



Nils-Olof Nylund, Kimmo Erkkilä &  
Tuukka Hartikka

## Kaupunkibussien polttoaineen- kulutus ja pakokaasupäästöt

| Uusimman dieseltekniikan suorituskyky



# **Kaupunkibussien polttoainekulutus ja pakokaasupäästöt**

## **Uusimman dieseltekniikan suorituskyky**

Nils-Olof Nylund, Kimmo Erkkilä & Tuukka Hartikka

ISBN 978-951-38-6904-5 (nid.)  
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 978-951-38-6905-2 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)  
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2007

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 3, PL 1000, 02044 VTT  
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 3, PB 1000, 02044 VTT  
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 3, P.O.Box 1000, FI-02044 VTT, Finland  
phone internat. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374

VTT, Biologinkuja 5, PL 1000, 02044 VTT  
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7048

VTT, Biologgränden 5, PB 1000, 02044 VTT  
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7048

VTT Technical Research Centre of Finland, Biologinkuja 5, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland  
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7048

Toimitus Leena Ukskoski  
Taitto ja viimeistely Tarja Haapalainen

Edita Prima Oy, Helsinki 2007

Nylund, Nils-Olof, Erkkilä, Kimmo & Hartikka, Tuukka. Kaupunkibussien polttoaineenkulutus ja pakokaasupäästöt. Uusimman dieseltekniikan suorituskyky [Fuel consumption and exhaust emissions of urban buses. Performance of newest diesel technology]. Espoo 2007. VTT Tiedotteita – Research Notes 2372. 47 s. + liitt. 1 s.

**Avainsanat** public transport, urban transport, vehicles, buses, diesel engines, fuel consumption, exhaust emissions, performance, measurements, operating expenses

## Tiivistelmä

Suomen Paikallisliikenneliito ry:n hankkeessa mitattiin yhteensä seitsemän autoa, kaksi kaksiakselista Euro 3 -autoa referenssinä (Scania ja Volvo), kolme uutta Euro 4 -tasoista kaksiakselista autoa (Mercedes-Benz, Scania ja Volvo) ja kaksi uutta kolmiakselista autoa (Euro 4 Scania ja Euro 5 Volvo). Mittaukset tehtiin alustadynamometrissa kolmella todellista ajoa kuvaavalla syklillä. Polttoaineen kulutuksen lisäksi autoista mitattiin myös pakokaasupäästöt.

Erot polttoaineen kulutuksessa ja käyttökustannuksissa jäivät loppujen lopuksi odotettua pienemmiksi. Vertailukohteenä olleista Euro 3 -autoista Volvo kuluttaa 7–10 % enemmän polttoainetta kuin Scania. Uusien kaksiakselisten autojen kaupunkiajoa kuvaavissa sykleissä autojen väliset kulutuserot ovat vain 3–4 %, vaikka erilaisten tekniikkaratkaisujen myötä erojen olisi voinut olettaa pikemmin kasvavan kuin pienentyvän. Väylätyyppisessä ajossa tosin kulutusero on suurimmillaan 11 %. Volvon Euro 4 -auto antaa keskimäärin alhaisimman polttoaineenkulutuksen. Kolmiakselisista autoista Scania kuluttaa 3–5 % vähemmän polttoainetta kuin Volvo.

Mittaukset eivät anna yksiselitteistä vastausta siihen, kumpi tekniikka, EGR vai SCR, on parempi polttoaineen kulutuksen suhteen. Tarkastelua vaikeuttaa kaksi tekijää. Toisaalta paremmuusjärjestys riippuu ajosyklistä, toisaalta kaikkien autojen todellinen päästötaso ei vastaa odotuksia. Scanian Euro 4 -moottorit antavat korkeammat NO<sub>x</sub>-arvot kuin saman merkin Euro 3 -moottori. Myöskään polttoainetehokas Volvon Euro 4 -auto ei ole NO<sub>x</sub>-päästöiltään aidosti Euro 4 -tasoa. Mercedes-Benzin Euro 4 ja Volvon Euro 5 antavat aidosti näitä päästöluokkia vastaavat NO<sub>x</sub>-tulokset.

Tarkastelussa huomioitiin sekä polttoaineen kulutus että pakokaasupäästöt. Jos pakokaasupäästöt jätettäisiin kokonaan huomioimatta, kalustovalinnat kohdistuisivat vähän polttoainetta kuluttaviin autoihin, jotka eivät kuitenkaan todellisten päästöjen osalta ole sitä tasoa, mitä kohtuudella voisi odottaa.

Nylund, Nils-Olof, Erkkilä, Kimmo & Hartikka, Tuukka. Kaupunkibussien polttoaineenkulutus ja pakokaasupäästöt. Uusimman dieseltekniikan suorituskyky [Fuel consumption and exhaust emissions of urban buses. Performance of newest diesel technology]. Espoo 2007. VTT Tiedotteita – Research Notes 2372. 47 p. + app. 1 p.

**Keywords** public transport, urban transport, vehicles, buses, diesel engines, fuel consumption, exhaust emissions, performance, measurements, operating expenses

## Abstract

The research was carried out by the Finnish Public Transport Association. Altogether seven vehicles were measured, two two-axle Euro 3 -class vehicles as references (Scania and Volvo), three new Euro 4 -class vehicles (Mercedes-Benz, Scania and Volvo) and two new three-axle vehicles (Euro 4 Scania and Euro 5 Volvo). The measurements were carried out on a chassis dynamometer, using three cycles describing actual driving. In addition to fuel consumption, exhaust emissions were also recorded for these vehicles.

The differences in fuel consumption and operating expenses were after all smaller than first anticipated. When it comes to the Euro 3 -class reference vehicles, Volvo consumes 7–10% more fuel than Scania. For new two-axle vehicles the difference in fuel consumption, when simulating urban driving, is only 3–4%. Due to different technical solutions, the results were anticipated to be greater. In suburban driving although, the difference is at its most 11%. The Volvo Euro 4 -bus has in average the lowest fuel consumption. Looking at the three-axle vehicles, Scania consumes 3–5% less fuel than does Volvo.

The measurements do not give an unambiguous answer to whether the EGR- or SCR-technology is preferable regarding fuel consumption. The contemplation is hindered by two factors. On one hand, the order of superiority depends on the driving cycle, on the other, the actual exhaust emissions do not match with expectations. Scania's Euro 4 -engines produce higher NO<sub>x</sub>-emissions than its Euro 3 -engine. The fuel efficient Volvo Euro 4 -engine is not truly Euro 4 -class what comes to NO<sub>x</sub>-emissions. The Mercedes-Benz Euro 4- and Volvo Euro 5 -engines produce NO<sub>x</sub>-emissions genuinely matching their classes.

Both fuel consumption and exhaust emissions have been observed in the study. In case exhaust emissions were completely disregarded, fleet decisions might be directed towards fuel efficient vehicles which after all do not reach the level of emission performance that reasonably could be expected.

# Alkusanat

Suomen Paikallisliikenneliitto ry (PLL) otti syksyllä 2005 yhteyttä VTT:hen ehdotuksella uusien Euro 4- ja Euro 5 -dieselbussien polttoaineen kulutuksen mittaamisesta. PLL:n tavoitteena on tarjota jäsenyrityksilleen tietoa eri tekniikka- ja autovaihtoehtojen polttoaineenkulutuksesta todellisuutta vastaavissa ajo-olosuhteissa päätöksenteon pohjaksi.

Hankkeessa mitattiin yhteensä seitsemän autoa, kaksi kaksiakselista Euro 3 -autoa referenssinä (Scania ja Volvo), kolme uutta Euro 4 -tasoista kaksiakselista autoa (Mercedes-Benz, Scania ja Volvo) ja kaksi uutta kolmiakselista autoa (Euro 4 Scania ja Euro 5 Volvo). Mittaukset tehtiin alustadynamometrissa kolmella todellista ajoa kuvaavalla syklillä. Polttoaineen kulutuksen lisäksi autoista mitattiin myös pakokaasupäästöt. Tulokset koskevat ensisijaisesti mitattuja ajoneuvoja eikä niitä voi täysin varauksetta yleistää toisiin samantyyppisiin autoihin.

Tämä hanke on ensimmäinen hanke, jossa VTT antaa julkisuuteen merkkikohtaisia polttoaineenkulutus- ja pakokaasuarvoja raskaalle kalustolle. Tämä tapahtuu PLL:n nimisestä toivomuksesta.

Uusi tekniikka herättää liikennöitsijöissä joukon kysymyksiä. Miten polttoaineen kulutus muuttuu Euro 4 -tekniikkaan siirryttäessä? Kumpi tekniikka antaa alhaisemmat ajokustannukset, SCR vaiko EGR? Entäpä päästöt: ovatko uudet autot vähäpäästöisiä myös todellisissa ajotilanteissa? Julkaisu pyrkii vastaamaan näihin kysymyksiin suomalaisen paikallisliikenteen kannalta keskeisimpien autotyyppien osalta.

Tilajaa tässä hankkeessa ovat edustaneet PLL:n toiminnanjohtaja Pekka Aalto ja PLL:n teknisen toimikunnan puheenjohtaja Kari Sulonen.

Espoossa 6.2.2007

Nils-Olof Nylund, Kimmo Erkkilä & Tuukka Hartikka

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	4
Alkusanat.....	5
1. Tausta ja projektin tavoitteet.....	7
2. Uusi raskaiden dieselajoneuvojen tekniikka.....	11
3. VTT:n alustadynamometrimittaukset raskaalle kalustolle.....	14
4. Koeohjelma ja instrumentointi.....	17
4.1 Yleistä.....	17
4.2 Mitatut ajoneuvot.....	17
4.3 Poltto- ja voiteluaineet.....	18
4.4 Instrumentointi.....	18
4.5 Testisyklit.....	18
5. Laskentaperiaatteet.....	21
5.1 Yleistä.....	21
5.2 Ajovastusten määrittely.....	21
5.3 Polttoaineen kulutuksen mittaus.....	22
5.4 Pakokaasupäästöt.....	25
6. Polttoaineen kulutukseen liittyvät tulokset.....	29
6.1 Polttoaineen kulutus.....	29
6.2 Urean kulutus.....	32
6.3 Polttoaineen ja urean kustannukset.....	32
7. Päästötulokset.....	34
8. Tulosten arviointi.....	40
8.1 Yleistä.....	40
8.2 Polttoaineen kulutus.....	40
8.3 Pakokaasupäästöt.....	42
9. Yhteenveto.....	44
Lähdeluettelo.....	46
Liite A: Tekniset tiedot	

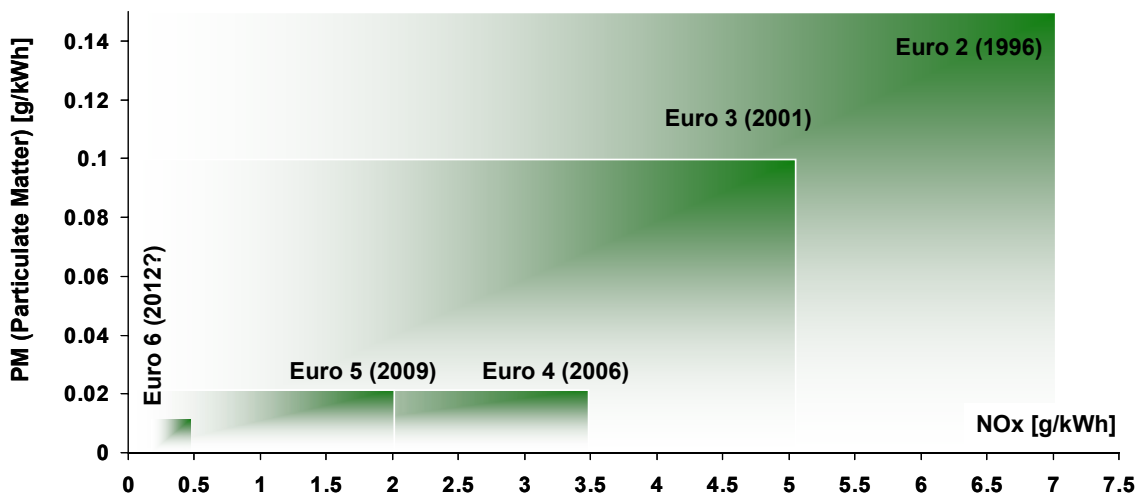


# 1. Tausta ja projektin tavoitteet

Bussien liikennöintikustannuksissa, kuljettajan palkka pois lukien, polttoainekustannukset muodostavat suurimman kuluerän. Kaksiakselisen kaupunkibussin liikennöintikustannukset 80 000 km vuosisuoritteella (pääoma-, polttoaine- ja huoltokustannukset mukaan luettuina) ovat noin 1,00 €/km. Tästä polttoainekustannusten osuus on noin 45 % ja pääomakustannusten osuus noin 40 %.

Raskaan kaluston Euro 4 -päästövaatimukset astuivat voimaan vaiheittain vuosina 2005 ja 2006. 1.10.2006 jälkeen uusina rekisteröitäviltä raskailta ajoneuvoilta, tiettyjä poikkeuksia lukuun ottamatta, vaaditaan Euro 4 -pakokaasusertifiointi.

Kuva 1 esittää eurooppalaisten raskaan kaluston päästömääräysten kehittymisen. Siirtyminen Euro 3 -luokasta Euro 4 -luokkaan merkitsee huomattavaa päästöarvojen kiristymistä, hiukkaspäästön (PM) raja-arvo laskee 80 %, typen oksidien (NO<sub>x</sub>) raja-arvo maltillisemmin eli 30 %. Euro 4- ja Euro 5 -luokissa on sama hiukkasraja, mutta Euro 5 -luokkaan siirryttäessä NO<sub>x</sub>-raja-arvo laskee edelleen n. 40 %. Seuraava vaihe, ensi vuosikymmenen puolella voimaan tuleva Euro 6, on jo keskustelun alla.



Kuva 1. Eurooppalaisten raskaasta kalustoa koskevien pakokaasupäästömääräysten kehittyminen (Danielsson 2006).

Täyttääkseen Euro 4 -päästövaatimukset autonvalmistajat ovat joutuneet ottamaan käyttöön uutta moottori- ja pakokaasunpuhdistustekniikkaa. Tällä on heijastumaa sekä ajoneuvojen hintaan että niiden polttoaineen kulutukseen. Tilanne on autojen ostajien kannalta haasteellinen siinä mielessä, että tarjolla olevan tekniikan kirjo on lisääntymässä, ei supistumassa.

Henkilöautoille on olemassa mittausmenetelmät alustadynamometrissa tapahtuville pakokaasu- ja polttoaineenkulutusmittauksille. Pakokaasujen sertifiointimittaukset tehdään kokonaisella ajoneuvolla. Samassa yhteydessä mitataan polttoaineen kulutus. Voimassa olevan direktiivin mukaan auton ostajalle on annettava tietoa auton polttoaineenkulutuksesta, jotta auton ostaja voi käyttää tätä tietoa hyväkseen ostopäätöstä tehdessään.

Raskaille ajoneuvoille ei ole virallisia menetelmiä tai vaatimuksia polttoaineen kulutuksen tai pakokaasupäästöjen mittaamiseksi kokonaisilla ajoneuvoilla. Viralliset moottorien tyyppihyväksyntätestit tehdään moottoripenkissä huomioimatta ajoneuvon ominaisuuksia ja käyttötarkoitusta. Moottorimittauksissa polttoaineen kulutus on apusuure, jota ei edes vaadita ilmoitettavaksi. Niinpä raskaista ajoneuvoista ei juurikaan ole olemassa ajoneuvon ominaisuudet (paino, ilmanvastus, moottorin ja voimalinjan ominaisuudet) huomioivia merkkikohtaisia polttoaineenkulutus- tai päästöarvoja, ei etenkin vertailukelpoisia arvoja.

Tarve todellisille kulutustiedoille on suuri. Liikennöitsijä tarvitsee kalustoa hankkiesseen luotettavaa tietoa eri autotyypin polttoaineenkulutuksesta päätöksentekonsa pohjaksi. Eri valmistajilta saatavat kulutustiedot poikkeavat kuitenkin toisistaan niin paljon, että käytännössä kulutusten vertailu on mahdotonta. Ostopäätöksen vaikutukset seuraavat mukana koko auton eliniän, joten valintojen tärkeyttä ei voi väheksyä.

Kansainvälinen joukkoliikennejärjestö UITP on kehittänyt maantiellä ajettavaksi tarkoitettuja bussien polttoaineen kulutuksen mittaussyklejä, ns. SORT-syklejä (Standardised On-Road Test Cycles). Syklejä on kolme: kaupunkiajoa, seka-ajoa sekä esikaupunkiajoa kuvaavat syklit (UITP 2004). Maantiellä tapahtuvien mittauksien ongelmana on kuitenkin mm. ympäristöolosuhteiden vaikutus mittaustulosten tarkkuuteen ja toistettavuuteen.

Myös ympäristövaikutusten laskennoissa tarvitaan todellista ajoa vastaavia kulutus- ja päästötietoja erilaisista ajotilanteista, erilaisilla ajoneuvoilla ja eri kuormitustasoilla. Niinpä bussiliikenteen tilaajat taas ovat kiinnostuneita auton ajosuoritekohtaisista (g/km) päästöarvoista todellisuutta vastaavassa ajossa. Pääkaupunkiseudulla on käytössä viralliset päästöluokat huomioiva bussikaluston kilpailutuksen pisteytysjärjestelmä. Periaate on, että puhtaammasta kalustosta saa paremman korvauksen. Liikenteen tilaajia tietenkin kiinnostaa, johtaako kannustinjärjestelmä todellisuudessa päästöjen alentumiseen.

VTT on vuonna 2002 valmistuneen uuden raskaan kaluston pakokaasulaboratorion käyttöönoton jälkeen mitannut runsaasti raskaita ajoneuvoja, sekä busseja että kuorma-autoja, alustadynamometrissa (Nylund & Erkkilä 2005, Nylund (toim.) 2006).

Tähän asti VTT:llä mitatut ajoneuvot on koodattu, ts. VTT ei ole antanut julkisuuteen merkkikohtaisia mittaustuloksia. Tähän on useita syitä. VTT on mm. aluksi halunnut luoda mittavan tietokannan eri autotyyppeiden päästöistä käytettäväksi referenssinä. Lisäksi mittausmenetelmiä on kehitetty jatkuvasti mittaustarkkuuden parantamiseksi. Varsinkin polttoaineen kulutuksen mittauksissa on usein kyse hyvinkin pienien erojen todentamista. Tähän mennessä VTT on mitannut yhteensä noin 150 raskasta ajoneuvoa, 80 bussia ja 70 kuorma-autoa, alustadynamometrissa. Autot ovat edustaneet eri päästöluokkia Euro 1:stä vähäpäästöisiin Euro 5- ja EEV -autoihin.

