylläpidettävän tietokannan halutaan kuvaavan mahdollisimman hyvin tilannetta, joka vastaa liikenteessä olevien bussien kuntoa ja siten vallitsevaa todellisuutta. Ennen varsinaisia mittauksia kullakin autolla ajetaan 30 min 80 km/h, jotta autot ovat aina samalla tavalla "valmisteltuja" mittauksia varten. Erityisesti autojen joissa on SCR-järjestelmä päästötuloksiin vaikuttaa merkittävästi miten autoa on käytetty ennen mittausta. SCR-järjestelmällä on ominaista varastoida ureaa SCR-katalyytin pinnanalle erityisesti silloin kun katalyyttinen reaktio ei ole vielä käynnistynyt.

4. Tulokset

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

Vuonna 2017 käyttöön otetun WHVC-syklin tulokset ovat esitetty Taulukko 3 -Taulukko 4:ssä. Taulukko 3:ssa on esitetty Euro VI- ja retrofit Euro VI⁶ -kaupunkibussien keskimääräiset päästöt WHVC-syklillä. Taulukko 4:ssa on esitetty merkkikohtaiset päästöt Euro VI-kaupunkibusseille WHVC syklillä.

Molempien syklien tulokset ovat keskimääräisiä koostuen useamman eri ajoneuvon päästötuloksien keskiarvosta. Vuonna 2017 myös päästötietokantataulukon esitystapaan 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.

Vuoden 2019 Rakebus projektin aikana mittauksiin saatiin ensimmäisiä Euro VI-kaupunkibusseja joiden ajokilometrikertymä oli yli 500 tkm. Käyttöön otetun jaottelun perusteena on, että bussit ajomäärän mukaan jaottelemalla saadaan esiin mahdollinen pakokaasujen jälkikäsittelylaitteiston 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 lukijalle näkyvissä. Mikäli NO_x-päästöjen keskihajonta sarakkeesta puuttuu arvo, se tarkoittaa, että mitattuja autoyksilöitä on vain yksi.

⁶ Retrofit Euro VI-kaupunkibussilla tarkoitetaan bussia, johon on jälkikäteen asennettu pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmä, jolla ajoneuvon päästöt täyttävät Euro VI vaatimustason.

