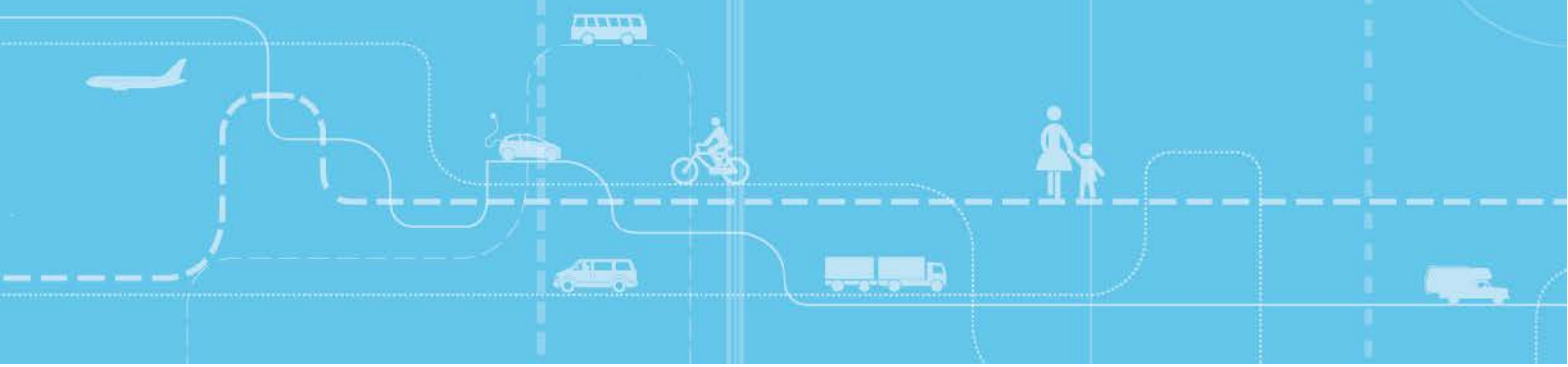


Utslipp fra kjøretøy med Euro 6/VI teknologi

Måleprogrammet fase 2



Utslipp fra kjøretøy med Euro 6/VI teknologi Måleprogrammet fase 2

Rolf Hagman
Astrid H. Amundsen

Forsidebilde: VTT

Transportøkonomisk institutt (TØI) har opphavsrett til hele rapporten og dens enkelte deler. Innholdet kan brukes som underlagsmateriale. Når rapporten siteres eller omtales, skal TØI oppgis som kilde med navn og rapportnummer. Rapporten kan ikke endres. Ved eventuell annen bruk må forhåndssamtykke fra TØI innhentes. For øvrig gjelder [åndsverklovens](#) bestemmelser.

Registreringsskjema faktaside TØI rapport

Skjemaet fylles ut og leveres avdelingssekretær som sørger for registrering i Rapportarkiv-basen og skriver ut faktasiden fra denne basen

| | Norsk | Engelsk |
|-----------------------------------|---|---|
| Rapport nr | 1291/2013 | |
| Tittel | Utslipp fra kjøretøy med Euro 6/VI teknologi - Måleprogrammet fase 2 | Emissions from vehicles with Euro 6/VI technology - Test phase 2 |
| Forfatter(e) | Rolf Hagman, Astrid H. Amundsen | |
| Prosjektnr | 3948 | |
| Prosjektnavn | Måleprogram - avgassutslipp fra kjøretøy | Emission testing – Exhaust from vehicles |
| Programnr | 23 | |
| Kvalitetsansvarlig | Ronny Klæbøe | |
| Prosjektleder | Rolf Hagman | |
| Utgivermåned og år | Desember 2013 | December 2013 |
| Antall sider inkl vedl | 63 | |
| Pris NOK | | |
| Finansieringskilde | Statens vegvesen Vegdirektoratet | The Norwegian Public Roads Administration |
| Sammenheng: (maks 100-125 ord) | <p>Erfaringsmessig har nye kjøretøy ofte betydelig høyere avgassutslipp i virkelig trafikk enn hva som fremgår av typegodkjenningsverdiene.</p> <p>Kjøretøy med Euro 6/VI teknologi viser seg i henhold til de gjennomførte testene å ha lavere utslipp av lokalt helseskadelige avgasskomponenter enn hva som er tilfelle med tilsvarende kjøretøy med Euro 5/V teknologi.</p> <p>Lette kjøretøy med dieselmotor viser seg ved kjøring i virkelig trafikk og i kulde dog å ha relativt høye utslipp av NO_x.</p> <p>Tunge kjøretøy med Euro VI motorer viser seg å ha meget lave utslipp av NO_x. SCR renseteknologien er her meget effektiv.</p> <p>Nye kjøretøyteknologier viser seg i enkelte tilfeller å kunne gi utslipp av lystgass (N₂O) og PM, partikler.</p> | <p>Experience indicates that vehicles in real traffic emit higher amounts of emissions than the nominal values obtained from the approval testing procedures.</p> <p>The tested vehicles with Euro 6/VI technology show significant lower emissions than corresponding vehicles with Euro 5/V technology</p> <p>Light Euro 6 diesel vehicles show in “real” traffic and at cold temperatures however emission of NO_x that still are high.</p> <p>The tested heavy-duty vehicles with Euro VI engines have very low emission of NO_x. The SCR exhaust-cleaning technology is thus, here shown to be very efficient.</p> <p>New vehicle technologies show in specific conditions to have somewhat alarming emissions of N₂O and PM.</p> |
| Emneord | Avgassutslipp, Dieselmotorer, NO _x , Euro 6/VI | Emission, Diesel engines, NO _x , Euro 6/VI |

ISBN nr registreres direkte i basen av SJ når du tar ut rapportnr

Forord

Nye europeiske krav til typegodkjenning for personbiler (Euro 6) og motorer til tunge kjøretøy (Euro VI) skjerper kravene til utslipp for kjøretøy som kommer i salg 2014-2015. Imidlertid overskrider faktiske utslipp og utslipp som måles i virkelig trafikk og under vinterforhold ofte nominelle verdier oppnådd ved europeisk typegodkjenning.

Rapporten *Utslipp fra kjøretøy med Euro 6/VI teknologi - Måleprogrammet fase 2* presenterer i en tidlig fase måleresultater for avgassutslippene fra et mindre utvalg lette og tunge kjøretøy. Kjøretøyene er testet med kjøremønstre som viser utslipp i virkelig trafikk ved bykjøring og i nordisk kulde. Rapporten er en oppfølger til TØI rapport 1259/2013 *Utslipp fra kjøretøy med Euro 6/VI teknologi*. Avgassmålingen er utført i samarbeid med den finske statens forskningsinstitutt, VTT. Avgassutslipp fra et mindre utvalg kjøretøy som oppfyller de strenge Euro 6/VI kravene er målt. Hensikten med målingene er å få indikasjoner på reelle utslipp under nordiske forhold, og etablere et kunnskapsmessig grunnlag for å anslå i hvilken grad kjøretøyer som tilfredsstiller de nye utslippskravene vil bidra til bedre luftkvalitet i norske storbyer.

Måleprogrammet fokuserer på utslippene av den helseskadelige komponenten av nitrogenoksider, nitrogendioksid (NO₂). Andre regulerte og uregulerte avgasskomponenter som kan bidra til klimapåvirkning og lokal luftforurensing er imidlertid også målt.

Prosjektet og måleprogrammet er finansiert av Statens vegvesen Vegdirektoratet. TØI har utført prosjektet i samarbeid med VTT. TØI ved forsker Rolf Hagman har vært prosjektleder. Kontaktperson hos oppdragsgiver er Jørn Arntsen.

Rapporten er skrevet av forskerne Rolf Hagman (TØI) og Astrid H. Amundsen (TØI). Rolf Hagman har hatt det faglige ansvaret og Astrid H. Amundsen har bidratt med vurderinger og stått for redigeringen av innholdet. Forskningsleder Ronny Klæboe har vært ansvarlig for kvalitetssikringen av rapporten, mens sekretær Trude Rømme har tilrettelagt rapporten for publisering.

Oslo, desember 2013
Transportøkonomisk institutt

Gunnar Lindberg
direktør

Ronny Klæboe
forskningsleder

Innhold

Sammendrag

Summary

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introduksjon | 1 |
| 1.1 | Bakgrunn | 1 |
| 1.2 | Luftkvalitet | 1 |
| 1.3 | Kjøretøy..... | 2 |
| 1.4 | Hensikten med oppdraget..... | 3 |
| 1.5 | Forventninger til Euro 6/VI | 4 |
| 2 | Metode | 5 |
| 2.1 | Avgasslaboratorium | 5 |
| 2.2 | FTIR måleteknologi..... | 7 |
| 2.3 | VTT's avgasstester vs typegodkjenningstester..... | 9 |
| 2.4 | Kjøresykluser for lette kjøretøy..... | 11 |
| 2.5 | Kjøresykluser for tunge kjøretøy | 14 |
| 3 | Resultater lette kjøretøy | 18 |
| 3.1 | Generelt | 18 |
| 3.2 | Testresultater - bykjøring | 19 |
| 3.3 | Sammenstilling av noen resultater fra fase 1 og 2 | 23 |
| 4 | Resultater tunge kjøretøy | 27 |
| 4.1 | Generelt | 27 |
| 4.2 | Testresultater - diverse kjøresykluser | 28 |
| 5 | Diskusjon | 32 |
| 6 | Referanser | 34 |
| | Vedlegg 1: Måledata - Vegdirektoratets måleprogram fase 2 | 35 |
| | Vedlegg 2: Måledata - Vegdirektoratets måleprogram fase 1 | 46 |
| | Vedlegg 3 Avgassmåling med FTIR ved VTT | 59 |

Sammendrag:

Utslipp fra kjøretøy med Euro 6/VI teknologi Måleprogrammet fase 2

TØI rapport 1291/2013
Forfattere: Rolf Hagman, Astrid H. Amundsen
Oslo 2013 63 sider

Et begrenset utvalg måleserier viser at reelle utslipp av helseskadelig nitrogenoksider, NO_x fra kommende generasjon dieslbiler kan bli dramatisk redusert. Dette er spesielt gledelig ettersom fokus på å redusere utslipp av avgasspartikler i den forrige runden av de skjerpede kravene til avgassutslipp (Euro 5/V-kravene i 2009) uønsket ga høyere enn forventede utslipp av nitrogenoksider. Neste generasjon tunge kjøretøy med Euro VI motorer ser ut til å slippe ut radikalt mindre mengder NO_x enn tidligere generasjoner. Euro 6 personbiler med dieselmotorer klarer de strenge typegodkjenningskravene til utslipp av NO_x, men forbedringene i virkelig trafikk og i kulde er likevel mer beskjedne enn forbedringene er for tunge kjøretøy. Vanlige bensinbiler og en hybridbil med bensinmotor viser knapt målbare utslipp av NO_x.

Målingene med moderne diesel personbiler avslører med en nordisk bykjøresyklus og i kaldt nordisk klima at reelle utslipp av flere avgasskomponenter fortsatt ligger godt over de verdier som oppgis fra EUs typegodkjenning. Når det er kaldt øker også andelen bilister, køene blir tettere samtidig som forurensingen under ugunstige forhold samles under lokke (temperaturinversjoner i kombinasjon med lite vind). Det er følgelig behov for å overvåke reelle utslipp. Ettersom måleseriene er få, er det ønskelig å supplere med måleserier fra et bredere utvalg av tunge og lette kjøretøy.

Nye og strengere avgasskrav vil gjelde for alle typer nye kjøretøy fra 2014-2015. TØI undersøker her om de kjøretøy som oppfyller de kommende Euro 6/VI-kravene vil redusere utslippene fra veitrafikken så mye som forventet, og om ny motor eller renseteknologi eventuelt vil ha uønskede sideeffekter. (Latinske nummer (6) angir typegodkjenningskravene som stilles til utslipp fra lette kjøretøy, mens romertallene (VI) angir kravene til motorene i tunge kjøretøy).

Vegdirektoratet har engasjert TØI og VTT for å utføre målinger av utslipp fra Euro 6/VI kjøretøy. De viktigste funnene er:

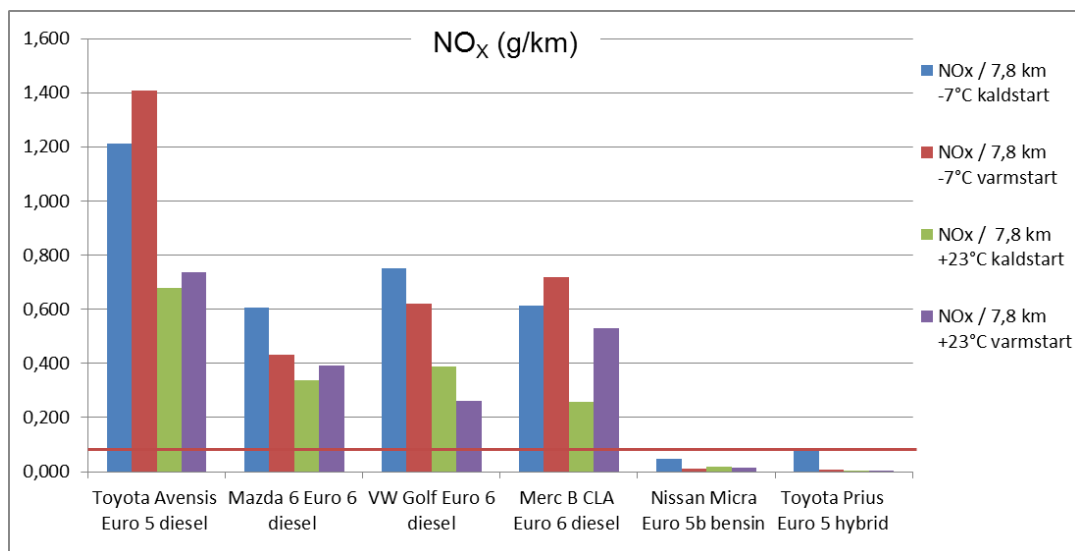
- Nye Euro 6 dieslbiler har lavere utslipp av NO_x og spesielt av NO₂ enn tilsvarende Euro 5 dieslbiler. Utslippene av NO_x i virkelig trafikk er dog *fortsatt 3-5 ganger høyere enn utslippsnivået for typegodkjenning*. Ved -7°C (vinterkjøring og kaldstart) er avgassutslippene av NO_x rundt 0,5 g/km, og 5-8 ganger høyere enn for typegodkjenning.
- Tunge kjøretøy med Euro VI motorer viser seg ha meget lave utslipp av NO_x og NO₂. Avgassutslippene av NO_x og PM er så lave at tunge kjøretøy med Euro VI motorer kan sammenliknes med Euro 6 diesel personbiler.

Resultatene fra måleseriene (inkludert første fase) bekrefter langt på veg de indikasjonene vi fikk fra første fase av måleprogrammet og som er rapportert tidligere. Utslippene av lokalt helseskadelige avgasser i virkelig trafikk blir klart lavere enn for tilsvarende kjøretøy med Euro 5/V teknologi.

Euro 6 personbiler og ny motorteknologi

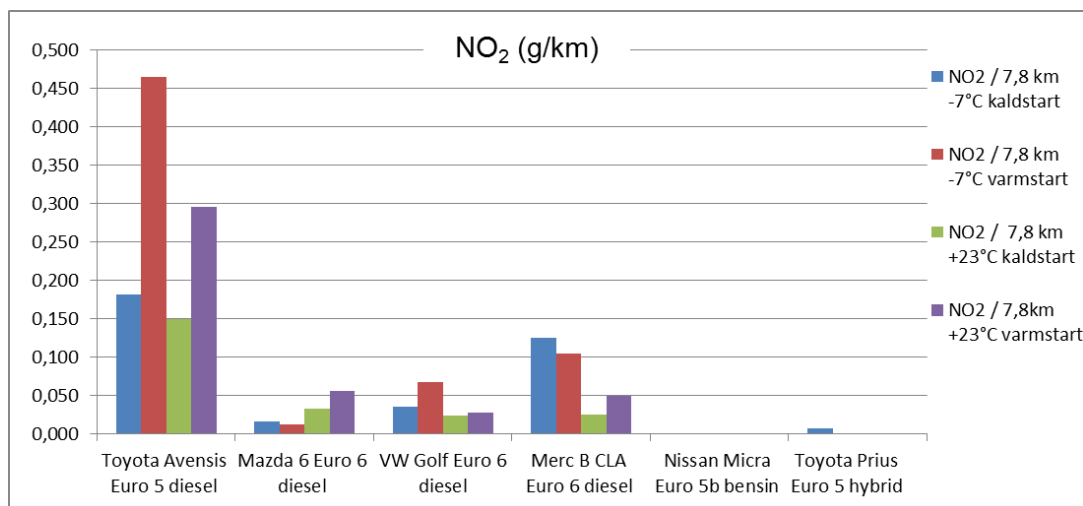
Utslippene fra personbiler er registrert ved kjøring av en ”Helsinki bykjøresyklus”, som har en lengde på 7,8 km og ved temperaturene -7°C respektive $+23^{\circ}\text{C}$. Utslipper fra kjøretøyene er målt både ved kald- og ved varmstart.

Utslippene av NO_x fra Euro 6 dieserbiler er lavere enn utslippene fra Euro 5 dieserbiler, men utslippet ligger fortsatt godt over kravet til typegodkjenning (figur S.1). Vi legger imidlertid mer vekt på NO_2 -resultatene enn på NO_x da det er NO_2 nivåene i luften som anses å påvirke helseeffektene. Utslipper av NO_x i typiske vintertemperaturer (-7°C) er høyere enn utslippet ved sommertemperaturer. NO_x utslippet fra de i fase 2 testede bensin og hybridbilene ligger godt under NO_x -utslippene fra dieserbiler.



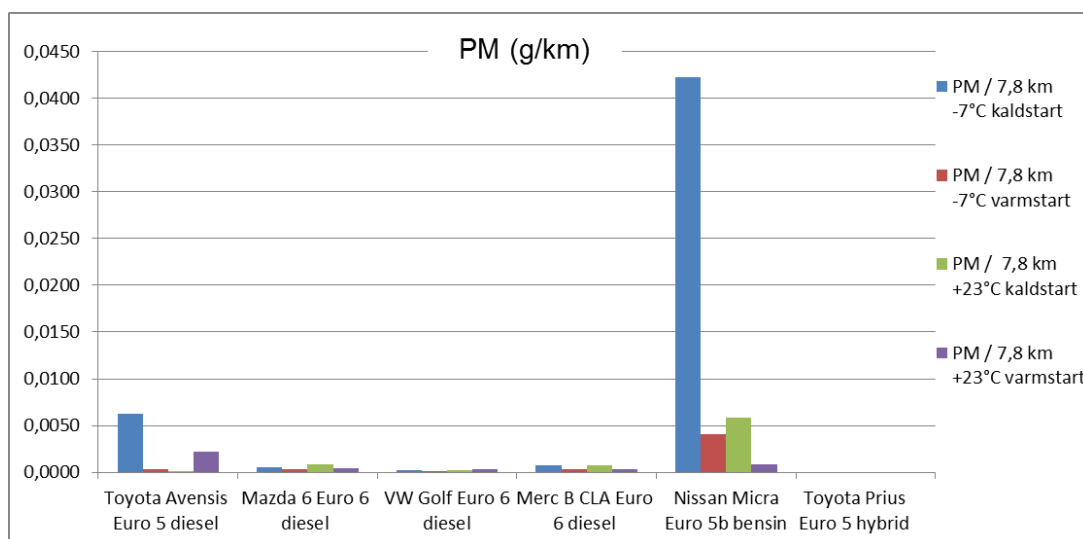
Figur S.1: Utslipp av NO_x fra seks personbiler ved kjøring av Helsinki bykjøresyklus ved temperaturene -7°C respektive $+23^{\circ}\text{C}$ ved kaldstart og ved varmstart. Den røde streken angir NO_x kravet ved typegodkjenning av Euro 6 dieserbiler ($0,08 \text{ g/km}$).

For de testede Euro 6 dieserbilene ser andelen NO_2 (av det totale utslippet av NO_x) ut til å være lavere enn det vi har sett fra dieserbiler med Euro 5 teknologi. Andelen NO_2 fra de forskjellige bilmodellene varierer i forskjellig grad i forhold til kaldstart og lav temperatur. De i måleprogrammet testede bensinbilene og den testede hybridbilene har med et unntak (en bensinbil med ny innsprøytingsteknologi, testet i fase 1 av måleprogrammet) meget lave eller ikke målbare utslipp av NO_2 (se figur S.2).



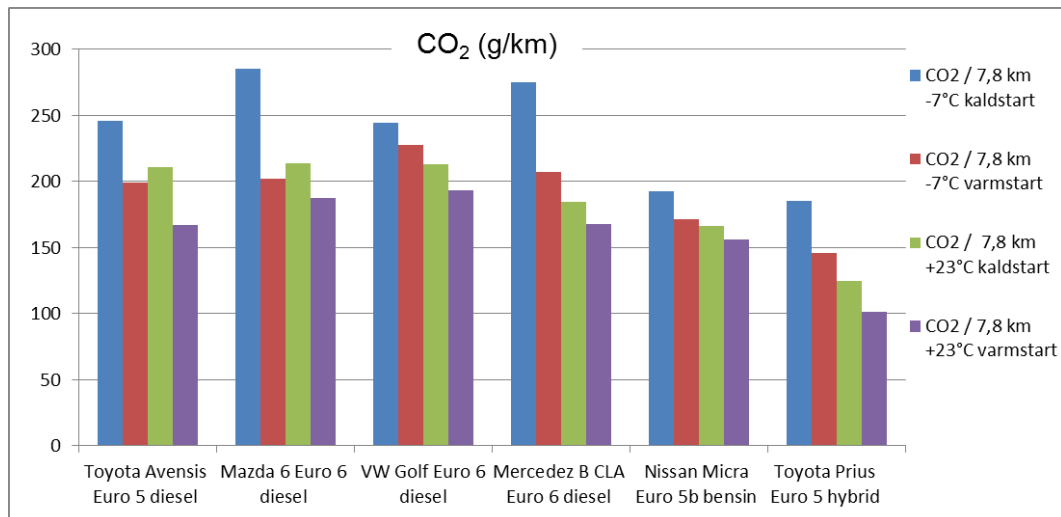
Figur S.2: Utslipp av NO₂ fra seks personbiler ved kjøring av Helsinki bykjøresyklus ved temperaturene -7°C respektive +23°C ved kaldstart og ved varmstart.

Euro 6 dieserbiler og vanlige bensinbiler med effektive partikkelfiltre respektive treveiskatalysator (og støkimetrisk forbrenning) hadde under alle kjøreforhold lave utslipp av avgasspartikler (PM). To personbiler med bensinmotorer og ny innsprøytningsteknologi (en i fase 1 og en i fase 2 av måleprogrammet) viste seg å ha store utslipp av partikler, især ved kaldstart i sterk kulde (se figur S.3).



Figur S.3: Utslipp av PM fra seks personbiler ved kjøring av Helsinki bykjøresyklus ved temperaturene -7°C respektive +23°C ved kaldstart og ved varmstart.

Utslippene av klimagassen CO₂ fra nye Euro 6 dieserbiler i virkelig bytrafikk viser seg å være høye og sannsynligvis på nivå med eller høyere enn tilsvarende utslipp fra Euro 5 dieserbiler (se figur S.4). Utslippene av CO₂ er under ellers like forhold sterkt relatert til størrelse og vekt. Store tunge biler har høyere energiforbruk og større utslipp av CO₂ enn tilvarende små og lette biler. Små biler med bensinmotor kan ha utslipp av CO₂ som er mindre eller i samme størrelse som dieserbiler med Euro 5 eller Euro 6 teknologi.



Figur S.4: Utslipp av CO₂ fra seks personbiler ved kjøring av Helsinki bykjøresyklus ved temperatuene -7°C respektive +23°C og ved henholdsvis kaldstart og ved varmstart.

Tunge kjøretøy med Euro VI motorer

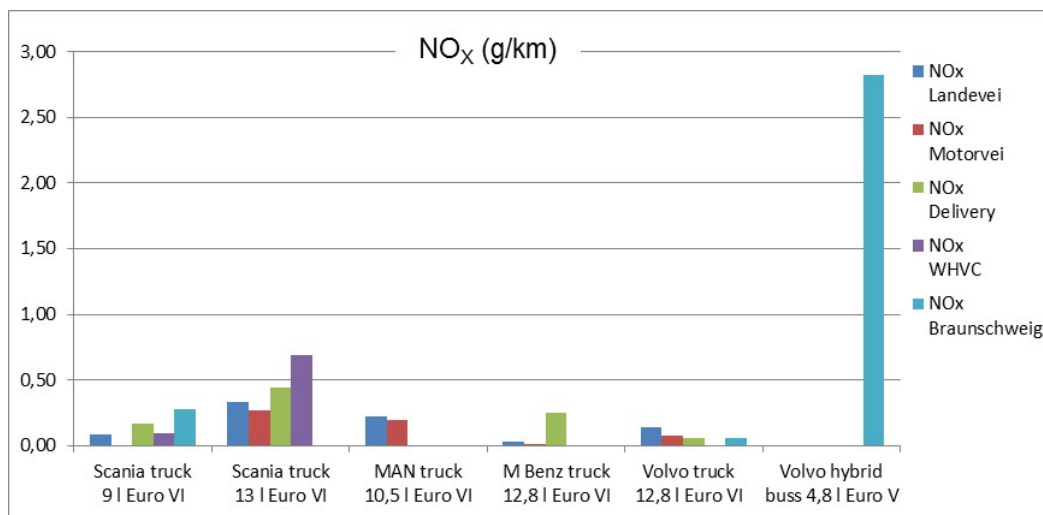
Fire nye tunge kjøretøy med Euro VI motorer er i fase 2 av måleprogrammet testet med kjøretøysykluser som er typiske for hvordan de respektive kjøretøyene skal brukes. Utslippene av NO_x fra de tunge kjøretøyene med Euro VI motorer er sterkt redusert i forhold til utslippene fra tilsvarende kjøretøy med Euro V motorer. Tunge kjøretøy med Euro VI motorer ser ut til å få så godt fungerende rensesystemer at utslippene av lokalt helseskadelige avgasser blir redusert til under 1/10 av utslippene fra tilsvarende kjøretøy med Euro V motorer (se figur S.5).

Utslippene av NO_x fra de testede tunge kjøretøyene med Euro VI motorer er lavere enn eller på nivå med utslippet fra personbiler med dieselmotor (diesel Euro 6 personbiler er målt til 0,3-0,6 g NO_x/km ved +23°C).

En hybridbuss med Euro V motor hadde sammenlignet med tunge kjøretøy og Euro VI motorer høye utslipp av NO_x. I forhold til tradisjonelle diesellusser hadde hybridbussen dog utslipp av NO_x som kun var ca. 1/3 av hva som er vanlig for tradisjonelle diesellusser med Euro V motorer.

Utslippene av CO₂ fra hybridbussen var noe høyere enn hva vi hadde forventet fra en hybridbuss i bytrafikk. Relativt høyt energiforbruk og høye utslipp av CO₂ kan forklares med at bussens hybridfunksjon eventuelt ikke var optimalt effektiv ved en så energikrevende kjøresyklus (mange start og stopp) som Braunschweig bykjøresyklus. Et kjøremønster med færre start og stopp samt mindre krevende akselerasjoner og retardasjoner viste seg også å gi betydelig lavere utslipp av CO₂ og større energigevinst. Hybridbussen passet bedre for andre bykjøremønster enn Braunschweig bykjøresyklus.

Utslippene av klimagassen N₂O ser fra noen få tester med tunge kjøretøy ut til å kunne bli relativt store under spesielle kjørebetingelser. Et av de tunge kjøretøyene hadde ved et tilfelle så høye utslipp av klimagassen N₂O som 0,6-0,9 g/km. Ettersom disse mengdene N₂O tilsvarer ca. 180 til 270 g/km i CO₂ ekvivalenter er N₂O utslipp fra dieselmotorer verdt å følge opp i klimagass-sammenheng.



Figur S.5: Utslipp av NO_x fra seks tunge kjøretøy ved kjøring av ulike kjøretøysykluser (merk at bussen til høyre har en Euro V motor).

Diskusjon

Resultatene fra de tester som vi har gjennomført gir ikke grunnlag for å trekke endelige konklusjoner om Euro 6/VI-teknologien. Resultatene forteller oss at det er mulig å oppnå meget lave nivåer av lokalt forurensende avgassutslipp, samtidig som vi ser at nye problemer kan oppstå.

Måleprogrammet begynner nå å gi oss et bilde av hva vi kan forvente av lette og tunge kjøretøy med Euro 6/VI teknologi. Vi fokuserer på mulighetene for reduserte avgassutslipp i virkelig trafikk. Avgassmålinger av kjøretøy med ny Euro 6/VI teknologi gir ny informasjon om muligheter og om utfordringer med nye motorer og ny renseteknologi.

Personbiler har utslippstall fra typegodkjenningen (NEDC kjøresyklus) som er lavere enn utslippstallene fra de tester som vi har gjennomført hos VTT. For utslipp av klimagasser er utslippene 10-30 % høyere ved kjøring i virkelig trafikk enn hva som fremkommer ved typegodkjenningen.

For NO_x er utslippene fra dieslbiler ofte flere hundre prosent høyere ved kjøring i virkelig trafikk enn hva som fremkommer fra typegodkjenningen. En foreløpig hypotese er at nye lette personbiler med dieselmotor optimeres for lave utslipp av CO₂, men at ambisjonene når det gjelder NO_x er å klare kravene men ikke oppnå så lave utslipp som mulig.

Utslipet av PM (avgasspartikler) har tradisjonelt vært lavt fra moderne bensinbiler. Nye bensinbiler med energieffektiv innsprøytningsteknologi (DI teknologi) viser seg å kunne ha høye partikkelutslipp ved kaldstart. DI teknologien for bensinmotorer medfører at DI bensinmotorer på mange måter likner moderne dieselmotorer. Likheter med dieselmotorer medfører mulighet for lavt forbruk av drivstoff men også behov for økt oppmerksomhet på mulige utslipp av PM og NO_x.

Tunge kjøretøy med Euro VI motorer har imponerende lave utslipp av NO_x og PM. De lave utslippene kan tilskrives avansert og godt utprøvd teknologi som i praksis betyr partikkelfiltre og selektiv katalytisk reduksjon av NO_x (SCR med AdBlue).

Fokus på og måling av alle tenkelige utslippskomponenter som NO₂, N₂O, NH₃ (ammoniakk) og PM (ikke bare dieslbiler men også fra bensinbiler) er nødvendig for å unngå overraskelser som kan være en trussel mot klima og lokal miljø.

Kunnskap om Euro 6/VI avgassutslipp kan på en effektiv måte oppnås ved samarbeid mellom internasjonale forskningsinstitutter, myndigheter og produsenter av kjøretøy. Mer kunnskap er avgjørende for å kunne ta de rette avgjørelsene om fremtidig kjøretøyteknologi, drivstoffer, utslipp og eventuelle tiltak for å forbedre luftkvaliteten.

Avgassmålingene er utført med nye kjøretøy og det er behov for å måle utslippene etter en tids bruk slik at rensesystemenes aldrings- og bruksegenskapene blir kjent.

En ytterligere fordel med å ha flere måleserier er at det blir mulig å si noe om hvor stor variasjonen er mellom kjøretøy i samme klasse og også mellom enkeltkjøretøy av samme merke.

Summary:

Emissions from Euro 6/VI vehicles Test programme phase 2

TØI Report 1291/2013

Authors: Rolf Hagman and Astrid H. Amundsen
Oslo 2013, 63 pages Norwegian language

Tests show that the emissions of nitrogen oxides, NO_x, from future generations of vehicles can be dramatically reduced. This is positive news, since the late Euro 5/V regulations designed to reduce exhaust particulate, PM emissions, had the unintended drawback of increasing emissions of NO₂ (the toxic part of NO_x). According to our tests, the next generation of heavy-duty vehicles with the new Euro VI engine emits significantly lower amounts of NO_x in all kinds of driving cycles than did earlier generations of heavy-duty vehicles. While new Euro 6 light vehicles with diesel engines comply with the strict new Euro 6 limits for NO_x, the improvements in real-life traffic and at cold temperatures are not of the same magnitude as for heavy-duty vehicles. Modern conventionally petrol-engined cars and one hybrid petrol-engined light vehicle show to have very low and barely detectable emissions of NO_x.

The emission tests with diesel-engine cars show that in a Nordic city driving cycle and cold climate real-life emissions may be much higher than the approved certification levels. In a cold climate the number of cars and congestion increase, and there may be a risk of a layer of air leading to inversion, pollution and low air quality. Knowledge and understanding of new engine technology and exhaust-cleaning effects is important when action is being taken to combat future problems.

New and stricter limits on exhaust emissions will be mandatory for all new road vehicles from 2014-2015. The Institute of Transport Economics (TØI) is investigating whether new vehicles that comply with the forthcoming Euro 6/VI-legislations will reduce emissions from road traffic as much as expected, and/or whether new engines and new exhaust technology may lead to new problematic emissions.