Kysyntä merkkikohtaisille kulutus- ja päästölukemille on kuitenkin kovaa. Vain merkkikohtaisista tuloksista on hyötyä liikennöitsijän kalustovalinnoissa. Merkkikohtaisille polttoaineen kulutuslukemille olisi käyttöä myös mm. kuljetussektorin vapaehtoisissa energiansäästösopimuksissa (Kuorma- ja pakettiautoliikenteen energiansäästöohjelma sekä Joukkoliikenteen energiansäästöohjelma).

Suomen Paikallisliikenneliitto ry (PLL) otti syksyllä 2005 yhteyttä VTT:hen ehdotuksella uusien Euro 4- ja Euro 5 -dieselbussien polttoaineen kulutuksen mittaamisesta. PLL:n tavoitteena on tarjota jäsenyrityksilleen tietoa eri tekniikka- ja autovaihtoehtojen polttoaineenkulutuksesta todellisuutta vastaavissa ajo-olosuhteissa päätöksenteon pohjaksi.

Joukkoliikenteen edistäminen on kaikin tavoin kannatettavaa. Näin ollen VTT hyväksyi PLL:n ehdotuksen mittaushankkeen toteuttamisesta. Tämä hanke on ensimmäinen hanke, jossa VTT antaa julkisuuteen merkkikohtaisia polttoaineenkulutus- ja pakokaasuarvoja raskaalle kalustolle. Tämä tapahtuu PLL:n nimenomaisesta toivomuksesta.

Pelkkien polttoaineenkulutusarvojen ilmoittaminen ei tule kysymykseen, vaan arvioinneissa tulee ottaa kantaa myös pakokaasupäästöihin. Kalustovalintojen teko pelkkien polttoaineenkulutusarvojen perusteella saattaisi johtaa tilanteeseen, jossa suositaan sellaisia vähän polttoainetta kuluttavia autoja, jotka eivät todellisilta päästöiltään ole odotuksien mukaisella alhaisella tasolla. Yleensä esim. NO<sub>x</sub>-päästöjen vähentäminen moottoriteknisesti ja hiukkaspäästöjen vähentäminen pakokaasun jälkikäsitteilylaitteiden avulla lisäävät polttoaineen kulutusta.

Koska raskaan kaluston viralliset pakokaasusertifioinnit tapahtuvat erillismootoreilla moottorikoepenissä tiettyjä kuormasyklejä noudattaen, ei alustadynamometrissa tehdyillä pakokaasumittauksilla ole virallista statusta. VTT:llä on kuitenkin tässä vaiheessa, mm. em. tietokantaan perustuen, valmiudet ottaa alustadynamometrimittausten perusteella kantaa siihen, vastaavatko auton todellisen ajon päästöt ko. päästöluokan odotettua tasoa. Kaupunkibussien osalta tämä on kohtuullisen helppoa, sillä autojen tekninen toteutus, muoto ja paino ovat hyvin pitkälle yhteneväisiä. Lisäksi ajonopeudet tyyppiliikenteessä kaupunkiajossa ovat niin alhaiset, ettei esim. auton aerodynamiikalla tai renkailla ole kovinkaan suurta merkitystä päästöarvojen kannalta.

Tiivistetysti PLL:n hankkeen tavoitteet ovat:

- tuottaa PLL:n jäsenyritysten käyttöön luotettavaa tietoa uusien Euro 4- ja Euro 5 -dieselautojen todellisesta polttoaineen kulutuksesta muodossa l/100 km
- todentaa uusien dieselautojen pakokaasupäästöt todellisuutta vastaavissa ajotilanteissa
- verrata uusien autojen suorituskykyä Euro 3 -tasoihin autoihin
- saattaa julkisuuteen merkkikohtaiset suorituskykyarvot.

Hankkeen vastuut jakautuivat seuraavasti:

- ajoneuvojen, testisykliä ja testikuormien valinta, laskennassa käytetyt polttoaine- ja ureahinnat: Paikallisliikenneliitto
- ajoneuvojen tekninen kunto ml. vaihteistoasetukset: ajoneuvojen maahantuojat
- mittauksen suoritus ja tulosten laskenta: VTT
- mittaustulosten tulkinta ja raportointi: TEC TransEnergy Consulting Oy yhteistyössä VTT:n kanssa.

## 2. Uusi raskaiden dieselajoneuvojen tekniikka

Raskaiden ajoneuvojen päästötaso muuttuu oleellisesti Euro 4- ja Euro 5 -päästömääräysten astuessa voimaan. Euro 4- ja 5 -päästöluokissa on sama hiukkasraja, joka on 80 % alempi Euro 3 -tasoon verrattuna. Perusongelmana raskaan dieselmootorin päästöjen rajoittamisessa on NO<sub>x</sub>:n ja hiukkasten samanaikainen alentaminen. Aikainen ruiskutus vähentää hiukkasia ja polttoaineen kulutusta mutta lisää NO<sub>x</sub>-päästöä. NO<sub>x</sub>-PM-riippuvuus voidaan murtaa täysin vain pakokaasujen jälkikäsittelytekniikan avulla.

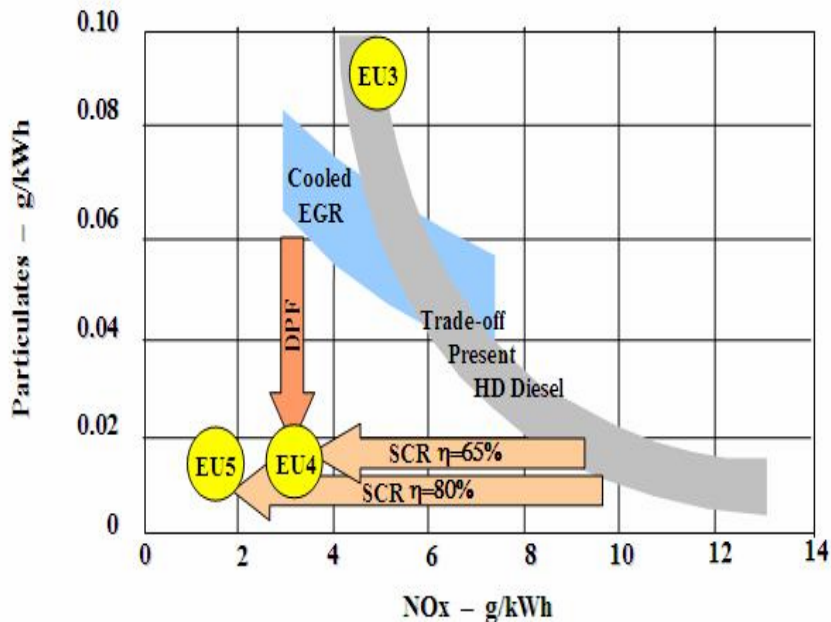
Vedenjakajaksi muodostuu se, mitä tekniikkaa käytetään NO<sub>x</sub>-päästöjen alentamiseksi, ts. rajoitetaanko NO<sub>x</sub>-muodostusta jo palotilassa (pakokaasujen takaisinkieritys eli EGR-tekniikka) vai käytetäänkö pakokaasujen jälkikäsittelytekniikkaa (ureakatalysaattori eli SCR-tekniikka). Hiukkaspäästön hallintaan jouduttaneen todennäköisesti ainakin EGR:n tapauksessa käyttämään jälkikäsittelyä (katalysaattoria, hiukkaskatalysaattoria tai hiukkassuodatinta).

Kuvassa 2 esitetään NO<sub>x</sub>- ja hiukkaspäästön riippuvuus Euro 3 -moottorille sekä EGR/SCR-strategiat Euro 4- ja Euro 5 -päästötasojen saavuttamiseksi. Kuvaan on merkitty alue tai käyrä, jolle Euro 3 -moottori ilman lisälaitteita ja -järjestelmiä voidaan säätää. Kuvaan on myös merkitty jäähdytetyn EGR:n toiminta-alue.

EGR-strategiaa käytettäessä moottorin NO<sub>x</sub>-päästö alenee, mutta hiukkaspäästö kasvaa (siirrytään kuvassa ylävasemmalle). Hiukkaspäästö voidaan kuitenkin alentaa katalysaattorin tai hiukkassuodattimen avulla. SCR-järjestelmällä itse moottori taas säädetään korkeammalle NO<sub>x</sub>-tasolle, jolloin hiukkaspäästö saadaan hallintaan (siirrytään kuvassa alaoikealle) polttoaineen kulutuksen vähentyessä samanaikaisesti. Urean määrää säätelemällä ja mahdollisesti SCR-katalysaattorin mitoitusta muuttamalla NO<sub>x</sub> voidaan säätää joko Euro 4- tai Euro 5 -tasolle.

SCR:n haittapuolena on, että järjestelmä edellyttää erillisen kemikaalin käyttöä, mikä taas tarkoittaa sekä jakelujärjestelmän tarvetta että erillisiä säiliöitä ajoneuvoissa. Ureaa tarvitaan n. 1 % polttoainemäärästä jokaista 1 g/kWh NO<sub>x</sub>-alenemaa kohti. SCR-katalysaattori ei myöskään toimi alhaisella kuormitustasolla, sillä pakokaasujen lämpötilan on oltava yli 200 °C, jotta ureaa voidaan syöttää katalysaattoriin. Pelkistimenä käytettävä AdBlue-urealiuos jäätyy -11 °C lämpötilassa, mistä aiheutuu lisäongelmia Suomen ilmastossa. Jos ureaa syötetään liikaa, pakokaasuihin muodostuu ammoniakkaa (NH<sub>3</sub>).

## Exhaust Emission Strategy - HD Diesel - Europe






Kuva 2. Vaihtoehtoiset strategiat Euro 4- ja Euro 5 -päästörajojen saavuttamiseksi (Danielsson 2005).

Myös hiukkaset ovat dieselmoottorin osalta kriittinen päästökomponentti. Euro 3 -taso ei edellyttänyt mitään jälkikäsittelyä hiukkasten osalta. Tilanne kuitenkin muuttuu Euro 4- ja 5 -määräysten myötä. EGR lisää periaatteessa hiukkaspäästöjä, joten hiukkasten vähentäminen pakokaasujen jälkikäsittelyllä voi hyvinkin olla tarpeen. SCR-järjestelmä vähentää jossakin määrin myös hiukkasia. Tästä huolimatta esim. Volvo on myynyt lähinnä Ruotsin markkinoille ns. Incentive (verohelpotus) SCR -autoja, joissa on sekä hiukkassuodatin että SCR-katalysaattori.

Tulevaisuudessa tilanne voi hyvinkin olla se, että dieselmoottoireissa tarvitaan sekä EGR, SCR että hiukkassuodatin (kuva 3).

## DaimlerChrysler Vision for Global Emissions Control Medium and Heavy Duty

		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
			Japan '05	EPA 2007			Post-Japan '05?	EPA 2010		
			Euro 4			Euro 5			Euro 6?	
	Medium Duty		EGR, DPF			EGR, DPF, SCR				
	Heavy Duty		EGR, SCR			EGR, DPF, SCR				
	Medium Duty		EGR	EGR, DPF		EGR, DPF, SCR				
	Heavy Duty		EGR	EGR, DPF		EGR, DPF, SCR				
	Medium Duty		SCR			SCR			EGR, DPF, SCR	
	Heavy Duty		SCR			SCR			EGR, DPF, SCR	

Kuva 3. Daimler-Chryslerin näkemys raskaiden moottoreiden pakokaasun puhdistuksen kehityksestä (Puetz 2005).

Eurooppalaisista valmistajista MAN ja Scania ovat valinneet EGR-tekniikan ensisijaiseksi vaihtoehdoksi. Eurooppalaisista valmistajista suurin osa kuitenkin suosii SCR-tekniikkaa (DAF, Daimler-Chrysler = Mercedes-Benz, IVECO, Volvo). Myös MAN ja Scania tarjoavat SCR-vaihtoehtoa tiettyihin kuorma-autojen moottorimalleihin. Molemmat ilmoittavat kehittävänsä EGR-tekniikkaan perustuvat uudet Euro 5 -moottorit.

MAN käyttää Euro 4 -tasoisissa EGR-moottoreissa PM KAT -nimistä hiukkaskatalyysaattoria (MAN 2006). Scania ilmoitti aluksi pystyvänsä saavuttamaan Euro 4 -tason ilman pakokaasujen jälkikäsitteilytekniikkaa kehittyneen polttoaineen ruiskutustekniikan avulla. Joissakin tiedotteissa on kuitenkin mainittu, että järjestelmään sisältyy huoltovapaa hapetuskatalyysaattori, jonka ensisijaisena tehtävänä on hajuhaittojen vähentäminen (Green Car Congress 2005).

### 3. VTT:n alustadynamometrimittaukset raskaalle kalustolle

Raskaille ajoneuvoille ei ole virallisia menetelmiä polttoaineen kulutuksen tai pakokaasupäästöjen mittaamiseksi kokonaisilla ajoneuvoilla. Viralliset moottorien tyyppihyväksyntätestetit tehdään moottoripenkissä huomioimatta ajoneuvon ominaisuuksia ja käyttötarkoitusta.

Tunnustettujen eurooppalaisten mittausmenetelmien puuttuessa VTT lähti rakentamaan raskaiden ajoneuvojen alustadynamometrimittauksiin omaa menetelmää ja hakemaan tälle menetelmälle akkreditointia. Henkilöautoille on olemassa mittausmenetelmät alustadynamometrissa tapahtuville pakokaasu- ja polttoaineenkulutusmittauksille. Menetelmissä on kuvattu alustadynamometrimittauksen yleiset periaatteet. Raskaiden ajoneuvomoottorien viralliset pakokaasumittaukset tehdään moottorimittauksina. Direktiiveissä 1999/96/EC ja 2005/55/EC on kuvattu ns. ETC (European Transient Cycle) -transientitesti, jossa pakokaasumittaus tehdään täyden virtaaman CVS-laimennustunnelia käyttäen. ETC-testaus vaaditaan kaikille moottorityypeille Euro 4 -vaatimustasosta lähtien. Vastaavaa mittausmenettelyä voidaan käyttää myös dynaamisissa ajoneuvomittauksissa.

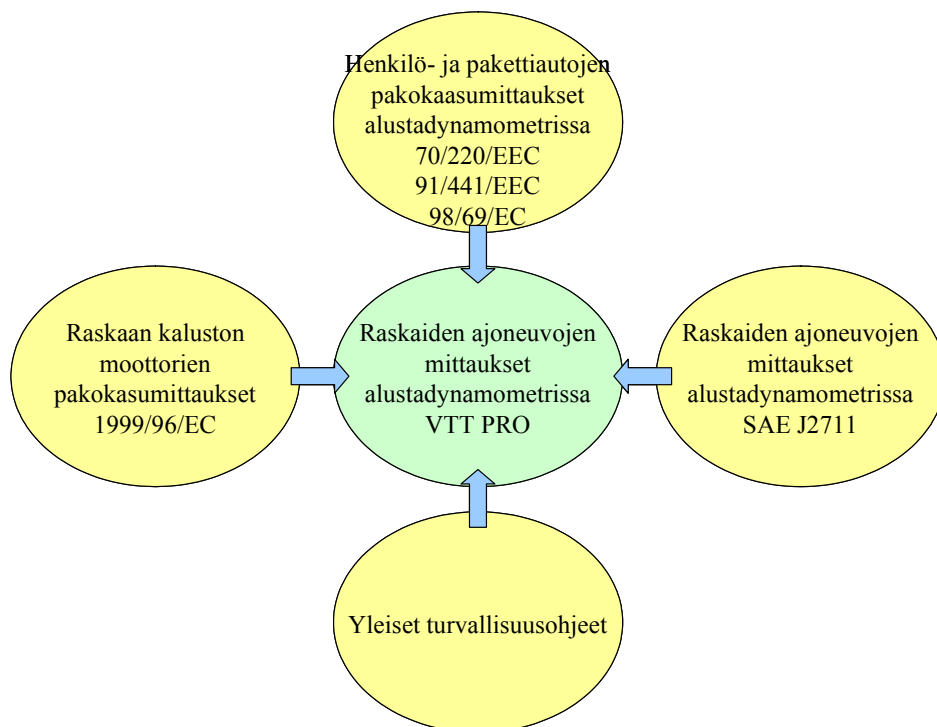
Amerikkalainen autoinsinöörien järjestö SAE on julkaissut suosituksen raskaiden ajoneuvojen mittauksista alustadynamometrissa, SAE J2711: Recommended Practice for Measuring Fuel Economy and Emissions of Hybrid-Electric and Conventional Heavy-Duty Vehicles. Lisäksi Yhdysvaltojen ympäristöviranomaisen Environmental Protection Agency (EPA) on määritellyt raskaiden ajoneuvojen alustadynamometrimittauksissa käytettävän syklin Urban Dynamometer Driving Cycle UDDS. (DieselNet: A)

VTT:n oma mittausmenetelmä, joka sisältää pakokaasu- ja polttoaineenkulutusmittaukset, rakentuu em. mainittujen menetelmien ja suositusten sekä VTT:n alustadynamometrillä tapahtuvaa mittaustoimintaa koskevien turvallisuusohjeiden varaan (kuva 4). Linja-autoille VTT käyttää ensisijaisena ajosyklinä saksalaista Braunschweig-kaupunkibussisykliä. (DieselNet: B)

VTT laati mittauksesta tarkan ohjeistuksen ja haki mittaukselle akkreditointia. Mittatekniikan keskus MIKES tarkasti mittauksen ja myönsi mittaukselle akkreditoinnin kesäkuussa 2003 (MIKES T125: In-house method, VTT Code MK02E).

Kokonaisen ajoneuvon polttoaineenkulutus todellisessa ajotilanteessa riippuu moottorin hyötysuhteen lisäksi ajoneuvon painosta, ajovastuksista, teknisistä ratkaisuista ja valinnoista sekä ajoprofiilista. Nämä kaikki tekijät tulevat huomioitua VTT:n mittauksissa. Polttoaineen kulutus- ja päästötulokset ilmoitetaan normaalisti ajomatkaan suhteutettuna muodossa l/100 km tai g/km.





*Kuva 4. VTT:n raskaan kaluston alustadynamometrimittauksen menetelmäohjeen rakenne.*

Vakioidut menetelmät mahdollistavat myös erilaisten tekijöiden, kuten voiteluöljyjen, renkaiden, lisälaitteiden ja vaihteistoasetusten, vaikutusten mittaamisen todellista ajoa vastaavissa tilanteissa.

Tulokset voidaan ilmoittaa myös suhteutettuina vetävillä pyörillä tehtyyn työmäärään, jolloin muotoa g/kWh olevat tulokset kuvaavat voimalinjan ominaisuuksia ottamatta kantaa esim. ajoneuvon painoon.

