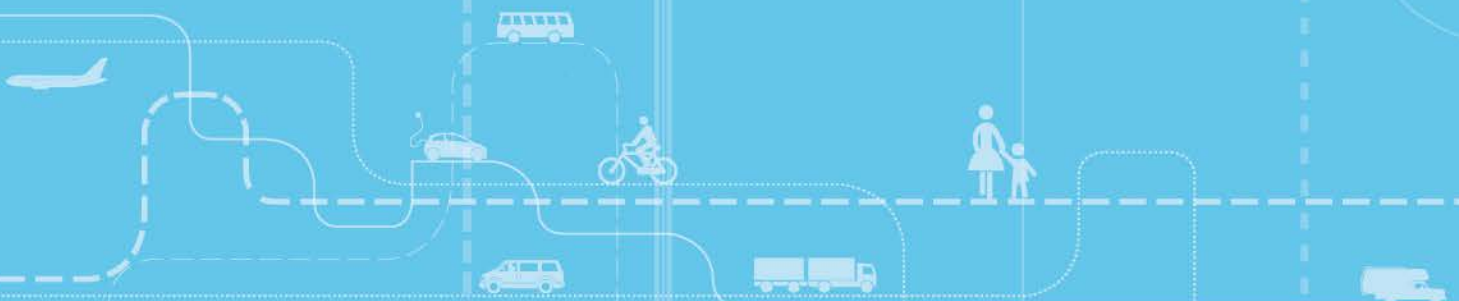
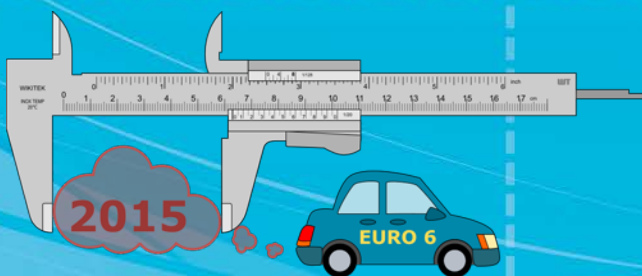


Utslipp fra kjøretøy med Euro 6/VI-teknologi

Resultater fra måleprogrammet i EMIROAD 2015



Utslipp fra kjøretøy med Euro 6/VI-teknologi

Resultater fra måleprogrammet i EMIROAD 2015

Christian Weber
Astrid H. Amundsen

Forsidebilde: Christian Weber

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.

Tittel: Utslipp fra kjøretøy med Euro 6/VI-teknologi.
Resultater fra måleprogrammet i EMIROAD 2015

Forfattere: Christian Weber
Astrid H. Amundsen

Dato: 08-2016

TØI-rapport 1506/2016

Sider: 54

ISBN elektronisk: 978-82-480-1321-1

ISSN: 0808-1190

Finansieringskilde: Statens vegvesen Vegdirektoratet

Prosjekt: 4108 – EMIROAD

Prosjektleder: Christian Weber

Kvalitetsansvarlig: Erik Figenbaum

Fagfelt: Miljø og klima

Emneord: Avgassutslipp
CO₂-utslipp
Kjøretøyteknologi
NO_x
PM

Sammendrag:

Rapporten presenterer resultater fra utslippsmålinger av personbiler og bybusser. Funnene for bybussene bekrefter tidlige resultater: Utslipp som gir opphav til lokal luftforurensing, som NO_x og PM, er lave for tunge kjøretøy med Euro VI-motorer.

To personbiler med dieselmotor viste lave utslipp av lokalt forurensende avgasser, bortsett fra NO_x, som er høy i de fleste kjøreforhold. To personbiler med bensinmotor og direkteinnsprøytning viste høye utslipp av lokalt forurensende avgasser ved kaldstart av motoren i -7 °C. Ved varmstart av motoren var utslippene derimot lave – men for første gang viste målingene høye verdier for NO_x, også for bensinbiler.

Videre presenterer rapporten funn fra en internasjonal undersøkelse av utslipp fra lastebiler. Hovedfunnene er at kjøretøy med gassmotorer som kjøres på naturgass ikke fører til besparelse i klimagassutslipp, sammenlignet med dieselmotorer som kjøres på fossil diesel. Når det gjelder utslipp av lokalt forurensende avgasser, er det typegodkjenningsklassen fremfor drivstoffet som bestemmer utslippsnivået.

*Transportøkonomisk Institutt
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo
Telefon 22 57 38 00 - www.toi.no*

Title: Emission from vehicles with Euro 6/VI technology. Results from the measurement programme in EMIROAD 2015

Authors: Christian Weber
Astrid H. Amundsen

Date: 08-2016

TØI Report: 1506/2016

Pages: 54

ISBN Electronic: 978-82-480-1321-1

ISSN: 0808-1190

Financed by: The Norwegian Public Roads Administration

Project: 4108 – EMIROAD

Project Manager: Christian Weber

Quality Manager: Erik Figenbaum

Research Area: Environment and Climate

Keywords: CO₂-emission
Emissions
Heavy duty vehicles
NO_x
Particle emissions

Summary:

This report presents results from emission measurements for personal cars and city buses. The findings for city buses confirm earlier results: Emissions causing local pollution, mainly NO_x and PM, are low for heavy-duty vehicles with Euro VI-engines. Two personal cars with diesel engines showed low emissions of local pollutants, the emission of NO_x, however, is high in most driving situations. Two personal cars with gasoline direct-injection engines showed high emissions of local pollutants for cold starts of the engine in -7 °C. The emissions were low for warm start of the engine, however, for the first time, the measurements also showed high values for NO_x from gasoline cars. Additionally, the report presents findings from an international study of emissions from heavy duty vehicles: Concerning the emission of local pollutants, the study shows that the type approval class is more decisive than the fuel itself. Gas engines fueled with natural gas will not result in a reduction of greenhouse gas emissions, when compared to diesel engines fueled with fossil diesel.

Language of report: Norwegian

*Institute of Transport Economics
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo, Norway
Telefon 22 57 38 00 - www.toi.no*

Forord

Flere byer i Norge sliter med å tilfredsstille Forurensingsforskriftens grenseverdier for nitrogenoksid (NO₂), særlig vinterstid har utslippene gitt høye konsentrasjoner av NO₂ i luften. Rapporten presenterer måleresultater for avgassutslipp fra lette og tunge kjøretøy, som testes med ett kjøremønster som fanger opp motorbelastninger som er aktuelle i virkelig trafikk i kulde og bykjøring. Prosjektet er finansiert av Statens vegvesens etatsprogram EMIROAD (Emissions from road transport vehicles).

Avgassmålingen er utført av og i samarbeid med den finske statens forskningsinstitutt, VTT. Hensikten med å måle avgassutslipp fra kjøretøy som oppfyller de nye og strengere Euro 6/VI kravene, har vært å få indikasjoner på om disse kjøretøy vil bidra til tilfredsstillende luftkvalitet. Euro 6/VI kravene forutsetter i praksis at kjøretøy med dieselmotorer må utstyres med ny motor, avansert avgassrenseteknologi og ofte en kombinasjon av motor og renseteknologi. Men i hvilken grad gjenspeiler disse kravene utslipp fra kjøretøy i virkelig trafikk?

Rapporten presenterer resultater fra et måleprogram som har pågått siden 2011. Måleprogrammet har sett spesielt på utslippene av NO₂, men også undersøkt utslipp av andre regulerte og uregulerte avgasskomponenter som kan bidra til klimapåvirkning og lokal luftforurensing. I denne omgang har fokuset også vært rettet mot kaldstart i kaldt klima. Rapporten oppsummerer resultatene fra kjøretøy testet i 2015. Det er også inkludert noen betraktninger rundt typegodkjenningstester med bakgrunn i det som kom frem i forbindelse med at VW innrømmet uregelmessigheter knyttet til utslipp fra VW-gruppens biler. Et kapittel viser første resultater av utslippsmålinger fra tilleggsvarmere i dieselpersonbiler.

TØI har utført prosjektet i samarbeid med VTT. TØI ved forsker Christian Weber har vært prosjektleder. Kontaktperson hos oppdragsgiver er Karl Idar Gjerstad.

Rapporten er skrevet av forskerne Christian Weber og Astrid H. Amundsen. Forskningsleder Erik Figenbaum har vært ansvarlig for kvalitetssikringen av rapporten, mens sekretær Trude Kvalsvik har tilrettelagt rapporten for publisering.

Oslo, oktober 2016

Transportøkonomisk institutt

Gunnar Lindberg
direktør

Michael Sørensen
avdelingsleder

Innhold

Sammendrag

Summary

1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn.....	1
1.2	Typegodkjenning av kjøretøy	1
1.3	Erfaring fra testing av Euro 6/VI-kjøretøy i 2013-14	3
1.4	Prosjektets formål.....	3
2	Metode	4
2.1	Kjøresykluser.....	5
2.1.1	Kjøresyklus for bybusser.....	5
2.1.2	Kjøresyklus for personbiler.....	5
2.2	Testede kjøretøy	7
2.2.1	Bybusser.....	7
2.2.2	Personbiler.....	8
2.3	Usikkerhet i måleresultatene	8
3	Måleresultater	9
3.1	Resultater bybusser.....	9
3.1.1	CO ₂	9
3.1.2	PM.....	10
3.1.3	NO _x	10
3.1.4	CO	11
3.1.5	THC.....	12
3.2	Resultater personbiler: Varmstart av motoren	12
3.2.1	CO ₂	12
3.2.2	PM	14
3.2.3	PN.....	14
3.2.4	NO _x	15
3.2.5	CO	16
3.2.6	THC.....	17
3.3	Resultater personbiler: Kaldstart av motoren	18
3.3.1	CO ₂	18
3.3.2	PM	19
3.3.3	PN.....	20
3.3.4	NO _x	22
3.3.5	CO	23
3.3.6	THC.....	24
4	Diskusjon av måleresultatene	25
4.1	Utslipp fra bybusser med Euro VI-motor	25
4.2	Utslipp fra personbiler.....	26
4.2.1	Varmstart av motoren.....	26
4.2.2	Kaldstart av motoren	27
5	Oppfølging av "Dieselskandalen"	31
6	Internasjonal undersøkelse av tunge og lette kjøretøy og drivstofftyper	35
6.1	Kjøretøy og drivstoffer.....	35

6.2	Måleprotokoll.....	36
6.3	NO _x	37
6.4	PM.....	39
6.5	Energibruk	40
6.6	CO ₂ -utslipp fra eksosrøret	41
6.7	Klimapåvirkning i et livsløpsperspektiv	42
7	Utslippsmålinger for tilleggsvarmere – foreløpige resultater	43
7.1	Innledning	43
7.2	Oppsett	43
7.3	Kvalitativ analyse – tidsforløp av utvalgte utslippsfaktorer	45
7.4	Kvantitativ analyse – foreløpige tall	46
7.5	Diskusjon.....	48
8	Konklusjoner	49
9	Ordlister - motor og miljøteknologi	50
10	Referanser.....	53

Sammendrag

Utslipp fra kjøretøy med Euro 6/VI-teknologi. Resultater fra måleprogrammet i EMIROAD 2015

TØI-rapport 1506/2016

Forfattere: Christian Weber og Astrid H. Amundsen

Oslo 2016 54 sider

Rapporten presenterer funn fra TØI og Statens vegvesens måleprogram EMIROAD (EMISSIONS FROM ROAD TRANSPORT VEHICLES), som primært undersøker avgassutslipp fra moderne personbiler og tunge kjøretøy.

I EMIROAD gjennomføres tester i laboratoriet med kjøresykluser som tilsvarer virkelig trafikk og forhold som i størst mulig grad skal tilsvare faktisk bruk av kjøretøyet. Måleprogrammet ser f.eks. på utslipp av "lokalt forurensende avgasser", som omfatter bl.a. nitrogenoksyder (NO_x) og partikler (PM), men også på utslipp av klimagasser, særlig CO₂.

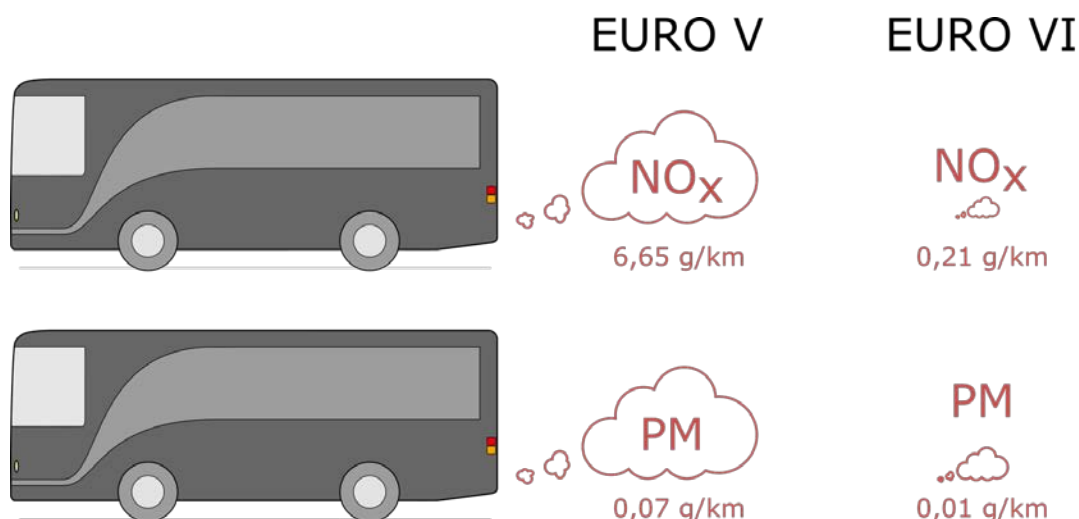
De nye resultatene støtter i stor grad tidligere funn, som viser at tunge kjøretøy med Euro VI-motorer har lavt utslipp av NO_x i virkelig trafikk, mens det samme ikke gjelder for Euro 6-dieselpersonbiler. Det kom fram oppsiktsvekkende resultater når det gjelder moderne bensinbiler med direkteinnsprøytningsteknologi, som også hadde høye NO_x-utslipp i testene.