The Norwegian Public Roads Administration has engaged TØI and VTT to measure emissions from vehicles with Euro 6/VI legislation. TØI report 1259 "*Emissions from vehicles with Euro 6/VI technology*" was the first indication that emissions of NO_x and NO₂ were lower from vehicles with Euro 6/VI technology than from similar vehicles with Euro 5/V technology. The results from the first phase of the emission test programme were confirmed in this second test phase, when we tested three additional type-approved Euro 6 diesel private cars, one petrol-engined car with new DI (direct injection) technology and three heavy-duty vehicles with Euro VI engines. The most significant findings were:

- NO_x and especially emissions of NO₂ from the new Euro 6 diesel cars are significantly lower than emissions from corresponding Euro 5 cars. NO_x emissions in real traffic conditions, however, are still about 3-5 times higher than the requirement values for type approval. At -7°C (winter conditions), emissions of NO_x are about 5-8 times higher than the legislation test values.
- Heavy-duty vehicles with Euro VI engines have impressively low emissions of NO_x and NO₂. The exhaust emissions of NO_x and PM are comparable with those of diesel Euro 6 private cars.

Euro 6 diesel cars and cars with new engine technology

Emissions from private cars when driven over a "Helsinki city cycle", which is 7.8 km, are measured at both -7°C (cold/warm start) and $+23^{\circ}\text{C}$ (cold/warm start).

Emissions of NO_x from Euro 6 diesel cars tested so far are significantly lower than from Euro 5 diesel cars, but still exceed the legislation level for the car model approval test (see figure S.1). Emissions in typical winter temperatures (-7°C) have been shown to be higher than in summer temperatures ($+23^{\circ}\text{C}$ is the type approval temperature).

NO_x emissions from conventional three way catalyst petrol-engined cars and a reference petrol-engined hybrid car that we tested in phase 1 of the test programme are well below those from diesel-engined cars.

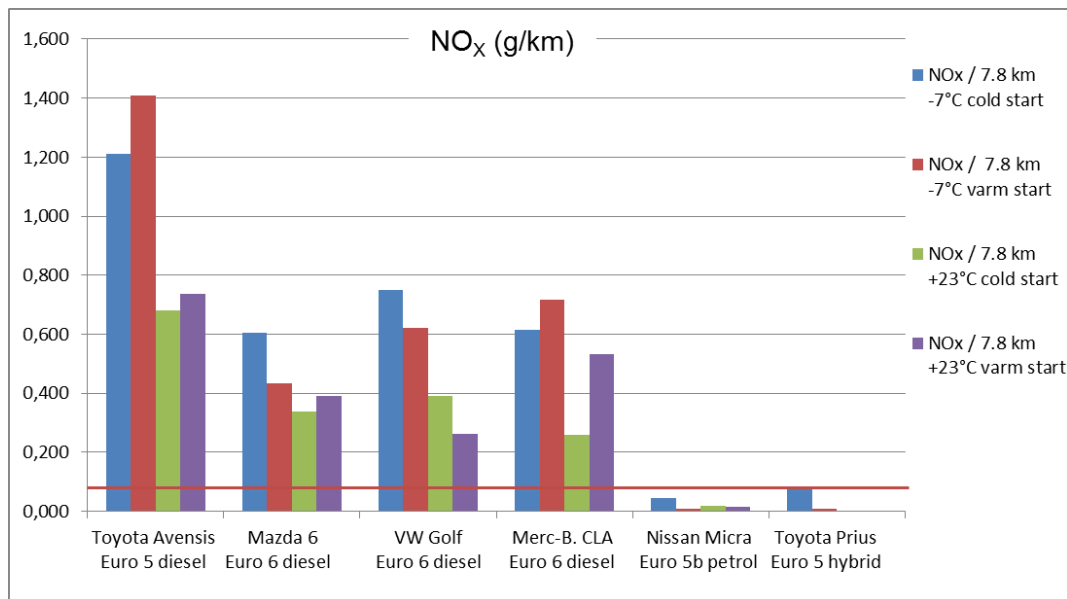


Figure S.1: NO_x emission from six light vehicles driving the Helsinki city cycle in -7°C and $+23^{\circ}\text{C}$ (cold/warm start). The red line shows the requirement for the type approval of Euro 6 diesel cars (0.08 g/km).

The measured values of NO_2 and the NO_2 -part of the total amount of NO_x emitted from the Euro 6 diesel cars tested was lower than from Euro 5 diesel cars (see figure S.2). NO_2 and some NO_x emissions vary between different cars and cold temperatures. Altogether, the ordinary petrol cars and the hybrid car had little or only insignificant emissions of NO_2 .

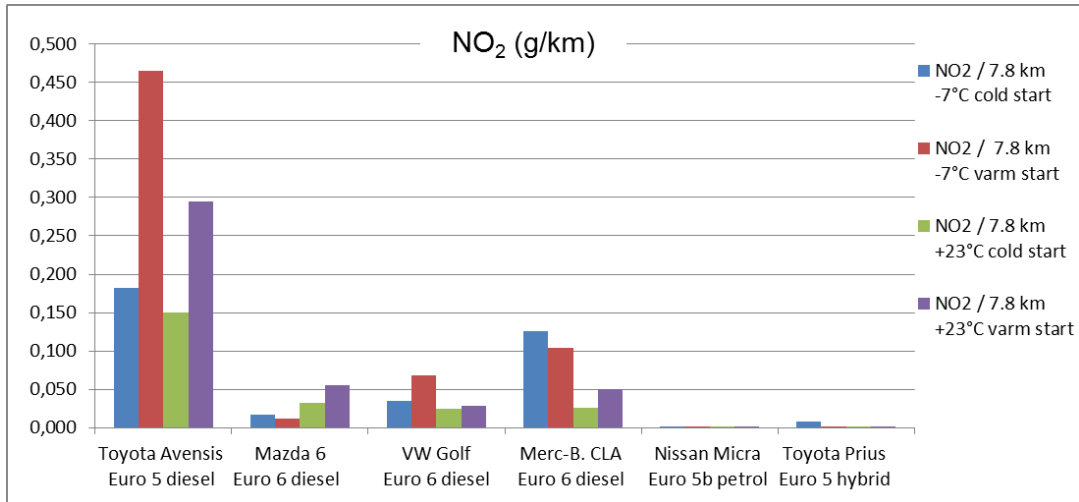


Figure S.2: NO₂ emission from six light vehicles driving the Helsinki city cycle in -7°C and +23°C (cold/warm start).

The emissions of PM were low for all the Euro 6 diesel-engined cars tested as well as for Euro 5 diesel cars (see figure S.3).

In phase 2 of the emission test programme, the Euro 5 b petrol car (with DI, direct injection technology) had high emissions of PM at cold start and at -7°C. The same was the case with the Euro 5 DI petrol-engined car (i.e. with DI injection technology) tested during the first phase of the test programme.

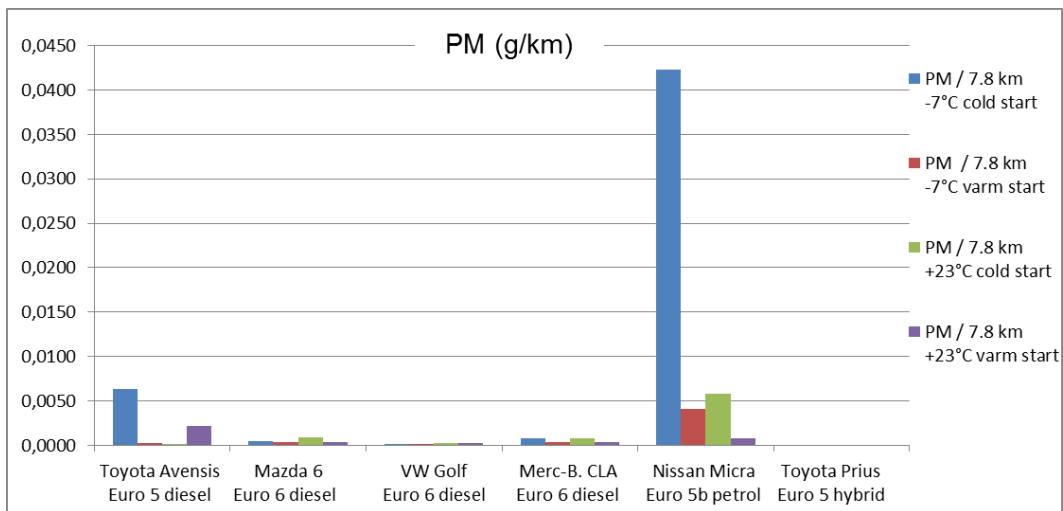


Figure S.3: PM emission from six light vehicles driving the Helsinki city cycle in -7°C and +23°C (cold/warm start).

In city traffic, the CO₂ emissions from Euro 6 diesel cars were high and probably at least the same level as corresponding Euro 5 diesel cars (see figure S.4). Under the same conditions, emissions of CO₂ correlate strongly with the weight of the car. Large heavy cars have a higher fuel consumption and higher CO₂ emissions than small cars. In city driving, small petrol-engined cars have emissions of CO₂ that are lower or at the same level as bigger new Euro 5 and Euro 6 cars with diesel engines. Figure S.4 clearly shows the increase of CO₂ emissions at cold start.

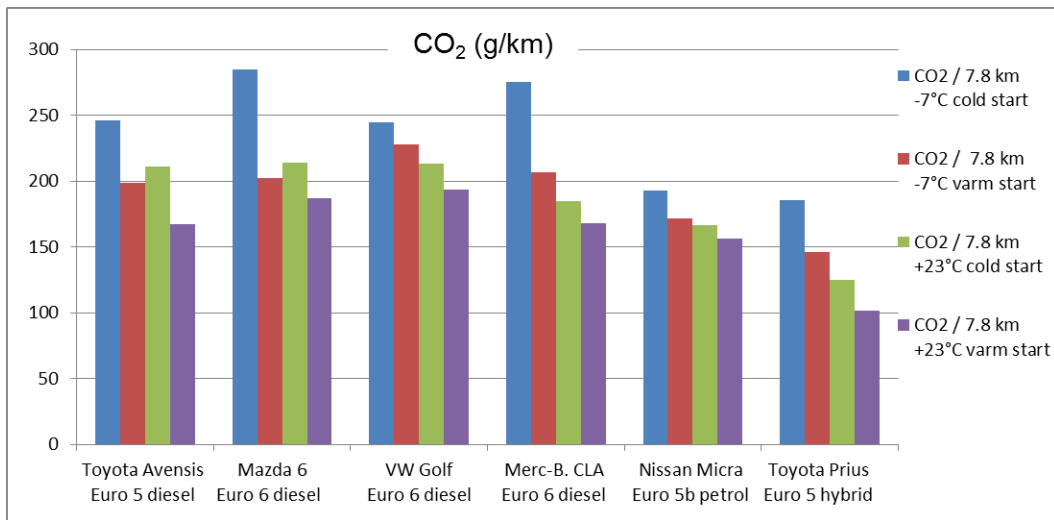


Figure S.4: CO₂ emission from six light vehicles driving the Helsinki city cycle in -7°C and +23°C (cold/warm start).

Heavy-duty vehicles with Euro VI engines

Heavy-duty vehicles are tested over various vehicle driving cycles typical for the vehicles tested. NO_x and PM emissions from heavy-duty vehicles with Euro VI engines are very low and greatly reduced compared to emissions from corresponding vehicles with Euro V engines. The NO_x emissions from the tested heavy-duty vehicles with Euro VI engines are shown to be comparable with, or lower than, the emission from Euro 6 diesel private cars (figure S.5).

A tested hybrid bus with Euro V engine has higher NO_x emissions than the tested heavy-duty vehicles with Euro VI diesel engines. However, according to corresponding tests with ordinary diesel buses with Euro V engines, the hybrid bus emits less than half the NO_x emissions.

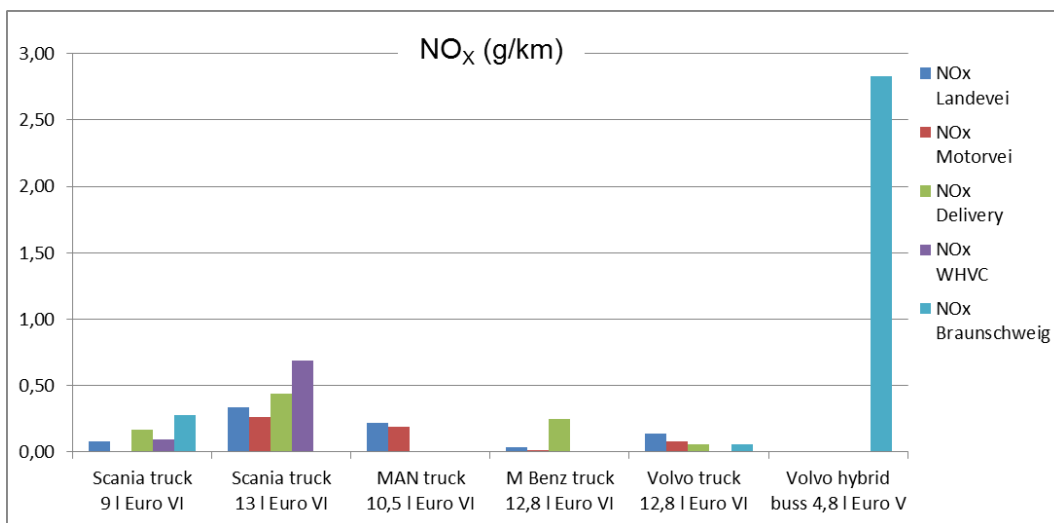


Figure S.5: NO_x emission from six heavy-duty vehicles tested using five different driving cycles (note that the bus to the right has a Euro V engine).

The emissions of CO₂ from the hybrid bus in city traffic (Braunschweig cycle) were higher than expected and may be explained by the fact that the Braunschweig cycle is extremely demanding and that the hybrid system was probably optimized to a less energy demanding driving pattern. With a somewhat less demanding driving cycles (SORT 1-3) used in addition, CO₂ was much lower.

In a few tests with heavy-duty vehicles, emissions of the powerful greenhouse gas N₂O were high, and in one case particularly high. The measured 0.6-0.9 g N₂O/km corresponds to 180-270 g CO₂/km, and under these conditions the N₂O emissions may seriously contribute to the global warming emissions from the vehicle.

Discussion

The results from the two test phases are not enough for solid conclusions to be drawn about Euro 6/VI-technology and future exhaust emissions, but they do tell us that it is possible to achieve low levels of regulated and unregulated locally harmful exhaust pollution. At the same time, though, we can see new problems that could arise.

Private cars have emissions from the legislation test (NEDC driving cycle) that are lower than the emissions TØI has measured at VTT. The CO₂ emissions are measured 10-30% higher than comparable legislation values. From new diesel engine cars the emissions of NO_x are often several hundred percent higher than what is shown from the legislation data. A possible explanation may be that new cars with diesel engines are optimized for low emissions of CO₂ at the legislation test but only to pass the test with respect to NO_x.

Heavy-duty vehicles with new Euro VI engines show impressively low emissions of NO_x and PM that are a result of advanced and well tested PM traps and Selective Catalytic Reduction SCR (with AdBlue) of NO_x.

Rather than focus on specific producers of engines or specific new car models, we want to find out more about Euro 6/VI technology, possibilities for reducing emissions, and show the need for objective testing.

A focus on measurements of unregulated emission components such as NO₂, N₂O, NH₃ (Ammonia) and PM, not just from diesel engines but also from petrol-engined cars, is necessary if we are to avoid unexpected surprises with greenhouse gases and local pollutant emissions.

Knowledge about Euro 6/VI emissions can be achieved efficiently through cooperation among researchers, authorities and vehicle producers, and is essential if we are to come to the right decisions about future vehicle technology, fuels, emissions and action to improve air quality.

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Utslipp fra den norske bilparken reguleres i hovedsak gjennom europeiske krav til typegodkjenning. EUs AutoOil program startet i 1992 og setter krav til kvaliteten på drivstoffer og samtidig krav til avgassutslipp fra nye biler og nye motorer.

Avgasskravene kalles Euro-krav. Kravene har gjennom årene blitt skjerper og fra 2014-2015 gjelder Euro 6 for typegodkjenning av nye lette kjøretøy og Euro VI for godkjenning av nye motorer til tunge kjøretøy.

Statens vegvesen ønsker med prosjektet *Utslipp fra kjøretøy med Euro 6/VI teknologi* en dypere forståelse av hvordan avgassutslipp fra nye kjøretøy kan påvirke luftkvaliteten i norske byer. En slik forståelse er nødvendig for å iverksette eventuelle tiltak som er nødvendige for akseptabel luftkvalitet. Prosjektet *Utslipp fra kjøretøy med Euro 6/VI Måleprogrammet fase 2* er en fortsettelse av prosjektet *Utslipp fra kjøretøy med Euro 6/VI teknologi* (TØI rapport 1259/2013). TØI rapport 1259/2013 gir noen eksempler på hvilke reduksjoner av helseskadelige avgassutslipp som er mulig å oppnå med ny motor- og renseteknologi.

Norge har etter 2002 ikke hatt egne laboratorier for å måle avgassutslipp fra kjøretøy under kjøring. TØI har derfor etablert et løpende samarbeid med den finske statens forskningsinstitutt, VTT som har et meget kompetent og avansert miljø for avgasstesting av kjøretøy.

Euro 6/VI kravene vil først gjelde fra 2014. I slutten av 2013 er det fortsatt store vanskeligheter med å få tak i lette og tunge kjøretøy med typegodkjent Euro 6/VI teknologi. I samarbeid med VTT har vi likevel lyktes å få tak i og teste tre lette og tre tunge kjøretøy med Euro 6/VI teknologi. I tillegg har vi testet en lett Euro 5 b bensinbil med ny motorteknologi (direkte innsprøyting) og en hybridbuss med Euro V motorteknologi. Bensinbilen med direkte innsprøyting av bensin har i utgangspunktet lavt energiforbruk, men risiko for høye utslipp av NO_x (nitrogenoksider) og PM (avgasspartikler). Hybridbussen er av stor interesse, da hybridteknologien kan redusere både drivstoff-forbruket og helseskadelige avgassutslipp.

1.2 Luftkvalitet

Typegodkjenningskravene til alle typer kjøretøy, inklusive dieslbiler, har blitt stadig strengere (Hagman, Gjerstad og Amundsen 2011). Lenge satte man sin lit til at europeiske typegodkjenningskrav til nye kjøretøy automatisk ville løse problemet med dårlig luftkvalitet. Reguleringene har også ført til at moderne bensinbiler med treveiskatalysator i dag har svært lave utslipp. Fra 2009 gjensto stort sett utslipp av PM og NO_x som problemer med hensyn til lokalt helseskadelige utslipp fra dieselmotorer. Effektive partikkelfiltre viste seg i stor grad å løse problemet med eksospartikler. Som uønsket sideeffekt ble mer av NO_x'en oksydert til helseskadelig

NO₂. Kjøretøy med dieselmotorer har fortsatt høye utslipp av NO_x og fikk med de nye partikkelfiltrene økte utslipp av NO₂ (Hagman, Gjerstad, Amundsen 2011).

Overskridelser av grenseverdiene for NO₂ og høye utslipp av NO_x og NO₂ har avdekket behov for bedre kunnskap om hva som vil skje videre med luftkvaliteten i de største norske byene. Avgassutslipp i virkelig trafikk fra kjøretøy som oppfyller Euro 6-kravet til lette kjøretøy og fra tunge kjøretøy med Euro VI-motorer vil få avgjørende betydning for utviklingen (Hagman og Amundsen 2013).

De strengere utslippskravene, Euro 6 for diesel personbiler og Euro VI for tunge kjøretøy (over 3,5 tonn) blir introdusert og er et krav fra 2014¹. Dersom det viser seg at nye renseteknologier for dieseldavgasser ikke fungerer som ønsket, vil problemene med dårlig luftkvalitet bli forsterket. På den andre siden vil forbedret motorteknologi, nye fremdriftssystemer og mer effektive rensesystemer for avgasser kunne medføre at de lokale problemer med avgassutslipp fra kjøretøy med forbrenningsmotorer forsvinner.

Det er viktig å gjennomføre uavhengige målinger av nye bilmodeller og kjøretøy med ny teknologi, for å sjekke at utslippene i Norge ikke blir høyere enn forventet.

Norsk kompetanse om motorteknologi og avgassutslipp fra kjøretøy er nødvendig for å sikre at grenser for luftkvalitet ikke blir overskredet, og for en hensiktsmessig videreutvikling av norske avgiftssystemer for kjøretøy med forskjellige fremdriftssystemer.

1.3 Kjøretøy

Med utgangspunkt i at det kun er testet et fåtall modeller fra enkelte bilprodusenter, ønsker vi i denne rapporten å fokusere på de tekniske mulighetene for utslippsreduksjoner og eventuelle risiko for uforutsette utslipp. Vår oppmerksomhet er rettet mot hva uttestingen kan fortelle oss om løsninger som oppfyller Euro 6/VI kravene også redusere de reelle utslippene. Vi ønsker å anvende måleprosedyrer som reflekterer reelle utslipp under nordiske forhold, og avgassmålinger som gjenspeiler utslipp i virkelig trafikk. Avgassmålinger av kjøretøy med ny Euro 6/VI teknologi gir ny og ikke tidligere kjent informasjon om muligheter og utfordringer med nye motorer og ny renseteknologi.

Denne rapporten omfatter avgasstesting av *fire personbiler og fire tunge kjøretøy* med ny og interessant fremdriftsteknologi. De testede bilene har alle klart de typegodkjenningsskrav som de er sertifisert for.

Resultater og omfattende utslippsdata for kjøretøy som er testet i dette prosjektet og i den første fasen av Vegdirektoratets måleprogram vises i figurer, tabeller og vedlegg.

Følgende Euro 6/VI godkjente kjøretøy med dieselmotor er testet i måleprogrammets fase 2:

- En Euro 6 Mazda 6 med 2,2 l dieselmotor og 175 hk motoreffekt
- En Euro 6 VW Golf med 2,0 l dieselmotor

¹ Euro 6-krav for lette biler og Euro VI for tunge blir innført fra 2014 til 2015. For enkelthets skyld bruker vi i denne rapporten årstallet 2014 for når Euro 6/VI-kravene innføres.

- En Euro 6 Mercedes-Benz med 2,1 l dieselmotor
- En Mercedes-Benz truck med typegodkjent 12,8 l Euro VI motor
- En MAN truck med typegodkjent 10,5 l Euro VI motor
- En Volvo truck med typegodkjent 12,8 l Euro VI motor

Som følge av at det var umulig å fremskaffe flere Euro 6/VI godkjente kjøretøy, ble en personbil med ny og interessant bensinmotorteknologi og en buss med Euro V motor og interessant hybridmotorteknologi testet etter avtale med Vegdirektoratet.

De to kjøretøyene var:

- En Euro 5 b Nissan Micra med 1,2 l bensinmotor
- En Euro 5 Volvo hybridbuss med 4,8 l dieselmotor

Som referanse til testene av de lette bilene i denne fasen av måleprogrammet viser vi avgassutslipp fra to bilmodeller som tidligere er vist i fase 1 (Hagman og Amundsen 2013):

- Toyota Avensis Euro 5 med 2,0 l dieselmotor
- Toyota Prius Euro 5 med 1,8 l bensinmotor (hybridbil)

1.4 Hensikten med oppdraget

Målet med prosjektet er å finne ut hvor store utlippene av NO_x, NO₂, PM, CO₂ og eventuelle andre utslippskomponenter er fra nye kjøretøy med Euro 6/VI teknologi i virkelig trafikk. Utslippene blir sett i forhold til utslippet fra tilsvarende kjøretøy med Euro 5/V teknologi.

Planen er å teste minst fire lette Euro 6 biler og to tunge kjøretøy med Euro VI motorer i 2012, 2013 og 2014. I 2015 vil vi da med relativ stor sikkerhet kunne si hvor store avgassutslipp nye kjøretøy med Euro 6/VI teknologi har i virkelig trafikk.

Etter hvert som resultater fra flere bilmodeller blir tilgjengelige vil norske myndigheter få bedre forståelse av hvor godt SCR-teknologien (Selective Catalytic Reduction) med reduksjonsmidler og AdBlue fungerer. Oppbygging av nasjonal kompetanse og et samarbeid med kompetente avgasslaboratorier i utlandet, sikrer et godt underlag for hensiktsmessige beslutninger og tiltak når det gjelder framdriftsteknologi og avgassutslipp.

Tilgang på, og muligheter for å teste kjøretøy med Euro 6/VI teknologi er en forutsetning for at det planlagte måleprogrammet kan gjennomføres. I 2012 og 2013 har vi vært avhengige av at produsentene har vært villige til å sende sine nye Euro 6/VI kjøretøy til uavhengig testing. Fra og med 2014 vil det i større grad være mulig å leie eller låne kjøretøy på det åpne markedet.

Hvor godt ny teknologi for fjerning av NO_x fra dieselavgasser vil virke i det lange løp, kan vi ikke vite helt sikkert før vi har erfaring med flere års bruk, og har avgasstestet kjøretøy med lang kjørelengde. SCR med AdBlue (urea og vann) som kjemisk reduksjonsmiddel og katalytiske prosesser, er den teknikk som ofte blir brukt for å klare Euro 6/VI kravene. Men helt ny teknologi kan gi overraskelser. Med et omfattende måleprogram vil Norge stå bedre rustet for å unngå uheldige tiltak og avgiftssystemer som kan få uønskede effekter. Egne forskningsresultater og egen

kompetanse er også en nødvendig inngangsbillett for å få tidlig tilgang til annen europeisk forskning og nye testresultater. I 2015 vil norske myndigheter med en høy grad av sikkerhet kunne vite hvordan men best kan forholde seg til de forskjellige kjøretøyene og bilmodellene med ny Euro 6/VI teknologi.

1.5 Forventninger til Euro 6/VI

Høy andel dieserbiler blant de nye bilene som kjøpes fram til 2014 og 2015, vil bety at Euro 5 dieserbiler blir hovedkilden til NO₂ utslipp i perioden fra 2015 til 2020 (Hagman m fl 2011). Prognoser basert på estimater fra ”*Handbook of emission factors for road transport* (HBEFA)” viser imidlertid at NO₂-utslippene fra kjøretøy med Euro 6/VI teknologi kan bli kraftig redusert i forhold til de foregående Euro-klassene.

Det finnes flere særbestemmelser for når Euro 6/VI kravene må være implementert i nye biler, bilmodeller og tunge kjøretøy. For de fleste nye personbiler vil kravet være mellom 2014 og 2015. Det er først i 2016 en kan være helt sikker på at alle nye lette personbiler oppfyller Euro 6-kravene. Noen produsenter vil komme med Euro 6 modeller flere år i forkjøpet, mens andre vil komme med nye motorer eller vente med å gjennomføre endringer til slutten av tidsfristen.

Bilimportørene kan i en overgangsfase velge å ta inn de bilmodellene som er mest økonomiske å kjøpe for kunden. Utslippene av PM, NO_x eller NO₂ vurderes i seg selv å ha liten betydning for kundens valg av bil. Hvis det innebærer en merkostnad for kunden å velge en Euro 6-bil framfor en bil med noe høyere utslipp av lokalt forurensende avgasser vil ofte de økonomiske aspektene ha størst betydning.

Utslipp av CO₂ er ikke en del av Euro 6/VI kravene men her har bilimportørene på grunn av det norske avgiftssystemet sterke økonomiske motiv for å markedsføre personbiler med lave utslipp av CO₂ og tunge kjøretøy med lavt forbruk av diesel.

Forventningene er at nye Euro 6 biler og nye Euro VI motorer til tunge kjøretøy skal bidra til bedre luftkvalitet og reduserte utslipp av klimagasser.

2 Metode

Måleprogrammet omfatter kjøretøy som tilfredsstillt kravene til Euro 6/VI (i henhold til typegodkjenningstesten). De kjøretøyene vi får tilgang til blir så testet ved VTTs avgasslaboratorium i Finland. De blir testet i kulde og ved normal temperaturer samt i kjøremønster som i større grad enn typegodkjenningen representere de belastninger kjøretøyene blir utsatt for ved kjøring i virkelig trafikk.

2.1 Avgasslaboratorium

Måling av avgassutslipp fra kjøretøy er standardisert i forskjellige deler av verden. For å få sammenlignbare målinger kjøres bilene gjennom en repeterbar kjøresyklus som simulerer kjøring på vei. Målingene utføres i et avgasslaboratorium på en ”rullende landevei” (chassisdynamometer). Samtidig som kjøretøy kjøres på den rullende landeveien blandes eksosen fra avgassrøret med luft og samles opp i spesielle plastposer. Etter kjøreturen analyseres innholdet i plastposene i en gassanalysator.

Figur 2.1 viser VTTs avgasslaboratorium for lette kjøretøy i Finland. I nedre del av figuren vises systemene for måling av eksospartikler. Etter hvert har det blitt mulig å ikke bare måle vekten av eksospartiklene, men også antallet og fordelingen av eksospartiklenes størrelse. VTTs avgasslaboratorium for lette kjøretøy har en kuldekammer som tillater at testene gjennomføres i temperaturer ned til -30 °C.

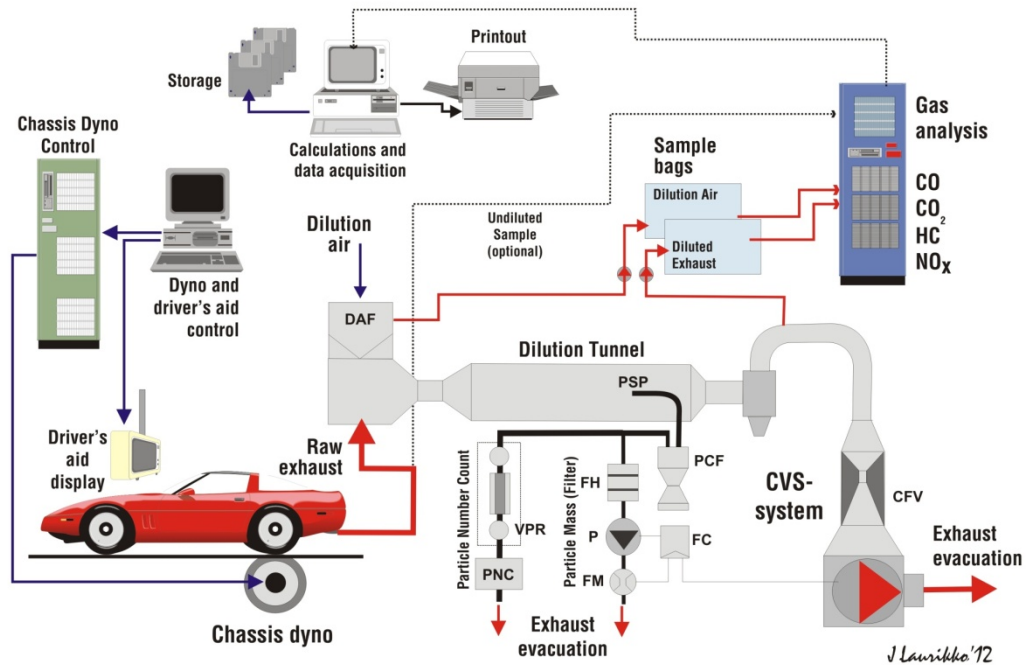
Lette biler typegodkjennes og testes med egne nøye spesifiserte kjøresykluser i forskjellige land. I Japan brukes en japansk kjøresyklus med lav gjennomsnittshastighet. I Amerika brukes FTP (Federal Test Procedure), som har vært en mal for andre lands målemetoder. I Europa og Norge brukes for typegodkjenning en kjøresyklus som kalles NEDC (New European Driving Cycle).

Figur 2.2 viser VTTs avgasslaboratorium for tunge kjøretøy. Tunge kjøretøy krever større og kraftigere chassisdynamometer enn lette kjøretøy. Foruten at størrelsen og dimensjoneringen av alt utstyr i et avgasslaboratorium er større for tunge kjøretøy er prinsippene de samme som i et avgasslaboratorium for lette kjøretøy.