Mittausmenetelmän laatudokumentointiin sisältyy aina arvio mittausmenetelmien mitatausepävarmuudesta. Polttoaineenkulutuksen mittauksessa tarkkuuteen vaikuttavat itse auton ominaisuuksien lisäksi kulutuksen mittauksen (polttoaineen punnituksen) tarkkuus sekä dynamometrin tarkkuus (pyörintänopeus- ja momenttitiedosta muodostettava työn arvo). Pakokaasumittauksissa vaikuttavia tekijöitä ovat lisäksi mm. pakokaasuvirtauksen tilavuusvirran määrittystarkkuus ja itse analysaattoreiden tarkkuus.

VTT:n alustadynamometrimittauksen osalta mitatausepävarmuudet on arvioitu seuraavasti:

- g/kWh-muotoisen polttoaineen kulutuksen mitatausepävarmuus  $\pm 1$  %
- g/km-muotoisten pakokaasupäästöarvojen mitatausepävarmuus  $\pm 15$  %.

VTT on julkaissut mm. seuraavat raskaiden ajoneuvojen alustadynamometrimittauksia käsittelevät raportit ja julkaisut:

Nylund, N.-O., Erkkilä, K., Lappi, M. & Ikonen, M. (2004). Transient Bus Emission Study: Comparison of Emissions from Diesel and natural Gas Buses. Research Report PRO3/P5150/04. VTT Processes, Espoo, October 2004.  
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/jurelinkit/VTTNylund.pdf>.

Nylund, N.-O. & Erkkilä, K. (2005). Bussikaluston pakokaasupäästöjen evaluointi. Yhteenvetoraportti 2002–2004. Tutkimusselostus PRO3/P3018/05. VTT Prosessit, Espoo, huhtikuu 2005.  
<http://virtual.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2005/RAKEBUS.pdf>.

Nylund, N.-O. (toim.). (2006). Raskaan ajoneuvokaluston energiankäytön tehostaminen. Yhteenvetoraportti 2003–2005. Projektiraportti VTT-R-03125-06. VTT, Espoo, maaliskuu 2006.  
[http://www.motiva.fi/attachment/f16d4d543f99d7a59f54560a69063a0e/89f11e52fa79d77f86e10633e6b77d6f/HDenergia\\_yhteenvetoraportti\\_lopullinen.pdf](http://www.motiva.fi/attachment/f16d4d543f99d7a59f54560a69063a0e/89f11e52fa79d77f86e10633e6b77d6f/HDenergia_yhteenvetoraportti_lopullinen.pdf).

Laurikko, J., Erkkilä, K. & Nylund, N.-O. Generating Realistic Emission Factors For Heavy-Duty Vehicles – Methods And First Results. Paper F2006P238, Proc. FISITA 2006 World Automotive Congress, Yokohama, Japan, Oct 2006. (On CD-ROM only.)

Viimeksi mainittu julkaisu sai Yokohamassa Japanissa lokakuussa 2006 pidetyssä autotoinöörin maailmanjärjestön FISITAn konferenssissa kunniamaininnan parhaasta teknisestä esitelmästä.

## 4. Koeohjelma ja instrumentointi

### 4.1 Yleistä

Mittaukset tehtiin ajoneuvomittauksina VTT:n raskaan kaluston alustadynamometrissa. Sykleinä käytettiin dynaamisia, todellisia ajotilanteita kuvaavia ajosyklejä. Autoista mitattiin sekä polttoaineen kulutus että säännelty pakokaasupäästöt. PLL informoi etukäteen autojen maahantuoja mittaohjelmasta. Referenssiautojen (Euro 3) osalta maahantuoji edustajille tarjottiin mahdollisuus tarkastaa autojen kunto. Maahantuoji ohjeen mukaan mm. autojen ilmansuodattimet vaihdettiin ennen mittauksia. Varsinaiset testiautot (Euro 4 ja Euro 5) toimitettiin mittauksiin maahantuojajorganisaatioiden välityksellä, jolloin testiautojen säädöt ja kunto annettiin maahantuoji vastuulle. Niinpä VTT ei tehnyt näihin autoihin mitään erityisiä huolto- tai säätötoimenpiteitä. Maahantuojiille annettiin lisäksi mahdollisuus ottaa kantaa mittaustuloksiin.

Kaikki mittaukset toistettiin vähintään kahdesti, ja tulosten käsittelyssä käytettiin tulosten keskiarvoja.

### 4.2 Mitatut ajoneuvot

PLL valitsi hankkeessa mitatut autot. Autoja oli yhteensä seitsemän, joista kaksi oli Euro 3 -tasoisia referenssiautoja. Mitattujen autojen tyypit esitetään taulukossa 1. Autojen tarkemmat tekniset tiedot on esitetty liitteessä A. Taulukkoon merkitty paino on autojen punnittu omapaino.

*Taulukko 1. Mitatut autotyypit.*

Automalli	Auto-tyyppi	Päästö-luokka	Rajoitus-tekniikka	Vuosimalli	Omamassa (kg)	Ajokilometrit (km)
Scania L94 UB-B	4 x 2	Euro 3	-	2005	11 800	48 100
Volvo B7RLE/680	4 x 2	Euro 3	Hapettava katalyysaattori	2005	11 850	26 400
Mercedes-Benz Citaro	4 x 2	Euro 4	SCR	2006	11 760	10 800
Scania K9UB-B	4 x 2	Euro 4	EGR	2006	12 450	12 300
Volvo B7RLE/680	4 x 2	Euro 4	SCR	2006	11 860	13 300
Scania K-9 UB-B	6 x 2	Euro 4	EGR	2006	14 250	28 000
Volvo B12BLE	6 x 2	Euro 5	SCR	2006	14 480	1 800

Mittauksiin haluttiin saada myös Irisbusin SCR-auto, mutta tällaisen auton lainaus ei onnistunut.

Mittauksissa simuloitiin kaksiakselisten autojen osalta 1 500 kg kuormaa (noin neljänneskuorma, noin 20 henkilöä), kolmiakselisten autojen osalta 2 000 kg kuormaa (noin 27 henkilöä). Tutkimuksen tilaaja valitsi testeissä käytetyt kuormatasot.

Kaikissa autoissa käytettiin mittauksissa vetävällä akselilla VTT omia vakioituja mittarenkaita.

### **4.3 Poltto- ja voiteluaineet**

Mittauksissa käytettiin kaupallista, rikitöntä dieselpolttoainetta. Kaikissa autoissa käytettiin samaa polttoaine-erää. Polttoainetta ei analysoitu erikseen. Autot mitattiin niillä voiteluaineilla, jotka olivat autoissa VTT:lle toimitettaessa.

### **4.4 Instrumentointi**

Kaikki mittaukset tehtiin VTT:n raskaan ajoneuvokaluston tutkimuslaboratoriossa. Froude Consinen valmistaman alustadynamometrin telan 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 (transienttitestauksen). Inertian simulointi on säädettävissä alueella 2 500–60 000 kg.

Säännellyt pakokaasukomponentit mitattiin 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 henkilöautojen alustadynamometrimittaukset tai transienttityyppisten ETC-moottorien mittaukset.

Polttoaineen ja urean kulutus määritettiin gravimetrisesti (punnitsemalla).

Lisätietoja mittauslaitteista ja mittausmenetelmistä yleensäkin on mm. luvussa 3 mainituissa raporteissa.

### **4.5 Testisyklit**

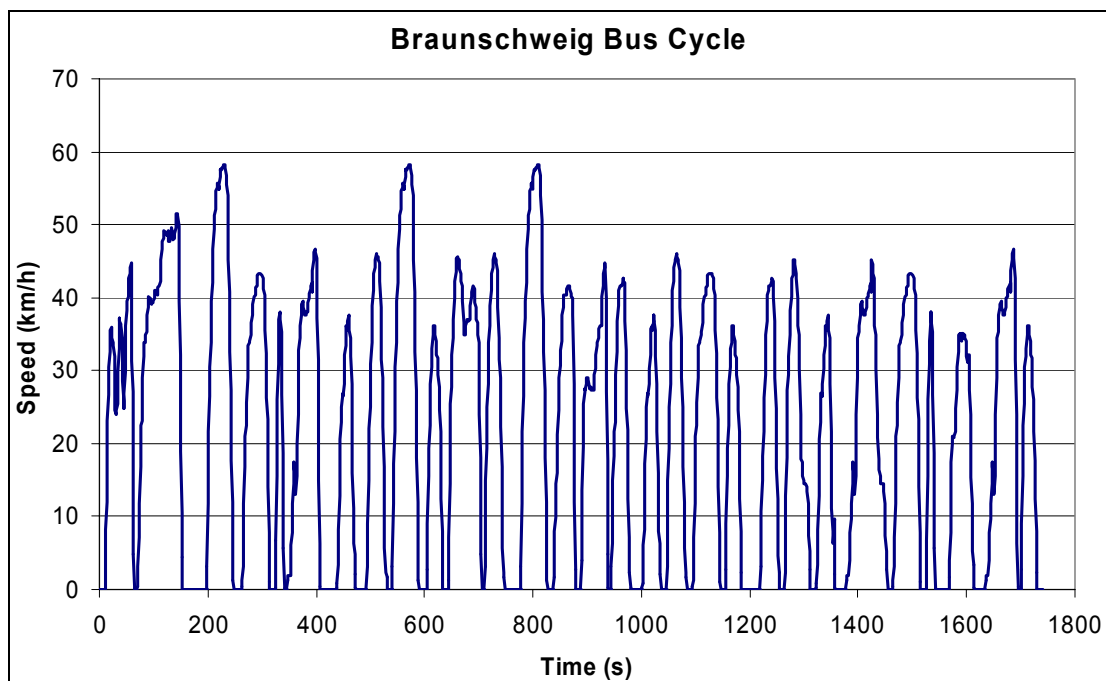
Alustadynamometrikokeen aikana kuljettaja seuraa annettua nopeus/aikaprofiilia eli ajosykliä. Mittaukset tehtiin kolmella dynaamisella, todellista ajoa kuvaavalla syklillä. Sykliä tiedot esitetään taulukossa 2. Braunschweig-sykli on Saksassa kehitetty keskus-

ta-ajoa kuvaava bussisykli. Helsinki 2- ja Helsinki 3 -syklit on muodostettu kuvaamaan ajoa Helsingissä. Syklit perustuvat todellisten ajotapahtumien analysointiin. Helsinki 2 -sykli kuvaa Braunschweig-syklin tapaan keskusta-ajoa, ja Helsinki 3 -sykli taas sisältää väylätyyppistä ajoa kuvaavia elementtejä. Syklit esitetään graafisesti kuvissa 5–7.

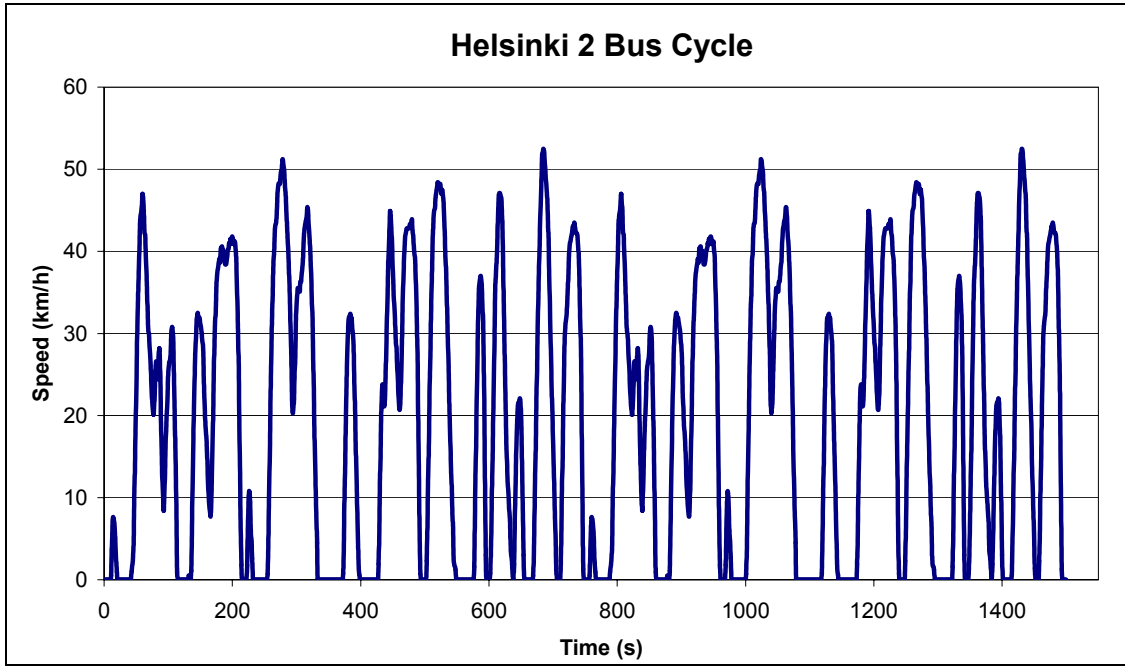
Kaikki autot mitattiin myös UITP:n SORT 2 -syklillä. SORT-syklit on määritelty matkan ja nopeuden perusteella, kun taas alustadynamometrisykli on muodostettu nopeus/aikapareina. Tästä muodostuu se ongelma, että alustadynamometriin siirrettynä SORT-sykliden toteutuma riippuu auton ominaisuuksista, ja näin ollen eri autoilla saadut tulokset eivät välttämättä ole vertailukelpoisia keskenään. Tästä syystä SORT 2 -syklin tuloksia ei esitetä tässä raportissa. SORT-sykliden sovittaminen alustadynamometrimittauksiin edellyttäisi lisää menetelmäkehitystä ja eri autotyypeillä tehtäviä mittauksia maantiellä.

*Taulukko 2. Ajosykliden tiedot.*

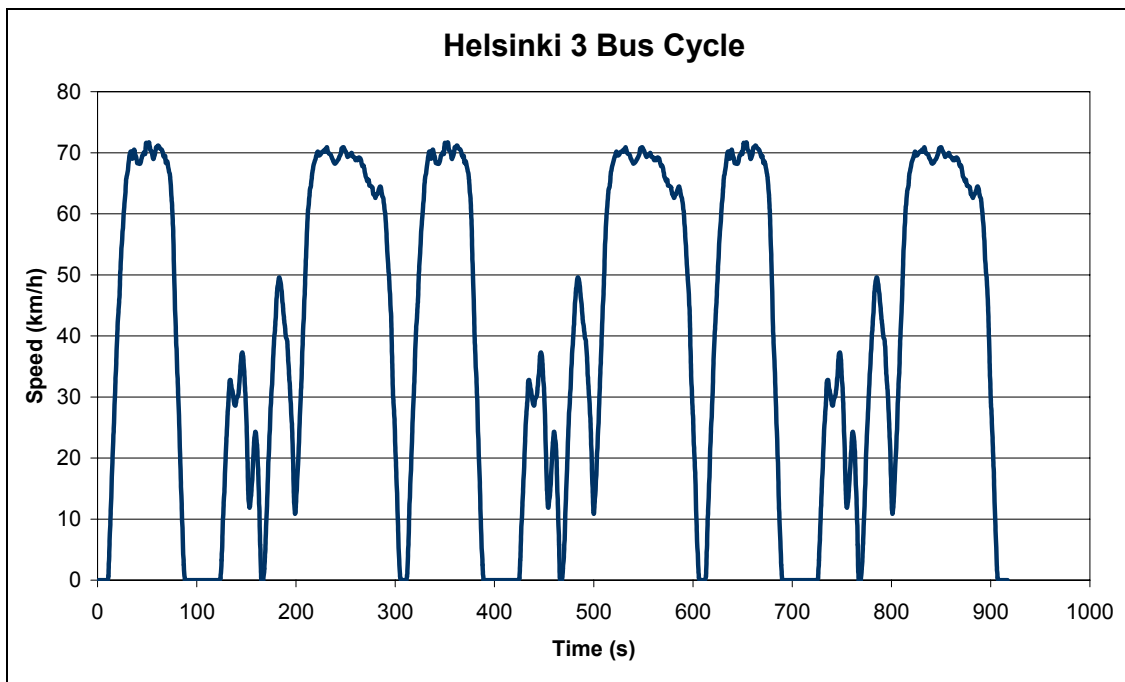
	Pituus (km)	Kesto (s)	Keskinopeus (km/h)	Maksiminopeus (km/h)	Joutokäynnin osuus (%)
Braunschweig (BSC)	10 873	1 740	22,5	58,2	25
Helsinki 2	8 157	1 503	19,7	52,5	28
Helsinki 3	10 334	1 917	41,2	71,7	15



*Kuva 5. Braunschweig-syklin nopeus/aikaprofiili.*



*Kuva 6. Helsinki 2 -syklin nopeus/aikaprofiili.*



*Kuva 7. Helsinki 3 -syklin nopeus/aikaprofiili.*

## 5. Laskentaperiaatteet

### 5.1 Yleistä

Mittauksissa ja mittaustulosten laskennassa joudutaan huomioimaan mm. seuraavat tekijät:

- auton ajovastukset yleisesti
  - ajoneuvon massa
  - ajoneuvon massan vaikutus auton ajovastuksiin
  - rengastuksen vaikutus ajovastuksiin
- mittaussyklin toteutuma
- päästötarkasteluissa apulaitteiden, voimansiirron ja renkaiden aiheuttamat tehohäviöt.

Mittaukset ja laskenta tulee toteuttaa siten, että ajoneuvon voimalinjan ominaisuudet (moottori, vaihteisto, välityssuhteet, renkaat jne.), ajoneuvon massa ja auton käytännön suorituskyky heijastuvat kulutus- ja päästölukemiin. Jälkimmäinen kohta tarkoittaa sitä, että auto, jossa on käytetty esim. harvaa perävälitystä tai erikoista vaihteiston ohjelmointia, ei saa saada kulutusetua, jos se ei kykene täyttämään mittaussykliä vaatimuksia. Mittaussyklit kuvaavat nimittäin varsin hyvin todellista ajoa. Toteutunut työmäärä otetaan huomioon tulosten skaalauksessa.

### 5.2 Ajovastusten määrittely

Dynaamisessa kaupunkiajossa ajoneuvon massan kiihdyttäminen dominoi tehon tarvetta. Toisaalta ilmanvastuksen osuus kaupunkinopeuksilla on varsin pieni.

VTT on aikaisemmissa projekteissa toteuttanut erityyppisten autojen ajovastusten määrittelyä maantiellä tehdyillä rullauskokeilla. Näin tehtiin myös kaksi- ja kolmeakselisille kaupunkibusseille. Mittaukset tehtiin sekä tyhjällä että täysin kuormatulla autolla (Nylund (toim.) 2006).

Nyt puheena olevassa tutkimuksessa kaikille autoille käytettiin laskennallisia, em. rullauskokeisiin perustuvia ajovastusarvoja.