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

| Braunschweig | Number n | Mileage 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 - axle | | | | | | | | | | | | | |
| 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 | 11 | 150001 | 500000 | 0.09 | 0.00 | | 1.07 | 0.53 | 0.011 | 1127 | 1127 | 35.7 | 15.4 |
| Diesel Euro VI | 2 | 500001 | 597185 | 0.05 | 0.00 | | 1.40 | 0.07 | 0.003 | 1073 | 1073 | 33.9 | 14.6 |
| 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 - axle combined cold and hot test cycle **** | | | | | | | | | | | | | |
| 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 - axle, lightweight | | | | | | | | | | | | | |
| Diesel**** | 4 | 993 | 26436 | 0.88 | 0.03 | | 6.70 | | 0.047 | 953 | 953 | 30.17 | 13.0 |
| Diesel Euro VI | 3 | 8977 | 130511 | 0.12 | 0.00 | | 0.18 | 0.24 | 0.009 | 958 | 958 | 30.33 | 13.1 |
| Diesel Euro VI | 3 | 150001 | 500000 | 0.02 | 0.00 | | 0.39 | 0.25 | 0.009 | 979 | 979 | 31.00 | 13.4 |
| 3 - axle | | | | | | | | | | | | | |
| 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 | 2 | 500001 | 830076 | 0.80 | 0.08 | | 6.28 | 1.61 | 0.134 | 1457 | 1457 | 46.1 | 19.9 |
| Diesel EEV Retro E6 | 4 | 297530 | 838336 | 0.08 | 0.00 | | 0.77 | 0.43 | 0.015 | 1474 | 1474 | 46.6 | 20.1 |
| Diesel Euro VI | 11 | 0 | 150000 | 0.10 | 0.00 | | 0.42 | 0.28 | 0.037 | 1373 | 1373 | 43.4 | 18.7 |
| Diesel Euro VI | 8 | 150001 | 500000 | 0.13 | 0.00 | | 2.07 | 0.65 | 0.009 | 1409 | 1409 | 44.6 | 19.2 |
| Diesel Euro VI | 0 | 500001 | - | | | | | | | | | | |
| CNG EEV | 1 | 0 | 150000 | 4.91 | 1.75 | 1.62 | 8.77 | | 0.012 | 1396 | 1434 | 51.5 | 25.4 |
| CNG EEV | 2 | 150001 | 350000 | 3.31 | 0.98 | 0.86 | 3.38 | 2.55 | 0.005 | 1411 | 1431 | 52.1 | 25.6 |
| CNG EEV | 3 | 350001 | 651529 | 16.19 | 1.98 | 1.78 | 7.22 | 3.04 | 0.016 | 1424 | 1465 | 52.5 | 25.9 |
| CNG Euro VI | 1 | 41390 | 41390 | 0.47 | 0.04 | 0.02 | 0.01 | | 0.01 | 1318 | 1319 | 48.6 | 23.9 |
| 3 - axle combined cold and hot test cycle **** | | | | | | | | | | | | | |
| 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 | - | | | | | | | | | | |
| Total number of tests 183 | | | | | | | | | | | | | |
| *Methane fueled buses CH ₄ = THC * 0.95 | | | | | | | | | | | | | |
| ** CO ₂ eqv = CO ₂ + 23 * CH ₄ | | | | | | | | | | | | | |
| *** Euro V results estimated with the results of Euro IV | | | | | | | | | | | | | |
| **** Include test results from Euro III, Euro IV and EEV | | | | | | | | | | | | | |
| ***** Weighted average from cold (14%) and hot (86%) cycles test results | | | | | | | | | | | | | |