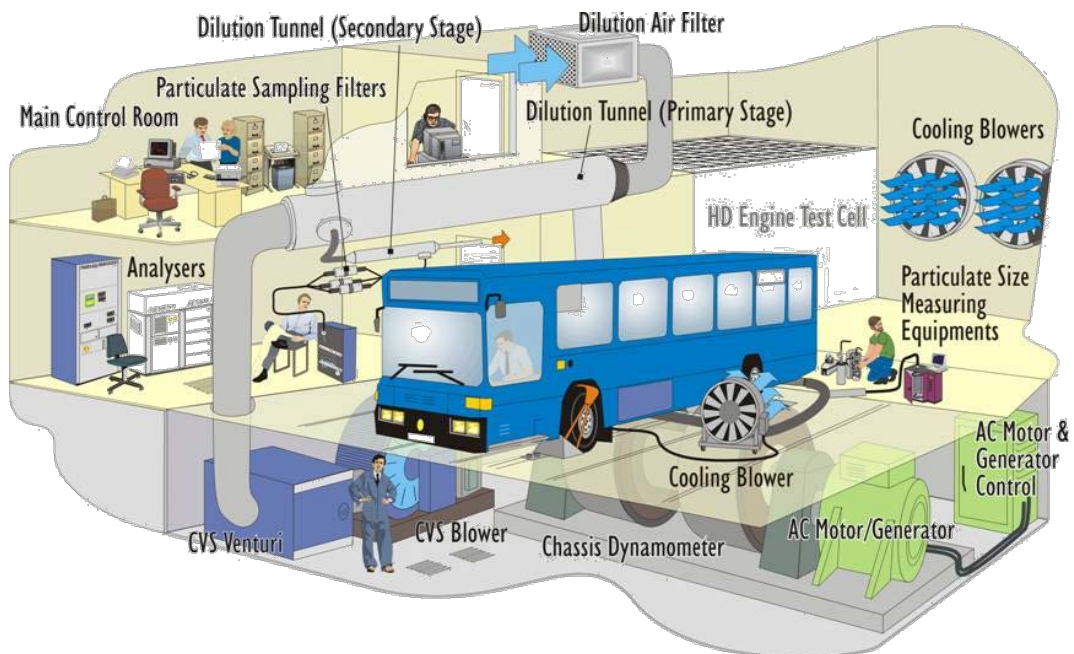
Tunge kjøretøy blir for tiden ikke typegodkjent med den motiveringen at det i mange tilfeller er urealistisk og altfor kostbart å typegodkjenne alle tunge kjøretøy som ofte kun produseres i små serier. For å kunne regulere utslippen fra tunge kjøretøy på en akseptabel måte er det i stedet motorene til tunge kjøretøy som blir typegodkjent. I måleprogrammet får TØI testet tunge kjøretøy med kjøresykluser som tilsvarer kjøretøyenes bruksområder.

For å få realistiske verdier på utslipp av forurensende avgasser, er det nødvendig å teste bilen under varierende kjøreforhold og med forskjellige belastninger på motoren. På den rullende landeveien innstilles en hastighetsavhengig kjøremotstand så den blir lik den motstand bilen møter ved kjøring på vei. Kjøremotstanden er avhengig av blant annet bilens vekt, dekk, drivverk og luftmotstand. Avhengig av bilens luftmotstand øker kjøremotstanden sterkt ved høyere hastigheter.

Måleprogrammet er primært rettet inn mot kjøring og avgassutslipp i virkelig trafikk. Bykjøring og kulde er hovedutfordringen når det gjelder helseskadelige utslippskomponenter, men bykjøring gir også ekstra høye avgassutslipp av klimagasser for mange typer kjøretøy.



Figur 2.1: Avgasslaboratorium for lette kjøretøy. Kilde Laurikko, VTT.



Figur 2.2: Avgasslaboratorium for tunge kjøretøy. Kilde VTT.

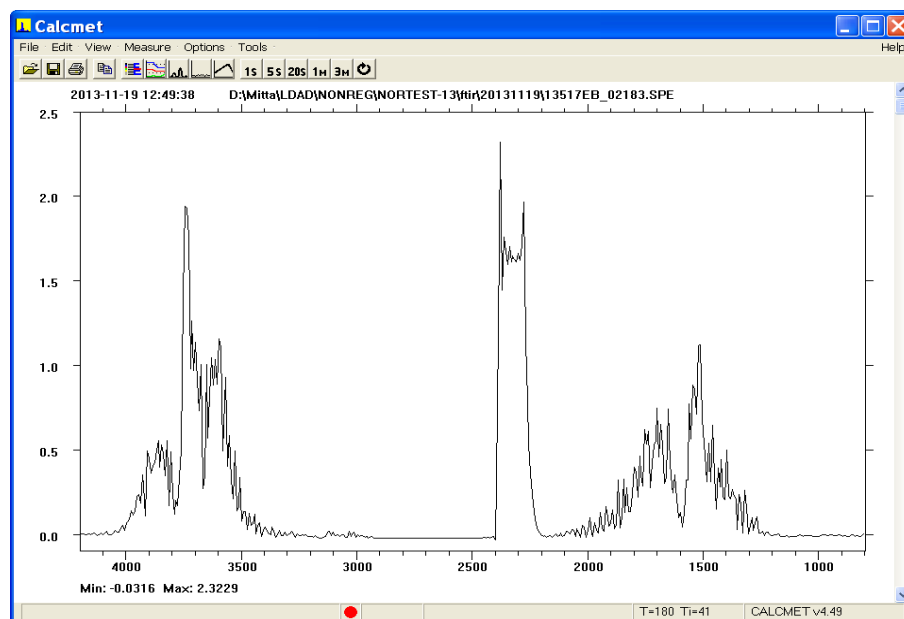
I starten av måleprogrammet har vi på grunn av tidvis registrert dårlig luftkvalitet og høye konsentrasjoner av NO_2 i storbyene under testingen av kjøretøyene spesielt fokusert på NO_2 -komponenten i avgassutslippene. Ny teknologi kan gi overraskende utslipp av tidligere ukjente avgasskomponenter. Vi har testet og analysert følgende regulerte og uregulerte avgasskomponenter (regulerte avgasskomponenter er avgasskomponenter som reguleres av myndighetenes Euro-krav):

- NO_x
- NO_2
- PM
- CO
- CO_2
- HC
- Andre avgasskomponenter som vi under prosjektets gang eller under målingene finner å være av interesse, NH_3 (ammoniakk) og N_2O (lystgass).

2.2 FTIR måleteknologi

NO_2 , NH_3 og N_2O er avgasskomponenter som er vanskelige å måle ved tradisjonell uttynning av avgassutslipp, oppsamling i plastposer og kjemisk analyse. Spesielt vil den målte andelen av NO_2 av den samlede mengden NO_x forandres som funksjon av den kjemiske sammensetningen av uteluften samt tidsrommet mellom utslipp fra eksosrør og tidspunktet for analyse av avgassene. VTT har derfor tatt i bruk en målemetode der en bruker absorpsjon av infrarødt lys (varmestraling) og analyse av absorpsjonsspektret for å bestemme mengden av NO_2 , NH_3 og N_2O i avgassene.

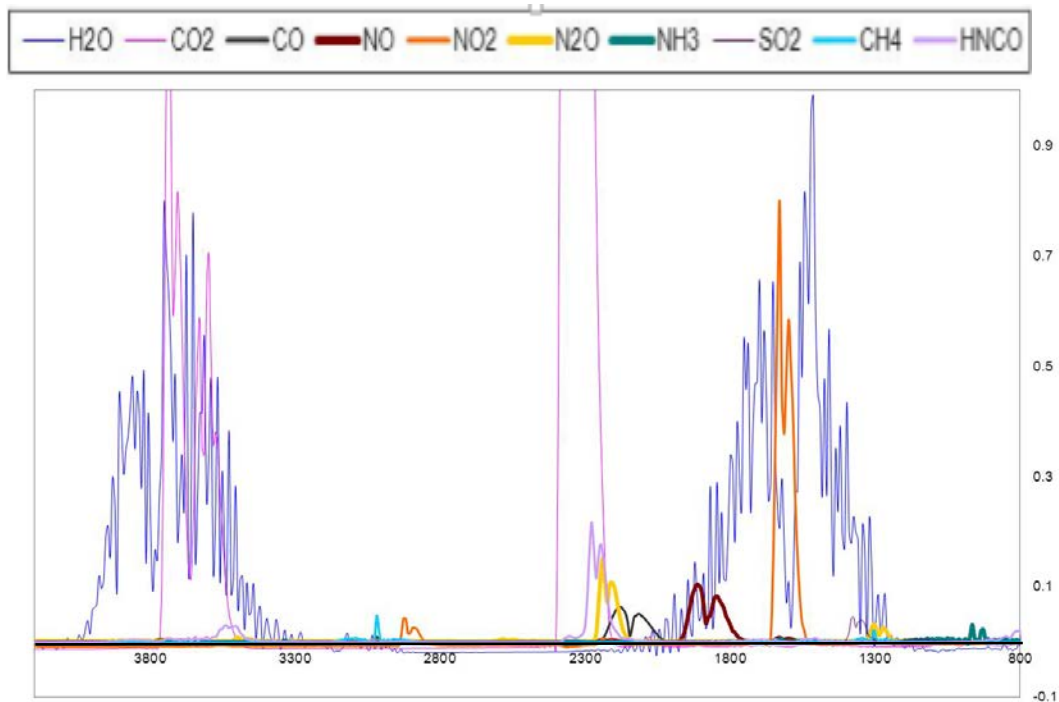
Metodikken med Fourieranalyse av avgassutslippenes absorpsjon av infrarødt lys «Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)» gjør det mulig å oppdage, og på en god måte kvantifisere de ulike avgasskomponentene. Et typiske absorpsjonsspekter av infrarødt lys for eksosavgasser vises i figur 2.3.



Figur 2.3: Absorpsjonsspekter av infrarødt lys for eksosavgasser.

Kontinuerlig analyse av avgassenes absorpsjon av infrarødt lys og Fourieranalyse gjør det mulig å oppdage og kvantifisere utslipp av NO₂ (nitrogendioksid), NH₃ (ammoniakk) og flere andre avgasskomponenter som har høy absorpsjon av infrarødt lys. Andre avgasskomponenter, som mange hydrokarbonforbindelser (HC), har lav absorpsjon av infrarødt lys og egner seg ikke så godt for analyse med FTIR.

Ved FTIR måles avgassenes absorpsjon av infrarødt lys før avgassene blandes med luft (analyse av råavgass). Etter at hele avgasstesten er gjennomført kan en beregne (vaske frem) den type absorpsjonsspekter som vises i figur 2.4 og kvantifisere mengden NO₂, NH₃ og N₂O som slippes ut fra det aktuelle kjøretøyet. I nedre høyre hjørne av figur ser vi for eksempel absorpsjonsspektret (grønn farge) av en meget liten mengde NH₃ (ammoniakk), som ville være umulig å oppdage i figur 2.3



Figur 2.4: Absorpsjonsspekter av infrarødt lys for eksosgasser analysert med Fourieranalyse.



Figur 2.5: Registrering av avgassenes absorpsjon av infrarødt lys og med FTIR instrumentering ved VTT.

2.3 VTTs avgasstester vs typegodkjenningstester

“Helsinki city” bykjøresyklus er benyttet som den mest relevante kjøresyklusen for å måle avgassutslippene fra lette kjøretøy under krevende forhold i store norske byer. Det viser seg å være i de store norske byene og under ugunstige værforhold at det er størst risiko for dårlig luftkvalitet. I avsnitt 2.4 (lette kjøretøy) og kapittel 2.5 (tunge kjøretøy) gir vi en beskrivelse av de kjøresyklusene som i dette måleprogrammet blir brukt for testing av henholdsvis lette og tunge kjøretøy.

Alle avgasstester, også de som er foretatt i sertifiserte avgasslaboratorier, gir resultater med en viss spredning (10-15 % er vanlig). Ved typegodkjenning, som har stor betydning for skatter og avgifter, utføres det derfor et stort antall tester for å redusere denne statistiske usikkerheten og komme fram til resultater som gjelder i gjennomsnitt for hele bilpopulasjonen.

Vi har størst interesse av å vite hva lette og tunge kjøretøy slipper ut i virkelig bykjøring. Testene som gjennomføres i forbindelse med typegodkjenningen og NEDC typegodkjenningstesten gir lavere utslippsfaktorer enn kjøring i virkelig trafikk. For utslipp av klimagasser og CO₂ er utslippene ofte 20-40 % høyere ved kjøring i virkelig trafikk enn hva som fremkommer fra typegodkjenningen. For NO_x kan utslippene fra diesel personbiler ofte være flere hundre prosent høyere ved kjøring i virkelig trafikk enn hva som fremkommer ved typegodkjenningen.

Ved VTTs avgasslaboratorium måler vi spesielt avgassutslippene ved kjøresykluser som tilsvarer kjøring i virkelig trafikk. De kjøremønstre og kjøresykluser som VTT bruker, og som repeteres i avgasslaboratoriet, er registrert ved kjøring i Helsinki og på finske veier.

Alle kjøretøy testes i den form og med det utstyr de leveres til kunder i Norge og Finland og som de har ved levering til laboratoriet. I tillegg til kjøresyklusene som tilsvarer virkelig trafikk, blir de lette bilene som er tatt inn til test i VTTs laboratorium også testet med typegodkjenningssyklusen, NEDC.

Avgasstesting har til hensikt å måle avgassutslipp ved kjøring under mest mulig virkelige, og for nordiske land relevante kjøreforhold, og undersøke hvordan og under hvilke forhold ulike kjøretøy kan ha ulike egenskaper. Forskjellene i denne metodiske tilnærming og den standardiserte måleprosedyren som brukes ved typegodkjenningstester blir beskrevet i tabell 2.1.

Tabell 2.1: Sammenligning av metodikk for testing av lette kjøretøy ved VTTs avgasslaboratorium og ved typegodkjenning.

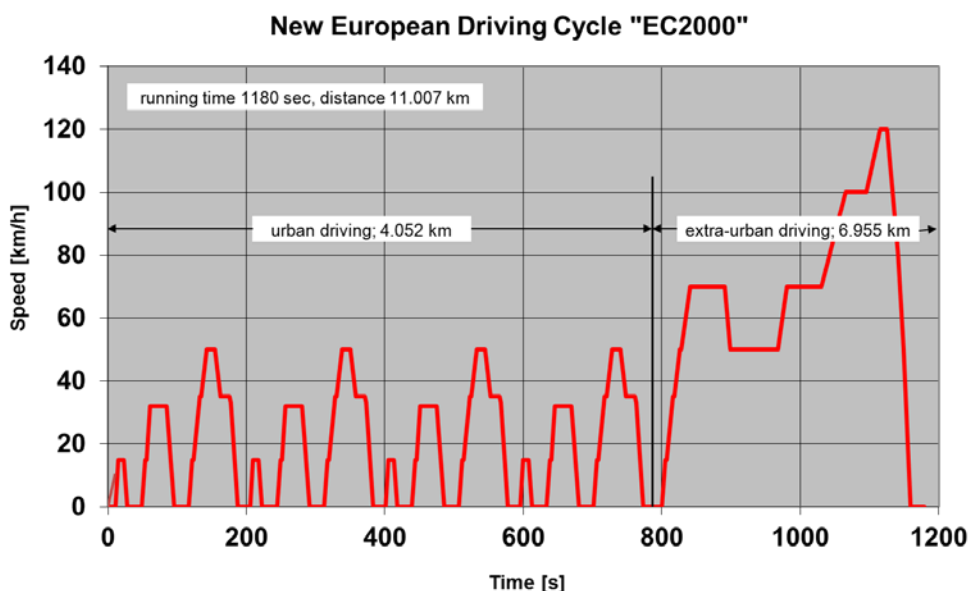
| | VTTs testing for VD/TØI | Typegodkjenning |
|--|--|---|
| Formål | <p>Teste kjøretøy slik som de er brukt i virkelig trafikk under spesifiserte klimatiske forhold inklusive nordisk kulde. Testene kan ikke brukes for å vurdere om kjøretøy oppfyller kravene til typegodkjenning.</p> <p>Passer best for sammenligning av forskjellige typer kjøretøy testet under samme testbetingelser, og for eksempel for å sammenligne Euro 5 med Euro 6.</p> | <p>Test for å verifisere at kjøretøy tilfredsstillende til enhver tid gjeldende EU-krav når det gjelder avgassutslipp for typegodkjenning av nye bilmodeller.</p> |
| Utstyr | Kjøretøy dynamometer, med utstyr for å analysere avgassutslippet. | Kjøretøy dynamometer, med utstyr for å analysere avgassutslippet. |
| Drivstoff brukt i testsituasjonen | <p>Den som vanligvis blir tanket på det aktuelle kjøretøyet, vanlig kvalitet på markedet.</p> <p>EN 590 – for diesel EN 228 – for bensin</p> | Bruker et spesial drivstoff som brukes spesielt ved typegodkjenningstester, spesifisert i relevante direktiver og reguleringer. |
| Dekk brukt under testing | De som blir levert med kjøretøyet. | De som blir levert med kjøretøyet når det skal typegodkjennes. |
| Trykket i dekkene | Som spesifisert i brukermanualen. | Som spesifisert av produsenten. |
| Repetisjon | Kjøresyklusene og temperaturnivået til kjøretøyene blir gjentatt for å se at spredningen av data er innenfor et rimelig intervall, men dekktyper og drivstofftyper kan variere fra test til test i og med at kjøretøyene er testet slik de var når de ble mottatt til laboratoriet. | Testene blir gjentatt (under samme betingelser) med unntak av små variasjoner i utstyr ved de ulike teststedene, og toleransen til det aktuelle testutstyret. Kjøretøyene kjøres på dynamometer av en sjåfør, noe som kan gi noe variasjon i resultatene. |
| Temperatur | -7°C og +23°C | +23°C |
| Testsykluser | <p>Helsinki syklus med kaldstart, etterfulgt av Helsinki syklus med varm start. Girskiftene er spesifisert.</p> <p>I tillegg også tester av kjøretøyene med NEDC syklusen, men drivstoffet, kjøremotstanden, dekk og trykket i dekkene kan variere fra det som er brukt under typegodkjenningstesting.</p> | New European Driving Cycle (NEDC), der girskiftene er spesifisert. |
| Kjøretøy last | Med fører. | Med fører. |
| Kalibrering av kjøremotstand | Basert på utrullingslengde «coast-down testing» av det aktuelle kjøretøyet. | Basert på verdier angitt av produsenten. |
| Analyse av avgassene | Ved testing hos VTT måles utslippene av CO, HC, NO _x , og CO ₂ . For kjøretøy med dieselmotorer måles også PM og ellers måles de avgasskomponenter som mistenkes å ha betydning for helse eller å ha stor klimapåvirkning. | Ved typegodkjenning måles utslippene av CO, HC, NO _x , CO ₂ og for kjøretøy med dieselmotorer måles også PM. |
| Usikkerhet | +/- 15 % | +/- 15 % |

2.4 Kjøretykluser for lette kjøretøy

New European Driving Cycle (NEDC) er den kjøresyklus som nå brukes for typegodkjenning av personbiler i EU. I USA og Japan brukes andre kjøresykluser (se tabell 2.2). NEDC består av ulike faser som er ment å skulle fange opp både typisk bykjøring, og en del som skal representere kjøring på landevei med akselerasjoner og hastigheter opp til 120 km/h (se figur 2.6).

Tabell 2.2: Oversikt over noen kjøresykluser som brukes i typegodkjenningstester av lette kjøretøy i forskjellige områder. Kilde: Weiss m fl 2011.

| | NEDC | ECE-15 | US FTP-75 | JTC 10-15 | ARTEMIS urban |
|----------------------|-------|--------|-----------|-----------|---------------|
| Område | EU | EU | USA | Japan | EU |
| Varighet (sek) | 1 180 | 780 | 1 874 | 660 | 920,0 |
| Lengde (km) | 11 | 4 | 18 | 4 | 4,5 |
| Gj. hastighet (km/t) | 34 | 19 | 34 | 23 | 17,5 |
| Max hastighet (km/t) | 120 | 50 | 91 | 70 | 58,0 |



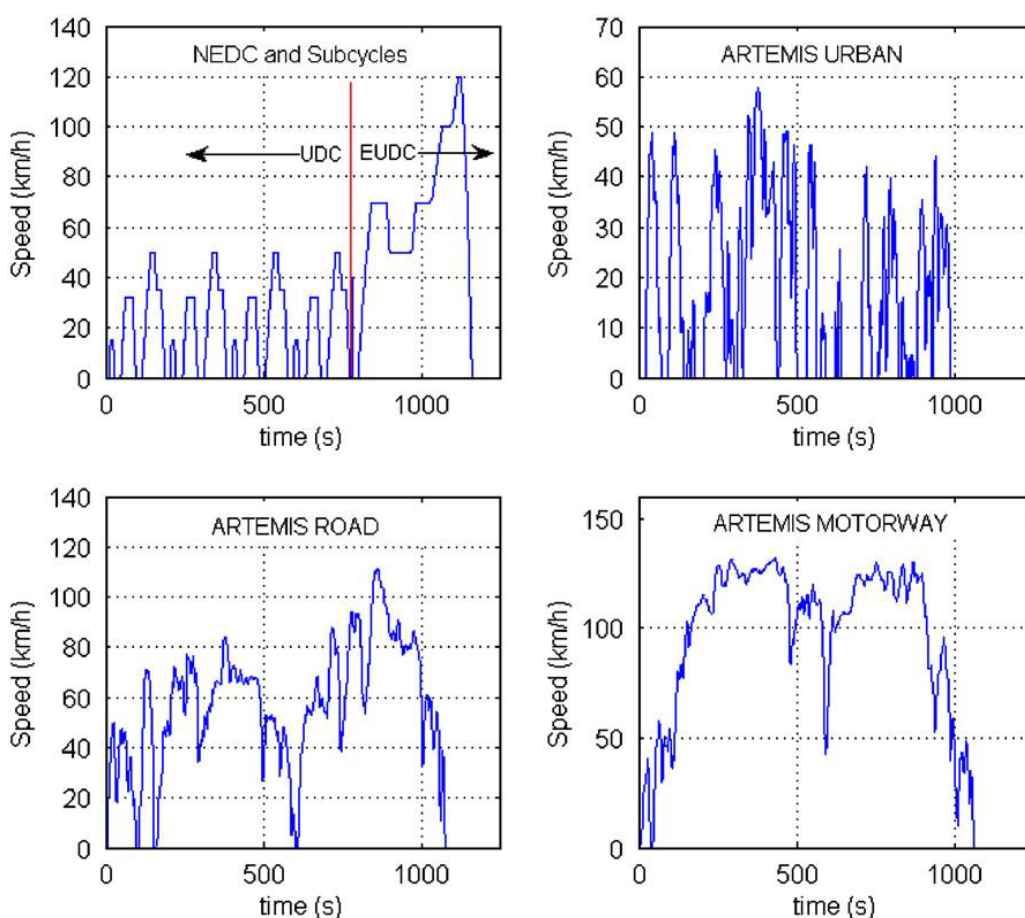
Figur 2.6: Hastighetsprofil for New European Driving Cycle (NEDC).

For nordiske forhold er det verd å merke seg at avgassutslippene ved kald start i nordisk kulde ikke fremkommer i den standardiserte typegodkjenningstesten, NEDC. NEDC testen blir utført på en slik måte at den inkluderer utslippene ved kaldstart med bilen, og motoren er da temperert til +23°C. Alle typer avgassutslipp er for alle typer motorer som regel høyere ved kaldstart, enn ved start med driftsvarm motor. Avgassutslippene blir enda høyere ved kaldstart i nordisk kulde, som for testformål ofte er satt til -7°C.

Kritikken mot kjøresyklusen NEDC, og flere andre av de testsyklusene for typegodkjenning som brukes i dag, er at akselerasjonene er for jevne og at de inneholder et begrenset utvalg av ulike motorbelastninger og turtall. NEDC kjøresyklusen fanger i liten grad opp faktiske forhold ved bytrafikk med lave hastigheter, høye turtall, kraftige akselerasjoner og retardasjoner (Weiss m fl 2011,

2012). Utslippene i faktisk bytrafikk kan derfor bli betraktelig høyere enn det typegodkjenningen til det aktuelle kjøretøyet viser. Dette er en av årsakene til at EU vil innføre mer relevante kjøresykluser.

Artemis er et stort europeisk samarbeidsprosjekt med målsetting å kartlegge avgassutslipp og forurensing fra veitrafikk. Artemis har tatt frem kjøresykluser som på en mer troverdig måte vil representere bykjøring, landeveiskjøring og motorveiskjøring. Artemis kjøresykluser er kandidater til å bli nye kjøresykluser for internasjonal avgasstesting og typegodkjenning av kjøretøy. Figur 2.7 viser Artemis kjøresykluser på en måte som gjør dem lette å sammenlikne med NEDC. Artemis kjøresykluser vil etter hva vi kan forstå brukes for å gi utslippsverdier som ved avgasstesting er representative for virkelige kjøreforhold i Europa (European real World conditions, CADC).

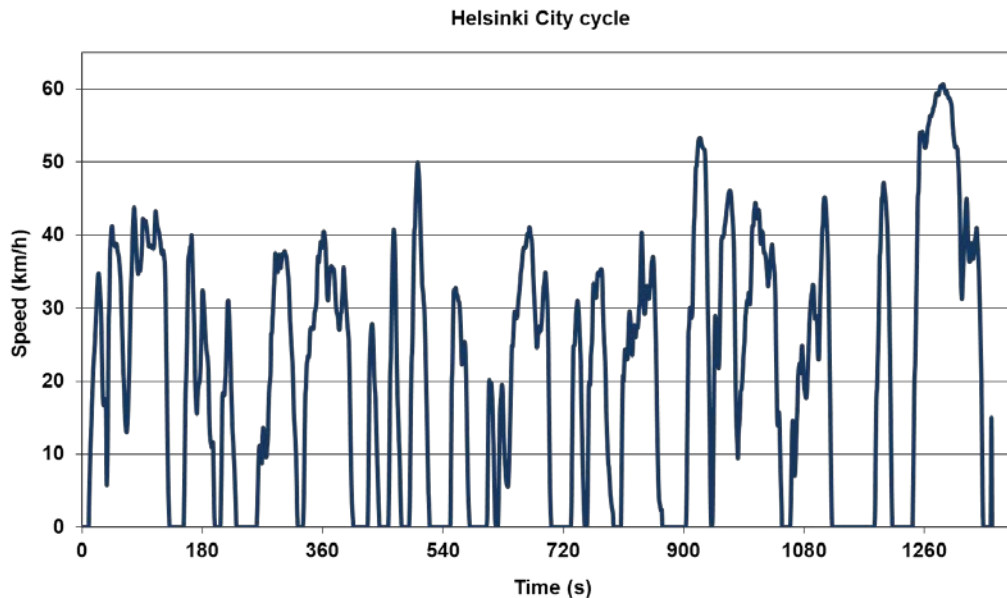


Figur 2.7: Artemis kjøresykluser.

Kontaktperson for HBEFAs modell for beregning av utslippsfaktorer, Mario Keller fra Infrac i Sveits er sentral i Artemis-prosjektet. For beregning av utslippsfaktorer henter HBEFA informasjon hovedsakelig fra sveitsiske og østerrikske avgasslaboratorier. Innføring av Artemis testsykluser vil gjøre arbeidet med å få frem og dokumentere virkelige avgassutslipp enklere.

Å skape en kjøresyklus som er representativ for den type kjøring man vil etterligne i et avgasslaboratorium, er relativt enkelt med en bil som instrumenteres med GPS og opptaksutstyr for akselerasjon og hastighet. *Helsinki bykjøresyklus* er et eksempel på en

kjøresyklus som er typisk for hvordan personbiler kjører i sentrum av Helsinki. Å bli enige om en internasjonal kjøresyklus som kan brukes for typegodkjenning av lette kjøretøy over hele verden er mer komplisert. Det krever betydelige ressurser å bygge opp kompetanse og avgasslaboratorier som kan brukes for å teste lette og tunge kjøretøy under relevante kjøreforhold.



Figur 2.8: Hastighetsprofil "Helsinki City cycle" for personbiler.

Ved testene hos VTT blir flere testsykluser brukt for å studere avgassutslipp under forskjellige kjøreforhold. Bilene testes slik de blir levert og kjøremotstanden programmeres i henhold til egne målinger av utrullingslengder ("cost down" målinger).

Stort sett alle nye biler som har blitt testet ved VTTs avgasslaboratorier klarer i den stand de blir levert å oppfylle Euro-kravene for de aktuelle bilmodellene. Dette innebærer i prinsipp at Euro-kravene oppfylles med en relativt god marginal. Selv om noen grenseverdier skulle overskrides vil bilene med tillatte tilpasninger for typegodkjenning ha klart typegodkjenningskravene.

I dette prosjektet er vi opptatt av bilens utslipp i virkelig trafikk. Spesielt er resultatene fra bykjøring og utslippene i nordisk kulde av stor interesse. Erfaringsmessig har det vist seg at avgassutslipp i bykjøring og i kulde kan være svært forskjellige fra og betydelig høyere enn de tall som blir oppgitt fra typegodkjenningen. Ved analyse av avgasstestene fokuserer vi på resultatene fra kjøring av Helsinki bykjøresyklus (se figur 2.8).

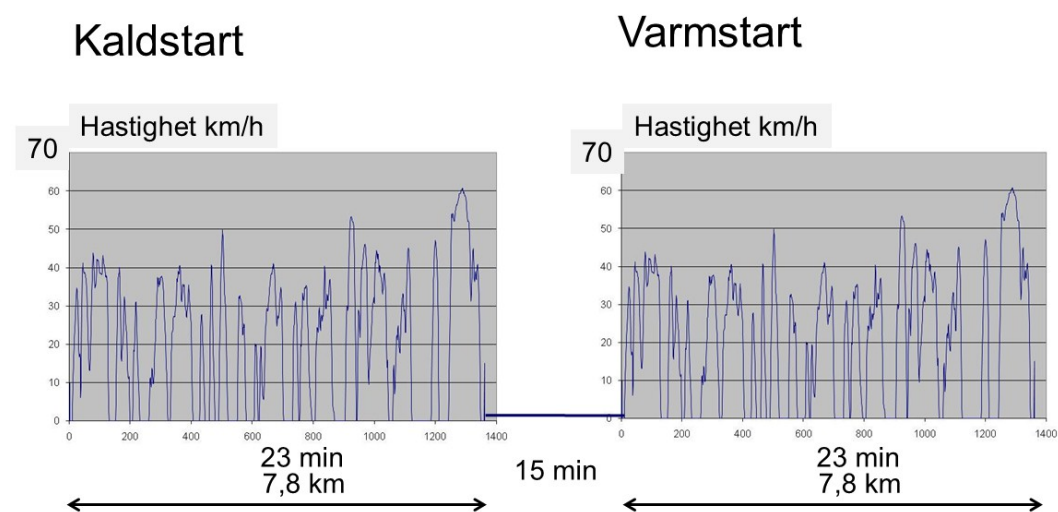
VTT og TØI bruker Helsinki bykjøresyklus på en slik måte at bilene (lette kjøretøy med en vekt mindre enn 3,5 tonn) etter å ha stått i ro over natten, først testes, med kjøring av den 7,8 km lange "Helsinki bykjøresyklusen" som tar 23 min. Vi får da først en avgasstest med såkalt kaldstart. Så parkeres bilen med motoren av (i ca. 15 min.) og deretter kjøres den 7,8 km lange "Helsinki bykjøresyklusen" på ny, se figur 2.9. Ettersom motoren ikke har rukket å avkjøle seg, får vi da gjennomført en avgasstest med varmstart. Hver av de to turene på 7,8 km er ment å representere et typisk brukermønster i en by, som for eksempel levering av barn i barnehage eller en handletur.

Kulde er ofte en faktor som bidrar til høye avgassutslipp. Dette er imidlertid en faktor som sjeldent testes ut av ikke-nordiske vest og sentral-europeiske avgasslaboratorier. For å kunne se i hvilken grad streng kulde øker avgassutslippene i virkelig bytrafikk kjøres de to turene i avgasslaboratoriet ved temperaturene -7°C (i kuldekammer) og ved $+23^{\circ}\text{C}$.

Vi får med denne testprosedyren måleverdier for:

- bykjøring med kaldstart ved -7°C
- bykjøring med varmstart ved -7°C
- bykjøring med kaldstart ved $+23^{\circ}\text{C}$
- bykjøring med varmstart ved $+23^{\circ}\text{C}$

Avgassutslippene fra de fire beskrevne testene med bykjøresyklusen gir et utfyllende bilde av de testede kjøretøyenes utslipp av klimagasser og lokalt forurensende avgasser under bykjøring i kulde -7°C , og ved normal temperatur på $+23^{\circ}\text{C}$.



Figur 2.9: Helsinki bykjøresyklus kjørt to ganger med en pause på 15 min, noe som gir en syklus med kaldstart og en syklus med varmstart.