Lave verdier av lokale utslippsfaktorer for bybusser

Utslippskrav til kjøretøy reguleres av EU-direktiver, såkalte Eurokrav som benevnes Euro 1-6 for personbiler, hvorav Euro 6 er det strengeste, og Euro I-VI for tunge biler, hvorav Euro VI er det strengeste. Kravene er obligatoriske og tatt inn i norsk lov i Forskrift om tekniske krav og godkjenning av kjøretøy, deler og utstyr (kjøretøyforskriften), som er hjemlet i Vegtrafikkloven. Eurokravene skjerpes omtrent hvert 5. år. EMIROAD-prosjektet fokuserer på å dokumentere hvor mye utslippene reduseres ved den pågående overgangen fra Euro 5 til Euro 6 for personbiler og fra Euro V til Euro VI for tunge biler.

I utslippsmålingene som presenteres i denne rapporten ble det målt utslipp fra 5 bybusser med Euro VI-dieselmotorer, derav 1 hybridbuss. Bussene ble kjørt i et avgasslaboratorium med en simulert kjørerute (kjøresyklus) som tilsvarer et virkelig bruksmønster for busser i bytrafikk. Laboratoriet kan ikke måle utslipp fra tunge biler i kulde, og utslippet ble følgelig målt ved ca. 23 °C.

Som ved tidligere målinger (Hagman & Amundsen 2013a; Hagman & Amundsen 2013b; Weber et al. 2015; Hagman et al. 2015), var det også i disse målingene lave utslipp av NO_x og PM fra bybusser med Euro VI-motor, sammenlignet med typiske verdier fra bybusser med Euro V-motor. Gjennomsnittlige utslippsverdier for bussene vises som tall og skalerte skyer i Figur S 1.



Figur S 1: Gjennomsnittlig utslipp av NO_x og avgasspartikler PM i g/km. Målt ved ca. +23 °C for 11 busser med Euro VI-dieselmotorer ved kjøring av Braunschweig bykjøringsyklus, sammenlignet med utslippet fra en typisk buss med Euro V-motor. Arealet av skyene for Euro VI-gjennomsnittet er skalert i forhold til utslippstallet fra Euro V-klassen.

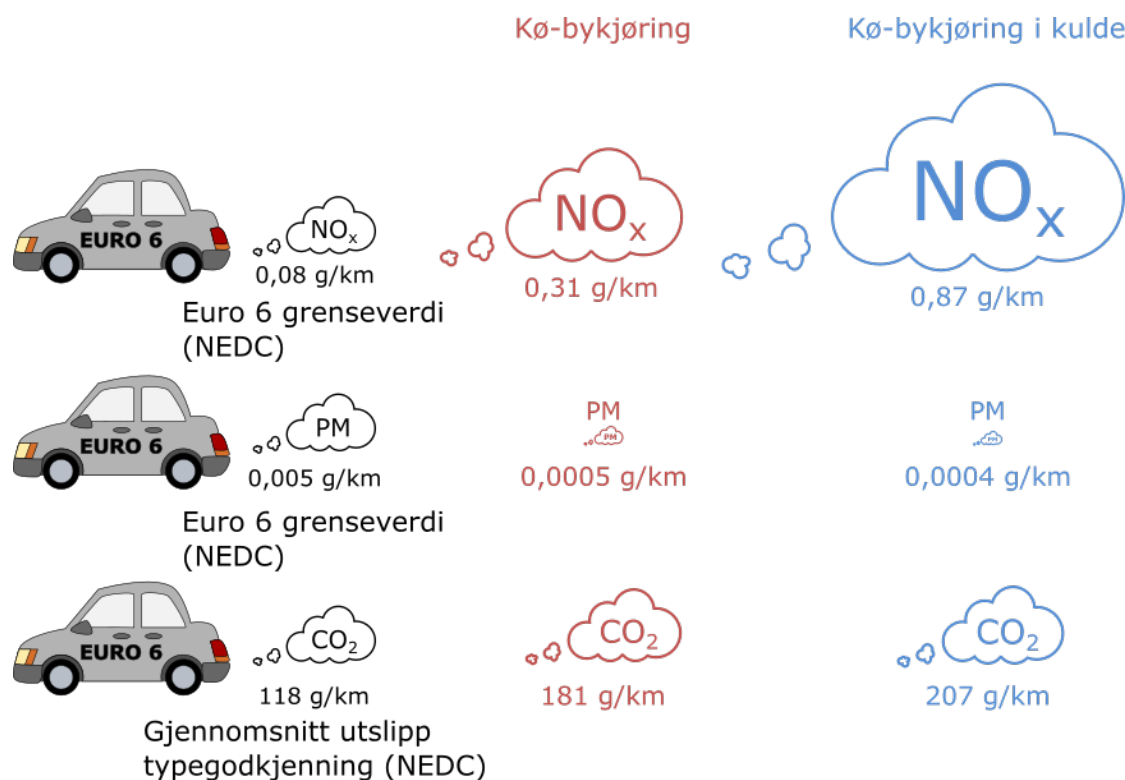
Personbiler

I denne rapporten presenteres utslippsmålinger fra 4 nye personbiler: 2 modeller fra 2 forskjellige produsenter, med henholdsvis diesel- og bensinmotor. Utslippene ble målt ved +23 °C og ved -7 °C.

Varmstart av motoren

Mens utslippet av PM er lavt for dieselpersonbilene i tester med varmstart av motoren, er utslippet av NO_x fortsatt høyt, særlig i kulde (-7 °C). Bensinbilene med GDI-teknologi (gasoline direct injection) har lave utslipp av alle lokale utslippsfaktorene, men noen viser overraskende høye nivåer for NO_x. I og med at et begrenset antall GDI-biler er testet, er det for tidlig til å konkludere med hensyn til teknologien, men utviklingen vil bli fulgt nøye fremover.

Målingene viser fortsatt store forskjeller mellom CO₂-utslippet som fremkommer i typegodkjenningssyklusen (NEDC) og det bilene slipper ut i mer realistiske kjøresykluser, særlig i kulde (se Figur S 2).



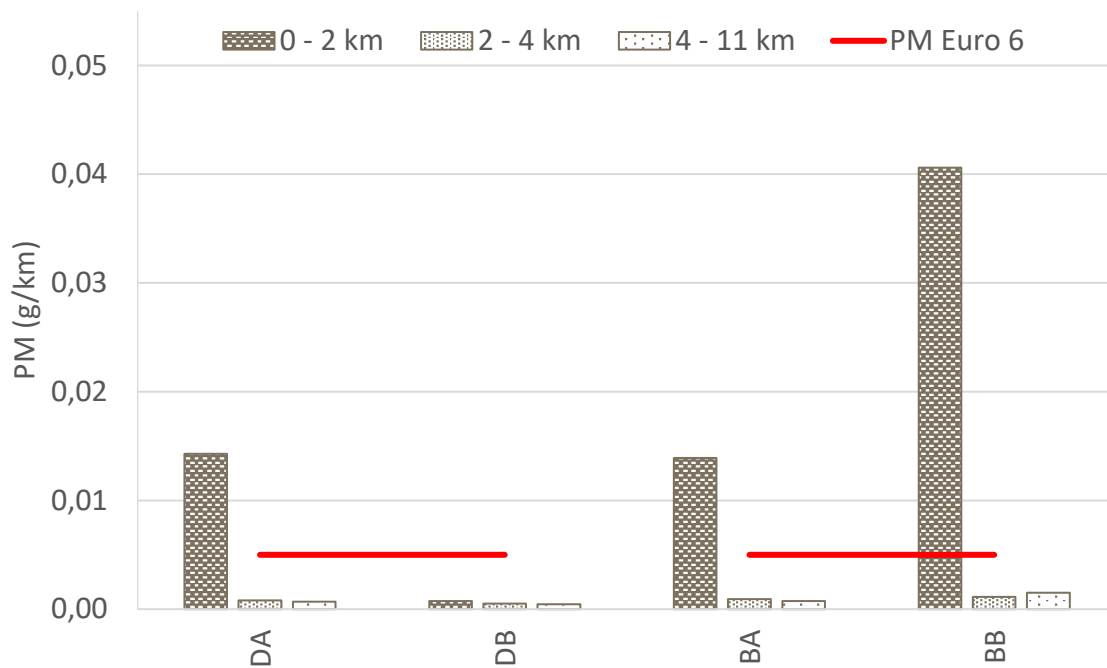
Figur S 2: Sammenligning av avgasskravet (grenseverdi)/gjennomsnitt NO_x, PM og CO₂ ved typegodkjenning av Euro 6-dieslbiler (med den standardiserte NEDC kjøresyklusen) (sort sky) og gjennomsnittlige avgassutslipp fra syv Euro 6-personbiler med dieselmotor ved bykjøring, 23 °C (rød sky) og ved bykjøring i kulde, -7 °C (blå sky). Størrelsen av gasskyene tilsvarer utslippenes størrelse i forhold til typegodkjenningenskravet.

Kaldstart av motoren

Det ble målt utslipp ved kaldstart av motoren. Også her hadde diesebilene lave verdier for alle lokale utslippsfaktorer, med unntak av NO_x. Ved kaldstart i kulde (-7 °C) ble NO_x-utslippet målt til å være opptil 18 ganger så høyt som grenseverdien i typegodkjenningen.

De to bensinbilene med GDI-teknologi hadde lave utslipp ved kaldstart i 23 °C. Ved kaldere temperaturer derimot, oppstår høye utslipp av PM, PN (antall partikler), NO_x, CO (kulløs) og THC (hydrokarboner). Særlig utslipp av PM og PN er høye, med utslippsverdier som er opp mot henholdsvis 8,6 og 4,1 ganger så høyt som grenseverdien i NEDC. Disse målingene viser bare resultater for 2 biler, og det er dermed for tidlig å konkludere om det skyldes ulemper ved selve GDI-teknologien i dagens biler. Det er imidlertid oppsiktsvekkende, og EMIROAD vil i fremtidige målinger ha enda mer fokus på bensinbiler med GDI-teknologi. Europakommisjonen er oppmerksom på problemet og har bestemt at grenseverdiene for PN for biler med GDI-teknologi skal innstrammes fra 2017. Dette vil føre til at bensinbilene trenger mer avanserte rensesystemer, som f.eks. partikkelfiltre.

Nesten hele utslippet av PM, CO og THC ved kaldstart kommer fra utslippet i de første kilometerne av kjøresyklusen. Dette vises i Figur S 3, der måleresultatene for PM fra typegodkjenningssyklusen er delt opp i 3 kategorier. Det er tydelig fra figuren at de første 2 km står for mesteparten av utslippet. Når motoren og rensesystemet er varmet opp, er utslippene lave (fra ca. 2 km).



Figur S 3: PM-utslipp i g/km for testede dieselpersonbiler (DA, DB) og personbiler med bensinmotor (BA, BB) ved kaldstart av motoren i NEDC-syklus ved -7 °C. Søylene viser utslippet for de første 2 km, 2 til 4 km og 4 til 11 km. Den røde linjen viser typegodkjenningskravet for Euro 6 (European Parliament 2007).

Oppfølging av "Dieselskandalen"

Etter at det høsten 2015 ble kjent at Volkswagen hadde omgått typegodkjenningsreglene ved å bruke en "defeat device" (ulovlig utstyr eller programvare som manipulerer avgassutslippet) har flere land satt i gang måleprogrammer for å undersøke om det også er andre produsenter som har brutt reglene. For eksempel kan programvaren gjenkjenne testsituasjoner og tilpasser motorstyringen på en måte som gjør avgassrensingen effektiv når det gjennomføres avgasstester i laboratorier, og mindre effektiv i vanlige driftssituasjoner ute på vegen hos vanlige bileiere.

Målinger utført av flere institusjoner viser at mange produsenter velger rensestrategier som tilfredsstiller typegodkjenningstesten, men som ikke fungerer, eller fungerer dårlig i virkelig trafikk og daglig bruk av kjøretøyet. Enkelte bilmerker velger å stenge av rensesystemet når temperaturen ligger under temperaturen som er definert i typegodkjenningstesten. Som begrunnelse trekker de frem at avgassrensingen må reduseres eller utkobles for å beskytte motoren – noe som forskriften tillater i ekstreme tilfeller, f.eks. for å gjøre det mulig å starte motoren og beskytte den mot overoppheting, men som ikke tillates for vanlig drift av kjøretøyet. Som Figur S 4 viser, ligger Volkswagens biler med "avgassmanipulerende programvare" midt på treet når det gjelder utslipp av NO_x, i forhold til andre bilmerker.

Funnene fører til at "vanlig drift" av kjøretøyet bør defineres enda nøyere – men man kunne selvfølgelig også ha en generell bestemmelse om at kjøretøyet skal ha lave utslipp i

alle driftsområder, eller det kunne innføres et ekstra sett med avgasskrav med verdier som ikke tillates overskredet uansett driftsforhold.