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

| Braunschweig | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------|---------|--------------|----------------------|-----------|-----------|------------|------------|-----------------|-----------|------------|-------------|----------------|------------|----------------|
| Maker | Level | Fuel | Type | 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 | SCR | 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 | SCR | 0.17 | 0.00 | | 6.87 | | 0.013 | 1107 | 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 | SCR | 0.58 | 0.01 | | 5.66 | | 0.011 | 1217 | 1217 | 38.5 | 16.6 | |
| Volvo | EEV | Diesel | 2 - axle | SCR | 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+SCR | 0.12 | 0.00 | | 1.23 | 0.94 | 0.003 | 1064 | 1064 | 33.7 | 14.5 | |
| MB | Euro VI | Diesel | 2 - axle | DOC+DPF+SCR | 0.06 | 0.00 | | 1.04 | 0.44 | 0.015 | 1059 | 1059 | 33.5 | 14.3 | |
| Scania | Euro VI | Diesel | 2 - axle | DOC+DPF+SCR | 0.04 | 0.00 | | 0.70 | 1.07 | 0.014 | 1281 | 1281 | 40.5 | 17.5 | |
| VDL | Euro VI | Diesel | lt. 2 - axle | DOC+DPF+SCR | 0.07 | 0.00 | | 0.31 | 0.23 | 0.009 | 969 | 969 | 30.7 | 13.2 | |
| VDL | Euro VI | Diesel | 2 - axle | DOC+DPF+SCR | 0.24 | 0.00 | | 0.56 | | 0.023 | 1090 | 1090 | 34.5 | 14.9 | 2.99 |
| Volvo | Euro VI | Diesel | 2 - axle | DOC+DPF+SCR | 0.12 | 0.00 | | 0.38 | 0.41 | 0.006 | 1089 | 1089 | 34.5 | 14.9 | 2.19 |
| MB | Euro VI***** | Diesel | 2 - axle | DOC+DPF+SCR | 0.19 | 0.01 | | 0.72 | 0.22 | 0.032 | 1069 | 1069 | 33.8 | 14.6 | |
| Iveco | Euro VI***** | Diesel | 2 - axle | DOC+DPF+SCR | 0.25 | 0.01 | | 0.33 | | 0.006 | 1057 | 1057 | 33.5 | 14.4 | |
| Scania | Euro VI***** | Diesel | 2 - axle | DOC+DPF+SCR | 0.11 | 0.01 | | 2.69 | 2.49 | 0.025 | 1205 | 1205 | 38.1 | 16.4 | |
| Volvo | Euro VI***** | Diesel | 2 - axle | DOC+DPF+SCR | 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 | 1.24 | 0.07 | | 4.74 | 3.23 | 0.081 | 1477 | 1477 | 46.7 | 20.1 | 2.72 |
| Scania | EEV | Diesel | 3 - axle | EGR | 0.33 | 0.04 | | 8.86 | 0.70 | 0.105 | 1438 | 1438 | 45.5 | 19.6 | |
| 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 | SCR | 3.96 | 0.02 | | 6.19 | | 0.093 | 1518 | 1518 | 48.0 | 20.7 | 1.66 |
| Scania | EEV Ret E6 | Diesel | 3 - axle | EGR+Retro EAT | 0.09 | 0.00 | | 0.86 | 0.46 | 0.018 | 1480 | 1480 | 46.9 | 20.2 | 1.81 |
| Volvo | EEV Ret E6 | Diesel | 3 - axle | Retro EAT | 0.05 | 0.03 | | 0.50 | | 0.007 | 1455 | 1455 | 46.0 | 19.8 | 3.85 |
| Scania | Euro VI | Diesel | 3 - axle | DOC+DPF+SCR | 0.10 | 0.00 | | 2.10 | 3.42 | 0.008 | 1419 | 1419 | 44.9 | 19.4 | |
| Solaris | Euro VI | Diesel | 3 - axle | DOC+DPF+SCR | 0.00 | 0.01 | | 0.02 | 0.00 | 0.022 | 1302 | 1302 | 41.2 | 17.8 | 2.33 |
| VDL | Euro VI | Diesel | 3 - axle | DOC+DPF+SCR | 0.20 | 0.00 | | 1.02 | 0.39 | 0.076 | 1433 | 1433 | 45.4 | 19.3 | 4.34 |
| Volvo | Euro VI | Diesel | 3 - axle | DOC+DPF+SCR | 0.11 | 0.00 | | 1.00 | 0.94 | 0.009 | 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+SCR | 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 | |
| Scania | Euro VI | CNG | 3 - axle | KAT | 0.47 | 0.04 | 0.02 | 0.01 | | 0.006 | 1318 | 1319 | 48.6 | 23.9 | |