2.5 Kjøresykluser for tunge kjøretøy

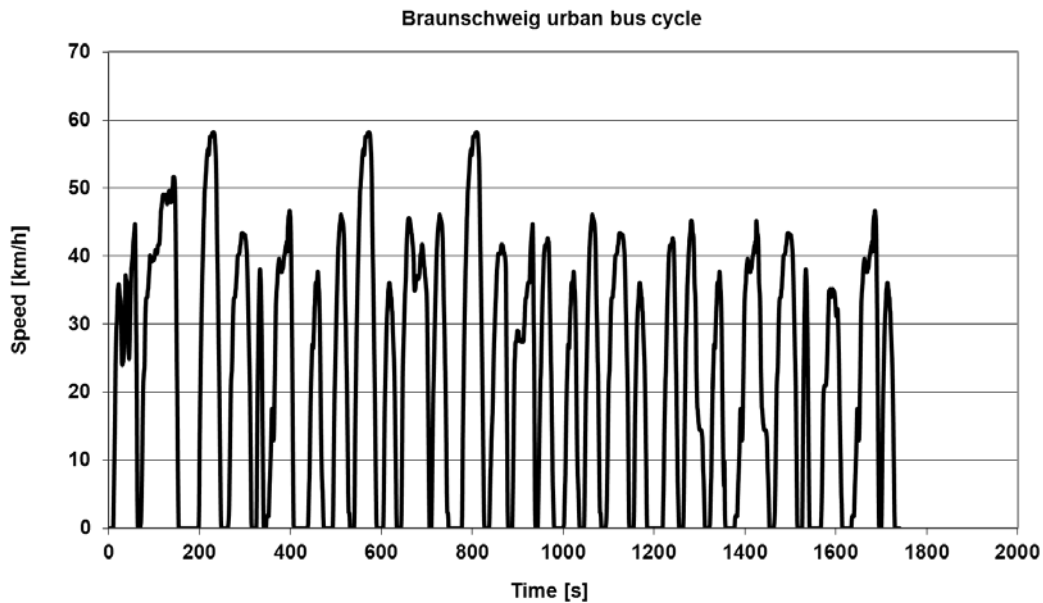
For tunge kjøretøy finnes ikke krav til avgassutslipp fra selve kjøretøyene, i stedet er det motorene til tunge kjøretøy som må oppfylle Euro kravene. Motorene settes inn i mange typer kjøretøy, alt fra spesialbiler som kranbiler til relativt standardiserte busser og langtransportbiler. Det vil være urimelig at alle typer spesialbiler skal typegodkjennes med en test som er tilpasset det aktuelle bruksområdet. På den andre siden er det kun måling av avgasser fra bruk av hele kjøretøy og maskiner ved de virkelige bruksområdene som gir et godt bilde av de virkelige utslippene.

Hos VTT avgasstester vi hele tunge kjøretøy i avgasslaboratorium. VTT har en testcelle med dynamometer for tunge kjøretøy, se figur 2.2. Temperaturen ved avgasstesting i denne testcellen er romtemperatur og temperaturen stiger som regel under testens gang på grunn av oppvarming fra de store motorene når de belastes i realistiske kjøresykluser. Det vurderes som relevant å teste tunge kjøretøy under slike

betingelser da tunge kjøretøy ofte startes relativt sjelden og kaldstartsegenskapene derfor har mindre betydning for tunge enn for lette kjøretøy.

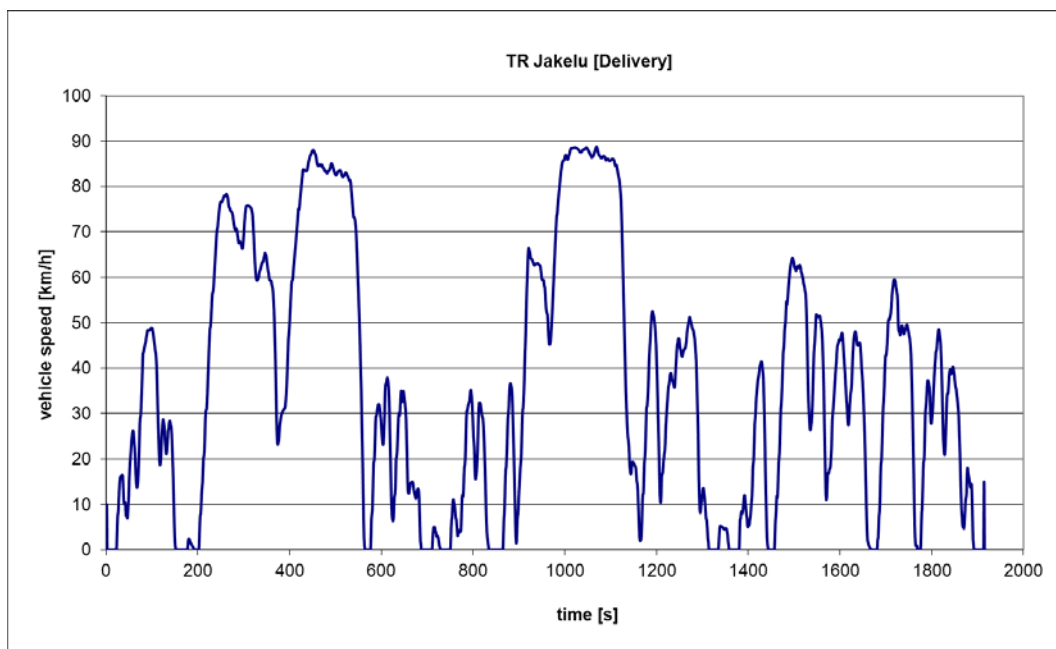
De kjøresykluser som blir brukt er tilpasset de typer kjøretøy som testes og de bruksområder de har.

En relevant kjøresyklus for busser i bytrafikk er Braunschweig kjøresyklus, se figur 2.10. Braunschweig kjøresyklus brukes av VTT for sammenlikning av avgassutslipp fra bybusser og inneholder mange start og stopp ved holdeplasser og andre stopp i tett bytrafikk.



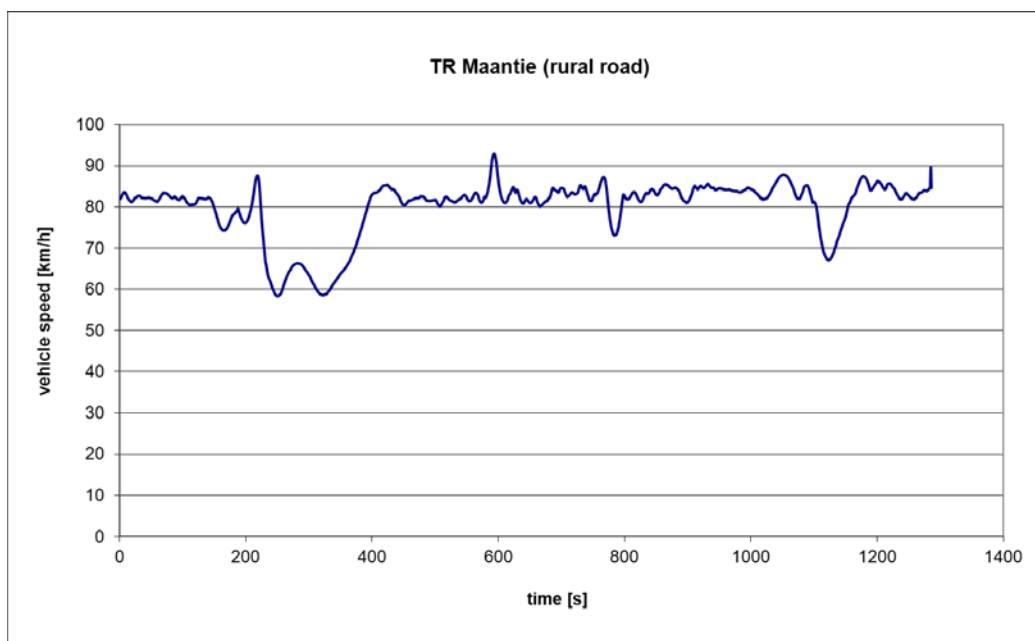
Figur 2.10: Hastighetsprofil for Braunschweig bykjøresyklus for busser.

VTT har målt og registrert hastighetsprofilen for typisk levering av varer med lastebil i virkelig bytrafikk (TR Delivery). Denne kjøresyklusen (figur 2.11) blir brukt ved avgasstesting av kjøretøy som skal brukes til varelevering.



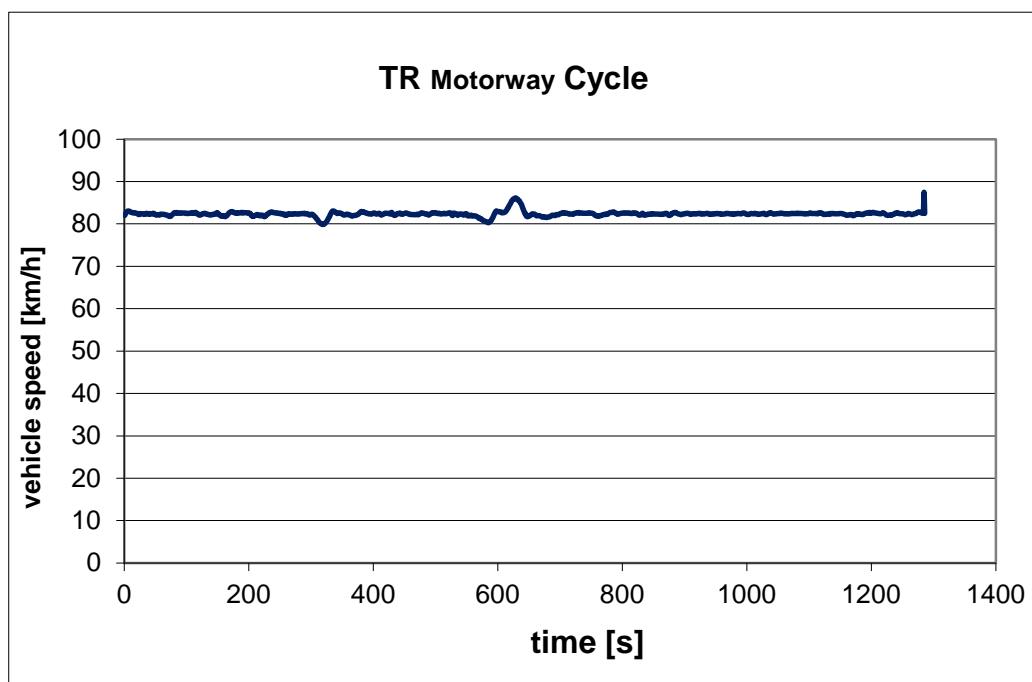
Figur 2.11: Kjøresyklus for varelevering med lastebil i en by (TR Delivery).

En relevant kjøresyklus for tunge kjøretøy i langtransport er den finske TR Maantie. Den finske TR Maantie langtransport landevei kjøresyklusen (figur 2.12) brukes av VTT for sammenlikning av avgassutslipp av kjøretøy fra langtransport, og inneholder ikke start og stopp men hastighetsvariasjoner som forekommer på nordiske landeveier.



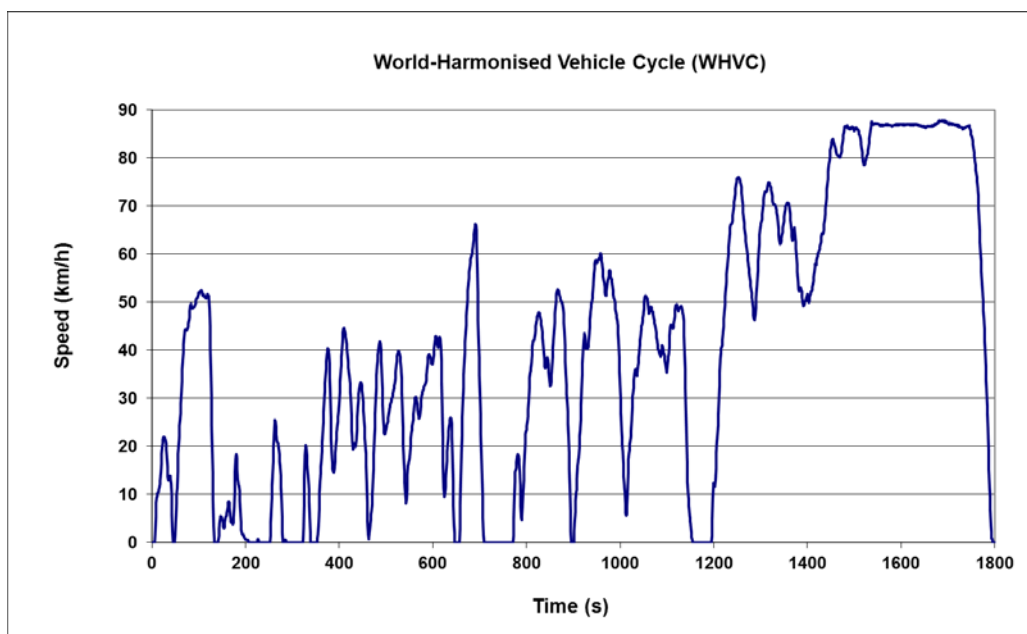
Figur 2.12: Hastighetsprofil for finsk kjøresyklus for langtransport - landeveiskjøring med tunge kjøretøy (TR Landevei).

Den finske kjøresyklusen som benyttet ved avgasstesting av kjøring på motorvei er vist i figur 2.13. Avgassmålingene ved kjøring av motorveikjøresyklus vil avdekke hvordan avgassutslippene er ved jevn og høy hastighet.



Figur 2.13: Hastighetsprofil for VTTs finske “motorvei kjøresyklus”(TR-motorvei) for tunge kjøretøy.

En generell kjøresyklus med blandet kjøring for avgasstesting av tunge kjøretøy som blir brukt i økende omfang er WHVC (World-Harmonized Vehicle Cycle). Denne kjøresyklusen (figur 2.14) inneholder, på samme måte som NEDC for lette kjøretøy, noe bykjøring og noe landeveiskjøring.



Figur 2.14: Hastighetsprofil for kjøresyklus for blandet kjøring med lastebil – WHVC (World-Harmonized Vehicle Cycle)

3 Resultater lette kjøretøy

3.1 Generelt

Avgassmålinger med lette kjøretøy (biler med en vekt under 3,5 tonn) med ny Euro 6 teknologi gir ny informasjon om muligheter og utfordringer med nye motorer og ny renseteknologi. Produsenter og importører som stiller nye biler og ny teknologi til disposisjon for objektive og uavhengige tester og målinger risikerer på den ene siden uønskede resultater og uønsket publisitet. På den andre siden er det med åpenhet og objektive tester mulig å oppdage behov for justeringer og forbedringer som vil bidra til et bedre og mer miljøvennlige kjøretøy.

Det er en forutsetning for salg at alle nye bilmodeller skal være typegodkjente og etter hvert skal de klare de nye Euro 6 kravene. Erfaring viser at objektive avgassmålinger av ny motor- og renseteknologi kan avsløre svakheter og høye avgassutslipp under spesielle kjøreforhold med sterk kulde og krevende kjøreforhold.

Typegodkjenning og NEDC kjøresyklus som brukes ved typegodkjenningstesten gir lavere utslipp målt i gram per kilometer enn kjøring i virkelig trafikk. Vi ønsker med våre analyser av resultatene fra avgassmålingene å fokusere på mulighetene for å redusert avgassutslipp i virkelig trafikk med Euro 6 teknologi.

De viktigste og mest interessante resultatene fra avgasstesting av de lette kjøretøyene vises i form av søylediagrammer. Utslippene fra kjøring av de to «tur og retur turene» med til sammen fire "Helsinki bykjøresykluser" blir for hver bil presentert i form av fire søyler med forskjellig farger. Som referansekjøretøy har vi valgt en Toyota Avensis med 2,0 l Euro 5 dieselmotor og en Toyota Prius hybridbil (bensinbil med kombinert elektrisk fremdrift). Disse to bilenes avgassutslipp inngår i søylediagrammene som viser resultatene av avgasstestene med "Helsinki bykjøresykluser".

For utslipp av klimagasser (CO₂) er utslippene 10-30 % høyere ved kjøring av NEDC (Euro) kjøresyklus i VTI's avgasslaboratorium enn hva som blir oppgitt som typegodkjenningsverdier (NEDC kjøresyklus) for tilsvarende bilmodeller (se vedlegg 1). Ved kjøring under virkelige trafikkforhold er forskjellene i forhold til typegodkjenningsverdiene enda større (vedlegg 1). For NO_x er utslippene fra Euro 6 diesel personbiler ofte flere hundre prosent høyere ved kjøring i virkelig trafikk enn hva som fremkommer ved typegodkjenningen (Hagman m fl 2011). For utslipp av PM (avgasspartikler) skjer det ofte at utslippene fra Euro 6 diesel personbiler ved VTI's målinger er lavere enn typegodkjenningsverdiene (vedlegg 1).

Utslippene av uregulerte avgasskomponenter fra nye Euro 6 personbiler (diesel- og bensinmotorer med ny teknologi) kan bli større og annerledes enn hva som tidligere er målt fra dieslbiler. Vi har ved studier av måledata fra FTIR målingene av avgassutslipp fra lette kjøretøy ikke oppdaget noen spesielle eller høye utslipp av de uregulerte avgasskomponentene NH₃ og N₂O. Fra bensinbiler med ny teknologi har vi ved start i kulde målt høye utslipp av PM.

Referanse bilen, en Euro 5 bensinbil med hybrid fremdrift hadde i simulert virkelig bytrafikk i våre tester de laveste utslippene av klimagasser og samtidig de laveste utslippene av lokalt helseskadelige avgasskomponenter.

Utslippsdata fra avgassmålingene i fase 2 av måleprogrammet vises i vedlegg 1. I vedlegg 2 har vi vedlagt utslippsdata fra kjøretøy som ble testet i fase 1 av Vegdirektoratets måleprogram.

3.2 Testresultater - bykjøring

3.2.1 NO_x og NO₂

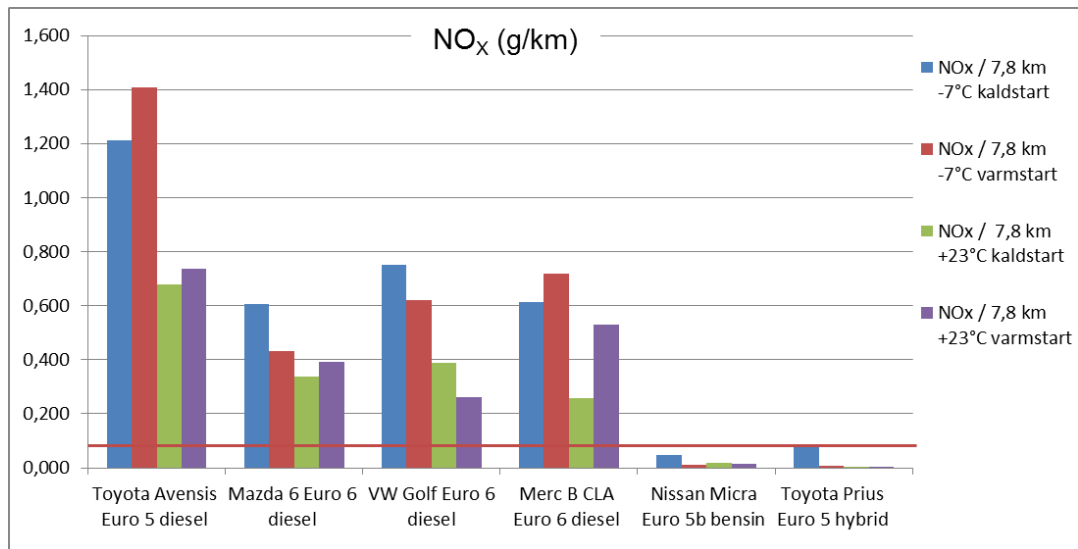
Utslippene av NO_x fra de testede Euro 6 dieselbilene er lavere enn utslippene fra Euro 5 dieselbiler. Utslipet i typisk vintertemperatur er dog betydelig høyere enn ved sommertemperatur. I forhold til Euro 6 typegodkjenning av dieselbiler ser vi at utslippene ved bykjøring og temperaturen +23°C kan være 3-5 ganger høyere enn grensen på 0,08 g/km for å få bilmodellen typegodkjent. Lav temperatur (-7°C) som krever oppvarming av rensesystemet for kjemisk reduksjon av NO_x, kan gjøre avgassrensingen mer komplisert og derved kan de reelle avgassutslippene av NO_x komme opp i 0,6-0,7 g/km (se figur 3.1).

En hypotese for hvorfor NO_x-utslippene i virkelig trafikk er relativt høye kan være at produsentene av lette kjøretøy prioriterer å utvikle biler som akkurat oppfyller typegodkjenningskravene til NO_x. Det er flere fordeler med at utslippene av CO₂ ved typegodkjenningen er så lave som mulig. Det finnes for motorer et naturlig teknisk motsetningsforhold mellom lave utslipp av NO_x og lave utslipp av CO₂. Når nye biler i Norge og flere andre land ofte blir pålagt en engangsavgift som er direkte proporsjonal mot avgassutslippene av CO₂ er det naturlig at bilprodusentene prioriterer lave utslipp av CO₂. Lavt forbruk av drivstoff og derved også lave utslipp av CO₂ gir lave kostnader til selve bilkjøringen mens lave utslipp av NO_x ikke har tilsvarende effekt.

For å klare de nye strenge avgasskravene for utslipp av NO_x (Euro 6) har de fleste produsenter av lette kjøretøy tatt i bruk Selective Catalytic Reduction med reduksjonsmidler som for eksempel AdBlue. Et unntak er Mazda som med sitt «Skyactiv» konsept for dieselbiler oppgir at de blant annet bruker lav kompresjon i sylindrene for å klare de nye kravene.

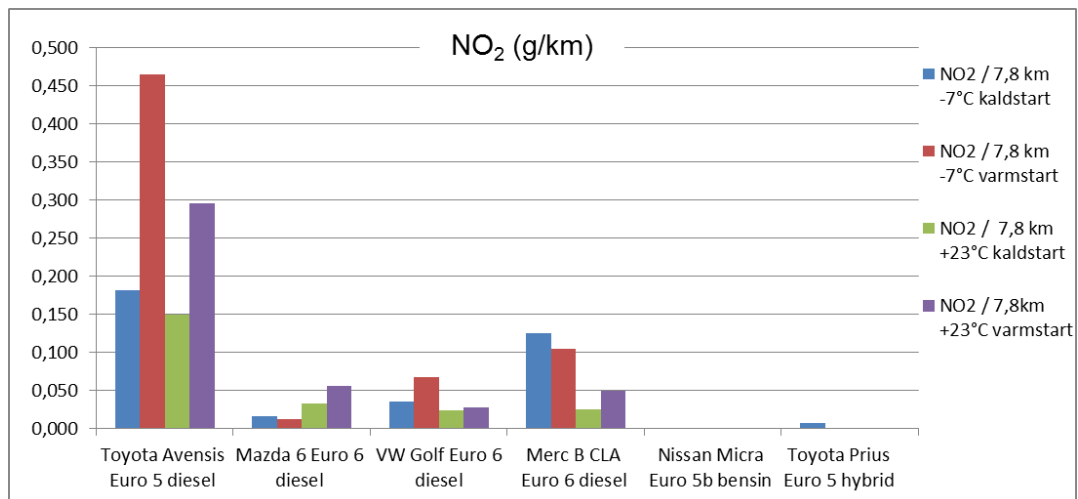
I figur 3.1 har vi lagt inn en linje som viser NO_x-kravet (Euro 6) for typegodkjenning av personbiler med dieselmotor. I tillegg til de fire testede bilene i fase 2 av måleprogrammet har vi som referanse i denne figuren og gjennomgående i de fleste figurene satt inn utslippsverdiene fra en tidligere testet Euro 5 Toyota Avensis med 2,0 l med dieselmotor og fra en Euro 5 Toyota Prius (hybridbil med bensinmotor).

Utslipet av NO_x fra den testede Euro 5 bensinbilen og hybridbilen med bensinmotor som brukes som referanse ligger godt under alle utslippene fra dieselbilene. En av de testede bensinbilene med DI ny teknologi (direkte innsprøyting av bensin), som ble testet i fase 1 av måleprogrammet hadde dog relativt høye utslipp av NO_x (0,3-0,5 g/km).



Figur 3.1: Utslipp av NO_x fra avgasstester med personbiler. Helsinki bykjøresyklus under forskjellige betingelser for motortemperatur ved start og med forskjeller i omgivelsestemperatur. Den røde linjen viser NO_x typegodkjenningskravet (Euro 6) for dieserbiler.

Lave NO_x-utslipp gir i de fleste tilfeller også tilsvarende lave utslipp av NO₂. Figur 3.6 viser utslippet av NO₂ fra de testede bilene i fase 2 av måleprogrammet. Utslippene av NO₂ fra nye Euro 6 dieselpersonbiler utgjør i henhold til våre avgassmålinger og i virkelig bytrafikk en andel som er mellom 5-25 prosent av de totale utslippene av NO_x. Vi ser en tendens til at andelen NO₂ av de totale utslippene av NO_x fra nye Euro 6 dieselpersonbiler ser ut til å være lavere enn vi tidligere har sett fra Euro 5 dieserbiler.



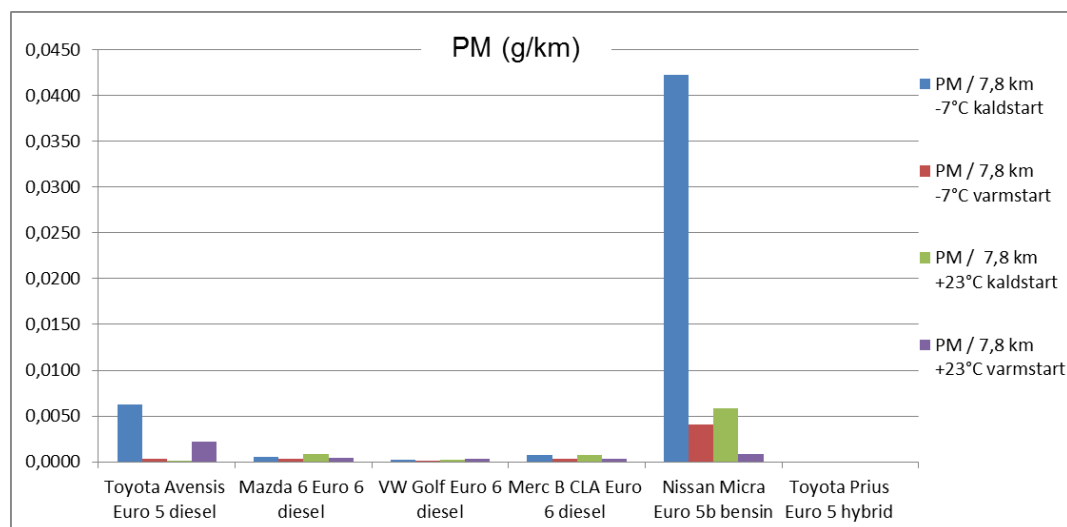
Figur 3.2: Utslipp av NO₂ fra avgasstester med personbiler. Helsinki bykjøresyklus under forskjellige betingelser for motortemperatur ved start og med forskjeller i omgivelsestemperatur.

3.2.2 PM

Utslipp av PM (avgasspartikler) ser ut til å være så små fra moderne Euro 5 og Euro 6 dieselpersonbiler med partikkelfiltre at de under alle kjøreforhold med god marginal klarer nivåene som kreves for typegodkjenning (0,005 g/km). Måleverdiene

av PM kommer for Euro 6 dieserbiler ned på nivået 0,001-0,002 g/km under de fleste kjøreforhold. Vår forståelse er at moderne dieserbiler (Euro 5 og Euro 6) har fått meget effektive partikkelfiltre og at målte høye konsentrasjoner i byene (målt i g/m^3) i dominerende grad kan henføres til andre kilder enn direkte fra avgassrøret til moderne dieserbiler med partikkelfiltre.

Utslippene av avgasspartikler har tradisjonelt vært lave fra moderne bensinbiler. Vanlige bensinbiler med effektive treveiskatalysatorer (og støkimetrisk forbrenning) har som regel under alle kjøreforhold lave utslipp av avgasspartikler (PM). Ny og energieffektiv motorteknologi byr på nye utfordringer. Den i denne fasen av måleprogrammet testede Euro 5 b bensinbilen og en bensinbil med DI teknologi fra den første fasen av måleprogrammet viste seg å ha høye utslipp av partikler, og utslippene var spesielt høye ved kaldstart i -7°C (se figur 3.3).



Figur 3.3: Utslipp av PM (avgasspartikler) fra avgasstester med personbiler. Helsinki bykjøresyklus under forskjellige betingelser for motortemperatur ved start og med forskjeller i omgivelsestemperatur.

Svart avgass fra start av en ny bensinbil og rene avgasser fra start av en ny diesebil er nytt. Høye utslipp av partikler kan bli en ny utfordring som må løses med nye bensinmotorer og DI teknologi. Figur 3.4 viser oppsamlede avgasspartikler (PM) fra henholdsvis Euro 5 b bensinbilen med DI teknologi og en av Euro 6 diesebil. De oppsamlede avgasspartiklene kommer fra start og kjøring av bilene ved -7°C .

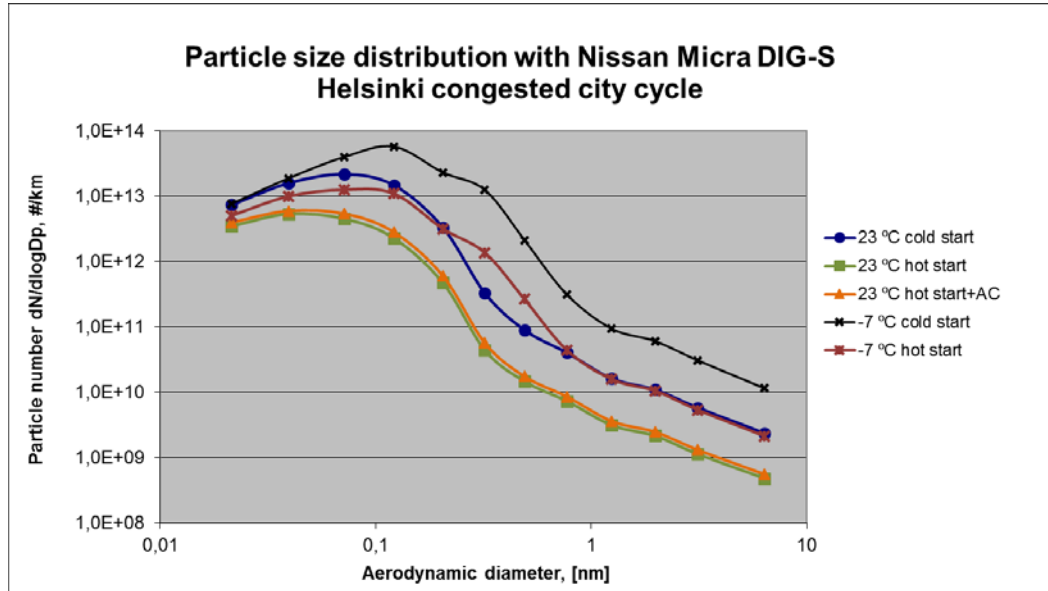


Figur 3.4: To filtre med oppsamlede utslipp av PM (avgasspartikler) fra en avgasstest med en personbil med direkte innsprøyting (DI teknologi) av bensin til venstre og to filtre med tilsvarende utslipp av PM, avgasspartikler fra en Euro 6 personbil med dieselmotor til høyre.

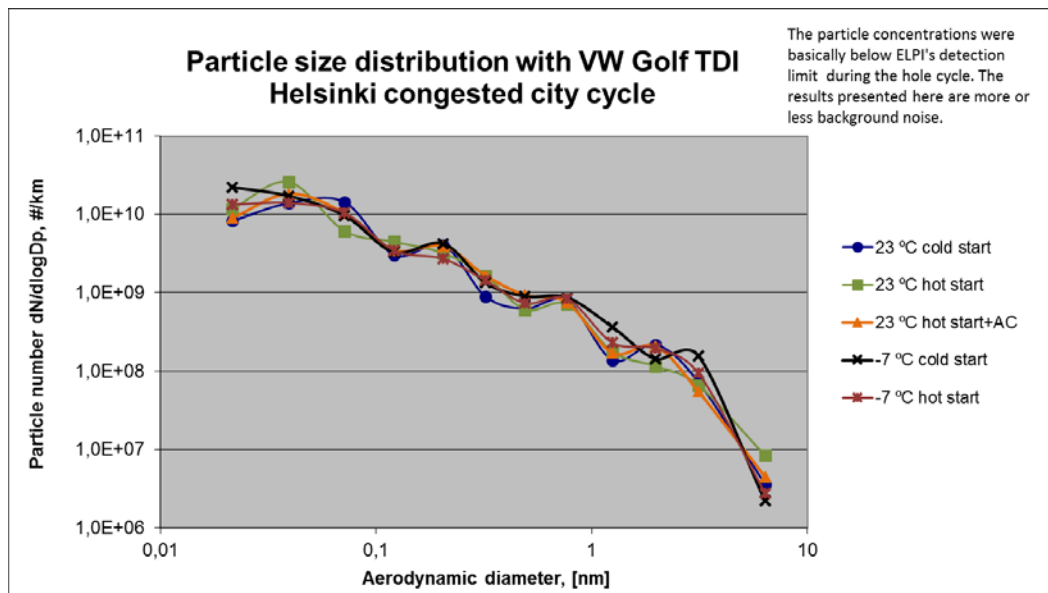
Partikkelutslippene fra Euro 5 b bensinbilen med direkte innsprøyting av bensin og Euro 6 diesebilen ble også analysert i forhold til antall og fordeling av størrelse.

Antallet partikler ut fra eksosrøret til bensinbilen med DI teknologi i størrelsesklassene mellom 0,05-5 nm (1 nanometer = 10^{-9} m) ble målt til et antall av mellom 10^8 /km og 10^{14} /km.

Det fremgår av figurene 3.5 a og 3.5 b at antallet partikler av alle størrelser var omtrent 1000 ganger flere fra eksosrøret til bilen med ny DI bensinmotor enn fra en tilsvarende Euro 6 bil med dieselmotor.