Figur S 4: Oversikt over resultater av laboratoriemålinger og målinger på veg i en definert kjøresyklus av Euro 5-personbiler, gjennomført av tyske KBA. Kjøretøyene er rangert etter høyest utslipp av NO_x. Den nederste enden av søylen viser resultatet fra måling i typegodkjenningscyklusen (NEDC) på laboratoriet, den øverste enden tilsvarer den høyeste verdien målt i en mer representativ kjøresyklus for virkelig trafikk. Kjøretøyene markert med '*' er Volkswagen biler med "avgassmanipulerende programvare". De røde linjene markerer grenseverdien i typegodkjenningen. Data fra KBA (BMVI 2016).

Internasjonal undersøkelse av tunge og lette kjøretøy

I en ny rapport har IEAs (International Energy Agency) samarbeidsprogram for innføring av avanserte drivstoffer (Advanced Motor Fuels Implementing Agreement) undersøkt ulike kombinasjoner av kjøretøy og drivstoffer, med spesiell fokus på energieffektivitet og utslipp av CO₂, NO_x og PM. EMIROAD har finansiert en av testene i studien. Studien konkluderer med at det er typegodkjenningsklasse fremfor drivstofftype som avgjør mengden av lokale utslippsfaktorer som NO_x og PM. Når det gjelder klimapåvirkningen, er det tydelig at gassmotorer som drives med naturgass fra fossile kilder ikke fører til en besparelse i CO₂-utslippet i et livsløpsperspektiv (well-to-wheel, WTW), sammenlignet med fossil diesel. Enkle typer biodrivstoff (f.eks. biogass fra matavfall, fornybar diesel fra brukt frityrolje) blir nevnt å ha stort potensial for redusert CO₂-utslipp.

Dersom strøm til elektriske kjøretøy kommer fra fornybare kilder, gir dette størst besparelse i WTW CO₂-utslipp og energibruk.

Utslippsmålinger for tilleggsvarmer – foreløpige resultater

I denne måleperioden ble muligheten til å måle utslipp fra dieselfyrte tilleggsvarmere undersøkt. Disse type tilleggsvarmere finnes i mange nye biler som er solgt på det norske markedet. De foreløpige resultatene av utslippsmålinger fra en tilleggsvarmer tyder på at forbrenningen stort sett skjer veldig rent. Utslipp av hydrokarboner skjer mest ved oppstart og avstengning av brenneren. NO_x-utslippet er lav i forhold til utslippet av en dieselbil i bykjøring.

Summary

Emission from vehicles with Euro 6/VI technology. Results from the measurement program in EMIROAD 2015

TØI Report 1506/2016

Authors: Christian Weber and Astrid H. Amundsen

Oslo 2016 54 pages Norwegian language

This report presents findings from the measurement program EMIROAD (EMISSIONS from ROAD transport vehicles), which is a cooperation of TØI and the Norwegian Public Roads Administration. The program focuses on exhaust emissions from modern passenger cars and heavy duty vehicles.

In the EMIROAD measurement program vehicles are tested in the laboratory by applying test-cycles which represent real traffic, and conditions that to most possible extent correspond to the actual use of the vehicle. For example, the program investigates "local emission factors" which include nitrogen oxides (NO_x) and particulate matter (PM). Furthermore, the emission of greenhouse gases (CO₂ in particular) is investigated.

The new results widely confirm earlier findings, which showed that heavy duty vehicles with Euro VI-engines have low emissions of NO_x in real traffic situations, while diesel-fueled Euro 6-passenger cars have high emissions compared to the emission limits in the emission legislation. This report also presents remarkable results for modern gasoline-fueled personal cars with direct-injection technology, exhibiting high emissions of NO_x in the laboratory tests.

Low values for local emission factors of city buses

The emission limits for vehicles are regulated in the EU-directives. For cars, the Euro-classes "Euro 1-6" are defined, where Euro 6 is the strictest. For the engines of heavy duty vehicles, the Euro-classes are defined in "Euro I-VI", where Euro VI is the strictest. Historically, the Euro-classes were sharpened about every 5th year. These regulations also apply to the Norwegian market. The EMIROAD-project focuses on documenting how much the real-world emissions will be reduced during the ongoing shift from Euro 5 to Euro 6 for passenger cars, and from Euro V to Euro VI for heavy duty vehicles.

For the measurements presented in this report, emissions from 5 city buses with Euro VI-diesel engines were recorded. One of the buses had a hybrid drivetrain. The buses were driven in an emission laboratory with simulated driving cycles that correspond to real-world use patterns for city-buses. All measurements for the buses were carried out at about 23 °C.

As shown in earlier measurements (Hagman & Amundsen 2013a; Hagman & Amundsen 2013b; Weber et al. 2015; Hagman et al. 2015), the current measurements show low emissions of NO_x and PM from the buses with Euro VI-engines, when compared to typical values for city-buses with Euro V-engines. The average values for the emission factors are shown as numbers and scaled clouds in Figure S 1.

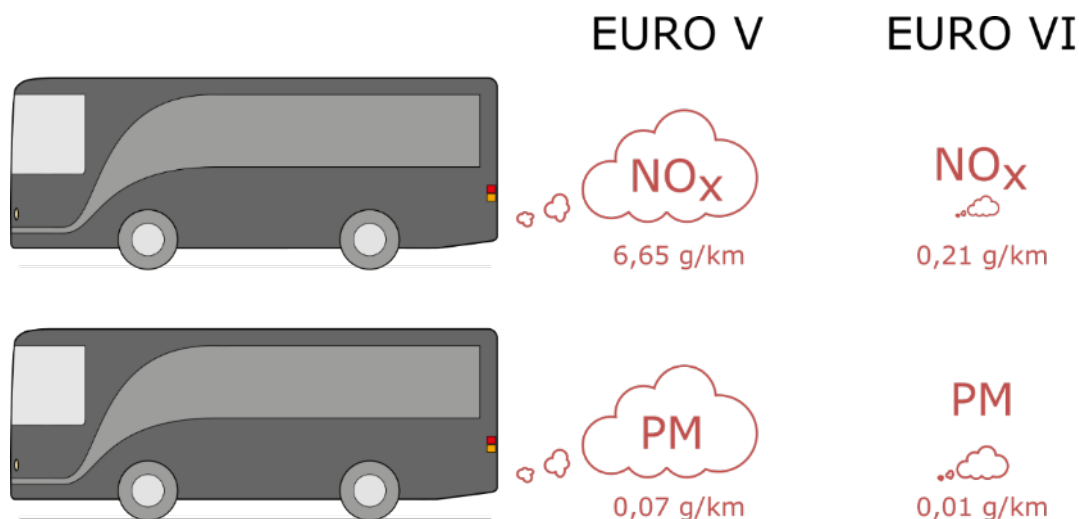


Figure S 1: Average emission values for NO_x and particulate matter (PM), measured in g/km. The measurements were conducted at around +23 °C for 11 buses with Euro VI-diesel engines, driving the Braunschweig city-cycle. The results are compared to typical values for city-buses with Euro V-diesel engines. The size of the clouds for the Euro VI-average are scaled in relation to the emission factor from the Euro V-class.

Cars

This report presents emission measurements for 4 new passenger cars: 2 models from 2 different manufacturers, with diesel- and gasoline engines, respectively. The emission measurements were conducted at +23 °C and -7 °C.

Warm-start of the engine

While emissions of PM are low for diesel-fueled cars in tests with warm-start of the engine, are emissions of NO_x high, especially in cold conditions (-7 °C). The gasoline-fueled cars with gasoline direct injection (GDI) technology show low values for all emission factors, however, surprisingly high values for NO_x are observed. Since only a few GDI-cars have been tested yet, it is too early to conclude on the emission characteristics of the technology. The measurement program will however follow the future developments of GDI vehicles.

The measurements continue to display a big difference between the CO₂-emission that is stated in the type-approval cycle (NEDC) and the emission that occurs in more realistic driving cycles – especially in cold conditions (see Figure S 2).

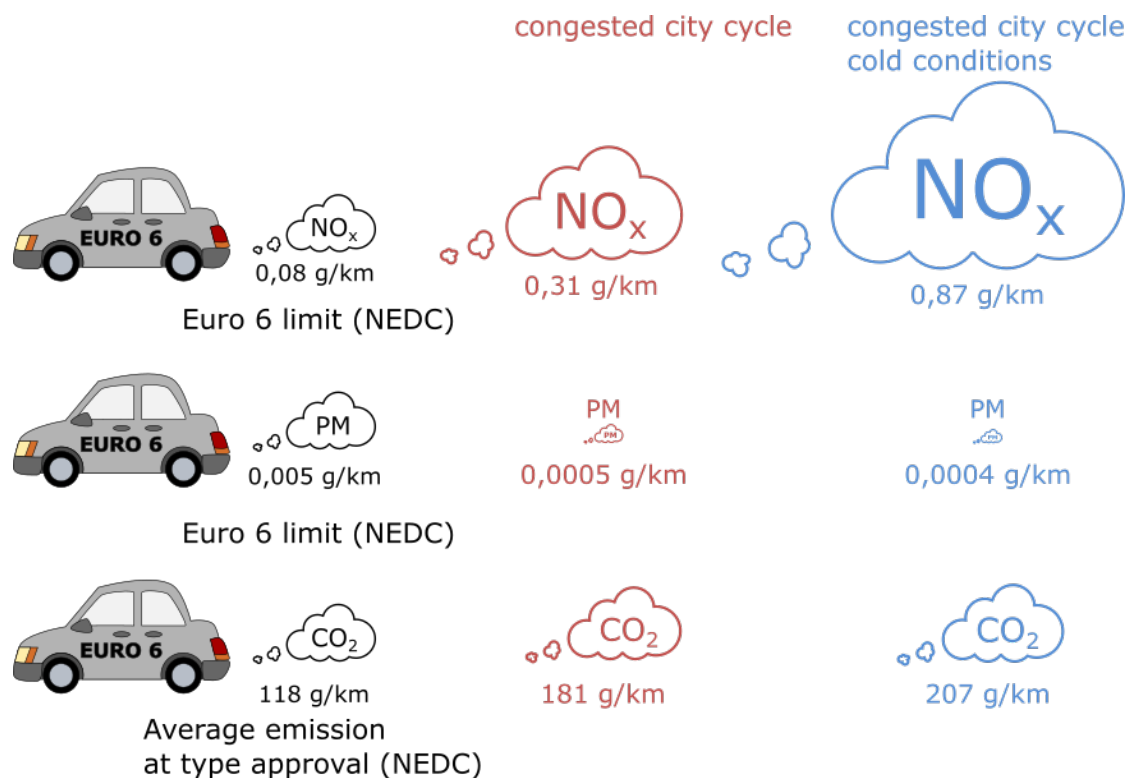


Figure S 2: Comparison of the limit values for NO_x and PM, and the average CO₂ emission that are reported in the Euro 6-type approval (black clouds) to the respective average emission measured in more realistic congested city cycles for the 7 Euro 6-approved diesel cars tested to far. The red- and blue clouds represent the average of results from measurements at 23 °C and -7 °C, respectively. The size of the colored clouds is scaled relatively to the NEDC-values.

Cold-start of the engine

In this round of measurements, also emissions during cold-starts of the engine were investigated. Also here, the diesel-fueled cars showed low values for all local emission factors – with the exception of NO_x. During cold-starts in cold conditions (-7 °C), NO_x-emissions were measured to be up to 18 times as high as the limit value in the type-approval directive.

The two gasoline-fueled cars with GDI-technology had low emission values for cold-starts at 23 °C. At lower temperatures, however, high emissions of PM, PN (particulate number), NO_x, CO (carbon monoxide) and THC (hydrocarbons) were observed. Especially the emission of PM and PN were high, with emission values up to 8.6 and 4.1 times as high as the limit value in the type-approval directive, respectively. These measurements present the findings for only 2 cars. It is therefore too early to conclude over drawbacks of the GDI-technology. However, the measurement program will follow the future developments. The EU commission is aware of the problem, and from 2017 the limit value for PN-emission of cars with GDI-technology will be revised.

Nearly all of the PM-emissions during cold-starts occur during the first kilometers of the driving cycle. This is shown in Figure S 3, where the measurement results for PM in the NEDC driving cycle are divided into 3 categories. It is obvious that the first 2 km produce the largest part of the emission. As soon as the engine and the emission after-treatment systems have warmed up, the emissions are low (after about 2 km).

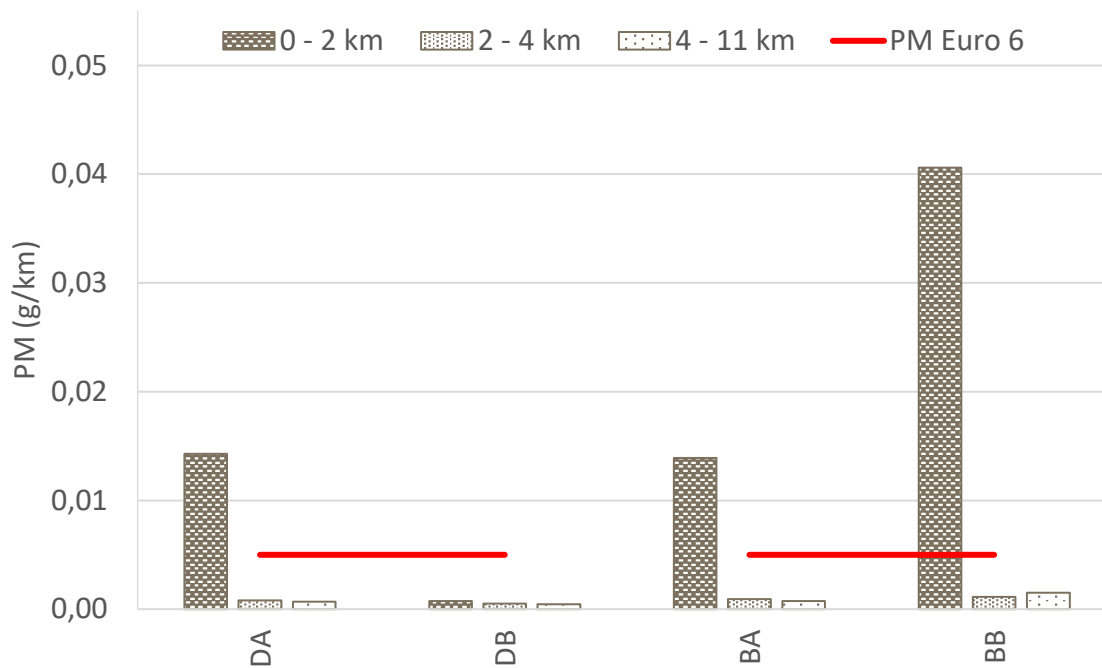


Figure S 3: PM-emission in g/km for the tested diesel-fueled cars (DA, DB) and gasoline fueled cars (BA, BB) after cold-start of the engine in the NEDC-cycle at -7 °C. The pillars show the emission for the first 2 km, 2 to 4 km and 4 to 11 km, respectively. The red line marks the limit value in the type-approval.