*Methane fueled buses CH4 = THC * 0.95

** CO₂ eqv = CO₂ + 23 * CH₄

*** Euro V results estimated with the results of Euro IV

**** Include test results from Euro III, Euro IV and EEV

***** Weighted average from cold (14%) and hot (86%) cycles test results

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

| WHVC | Number n | Mileage 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 - Combined cold and warm start * | | | | | | | | | | | | | |
| 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 | 11 | 150001 | 500000 | 0.11 | 0.00 | | 0.57 | 0.27 | 0.009 | 730 | 730 | 23.1 | 10.0 |
| Diesel Euro VI | 2 | 500001 | 597137 | 0.11 | 0.00 | | 1.05 | 0.23 | 0.003 | 727 | 727 | 23.0 | 9.9 |
| 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*** | 4 | 150001 | 500000 | 0.06 | 0.00 | | 0.36 | 0.21 | 0.017 | 682 | 682 | 21.6 | 9.3 |
| CNG Euro VI | 2 | 347 | 36102 | 0.66 | 0.14 | 0.11 | 0.21 | 0.12 | 0.013 | 713 | 715 | 26.3 | 12.9 |
| 3 - Combined cold and warm start * | | | | | | | | | | | | | |
| Diesel EEV Retro E6 | 4 | 297433 | 392436 | 0.03 | 0.01 | | 1.06 | 0.24 | 0.006 | 945 | 945 | 29.9 | 12.9 |
| Diesel Euro VI | 3 | 0 | 150000 | 0.09 | 0.01 | | 0.38 | 0.26 | 0.009 | 845 | 845 | 26.7 | 11.5 |
| Diesel Euro VI | 7 | 150001 | 500000 | 0.18 | 0.01 | | 1.32 | 0.04 | 0.010 | 883 | 883 | 27.9 | 11.9 |
| Diesel Euro VI | 0 | 500001 | - | | | | | | | | | | |
| CNG Euro VI | 1 | 41280 | 41280 | 0.47 | 0.22 | 0.17 | 0.15 | | 0.002 | 821 | 824 | 30.3 | 14.9 |
| Total number of tests 36 | | | | | | | | | | | | | |
| * Weighted average cold (14 %) and warm (86 %) start results | | | | | | | | | | | | | |
| ** CO ₂ eqv = CO ₂ + 23 * CH ₄ | | | | | | | | | | | | | |
| *** Lightweight | | | | | | | | | | | | | |

Taulukko 4: Euro VI ja Euro VI retrofit diesel kaupunkibussien merkkikohtainen päästötaulukko WHVC-syklillä päästöluokan sekä ajoneuvon tyyppin mukaan jaoteltuna.

| WHVC | Number n | Level | Fuel | Type | Exht. | 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. ** | FC [kg/100 km] | FC [MJ/km] | UC [kg/100 km] |
|---|-------------|---------|--------|----------|-------------|--------------|--------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------|--------------|---------------------------|----------------------------|----------------------|---------------|----------------------|
| 2 - Combined cold and warm start * | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Iveco | 3 | Euro VI | Diesel | 2 - axle | DOC+DPF+SCR | 0.22 | 0.00 | | 0.48 | 0.51 | 0.004 | 726 | 726 | 23.0 | 9.9 | |
| MB | 4 | Euro VI | Diesel | 2 - axle | DOC+DPF+SCR | 0.05 | 0.00 | | 0.72 | 0.33 | 0.006 | 716 | 716 | 22.7 | 9.8 | |
| Scania | 3 | Euro VI | Diesel | 2 - axle | DOC+DPF+SCR | 0.01 | 0.00 | | 1.10 | 0.95 | 0.008 | 776 | 776 | 24.6 | 10.6 | |
| 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*** | 5 | Euro VI | Diesel | 2 - axle | DOC+DPF+SCR | 0.08 | 0.00 | | 0.31 | 0.21 | 0.018 | 683 | 683 | 21.6 | 9.3 | 1.83 |
| Volvo | 3 | Euro VI | Diesel | 2 - axle | DOC+DPF+SCR | 0.15 | 0.00 | | 0.51 | 0.23 | 0.004 | 702 | 702 | 22.2 | 9.6 | 1.30 |
| MB | 1 | Euro VI | CNG | 2 - axle | TWC | 0.73 | 0.22 | 0.17 | 0.33 | | 0.011 | 703 | 707 | 25.9 | 12.8 | |
| Scania | 1 | Euro VI | CNG | 2 - axle | TWC | 0.60 | 0.06 | 0.04 | 0.09 | | 0.015 | 722 | 723 | 26.6 | 13.1 | |
| 3 - Combined cold and warm start * | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Scania retro E6 | 3 | Euro VI | Diesel | 3 - axle | DOC+DPF+SCR | 0.01 | 0.01 | | 1.30 | 0.01 | 0.008 | 917 | 917 | 29.0 | 12.5 | 0.84 |
| 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 |
| VDL | 1 | Euro VI | Diesel | 3 - axle | DOC+DPF+SCR | 0.06 | 0.01 | | 1.33 | | 0.009 | 904 | 904 | 28.6 | 12.3 | 3.36 |
| Volvo retro E6 | 1 | Euro VI | Diesel | 3 - axle | DOC+DPF+SCR | 0.04 | 0.00 | | 0.83 | | 0.004 | 972 | 972 | 30.8 | 13.3 | 2.44 |
| Volvo | 4 | Euro VI | Diesel | 3 - axle | DOC+DPF+SCR | 0.28 | 0.00 | | 1.01 | 0.74 | 0.007 | 834 | 834 | 26.4 | 11.6 | 1.16 |
| Scania | 1 | Euro VI | CNG | 3 - axle | TWC | 0.47 | 0.22 | 0.17 | 0.15 | | 0.002 | 821 | 824 | 30.3 | 14.9 | |
| * Weighted average cold (14 %) and warm (86 %) start results | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ** CO ₂ eqv = CO ₂ + 23 * CH ₄ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *** Lightweight | | | | | | | | | | | | | | | | |