Figur 3.5 a: Antall og fordeling av partikler fra en personbil med bensinmotor og direkte innsprøyting av drivstoff



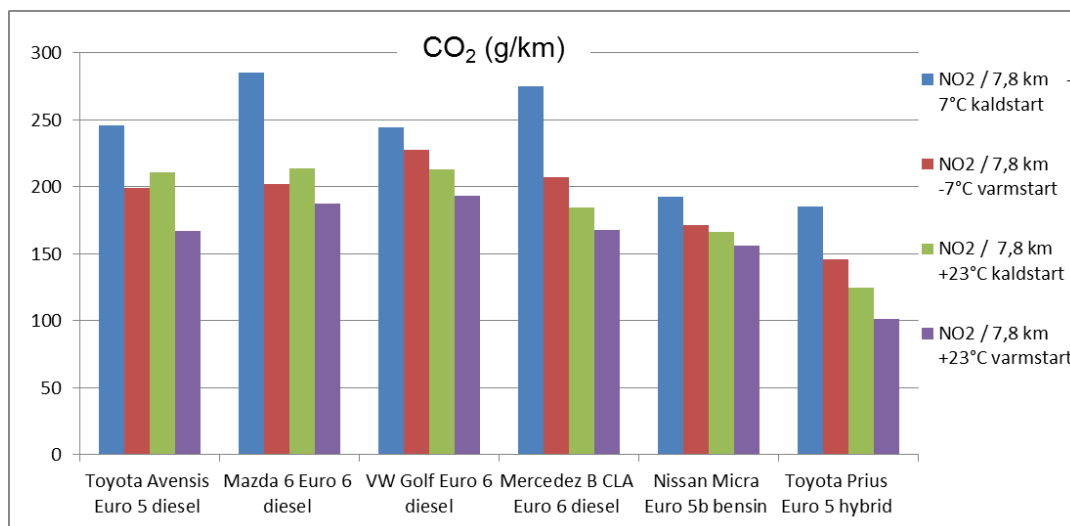
Figur 3.5 b: Antall og fordeling av partikler fra en Euro 6 personbil med dieselmotor. Antallet partikler er ca 1000 ganger større fra bensinbilen enn fra dieserbilen.

3.2.3 CO₂

Utslippene av CO₂ fra nye Euro 6 dieserbiler i virkelig bytrafikk viser seg å være høye og sannsynligvis minst på samme nivå som fra Euro 5 dieserbiler, se figur 3.6. En av

årsakene til dette kan være at rensing med SCR og AdBlue krever oppvarming og mer energi.

Dieselmotorer har tradisjonelt vært vurdert å være ca. 25 % mer energieffektive enn bensinmotorer. Dieselmotorer har på grunn av overlegen drivstofføkonomi vært et mer klimavennlig alternativ enn bensinmotorer i personbiler. Målingene av CO₂-utslipp i bykjøring og ved -7°C kan tyde på at avansert SCR og Euro 6 teknologi øker utslippene og svekker klimaargumentene for diesalbiler i bykjøring (se figur 3.6).



Figur 3.6: Utslipp av CO₂ fra avgasstester med personbiler. Helsinki bykjøresyklus under forskjellige betingelser for motortemperatur ved start og med forskjeller i omgivelsestemperatur.

Utslippene av CO₂ er under ellers like forhold sterkt relatert til kjøretøyets størrelse og vekt. Store tunge biler har høyere energiforbruk og større utslipp av CO₂ enn tilsvarende små og lette biler. Biler med nye energieffektive bensinmotorer kan ha utslipp av CO₂ som er mindre enn tilsvarende utslipp fra diesalbiler med Euro 5 og Euro 6 teknologi.

3.3 Sammenstilling av noen resultater fra fase 1 og 2

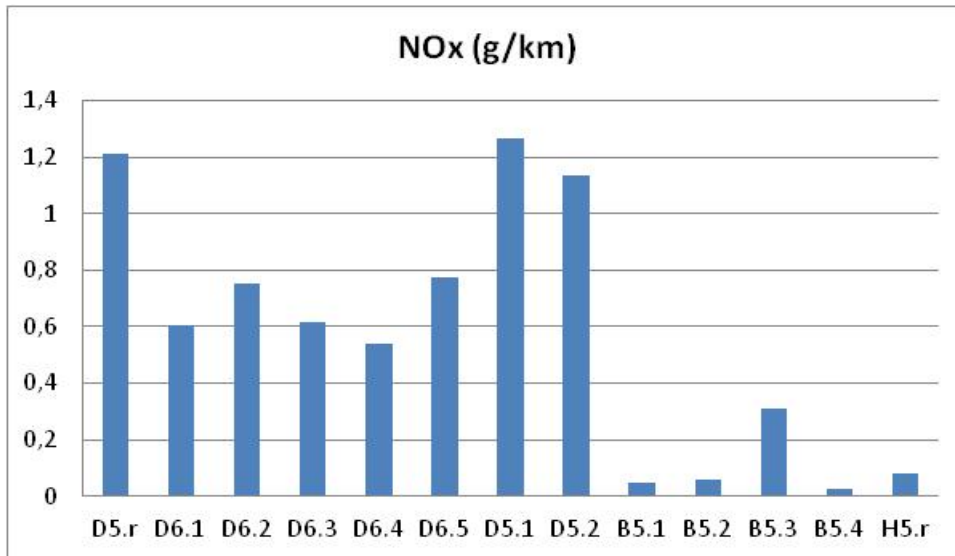
I rapportens vedlegg finnes alle testresultatene, både fra denne og forrige testrunde. Figurene 3.7-3.10 viser avgassutslippene fra de testede lette kjøretøyene fra forrige og nåværende testrunde for *en av* testbetingelsene. Utslipet i figurene representerer kjøretøyenes utslipp ved bykjøring og kaldstart i -7°C, og vil i de fleste tilfeller representere det verst tenkelige tilfellet med hensyn til avgassutslipp.

De to referansekjøretøyene, Toyota Avensis diesel Euro 5 (i figurene: D5.r) og Toyota Prius Hybrid Euro 5 (i figurene: H5.r) er plassert i figurenes ytterkanter.

Tabell 3.1: Forklaring på forkortelsene brukt i figurene 3.7-3.10.

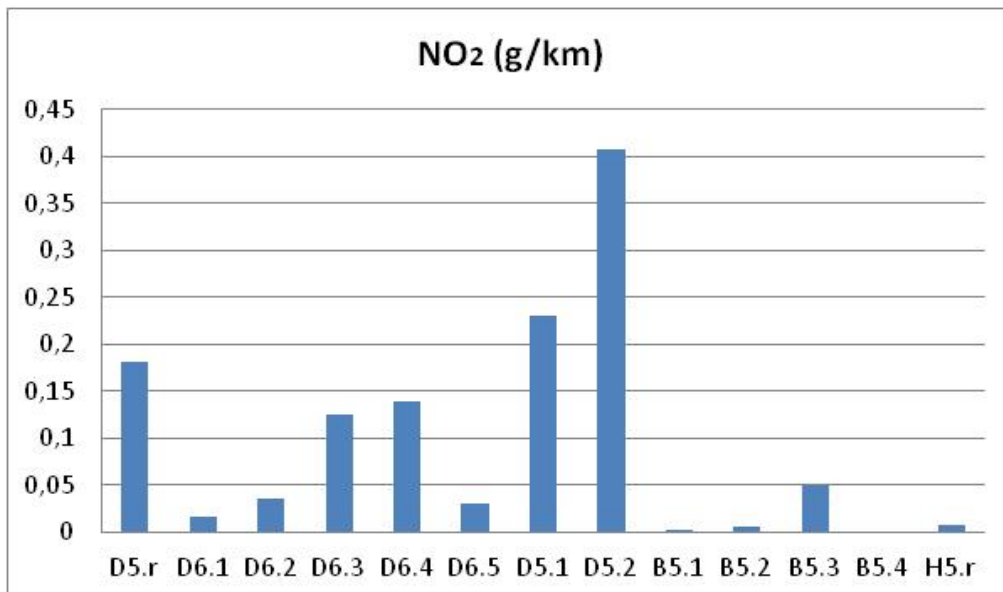
| | |
|--------|--|
| D5.r | Referansekjøretøy, Euro 5 dieselbil |
| D6.1-5 | De 5 testede Euro 6 diesebilene (testet nå og i forrige testrunde) |
| D5.1-2 | De 2 testede Euro 5 diesebilene med D-CAT teknologi (første testrunde) |
| B5.1-4 | De 4 testede Euro 5 bensinbilene, med til dels ny teknologi (testet nå og i forrige testrunde) |
| H5.r | Referansekjøretøy, Euro 5 hybridbil |

Figur 3.7 viser NO_x-utslippet fra de til nå testede personbilene ved kaldstart i vinterkulde. Alle Euro 6 dieselbilene (D6) har lavere utslipp av NO_x i kulde enn de testede Euro 5 dieselbilene (D5), inklusive Euro 5 bilene med NO_x renseteknologi (D-CAT). De testede bensinbilene (B5) og hybridbilen (H5) har klart lavest utslipp.



Figur 3.7: Utslipp av NO_x fra avgasstester med personbiler, Helsinki bykjøresyklus med kaldstart og kjøring av 7,8 km i kulde (-7°C).

Når det gjelder utslippet av NO₂ ved kaldstart i kulde, varierer utslippene noe mer (se figur 3.8). Alle de testede Euro 6 dieselbilene hadde lavere utslipp enn referansebilen (D5.r), særlig tre av de testede Euro 6 dieselbilene klarte seg bra under disse testbetingelsene. De to testede Euro 5 dieselbilene med D-CAT teknologi, hadde høye utslipp av NO₂ i kulde. Hybridbilen (H5.r) og tre av de testede Euro 5 bensinbilene hadde meget lave utslipp av NO₂. En av bensinbilene (B5.3) hadde utslipp på nivå med Euro 6 dieselbilene, men dette gjaldt kun i kulde. Ved +23°C hadde den aktuelle bensinbilen lavt utslipp av NO₂.



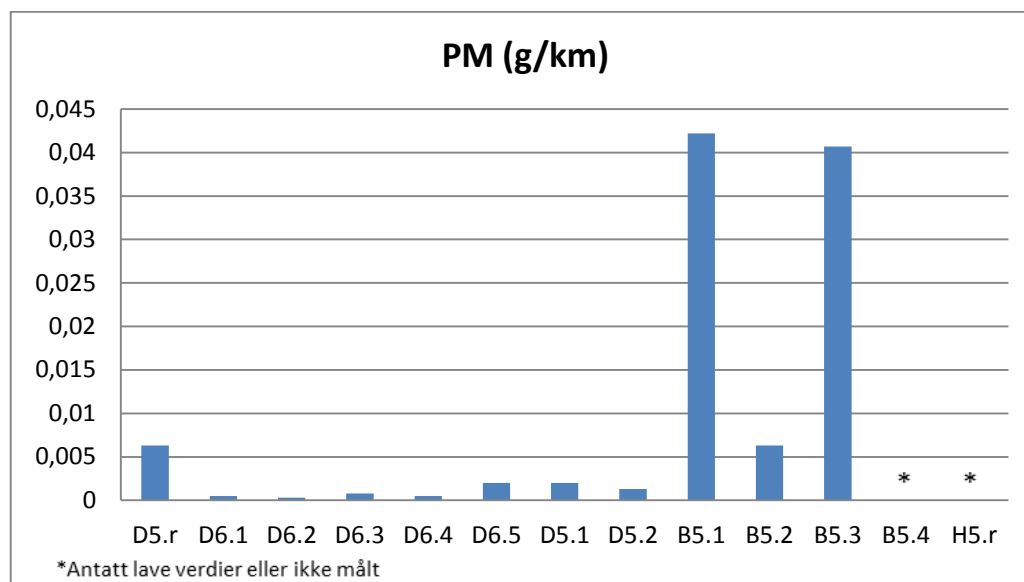
Figur 3.8: Utslipp av NO₂ fra avgasstester med personbiler, Helsinki bykjøresyklus med kaldstart og kjøring av 7,8 km i kulde (-7°C).

Når det gjelder utslippet av partikler var dette lavt for alle de testede dieselkjøretøyene (se figur 3.9). Partikkelfiltrene ser ut å fjerne partikler på en effektiv måte i nye lette Euro 5 og Euro 6 dieserbiler.

Ved behov kan de fleste dieserbiler starte selvrensing av partikkelfiltrene. Selvrensing innebærer stimulert forbrenning av karbonpartikler i partikkelfiltret. Selvrensing under avgasstester gir under selve renseprosessen unormalt høye avgassutslipp av PM. Vi har hatt tilfeller av at noen av de testede dieserbilene har begynt automatisk selvrensing under våre tester. Vi har i figurene (inklusive fig 3.9) ikke vist utslipp av PM fra dieserbiler som har foretatt selvrensing.

To av de fire testede Euro 5 bensinbilene (B5) med ny DI teknologi hadde svært høye utslipp av PM ved kaldstart i kulde. Dette gjaldt kun for kaldstart, ved varmstart og ved kjøring i sommertemperaturer (+23°C) var utslippet fra de to aktuelle bensinbilene mer eller mindre på nivå med de andre kjøretøyene.

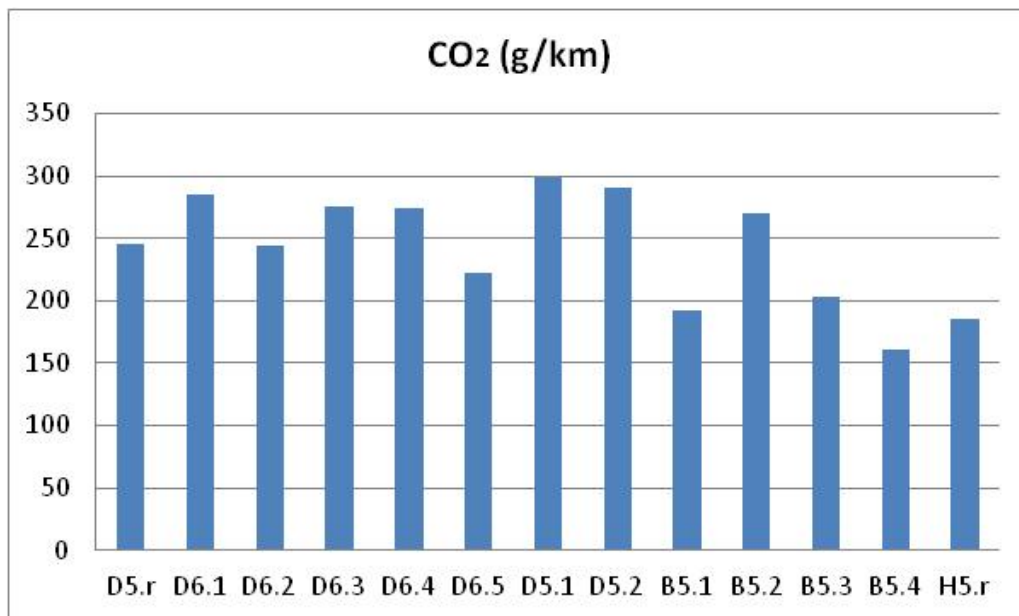
Det kan kommenteres at utslipp av avgasspartikler fra nye moderne bensinbiler (med støkiometrisk forbrenning og treveiskatalysator) ikke har vært noe problem de siste 20 årene. Det har derfor ikke vært behov for lovkrav som begrenser partikkelutslipp fra nye bensinbiler.



Figur 3.9: Utslipp av PM fra avgasstester med personbiler, Helsinki bykjøresyklus med kaldstart og kjøring av 7,8 km i kulde (-7°C).

Når det gjelder utslippet av CO₂, er tendensene mindre klare. Utslippene ved kalstart og en tur på 7,8 km i nordisk kulde er generelt høye og ligger for diesel personbiler på rundt 250 g CO₂ per kilometer (se figur 3.10). De testede Euro 5 bensinbilene og hybridbilen (H5.r) var noe mindre og hadde (med et unntak) noe lavere utslipp av CO₂ enn dieserbilene under disse betingelsene.

For dieserbilene var det marginale forskjeller mellom Euro 5 og Euro 6 bilene i sterk kulde. Tilsvarende gjelder også for utslippene ved +23°C.



Figur 3.10: Utslipp av CO₂ fra avgasstester med personbiler, Helsinki bykjøresyklus med kaldstart og kjøring av 7,8 km i kulde (-7°C).

4 Resultater tunge kjøretøy

4.1 Generelt

Avgassmålinger av tunge kjøretøy med ny Euro VI teknologi gir ny informasjon om muligheter og utfordringer med nye motorer og ny renseteknologi når kjøretøy kjøres under virkelige og krevende kjøreforhold. Produsenter og importører som stiller nye kjøretøy og ny teknologi til disposisjon for objektive og uavhengige tester og målinger risikerer uønsket publisitet. Vi har i dette prosjektet til nå klart å få teste fem kjøretøy med Euro VI motorer fra fire produsenter (fordelt på to kjøretøy i fase 1 og tre kjøretøy i fase 2 av måleprogrammet).

Våre funn er at de nye strenge Euro VI kravene har medført at nye tunge kjøretøy nå har kraftige reduksjoner av helseskadelige avgassutslipp. Tunge kjøretøy med Euro VI motorer ser under alle kjøreforhold ut til å kun å ha en brøkdel (ca. 1/10) av de lokalt helseskadelige utslippene som er vanlige fra tilsvarende kjøretøy med Euro V motorer.

Avgassutslippene av dieselpartikler, PM er med effektive og godt fungerende partikkelfiltre nede på lave nivåer, under 0,01 g/km fra alle tunge kjøretøy med Euro VI dieselmotorer. Fra en av produsentene av de testede kjøretøyene har vi fått poengtert at avgasskravene til tunge kjøretøy, deres motorer og rensesystemer i og med Euro VI nå er så strenge at kjøretøyene alltid bør tilpasses de aktuelle kjøreforholdene hvor de skal brukes.

TØI ønsker på samme måte som for lette kjøretøy ikke å fokusere på enkelte produsenter, kjøretøy eller motorer, men på Euro VI teknologi, og mulighetene for reduserte avgassutslipp i virkelig trafikk. De nye Euro VI avgasskravene for tunge kjøretøy (motorene) ser ut til å kreve SCR, Selective Catalytic Reduction med reduksjonsmidler (som AdBlue) for å bli oppfylt.

SCR er i seg selv ingen garanti for at kjøretøy skal klare utslippskravene eller få lave utslipp av NO_x. Tidligere erfaringer med ettermontering og prøvemonteringer av SCR anlegg på kjøretøy med Euro V motorer er at det har gitt liten effekt. Beskrivelser av renseteknologien (SCR) og Euro VI godkjente motorer viser at det i 2013 er utviklet nye og effektive reguleringssystemer for avgassrensing. Nøyaktige interne målinger av temperatur og uønskede avgasskomponenter i alle faser av rensesprosessen har medført at de nye SCR systemene er meget effektive (på nye tunge kjøretøy).

Omfattende bruk av urea (AdBlue) innebærer risiko for utslipp av ammoniakk i avgassene. Vi har fra de tunge kjøretøyene med SCR (AdBlue) kun oppdaget lave og knapt sporbare avgassutslipp av ammoniakk.

De tunge kjøretøyenes forbruk av diesel vil isolert sett bli høyere med SCR og Euro VI motorer enn for tilsvarende kjøretøy med Euro V motorer. SCR og kjemisk reduksjon av nitrogenoksider krever tilskudd av energi og vil kunne gi seg utslag i noen prosent økt forbruk av diesel. Ny mer energieffektiv motorteknologi, mindre

energitap i girkasser og annet vil på den andre siden kunne bidra til et samlet lavere drivstofforbruk og lavere utslipp av klimagassen CO₂.

Utslipp av N₂O, lystgass, er også en risiko ved bruk av SCR. Avgassutslippene av N₂O fra et av de tunge kjøretøyene med Euro VI motor ligger, i henhold til våre FTIR målinger, på nivåer som 0,6-0,9 g/km (se vedlegg 1). Utslipp av N₂O til en verdi av 0,6-0,9 g/km tilsvarer ca. 180 til 270 g/km i CO₂ ekvivalenter. Med tanke på at N₂O vurderes å ha en klimapåvirkning som er 300 ganger sterkere enn CO₂ er utslipp av N₂O fra tunge kjøretøy noe en bør følge opp og undersøke dypere i fremtidige avgassmålinger.

Hybridbusser er for Norge og norsk kollektivtrafikk et interessant alternativ til konvensjonelle diesellusser. En i fase 2 av måleprogrammet testet hybridbuss med Euro V motor har høyere NO_x utslipp enn de testede Euro VI dieselskjøretøyene.

De opp til og med Euro 5 motorene store utslippene av NO₂ og andre helseskadelige avgasser fra nye tunge kjøretøy ser ifølge målingene i måleprogrammet ut til å kunne komme under kontroll i forbindelse med innfasingen av Euro VI motorer.

Utslippsdata fra alle avgassmålingene med tunge kjøretøy (både denne og tidligere testperiode) vises i tabeller i vedlegg, og kan brukes til fordypet forståelse av avgassutslippet ved ulike kjøremønstre. De viktigste og mest interessante resultatene fra denne testrunden med tunge kjøretøy vises i form av søylediagrammer.

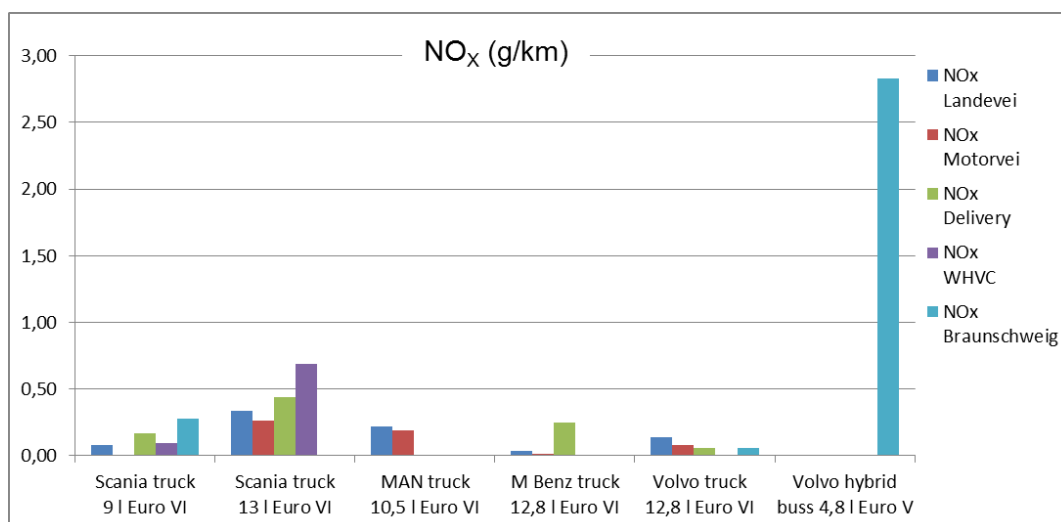
4.2 Testresultater - diverse kjøresykluser

4.2.1 NO_x og NO₂

Utslippene av NO_x fra de tunge kjøretøyene med Euro VI motorer er sterkt redusert i forhold til utslippene fra tilsvarende kjøretøy med Euro V motorer. Utslipet av NO_x fra kjøretøyene med Euro VI er lavere enn fra dagens Euro 5 diesel personbiler, og på nivå med utslippene fra de testede Euro 6 bilene (0,3-0,6 g/km ved +23°C). De fire nye tunge kjøretøy med Euro VI motorer som er testet i fase 2 av måleprogrammet bekrefter de meget lave utslippene av lokalt helseskadelige avgassutslipp som ble målt i fase 1 av måleprogrammet.

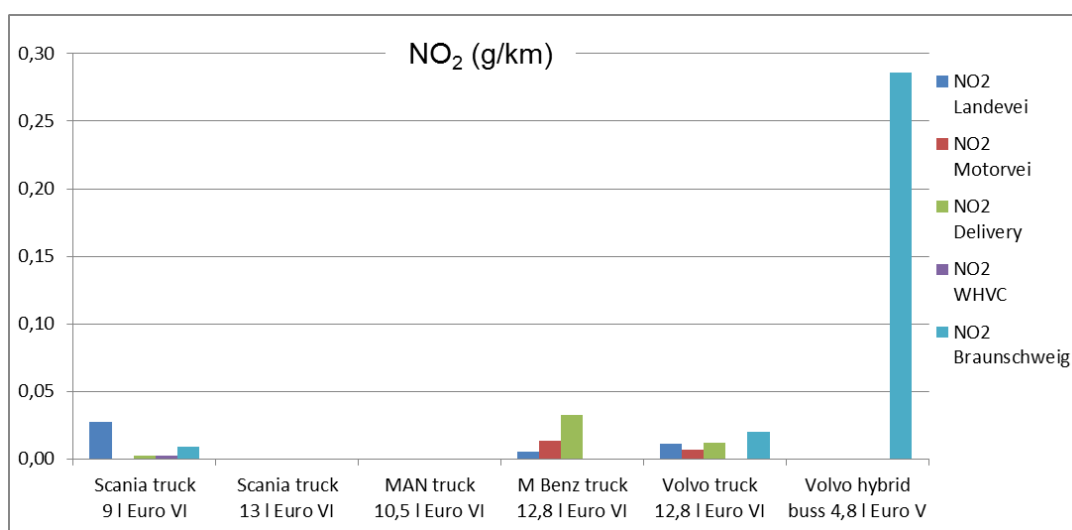
En hybridbuss med Euro V motor hadde sammenlignet med tunge kjøretøy og Euro VI motorer høye utslipp av NO_x. I forhold til tradisjonelle diesellusser hadde hybridbussen dog utslipp av NO_x som kun var ca. 1/3 av hva som er vanlig for tradisjonelle diesellusser med Euro V motorer.

Figur 4.1 viser utslippet av NO_x for alle de i måleprogrammet til nå testede tunge kjøretøyene.



Figur 4.1: Utslipp av NO_x for de testede tunge kjøretøyene. Testresultater fra kjøring i fem ulike kjøresykluser, testet i romtemperatur.

Når det gjelder NO₂-utslippet har de testede tunge Euro VI kjøretøyene som regel et utslipp som er nede på nivå med det som ble registrert for de testede Euro 6 diesel personbilene, se figur 4.2.



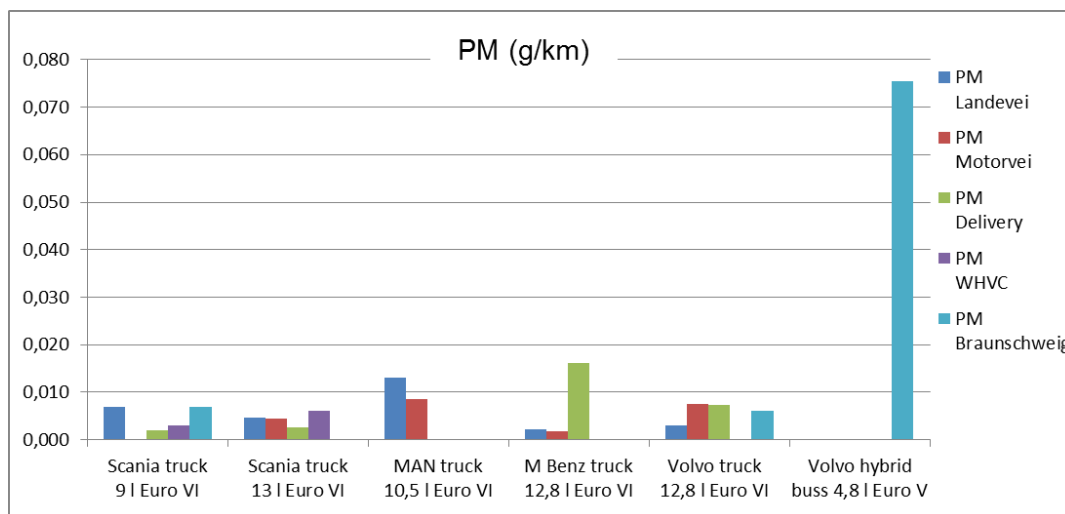
Figur 4.2: Utslipp av NO₂ for de testede tunge kjøretøyene. Testresultater fra kjøring i fem ulike kjøresykluser, testet i romtemperatur.

Utslippene av NO₂ utgjør som regel en så liten del som 5-20 % av de samlede utslippene av NO_x fra tunge kjøretøy med Euro VI motorer. Da utslippene av NO_x i utgangspunkt har blitt meget lave er de absolutte utslippene av NO₂ enda lavere. For flere av de tunge kjøretøyene har vi ikke måledata for utslipp av NO₂. For et av dem var med en spesiell kjøresyklus utslippene av NO₂ på 0,013 g/km. Dette var 90 % av de samlede utslippene av NO_x. Noen så høy andel har vi har sett tidligere og vi kan ikke forklare den, men fortsatt er utslipp av 0,013 g NO₂ per km et meget beskjedent utslipp av NO₂.

4.2.2 PM

Avgassutslippet av partikler, PM, er lavt fra de testede tunge kjøretøyene med Euro VI motor, se figur 4.3. Utslipet fra kjøretøyene med Euro VI motorer er omtrent på nivå med utslippet fra de testede Euro 6 diesel personbilene. Partikkelfiltre er i realiteten et brennkammer for uforbrente karbonpartikler.

Partikkelfiltre kan på en effektiv måte forbrenne karbonpartikler av alle størrelser. Utfordringene er at filtrene ikke skal bli tette. Avgasspartiklene skal forbrenne under alle de kjøreforhold. Hvis temperaturen i motoren og avgassene ikke til tross for katalytiske materialer er høy nok for selvantennning vil bli tette og partikkelfiltret ødelagt. Motorstørrelse og partikkelfiltrets utforming må derfor tilpasses kjøretøyets bruksområder. En annen utfordring er at de interne veggene i partikkelfiltret ikke skal slippe gjennom partikler over en definert størrelse.



Figur 4.3: Utslipp av PM for de testede tunge kjøretøyene. Testresultater fra kjøring i fem ulike kjøresykluser, testet i romtemperatur.

4.2.3 CO₂

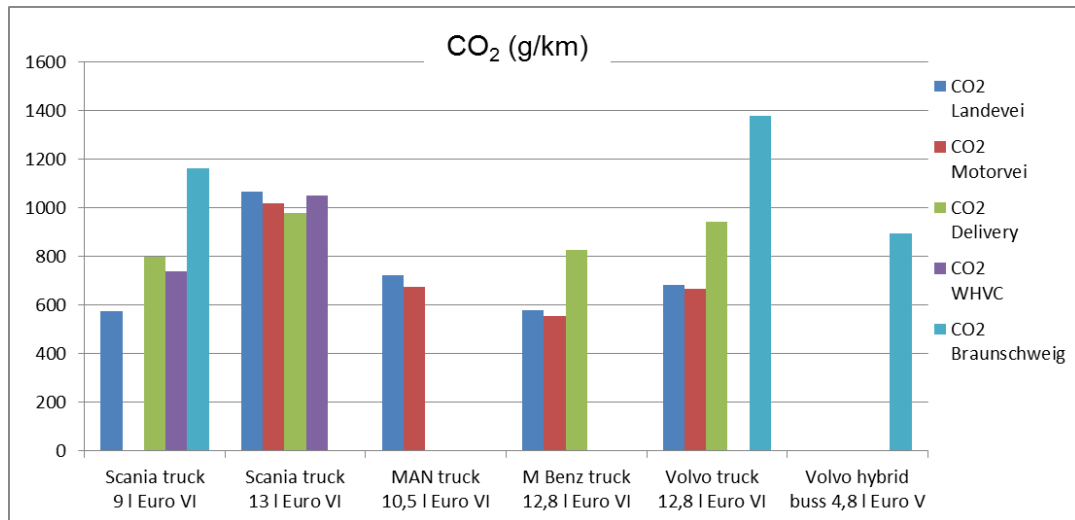
CO₂ utslippet fra de testede tunge kjøretøyene har ikke hatt den samme utviklingen som NO_x, NO₂ og PM, se figur 4.4. Avgassutslipp av CO₂ er direkte proporsjonalt mot forbruket av drivstoff og det er i mindre grad enn for lette kjøretøy relevant å sammenligne tunge kjøretøy med forskjellig vekt, utforming og bruksområder. Utslipet av CO₂ fra de tunge kjøretøyene med Euro VI motorer, tunge kjøretøy med Euro V motorer og fra den testede hybridbussen er vanskelig å sammenligne.

For hybridbussen med Euro V motor ser vi at utslippet av CO₂ er ca. 900 g/km ved kjøring av Braunschweig bykjøresyklus. Vi hadde for en hybridbuss forventet et utslipp av CO₂ på ca. 700 g/km ved kjøring av Braunschweig bykjøresyklus. Til sammenligning vil en tradisjonell diesalbuss ha et utslipp av CO₂ på drøyt 1000 g/km ved kjøring av Braunschweig bykjøresyklus.