Follow-up of the "Diesel-scandal"

After it became public in autumn 2015 that Volkswagen cheated in the type-approval tests, by employing an illegal software ("defeat device") that manipulates emissions in some of their engine control software versions, several countries started detailed measurement programs to investigate if also other manufacturers broke the laws. The measurements of several institutions show that many manufacturers choose exhaust after-treatment strategies that satisfy the emission limits in the type-approval cycle, but fail in real traffic and daily use of the vehicle. Certain brands chose to stop the after-treatment when the outside temperature lies below the temperature band that is defined in the type-approval test. Their justification bases on the reasoning that the after-treatment has to be paused or reduced in order to protect the engine – which the regulation allows in extreme conditions, e.g. during startup or in order to prevent overheating, however is not allowed in the everyday use of the vehicle. Figure S 4 shows that Volkswagens cars with "defeat device" perform quite similar as the cars of other manufacturers, when looking at the NO_x-emission in real traffic.

These findings call for a thorough definition of "normal use" in the type-approval directive, and whether it could be possible to introduce not-to-exceed-values that should not be exceeded in any driving condition.

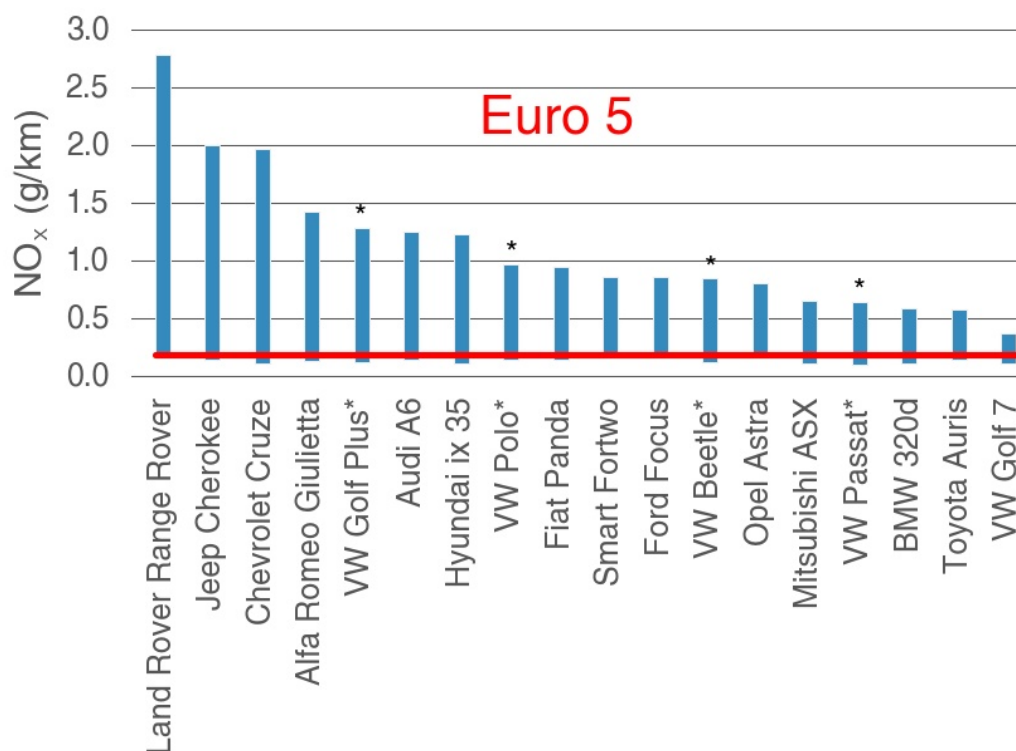


Figure S 4: Overview over results of laboratory- and road measurements of Euro 5-cars, conducted by German Kraftfahrt Bundesamt (KBA). The vehicles are sorted by the highest emission of NO_x. The lower end of each pillar shows the result of a measurement in the type-approval cycle (NEDC) in the laboratory, whereas the higher end is measured in a cycle that is more representative for real traffic. The cars marked with '*' are Volkswagen cars with a "defeat device". The red line marks the limit value in the type-approval. Data from KBA (BMVI 2016).

International study of light- and heavy duty vehicles

In an upcoming report, IEAs (International Energy Agency) collaboration program for the introduction of advanced motor fuels (Advanced Motor Fuels Implementing Agreement) examined different combinations of vehicles and fuels, with special focus on energy efficiency and emission of CO₂, NO_x and PM. EMIROAD contributed to the study by financing one of the tests. The study concludes that it is more the type-approval class than the type of fuel that determines the amount of local emissions of NO_x and PM. Regarding greenhouse gasses, the report clearly states that gas engines fueled by natural gas from fossil sources do not result in savings of CO₂-emission in a well-to-wheel (WTW) perspective. Some types of regenerative fuels (e.g. biogas from organic waste, renewable diesel from used cooking oil) are found to have a big potential to reduce CO₂-emissions.

Electric vehicles are the most energy efficient and give the largest savings in WTW CO₂-emissions, given that the electric power is produced from renewable sources.

Emission measurements for diesel-fueled heaters – preliminary results

In this measurement period, the possibility of measuring exhaust gasses of diesel-fueled heaters for cars was examined. This type of warmers can be found in many new cars that are sold in the Norwegian market. The preliminary results hint at clean combustion, only

during startup and shutdown are there noteworthy emissions of hydrocarbons. The emission of NO_x seems to be low compared to the NO_x-emission of diesel cars in city traffic.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Siden 2011 har Transportøkonomisk institutt (TØI) med finansiering fra Statens vegvesen, Vegdirektoratet undersøkt i hvilken grad, og hva som er grunnen til at, vegtrafikken bidrar til høye utslipp av avgasser med lokale forurensningseffekter. Siden 2013 har måleprosjektet vært finansiert av Statens vegvesens FoU-program EMIROAD (EMISSIONS FROM ROAD TRANSPORT VEHICLES).

En av målsettingene i EMIROAD er å utvikle ny kunnskap om utslipp fra lette og tunge kjøretøy i virkelig trafikk. Fokuset er blant annet rettet mot kjøring i bytrafikk og ved vintertemperaturer, da dette gir spesielt høye utslipp og utfordringer med dårlig luftkvalitet i norske byer. En ting er å forstå årsakene, men enda viktigere er å se hvor store utslippene er fra dagens og fremtidens nye kjøretøy.

Nye lette kjøretøymodeller må klare de nye Euro 6-utslippskravene og nye tunge kjøretøy må klare kravene til Euro VI-motorer. Spørsmålet har vært om de nye utslippskravene medfører at lette- og tunge kjøretøy i virkelige trafikksituasjoner vil slippe ut så små mengder av lokalt helseskadelige avgasskomponenter at nasjonale og internasjonale krav til luftkvalitet vil kunne oppfylles i fremtiden.

I hvilken grad bør myndighetene legge til grunn utslippsverdiene fra typegodkjenningen av biler og motorer (Euro 6 og Euro VI) når satsene for bompenger/vegprising, avgifter og eventuell begrenset adkomst til byer skal besluttes? Det er sentralt for oppnåelsen av dagens og fremtidens samfunns mål at det foreligger aktuell og relevant kunnskap som bidrar til å dimensjonere tiltak riktig. Samtidig må myndighetene sørge for høyest mulig grad av presis og rettferdig fordeling av ulike tiltak.

Denne rapporten formidler måleresultater fra 2015 og starten av 2016. Fokuset har i tillegg (til bykjøring og kulde) vært på utslipp ved kaldstart i kulde. Prosjektet har også bidratt med måledata til et internasjonalt samarbeidsprosjekt om utslipp fra tunge kjøretøy. Resultater fra dette samarbeidet er inkludert i rapporten. I kjølvannet av oppdagelsen av ulovlig programvare i Volkswagens personbiler har det vært flere diskusjoner om testing og manipulering av de offisielle avgasstestene som ligger til grunn for typegodkjenning av kjøretøyer, og det er inkludert noen kommentarer rundt dette temaet i rapporten.

1.2 Typegodkjenning av kjøretøy

Alle nye bilmodeller og motortyper til tunge kjøretøy skal typegodkjennes, og i Norge gjøres dette etter EUs direktiver som følge av EØS avtalen. Euro-kravene angir hvor store utslipp av spesifiserte avgasskomponenter nye personbiler og nye motorer til tunge kjøretøy maksimalt kan ha for å bli godkjent for salg i EUs medlemsland. Eurokravene benevnes som Euro 1-6 for personbiler, hvorav Euro 6 er det strengeste, og Euro I-VI for tunge biler, hvorav Euro VI er det strengeste. Kravene er obligatoriske, det vil si at etter angitt år skal alle nye kjøretøy som selges klare kravene, og de er tatt inn i forskrift om tekniske krav og godkjenning av kjøretøy, deler og utstyr (bilforskriften) som er hjemlet i

Vegtrafikkloven. Eurokravene skjerpes omtrent hvert 5. år. EMIROAD prosjektet fokuserer på å dokumentere hvor mye utslippene reduseres ved den pågående overgangen fra Euro 5 til Euro 6 for personbiler og fra Euro V til Euro VI for tunge biler.

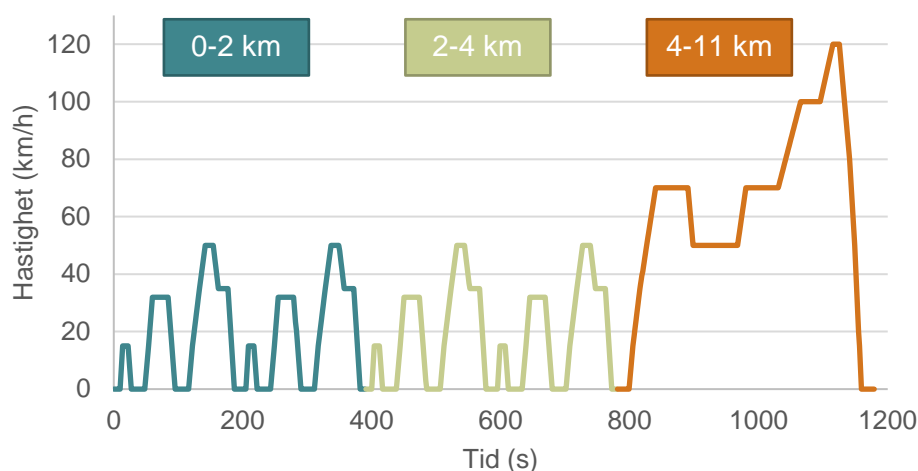
Avgassutslippene skal ved typegodkjenning måles i et avgasslaboratorium under kjøring av en nøye spesifisert repeterbar kjøresyklus for personbiler, og en spesifisert varierende motorbelastning for motorer (inkludert utstyr for avgassrensing) til tunge kjøretøy (se kapittel 2.1). Avgassene samles i begge tilfelle inn og mengden av ulike typer gasser og partikler analyseres etter avsluttet kjøring av kjøresyklus.

For å bli typegodkjente må nye kjøretøy og nye motorer tilfredsstille de til enhver tid gjeldende krav. Ved typegodkjenning må kjøretøyene og motorene gjennom et tilstrekkelig antall avgasstester til at utslippene under de gitte forutsetninger blir statistisk sikre. I tillegg er bilprodusentene pliktig å sørge for at biler som selges har utslipp som er i samsvar med lovkravene. Dersom det gjennom stikkprøvetester oppdages at en bilmodell har for høye utslipp, kan bilprodusenten bli pålagt å utbedre samtlige biler som er solgt.

Selv om kjøretøyene tilfredsstiller de stadig strengere typegodkjenningstestene, har utslippet i virkelig trafikk i mange tilfeller ikke blitt redusert i forventet omfang. Dette gjelder særlig for utslippet av NO_x, ved kjøring i typisk bytrafikk, og når det er kaldt ute (Franco et al. 2014; Hagman and Amundsen 2013a, 2013b; Hagman et al. 2015a). Dette skyldes blant annet at typegodkjenningstestene har en forholdsvis "snill" kjøresyklus med lave akselerasjonsnivåer, og at kjøretøyene testes ved 23 °C.

For tunge kjøretøy (over 3,5 tonn) er det motorene og avgassrenseutstyret og ikke selve kjøretøyet som skal klare de til enhver tid gjeldende euro kravene. Euro kravene for motorer til tunge kjøretøy blir oppgitt som gram utslipp av NO_x, PM, HC, CO og CH₄ per levert energienhet fra motoren (målt i kWh) samt et krav knyttet til antall partikler per energienhet.