5. Tulosten tarkastelu

Taulukko 1:n Euro VI-päästöluokan dieselbussien tuloksista (Braunschweig) voidaan huomata, että päästötaso on laskenut selvästi Euro V-luokan päästötasosta niin CO-, NO_x- kuin PM-päästöjen osalta. Euro VI-päästöluokan myötä ajoneuvoissa DPF+SCR -yhdistelmä on käytännössä tullut pakolliseksi pakokaasujen jälkikäsitteilymenetelmäksi, jotta lainsäädännön päästövaatimukset täyttyvät, sillä muulla tekniikalla niin vähäisiin päästöihin ei enää päästä. Kaikissa kolmessa päästökomponenteissa mitattu alenema 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/EEV -luokkien busseihin verrattuna. CNG-bussien hiukkasmassapäästöissä (PM) ei sen sijaan ole tapahtunut merkittävää muutosta Euro II - VI-luokkien välillä. Tämä selittyy yksinkertaisesti sillä, että homogeenisen seoksen (sekä stoikiometrisen että laihaseos) kipinäsytytys palamisen menetelmänä tuottaa maakaasua poltettaessa hyvin vähän hiukkasia.

Vuonna 2017 otettiin käyttöön mittaustulosten jaottelu ajokilometrien mukaan. Taulukko 1 ja Taulukko 3:n tulosten perusteella nähdään, että Euro VI-autoilla NO_x-päästöt ovat uusina (alle 150 tkm ajettuina) todella matalalla tasolla. Tulokset sekä Braunschweig- että WHVC- syklin osalta ovat luokkaa 0,1 g/km 2-akselisten ja 0,4 g/km 3-akselisten autojen osalta. Mittaukset osoittavat kuitenkin, että NO_x-päästöt nousevat selkeästi ajokilometrien karttuessa. 151 tkm...500 tkm ajetuilla busseilla NO_x-päästöt ovat 2-akselisten bussien osalta nousseet Braunschweig syklillä jo arvoon 1,1 g/km ja WHVC syklillä arvoon 0,6 g/km. Vastaavasti 3-akselisten 151 tkm...500 tkm ajettujen bussien osalta NO_x-päästöt ovat nousseet Braunschweig syklillä arvoon 2,1 g/km ja WHVC syklillä arvoon 1,3 g/km. Vuoden 2019 Rakebusprojektin mittauksiin saatiin kaksi yli 500 tkm ajettua 2-akselista Euro VI-bussia. Niiden keskimääräinen tulos nousi arvoon 1,4 g/km Braunschweig syklillä ja arvoon 1,1 g/km WHVC syklillä. Ajokilometreillä näyttäisi olevan siis selkeä yhteys NO_x-päästöjen kasvuun.