Utslippene av CO₂ kan eventuelt forklares med at bussens hybridfunksjon og batterikapasitet ikke var optimalt effektiv for den krevende bykjøresyklusen. Et kjøremønster med færre start og stopp samt mindre krevende akselerasjoner og retardasjoner (SORT 1-3) ga større energigevinster (og lavere utslipp av CO₂) og passet sannsynlig bedre for den aktuelle modellen av hybridbuss. Avgasstesten med en hybridbuss viser klart, at man med tester som gjenspeiler virkelig trafikk, kan

oppdage om en buss eller et hybridkonsept egner seg for en aktuell type kjøring eller om det eventuelt er behov for justeringer av hybridkonseptet.

Vi ser i vedlegg 1 at med noen andre kjøresykluser for busser med mindre krevende kjøremønstre, færre stopp og lavere nivåer på akselerasjoner og retardasjoner (SORT 1-3) har den her testede hybridbussen betydelig lavere drivstofforbruk og lavere utslipp av CO₂ (straks under 700 g/km). Hvordan et hybridsystem er konstruert og hvordan den kjøresyklus som brukes for testing ser ut har stor betydning for hvor store besparelser som oppnås med hybrid drift.



Figur 4.4: Utslipp av CO₂ for de testede tunge kjøretøyene. Testresultater fra kjøring i fem ulike kjøresykluser, testet i romtemperatur.

5 Diskusjon

Negativ påvirkning av lokal luftkvalitet har tradisjonelt vært en utfordring med kjøretøy som bruker forbrenningsmotorer. I flere av Norges største byer er det spesielt konsentrasjonene av nitrogendioksid (NO₂) som fortsatt overskrider de tillatte grenseverdiene. Antallet overskridelser er dog færre i 2012 og 2013 i forhold til de foregående år. Imidlertid er det trolig at dette i liten grad skyldes innføring av nye kjøretøy med mindre utslipp. Lokale forhold som temperatur, vind, type vær er sannsynlig en større del av forklaring (Hagman, Gjerstad og Amundsen 2011).

At myndighetene til enhver tid er godt orientert om de virkelige utslippene fra alle typer kjøretøy, nye og gamle, har stor betydning for hensiktsmessige reaksjoner på eventuelle overskridelser av akseptabel luftkvalitet. Ny motorteknologi og ny renseteknologi gir utslippsreduksjoner og i noen tilfeller kan ny teknologi gi uventede og større utslipp. Eventuelle reguleringer og tiltak for å redusere utslippsplager må bygge på kunnskap om virkelige og forventede faktiske utslipp.

Utslipet av avgasspartikler har tradisjonelt vært lavt fra moderne bensinbiler. Nye bensinbiler var til og med Euro 4 fritatt fra typegodkjenningsskrav når det gjelder utslipp av PM. To bensinbiler med ny energieffektiv innsprøytingsteknologi (DI teknologi) viste seg å ha høye partikkelutslipp og utslippene var spesielt høye ved kaldstart i -7°C. DI teknologien for bensinmotorer medfører at DI bensinmotorer blir mer like moderne dieselmotorer. Likheten med dieselmotorer medfører mulighet for lavt forbruk av drivstoff men også behov for økt oppmerksomhet på utslipp av avgasspartikler og NO_x.

Med de foreliggende resultatene fra måleprogrammet er en hypotese at ny motor- og renseteknologi nå har større betydning for å redusere lokalt helseskadelige utslipp enn alternative drivstoffer. Utviklingen av og introduksjon av rene og effektive motorer til alternativ drivstoffer som metan, etanol, metanol med mere ser ikke ut til å bli prioritert i forhold til utviklingen av nye dieselmotorer og nye bensinmotorer. På den måten kan de helseskadelige avgassutslippene fra bensinmotorer og dieselmotorer til tider bli lavere enn utslippene fra motorer som bruker alternative drivstoffer.

For å kunne utføre relevante avgasstester er vi avhengig av å få tilgang til Euro 6/VI typegodkjente biler og motorer. Fra 2014 vil det være betydelig større muligheter for å utføre relevante avgasstester i og med at vi da enklere kan få tilgang til Euro 6/VI typegodkjente biler og motorer. Nye kjøretøy vil fra 2014 med noen unntak oppfylle de nye Euro 6/VI kravene.

Det er et sterkt behov for kunnskap om Euro 6/VI avgassutslipp og samarbeid mellom internasjonale forskningsinstitutter, myndigheter og produsenter av kjøretøy. Mer kunnskap er avgjørende for å kunne fatte de rette avgjørelsene om kjøretøyteknologi, drivstoffer, utslipp og eventuelle tiltak for å forbedre luftkvaliteten og redusere utslippene av klimagasser.

Måleprogrammet begynner nå å gi oss et bilde av hva vi kan forvente av lette og tunge kjøretøy med Euro 6 og Euro VI teknologi.

Resultatene fra de tester vi har gjennomført gir ikke grunnlag for å trekke endelige konklusjoner om hvor store miljøgevinster vi vil oppnå med diesel- og bensinmotorer og Euro 6/VI-teknologien. Resultatene forteller oss at det er mulig å oppnå sterkt reduserte utslipp av lokalt forurensende avgasser, samtidig som vi ser at nye problemer kan oppstå.

Rapporten fokuserer på mulighetene for reduserte avgassutslipp også i virkelig trafikk. Avgassmålingene av kjøretøy med ny Euro 6/VI teknologi gir oss informasjon om hva som er muligheter å oppnå. Avgassmålinger med tunge kjøretøy som har Euro VI motorer, og de lave utslippene av NO_x og PM og de lave utslippene fra disse kjøretøyene viser at det bør være et stort potensiale for også å oppnå meget lave utslipp av NO_x fra lette kjøretøy med dieselmotorer.

Utfordringene kan være høye kostnader for effektiv avgassrenseteknologi og hvordan rensesystemene fungerer etter lang tids bruk. Skatter, avgifter og regelverk kan utformes slik at produsenter og brukere motiveres til produksjon og kjøp av kjøretøy med lave utslipp av alle typer avgasser i virkelig trafikk.

6 Referanser

- Hagman, R. og Assum, T. 2012
Ladbare hybridbiler - Utslippsreduksjoner og barrierer for bruk av en ladbar Toyota Prius. Oslo, Transportøkonomisk institutt. TØI-rapport 1226/2012.
- Hagman, R. og Amundsen, A. H. 2013
Utslipp fra kjøretøy med Euro 6/VI teknologi. Oslo, Transportøkonomisk institutt. TØI rapport 1259/2013.
- Hagman, R., Gjerstad, K.I. og Amundsen, A.H. 2011.
NO₂-utslipp fra kjøretøyparken i norske storbyer – utfordringer og muligheter fram mot 2025. Oslo, Transportøkonomisk institutt. TØI-rapport 1168/2011.
- Weiss, M., Bonnel, P., Hummel, R., Manfredi, U., Colombo, R., Lanappe, G., Le Lijour, P. and Sculati, M. 2011
Analyzing on-road emission of light-duty vehicles with portable emission measurement systems (PEMS). Brussels, European commission. JRC Scientific and Technical report. EUR-24697-2011.
- Weiss, M., Bonnel, P., Hummel, R., Kühlwein, J et al. 2012
Will Euro 6 reduce NO_x emissions of new diesel cars? - Insights from on-road tests with portable Emissions Measurement systems (PEMS), European Commission DG. JRC , Institute for Energy and Environment. Atmospheric Environment 62 (2012) 657-665.

Vedlegg 1: Måledata - Vegdirektoratets måleprogram fase 2

Tabell: Utslippsdata for en Euro 6 Mazda med en 2,19 l dieselmotor testet i VTTs avgasslaboratorium 2013

| | Make | Model | Model year | Engine displacement | Transmission | Fuel | Emission class | Engine power (hp) | | | |
|---------|-------------------------------|--------|--|---------------------|--------------|--------|----------------|-------------------|---------|--------------|--|
| | Mazda | 6 | 2013 | 2,191 | A6 | Diesel | Euro 6 | 175 | | | |
| | | | | emissions g/km | | | | | | fuel L/100km | |
| | cycle | engine | note | CO | HC | NOx | CO2 | PM | FC calc | FC mass | |
| +23 C | EURO | cold | type approval | 0,212 | 0 | 0,045 | 127 | 0,030 | 4,8 | | |
| 13491ED | EURO | cold | | 0,320 | 0,047 | 0,123 | 200,4 | 0,0004 | 7,74 | 8,04 | |
| 13497ED | EURO | warm | | 0,433 | 0,056 | 0,200 | 147,9 | 0,0004 | 5,73 | 5,73 | |
| 13481HD | Helsinki congested city cycle | cold | | 0,169 | 0,029 | 0,367 | 216,3 | 0,0012 | 8,34 | 8,95 | |
| 13498HD | Helsinki congested city cycle | cold | | 0,441 | 0,049 | 0,308 | 211,5 | 0,0006 | 8,17 | 8,99 | |
| 13482HD | Helsinki congested city cycle | warm | | 0,055 | 0,026 | 0,401 | 187,8 | 0,0003 | 7,24 | 7,45 | |
| 13499HD | Helsinki congested city cycle | warm | Problems with continuous AMA recording | 0,192 | 0,038 | 0,382 | 186,8 | 0,0005 | 7,21 | 7,10 | |
| 13483HD | Helsinki congested city cycle | warm | A/C on (+20 °C) | 0,024 | 0,025 | 0,490 | 199,8 | 0,0003 | 7,70 | 7,86 | |
| 13500HD | Helsinki congested city cycle | warm | A/C on (+20 °C) | 0,106 | 0,036 | 0,491 | 207,5 | 0,0006 | 8,00 | 8,05 | |
| 13495AD | Artemis Urban cold | cold | | 0,704 | 0,064 | 0,470 | 266,5 | 0,0007 | 10,31 | 10,45 | |
| 13496AD | Artemis Urban | warm | | 0,215 | 0,046 | 0,499 | 237,2 | 0,0005 | 9,15 | 9,51 | |
| -7 C | | | | | | | | | | | |
| 13484ED | EURO | cold | | 0,726 | 0,044 | 0,405 | 220,1 | 0,0003 | 8,52 | 8,68 | |
| 13485ED | EURO | warm | | 0,265 | 0,041 | 0,211 | 168,9 | 0,0001 | 6,52 | 6,61 | |
| 13507HD | Helsinki congested city cycle | cold | | 0,815 | 0,067 | 0,606 | 285,0 | 0,0005 | 11,03 | | |
| 13508HD | Helsinki congested city cycle | warm | | 0,587 | 0,056 | 0,418 | 204,7 | 0,0003 | 7,92 | | |
| 13509HD | Helsinki congested city cycle | warm | | 0,859 | 0,074 | 0,448 | 200,3 | 0,0004 | 7,77 | | |
| 13510AD | Artemis Urban cold | cold | | 0,967 | 0,075 | 1,294 | 372,9 | 0,0011 | 14,43 | | |
| 13511AD | Artemis Urban cold | warm | | 0,439 | 0,053 | 0,616 | 263,8 | 0,0005 | 10,19 | | |

Tabell: Utslippsdata for en Euro 6 Mazda med en 2,19 l dieselmotor testet i VTTs avgasslaboratorium 2013

| | Make | Model | Model year | | | | | | | | | | | | |
|---------|--------------|--------|-----------------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|-------|-----------|----------|-------|---------|-------|
| | Mazda | 6 | 2013 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | FTIR | FTIR | FTIR | FTIR | ratio | sum | FTIR | ratio | AMA/FTIR | FTIR | FTIR | FTIR |
| | cycle | engine | note | CO2 | CO | NO | NO2 | NO2/NOx | NO+NO2 | NOx | O+NO2/NOx | NOx/NOx | N2O | acid C2 | NH3 |
| +23 C | | | | g/km | g/km | g/km | g/km | % | g/km | g/km | % | % | g/km | g/km | g/km |
| 13491ED | EURO | cold | | 197,1 | 0,318 | 0,053 | 0,006 | 7 % | 0,059 | 0,087 | 68 % | 140 % | 0,008 | 0,027 | 0,001 |
| 13497ED | EURO | warm | | 148,6 | 0,450 | 0,097 | 0,010 | 6 % | 0,108 | 0,159 | 67 % | 125 % | 0,008 | 0,065 | 0,001 |
| 13481HD | Helsinki cor | cold | | 213,4 | 0,132 | 0,148 | 0,046 | 17 % | 0,195 | 0,274 | 71 % | 134 % | 0,010 | 0,014 | 0,002 |
| 13498HD | Helsinki cor | cold | | 209,0 | 0,402 | 0,149 | 0,019 | 8 % | 0,168 | 0,247 | 68 % | 125 % | 0,011 | 0,024 | 0,002 |
| 13482HD | Helsinki cor | warm | | 190,2 | 0,036 | 0,174 | 0,056 | 17 % | 0,229 | 0,322 | 71 % | 124 % | 0,011 | 0,037 | 0,002 |
| 13499HD | Helsinki cor | warm | Problems | 0,0 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | #DIV/0! | 0,000 | 0,000 | #DIV/0! | #DIV/0! | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 13483HD | Helsinki cor | warm | A/C on (+20 °C) | 198,0 | 0,011 | 0,213 | 0,057 | 15 % | 0,270 | 0,384 | 70 % | 128 % | 0,012 | 0,069 | 0,003 |
| 13500HD | Helsinki cor | warm | A/C on (+20 °C) | 204,5 | 0,084 | 0,243 | 0,037 | 9 % | 0,280 | 0,410 | 68 % | 120 % | 0,014 | 0,097 | 0,002 |
| 13495AD | Artemis Urb | cold | | 264,6 | 0,692 | 0,217 | 0,017 | 5 % | 0,234 | 0,350 | 67 % | 134 % | 0,013 | 0,035 | 0,003 |
| 13496AD | Artemis Urb | warm | | 240,1 | 0,195 | 0,241 | 0,036 | 9 % | 0,276 | 0,405 | 68 % | 123 % | 0,017 | 0,077 | 0,003 |
| -7 C | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13484ED | EURO | cold | | 218,3 | 0,738 | 0,213 | 0,017 | 5 % | 0,230 | 0,344 | 67 % | 118 % | 0,008 | 0,031 | 0,001 |
| 13485ED | EURO | warm | | 171,8 | 0,266 | 0,098 | 0,013 | 8 % | 0,111 | 0,164 | 68 % | 129 % | 0,007 | 0,019 | 0,001 |
| 13507HD | Helsinki cor | cold | | 279,9 | 0,855 | 0,292 | 0,017 | 4 % | 0,309 | 0,465 | 66 % | 130 % | 0,013 | 0,061 | 0,002 |
| 13508HD | Helsinki cor | warm | | 203,5 | 0,618 | 0,206 | 0,013 | 4 % | 0,219 | 0,328 | 67 % | 127 % | 0,010 | 0,056 | 0,002 |
| 13509HD | Helsinki cor | warm | | 203,0 | 0,899 | 0,208 | 0,011 | 3 % | 0,220 | 0,331 | 66 % | 135 % | 0,012 | 0,065 | 0,002 |
| 13510AD | Artemis Urb | cold | | 366,4 | 1,072 | 0,687 | 0,041 | 4 % | 0,728 | 1,094 | 67 % | 118 % | 0,016 | 0,068 | 0,003 |
| 13511AD | Artemis Urb | warm | | 265,0 | 0,436 | 0,309 | 0,026 | 5 % | 0,335 | 0,500 | 67 % | 123 % | 0,013 | 0,053 | 0,002 |

Tabell: Utslippsdata for en Euro 6 VW Golf med en 1,97 l dieselmotor testet i VTTs avgasslaboratorium 2013

| | Make | Model | Model Year | Engine displacement | Transmission | Fuel | Emission class | Engine power (hp) | | |
|---------|-------------------------------|----------|-----------------|---------------------|--------------|--------|----------------|-------------------|--------------|---------|
| | Volkswage | Golf GTD | 2013 | 1,968 | DSG | Diesel | Euro 6 | 220 | | |
| | | | | emissions g/km | | | | | fuel L/100km | |
| | cycle | engine | note | CO | HC | NOx | CO2 | PM | FC calc | FC mass |
| +23 C | EURO | cold | type approval | 0,166 | 0 | 0,074 | 122 | 0,040 | 4,7 | |
| 13517ED | EURO | cold | | 0,030 | 0,019 | 0,140 | 165,9 | 0,0002 | 6,39 | |
| 13518ED | EURO | warm | | 0,018 | 0,014 | 0,148 | 157,5 | 0,0001 | 6,07 | |
| 13501HD | Helsinki congested city cycle | cold | | 0,041 | 0,020 | 0,390 | 213,4 | 0,0002 | 8,22 | |
| 13520HD | Helsinki congested city cycle | cold | | 0,021 | 0,017 | 0,239 | 205,9 | 0,0001 | 7,93 | |
| 13502HD | Helsinki congested city cycle | warm | | 0,015 | 0,009 | 0,261 | 193,7 | 0,0003 | 7,46 | |
| 13521HD | Helsinki congested city cycle | warm | | 0,013 | 0,012 | 0,320 | 195,4 | 0,0001 | 7,53 | |
| 13503HD | Helsinki congested city cycle | warm | A/C on (+20 °C) | 0,014 | 0,007 | 0,382 | 213,4 | 0,0003 | 8,22 | |
| 13522HD | Helsinki congested city cycle | warm | A/C on (+20 °C) | 0,015 | 0,013 | 0,370 | 214,0 | 0,0002 | 8,24 | |
| 13493AD | Artemis Urban cold | cold | | 0,014 | 0,010 | 0,300 | 256,7 | 0,0005 | 9,89 | |
| 13494AD | Artemis Urban cold | warm | | 0,009 | 0,007 | 0,369 | 234,9 | 0,0003 | 9,04 | |
| -7 C | | | | | | | | | | |
| 13530ED | EURO | cold | | 0,081 | 0,018 | 0,465 | 197,3 | 0,0002 | 7,60 | |
| 13531ED | EURO | warm | | 0,028 | 0,012 | 0,229 | 165,0 | 0,0002 | 6,36 | |
| 13528HD | Helsinki congested city cycle | cold | | 0,138 | 0,026 | 0,771 | 246,3 | 0,0000 | 9,50 | |
| 13504HD | Helsinki congested city cycle | cold | | 0,132 | 0,023 | 0,730 | 242,5 | 0,0004 | 9,35 | |
| 13529HD | Helsinki congested city cycle | warm | | 0,032 | 0,022 | 0,836 | 249,7 | 0,0000 | 9,62 | |
| 13505HD | Helsinki congested city cycle | warm | | 0,030 | 0,009 | 0,404 | 205,8 | 0,0002 | 7,93 | |
| 13512AD | Artemis Urban cold | cold | | 0,178 | 0,031 | 1,229 | 310,2 | 0,0012 | 11,96 | |
| 13513AD | Artemis Urban cold | warm | | 0,013 | 0,010 | 0,527 | 250,0 | 0,0003 | 9,63 | |

Tabell: Utslippsdata for en Euro 6 VW Golf med en 1,97 l dieselmotor testet i VTTs avgasslaboratorium 2013

| | Make | Model | Model Year | | | | | | | | | | | | |
|---------|-------------|----------|-----------------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|-------|-----------|----------|-------|------------|-------|
| | Volkswage | Golf GTD | 2013 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | FTIR | FTIR | FTIR | FTIR | ratio | sum | FTIR | ratio | AMA/FTIR | FTIR | FTIR | FTIR |
| | cycle | engine | note | CO2 | CO | NO | NO2 | NO2/NOx | NO+NO2 | NOx | O+NO2/NOx | NOx/NOx | N2O | c acid C2I | NH3 |
| +23 C | EURO | cold | type approval | g/km | g/km | g/km | g/km | % | g/km | g/km | % | % | g/km | g/km | g/km |
| 13517ED | EURO | cold | | 163,1 | 0,013 | 0,079 | 0,011 | 8 % | 0,090 | 0,133 | 68 % | 106 % | 0,012 | 0,003 | 0,002 |
| 13518ED | EURO | warm | | 152,8 | 0,012 | 0,075 | 0,011 | 9 % | 0,086 | 0,126 | 68 % | 118 % | 0,011 | 0,003 | 0,002 |
| 13501HD | Helsinki cd | cold | | 206,3 | 0,028 | 0,184 | 0,035 | 11 % | 0,219 | 0,317 | 69 % | 123 % | 0,032 | 0,012 | 0,002 |
| 13520HD | Helsinki cd | cold | | 206,5 | 0,008 | 0,123 | 0,014 | 7 % | 0,137 | 0,202 | 68 % | 118 % | 0,020 | 0,009 | 0,002 |
| 13502HD | Helsinki cd | warm | | 188,9 | 0,004 | 0,128 | 0,027 | 12 % | 0,155 | 0,223 | 69 % | 117 % | 0,017 | 0,009 | 0,002 |
| 13521HD | Helsinki cd | warm | | 200,3 | 0,003 | 0,161 | 0,029 | 10 % | 0,190 | 0,275 | 69 % | 116 % | 0,020 | 0,007 | 0,002 |
| 13503HD | Helsinki cd | warm | A/C on (+20 °C) | 209,6 | 0,001 | 0,163 | 0,050 | 17 % | 0,213 | 0,300 | 71 % | 127 % | 0,017 | 0,007 | 0,002 |
| 13522HD | Helsinki cd | warm | A/C on (+20 °C) | 216,1 | 0,002 | 0,178 | 0,041 | 13 % | 0,219 | 0,314 | 70 % | 118 % | 0,021 | 0,008 | 0,002 |
| 13493AD | Artemis Ur | cold | | 249,0 | 0,007 | 0,131 | 0,017 | 8 % | 0,148 | 0,218 | 68 % | 138 % | 0,009 | 0,010 | 0,003 |
| 13494AD | Artemis Ur | warm | | 234,0 | 0,000 | 0,190 | 0,041 | 12 % | 0,230 | 0,332 | 70 % | 111 % | 0,009 | 0,007 | 0,002 |
| -7 C | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13530ED | EURO | cold | | 194,7 | 0,084 | 0,234 | 0,040 | 10 % | 0,273 | 0,398 | 69 % | 117 % | 0,015 | 0,007 | 0,002 |
| 13531ED | EURO | warm | | 165,9 | 0,023 | 0,103 | 0,025 | 14 % | 0,128 | 0,182 | 70 % | 125 % | 0,012 | 0,005 | 0,002 |
| 13528HD | Helsinki cd | cold | | 239,1 | 0,117 | 0,405 | 0,032 | 5 % | 0,436 | 0,652 | 67 % | 118 % | 0,024 | 0,009 | 0,005 |
| 13504HD | Helsinki cd | cold | | 238,5 | 0,115 | 0,366 | 0,039 | 6 % | 0,404 | 0,599 | 67 % | 122 % | 0,028 | 0,007 | 0,002 |
| 13529HD | Helsinki cd | warm | | 253,9 | 0,023 | 0,380 | 0,105 | 15 % | 0,485 | 0,687 | 71 % | 122 % | 0,023 | 0,007 | 0,004 |
| 13505HD | Helsinki cd | warm | | 201,8 | 0,021 | 0,180 | 0,031 | 10 % | 0,211 | 0,307 | 69 % | 132 % | 0,024 | 0,005 | 0,003 |
| 13512AD | Artemis Ur | cold | | 297,1 | 0,157 | 0,634 | 0,062 | 6 % | 0,696 | 1,034 | 67 % | 119 % | 0,015 | 0,008 | 0,003 |
| 13513AD | Artemis Ur | warm | | 239,3 | 0,001 | 0,231 | 0,053 | 13 % | 0,283 | 0,406 | 70 % | 130 % | 0,008 | 0,005 | 0,001 |

Tabell: Utslippsdata for en Euro 6 Mercedes-Benz med en 2,14 l dieselmotor testet i VTTs avgasslaboratorium 2013

| | Make | Model | Model year | Engine displacement | Transmission | Fuel | Emission class | Engine power (hp) | | |
|---------|-------------------------------|--------|--|---------------------|--------------|--------|----------------|-------------------|--------------|---------|
| | Mercedes-Benz | CLA | 2013 | 2,143 | DSG7 | Diesel | Euro 6 | 170 | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | emissions g/km | | | | | fuel L/100km | |
| | cycle | engine | note | CO | HC | NOx | CO2 | PM | FC calc | FC mass |
| +23 C | EURO | cold | type approval | 0,158 | 0 | 0,065 | 117 | 0,001 | 4,2 | |
| 13476ED | EURO | cold | | 0,172 | 0,030 | 0,100 | 160,2 | 0,0003 | 6,18 | |
| 13477ED | EURO | warm | | 0,008 | 0,012 | 0,194 | 144,3 | 0,0003 | 5,56 | |
| 13478HD | Helsinki congested city cycle | cold | | 0,127 | 0,028 | 0,257 | 185,0 | 0,0008 | 7,13 | |
| 13479HD | Helsinki congested city cycle | warm | | 0,012 | 0,018 | 0,408 | 168,0 | 0,0004 | 6,47 | |
| 13480HD | Helsinki congested city cycle | warm | A/C on (+20 °C) | 0,014 | 0,031 | 0,655 | 194,0 | 0,0003 | 7,47 | |
| | | | | | | | | | | |
| -7 C | | | | | | | | | | |
| 13486ED | EURO | cold | DPF regenerated | 0,219 | 0,049 | 0,648 | 262,5 | 0,0049 | 10,12 | |
| 13487ED | EURO | warm | DPF regenerated | 0,012 | 0,094 | 0,717 | 283,9 | 0,0046 | 10,94 | |
| 13488HD | Helsinki congested city cycle | cold | Malfunction in particle measurement system | 0,331 | 0,038 | 0,614 | 275,4 | #VERDI! | 10,63 | |
| 13489HD | Helsinki congested city cycle | warm | Malfunction in particle measurement system | 0,009 | 0,020 | 0,489 | 207,0 | #VERDI! | 7,97 | |

Tabell: Utslippsdata for en Euro 6 Mercedes-Benz med en 2,14 l dieselmotor testet i VTTs avgasslaboratorium 2013

| | Make | Model | Model year | | | | | | | | | | | | |
|---------|-------------|--------|------------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|-------|-----------|----------|-------|-----------|-------|
| | Mercedes-Be | CLA | 2013 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | FTIR | FTIR | FTIR | FTIR | ratio | sum | FTIR | ratio | AMA/FTIR | FTIR | FTIR | FTIR |
| | cycle | engine | note | CO2 | CO | NO | NO2 | NO2/NOx | NO+NO2 | NOx | O+NO2/NOx | NOx/NOx | N2O | c acid C2 | NH3 |
| +23 C | EURO | cold | type appro | g/km | g/km | g/km | g/km | % | g/km | g/km | % | % | g/km | g/km | g/km |
| 13476ED | EURO | cold | | 158,3 | 0,169 | 0,042 | 0,014 | 18 % | 0,056 | 0,079 | 72 % | 127 % | 0,005 | 0,013 | 0,002 |
| 13477ED | EURO | warm | | 144,7 | 0,000 | 0,082 | 0,037 | 23 % | 0,119 | 0,163 | 73 % | 119 % | 0,004 | 0,008 | 0,001 |
| 13478HD | Helsinki cd | cold | | 180,4 | 0,069 | 0,106 | 0,026 | 14 % | 0,132 | 0,188 | 70 % | 137 % | 0,007 | 0,011 | 0,002 |
| 13479HD | Helsinki cd | warm | | 167,7 | 0,006 | 0,167 | 0,050 | 16 % | 0,217 | 0,306 | 71 % | 134 % | 0,006 | 0,019 | 0,002 |
| 13480HD | Helsinki cd | warm | A/C on (+2 | 197,2 | 0,004 | 0,298 | 0,065 | 13 % | 0,363 | 0,522 | 70 % | 125 % | 0,009 | 0,054 | 0,002 |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| -7 C | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13486ED | EURO | cold | DPF regen | 258,0 | 0,214 | 0,339 | 0,027 | 5 % | 0,366 | 0,546 | 67 % | 119 % | 0,006 | 0,011 | 0,002 |
| 13487ED | EURO | warm | DPF regen | 0,0 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | #DIV/0! | 0,000 | 0,000 | #DIV/0! | #DIV/0! | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 13488HD | Helsinki cd | cold | Malfuntion | 274,4 | 0,333 | 0,247 | 0,125 | 25 % | 0,372 | 0,503 | 74 % | 122 % | 0,008 | 0,010 | 0,002 |
| 13489HD | Helsinki cd | warm | Malfuntion | 209,2 | 0,003 | 0,185 | 0,104 | 27 % | 0,289 | 0,388 | 75 % | 126 % | 0,007 | 0,008 | 0,002 |

Tabell: Utslippsdata for en Euro 5 b Nissan Micra med en 1,20 l bensinmotor (DI) testet i VTTs angasslaboratorium 2013

| | Make | Model | Model year | Engine displacement | Transmission | Fuel | Emission class | Engine power (hp) | | |
|---------|-------------------------------|--------|-----------------|---------------------|--------------|----------|----------------|-------------------|--------------|---------|
| | Nissan | Micra | 2013 | 1,198 | M5 | Gasoline | Euro 5b | 98 | | |
| | | | | emissions g/km | | | | | fuel L/100km | |
| | cycle | engine | note | CO | HC | NOx | CO2 | PM | FC calc | FC mass |
| +23 C | EURO | cold | type approval | 0,381 | 0,0405 | 0,010 | 99 | 0,0007 | 4,3 | |
| 13514EB | EURO | cold | | -0,006 | 0,037 | 0,018 | 132,1 | 0,0019 | 5,56 | 5,58 |
| 13515EB | EURO | warm | | 1,309 | 0,019 | 0,008 | 126,2 | 0,0015 | 5,40 | 5,41 |
| 13523HB | Helsinki congested city cycle | cold | | 0,803 | 0,078 | 0,033 | 166,5 | 0,0058 | 7,07 | 7,35 |
| 13524HB | Helsinki congested city cycle | warm | | 0,232 | 0,009 | 0,014 | 156,2 | 0,0008 | 6,59 | 6,57 |
| 13525HB | Helsinki congested city cycle | warm | A/C on (+20 °C) | 0,349 | 0,010 | 0,003 | 169,2 | 0,0010 | 7,15 | 7,13 |
| | | | | | | | | | | |
| -7 C | | | | | | | | | | |
| 13532EB | EURO | cold | | 0,837 | 0,188 | 0,041 | 148,8 | 0,0121 | 6,34 | 6,54 |
| 13533EB | EURO | warm | | 1,007 | 0,021 | 0,024 | 137,1 | 0,0015 | 5,84 | 5,95 |
| 13526HB | Helsinki congested city cycle | cold | | 2,666 | 0,482 | 0,046 | 192,7 | 0,0422 | 8,35 | 8,04 |
| 13527HB | Helsinki congested city cycle | warm | | 0,846 | 0,031 | 0,010 | 171,5 | 0,0041 | 7,28 | 6,59 |

Tabell: Utslippsdata for en Euro 5 b Nissan Micra med en 1,20 l bensinmotor (DI) testet i VTTs avgasslaboratorium 2013

| | Make | Model | Model year | | | | | | | | | | | | | |
|---------|-------------|--------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|---------------|-------------|------------------|----------------|-------------|-------------------|-------------|--|
| | Nissan | Micra | 2013 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | FTIR | FTIR | FTIR | FTIR | ratio | sum | FTIR | ratio | AMA/FTIR | FTIR | FTIR | FTIR | |
| | cycle | engine | note | CO2 | CO | NO | NO2 | NO2/NOx | NO+NO2 | NOx | O+NO2/NOx | NOx/NOx | N2O | c acid C2I | NH3 | |
| +23 C | EURO | cold | type approval | g/km | g/km | g/km | g/km | % | g/km | g/km | % | % | g/km | g/km | g/km | |
| 13514EB | EURO | cold | | 129,9 | 0,501 | 0,013 | 0,000 | 1 % | 0,013 | 0,019 | 65 % | 94 % | 0,000 | 0,001 | 0,011 | |
| 13515EB | EURO | warm | | 125,9 | 1,143 | 0,008 | 0,000 | 1 % | 0,008 | 0,012 | 66 % | 62 % | 0,000 | 0,000 | 0,011 | |
| 13523HB | Helsinki cd | cold | | 164,4 | 0,731 | 0,019 | 0,000 | 2 % | 0,019 | 0,029 | 66 % | 112 % | 0,001 | 0,002 | 0,021 | |
| 13524HB | Helsinki cd | warm | | 154,5 | 0,209 | 0,013 | 0,000 | 1 % | 0,013 | 0,020 | 66 % | 68 % | 0,000 | 0,000 | 0,010 | |
| 13525HB | Helsinki cd | warm | A/C on (+20 °C) | 165,5 | 0,317 | 0,013 | 0,000 | 1 % | 0,013 | 0,020 | 66 % | 15 % | 0,000 | 0,000 | 0,013 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -7 C | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13532EB | EURO | cold | | 144,2 | 1,069 | 0,024 | 0,001 | 2 % | 0,024 | 0,037 | 66 % | 112 % | 0,000 | 0,005 | 0,022 | |
| 13533EB | EURO | warm | | 133,9 | 0,919 | 0,013 | 0,000 | 1 % | 0,013 | 0,020 | 66 % | 119 % | 0,000 | 0,000 | 0,012 | |
| 13526HB | Helsinki cd | cold | | 190,8 | 2,655 | 0,023 | 0,002 | 4 % | 0,024 | 0,036 | 67 % | 127 % | 0,000 | 0,016 | 0,047 | |
| 13527HB | Helsinki cd | warm | | 172,8 | 0,715 | 0,007 | 0,001 | 9 % | 0,008 | 0,012 | 68 % | 82 % | 0,000 | 0,000 | 0,029 | |