For lette kjøretøy er det selve bilene som blir testet ved kjøring av en standardisert kjøresyklus (som for tiden er NEDC, New European Driving Cycle, se Figur 1), og tillatte utslipp er oppgitt i gram NO_x, PM, HC, CO per km, samt et krav knyttet til antall partikler per km.



Figur 1: Hastighetsprofil for New European Driving Cycle, NEDC (European Parliament 2007). NEDC er kjøresyklusen som brukes ved typegodkjenning og avgasstesting av nye lette kjøretøy. Syklusen er delt opp i 3 kategorier, som vises som forskjellige farger i figuren.

I avgasstestene som er utført av TØIs samarbeidspartner, det finske forskningsinstituttet VTT, ble det brukt betingelser og kjøresykluser som langt på veg er typiske for bruksområdene, se kapittel 2.1. Det vil si at testene er utført under betingelser som er ment å skulle fange opp kjøremønsteret i store norske byer, med kø- og bykjøring, samt i kulde. I tillegg brukes NEDC og andre kjøresykluser til å gi ny informasjon om uregulerte utslipp, og for å avsløre eventuelle ukjente egenskaper hos de nye motorene og avgassrensningssystemene.

1.3 Erfaring fra testing av Euro 6/VI-kjøretøy i 2013-14

TØI har sammen med VTT utført målinger av flere Euro 6/VI-kjøretøy i perioden 2013-14. Målingene ble utført ved VTTs avgasslaboratorium i Finland.

For de tunge dieselskjøretøyene med Euro VI-teknologi var resultatene oppløftende. Målingene viste at det fins teknologiske løsninger som gjør det mulig å produsere kjøretøy som har lave utslipp av PM og NO_x også i virkelig trafikk (Hagman and Amundsen 2013a, 2013b; Hagman et al. 2015a; Weber et al. 2015).

De testede Euro 6-dieselpersonbiler viste noe reduksjon av NO_x-utslippet ved 23 °C sammenlignet med Euro 5-dieselpersonbiler, men i virkelig trafikk lå utslippene fortsatt langt over godkjeningsverdien (Hagman et al. 2015). I kulde var reelt utslipp opp mot 25 ganger over godkjeningsverdien for NO_x. De testede personbilene med bensinmotor hadde knapt målbare utslipp av NO_x. Alle de testede kjøretøyene hadde minimale utslipp av partikler og andre regulerte utslippsfaktorer.

1.4 Prosjektets formål

Formålet med dette prosjektet er å måle utslippet fra flere kjøretøy for å få mer kunnskap om variasjonen i utslipp mellom kjøretøyer og fabrikanter. Alle kjøretøyene som ble testet oppfylte Euro 6/VI kravene i typegodkjenningstesten. Fokuset i utslippsmålingene har vært på kuldeegenskaper, bykjøring og utslipp av nitrogenoksider (NO_x), partikler (PM) og CO₂ (samt CO og THC). Målet er å finne ut hvor mye disse kjøretøyene slipper ut under kjøring i tilnærmet virkelig trafikk. I denne testrunden har fokuset i tillegg vært på utslipp ved kaldstart av motoren i kulde, og utslipp fra tilleggsvarmere som installeres i dieselpersonbiler i Norge for å gi tilstrekkelig kupevarme. For personbiler har det i tillegg til PM også blitt målt PN (antallet partikler). Personbilene testes under forhold som er tilnærmet lik bytrafikk (se kapittel 2.1.2). Tunge kjøretøy testes i testbetingelser som best mulig skal illustrere faktisk bruk av kjøretøyet (se kapittel 2.1.1).

Målet er å gi myndighetene et best mulig beslutningsgrunnlag for å vurdere behovet for og effekten av miljøteknologiske tiltak som kan redusere utslippet fra kjøretøyparken.

Følgende kjøretøy ble testet, se også Tabell 2 og Tabell 3:

- 4 Euro VI-bybusser, diesel
- 1 Euro VI-bybuss, dieselhybrid
- 2 Euro 6-personbiler, bensin
- 2 Euro 6-personbiler, diesel

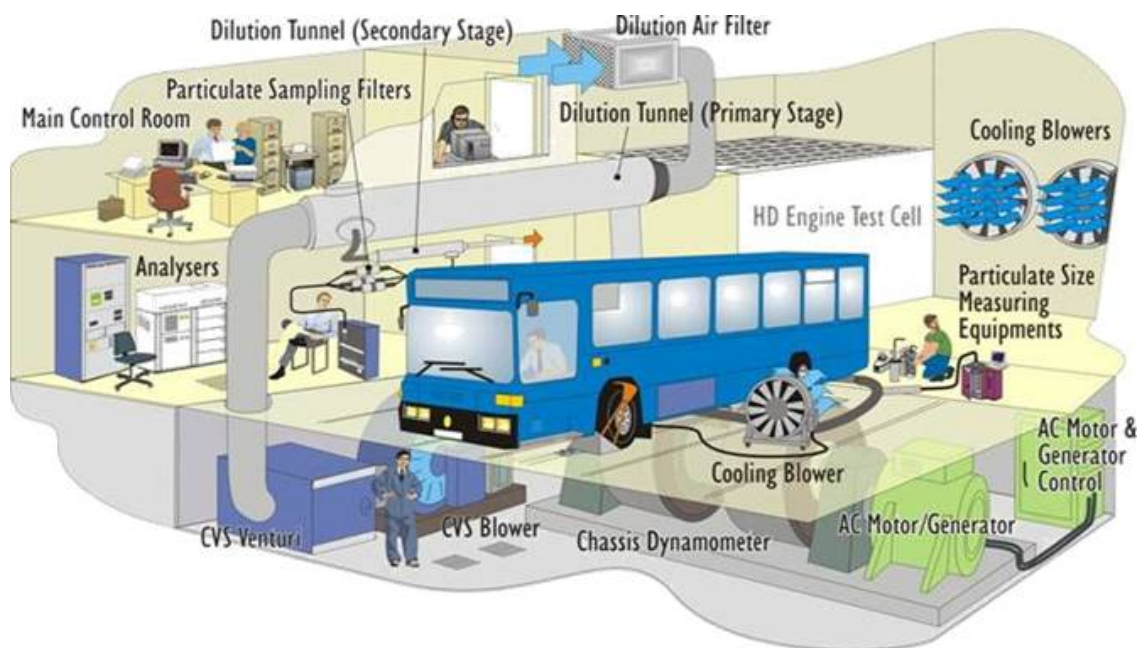
2 Metode

Avgassmålingene i 2015 ble utført ved VTT's avgasslaboratoriet i Helsinki, Finland. Kjøretøyene er kostnadsfritt stilt til disposisjon av importørene i Finland og i noen tilfeller av kjøretøyprodusentene. Alle testede kjøretøy er serieprodusert, det vil si at de er tilgjengelige på markedet, og ikke kun prototyper eller kjøretøy laget spesielt for testing.

I analysene av avgassmålingene er det ikke fokus på kjøretøymerker, kjøretøymodeller eller motorer, men på Euro 6/VI-teknologi og mulighetene for redusert avgassutslipp i virkelig trafikk. Kjøretøysmerke og modell er derfor anonymisert.

Figur 2 viser en oversikt over VTT's avgasslaboratorium for tunge kjøretøy. Bildet viser en buss som blir testet på dynamometeret: Bakakselen til bussen står på to store ruller. Sammen med en elektrisk motor/generator sørger disse rullene for at bussen må jobbe mot en realistisk kjøremotstand, som bl.a. omfatter kjøretøyets luftmotstand. Bildet viser også fortynningsanlegget ("dilution tunnel"), som sørger for at eksosgassene kan bli målt representativt i en luftstrøm av konstant volum ("constant volume sampling", CVS).

Anlegget som brukes til å teste lette kjøretøy fungerer i prinsippet likt. Hovedforskjellen er at kjøretøyet befinner seg i et klimakammer, som gjør det mulig å velge omgivelsestemperaturen under testen.

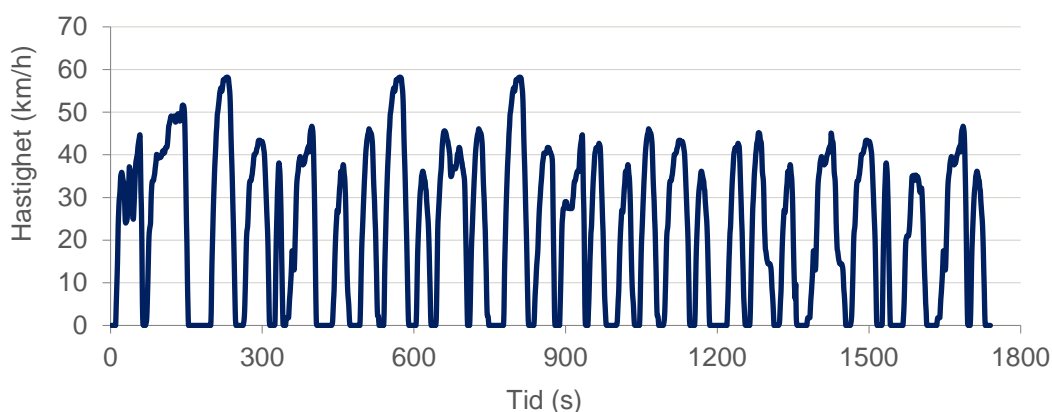


Figur 2: Oversikt over avgasslaboratoriet. CVS står for "constant volume sampling", en metode der eksosgassen blir fortynnet i en måte at man alltid måler samme mengde gass. Kilde: VTT.

2.1 Kjøretykluser

2.1.1 Kjøretyklus for bybusser

Bussene ble testet på dynamometer med "Braunschweig" kjøretyklus, som vises i Figur 3. Nøkkeltall for syklusen vises i Tabell 1. Kjøretyklusen gjenspeiler typisk kjøremønster for bybusser i virkelig trafikk. Syklusen ble kjørt med halv last i bussen, og med varmstart av motoren. Alle målinger er gjennomført ved en temperatur på 23 °C. Bybussene blir testet med eget sett av dekk, for å kunne sørge for sammenlignbar rullemotstand. Innstillingene for dynamometeret, som sørger for at kjøretøyet må overvinne realistisk kjøremotstand (for å simulere luft- og rullemotstanden som kjøretøyet må overvinne i virkelig trafikk), ble hentet fra VTI's modell for bestemmelse av "road load" for tunge kjøretøy.



Figur 3: Braunschweig kjøretyklus for tunge kjøretøy (Nylund & Erkkilä 2007). Kjøretyklusen gjenspeiler typisk kjøremønster for bybusser i virkelig trafikk.

I motsetning til de lette kjøretøyene, ble de tunge kjøretøyene ikke testet ved -7 °C. Årsaken til dette er at det vanskelig lar seg gjøre å kjøle ned et avgasslaboratorium for tunge kjøretøy til en konstant lav temperatur, blant annet grunnet den kraftige varmeproduksjonen fra tunge kjøretøy under uttesting.

Bussene er testet ved varmstart av motoren. Særlig når det gjelder bybusser utgjør kaldstart i vinterstid en mindre andel av det totale utslippet, i og med at bussene ofte går i mer eller mindre kontinuerlig drift hele dagen.

EMIROAD har støttet et finsk prosjekt der mobilt måleutstyr har blitt anvendt til å måle avgassutslipp i virkelig trafikk under kalde forhold. Resultatene vil bli presentert i en egen rapport.

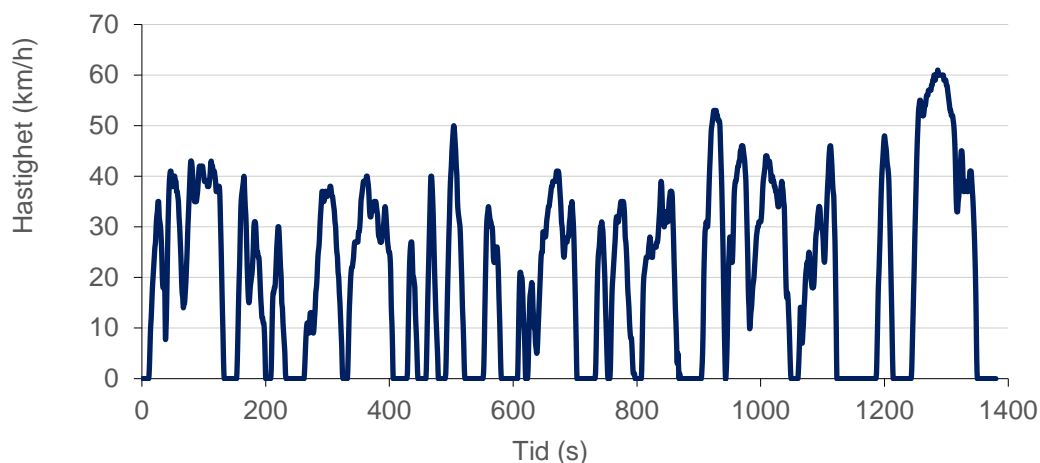
2.1.2 Kjøretyklus for personbiler

Personbilene ble testet i "Helsinki congested city cycle", som er en kjøretyklus som simulerer virkelig trafikk i en by med mye trafikk. Hastighetsprofilen er vist i Figur 4, og nøkkeltall for syklusen vises i Tabell 1. Bilene er testet slik de er levert på markedet, det vil si med standard dekk og utstyr for øvrig. Innstillingene for dynamometeret, som sørger for at bilen må overkomme realistisk kjøremotstand, ble bestemt som angitt av produsentene, eller ble beregnet i samsvar med regelverket for typegodkjenningen (United Nations 2015).