Muiden päästökomponenttien osalta ei vastaavanlaista päästötasojen kasvua ole havaittavissa. Itse asiassa hiukkasmassapäästöjen (PM) osalta keskimääräiset päästötasot jopa hieman laskevat ajokilometrien kasvaessa. Energiankulutuksen osalta selkeää trendiä ei ole havaittavissa, vaan energiankulutus näyttää nousevan ajokilometrien kasvaessa Braunschweig syklillä sekä 3-akselisten bussien osalta WHVC-yhdistelmäsyklillä, mutta 2-akselisten osalta laskevan WHVC-yhdistelmäsyklillä.

Vuonna 2018 otettiin käyttöön myös Braunschweig- ja WHVC-sykleissä mitattujen NO_x-päästöarvojen arviointi suhteessa raskaiden ajoneuvojen Euro VI-moottoreiden lainsäädännön raja-arvoihin. Vertailu ei ole absoluuttisen tarkka, sillä tyyppihyväksymistesti tehdään pelkällä moottorilla, kun taas alustadynamometrimittausten tulokset on laskettu moottorin kampaixelille olettamalla voimansiirron hyötysuhteeksi 75 %⁷, eli luku joka perustuu mittauksilla arvioituun voimansiirron hyötysuhteeseen WHVC- ja Braunschweig- sykleillä.

Taulukko 5:ssä on esitetty Braunschweig- ja WHVC-sykleillä mitattujen keskimääräisten NO_x-päästöjen suhde, ns. CF-kerroin⁸, jolla mitattua päätötulosta verrataan raskaan kaluston Euro VI-moottorien lainsäädännön raja-arvoihin tyyppihyväksyntäsyklillä WHTC sekä ajoneuvolla suoritettavan käytönaikaisten päästöjen seurantamittauksella ISC⁹. Esitettyssä vertailussa on syytä kuitenkin huomata, että WHTC-sykli poikkeaa kuormitusprofiililtaan Braunschweig-syklistä ja WHVC-syklistä, vaikka WHTC on johdettu nimenomaan WHVC-syklin nopeusprofiilista. Käytönaikaisten päästöjen mittaus ISC suoritetaan normaalin liikenteen joukossa. Kaupunkibussien osalta syklin tulee sisältää n. 70 %:a kaupunkiajoa ja n. 30 %:a

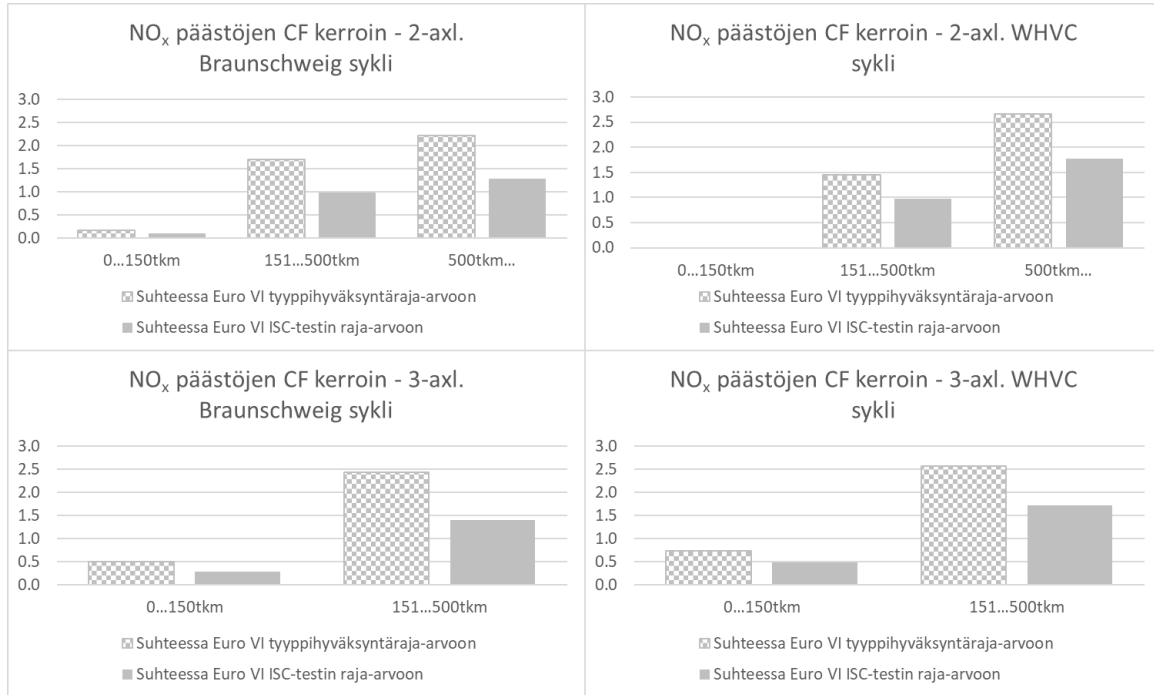
⁷ Luku 75 % on saatu jakamalla vetävien renkaiden tuottama teho alustadynamometrin rullille moottorin teholla. Luku pitää siten sisällään myös apulaitteiden kuluttaman tehon.