Tasaisen nopeuden ajovastusfunktio on seuraavan muotoinen:

$$F = f_0 + f_1 \cdot v + f_2 \cdot v^2, \text{ missä } f_0, f_1 \text{ ja } f_2 \text{ ovat vakioita, } v = \text{nopeus.}$$

Lause sisältää vakiotermin, nopeuteen verrannollisen termin ja nopeuden neliöön verrannollisen termin. Viimeinen termi kuvaa lähinnä ilmanvastusta. Auton massa vaikuttaa suoraan  $f_0$ -termiin, ja vähäisessä määrin myös  $f_1$ -termiin ja marginaalisesti  $f_2$ -termiin.

Lisäksi dynaamisessa ajossa on huomioitava auton inertiaasta johtuva hitausvoima:

$$F_{\text{dyn}} = m \cdot a, \text{ missä } m = \text{ajoneuvon massa, } a = \text{kiihtyvyys.}$$

Rullauskokeiden avulla saatiin määriteltyä  $f_0$ -,  $f_1$ - ja  $f_2$ -termit tyhjälle ja kuormatulle autolle. Auton tarkka massa saadaan punnituksen avulla.

Periaatteet ajovastuksen laskennallisissa määrittelyissä olivat seuraavat:

- kaksi- ja kolmeakseliset autot tarkasteltiin erikseen
- luokan sisällä ilmanvastus arvioitiin samaksi kaikille autoille
- renkaiden aiheuttama vastus oli sama kaikille autoille (vakioidut mittarenkaat, koko auton suosituksen mukaan, lisäksi kaikissa tapauksissa taka-akselille lisättiin 1 000 kg staattista kuormaa)
- ajovastusarvot määritettiin auton massan perusteella
  - massa vaikuttaa suoraan hitausvoimaan
  - lisäksi huomioitiin massan vaikutus  $f_0$ -,  $f_1$ - ja  $f_2$ -termeihin interpoloimalla rullauskokeissa määritetyistä arvoista.

Näin saatiin muodostettua ajovastusarvot, jotka hyvin tarkasti huomioivat auton todellisen punnitun painon.

### 5.3 Polttoaineen kulutuksen mittaaminen

Primäärinen mittaussuure on punnitsemalla mittauksen aikana kulutettu polttoainemäärä. Tämä voitaisiin periaatteessa suhteuttaa suoraan mittauksen aikana ajettuun matkaan. Tällöin ei kuitenkaan huomioitaisi sitä, miten ajosykli on toteutunut. Tasaisella matalalla nopeudella päästään pienempään kulutukseen kuin saman keskinopeuden antavalla epätasaisella, kiihdytyksiä ja hidastuksia sisältävällä ajolla.

Kulutettu polttoainemäärä voidaan suhteuttaa vetäviltä pyöriltä mitattuun työmäärään. Tuloksen muoto on tällöin muotoa g/kWh. Tulos siis vastaa moottorikokeiden raportointimuotoa sillä erotuksella, että vetäviltä pyöriltä mitattuun arvoon sisältyy niin



moottorin, apulaitteiden, voimansiirron kuin renkaidenkin häviöt. Arvo kuvaa siis periaatteessa koko voimansiirtolinjan tehokkuutta muttei vielä huomioi auton painoa.

Vertailukelpoisia koko ajoneuvon ominaisuuksia kuvaavia kulutuslukemia muodostettaessa on siis huomioitava voimalinjan tehokkuus, auton massa ja syklin toteutuminen verrattuna tavoitteeseen.

Vertailukelpoiset kulutuslukemat muodostetaan seuraavasti:

- Määritetään kokeen aikana kulutettu polttoainemäärä ja vetäviltä pyöriltä määritely todellinen työ ("raakadata g/kWh takapyörältä").
- Suhteutetaan raakadata kunkin autoryhmän (2- ja 3-akseliset autot erikseen) keskimääräiseen työarvoon, jolloin huomioidaan toteutuneiden työmääräerojen vaikutus ominaiskulutukseen (ks. kuva 8).
- Muodostetaan em. arvoista ajomatkaan suhteutettu litramääräinen polttoaineen kulutusarvo (autoryhmälle lasketun keskimääräisen työn ja keskimääräisen matkan avulla).
- Auton massan vaikutus kulutukseen huomioidaan syklikohtaisen kuormariippuvuuden perusteella (määritely mittaamalla kulutukset eri kuormalla edustavalla autolla, ks. kuva 9).

Taulukossa 3 esitetään koeautojen keskimääräiset työarvot eri testisykleille sekä mittauksissa toteutunut autokohtainen työmäärä. Kaksiakselisen Euro 4 -Scanian suuri toteutunut työ johtuu ensisijaisesti auton painoerosta muihin autoihin verrattuna. Scania kykenee myös toteuttamaan tavoitteellisen ajoprofiilin.

*Taulukko 3. Testiautoille muodostetut keskimääräiset työmäärät sekä mittauksissa toteutunut työmäärä.*

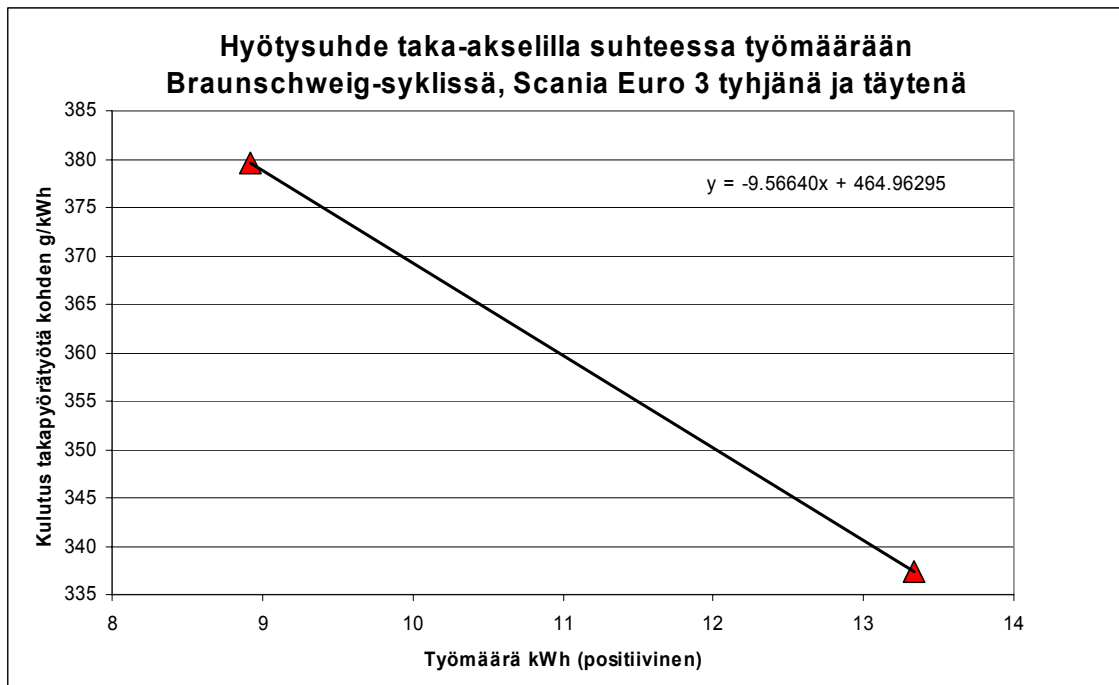
Automalli	Testipaino (kg)	Braunschweig (kWh)	Helsinki 2 (kWh)	Helsinki 3 (kWh)
2-akseliset	omapaino + 1 500	keskimääräinen 9,91	keskimääräinen 8,42	keskimääräinen 8,39
Scania L94 UB-B	13 300	9,604	8,153	8,068
Volvo B7RLE/680 E3	13 350	9,788	8,332	7,994
Mercedes-Benz Citaro	13 260	9,640	8,257	8,258
Scania K9UB-B	13 950	10,733	8,935	9,148
Volvo B7RLE/680 E4	13 360	9,808	8,410	8,476
3-akseliset	omapaino + 2 000	12,65	10,51	10,37
Scania K-9	16 250	12,792	10,530	10,221
Volvo B12BLE	16 480	12,510	10,480	10,526

Polttoaineen kulutuksen laskennassa tiheydeksi on oletettu  $840 \text{ kg/m}^3$  ja lämpöarvoksi  $42,5 \text{ MJ/kg}$ .

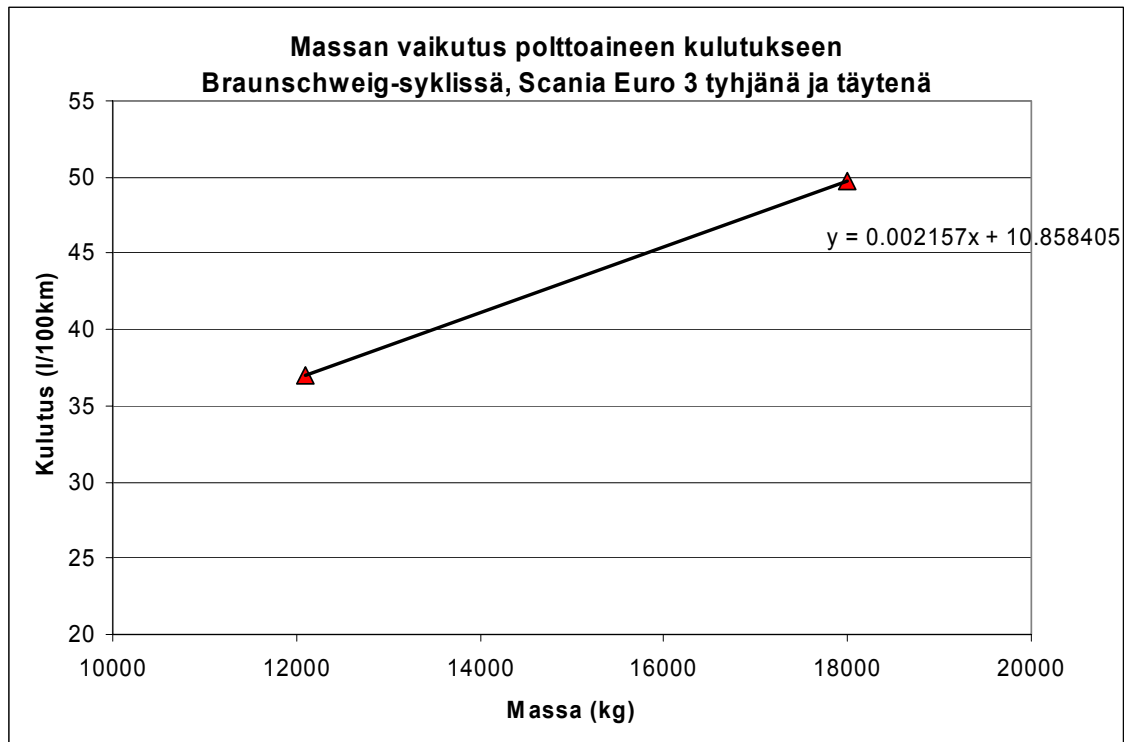
Kuvissa 8 ja 9 tarkastellaan työmäärän ja auton massan vaikutuksia kulutuslukemiin. Esimerkkiauto on kaksiakselinen Scania Euro 3, ja syklinä on Braunschweig.

Kuvassa 8 esitetään vetäviltä pyöriltä mitatun polttoaineenkulutuksen riippuvuus Braunschweig-syklissä toteutuneesta työn määrästä. Työn määrän kasvaessa häviötehojen suhteellinen osuus jää pienemmäksi, mikä parantaa ominaiskulutusta. Tämä johtaa siihen, että tyhjältä ja täyteen kuormatusta autosta mitattujen ominaiskulutuksien ero on noin 10 %. Voimalinjan hyötysuhdetarkasteluissa tämä on otettava huomioon, muuten raskas auto saa ylimääräistä hyötyä ominaiskulutusta tarkasteltaessa.

Kuvassa 9 on massan vaikutus litramääräiseen polttoaineen kulutukseen. 1 000 kg lisämassaa nostaa polttoaineen kulutusta noin  $2 \text{ l}/100 \text{ km}$  tai suhteellisen arvona noin 5 %. Yhteys on muodostettu todellisista autokokeista. Näin ollen tarkastelu huomioi sekä auton massan kulutusta lisäävän vaikutuksen että myös sen, että kuormituksen lisääntyessä moottorin ominaiskulutus laskee. Kuormituksen (tehdyn työn) vaikutus ominaiskulutukseen kompensoitiin laskennan alkuvaiheessa (suhteutus keskimääräiseen työn arvoon), mutta tämä tulee lopuksi huomioitua kulutuksen massariippuvuuden kautta.



Kuva 8. Braunschweig-syklissä tehdyn työmäärän vaikutus vetopyöriltä mitattuun polttoaineen ominaiskulutukseen.



Kuva 9. Ajoneuvon massan vaikutus litramääräiseen polttoaineen kulutukseen Braunschweig-syklissä.

## 5.4 Pakokaasupäästöt

Direktiivin 1999/96/EC mukainen pakokaasumittausjärjestelmä antaa tuloksena säänneltyjen pakokaasukomponenttien (hiilimonoksidi CO, kokonaishiilivedyt THC, typen oksidit NO<sub>x</sub> ja hiukkasmassa PM) massan kokeen aikana. Standardin mukaisessa moottoridynamometritestissä päästöt suhteutetaan moottorin kampiakselilta mitattuun työhön, ja tulokset ilmoitetaan muodossa g/kWh.

Auton alustadynamometrimittauksessa päästökomponeenttien massa voidaan suhteuttaa joko ajomatkaan (muoto g/km) tai esim. vetäviltä pyöriltä mitattuun työhön (muoto g/km). Ajomatkaan suhteutetut päästöarvot ovat käyttökelpoisia mm. päästöinventaaroiden teossa, koska bussien ajosuoritteet ovat hyvin tiedossa.

Alustadynamometrimittauksista saadaan siis tietoa siitä, mitkä eri ajoneuvojen päästöt ovat todellisuutta vastaavissa ajotilanteissa. On mielenkiintoista selvittää, miten alustadynamometrissa mitatut päästöt suhtautuvat eri päästöluokkien raja-arvoihin. Tällöin on pystyttävä muodostamaan linkki moottoriarvojen ja ajoneuvosta mitattujen päästöarvojen välille. Kun halutaan vähentää päästöjä esim. taajamailman laadun parantamiseksi, ei riitä, että moottori täyttää tietyt päästörajat moottoripenkissä testattuna. Myös todelli-

sia ajotilanteita vastaavien päästöjen tulisi alentua uusiin ja puhtaampiin moottorityyppiin siirryttäessä.

Kaikissa nykymoottoreissa on sähköinen moottorin ohjaus, ja tämän myötä ns. CAN-tietoväylä. CAN-väylältä on mahdollista lukea mm. moottorin hetkellinen teho. Näin moottorin tekemä työ tietyssä ajoneuvon testisyklissä voidaan laskea integroimalla teho-tieto syklin yli. Tällä tavoin päästöt voidaan kohtuullisella tarkkuudella moottoridynamometrimittausten tapaan suhteuttaa myös suoraan moottorin kampiakselilla tehtyyn työhön.

Braunschweig-syklissä linja-auton moottorin tekee kilometriä kohti seuraavat työmäärät:

- kaksiakselinen auto neljänneskuorma (1 500 kg): 1,7 kWh/km
- kaksiakselinen auto puolikuorma (3 000 kg): 1,8 kWh/km
- kolmiakselinen auto neljänneskuorma (2 000 kg): 2,0 kWh/km.

Moottorilta luettu integroitu työ voidaan myös suhteuttaa vetäviltä pyöriltä mitattuun työhön. Näin tarkastellen moottorin työ on noin 1,8-kertainen vetopyörätyöhön verrattuna johtuen apulaitteiden, voimansiirron ja renkaiden häviöistä.

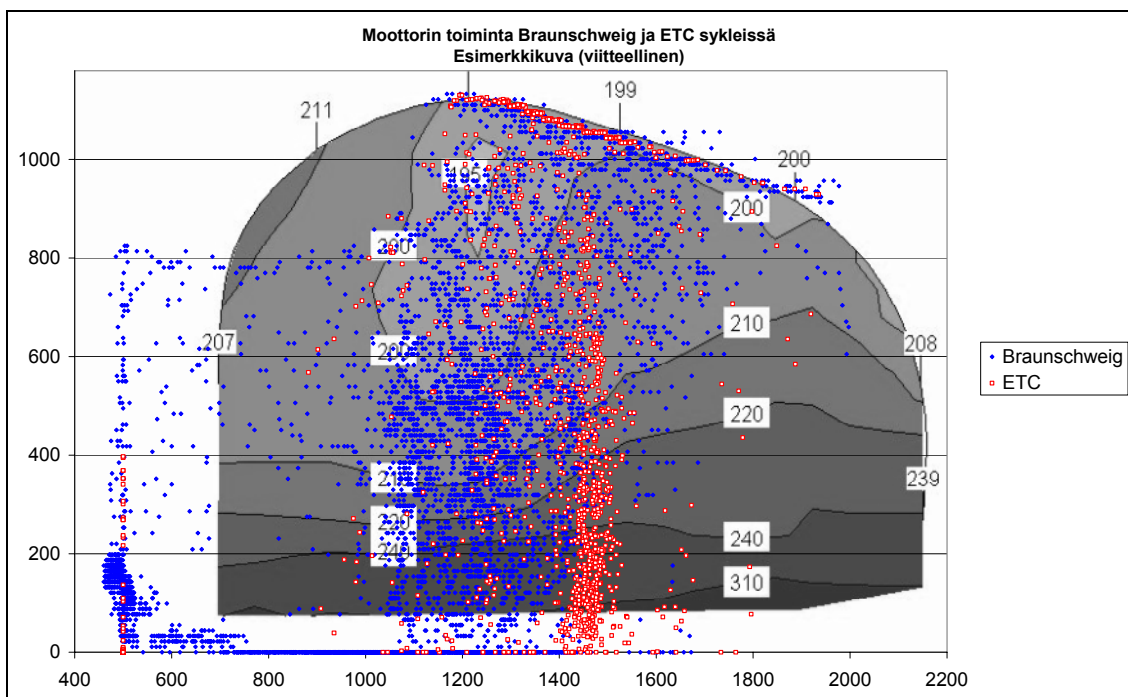
Nämä tarkastelutavat mahdollistavat siis automittausten päästötulosten suhteuttamisen moottorimittausten sertifiointiarvoihin. Tässä tutkimuksessa päästöjen tarkastelu perustuu vetäviltä pyöriltä mitattujen ominaispäästöjen suhteuttamiseen.

Vertailuissa on kuitenkin huomioitava, että moottorin kuormitus standardin mukaisessa ns. ETC-transientititestissä poikkeaa merkittävästi todellisuutta vastaavien alustadynamometrisyklar kuormituksesta. ETC painottaa korkeampia pyörintänopeuksia kuin millä moottori kaupunkibussissa toimii (kuva 10). Näin ollen hyväksytysti sertifioitu moottori saattaa autotestissä antaa selvästi oletettua suuremmat päästöt.