Tabell: Utslippsdata for en MAN truck med en 10,52 l Euro VI dieselmotor testet i VTTs avgasslaboratorium 2013

| | Make | Model | Model year | Engine displacement | load | Euro class | | | | | |
|--------|-----------------|----------------|--------------|---------------------|--------------|----------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--|
| | MAN | TGX 18.440 | 2013 | 10,518 | 28.5t | VI | | | | | |
| | | emissions g/km | | | | | | | fuel kg/100km | | |
| | cycle | CO | HC | CH4 | NOx | CO2 | PM | NMHC | FC calc | FC mass | |
| 13R261 | TR rural road-1 | 0,061 | 0,001 | 0,000 | 0,201 | 726,483 | 0,015 | 0,001 | 22,938 | 23,619 | |
| 13R262 | TR rural road-2 | 0,059 | 0,001 | 0,000 | 0,238 | 720,962 | 0,011 | 0,002 | 22,763 | 23,441 | |
| | TR rural road | 0,060 | 0,001 | 0,000 | 0,219 | 723,722 | 0,013 | 0,002 | 22,850 | 23,530 | |
| 13R263 | TR motorway-1 | 0,057 | 0,000 | 0,000 | 0,205 | 673,405 | 0,010 | 0,001 | 21,262 | 21,843 | |
| 13R264 | TR motorway-2 | 0,058 | 0,002 | 0,000 | 0,174 | 674,526 | 0,007 | 0,003 | 21,297 | 21,790 | |
| | TR motorway | 0,058 | 0,001 | 0,000 | 0,190 | 673,966 | 0,009 | 0,002 | 21,280 | 21,816 | |

Tabell: Utslippsdata for en Mercedes-Benz truck med en 12,81 l Euro VI dieselmotor testet i VTTs avgasslaboratorium 2013

| | Make | Model | Model year | Engine displacement | load/inertia | Euro class | | | | | | | | |
|--------|-----------------|----------------|---------------|---------------------|---------------|----------------|--------------|--------------|---------------|---------------|-------------|-------------|----------------|-------|
| | MB | Actros 1848 | 2011 | 12,809 | 18t / 18075kg | VI | | | | | | | | |
| | | emissions g/km | | | | | | | fuel kg/100km | | | AMA | AMA | ratio |
| | cycle | CO | HC | CH4 | NOx | CO2 | PM | NMHC | FC calc | FC mass | NO | NO2 | NO2/NOx | |
| | | | | | | | | | | | g/km | g/km | % | |
| 13R191 | TR rural road-1 | 0,063 | 0,000 | 0,000 | 0,039 | 578,664 | 0,003 | 0,000 | 18,271 | 18,829 | 0,031 | 0,008 | 21,4 % | |
| 13R192 | TR rural road-2 | 0,078 | 0,001 | 0,000 | 0,027 | 580,065 | 0,001 | 0,001 | 18,316 | 18,796 | 0,024 | 0,003 | 12,4 % | |
| | TR rural road | 0,070 | 0,000 | 0,000 | 0,033 | 579,365 | 0,002 | 0,001 | 18,294 | 18,813 | 0,027 | 0,006 | 16,9 % | |
| 13R195 | TR delivery-1 | 0,109 | -0,002 | 0,000 | 0,275 | 821,161 | 0,015 | -0,002 | 25,929 | 26,822 | 0,047 | 0,228 | 83,0 % | |
| 13R196 | TR delivery-2 | 0,161 | 0,000 | 0,000 | 0,226 | 828,807 | 0,018 | 0,001 | 26,173 | 26,828 | 0,026 | 0,199 | 88,3 % | |
| | TR delivery-2 | 0,135 | -0,001 | 0,000 | 0,250 | 824,984 | 0,016 | 0,000 | 26,051 | 26,825 | 0,036 | 0,214 | 85,6 % | |
| 13R193 | TR motorway-1 | 0,081 | 0,001 | 0,000 | 0,013 | 556,519 | 0,002 | 0,001 | 17,573 | 18,072 | 0,012 | 0,002 | 14,1 % | |
| 13R194 | TR motorway-2 | 0,082 | 0,001 | 0,000 | 0,015 | 551,865 | 0,002 | 0,001 | 17,426 | 17,915 | 0,013 | 0,002 | 11,8 % | |
| | TR motorway | 0,082 | 0,001 | 0,000 | 0,014 | 554,192 | 0,002 | 0,001 | 17,500 | 17,993 | 0,012 | 0,002 | 12,9 % | |

Tabell: Utslippsdata for en Volvo truck med en 12,78 l Euro VI dieselmotor testet i VTTs avgasslaboratorium 2013

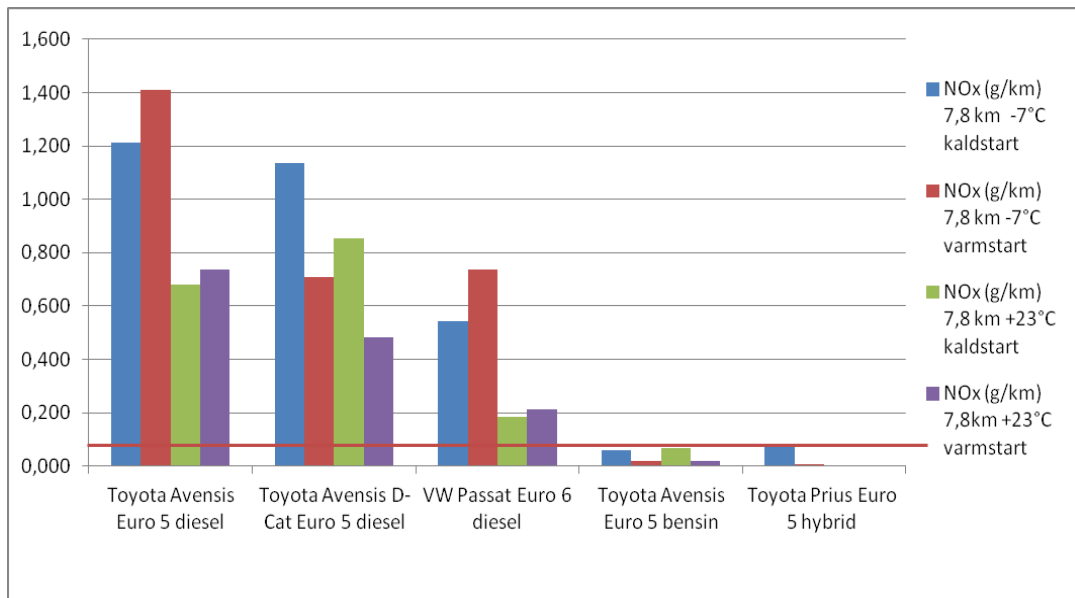
| | Make | Model | Model yea | Engine | | Euro class | | | | | | |
|--------|-----------------|--------------|---------------|--------------|---------------|-----------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--|--|
| | | | | displacement | load/inertia | | | | | | | |
| | Volvo | FM 500 | 2013 | 12,78 | 19t / 19300kg | VI | | | | | | |
| | emissions g/km | | | | | | fuel kg/100km | | | | | |
| cycle | CO | HC | CH4 | NOx | CO2 | PM | NMHC | FC calc | FC mass | | | |
| 13R390 | TR motorway-1 | 0,111 | -0,001 | 0,000 | 0,075 | 666,320 | 0,009 | 0,001 | 21,041 | 20,363 | | |
| 13R391 | TR motorway-2 | 0,117 | -0,001 | 0,000 | 0,081 | 664,102 | 0,006 | 0,001 | 20,971 | 20,150 | | |
| | TR motorway | 0,114 | -0,001 | 0,000 | 0,078 | 665,211 | 0,008 | 0,001 | 21,006 | 20,256 | | |
| 13R396 | TR rural road-1 | 0,148 | 0,000 | 0,000 | 0,141 | 683,970 | 0,004 | 0,002 | 21,600 | 20,915 | | |
| 13R397 | TR rural road-2 | 0,143 | -0,001 | 0,000 | 0,138 | 684,353 | 0,002 | 0,001 | 21,611 | 20,652 | | |
| | TR rural road | 0,145 | 0,000 | 0,000 | 0,140 | 684,162 | 0,003 | 0,001 | 21,606 | 20,783 | | |
| 13R392 | TR delivery-1 | 1,662 | 0,007 | 0,000 | 0,059 | 941,886 | 0,009 | 0,006 | 29,818 | 29,062 | | |
| 13R393 | TR delivery-2 | 2,067 | 0,004 | 0,000 | 0,053 | 946,649 | 0,006 | 0,003 | 29,988 | 29,185 | | |
| | TR delivery-2 | 1,864 | 0,005 | 0,000 | 0,056 | 944,268 | 0,007 | 0,005 | 29,903 | 29,123 | | |
| 13R394 | Braunschweig-1 | 1,995 | 0,004 | 0,000 | 0,064 | 1380,210 | 0,005 | 0,003 | 43,671 | 42,508 | | |
| 13R395 | Braunschweig-2 | 1,302 | 0,007 | 0,000 | 0,057 | 1373,487 | 0,007 | 0,006 | 43,425 | 42,157 | | |
| | Braunschweig | 1,649 | 0,006 | 0,000 | 0,060 | 1376,849 | 0,006 | 0,004 | 43,548 | 42,333 | | |

| | Volvo truck | Kjemisk analyse (AMA) | | | | | FTIR | | | | | | | AMA/FTIR |
|--------|-----------------|-----------------------|-------|---------|--------|-------|-------|-------|---------|--------|-------|-------|-------|----------|
| | | 12,8 l | AMA | AMA | ratio | sum | AMA | FTIR | FTIR | | | FTIR | FTIR | |
| | | NO | NO2 | NO2/NOx | NO+NO2 | NOx | NO | NO2 | NO2/NOx | NO+NO2 | NOx | N2O | NH3 | NOx/NOx |
| cycle | | g/km | g/km | % | g/km | g/km | g/km | g/km | % | g/km | g/km | g/km | g/km | % |
| 13R390 | TR motorway-1 | 0,069 | 0,006 | 7,9 % | 0,075 | 0,075 | | | | | | | | |
| 13R391 | TR motorway-2 | 0,074 | 0,007 | 9,0 % | 0,081 | 0,081 | | | | | | | | |
| | TR motorway | 0,071 | 0,007 | 8,4 % | 0,078 | 0,078 | | | | | | | | |
| 13R396 | TR rural road-1 | 0,134 | 0,007 | 4,8 % | 0,141 | 0,141 | 0,117 | 0,011 | 6 % | 0,128 | 0,191 | 0,775 | 0,020 | 74 % |
| 13R397 | TR rural road-2 | 0,130 | 0,009 | 6,2 % | 0,138 | 0,138 | 0,115 | 0,012 | 6 % | 0,126 | 0,187 | 0,727 | 0,019 | 74 % |
| | TR rural road | 0,132 | 0,008 | 5,5 % | 0,140 | 0,140 | 0,116 | 0,011 | 6 % | 0,127 | 0,189 | 0,751 | 0,020 | 74 % |
| 13R392 | TR delivery-1 | 0,056 | 0,003 | 5,0 % | 0,059 | 0,059 | 0,041 | 0,013 | 17 % | 0,054 | 0,076 | 0,658 | 0,019 | 78 % |
| 13R393 | TR delivery-2 | 0,046 | 0,007 | 12,4 % | 0,053 | 0,053 | 0,031 | 0,011 | 18 % | 0,042 | 0,059 | 0,627 | 0,014 | 89 % |
| | TR delivery-2 | 0,051 | 0,005 | 8,7 % | 0,056 | 0,056 | 0,036 | 0,012 | 17 % | 0,048 | 0,067 | 0,642 | 0,016 | 83 % |
| 13R394 | Braunschweig-1 | 0,056 | 0,008 | 12,8 % | 0,064 | 0,064 | 0,043 | 0,018 | 21 % | 0,061 | 0,084 | 0,875 | 0,019 | 76 % |
| 13R395 | Braunschweig-2 | 0,045 | 0,012 | 20,4 % | 0,057 | 0,057 | 0,045 | 0,021 | 24 % | 0,066 | 0,090 | 0,725 | 0,015 | 63 % |
| | Braunschweig | 0,050 | 0,010 | 16,6 % | 0,060 | 0,060 | 0,044 | 0,020 | 22 % | 0,064 | 0,087 | 0,800 | 0,017 | 69 % |

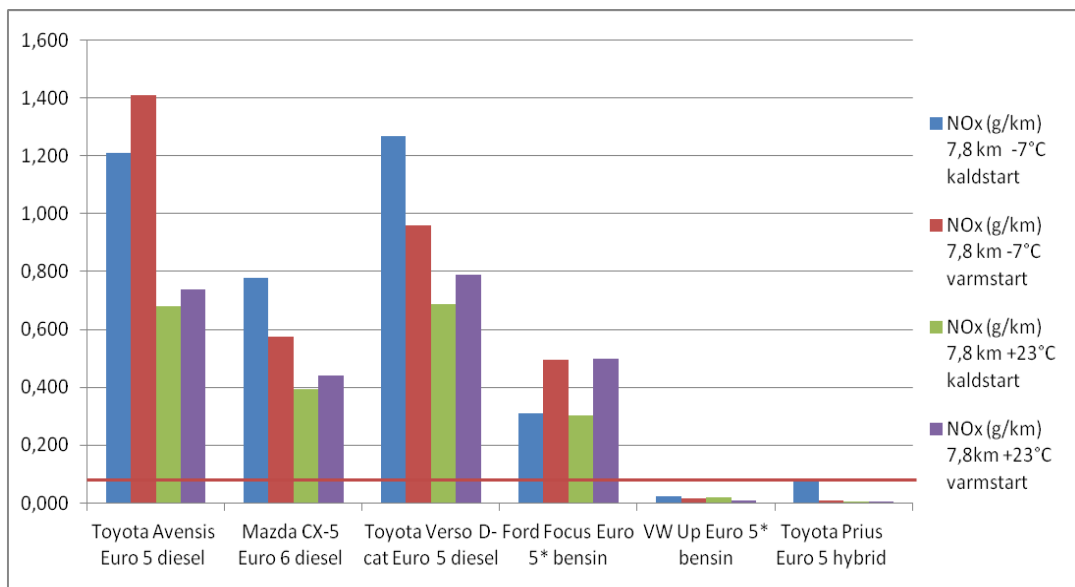
Tabell: Utslippsdata for en Volvo hybridbuss med en 4,76 l Euro V dieselmotor testet i VTTs avgasslaboratorium 2013

| | Make | Model | Model year | Engine displacement | load/inertia | Euro class | | | | | | | | | | |
|--------|----------------|--------------|--------------|---------------------|---------------|----------------|--------------|--------------|---------------|---------------|-------|-------|---------|--------|-------|-----|
| | Volvo | 7700H Hybrid | 2011 | 4,76 | 15t / 15145kg | EEV | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | AMA | AMA | ratio | sum | AMA |
| | | | | emissions g/km | | | | | fuel kg/100km | | NO | NO2 | NO2/NOx | NO+NO2 | NOx | |
| | cycle | CO | HC | CH4 | NOx | CO2 | PM | NMHC | FC calc | FC mass | g/km | g/km | % | g/km | g/km | |
| 13R382 | Braunschweig 1 | 0,529 | 0,022 | 0,000 | 2,917 | 902,453 | 0,076 | 0,024 | 28,518 | 27,673 | 2,642 | 0,275 | 9,4 % | 2,917 | 2,917 | |
| 13R383 | Braunschweig 2 | 0,555 | 0,025 | 0,000 | 2,737 | 883,037 | 0,075 | 0,028 | 27,907 | 27,158 | 2,440 | 0,297 | 10,9 % | 2,737 | 2,737 | |
| | Braunschweig | 0,542 | 0,023 | 0,000 | 2,827 | 892,745 | 0,075 | 0,026 | 28,212 | 27,415 | 2,540 | 0,287 | 10,1 % | 2,827 | 2,827 | |
| 13R384 | SORT 1-1 | | | | | | | | | 23,995 | | | | | | |
| 13R385 | SORT 1-2 | | | | | | | | | 21,424 | | | | | | |
| | SORT | | | | | | | | | 22,710 | | | | | | |
| 13R386 | SORT 2-1 | | | | | | | | | 23,131 | | | | | | |
| 13R387 | SORT 2-2 | | | | | | | | | 20,795 | | | | | | |
| | SORT | | | | | | | | | 21,963 | | | | | | |
| 13R388 | SORT 3-1 | | | | | | | | | 20,880 | | | | | | |
| 13R389 | SORT 3-2 | | | | | | | | | 21,194 | | | | | | |
| | SORT | | | | | | | | | 21,037 | | | | | | |

Vedlegg 2: Måledata - Vegdirektoratets måleprogram fase 1

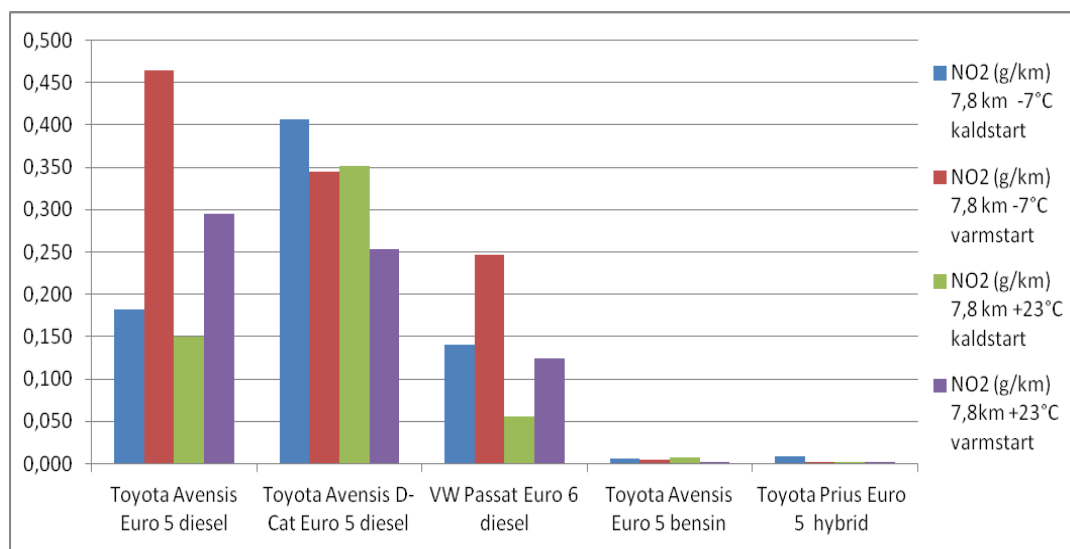


Figur: Utslipp av NO_x fra avgasstester med fem personbiler og Helsinki bykjøresyklus under forskjellige betingelser for motortemperatur ved start og med forskjeller i omgivelsestemperatur.

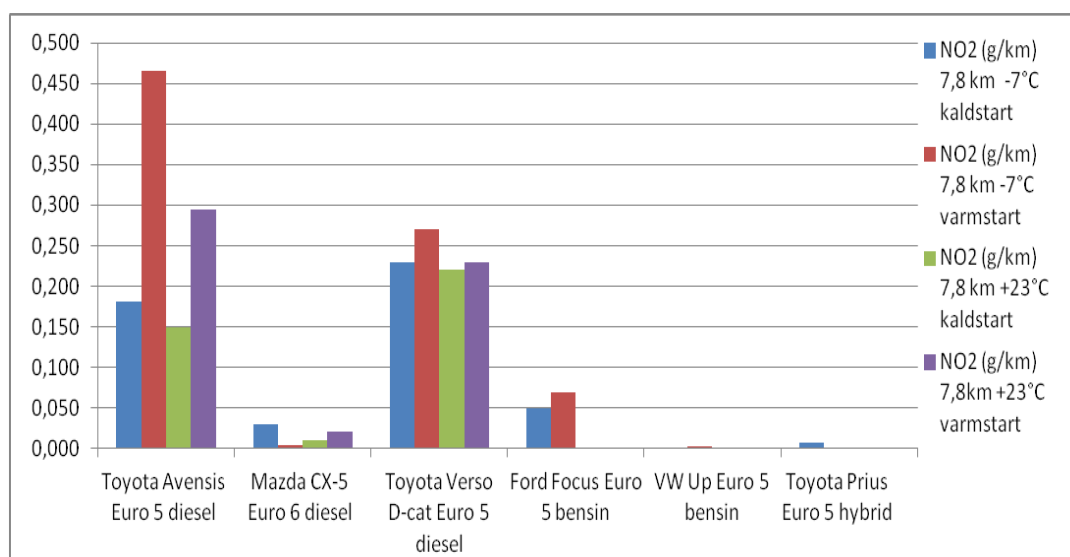


*Klarerer utslippskravene for typegodkjenning Euro 6

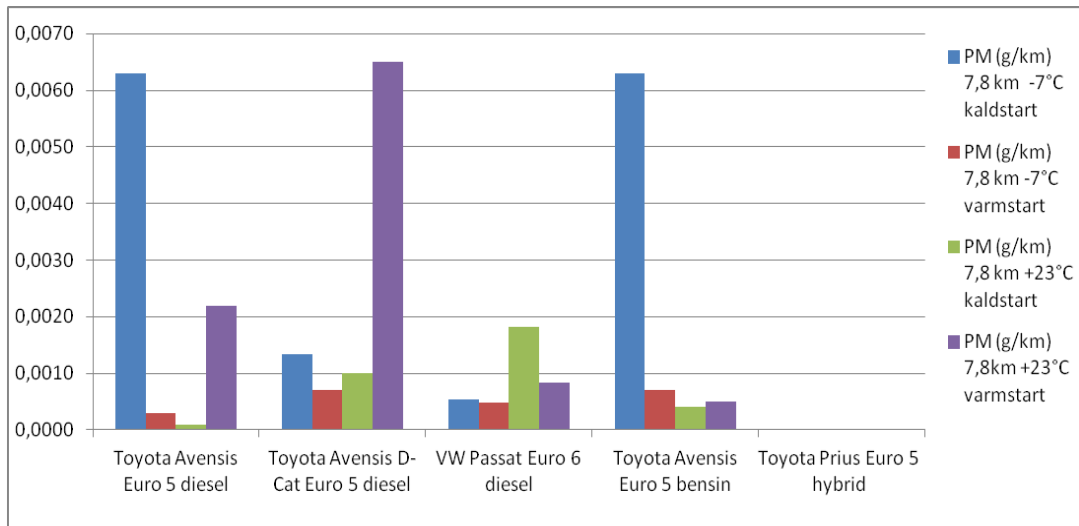
Figur: Utslipp av NO_x fra avgasstester med seks personbiler og Helsinki bykjøresyklus under forskjellige betingelser for motortemperatur ved start og med forskjeller i omgivelsestemperatur.



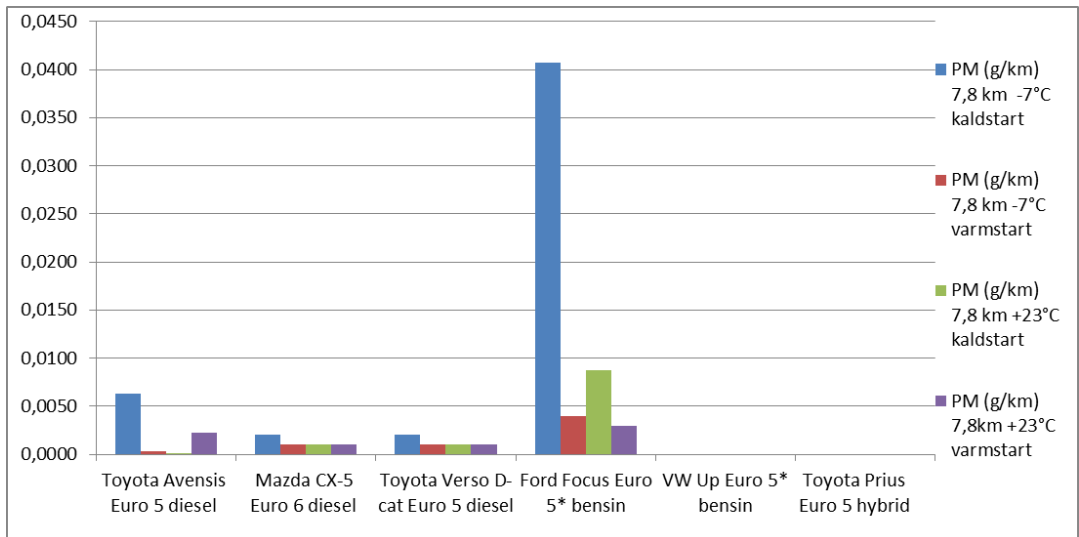
Figur: Utslipp av NO₂ fra avgasstester med fem personbiler og Helsinki bykjøresyklus under forskjellige betingelser for motortemperatur ved start og med forskjeller i omgivelsestemperatur.



Figur : Utslipp av NO₂ fra avgasstester med seks personbiler og Helsinki bykjøresyklus under forskjellige betingelser for motortemperatur ved start og med forskjeller i omgivelsestemperatur.

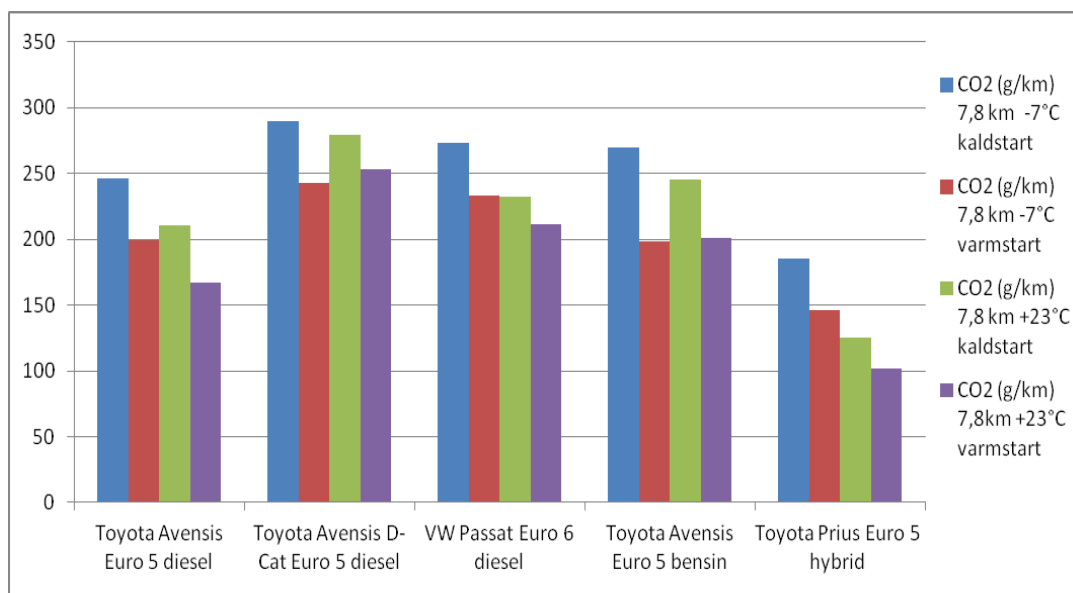


Figur: Utslipp av PM, avgasspartikler fra avgasstester med fem personbiler og Helsinki bykjøresyklus under forskjellige betingelser for motortemperatur ved start og med forskjeller i omgivelsestemperatur.

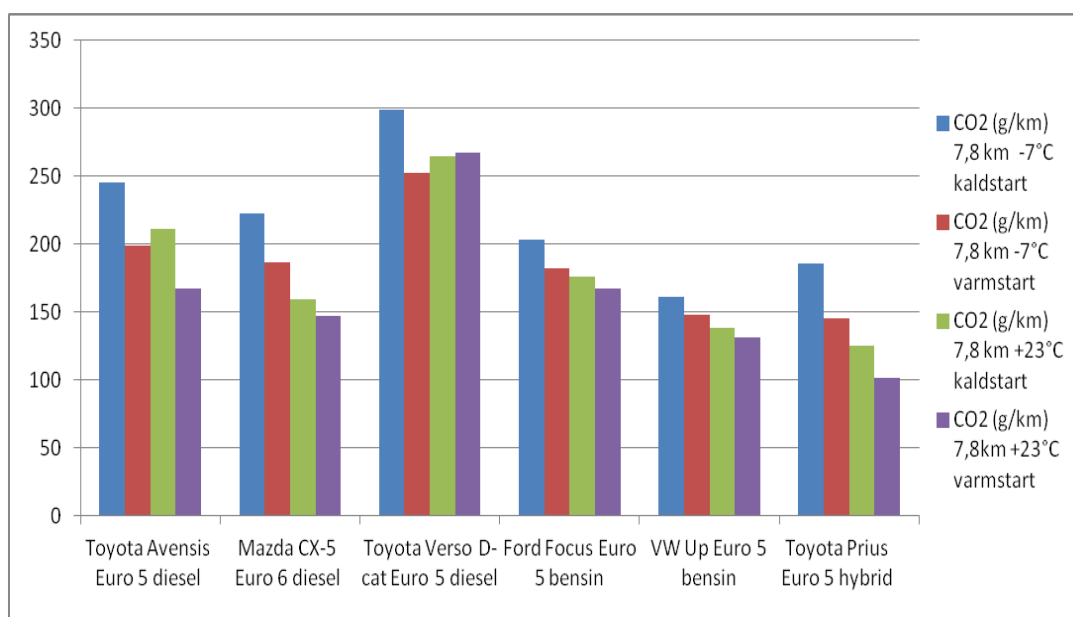


*Klarer utslippskravene for typegodkjenning Euro 6

Figur: Utslipp av PM, avgasspartikler fra avgasstester med seks personbiler og Helsinki bykjøresyklus under forskjellige betingelser for motortemperatur ved start og med forskjeller i omgivelsestemperatur.



Figur: Utslipp av CO₂ fra avgasstester med fem personbiler og Helsinki bykjøresyklus under forskjellige betingelser for motortemperatur ved start og med forskjeller i omgivelsestemperatur.



Figur: Utslipp av CO₂ fra avgasstester med seks personbiler og Helsinki bykjøresyklus under forskjellige betingelser for motortemperatur ved start og med forskjeller i omgivelsestemperatur.