⁸ CF = Conformity factor, vaatimuksen mukaisuus kerroin

⁹ ISC = In-service Conformity, Euro VI raskaiden ajoneuvojen käytönaikaisten päästöjen vaatimusten mukaisuus testi

maantieajoa. ISC reitillä sallitaan 1,5 kertaiset päästöt suhteessa WHTC sykliin. Taulukko 5:n vertailu antaa kuitenkin hyvän arvion päästöjen kehityksestä ajokilometrien kasvaessa suhteessa lainsäädännön raja-arvoihin.

Taulukko 5: NO_x päästöt suhteessa lainsäädännön raja-arvoihin.



WHVC-syklillä on mitattu vain yksi alle 150 tkm ajettu 2-akselinen bussi. Tämän takia Taulukko 5:ssä ei ole merkitty CF-kerrointa 0...150 tkm ajetuille 2-akselisille busseille WHVC-syklillä. 3-akselisiä yli 500 tkm ajettuja busseja ei ole vielä ollut mittauksissa, jonka takia Taulukko 5:ssä ei ole niille tulosta.

Taulukosta nähdään hyvin edellä kuvattu keskimääräisen NO_x-päästöjen kohoaminen ajokilometrien myötä ja sen suhde tyyppihyväksyntä raja-arvoihin. Alle 150 tkm ajetuilla busseilla NO_x-päästöt ovat reilusti alle raja-arvojen (CF-kerroin 0,6 tai alle), kun taas yli 150 tkm ajetuilla busseilla NO_x-päästöt ovat reilusti yli tyyppihyväksyntä raja-arvon (CF-kerroin luokka 2-akselisilla busseilla 1,5 ja 3-akselisilla 2,5) ja parhaimmillaankin aivan ISC reitin raja-arvolla (2-akseliset bussit). Yli 500 tkm ajetuilla kahdella 2-akselisella bussilla CF-kerroin nousee jo 2,2:een Braunschweig ja 2,6:een WHVC syklillä tyyppihyväksyntä raja-arvoon nähden.

6. Yhteenveto

Vuoden 2019 Rakebus -projektin myötä VTT:n ylläpitämä kaupunkibussien päästötietokanta kattaa tällä hetkellä yhteensä 183 kaupunkibussia (dieselbusseja Euro I - VI-luokissa, kaasubusseja Euro II - VI-luokissa sekä EEV luokan etanolibusseja) Braunschweig-syklillä mitattuna (täysin lämmenteillä moottoreilla). Lisäystä vuoteen 2018 nähden on tullut viiden auton mittaustulokset. Tulokset ovat keskenään täysin vertailukelpoiset samana pysyneen Braunschweig-mittaussyklin ja -menetelmän ansiosta.