Yhdysvaltain pakokaasulainsäädännössä on käytössä ns. not-to-exceed (NTE) -vaatimus. Tämä vaatimus tarkoittaa sitä, etteivät moottorin päästöt missään tilanteessa (eri tavoilla ajettuna tai kuormitettuna) saa ylittää päästöjen raja-arvoja kerrottuna kertomella 1,25. (DieselNet: C)

Kiristävillä päästömääräyksillä halutaan tietenkin vähentää päästöjä todellisessa ajossa. Näin ollen NTE-tyyppistä vaatimusta pitäisi voida soveltaa myös Euroopassa.

Tässä tutkimuksessa on edellä esitettyjen periaatteiden perusteella otettu kantaa siihen, miten hyvin eri autot täyttävät eri päästöluokkien raja-arvot. Tarkastelu on rajattu tärkeimpiin päästöihin, ts. typen oksideihin ja hiukkasiin. Tarkastelu on tehty yleisesti käytössä olevalle Braunschweig-syklille.



Kuva 10. Moottorin toiminta Braunschweig- ja ETC-sykleissä (viitteellinen).

Vertailuarvot muodostettiin seuraavasti:

- Standardin mukaisen moottorikokeen (ETC) raja-arvo kerrotaan voimalinjan häviöt huomioivalla kertoimella (1,8).
- Lisäksi raja-arvo kerrotaan NTE-ajattelun mukaisella kertoimella 1,25.
- Kokonaiskertoimeksi saadaan näin 2,25.
- Kertoimella kerrottua raja-arvoa verrataan vetäviltä pyöriltä määritettyyn ominaispäästöön.

Taulukossa 4 esitetään näin määritellyt päästöjen vertailuarvot.

Taulukko 4. Päästöjen vertailuarvojen muodostaminen.

Vertailuarvo ETC * 2,25	Euro 3 (g/kWh)	Euro 4 (g/kWh)	Euro 5 (g/kWh)
NO <sub>x</sub>			
raja-arvo	5,0	3,5	2,0
häviöiden huomiointi	9,0	6,3	3,6
vertailuarvo	11,3	7,9	4,5
PM			
raja-arvo	0,16	0,03	0,03
häviöiden huomiointi	0,29	0,05	0,05
vertailuarvo	0,36	0,07	0,07

Tuloksissa on esitetty sekä ajomatkaan että vetopyörätyöhön suhteutetut päästöarvot. Matkaan suhteutetuissa arvoissa ei ole huomioitu mahdollisia eroja työmäärissä, vaan arvot on suhteutettu ainoastaan testissä todellisuudessa ajettuun matkaan.

Tuloksia arvioitaessa on muistettava, että pakokaasumittausten mittausepävarmuus on noin  $\pm 15$  %.

## 6. Polttoaineen kulutukseen liittyvät tulokset

### 6.1 Polttoaineen kulutus

Tuloskuivissa autot on esitetty seuraavassa järjestyksessä:

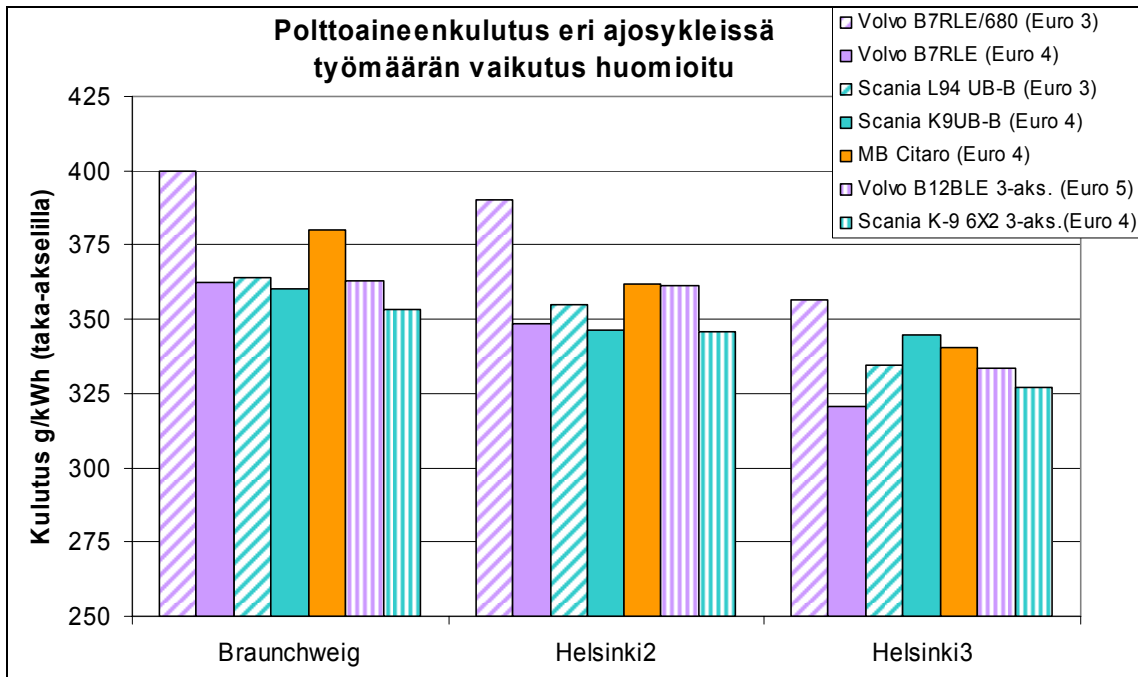
Kaksiakseliset autot:

- Volvo Euro 3
- Volvo Euro 4
- Scania Euro 3
- Scania Euro 4
- Mercedes-Benz Euro 4.

Kolmiakseliset autot:

- Volvo Euro 5
- Scania Euro 4.

Kuvassa 11 esitetään eri autojen vetäviltä pyöriltä mitattu polttoaineen ominaiskulutus. Nämä arvot kuvaavat voimalinjan tehokkuutta mutta eivät vielä ota kantaa auton painoon.



Kuva 11. Vetäviltä pyöriltä määritetty voimalinjan tehokkuutta kuvaava polttoaineen ominaiskulutus (g/kWh) eri ajosykleissä.

Ominaiskulutus on autosta ja syklistä riippuen 321–400 g/kWh. Hyötysuhteeksi muutettuna nämä arvot ovat 26–21 %. Toisin sanoen dynaamisessa bussisyklissä keskimäärin vajaat 25 % polttoaineen sisältämästä energiasta saadaan muutettua autoa eteenpäin vieväksi työksi vetävillä pyörillä.

Moottorien valmistajat ilmoittavat yleensä moottorin minimikulutukseksi arvoja, jotka ovat tasoa 190 g/kWh, mikä merkitsee noin 45 %:n hyötysuhdetta.

Braunschweig- ja Helsinki-syklit antavat likimain samanlaiset ominaiskulutusarvot. Helsinki 3 -syklin keskinopeus on kahta muuta sykliä korkeampi, mistä on seurauksena alempi polttoaineen kulutus. Helsinki 3 -sykli kuitenkin sisältää varsin kovia kiihdytyksiä, joista kaikkia autot, mm. vaihteistoasetuksista johtuen, eivät täysin kykene suoriutumaan.

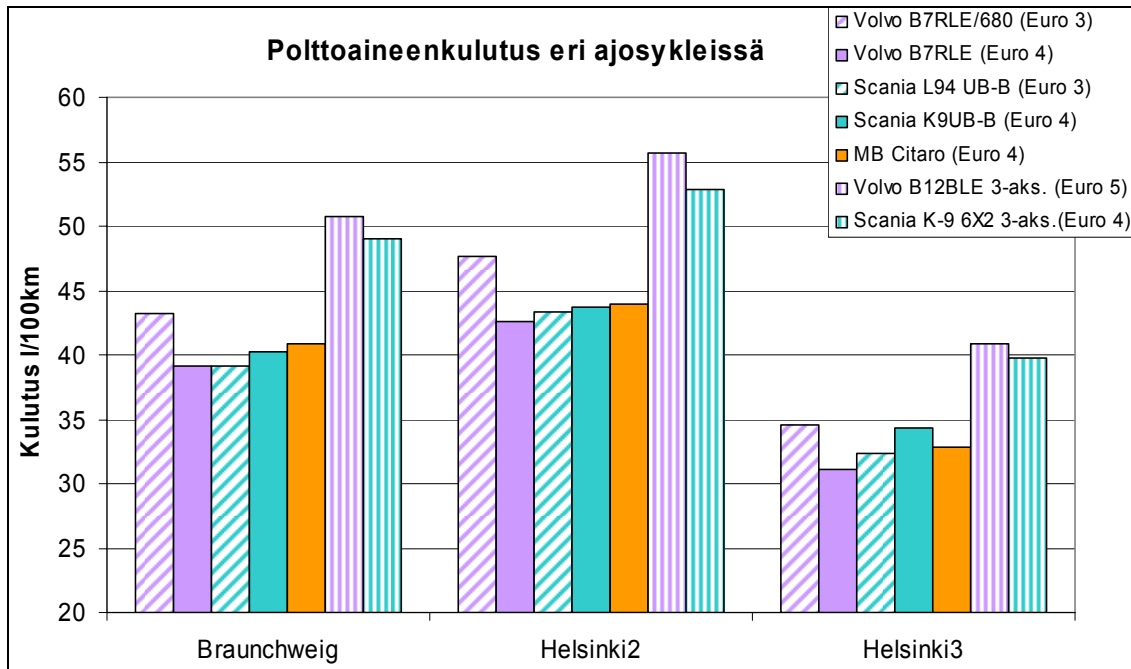
Eri sykleissä moottoreiden väliset kulutuserot ovat suurimmillaan 11–13 %. Volvon Euro 3 -moottori antaa kaikilla sykleillä suurimman kulutuksen. Volvon Euro 4 -tasoinen moottori ja kolmiakselisen Scanian Euro 4 -moottori antavat keskimäärin alhaisimman kulutuksen. Parhaimmillaan Volvon Euro 4 -moottori on väyläajoa kuvaavassa Helsinki 3 -syklissä. Jos ei Volvon Euro 3 -moottoria oteta huomioon, kulutuserot ovat enimmillään 5–8 %.

Volvon Euro 4 SCR -moottori kuluttaa merkittävästi vähemmän polttoainetta kuin vanhempi Euro 3 -tasoinen moottori. Scanian tapauksessa Euro 4 -moottorit antavat Braunschweig- ja Helsinki 2 -sykleissä 3–5 % pienemmän polttoaineenkulutuksen kuin Euro 3 -moottori; kaksiakselisen auton kulutus taas kasvaa hieman (3 %) Helsinki 3 -syklissä.

Mercedes-Benzin Euro 4- ja Volvon Euro 5 -moottorit kuluttavat Volvon ja Scanian Euro 4 -moottoreihin verrattuna hieman enemmän polttoainetta. Ero on Helsinki 2 -syklissä n. 3 %. Tilanne kuitenkin tasoittuu Helsinki 3 -syklissä, jossa Mercedes-Benzin ja Volvon Euro 5 -moottorien kulutukset laskevat suhteessa muihin moottoreihin.

Kuvassa 12 on autojen ajomatkaan suhteutettu litramääräinen kulutus, joka huomioi auton painon.





Kuva 12. Litramääräinen ajomatkaan suhteutettu kulutus (l/100 km). Litramääräinen kulutus kertoo autojen todelliset kulutusero ja huomioi myös painoerot (g/kWh arvoissa auton painosta johtuva erilainen tehontarve ei näy).

Kaksi- ja kolmiakselisille autoille eri syklit antavat seuraavat keskimääräiset litramääräiset kulutukset:

- Braunschweig: 41/50 l/100 km
- Helsinki 2: 44/54 l/100 km
- Helsinki 3: 33/40 l/100 km.

Litramääräiset kulutuserot ovat kaksiakselisten autojen osalta suurimmillaan 10–12 %, Volvon Euro 3 -auton kuluttaessa tälläkin tarkastelutavalla eniten polttoainetta. Jos Volvon Euro 3 -autoa ei oteta huomioon, kulutuserot ovat 3–11 %. Ero on suurimmillaan Helsinki 3 -syklissä. Volvon Euro 4 -auto kuluttaa keskimäärin vähiten polttoainetta.

Scanian kaksiakselinen Euro 4 -auto painaa noin 650 kg enemmän kuin Euro 3 -versio, mikä heijastuu myös matkaan suhteutettuihin kulutusarvoihin. Painava auto kumoo tehokkaan voimalinjan antaman edun.

Scanian Euro 4 -auton kulutus on eri sykleissä keskimäärin samaa tasoa kuin Mercedes-Benzin. Braunschweig-syklissä Scanian Euro 3 ja Volvon Euro 4 kuluttavat yhtä paljon polttoainetta, noin 39 l/100 km, Mercedes-Benzin Euro 4 ja Scanian Euro 4 keskimäärin 40,5 l/100 km, eli noin 3 % enemmän.

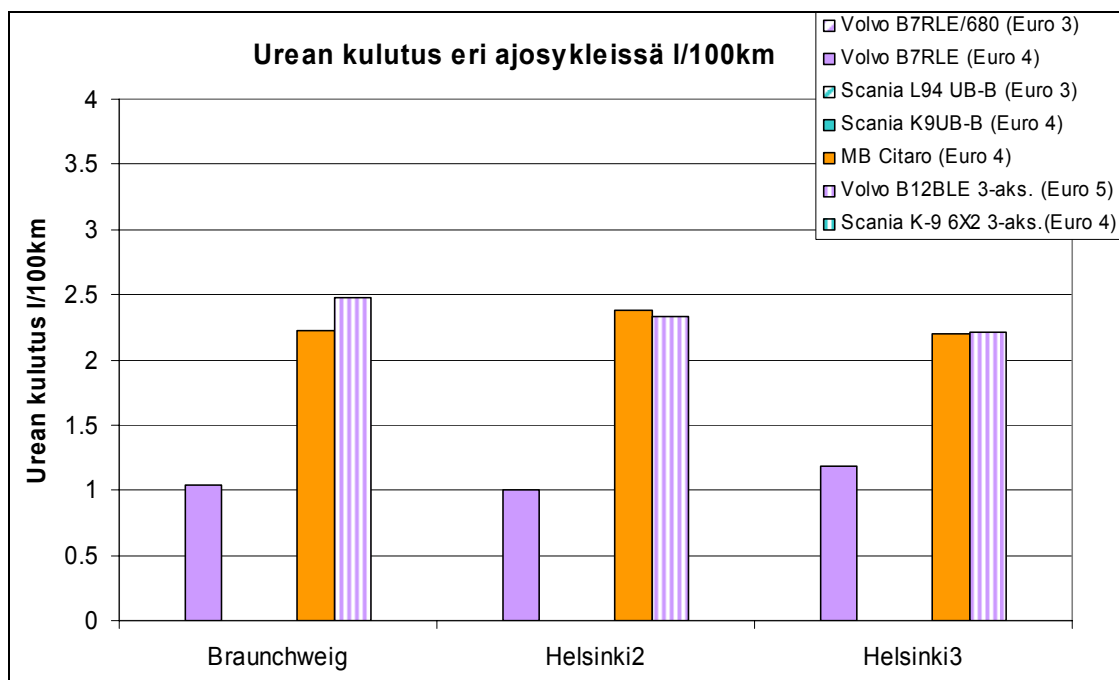
Kulutuksen suhteen kolmiakseliset autot erottuvat luonnollisestikin omaksi ryhmäkseen. Kulutusero on 3–5 % Scanian hyväksi.

## 6.2 Urean kulutus

SCR-autoissa joudutaan käyttämään urealiuosta (AdBlue) pelkistimenä, jotta katalysaattori pystyisi vähentämään typen oksideja. Urean määrä riippuu mm. moottorin kuormituksesta ja pakokaasujen lämpötilasta.

Kaikki ajetut syklit ovat sellaisia, että pakokaasujen lämpötila on yli 200 °C, ts. ureaa voidaan ruiskuttaa ja pelkistysreaktiot toimivat. Kuvassa 13 on urean litramääräinen kulutus eri sykleissä.

Volvon Euro 4 -auto käyttää noin litran ureaa 100 km:llä, joten urean kulutus on 2–4 % polttoaineen kulutuksesta. Suhteessa eniten ureaa kuluu Helsinki 3 -syklissä. Mercedes-Benzissä ja Volvon Euro 5 -autossa ureaa kuluu 2–2,5 l/100 km. Mercedes-Benzissä suhteellinen osuus on 5–6 %, Volvon kolmiakselisessa Euro 5 -autossa 4–5 %.



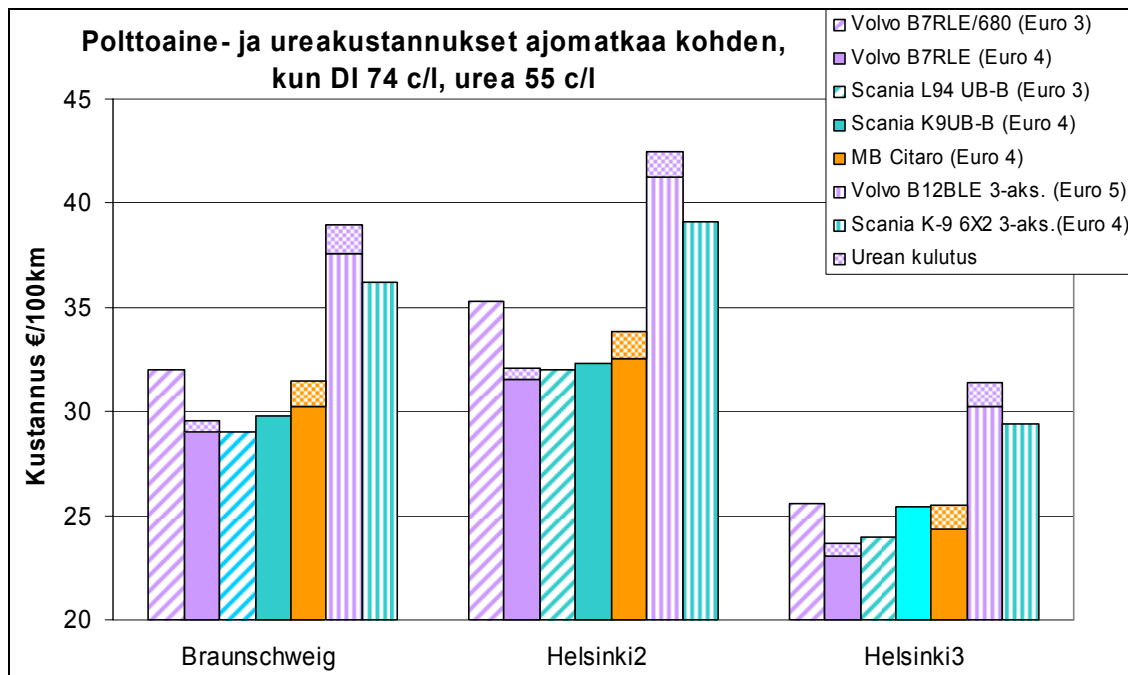
Kuva 13. Urean litramääräinen kulutus.