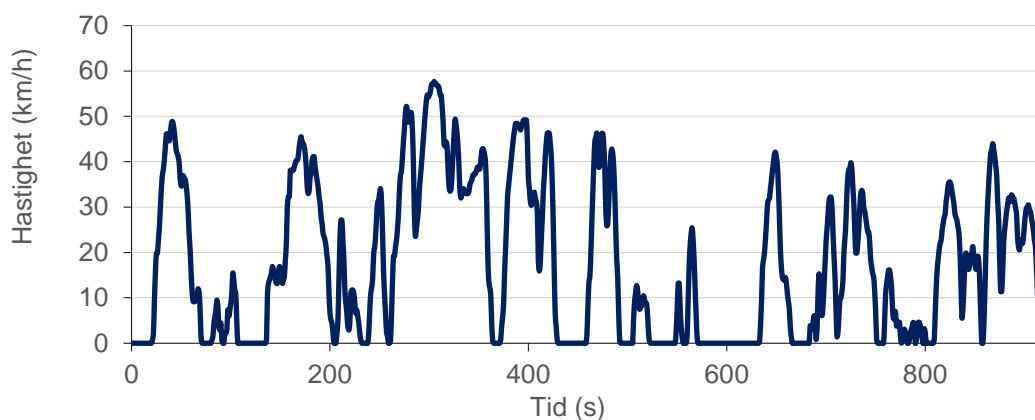
Kjøretøyene ble testet ved 23 °C og i tillegg ved -7 °C, for å få data som i størst mulig grad tilsvarer nordiske vinterforhold. Alle resultater presentert i avsnitt 3.2 er målt med varmstart av motoren.

I tillegg ble personbilene målt med kaldstart av motoren, i Artemis Urban-syklus (avsnitt 3.3). Hastighetsprofilen vises i Figur 5 og nøkkeltall for syklusen vises i Tabell 1. Selv om Artemis Urban også er en kjøresyklus som skal gjenspeile virkelig trafikk i by, har syklusen en annen belastningsprofil enn Helsinki-syklusen som ble brukt i tidligere målinger, og i avsnitt 3.2. Dermed kan resultatene for CO₂-utslippet ikke sammenlignes direkte og må vurderes separat. For alle andre utslippsfaktorer som f.eks. NO_x og PM derimot, er det rensesystemet som er avgjørende for utslippsnivået, slik at en sammenligning blir mindre usikker.

Hensikten med målingene av utslippet ved Artemis Urban-syklusen i stedet for Helsinki-syklusen er at Artemis Urban er mer brukt i Europa og skaper dermed bedre internasjonal sammenlignbarhet. Begge kjøresyklusene er konstruert for å gi mer realistiske måleresultater enn NEDC testsyklusen som brukes i typegodkjenningen.



Figur 4: Helsinki kjøresyklus for personbiler, som gjenspeiler bykjøring med mye trafikk (Nylund & Koponen 2012).



Figur 5: Artemis Urban kjøresyklus for personbiler, som gjenspeiler bykjøring (Barlow et al. 2009).

Tabell 1: Nøkkeltall for kjøresyklusene.

	Kjøretøy	Lengde (m)	Varighet (s)	Hastighet, gjennomsnitt (km/t)	Hastighet, maksimum (km/t)	Andel stopp (%)
NEDC	bil	10931	1180	33	120	23
Helsinki	bil	7807	1380	20	61	30
Artemis Urban	bil	4470	920	18	58	29
Braunschweig	buss	10873	1740	23	58	25

2.2 Testede kjøretøy

2.2.1 Bybuss

Tabell 2 gir en oversikt over tekniske data for bybussene testet i løpet av 2015. Alle bussene har dieselmotorer som er Euro VI-sertifisert. For å kunne sammenligne resultatene med busser som har eldre motorer, er det i tabellen og figurene tatt med gjennomsnittlige verdier for en typisk Euro V-buss (som i tillegg oppfyller EEV¹ spesifikasjonene) fra VITs database over tidligere utslippsmålinger.

For tunge kjøretøy er det motoren med påmontert avgassrenseutstyr som typegodkjennes, ikke hele kjøretøyet. Motorene til tunge kjøretøy brukes i forskjellige typer kjøretøy som produseres i små serier, og det ville medført urimelige kostnader å typegodkjenne alle modeller av tunge kjøretøy (for eksempel en serie på et fåtall kranbiler). Kjøretøyets motorinnstilling blir tilpasset det spesifikke kjøretøyets bruksområde. For eksempel kan en bybuss med mye "start-og-stopp" og en turbuss ha samme motor, men forskjellige motorinnstillinger og belastes på ulike måter. Dette betyr at forskjellige kjøretøy med forskjellige bruksområder, men med samme motortype, kan ha forskjellige utslipp, og dermed ikke uten videre kan sammenlignes direkte.

Tabell 2: Oversikt over tekniske data for bybussene testet i 2015. BBA står for bybuss A, BBB står for bybuss B osv. "Kjørelengde" er lengden bussen har kjørt på veg før testen.

Kjøretøy	Type	Avgasskrav	Årsmodell	Sylinder-volum (l)	Kjørelengde (km)
BBA 3-axle	3-axle	Euro VI	2015	9,3	10 215
BBB 3-axle	3-axle	Euro VI	2013	8,7	86 406
BBC 2-axle	2-axle	Euro VI	2015	7,6	27 083
BBD 2-axle	2-axle	Euro VI	2015	7,7	29 593
BBE 2-axle, hybrid	2-axle	Euro VI	2014	5,1	68 310

¹ «Enhanced environmentally friendly vehicle», en standard som ble innført sammen med Euro III og stiller strengere krav til utslippsnivåene, som stort sett ligger mellom Euro V og Euro VI.

2.2.2 Personbiler

Tabell 3 gir en oversikt over personbiler som er testet i regi av EMIROAD i 2015, to personbiler med diesel- og to med bensinmotor. For å kunne sammenligne utslipp fra nye Euro 6-personbiler med utslipp fra Euro 5-biler, er det inkludert utslippsmålinger fra to typiske Euro 5-personbiler med henholdsvis diesel- og bensinmotor.

Avgassrensingsteknologier i de testede dieselpersonbilene er SCR (selective catalytic reduction) og DPF (diesel particulate filter). Bensinbilene er utstyrt med TWC (three way catalyst). En nærmere forklaring på dette er gitt i ordlisten i kapittel 9.

For å forbedre drivstofføkonomien, ble direkteinnsprøytning først innført i dieselmotorer. Drivstoffet blir ved høyt trykk sprøytet direkte inn i sylindere. Doseringen skjer veldig nøyaktig, med hensikt på mengden og tidspunktet, så det ikke blir overskudd av drivstoff som ikke forbrenner. De siste årene har denne teknologien også blitt overført til bensinmotorer. De to bensinbilene testet i denne rapporten har dermed en GDI-motor (gasoline direct injection).

Tabell 3: Oversikt over testede personbiler i 2015. DA står for diesebil A, BA står for bensinbil A osv. Alle de nye testete kjøretøy har direkteinnsprøytningsteknologi. Grå rader er tidligere målte Euro 5 biler.

Kjøretøy	Årsmodell	Avgasskrav	Drivstoff	Motor-effekt (kW)	Sylinder-volum (l)	Utslipps kontroll	Egenvekt (kg)
DA	2015	Euro 6	Diesel	81	1,5	SCR+ DPF	1500
DB	2015	Euro 6	Diesel	110	2,0	SCR+ DPF	1500
Typ. Euro 5	2012	Euro 5	Diesel	93	2,0	EGR+ DPF	1500
BA	2015	Euro 6	Bensin	85	1,2	TWC	1400
BB	2014	Euro 6	Bensin	81	1,2	TWC	1400
Typ. Euro 5	2012	Euro 5	Bensin	108	1,8	TWC	1450

2.3 Usikkerhet i måleresultatene

For å kunne sammenligne resultatene, antas basert på lang erfaring med utslippsmålinger ved VTT, en 10 % spredning i målte verdier for bybusser og tunge kjøretøy, med unntak for CO₂ der det antas 1 % spredning. Denne spredningen inkluderer tilfeldige variasjoner i målingene på grunn av repeterbarheten ved kjøring av kjøresyklusen, eksperimentelle unøyaktigheter og unøyaktigheter ved måle- og analyseutstyret.

For utslippsmålingene av personbiler er tilsvarende usikkerhet basert på spredning av enkeltmålingene oppgitt som et gjennomsnittlig relativt avvik i måleresultatene. Avviket er 1 % for CO₂, 10 % for NO_x, 25 % for PM, 30 % for PN, 12 % for CO og 14 % for THC. Disse verdiene er tatt i bruk for å evaluere usikkerheten i figurene.

3 Måleresultater

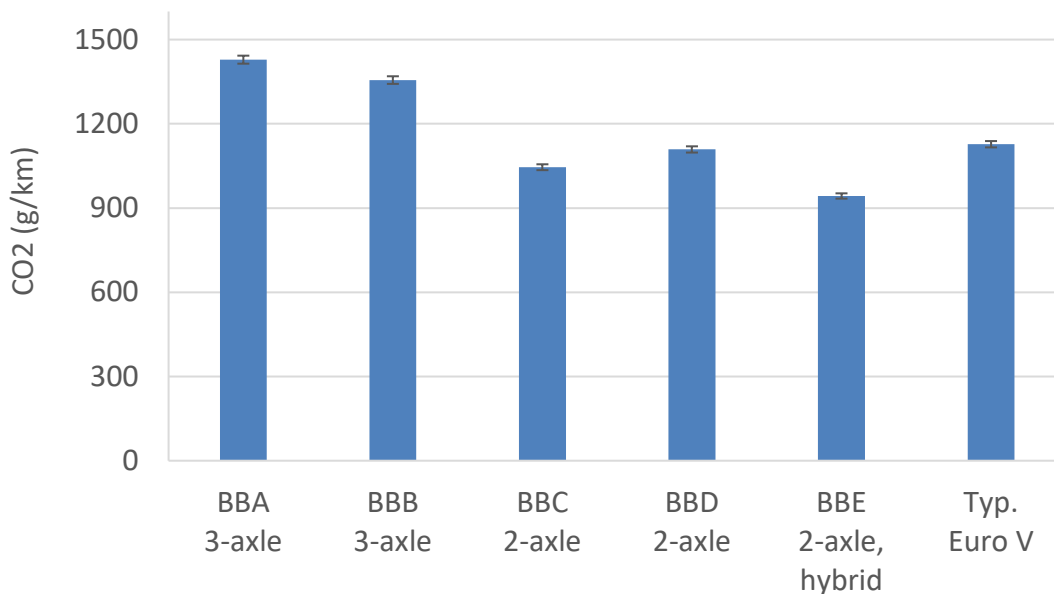
3.1 Resultater bybuss

Her presenteres måleresultatene i forhold til Euro V-motorer som søylediagram. I og med at EMIROAD har målt utslippene fra kjøretøy i g/km mens avgasskravene gjelder for motorens utslipp i g/kWh, kan ikke måleresultatene sammenlignes direkte med typegodkjenningensverdier.

3.1.1 CO₂

Figur 6 viser CO₂-utslippet av bybussene (halv last) med Braunschweig kjøresyklus. Bussene med sammenlignbar lengde (og vekt) har CO₂-utslipp i samme størrelsesorden. Bussen BBE er en hybridbuss som har en elektromotor i tillegg til forbrenningsmotoren. I forhold til bussen med Euro V-motor, har denne bussen 16 % lavere CO₂-utslipp. En kan imidlertid ikke trekke en konklusjon om at busser med Euro VI-motorer generelt har så mye lavere CO₂-utslipp enn Euro 5 busser.

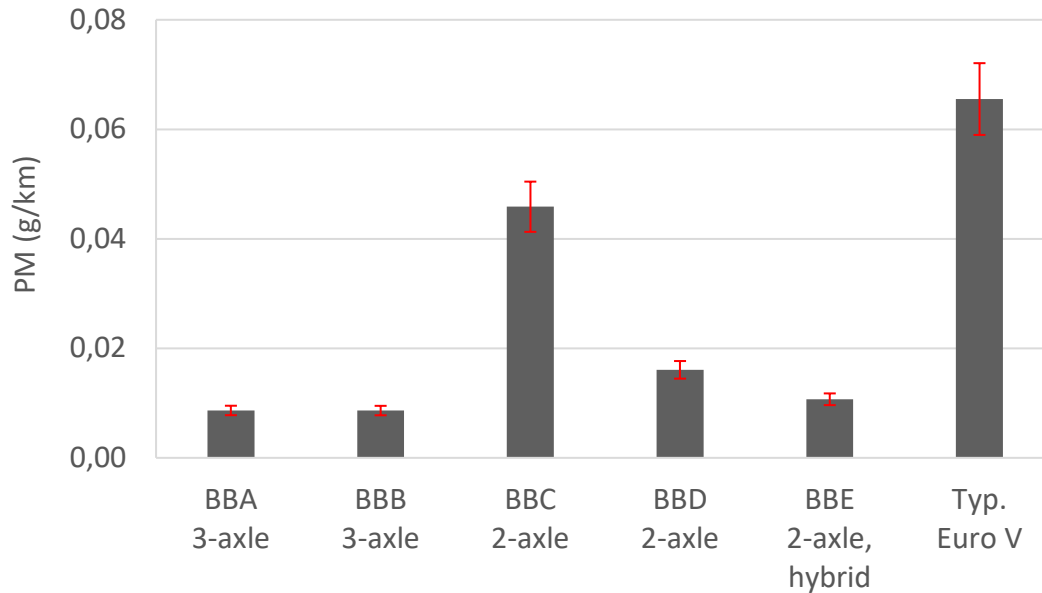
Bussene BBA og BBB er større og tyngre enn referansebussen "Typ. Euro V", og har derfor større CO₂-utslipp.