Tabell: Utslippsdata for 5 personbiler avgasstestet med Helsinki bykjøresyklus hos VTT høsten 2011 og våren 2012 – NO_x, NO₂ og CO₂ og utslippsdata for 6 personbiler avgasstestet med Helsinki bykjøresyklus hos VTT høsten 2011 og våren 2012 –NO₂

| Euro klasse | Bilmodell | NO _x (g/km) 7,8 km -7°C kaldstart | NO _x (g/km) 7,8 km -7°C varmstart | NO _x (g/km) 7,8 km +23°C kaldstart | NO _x (g/km) 7,8km +23°C varmstart |
|-------------|----------------|--|--|---|--|
| Euro 5 | Avensis D | 1,21 | 1,41 | 0,68 | 0,74 |
| Euro 5 | Avensis D-Cat | 1,13 | 0,71 | 0,85 | 0,48 |
| Euro 6 | VW Passat | 0,54 | 0,74 | 0,18 | 0,21 |
| Euro 5 | Avensis Bensin | 0,06 | 0,02 | 0,07 | 0,02 |
| Euro 5 | Prius HEV | 0,08 | 0,01 | 0,00 | 0,00 |
| Euro klasse | Bilmodell | NO ₂ (g/km) 7,8 km -7°C kaldstart | NO ₂ (g/km) 7,8 km -7°C varmstart | NO ₂ (g/km) 7,8 km +23°C kaldstart | NO ₂ (g/km) 7,8km +23°C varmstart |
| Euro 5 | Avensis D | 0,18 | 0,46 | 0,15 | 0,30 |
| Euro 5 | Avensis D-Cat | 0,41 | 0,34 | 0,35 | 0,25 |
| Euro 6 | VW Passat | 0,14 | 0,25 | 0,06 | 0,12 |
| Euro 5 | Avensis Bensin | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 |
| Euro 5 | Prius HEV | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Euro klasse | Bilmodell | CO ₂ (g/km) 7,8 km -7°C kaldstart | CO ₂ (g/km) 7,8 km -7°C varmstart | CO ₂ (g/km) 7,8 km +23°C kaldstart | CO ₂ (g/km) 7,8km +23°C varmstart |
| Euro 5 | Avensis D | 246 | 199 | 211 | 167 |
| Euro 5 | Avensis D-Cat | 290 | 243 | 279 | 254 |
| Euro 6 | VW Passat | 274 | 233 | 232 | 212 |
| Euro 5 | Avensis Bensin | 270 | 198 | 246 | 201 |
| Euro 5 | Prius HEV | 186 | 146 | 125 | 101 |
| Euro klasse | Bilmodell | NO ₂ (g/km) 7,8 km -7°C kaldstart | NO ₂ (g/km) 7,8 km -7°C varmstart | NO ₂ (g/km) 7,8 km +23°C kaldstart | NO ₂ (g/km) 7,8km +23°C varmstart |
| Euro 5 | Avensis D | 0,18 | 0,46 | 0,15 | 0,30 |
| Euro 6 | Mazda CX-5 D | 0,03 | 0,005 | 0,01 | 0,02 |
| Euro 5 | Verso D-cat D | 0,23 | 0,27 | 0,22 | 0,23 |
| Euro 5 | Ford Focus B | 0,05 | 0,07 | 0,02 | 0,00 |
| Euro 5 | VW Up B | 0,01 | 0,003 | 0,01 | 0,00 |
| Euro 5 | Prius HEV | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Tabell: Utslippsdata for Euro 6 VW Passat Blue TDI testet hos VTT januar 2012

| Passat Blue TDI Euro 6 | | | emissions g/km | | | | | | fuel L/100km | |
|------------------------|------------|------------------|----------------|-------|-------|-------|-----|--------|--------------|---------|
| Cycle | Engine | Note | CO | HC | NOx | NO2 | CO2 | PM | FC calc | FC mass |
| EURO NEDC +23 °C | Cold start | Phase 1 | 0,371 | 0,029 | 0,149 | n/a | 219 | n/a | 8,5 | n/a |
| EURO NEDC +23 °C | | Phase 2 | 0,008 | 0,013 | 0,089 | n/a | 202 | n/a | 7,8 | n/a |
| EURO NEDC +23 °C | | EUDC | 0,006 | 0,005 | 0,042 | n/a | 138 | n/a | 5,3 | n/a |
| NEDC +23 °C | Total | 18.01.2012 | 0,074 | 0,011 | 0,070 | n/a | 165 | 0,0006 | 6,4 | n/a |
| | | | | | | | | | | |
| Road, FIN +23 °C | Warm start | 17.01.2012 | 0,006 | 0,001 | 0,154 | 0,104 | 144 | 0,0013 | 5,6 | n/a |
| Road,FIN +23 °C | Warm start | 19.01.2012 | 0,006 | 0,002 | 0,211 | 0,105 | 143 | 0,0010 | 5,5 | n/a |
| | | | | | | | | | | |
| HKI city +23 °C | Cold start | Phase 1 | 0,064 | 0,012 | 0,267 | 0,039 | 251 | n/a | 9,7 | n/a |
| HKI city +23 °C | Cold start | Phase 2 | 0,008 | 0,004 | 0,110 | 0,070 | 215 | n/a | 8,3 | n/a |
| HKI city +23 °C | Cold start | Total 17.01.2012 | 0,034 | 0,008 | 0,184 | 0,055 | 232 | 0,0002 | 8,9 | n/a |
| HKI city +23 °C | Warm start | Total 17.01.2012 | 0,010 | 0,003 | 0,211 | 0,124 | 212 | 0,0008 | 8,1 | n/a |
| | | | | | | | | | | |
| HKI city -7 °C | Cold start | Phase 1 | 0,331 | 0,022 | 0,650 | 0,140 | 314 | n/a | 12,1 | n/a |
| HKI city -7 °C | Cold start | Phase 2 | 0,009 | 0,002 | 0,444 | 0,246 | 237 | n/a | 9,1 | n/a |
| HKI city -7 °C | Cold start | Total 18.01.2012 | 0,161 | 0,012 | 0,541 | 0,140 | 274 | 0,0005 | 10,5 | n/a |
| HKI city -7 °C | Warm start | Total 18.01.2012 | 0,007 | 0,004 | 0,763 | 0,246 | 233 | 0,0005 | 9,0 | n/a |

Tabell: Utslippsdata for Euro 5 Avensis Diesel (2012 års modell) med D-cat hos VTT november–desember 2011

| Avensis Diesel (2012 års modell) med D-cat | | | emissions g/km | | | | | | fuel L/100km | |
|--|------------|------------------|----------------|-------|---------|-------|-----|---------|--------------|---------|
| Cycle | Engine | Note | CO | HC | NOx | NO2 | CO2 | PM | FC calc | FC mass |
| HKI city +23 °C | Cold start | Phase 1 | 0.041 | 0,029 | 0,1,478 | 0,373 | 332 | n/a | 12,8 | n/a |
| HKI city +23 °C | Cold start | Phase 2 | 0.012 | 0,005 | 0,826 | 0,485 | 253 | n/a | 9,7 | n/a |
| HKI city +23 °C | Cold start | Total 30.11.2011 | 0,027 | 0.017 | 01,135 | 0,435 | 290 | 0,0013 | 11,2 | n/a |
| HKI city +23 °C | Warm start | Total 30.11.2011 | 0.016 | 0,004 | 0,707 | 0,355 | 243 | 0,000 7 | 9,4 | n/a |
| | | | | | | | | | | |
| HKI city -7 °C | Cold start | Phase 1 | 0,469 | 0,022 | 0,065 | 0,140 | 314 | n/a | 12,1 | n/a |
| HKI city -7 °C | Cold start | Phase 2 | 0,011 | 0,002 | 0,012 | 0,246 | 237 | n/a | 9,1 | n/a |
| HKI city -7 °C | Cold start | Total | 0,228 | 0,012 | 0,037 | 0.140 | 274 | 0,0005 | 10,5 | n/a |
| HKI city -7 °C | Warm start | Total | 0,016 | 0,004 | 0,060 | 0,246 | 233 | 0,0005 | 9,0 | n/a |

Tabell: Utslippsdata for Euro 6 diesel Mazda CX-5 2,2l angasstestet hos VTT November 2012

| Mazda CX-5 2,2l Euro 6 diesel | | | emissions g/km | | | | | fuel L/100km | |
|-------------------------------|-------------|---------------------------|----------------|----------|--------------|------------|--------------|--------------|---------|
| Cycle | engine | Note | CO | HC | NOx | CO2 | PM | FC calc | FC mass |
| EURO NEDC | cold | type approval data | 0,097 | 0 | 0,068 | 119 | 0,180 | 4,6 | |
| EURO NEDC +23 °C | cold | | 0,523 | 0,072 | 0,095 | 144,7 | 0,000 | 5,61 | 5,81 |
| EURO NEDC +23 °C | warm | | 0,131 | 0,039 | 0,120 | 132,1 | 0,001 | 5,10 | 5,28 |
| Road, FIN +23 °C | warm | | 0,010 | 0,015 | 0,267 | 142,1 | 0,001 | 5,48 | 5,68 |
| HKI +23 °C | cold | | 0,519 | 0,061 | 0,392 | 159,3 | 0,027 | 6,17 | 6,61 |
| HKI +23 °C | warm | | 0,174 | 0,039 | 0,442 | 147,7 | 0,000 | 5,70 | 6,07 |
| HKI +23 °C | warm | A/C on (+20 °C) | 0,084 | 0,035 | 0,494 | 166,3 | 0,000 | 6,41 | 6,82 |
| Road, FIN +23 °C | warm | | 0,024 | 0,016 | 0,250 | 145,8 | 0,011 | 5,61 | 5,71 |
| | | | | | | | | | |
| EURO NEDC -7 °C | cold | | 1,646 | 0,110 | 0,322 | 191,1 | 0,001 | 7,47 | 7,72 |
| EURO NEDC -7 °C | warm | | 0,669 | 0,075 | 0,175 | 157,0 | 0,000 | 6,09 | 6,29 |
| Road, FIN -7 °C | warm | | 0,046 | 0,018 | 0,284 | 151,8 | 0,000 | 5,850 | 6,066 |
| HKI -7 °C | cold | | 1,671 | 0,142 | 0,777 | 222,5 | 0,002 | 8,683 | 9,387 |
| HKI -7 °C | warm | | 1,126 | 0,119 | 0,576 | 187,1 | 0,001 | 7,285 | 7,604 |
| Road, FIN -7 °C | warm | | 0,082 | 0,057 | 0,491 | 177,6 | 0,018 | 6,850 | 6,919 |

Tabell: Utslippsdata for Euro 6 diesel Mazda CX-5 2,2l avgasstestet hos VTT November 2012

| | | | FTIR | FTIR | FTIR | FTIR | ratio | sum | FTIR | ratio | AMA/FTIR | FTIR | FTIR |
|-------------------------------------|--------|--------|------------|-----------|-----------|------------|----------------|---------------|------------|-------------------|----------------|------------|---------------------------|
| Mazda CX-5 2,2l Euro6 diesel | | | CO2 | CO | NO | NO2 | NO2/NOx | NO+NO2 | NOx | NO+NO2/NOx | NOx/NOx | N2O | Acetic acid C2H4O2 |
| Cycle | engine | Note | g/km | g/km | g/km | g/km | % | g/km | g/km | % | % | g/km | g/km |
| EURO NEDC +23 ° | cold | | 134,9 | 0,511 | 0,045 | 0,003 | 3 % | 0,047 | 0,092 | 51 % | 103 % | 0,002 | 0,014 |
| EURO NEDC +23 ° | warm | | 125,0 | 0,123 | 0,056 | 0,009 | 8 % | 0,065 | 0,109 | 59 % | 110 % | 0,003 | 0,025 |
| Road, FIN +23 °C | warm | | 131,8 | 0,006 | 0,122 | 0,045 | 19 % | 0,168 | 0,239 | 70 % | 112 % | 0,001 | 0,017 |
| HKI +23 °C | cold | | 157,4 | 0,522 | 0,180 | 0,011 | 4 % | 0,191 | 0,304 | 63 % | 129 % | 0,005 | 0,012 |
| HKI +23 °C | warm | | 145,5 | 0,158 | 0,201 | 0,025 | 7 % | 0,226 | 0,350 | 64 % | 126 % | 0,008 | 0,047 |
| HKI +23 °C | warm | A/C on | 157,4 | 0,059 | 0,234 | 0,037 | 9 % | 0,270 | 0,410 | 66 % | 121 % | 0,009 | 0,071 |
| Road, FIN +23 °C | warm | | 132,3 | 0,017 | 0,115 | 0,040 | 18 % | 0,155 | 0,224 | 69 % | 112 % | 0,001 | 0,028 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| EURO NEDC -7 °C | cold | | 190,1 | 1,866 | 0,160 | 0,008 | 3 % | 0,168 | 0,278 | 60 % | 116 % | 0,003 | 0,019 |
| EURO NEDC -7 °C | warm | | 154,1 | 0,661 | 0,082 | 0,006 | 4 % | 0,088 | 0,153 | 57 % | 210 % | 0,002 | 0,020 |
| Road, FIN -7 °C | warm | | 141,9 | 0,046 | 0,128 | 0,032 | 14 % | 0,160 | 0,235 | 68 % | 74 % | 0,001 | 0,029 |
| HKI -7 °C | cold | | 230,6 | 1,917 | 0,427 | 0,017 | 2 % | 0,444 | 0,708 | 63 % | 40 % | 0,004 | 0,021 |
| HKI -7 °C | warm | | 183,8 | 1,176 | 0,273 | 0,004 | 1 % | 0,277 | 0,460 | 60 % | 169 % | 0,004 | 0,033 |
| Road, FIN -7 °C | warm | | 165,0 | 0,076 | 0,248 | 0,047 | 11 % | 0,295 | 0,442 | 67 % | 130 % | 0,003 | 0,032 |

Tabell: Utslippsdata for Euro 5 diesel Toyota Verso 2,23 l D-cat 2012 diesel avgasstestet hos VTT November 2012

| Toyota Verso 2,23 l D-cat 2012 diesel | | | emissions g/km | | | | | fuel L/100km | |
|---------------------------------------|-------------|-----------------|----------------|-------|-------|-------|-------|--------------|---------|
| cycle | engine | Note | CO | HC | NOx | CO2 | PM | FC calc | FC mass |
| EURO NEDC | cold | type approval | 0,086 | 0 | 0,064 | 178 | 0,002 | 6,8 | |
| EURO NEDC | Cold +23 °C | | 0,057 | 0,012 | 0,208 | 188,9 | 0,001 | 7,28 | 7,55 |
| EURO NEDC | Warm +23 °C | | 0,010 | 0,004 | 0,208 | 172,8 | 0,000 | 6,65 | 6,95 |
| Road, FIN | Warm +23 °C | | 0,012 | 0,004 | 0,417 | 177,7 | 0,017 | 6,84 | 6,92 |
| HKI | Cold +23 °C | | 0,041 | 0,011 | 0,689 | 265,1 | 0,001 | 10,2 | 10,4 |
| HKI | Warm +23 °C | | 0,018 | 0,003 | 0,789 | 267,3 | 0,001 | 10,3 | 10,6 |
| HKI | Warm +23 °C | A/C on (+20 °C) | 0,018 | 0,018 | 0,577 | 241,4 | 0,001 | 9,30 | 9,80 |
| Road, FIN | Warm +23 °C | | 0,017 | 0,008 | 0,428 | 176,7 | 0,000 | 6,80 | 6,99 |
| EURO NEDC | Cold -7 °C | | 0,183 | 0,019 | 0,970 | 240,8 | 0,000 | 9,28 | 9,54 |
| EURO NEDC | Warm -7 °C | | 0,013 | 0,028 | 0,544 | 191,8 | 0,000 | 7,39 | 7,67 |
| HKI | Cold -7 °C | | 0,566 | 0,052 | 1,268 | 299,0 | 0,001 | 11,6 | 11,7 |
| HKI | Warm -7 °C | | 0,020 | 0,022 | 0,959 | 252,4 | 0,001 | 9,72 | 10,1 |
| Road, FIN | Warm -7 °C | | 0,010 | 0,003 | 0,628 | 199,5 | 0,013 | 7,68 | 7,99 |

Tabell: Utslippsdata for Euro 5 diesel Toyota Verso 2,23 l D-cat 2012 diesel angastestet hos VTT November 2012

| | | | FTIR | FTIR | FTIR | FTIR | ratio | sum | FTIR | ratio | AMA/FTIR | FTIR | FTIR |
|--|-------------|--------|------------|-----------|-----------|------------|----------------|---------------|------------|---------------------|----------------|------------|---------------------------|
| Toyota Verso 2,23 l D-cat 2012 diesel | | | CO2 | CO | NO | NO2 | NO2/NOx | NO+NO2 | NOx | (NO+NO2)/NOx | NOx/NOx | N2O | Acetic acid C2H4O2 |
| cycle | engine | Note | g/km | g/km | g/km | g/km | % | g/km | g/km | % | % | g/km | g/km |
| EURO NEDC | Cold +23 °C | | 175,1 | 0,049 | 0,081 | 0,087 | 39 % | 0,168 | 0,221 | 76 % | 94 % | 0,017 | 0,002 |
| EURO NEDC | Warm +23 °C | | 155,6 | 0,002 | 0,051 | 0,097 | 53 % | 0,149 | 0,182 | 82 % | 114 % | 0,015 | 0,001 |
| Road, FIN | Warm +23 °C | | 161,8 | 0,005 | 0,154 | 0,137 | 35 % | 0,291 | 0,386 | 75 % | 108 % | 0,007 | 0,001 |
| HKI | Cold +23 °C | | 244,4 | 0,041 | 0,217 | 0,222 | 39 % | 0,439 | 0,566 | 78 % | 122 % | 0,026 | 0,004 |
| HKI | Warm +23 °C | | 239,1 | 0,005 | 0,223 | 0,228 | 39 % | 0,451 | 0,579 | 78 % | 136 % | 0,042 | 0,004 |
| HKI | Warm +23 °C | A/C on | 244,0 | 0,006 | 0,100 | 0,285 | 63 % | 0,385 | 0,453 | 85 % | 127 % | 0,050 | 0,008 |
| Road, FIN | Warm +23 °C | | 162,5 | 0,009 | 0,159 | 0,136 | 35 % | 0,295 | 0,390 | 76 % | 110 % | 0,008 | 0,002 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| EURO NEDC | Cold -7 °C | | 229,6 | 0,175 | 0,407 | 0,218 | 26 % | 0,625 | 0,851 | 73 % | 114 % | 0,015 | 0,006 |
| EURO NEDC | Warm -7 °C | | 183,7 | 0,004 | 0,162 | 0,185 | 40 % | 0,347 | 0,459 | 76 % | 211 % | 0,185 | 0,003 |
| EURO | warm -7 °C | | 175,1 | 0,002 | 0,182 | 0,276 | 49 % | 0,458 | 0,565 | 81 % | 96 % | 0,276 | 0,004 |
| HKI | Cold -7 °C | | 284,7 | 0,665 | 0,592 | 0,227 | 20 % | 0,819 | 1,157 | 71 % | 110 % | 0,227 | 0,011 |
| HKI | Warm -7 °C | | 239,0 | 0,008 | 0,327 | 0,268 | 34 % | 0,596 | 0,786 | 76 % | 122 % | 0,268 | 0,007 |
| Road, FIN | Warm -7 °C | | 186,6 | 0,002 | 0,260 | 0,154 | 28 % | 0,414 | 0,558 | 74 % | 112 % | 0,154 | 0,002 |

Tabell: Utslippsdata for Euro 5 bensin Ford Focus Ecobost 0,998l avgasstestet hos VTT November 2012

| Ford Focus Ecobost 0,998l Euro 5 bensin | | | emissions g/km | | | | | fuel L/100km | |
|---|-------------|-----------------|----------------|-------|-------|-------|--------|--------------|---------|
| Cycle | engine | note | CO | HC | NOx | CO2 | PM | FC calc | FC mass |
| EURO NEDC | cold | type approval | 0,347 | 0,064 | 0,039 | 117 | 0,003 | 5,1 | |
| EURO NEDC | Cold +23 °C | | 0,619 | 0,073 | 0,070 | 146,3 | 0,004 | 6,21 | n/a |
| EURO NEDC | Warm +23 °C | | 0,343 | 0,022 | 0,065 | 143,1 | 0,002 | 6,05 | n/a |
| HKI | Cold +23 °C | | 0,636 | 0,146 | 0,304 | 175,9 | 0,009 | 7,47 | n/a |
| HKI | Warm +23 °C | | 0,153 | 0,033 | 0,501 | 167,5 | 0,003* | 7,07 | n/a |
| HKI | Warm +23 °C | A/C on (+20 °C) | 0,187 | 0,022 | 0,233 | 242,4 | 0,003* | 10,22 | n/a |
| EURO NEDC | Cold -7 °C | | 1,830 | 0,303 | 0,129 | 171,6 | 0,015 | 7,39 | n/a |
| EURO NEDC | Warm -7 °C | | 0,390 | 0,029 | 0,082 | 152,5 | 0,002 | 6,45 | n/a |
| HKI | Cold -7 °C | | 2,249 | 0,470 | 0,309 | 203,1 | 0,041 | 8,76 | n/a |
| HKI | Warm -7 °C | | 0,185 | 0,035 | 0,494 | 182,8 | 0,004 | 7,71 | n/a |

*Estimert fra NEDC og varmstart ved +23 °C

Tabell: Utslippsdata for Euro 5 bensin Volkswagen Up 0,99l Euro 5 bensin avgasstestet hos VTT November 2012

| Volkswagen Up 0,99l Euro 5 bensin | | | emissions g/km | | | | | fuel L/100km | |
|-----------------------------------|-------------|-----------------|----------------|-------|-------|-------|-------|--------------|---------|
| Cycle | Engine | note | CO | HC | NOx | CO2 | PM | FC calc | FC mass |
| EURO NEDC | Cold | type approval | 0,269 | 0,035 | 0,012 | 117 | 0 | 4,2 | |
| EURO NEDC | Cold +23 °C | | 0,311 | 0,026 | 0,007 | 119,1 | 0,001 | 5,04 | n/a |
| EURO NEDC | Warm +23 °C | | 0,086 | 0,004 | 0,004 | 113,0 | 0,001 | 4,76 | n/a |
| HKI | Cold +23 °C | | 1,021 | 0,086 | 0,020 | 138,8 | n/a | 5,92 | n/a |
| HKI | Warm +23 °C | | 0,238 | 0,007 | 0,011 | 131,4 | n/a | 5,55 | n/a |
| HKI | Warm +23 °C | A/C on (+20 °C) | 0,257 | 0,007 | 0,013 | 158,3 | n/a | 6,68 | n/a |
| EURO NEDC | Cold -7 °C | | 1,290 | 0,386 | 0,017 | 135,6 | 0,004 | 5,85 | n/a |
| EURO NEDC | Warm -7 °C | | 0,108 | 0,012 | 0,005 | 125,3 | n/a | 5,28 | n/a |
| HKI | Cold -7 °C | | 3,649 | 0,807 | 0,024 | 161,2 | n/a | 7,14 | n/a |
| HKI | Warm -7 °C | | 0,151 | 0,023 | 0,017 | 148,5 | n/a | 6,26 | n/a |

Tabell: Utslippsdata for Scania lastebil med 13 liters Euro VI motor - resultater fra avgassmåling 2012 og sammenlignbare VTT resultater fra tidligere målinger med en tilsvarende lastebil og den tidligere Euro V versjonen av den samme motoren

| Scania G440 13 liters Euro VI engine | | | | | | | | | G420 13 liters (SCR) EU V engine | |
|--------------------------------------|----------------|--------------|------------------------------------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|----------------------------------|-----------|
| Driving cycle | Con figuration | Load | | CO (g/km) | HC (g/km) | NOx (g/km) | CO2 (g/km) | PM (g/km) | NOx (g/km) | PM (g/km) |
| WTVC | 26T | no payload | WTVC 26T no payload | 0,046 | 0,0011 | 0,982 | 759 | 0,0039 | | |
| WTVC | 26T | fully loaded | WTVC 26T fully loaded | 0,059 | -0,0039 | 0,686 | 1050 | 0,0058 | | |
| | | | | | | | | | | |
| District delivery | 26T | half payload | District delivery 26T half payload | 0,063 | -0,0114 | 0,442 | 977 | 0,0026 | | |
| | | | | | | | | | | |
| Road | 60T | half payload | Road 60T half payload | 0,047 | 0,0000 | 0,335 | 1065 | 0,0047 | 4,8419 | 0,0658 |
| | | | | | | | | | | |
| Motorway | 60T | half payload | Motorway 60T half payload | 0,044 | 0,0042 | 0,267 | 1020 | 0,0044 | 2,3574 | 0,0257 |
| Motorway | 60T | fully loaded | Motorway 60T fully loaded | 0,052 | 0,0016 | 0,417 | 1253 | 0,0031 | 3,9323655 | 0,02 |

Tabell : Utslippsdata for Scania lastebil med 9 liters Euro VI motor 2012

| Scania, Euro VI, 29.10.2012 | | | | | | | | | Gravimetrisk | Oppsamlet uttynnet avgass | | |
|---|--------|------|-------|-------|-------|--------|-------|----------------|--------------|---------------------------|------|-------|
| FTIR data in g/km as wet gas except CO2 calculated as dry gas | | | | | | | | | måling | AMA | AMA | AMA |
| | CO2 | CO | NO | NO2 | N2O | NH3 | CH4 | NOx calculated | PM | CO2 | CO | NOx |
| | g/km | g/km | g/km | g/km | g/km | g/km | g/km | g/km | g/km | g/km | g/km | g/km |
| TR-road | 575,1 | 0,01 | 0,029 | 0,025 | 0,019 | <0,001 | 0,002 | 0,07 | 0,002 | 577,4 | 0,04 | 0,043 |
| TR-road | 575,4 | 0,01 | 0,04 | 0,03 | 0,017 | <0,001 | 0,003 | 0,092 | 0,002 | 572,1 | 0,04 | 0,046 |
| Braunschweig | 1196,7 | 0,04 | 0,19 | 0,006 | 0,082 | <0,001 | 0,008 | 0,296 | 0,009 | 1159,7 | 0,1 | 0,387 |
| Braunschweig | 1214,4 | 0,04 | 0,16 | 0,012 | 0,14 | 0,001 | 0,008 | 0,257 | 0,007 | 1161,1 | 0,13 | 0,29 |
| WVTC | 716,7 | 0,02 | 0,064 | 0,002 | 0,046 | <0,001 | 0,004 | 0,1 | 0,003 | 733,2 | 0,05 | 0,094 |
| WVTC | 712,3 | 0,02 | 0,057 | 0,003 | 0,043 | <0,001 | 0,004 | 0,09 | 0,003 | 743,6 | 0,06 | 0,091 |
| TR-delivery | 774,1 | 0,02 | 0,101 | 0,003 | 0,057 | <0,001 | 0,004 | 0,157 | 0,002 | 799,3 | 0,05 | 0,168 |
| TR-delivery | 771,3 | 0,02 | 0,113 | 0,001 | 0,058 | <0,001 | 0,004 | 0,175 | 0,002 | 794,9 | 0,05 | 0,18 |

Vedlegg 3 Avgassmåling med FTIR ved VTT

FTIR measurement with Gaset Cr-2000 at VTT

Päivi Aakko-Saksa, 25.11.2013

Fourier transformation infra-red (FTIR) technique is an effective tool for fast on-line measurements. At VTT, by using Gaset Cr-2000 equipment typically more than 10 compounds are measured simultaneously at two-second intervals from vehicle exhaust gases, and up to 50 different compounds could be measured according to manufacturer. Gaset Cr-2000 analyzer is designed especially for the vehicle exhaust measurements. VTT has 20 years of experience in using the FTIR technology in the exhaust gas measurements, at first with SESAM II (Fast) in the beginning of 90's (Aakko *et al.* 1994).

The Gaset Cr-2000 incorporates a FTIR spectrometer, a temperature controlled sample cell, and signal processing electronics (Table 1). Detector is liquid nitrogen cooled MCT detector. Raw exhaust gas (filtered) is introduced to Gaset at flow rate of 4-5 liters per minute. Measurement is conducted at temperature of 180 °C, which is high enough to prevent condensation. Temet Carousel Interferometer of Gaset is designed for portable equipment. Low resolution of 8 cm⁻¹ enables good signal-to-noise ratio for quantitative analysis. Gaset measures 10 scans (interferograms) in second. The exhaust gas flow through cell is changed in approximately three seconds. Successful multicomponent analysis requires that reference (library) spectra of all compounds present in sample mixture are taken into account.

Table 1. Technical data of Gaset Cr-2000.

| | |
|-----------------|--|
| Spectrometer | <ul style="list-style-type: none"> • IR source: SiC • Resolution: 8 cm⁻¹ • Spectrum range: 600-4200 cm⁻¹ • Detector: MCT, liquid N2 cooled • Interferometer: Temet Carousel |
| Cell and sample | <ul style="list-style-type: none"> • Path length: fixed 2.0 m • Cell temperature: 180 °C • Sample cell volume: 0,22 l • Sample: raw exhaust gas, filtered (2 µm) • Sample flow: 2 – 10 liters per minute • Purging gas: nitrogen |

Gaset is calibrated with single-component gases. Water calibration is done twice a year, and zero calibration with nitrogen before every measurement. The frequency of water calibrations has been found to be essential for e.g. NO_x analysis repeatability. The concentrations of many compounds are low in the exhaust gas of cars and vehicles. Detection limits based on manufacturers' reference spectra for pure/interference free components are summarized in Table 2. These detection limits were converted to corresponding mass-based emissions representing the duration of the European test cycle. In addition, the detection limits are compared with the maximum emissions results measured in the project reported by Aakko-Saksa *et al.* 2011.

The results obtained by FTIR can be compared with those from the traditional measurement methods. For some exhaust species, the correlation between FTIR and the traditional method is good, whereas FTIR does not seem to be applicable for monitoring small changes in emissions, for example, differences between hydrocarbon fuels. (Aakko-Saksa et al. 2011).

Table 2. Detection limits determined from manufacturer's reference spectra at one-second intervals as concentrations and calculated mass emissions over the European test cycle. Maximum emissions observed in the project reported by Aakko-Saksa et al. 2011 are also presented.

| | Detection limit | | Max. emissions, this project (mg/km) |
|-------------------------------------|---|--------------------------|--|
| | Concentration at 1-second intervals (ppm) | European test (mg/km) | |
| Carbon monoxide (CO) | 7 | 8 | 8000 |
| Nitric oxide (NO) | 13 | 15 | 120 |
| Nitrogen dioxide (NO ₂) | 2/10 | 4 | 7 |
| Nitrous oxide (N ₂ O) | 4 | 4 | 18 |
| Ammonia | 2 | 1 | 42 |
| Methane | 2 | 1 | 165 |
| Ethanol | 4 | 7 | 2900 |
| Isobutanol | 3 | 9 | 80 |
| n-Butanol | 4 | 12 | 80 |
| ETBE | 2 | 8 | 63 |
| Formaldehyde | 5 | 6 | 6 |
| Acetaldehyde | 5 | 9 | 91 |

Theory

IR radiation absorbed by molecule at characteristic frequencies leads to “higher” energy state in the form of vibrations and rotations. This changes the dipole moment of the molecule. Almost all compounds absorb IR radiation, except homonuclear diatomic gases, such as oxygen, nitrogen and hydrogen, and noble gases, such as helium, neon and argon.

IR techniques are, amongst others, non-dispersive infrared (NDIR), dispersive infrared and Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy. By NDIR, one compound at time can be analysed. Dispersive IR scans narrow wavelength area at time ending up to whole spectrum. FTIR results in whole spectrum similarly to dispersive IR, but technique is different. For FTIR, the interferometer divides a beam of radiation: half of the beam goes to a fixed mirror and another half to a moving mirror. Both beams are returned to the beam splitter and combined beams are directed through sample to detectors. The interferogram is Fourier transferred to the frequency spectrum. Background spectrum is reduced from sample spectrum. An example of spectrum from diesel exhaust gas measured with Gasmeter is shown in Figure 1. Usual range of infrared spectrum is from 600 cm⁻¹ to 4000 cm⁻¹.

Sufficient resolution of FTIR is required to identify compounds from mixtures with overlapping absorption bands. Resolution is improved by the design of the interferometer (longer optical path). Improved resolution leads to longer collection time and worse noise to signal ratio (SNR). Sufficient

SNR is required for adequate detection limits, and for quantification in general. Resolution, SNR and measurement time can be optimized when equipment is designed for purpose.

For identification and quantification of compounds from the FTIR spectrum of unknown mixture of compounds, multicomponent analysis is needed. Analysis is demanding, if sample contains many compounds with overlapping absorption bands. For example, water and carbon dioxide show broad, strong absorption bands. IR analysis of NO from the exhaust gas is difficult, because its absorption band is in the same wavenumber area as that of water. Library spectra of pure compounds are basis for the calculation of the best fit spectrum with the spectrum of sample. The difference between calculated and measured spectrum is a measure of success of analysis.

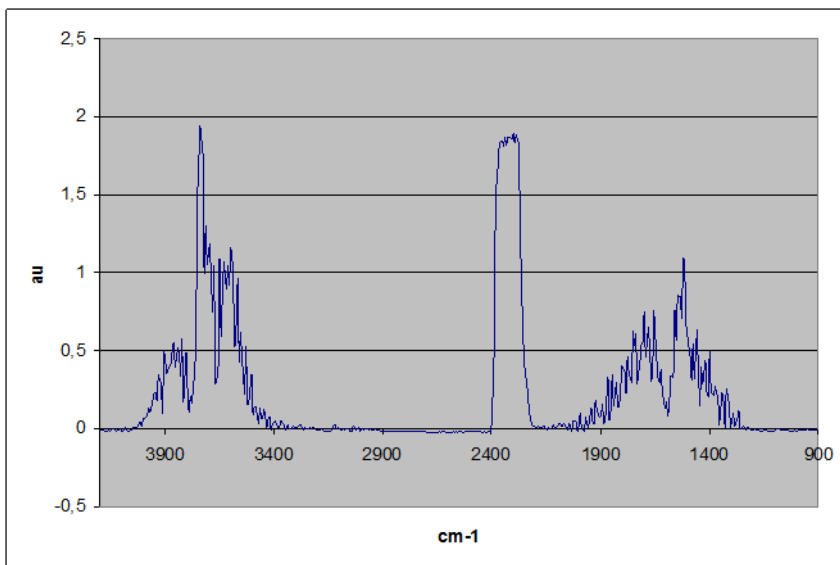


Figure 1. Spectrum from diesel exhaust gas measured with Gasmeter at VTT (Ahonen 2006).

References

Aakko-Saksa, P., Koponen, P., Kihlman, J., Reinikainen, M., Skyttä, E., Rantanen-Kolehmainen, L. and Engman, A. Biogasoline options for conventional spark-ignition cars. VTT Working Papers: 187. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2011/W187.pdf>

Aakko, P., Lappi, M., Laurikko, J. and Nylund, N-O. Experiences in analysing the exhaust gas emissions of vehicles using fast, on-line FTIR. Proc. Nordic Seminar on Gas Analysis in Combustion. Tampere, 4 - 5 Oct. 1994. Ed. R. Hernberg. Tampere University of Technology (1994), 17 – 27.

Ahonen, I. (2006) FTIR – monikomponenttianalyysin metodien kehittäminen pakokaasusovelluksiin. Pro gradu. Helsinki: Helsingin yliopisto, Kemian laitos. (In Finnish).