## 6.3 Polttoaineen ja urean kustannukset

Kuvassa 14 esitetään 100 km:ä kohti lasketut polttoaineen ja urean yhdistetyt kustannukset. EGR-autot eivät käytä ureaa. Laskelma on tehty verottomilla hinnoilla käyttäen

seuraavia hinta-arvioita (hintojen oletetaan kuvastavan suurien liikennöitsijöiden maksamia hintoja):

- dieselpolttoaine 0,74 €/l (verollinen 0,90 €/l)
- urea 0,55 €/l (verollinen 0,67 €/l).



Kuva 14. Yhteenlasketut polttoaine- ja ureakustannukset.

Alimmillaan yhdistetty polttoaine- ja ureakulutus on 24 €/100 km (Helsinki 3 -sykli, kaksiakseliset Scanian Euro 3 ja Volvon Euro 4), korkeimmillaan 43 €/100 km (Helsinki 2 -sykli, kolmiakselinen Volvon Euro 5). Urean osuus on enimmillään noin 4 % kustannuksista.

Kaksiakselisten joukossa Volvon Euro 3 -auto antaa korkeimmat kustannukset. Braunschweig- ja Helsinki 2 -sykleissä Volvon Euro 4, Scanian Euro 3 ja Scanian Euro 4 antavat likimain samat kustannukset, Mercedes-Benzin Euro 4:n kustannukset ovat 5–6 % näitä korkeammat. Mercedes-Benzin Euro 4 antaa kuitenkin aina Volvon Euro 3 -autoa alemmat kustannukset.

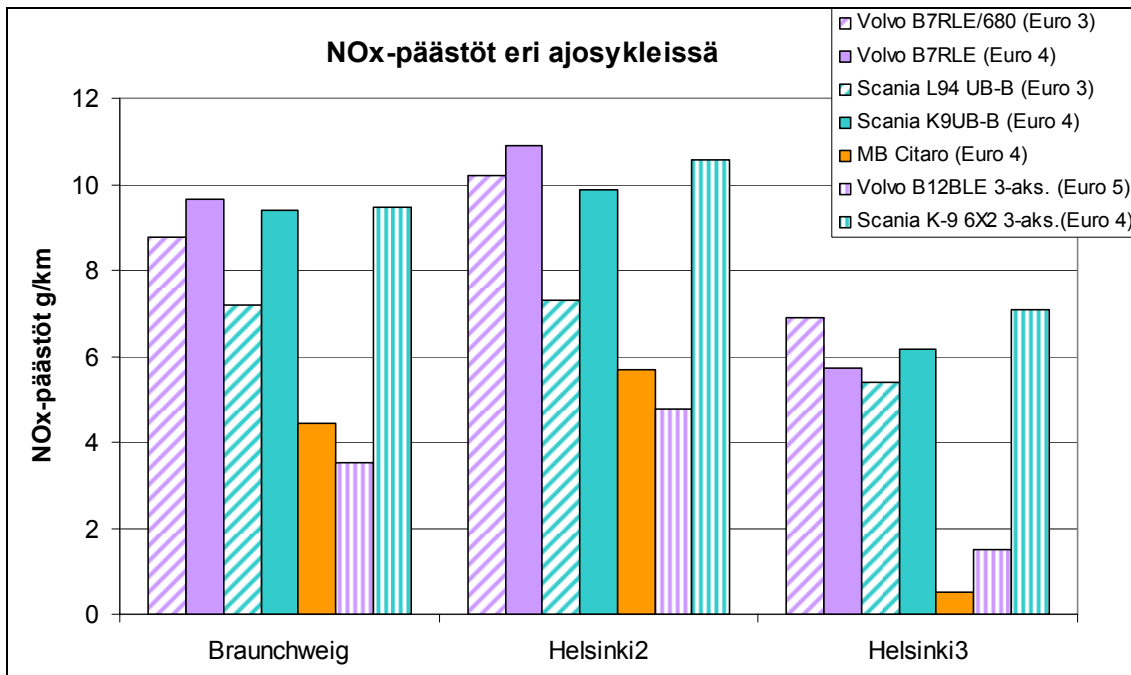
Merkkien sisällä tehty tarkastelu osoittaa, että Scanian tapauksessa Euro 4 -tekniikkaan siirtyminen ei muuta polttoainekustannuksia. Volvon tapauksessa Euro 4 -auto antaa pienemmät yhteenlasketut polttoaine- ja ureakustannukset kuin Euro 3 -auto (ilman ureaa).

Kolmiakselisten autojen osalta Volvon Euro 5 on 7–9 % kalliimpi ajaa kuin Scanian Euro 4.

## 7. Päästötulokset

Päästöjen tarkastelu painottuu dieselmoottorien kannalta kriittisimpiin päästökomentteihin, toisin sanoen typenoksidipäästöihin ja hiukkaspäästöihin.

Kuvissa 15 on esitetään autojen ajomatkaan suhteutetut NO<sub>x</sub>-päästöt eri ajosykleissä ja vastaavasti kuvassa 16 hiukkaspäästöt.



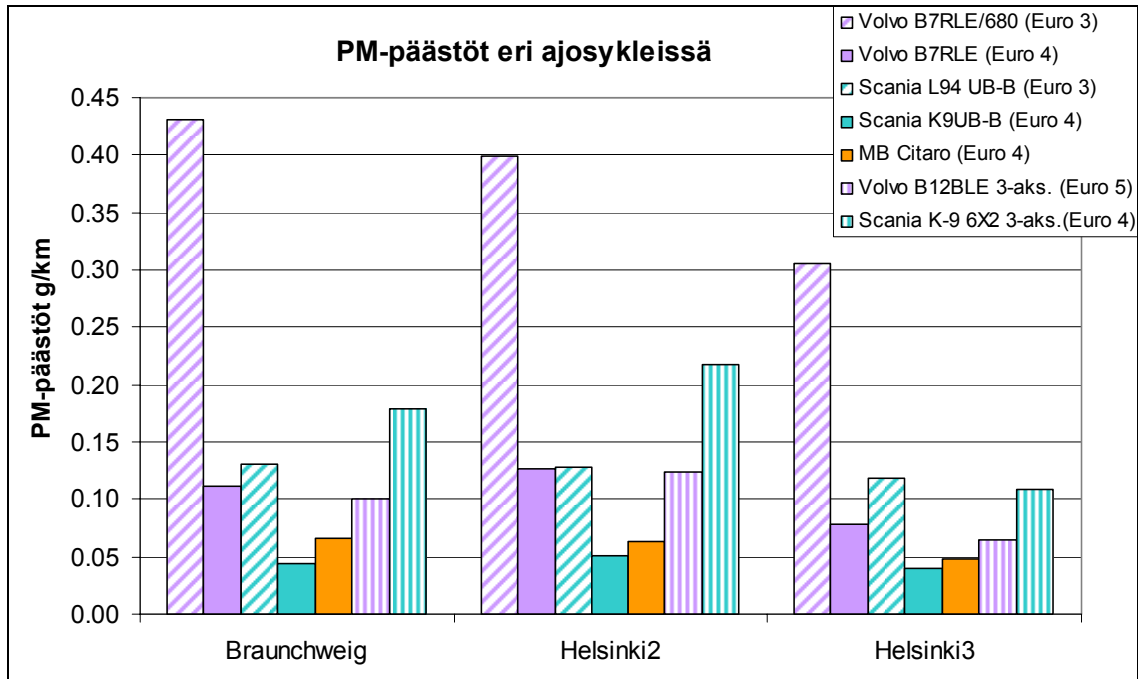
Kuva 15. Autojen ajomatkaan suhteutetut NO<sub>x</sub>-päästöt eri ajosykleissä.

Hajonta autojen NO<sub>x</sub>-päästöissä on varsin huomattavaa. Helsinki 3 -syklissä ero pienimmän ja suurimman arvon välillä on noin 15-kertainen, kahdessa muussa syklissä noin 2,5-kertainen.

Kuvasta 15 nähdään, että sekä Scanian että Volvon Euro 4 -autot tuottavat Braunschweig- ja Helsinki 2 -sykleissä enemmän NO<sub>x</sub>-päästöjä kuin vastaavat Euro 3 -autot (kaksiakseliset autot). Scanian osalta lisäys on 30–35 %. Kuitenkin Euro 4 -luokassa on 30 % alhaisempi NO<sub>x</sub>-raja Euro 3 -luokkaan verrattuna. Helsinki 3 -syklissä Volvon Euro 4 -auto antaa hieman alhaisemman päästön kuin Euro 3 -auto.

Kolmiakselinen Scanian Euro 4 antaa hieman korkeammat NO<sub>x</sub>-arvot kuin kaksiakselinen Euro 4 -auto. Braunschweig-syklissä ero kaksi- ja kolmiakselin auton työmäärissä on noin 18 %.

Mercedes-Benzin Euro 4 ja Volvon Euro 5 antavat muita autoja selvästi alemmat NO<sub>x</sub>-päästöt. Varsinkin Helsinki 3 -syklissä näillä autoilla, jotka Volvon Euro 4 -autoon verrattuna käyttävät lähes kaksinkertaisen määrän ureaa, saavutetaan hyvin alhaiset NO<sub>x</sub>-päästöt. Riittävällä ureasyötöllä SCR-tekniikka antaa alhaisemmat NO<sub>x</sub>-päästöt kuin EGR-tekniikka.

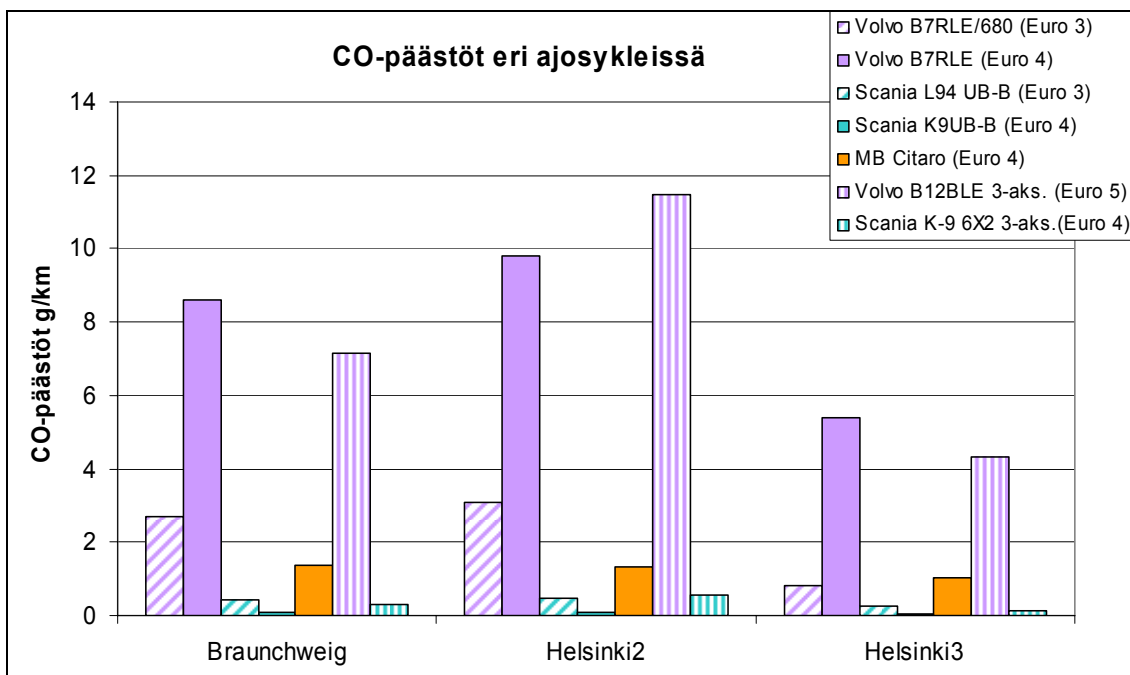


Kuva 16. Autojen ajomatkaan suhteutetut hiukkaspäästöt eri ajosykleissä.

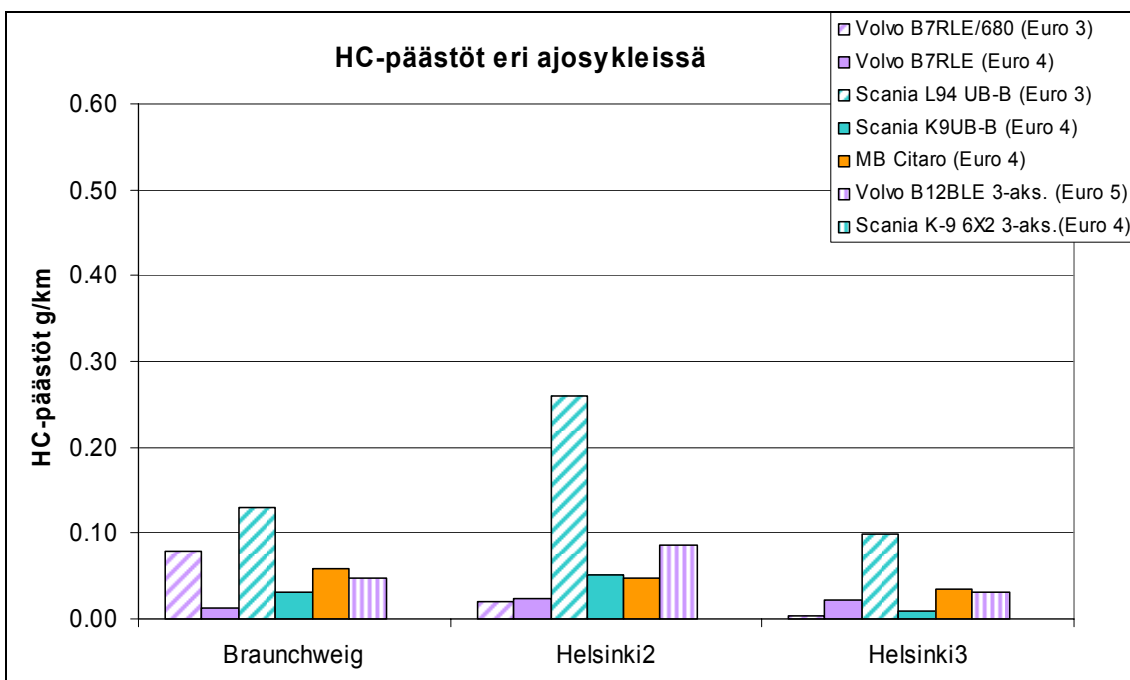
Myös hiukkaspäästöjen osalta hajonta on huomattavaa. Volvon Euro 3 -auto antaa ylivoimaisesti korkeimmat hiukkaspäästöt. Ero pienimmän ja suurimman arvon välillä on 8–10-kertainen syklistä riippuen. Hiukkasten osalta sekä Scanian että Volvon kaksiakseliset Euro 4 -autot antavat selvästi vastaavia Euro 3 -autoja alemmat hiukkaspäästöt.

Kolmiakselisen Scanian Euro 4 -auton hiukkaspäästöt ovat varsin korkeat. Scanian osalta tulos on yllättävä, sillä kaksiakselinen Euro 4 -Scania antaa joukon alhaisimmat hiukkaspäästöt yhdessä Mercedes-Benzin Euro 4 -auton kanssa. Molemmissa Euro 4 -Scanioissa on sama 9-litrainen perusmoottori, mutta tehoissa ja näin ollen moottorin säädöissä on eroa. Kolmiakselinen Euro 4 -Scania tuottaa suhteessa enemmän hiukkasia kuin Euro 3 -Scania.

Kuvassa 17 esitetään autojen ajomatkaan suhteutetut CO-päästöt eri ajosykleissä ja kuvassa 18 HC-päästöt. Bussikaluston CO- ja HC-päästöjen merkitys on vähäinen bensiinikäyttöisiin henkilöautoihin verrattuna. Volvon SCR-autot antavat melko korkeita CO-arvoja, Scanian Euro 3 -auto taas muihin autoihin verrattuna korkeita HC-arvoja.



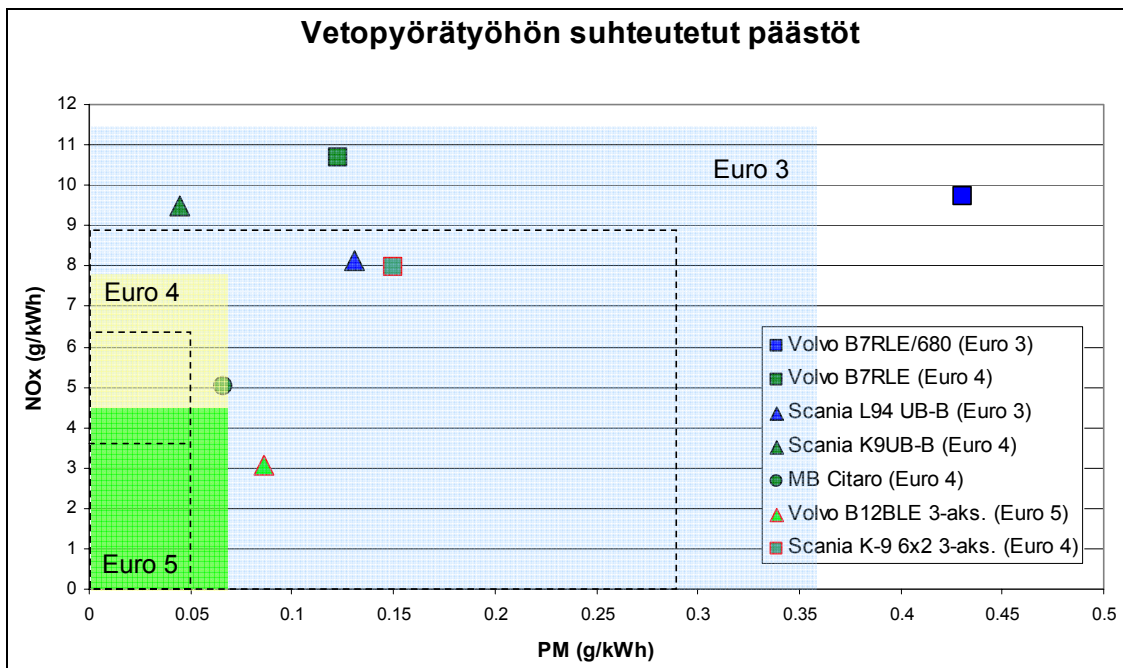
Kuva 17. Autojen ajomatkaan suhteutetut hiilimonoksidipäästöt eri ajosykleissä.



Kuva 18. Autojen ajomatkaan suhteutetut hiilivetyypäästöt eri ajosykleissä.