Figur 6: CO₂-utslipp i g/km for testede bybuss, sammenlignet med typisk verdi for busser med Euro V-motor. Usikkerheten i måleresultatene er på 1 %.

3.1.2 PM

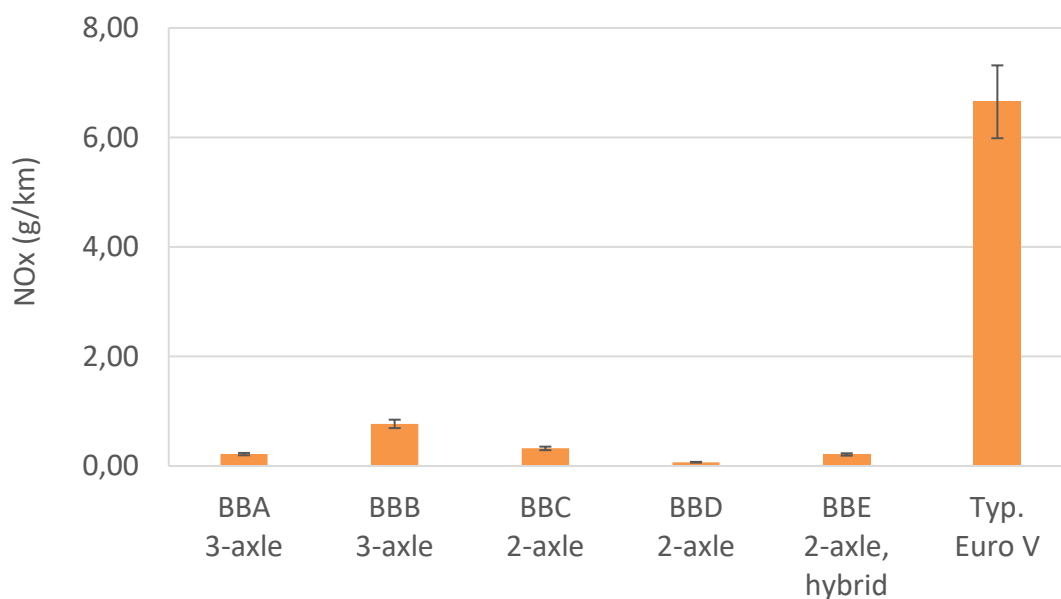
Sammenlignet med en typisk bybuss med Euro V-motor, har bybussene med Euro VI-motorer mye lavere partikkelutslipp fra eksosen (se Figur 7). Høye verdier fra buss BBC kan tyde på at den har ett dårlig fungerende partikkelfilter.



Figur 7: Partikkelutslipp i g/km for testede bybuss med Euro VI-motor, sammenlignet med typisk verdi for busser med Euro V-motor. Usikkerheten i måleresultatene er på 10 %.

3.1.3 NO_x

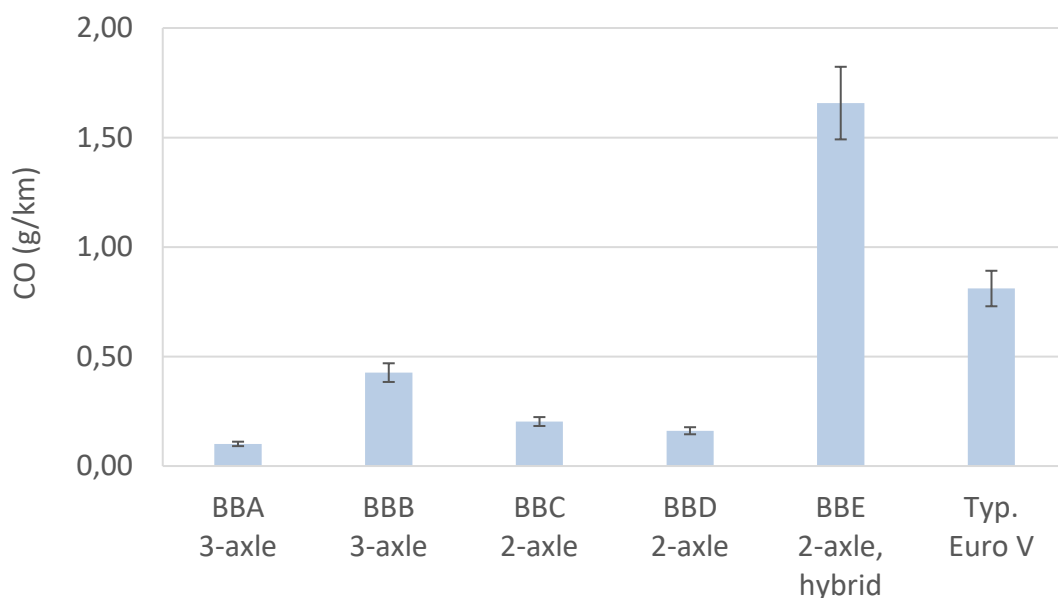
I samsvar med tidligere målinger (se for eksempel Hagman et al. 2015; Weber et al. 2015) har de testede bybussene en stor reduksjon av NO_x-utslipp i forhold til en buss med Euro V-motor, se Figur 8.



Figur 8: NO_x-utslipp i g/km for testede bybusser med Euro VI-motor, sammenlignet med typiske verdi for busser med Euro V-motor. Usikkerheten i måleresultatene er på 10 %.

3.1.4 CO

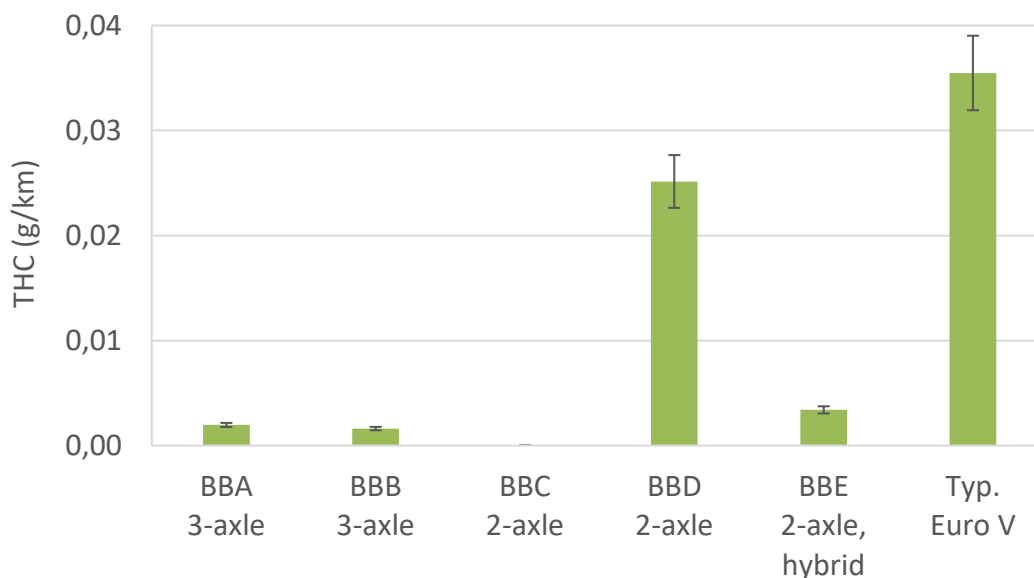
Utslipet av kullor (CO) er lavt for de testete konvensjonelle bussene med Euro VI-motorer (Figur 9). Hybrid-bussen derimot viser relativt høye verdier av CO. Årsaken kan ligge i mange startprosesser for motoren, i og med at motoren typisk stanses når bussen står stille og når hastigheten reduseres.



Figur 9: CO-utslipp i g/km for testede bybusser med Euro VI-motor, sammenlignet med typiske verdi for busser med Euro V-motor. Usikkerheten i måleresultatene er på 10 %.

3.1.5 THC

Utslipp av THC fra bussene med Euro VI-motorer er lave i forhold til en typisk buss med Euro V-motor, se Figur 10. Ett unntak er bussen BBD, som viser relativt høye verdier av THC, men de er allikevel 25 % lavere enn fra bussen med Euro V-motor.



Figur 10: THC-utslipp i g/km for testede bybusser med Euro VI-motor, sammenlignet med typisk verdi for busser med Euro V-motor. Usikkerheten i måleresultatene er på 10 %.

3.2 Resultater personbiler: Varmstart av motoren

I det følgende presenteres resultater av avgassmålinger fra to dieslbiler (DA og DB) og to bensinbiler (BA og BB) ved varmstart av motoren. Disse sammenlignes med tidligere målinger av Euro 5-biler.

Avgassmålingene av de fire testede Euro 6-personbilene ved varmstart av motoren (kapittel 3.2) viser at det er lave avgassutslipp av PM, både for diesel- og bensinbilene. Mens utslippene av NO_x i tidligere målinger var lave for personbilene med bensinmotor, viser de nye testene av bensinbiler med direkteinnsprøytningmotorer også økte verdier av NO_x, selv om de er lavere enn fra dieslbilene.

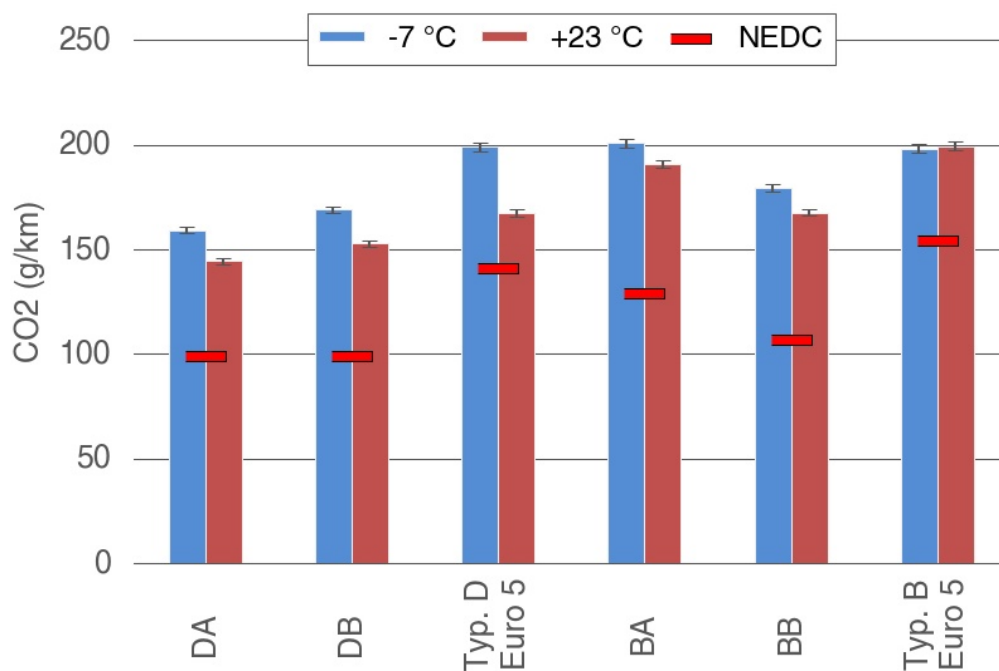
Ved kaldstart av motoren (kapittel 3.3) har dieslbilene lave verdier for alle lokale utslippsfaktorene, bortsett fra NO_x. Når det gjelder bensinbilene, viser resultatene høye utslipp for alle utslippsfaktorene i målinger ved -7 °C – bortsett fra NO_x, som er relativt lavt.

3.2.1 CO₂

CO₂-utslippet fra de testede Euro 6-bilene vises i Figur 11. Resultatene viste en tendens til høye utslipp av CO₂, særlig i kulde.

Figuren inkluderer også CO₂-utslippet fra kjøretøyene slik det er angitt av produsentene (Finish Transport Safety Agency 2015). Disse verdiene er målt ved typegodkjenningen med NEDC kjøresyklus og kaldstart av motoren. I virkelig bytrafikk kan dermed utslippet være

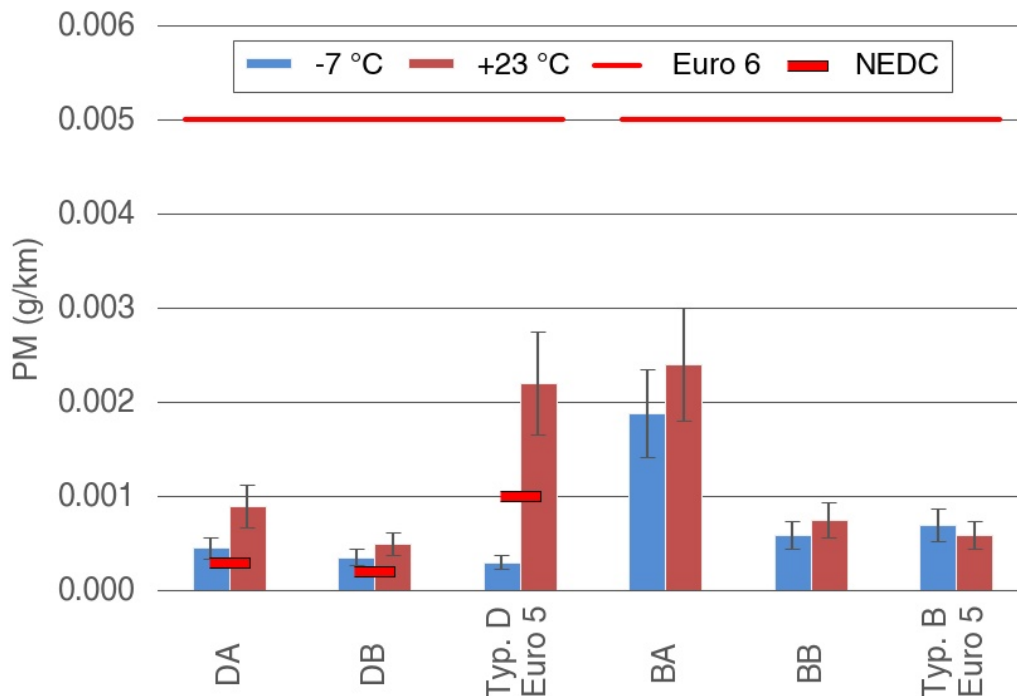
betydelig høyere enn det som kommer frem fra NEDC. For de testete bilene er CO₂-utslippet i Helsinki-syklusen 1,5 til 1,7 ganger høyere enn utslippet i NEDC.