Vuoden 2017 aikana otettiin mittauksissa käyttöön myös WHVC-sykli ja yhdistelmä kylmä- ja kuumakäynnisteisestä testauksesta. Näin tuotetaan mittaustuloksia tavalla, joka vastaa Euro VI-moottorien tyyppihyväksymissykliä WHTC, ja mahdollistetaan suntaa antava vertailu moottorivalmistajan ilmoittamiin hyväksymistuloksiin tai varsinaisiin raja-arvoihin.

Edelleen pääosa tuloksista ilmoitetaan ajoneuvolle muodossa g/km. WHVC-syklillä tulokset on ilmoitettu ns. yhdistelmätuloksena, joka on painotettu keskiarvo kylmän ja kuumen syklin tuloksista. Painokerroimet ovat samat kuin tyyppihyväksymisessä käytetyt (kylmäsyklin painokerroin on siis 14 % ja kuumasyklin 86 %). Vuonna 2018 arvointiin otettiin mukaan myös ns. CF-kerroin, eli tuloksia verrattiin suhteessa varsinaisiin raja-arvoihin. Tällöin alustadynamometritulokset muutetaan hyväksymismittauksiin verrannollisiksi moottoritestiarvoiksi ottamalla huomioon voimasiirron ja apulaitteiden arvioidut häviöt. CF-kerroin havainnollistaa selkeästi päästötasoa suhteessa lainsäädännön tavoitteeseen.

Vuonna 2017 päästötietokannan raportoinnissa otettiin käyttöön myös kunkin päästoluokan mittaustulosten jaottelu kolmeen ryhmään ajokilometrien perusteella. Jaottelun johdosta nyt on nähtävissä NO_x-päästöjen kehitys ajokilometrien kasvaessa. Mittausten perusteella näyttäisivät Euro VI autojen NO_x-päästöt olevan alle 150 tkm ajettuina todella matalla tasolla, mutta nousevan melko voimakkaasti ajokilometrien kasvaessa. Muiden päästökomponenttien osalta ei vastaavanlaista kehitystä ole havaittu. CF-kertoimet ovat alle 150 tkm ajetuille autoille enimmillään 0,6. Keskiryhmän 150 - 500 tkm autoilla kerroin on selvästi korkeampi, pahimmillaan 2,5-kertainen (3-akseliset) varsinaiseen raja-arvoon ja 1,6-kertainen ns. ISC-arvoon verrattuna. Vuoden 2019 projektin aikana mittauksiin saatiin myös kaksi 2-akselista bussia joiden ajokilometrimäärä oli yli 500 tkm. Niiden tulosten osalta näyttäisivät NO_x-päästöt nousevan edelleen. Braunschweig-syklillä CF-kerroin on noin 2,2 ja WHVC syklillä noin 2,6 suhteessa viralliseen tyyppihyväksyntä raja-arvoon. Vastaavasti suhteessa ISC-arvoon nähden CF-kerroin on 1,3 Braunschweig-syklillä ja 1,8 WHVC-syklillä.

Tulokset viittaavat selkeästi siihen, että NO_x-päästöt kasvavat ajokilometrien kasvaessa. Päästötietokannassa on nyt kahden 2-akselisen yli 500 tkm ajatun Euro VI-bussin tulokset, mutta ei vielä mittaustulosta yli 500 tkm ajetuista 3-akselisista Euro VI-busseista. Euro VI-autojen mittaustulokset ovat kuitenkin vielä suhteellisen vähäiset, jolloin yksittäisten autoyksilöiden vaikutus on vielä kohtuullisen merkittävä. Näiden asioiden johdosta sekä huomioiden havaittu NO_x-päästöjen kasvu ajokilometrien kasvaessa on hyvin perusteltua jatkaa Rakebus-projektin puitteissa suoritettavaa mittaustoimintaa Euro VI-bussien todellisten päästöjen todentamiseksi. Euro VI-lainsäädäntö edellyttää bussien pakokaasujen hallintajärjestelmiltä vähintään 300.000 km:n ja 6 vuoden tai 700.000 km:n ja 7 vuoden kestoikää riippuen ajoneuvokategorian (M3) luokasta.