Kuvassa 19 ovat autojen vetopyörätyöhön suhteutetut päästöt  $\text{NO}_x/\text{PM}$ -koordinaatissa Braunschweig-syklillä ajettuna. Näiden arvojen perusteella on mahdollista arvioida, miten autojen päästöt suhtautuvat Euro-luokkien raja-arvoihin. Eri Euro-luokkia vastaavat vertailuarvot (kerroin 2,25, mukana NTE-kerroin, ks. taulukko 4, s. 27) on merkitty kuvaan väritetyillä suorakaiteilla. Kuvaan on myös merkitty katkoviivoin Euro-raja-arvot kerrottuna pelkällä voimalinjan häviökertoimella (1,8).

Tulokset esitetään taulukkomuodossa taulukossa 5.



Kuva 19. Vetopyörätyöhön suhteutetut päästöt Braunschweig-syklissä. Väritetyt suorakaiteet kuvaavat Euro-raja-arvoja kertoimella 2,25 (mukana NTE-kerroin), katkoviivalla merkityt suorakaiteet Euro-raja-arvoja kertoimella 1,8 (voimalinjan häviöt).

Mitatuista autoista ainoastaan Scanian Euro 3 ja Mercedes-Benzin Euro 4 täyttävät NTE-ajattelun mukaan ilmoitetun Euro-luokan. Scanian kaksiakselinen Euro 4 -auto on hiukkaspäästöiltään hyvinkin Euro 4- tai Euro 5 -luokkaa, mutta  $\text{NO}_x$ -päästöiltään Euro 3 -luokkaa. Scanian kolmiakselinen Euro 4 -auto on sekä  $\text{NO}_x$ - että hiukkaspäästöiltään Euro 3 -luokkaa, samaten Volvon Euro 4 -auto. Volvo on itse asiassa  $\text{NO}_x$ -päästöiltään varsin lähellä Euro 2 -tasoa. Volvon Euro 5 -auto on  $\text{NO}_x$ -päästöiltään Euro 5 -tasoa, mutta hiukkaspäästö on jonkun verran yli Euro 4- ja Euro 5 -luokkien yhteistä hiukkasrajaa.

Jos NTE-kerrointa ei oteta huomioon ja tarkastelu tehdään pelkästään ottamalla huomioon voimansiirron häviöt, Volvon Euro 3- ja Euro 4 -autot sekä kaksiakselinen Scanian Euro 4 täyttävät Euro 2 -raja-arvot, muut autot Euro 3 -raja-arvot.

Taulukko 5. Vetopyörätyöhön suhteutetut päästöt Braunschweig-syklissä ja arvio päästörajojen täyttymisestä.

Automalli	NO <sub>x</sub> (g/kWh)	PM (g/kWh)	NO <sub>x</sub> -luokka (NTE-periaate)	PM-luokka (NTE-periaate)	Yhteistulos (NTE-periaate)
2-akseliset					
Scania L94 UB-B Euro 3	8,1	0,13	Euro 3	Euro 3	Euro 3
Volvo B7RLE/680 Euro 3	9,7	0,43	Euro 3	Euro 2	Euro 2
Mercedes-Benz Citaro Euro 4	5,0	0,07	Euro 4	Euro 4/5	Euro 4
Scania K9UB-B Euro 4	9,5	0,05	Euro 3	Euro 4/5	Euro 3
Volvo B7RLE Euro 4	10,7	0,12	Euro 3	Euro 3	Euro 3
3-akseliset					
Scania K-9 Euro 4	8,0	0,15	Euro 3	Euro 3	Euro 3
Volvo B12BLE Euro 5	3,1	0,09	Euro 5	Euro 3	Euro 3

Taulukossa 6 on vastaava tarkastelu väyläajoa kuvaavalle Helsinki 3 -syklille.

Taulukko 6. Vetopyörätyöhön suhteutetut päästöt Helsinki 3 -syklissä ja arvio päästörajojen täyttymisestä.

Automalli	NO <sub>x</sub> (g/kWh)	PM (g/kWh)	NO <sub>x</sub> -luokka (NTE-periaate)	PM-luokka (NTE-periaate)	Yhteistulos (NTE-periaate)
2-akseliset					
Scania L94 UB-B Euro 3	6,9	0,13	Euro 4	Euro 3	Euro 3
Volvo B7RLE/680 Euro 3	8,9	0,34	Euro 3	Euro 3	Euro 3
Mercedes-Benz Citaro Euro 4	0,7	0,05	Euro 5	Euro 4/5	Euro 5
Scania K9UB-B Euro 4	6,9	0,05	Euro 4	Euro 4/5	Euro 4
Volvo B7RLE Euro 4	6,9	0,09	Euro 4	Euro 3	Euro 3
3-akseliset					
Scania K-9 Euro 4	6,9	0,11	Euro 4	Euro 3	Euro 3
Volvo B12BLE Euro 5	1,5	0,07	Euro 5	Euro 4/5	Euro 5

Helsinki 3 -sykli on päästömielessä Braunschweig- ja Helsinki 2 -syklejä helpompi. Niinpä Mercedes-Benzin Euro 4 ja Volvon Euro 5 täyttävät tässä syklissä Euro 5 -vaatimukset, molemmat NO<sub>x</sub>:n osalta selvästi, Volvo hiukkasten osalta juuri ja juuri. Kaksiakselinen



Scanian Euro 4 on tällä tavoin testattuna ja arvioituna Euro 4 -tasoa. Molemmat Euro 3 -autot täyttävät Euro 3 -vaatimukset, Volvo tosin hiukkasten osalta rimaa hipoen.

CO- ja HC-arvoissa oli suuria autokohtaisia eroja. Autojen CO- ja HC-päästöt ovat NTE-tarkastelulla arvioiden Euro 5 -tasoa, lukuun ottamatta Volvon Euro 4 SCR -auton CO-arvoa.

Suurin mitattu CO-arvo oli 9,5 g/kWh (Volvon Euro 4) ja suurin HC-arvo 0,3 g/kWh (Scanian Euro 3). ETC-kokeen raja-arvot ovat Euro 4- ja Euro 5 -luokissa 4,0 g CO/kWh ja 0,55 HC/kWh. NTE-vertailuarvoiksi muodostuvat näin ollen 9 g CO/kWh ja 1,2 g HC/kWh.

## 8. Tulosten arviointi

### 8.1 Yleistä

Paikallisliikenneliiton toimeksiannossa tehdään ensimmäistä kertaa eri automallien polttoaineenkulutus- ja päästövertailu siten, että mitattujen ajoneuvojen merkit ja mallit saatetaan julkisuuteen. Vertailu tehdään siinä vaiheessa, kun ensimmäiset Euro 4- ja Euro 5 -sertifioidut bussin on saatu markkinoille. Tilanne on erityisen mielenkiintoinen siitä syystä, että valmistajat ovat päätyneet erilaisiin teknisiin ratkaisuihin päästöjen alentamiseksi uusissa autoissaan. Vertailussa mukana olleista merkeistä Mercedes-Benz ja Volvo ovat valinneet ureakatalyysaattoritekniikan (SCR), Scania pakokaasujen takaisinkierrätyksen (EGR).

Vertailussa referenssinä oli kaksi suosituinta Euro 3 -tasoista bussia, kaksiakseliset Scania L94 UB-B ja Volvo B7RLE/680. Näistä autoista Scania antaa paremman suorituskyvyn niin polttoaineen kulutuksen kuin NO<sub>x</sub>- ja hiukkaspäästöjen osalta. Volvo kuluttaa Scaniaan verrattuna 7–10 % enemmän polttoainetta. Näin ollen uuden Euro 4- ja Euro 5 -tekniikan arviointi pitäisi paremminkin suhteuttaa Scanian kuin Volvon suorituskykyyn. Tässä luvussa vertailukohtana onkin pääsääntöisesti käytetty Scanian Euro 3 -autoa.

Siirryttäessä Euro 3 -tasosta Euro 4 -tasoon typen oksidien raja-arvo laskee 30 % ja hiukkasten raja-arvo peräti 80 %. Tämän perusteella voisi olettaa, että myös todellisista ajotilanteista mitatut päästöt laskevat selvästi. On myös yleisesti esitetty arvioita siitä, että Euro 4 -tekniikkaan siirtyminen lisää polttoaineen kulutusta.

Tulokset osoittivat sekä sen, ettei Euro 4 -tekniikkaan siirtyminen välttämättä lisää polttoaineen kulutusta, että myös sen, etteivät varsinkaan NO<sub>x</sub>-päästöt kaikkien autojen osalta laske oletetusti uuden tekniikan myötä.

Tarkastelussa on huomioitu sekä polttoaineen kulutus että pakokaasupäästöt. Jos pakokaasupäästöt jätettäisiin kokonaan huomioimatta, kalustovalinnat kohdistuisivat vähän polttoainetta kuluttaviin autoihin, jotka eivät kuitenkaan todellisten päästöjen osalta ole sitä tasoa, mitä kohtuudella voisi odottaa.

### 8.2 Polttoaineen kulutus

Ajosyklin ja kuorman lisäksi auton voimalinjan tehokkuus ja auton oma massa vaikuttavat polttoaineen kulutukseen.

Edelleenkin tilanne on sellainen, että moottorin valmistaja voi säädöillä painottaa joko alhaisia NO<sub>x</sub>-päästöjä tai alhaista polttoaineenkulutusta. Scania on mitä ilmeisimmin EGR-moottoreissaan valinnut alhaisen polttoaineenkulutuksen.

Scanian Euro 4 -moottorit antavat keskusta-ajoa kuvaavissa sykleissä (Braunschweig ja Helsinki 2) pienemmän ominaiskulutuksen (vetopyöriltä mitattu g/kWh-muotoinen kulutus) kuin saman merkin Euro 3 -moottori ja muiden merkkien Euro 4- ja Euro 5 -moottorit. Väyläajoa kuvaavassa Helsinki 3 -syklissä Scania Euro 4 -moottorit ei toimi yhtä hyvin, vaan kaksiakselien Scanian Euro 4:n moottori antaa ryhmän korkeimman ominaiskulutuksen (Volvon Euro 3 pois lukien). Eri syklien kohdalla ero pienimmän ja suurimman kulutuslukeman välillä on 5–8 %.

Mittaukset eivät anna yksiselitteistä vastausta siihen, kumpi tekniikka, EGR vai SCR, on parempi polttoaineen kulutuksen suhteen. Tarkastelua vaikeuttaa kaksi tekijää. Toisaalta paremmuusjärjestys riippuu ajosyklistä, toisaalta Scanian Euro 4 -moottorit antavat korkeammat NO<sub>x</sub>-arvot kuin saman merkin Euro 3 -moottori.

Scanian Euro 4:n kulutus on pienin keskustasykleissä mutta korkein väyläajossa (jälkimmäinen pätee kaksiakseliseen autoon). Kaksi- ja kolmeakselisissa autoissa on eri tehoversiot samasta moottorista. Pienempitehoinen kaksiakselisen auton moottori reagoi voimakkaammin kuormitusyykliin. Kaikkien SCR-autojen suhteellinen kulutus laskee mentäessä keskusta-ajosta väyläajoon.

Jos Scania kalibroisi moottorit uudestaan NO<sub>x</sub>-päästön alentamiseksi, sekä polttoaineen kulutus että hiukkaspäästöt kasvaisivat. Mercedes-Benzin Euro 4 ja Volvon Euro 5 antavat aidosti näitä päästöluokkia vastaavat NO<sub>x</sub>-tulokset.

Scanian kaksiakselinen Euro 4 -auto on muita kaksiakselisia autoja painavampi. Tämä seikka nostaa auton ajomatkaan suhteutettua polttoaineen kulutusta (l/100 km) niin, että auto antaa tehokkaasta voimalinjastaan huolimatta keskimäärin korkeimman litramääräisen polttoaineenkulutuksen ryhmässään. Eri sykleissä autojen väliset kulutuserot ovat 3–11 % (kaksiakseliset autot). Kolmiakselisista autoista Scania kuluttaa 3–5 % vähemmän polttoainetta kuin Volvo.

Taulukossa 7 esitetään kaksiakselisten autojen paremmuusjärjestys litramääräisen kulutuksen suhteen (pienemmästä suurempaan) Braunschweig-, Helsinki 2- ja Helsinki 3 -sykleissä.

*Taulukko 7. Kaksiakselisten autojen paremmuusjärjestys litramääräisen polttoaineen kulutuksen suhteen.*

Sykli	Braunschweig keskusta	Helsinki 2 keskusta	Helsinki 3 väyläajo
1.	Volvo Euro 4	Volvo Euro 4	Volvo Euro 4
2.	Scania Euro 3	Scania Euro 3	Scania Euro 3
3.	Scania Euro 4	Scania Euro 4	MB Euro 4
4.	MB Euro 4	MB Euro 4	Scania Euro 4

Kaikkein pienin kulutuslukema, 31,1 l/100 km, saavutettiin kaksiakselisella Volvon Euro 4:lla Helsinki 3 -syklissä, suurin arvo, 55,7 l/100 km, kolmiakselisella Volvon Euro 5:llä Helsinki 2 -syklissä. Volvon Euro 4 -auto antaa keskimäärin alhaisimman polttoaineen kulutuksen.

SCR-autot käyttävät ureaa 1–2,5 l/100 km, mikä polttoaineen kulutukseen suhteutettuna on 2–6 %. Taulukossa 8 on kaksiakselisten autojen paremmuusjärjestys yhteenlasketun polttoaine- ja ureakustannuksen perusteella. Tämä tarkastelu muuttaa autojen välistä järjestystä jonkin verran taulukkoon 7 verrattuna. Pienimmät kustannukset saavutetaan joko Scanian Euro 3:lla tai Volvon Euro 4:llä, kun taas Mercedes-Benzin Euro 4 antaa korkeimmat ajokustannukset kaikissa sykleissä.

Tämä tarkastelu on kuitenkin epäreilu siinä mielessä, että sekä Scanian Euro 3 -auto että Volvon Euro 4 -auto ovat todellisilta päästöiltään Euro 3 -tasoa, kun taas Mercedes-Benz on joko Euro 4 tai Euro 5 -tasoa syklistä riippuen (ks. taulukko 9). Periaatteessa kokonaiskustannusten arviointiin tulisi sisällyttää päästöistä aiheutuvat ulkoiset kustannukset. Tämä tarkastelutapa toisi oikeutta niille autoille, jotka ovat aidosti vähäpäästöisiä.

*Taulukko 8. Kaksiakselisten autojen paremmuusjärjestys yhteenlasketun polttoaine- ja ureakustannuksen perusteella.*

Sykli	Braunschweig keskusta	Helsinki 2 keskusta	Helsinki 3 väyläajo
1.	Scania Euro 3	Scania Euro 3	Volvo Euro 4
2.	Volvo Euro 4	Volvo Euro 4	Scania Euro 3
3.	Scania Euro 4	Scania Euro 4	Scania Euro 4
4.	MB Euro 4	MB Euro 4	MB Euro 4

### 8.3 Pakokaasupäästöt

Varsinainen päästövertailu tehtiin vetopyörätyöhön suhteutettujen g/kWh-muotoisten ominaispäästöarvojen perusteella. Näitä arvoja verrattiin eri Euro-luokkien raja-arvoihin. Moottorikokeen raja-arvot kerrottiin koko voimalinjan häviöt ja apulaitehäviöt huomioivalla kertoimella (1,8) ja lisäksi ns. NTE-kertoimella (1,25), joka huomioi sen, ettei ajoneuvolla ajettu ajosykli kuormitukseltaan vastaa standardin mukaista pakokaasutestiä testipenkkiin asennetulla moottorilla. Näin muodostettiin vertailuarvo, joka on 2,25-kertainen verrattuna varsinaiseen raja-arvoon. Euro 3 -luokassa NO<sub>x</sub>-raja-arvo on 5 g/kWh, ja näin ollen vertailuarvoksi muodostuu 11,3 g/kWh.

Tällä periaatteella arvioitiin autojen toimivuutta eri sykleissä. Näin arvioituna Volvon Euro 3 -auto on päästöiltään Braunschweig-syklissä todellisuudessa Euro 2 -luokkaa (korkea hiukkaspäästö), kun Scanian Euro 3 -auto on todellisuudessakin Euro 3 -luokkaa.

Mitatuista Euro 4- ja Euro 5 -luokkien autoista ainoastaan Mercedes-Benz vastaa päästöiltään ilmoitettua päästöluokkaa.

Scanian Euro 4 -autot ja Volvon Euro 4 -autot ovat todellisilta päästöiltään Euro 3 -tasoa. Tämä pätee sekä NO<sub>x</sub>-päästöihin että hiukkasiin lukuun ottamatta kaksiakselista Scanian Euro 4:ää, joka on hiukkaspäästöiltään Euro 4- tai Euro 5 -luokkaa. Korkeatehoisempi Scania Euro 4 -moottoriversio tuottaa 2–3 kertaa enemmän hiukkasia.

Volvon Euro 5 -auton NO<sub>x</sub>-päästöt ovat aidosti Euro 5 -tasoa, mutta hiukkaspäästöt ylittävät Euro 4- tai Euro 5 -luokan vertailuarvon jonkin verran.

Taulukossa 9 esitetään arvio siitä, mitä päästöluokkia eri autot todellisuudessa vastaavat Braunschweig- ja Helsinki 3 -sykleissä.

*Taulukko 9. Testattujen autojen Euro-luokkien vastaavuus Braunschweig- ja Helsinki 3 -sykleissä NTE-arviointimenetelmän perusteella arvioituna.*

Automalli	Braunschweig NO <sub>x</sub>	Helsinki 3 NO <sub>x</sub>	Braunschweig PM	Helsinki 3 PM
Mercedes-Benz Euro 4	Euro 4	Euro 5	Euro 4/5	Euro 4/5
Volvo Euro 5 3-akseliset	Euro 5	Euro 5	Euro 3	Euro 4/5
Scania Euro 4 2-akseliset	Euro 3	Euro 4	Euro 4/5	Euro 4/5
Scania Euro 4 3-akseliset	Euro 3	Euro 4	Euro 3	Euro 3
Volvo Euro 4	Euro 3	Euro 4	Euro 3	Euro 3
Scania Euro 3	Euro 3	Euro 4	Euro 3	Euro 3
Volvo Euro 3	Euro 3	Euro 3	Euro 2	Euro 3

Päästötulokset vahvistavat näkemystä siitä, ettei autovalintoja pitäisi tehdä yksinomaan alhaisen polttoaineenkulutuksen perusteella.

## 9. Yhteenveto

Paikallisliikenneliiton hankkeessa mitattiin yhteensä seitsemän autoa, kaksi kaksiakselista Euro 3 -autoa referenssinä (Scania ja Volvo), kolme uutta Euro 4 -tasoista kaksiakselista autoa (Mercedes-Benz, Scania ja Volvo) ja kaksi uutta kolmiakselista autoa (Euro 4 -Scania ja Euro 5 -Volvo). Mittaukset tehtiin alustadynamometrissa kolmella todellista ajoa kuvaavalla syklillä. Polttoaineen kulutuksen lisäksi autoista mitattiin myös pakokaasupäästöt.

Autonvalmistajat ovat Euro 4- ja Euro 5 -malleissa ottaneet käyttöön uutta tekniikkaa. Mercedes-Benz ja Volvo käyttävät ureakatalysaattoria (SCR) typen oksidien vähentämiseen, Scania taas käyttää moottorin sisäistä menetelmää eli pakokaasujen takaisinkierrätystä (EGR). Yleinen väittämä on ollut, että SCR-tekniikka on polttoainetalouden kannalta parempi vaihtoehto.

Erot polttoaineen kulutuksessa ja käyttökustannuksissa jäivät loppujen lopuksi odotettua pienemmiksi. Vertailukohteen olleissa Euro 3 -autoissa Volvo kuluttaa 7–10 % enemmän polttoainetta kuin Scania. Uusien kaksiakselisten autojen kaupunkiajossa kuvaavissa sykleissä autojen väliset kulutuserot ovat vain 3–4 %, vaikka erilaisten tekniikkaratkaisujen myötä erojen olisi voinut olettaa pikemmin kasvavan kuin pienentyvän. Väylätyyppisessä ajossa tosin kulutusero on suurimmillaan 11 %. Volvon Euro 4 -auto antaa keskimäärin alhaisimman polttoaineenkulutuksen. Väylätyyppisessä ajossa SCR-tekniikka toimii sekä kulutuksen että päästöjen osalta suhteessa paremmin kuin EGR-tekniikka.

Kolmiakselisista autoista EGR Scania kuluttaa 3–5 % vähemmän polttoainetta kuin SCR Volvo.

Ajokustannuksia tarkasteltaessa on huomioitava myös urean aiheuttamat kustannukset. Autosta ja syklistä riippuen SCR-autoissa ureaa kuluu 2–6 % polttoaineen määrästä. Kaksiakselisten Euro 4 -autojen ryhmässä Volvon Euro 4 SCR -auto antaa alhaisimmat ajokustannukset (polttoaine + urea) kaikissa sykleissä, kolmiakselisista autoista taas EGR-Scania antaa Volvoa alhaisemmat ajokustannukset.

Mittaukset eivät anna yksiselitteistä vastausta siihen, kumpi tekniikka, EGR vai SCR, on parempi polttoaineen kulutuksen suhteen. Tarkastelua vaikeuttaa kaksi tekijää. Toisaalta paremmuusjärjestys riippuu ajosyklistä, toisaalta kaikkien autojen todellinen päästötaso ei vastaa odotuksia. Scanian Euro 4 -moottorit antavat korkeammat NO<sub>x</sub>-arvot kuin saman merkin Euro 3 -moottori. Myöskään polttoainetehokas Volvon Euro 4 -auto ei ole NO<sub>x</sub>-päästöiltään käytännön ajossa Euro 4 -tasoa. Jos Scania kalibroisi moottorit uudestaan NO<sub>x</sub>-päästön alentamiseksi, sekä polttoaineen kulutus että hiukkaspäästöt kasvaisivat. Mercedes-Benzin Euro 4 ja Volvon Euro 5 antavat aidosti näitä päästöluokkia vastaavat NO<sub>x</sub>-tulokset.

Päästöjen määrän hajonta on siis huomattavaa, eikä autojen suorituskyky käytännön ajossa välttämättä korreloi Euro-luokan kanssa. SCR-tekniikka toimii hyvin varsinkin väylätyyppisessä ajossa. NO<sub>x</sub>-päästö on alimmillaan 0,5 g/km (Mercedes-Benzin Euro 4), kun se EGR-tekniikalla on 6–11 g/km syklistä riippuen. Myös SCR-autojen ryhmän sisällä on merkittävää hajontaa, sillä väyläajossa Volvon Euro 4 -auto tuottaa noin kymmenen kertaa enemmän typen oksideja kuin Mercedes-Benzin Euro 4.

Euro 4- ja Euro 5 -autojen ryhmässä Scanian EGR-moottori antaa yllättäen sekä matalimmat että korkeimmat hiukkaspäästöt moottorin tehoversiosta riippuen. Ero on syklistä riippuen 3–4-kertainen. Muiden Euro 4- ja Euro 5 -autojen hiukkaspäästöt sijoittuvat näiden arvojen väliin. Mercedes-Benzin Euro 4 -auto ja kaksiakselinen Scanian Euro 4 antavat alhaisimmat hiukkaspäästöt.

Mitatuista autoista ainoastaan Scanian Euro 3 ja Mercedes-Benzin Euro 4 antavat todellisuutta vastaavassa ajossa päästöluokkaa vastaavat päästötulokset. Volvon Euro 5 -auto on NO<sub>x</sub>-päästöiltään aidosti Euro 5 -tasoa, mutta keskusta-ajoa kuvaavissa sykleissä hiukkaspäästö on hieman korkeampi kuin sen pitäisi olla Euro 4- tai Euro 5 -tasoisessa autossa.

Tulokset osoittivat sen, ettei Euro 4 -tekniikkaan siirtyminen välttämättä lisää polttoaineen kulutusta, mutta myös sen, etteivät varsinkaan NO<sub>x</sub>-päästöt kaikkien autojen osalta laske oletetusti uuden tekniikan myötä.

Tarkastelussa on huomioitu sekä polttoaineen kulutus että pakokaasupäästöt. Jos pakokaasupäästöt jätettäisiin kokonaan huomioimatta, kalustovalinnat kohdistuisivat vähän polttoainetta kuluttaviin autoihin, jotka eivät kuitenkaan todellisten päästöjen osalta ole sitä tasoa, mitä kohtuudella voisi odottaa.

## Lähdeluettelo

Danielsson, P. (2005). The Swedish Public Transport Association (SLTF) Environment Program. EC Workshop Emission Reductions for Captive Fleets 14.1.2005. [http://forum.europa.eu.int/Public/irc/env/tremove/library?l=/workshop\\_contribution/contributions\\_participan&vm=detailed&sb=Title](http://forum.europa.eu.int/Public/irc/env/tremove/library?l=/workshop_contribution/contributions_participan&vm=detailed&sb=Title).

Danielsson, P. (2006). The Volvo Bus gas experience. The new G9A gas engine. Nordic Biogas Conference 2006. Helsinki, 8.–10. February 2006. <http://www.bionova.fi/nordicbiogas/index.php?language=en>.

DieselNet: A. Emission test cycles. EPA Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS) for Heavy-Duty Vehicles. <http://www.dieselnet.com/standards/cycles/udds.html>.

DieselNet: B. Braunschweig City Driving Cycle. <http://www.dieselnet.com/standards/cycles/braunschweig.html>.

DieselNet: C. Engine manufacturers reach agreement on NTE limits and in-use testing with U.S. EPA and California ARB. <http://www.dieselnet.com/news/2003/06epa.php>.

Green Car Congress. (2005). Scania introduces Euro 4 and Euro 5 bus engines. June 6, 2005. [http://www.greencarcongress.com/2005/06/scania\\_introduc.html](http://www.greencarcongress.com/2005/06/scania_introduc.html).

Nylund, N.-O. & Erkkilä, K. (2005). Bussikaluston pakokaasupäästöjen evaluointi. Yhteenvetoraportti 2002–2004. Tutkimusselostus PRO3/P3018/05. VTT Prosessit, Espoo, huhtikuu 2005. <http://virtual.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2005/RAKEBUS.pdf>.

Nylund, N.-O. toim. (2006). Raskaan ajoneuvokaluston energiankäytön tehostaminen. Yhteenvetoraportti 2003–2005. Projektiraportti VTT-R-03125-06. VTT, Espoo, maaliskuu 2006. [http://www.motiva.fi/attachment/f16d4d543f99d7a59f54560a69063a0e/89f11e52fa79d77f86e10633e6b77d6f/HDenergia\\_yhteenvetoraportti\\_lopullinen.pdf](http://www.motiva.fi/attachment/f16d4d543f99d7a59f54560a69063a0e/89f11e52fa79d77f86e10633e6b77d6f/HDenergia_yhteenvetoraportti_lopullinen.pdf).

Puetz, W. (2005). Future Diesel Engine Thermal Efficiency Improvement and Emissions Control Technology. A Detroit Diesel Corporation Perspective. 11th DEER Conference, Chicago IL, August, 2005. <http://www.osti.gov/fcvt/deer2005/deer2005wkshp.html>.

SAE J2711: Recommended Practice for Measuring Fuel Economy and Emissions of Hybrid-Electric and Conventional Heavy-Duty Vehicles.



UITP. (2004). SORT – Standardise On-Road Test Cycles. UITP – International Association of Public Transport. Brussels 2004. [www.uitp.com](http://www.uitp.com).



## Liite A: Tekniset tiedot

Merkki ja malli	Volvo B7RLE/680	Volvo B12 BLE	Scania K 270 UB6x2*4LB
Moottorin tilavuus/Teho/Vääntö	7.2 / 213 / 1200	12,13 / 250 / 1700	8,87 / 199 / 1250
Pakokaasujärjestelmä	SCR (Euro4)	SCR (Euro5)	EGR (Euro4)
Rek. nro	KBG-292	OXI-689	ASG-508
Vaihteiston malli	ZF 6HP554 N	ZF 6HP604 N	ZF HP592C N
Vaihteistoasetus	SP4 (Economy)	SP6 (Super economy)	-
Alusta nro.	YV3R6K62X6A114778	YV3R8L42261113157	YS2K6X20001854155
Perävälitys	5,29:1	5,63:1	5,57:1
Moottorin mallitunnus	D7E290 (EC06)	DH12E340 (EC 06B)	DC9 17 B02
Kori pituus/leveys	12,86 / 2,55	14,7 / 2,55	14,5 / 2,55
Istuma-/seisomapaikat	43/44=87	58/49=107	51/47=98

Merkki ja malli	MB Citaro LE	Scania K 230 UB4x2LB	Volvo B7RLE/680
Moottorin tilavuus/Teho/Vääntö	11,967 / 220 / 1250	8,87 / 169 / 1050	7,284 / 199 / 1195
Pakokaasujärjestelmä	MA LK 890	MRG-632	JFU-440
Rek. nro	SCR (Euro4)	EGR (Euro4)	Hapettava Kat (Euro3)
Vaihteiston malli	ZF-Ecomat	ZF 6HP502C N	ZF 5HP552 N
Vaihteistoasetus	Economy	-	-
Alusta nro.	WEB62858713107552	YS2K4X20001853549	YV3R6G71041010462
Perävälitys	5,875:1	5,57:1	5,29:1
Moottorin mallitunnus	OM 457 hLA	DC9 16 B02	D7C275 EC99/EC01
Kori pituus/leveys	12,04 / 2,55	12,9 / 2,55	13,0 / 2,55
Istuma-/seisomapaikat	34/67=101	44/39=83	43/36=79

Merkki ja malli	Scania L94 UB4x2LB 230		
Moottorin tilavuus/Teho/Vääntö	8,97 / 169 / 1100		
Pakokaasujärjestelmä	Ei pakokaasujen jälki-käsittelyä (Euro3)		
Rek. nro	CYK-183		
Vaihteiston malli	ZF 5HP502C N		
Vaihteistoasetus	5 Vaihdetta - ohjelma		
Alusta nro.	YS2L4X20001849440		
Perävälitys	4,22:1		
Moottorin mallitunnus	DC9 01 B01		
Kori pituus/leveys	12,9 / 2,55		
Istuma-/seisomapaikat	43/40=83		



Tekijä(t) Nylund, Nils-Olof, Erkkilä, Kimmo & Hartikka, Tuukka		
Nimeke <b>Kaupunkibussien polttoaineenkulutus ja pakokaasupäästöt Uusimman dieseltekniikan suorituskyky</b>		
Tiivistelmä Suomen Paikallisliikenneliitto ry:n hankkeessa mitattiin yhteensä seitsemän autoa, kaksi kaksiakselista Euro 3 -autoa referenssinä (Scania ja Volvo), kolme uutta Euro 4 -tasoista kaksiakselista autoa (Mercedes-Benz, Scania ja Volvo) ja kaksi uutta kolmiakselista autoa (Euro 4 Scania ja Euro 5 Volvo). Mittaukset tehtiin alustadynamometrissa kolmella todellista ajoa kuvaavalla syklillä. Polttoaineen kulutuksen lisäksi autoista mitattiin myös pakokaasupäästöt.  Erot polttoaineen kulutuksessa ja käyttökustannuksissa jäävät loppujen lopuksi odotettua pienemmiksi. Vertailukohteena olleista Euro 3 -autoista Volvo kuluttaa 7–10 % enemmän polttoainetta kuin Scania. Uusien kaksiakselisten autojen kaupunkiajaja kuvaavissa sykleissä autojen väliset kulutuserot ovat vain 3–4 %, vaikka erilaisten tekniikkaratkaisujen myötä erojen olisi voinut olettaa pikemmin kasvavan kuin pienentyvän. Väylätyyppisessä ajossa tosin kulutusero on suurimmillaan 11 %. Volvon Euro 4 -auto antaa keskimäärin alhaisimman polttoaineenkulutuksen. Kolmiakselisista autoista Scania kuluttaa 3–5 % vähemmän polttoainetta kuin Volvo.  Mittaukset eivät anna yksiselitteistä vastausta siihen, kumpi tekniikka, EGR vai SCR, on parempi polttoaineen kulutuksen suhteen. Tarkastelua vaikeuttaa kaksi tekijää. Toisaalta paremmuusjärjestys riippuu ajosyklistä, toisaalta kaikkien autojen todellinen päästötaso ei vastaa odotuksia. Scanian Euro 4 -moottorit antavat korkeammat NO <sub>x</sub> -arvot kuin saman merkin Euro 3 -moottori. Myöskään polttoainetehokas Volvon Euro 4 -auto ei ole NO <sub>x</sub> -päästöiltään aidosti Euro 4 -tasoa. Mercedes-Benzin Euro 4 ja Volvon Euro 5 antavat aidosti näitä päästöluokkia vastaavat NO <sub>x</sub> -tulokset.  Tarkastelussa on huomioitu sekä polttoaineen kulutus että pakokaasupäästöt. Jos pakokaasupäästöt jätettäisiin kokonaan huomioimatta, kalustovalinnat kohdistuisivat vähän polttoainetta kuluttaviin autoihin, jotka eivät kuitenkaan todellisten päästöjen osalta ole sitä tasoa, mitä kohtuudella voisi odottaa.		
ISBN 978-951-38-6904-5 (nid.) 978-951-38-6905-2 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		Projektinumero C5SU00980, 15691
Julkaisuaika Maaliskuu 2007	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 47 s. + liitt. 1 s.
Projektin nimi 31PLLBUS	Toimeksiantaja(t) Paikallisliikenneliitto ry	
Avainsanat public transport, urban transport, vehicles, buses, diesel engines, fuel consumption, exhaust emissions, performance, measurements, operating expences	Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	



Author(s) Nylund, Nils-Olof, Erkkilä, Kimmo & Hartikka, Tuukka		
Title <b>Fuel consumption and exhaust emissions of urban buses Performance of newest diesel technology</b>		
Abstract <p>The research was carried out by the Finnish Public Transport Association. Altogether seven vehicles were measured, two two-axle Euro 3 -class vehicles as references (Scania and Volvo), three new Euro 4 -class vehicles (Mercedes-Benz, Scania and Volvo) and two new three-axle vehicles (Euro 4 Scania and Euro 5 Volvo). The measurements were carried out on a chassis dynamometer, using three cycles describing actual driving. In addition to fuel consumption, exhaust emissions were also recorded for these vehicles.</p> <p>The differences in fuel consumption and operating expenses were after all smaller than first anticipated. When it comes to the Euro 3 -class reference vehicles, Volvo consumes 7–10% more fuel than Scania. For new two-axle vehicles the difference in fuel consumption, when simulating urban driving, is only 3–4%. Due to different technical solutions, the results were anticipated to be greater. In suburban driving although, the difference is at its most 11%. The Volvo Euro 4 -bus has in average the lowest fuel consumption. Looking at the three-axle vehicles, Scania consumes 3–5% less fuel than does Volvo.</p> <p>The measurements do not give an unambiguous answer to whether the EGR- or SCR-technology is preferable regarding fuel consumption. The contemplation is hindered by two factors. On one hand, the order of superiority depends on the driving cycle, on the other, the actual exhaust emissions do not match with expectations. Scania's Euro 4 -engines produce higher NO<sub>x</sub>-emissions than its Euro 3 -engine. The fuel efficient Volvo Euro 4 -engine is not truly Euro 4 -class what comes to NO<sub>x</sub>-emissions. The Mercedes-Benz Euro 4- and Volvo Euro 5 -engines produce NO<sub>x</sub>-emissions genuinely matching their classes.</p> <p>Both fuel consumption and exhaust emissions have been observed in the study. In case exhaust emissions were completely disregarded, fleet decisions might be directed towards fuel efficient vehicles which after all do not reach the level of emission performance that reasonably could be expected.</p>		
ISBN 978-951-38-6904-5 (soft back ed.) 978-951-38-6905-2 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (soft back edition) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		Project number C5SU00980, 15691
Date March 2007	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 47 p. + app. 1 p.
Name of project 31PLLBUS		Commissioned by Finnish Public Transport Association
Keywords public transport, urban transport, vehicles, buses, diesel engines, fuel consumption, exhaust emissions, performance, measurements, operating expenses		Publisher VTT P.O.Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374

Suomen Paikallisliikenneliitto ry:n (PLL) hankkeessa mitattiin yhteensä seitsemän autoa, kaksi kaksiakselista Euro 3 -autoa referenssinä, kolme uutta Euro 4 -tasoista kaksiakselista autoa ja kaksi uutta kolmiakselista autoa (Euro 4- ja Euro 5 -tasoiset autot). Mittaukset tehtiin alustadynamometrissa kolmella todellista ajoa kuvaavalla syklillä. Polttoaineenkulutuksen lisäksi autoista mitattiin myös pakokaasupäästöt.

PLL:n tavoitteena on tarjota jäsenyrityksilleen päätöksenteon pohjaksi tietoa eri tekniikka- ja autovaihtoehtojen suorituskyvystä todellisuutta vastaavissa ajo-olosuhteissa.

---

Julkaisu on saatavana

VTT  
PL 1000  
02044 VTT  
Puh. 020 722 4404  
Faksi 020 722 4374

Publikationen distribueras av

VTT  
PB 1000  
02044 VTT  
Tel. 020 722 4404  
Fax 020 722 4374

This publication is available from

VTT  
P.O. Box 1000  
FI-02044 VTT, Finland  
Phone internat. + 358 20 722 4404  
Fax + 358 20 722 4374