Figur 11: CO₂-utslipp i g/km for testete dieselpersonbiler (DA, DB) og personbiler med bensinmotor (BA, BB) ved varmstart av motoren i Helsinki-syklus. Den røde markeringen viser verdien som angitt av produsentene. Som referanse vises også en typisk Euro 5 personbil med hhv. diesel- og bensinmotor (Typ. D og Typ. B). Usikkerheten i måleresultatene er på 1 %.

3.2.2 PM

Alle testete biler oppfyller Euro 6-kravene for partikkelutslipp med god margin også i bytrafikk og kulde (Figur 12).

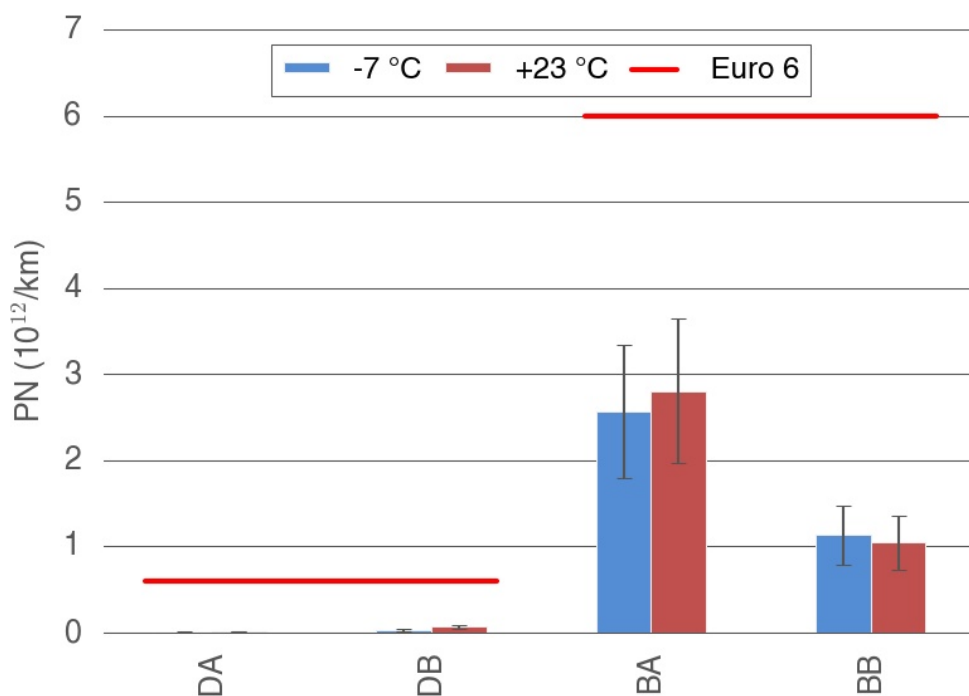


Figur 12: PM-utslipp i g/km for testete dieselpersonbiler (DA, DB) og personbiler med bensinmotor (BA, BB) ved varmstart av motoren i Helsinki-syklus. Den røde markeringen viser verdien som angitt av produsentene. For bensinbiler er det ikke oppgitt verdier for PM. Den røde linjen viser typegodkjenningskravet for Euro 6 (European Parliament 2007). Som referanse vises også en typisk Euro 5-personbil med hhv. diesel- og bensinmotor (Typ. D og Typ. B). Usikkerheten i måleresultatene er estimert til 25 %.

3.2.3 PN

Med innføring av Euro 6-typegodkjenningen ble det også innført en grenseverdi for antallet partikler som en bil med bensinmotor og direkteinnsprøytning (GDI) får lov til å slippe ut under NEDC-testen. Dagens grenseverdi for PN-utslippet fra bensinbiler med direkteinnsprøytning skal fra 2017 reduseres til nivået for dieslbiler, dvs. til $0,6 \cdot 10^{12}$ partikler per km.

Figur 13 viser PN-utslippet for de testete bilene ved -7 og +23 °C. Mens utslippene er svært lave for diesebilene, viser bensinbilene høyere utslippsverdier. Selv om disse ligger godt under dagens grenseverdi på $6 \cdot 10^{12}$ partikler per km, ligger de over grenseverdien som skal innføres i 2017. Diesebilene er utstyrt med partikkelfilter mens bensinbilene som ble testet ikke hadde partikkelfilter.



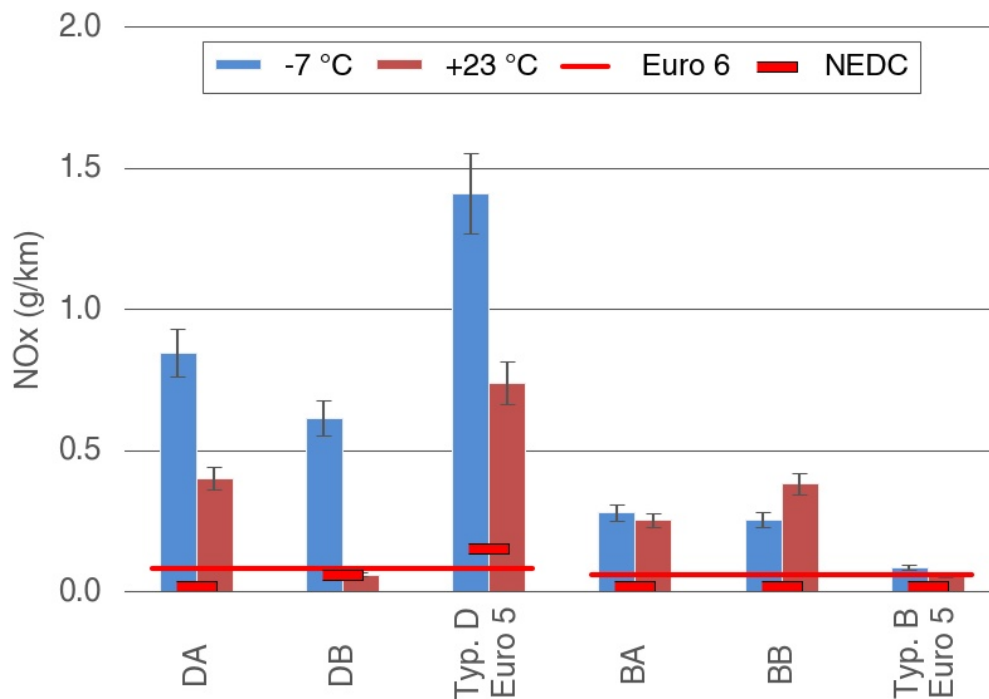
Figur 13: PN-utslipp i antall partikler per km for testede dieselpersonbiler (DA, DB) og personbiler med bensinmotor (BA, BB) ved varmstart av motoren i Helsinki-syklus. Den røde linjen viser typegodkjenningskravet for Euro 6 (European Parliament 2007) som den gjelder i 2015 for biler med dieselmotor eller bensinmotor med direkteinnsprøyting. Usikkerheten i måleresultatene er estimert til 30 %.

3.2.4 NO_x

Som vist i tidligere målinger (Weber et al. 2015; Hagman et al. 2015), har diesebilene høye utslipp av NO_x i virkelig trafikk, og særlig i kulde (Figur 14).

I denne testrunden ble det for første gang målt en Euro 6-diesebil som oppfyller kravene også ved kjøring i Helsinki-syklusen ved 23 °C. I varmt klima ligger NO_x-utslippet av kjøretøy DB altså under grenseverdien, men utslippet er betydelig høyere i kulde.

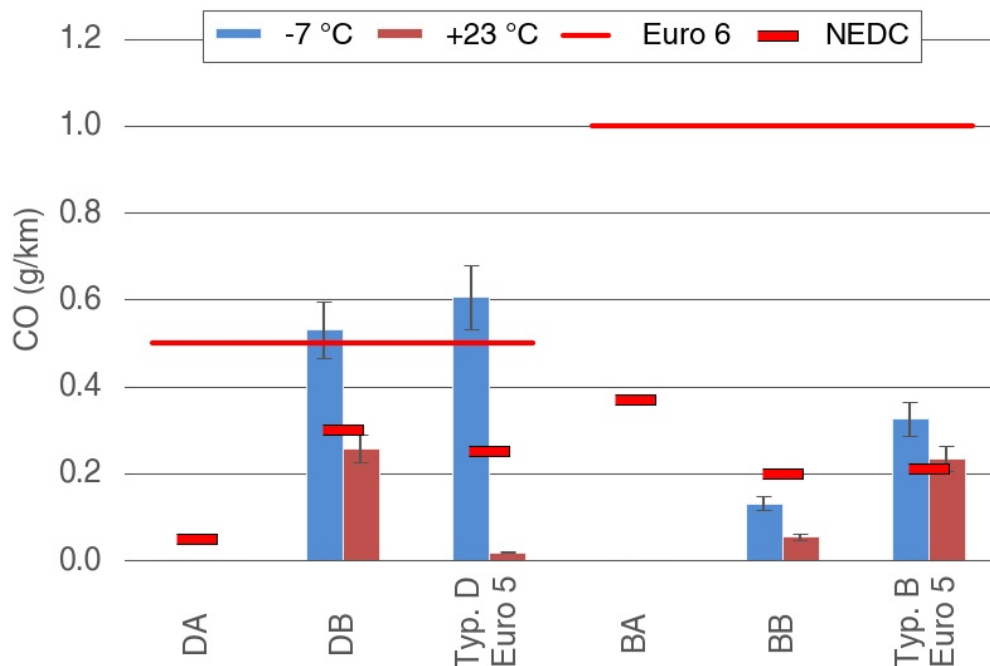
Men målingene viser også en negativ-rekord: For første gang ble det målt NO_x-utslipp over grenseverdiene fra bensinbiler. Selv om NO_x-utslippet er betydelig lavere enn fra de fleste diesebilene, er det allikevel nesten seks ganger så høyt som grenseverdien i Euro 6-typegodkjenningen.



Figur 14: NO_x-utslipp i g/km for testede dieselpersonbiler (DA, DB) og personbiler med bensinmotor (BA, BB) ved varmstart av motoren i Helsinki-syklus. Den røde markeringen viser verdien som angitt av produsentene. Den røde linjen viser typegodkjenningskravet for Euro 6 (European Parliament 2007). Som referanse vises også en typisk Euro 5-personbil med hhv. diesel- og bensinmotor (Typ. D og Typ. B). Usikkerheten i måleresultatene er estimert til 10 %.

3.2.5 CO

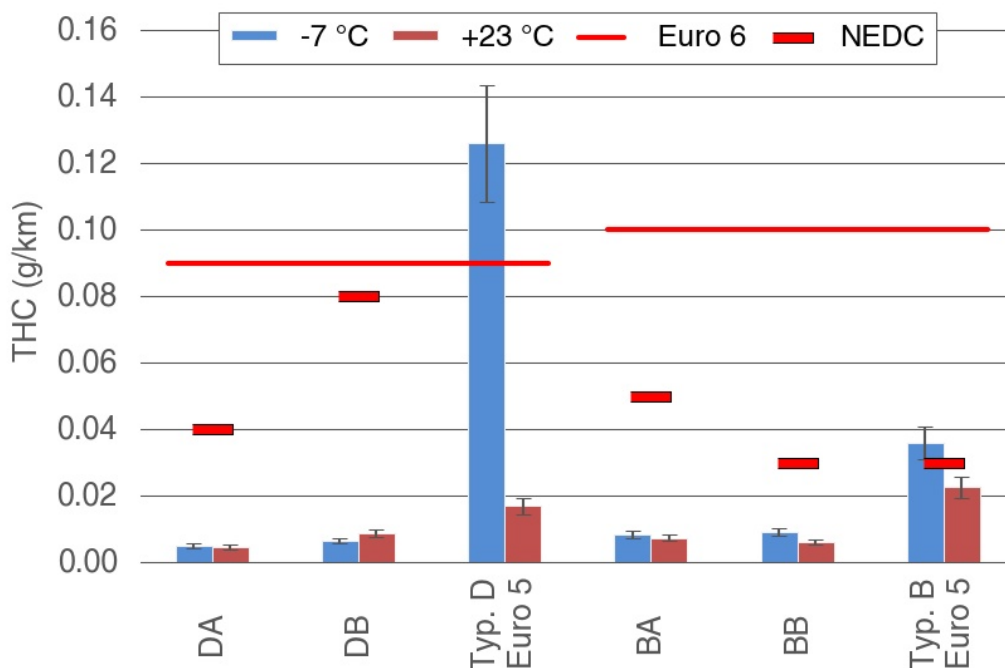
CO-utslippene er lavere enn typegodkjenningskravene også i virkelig trafikk. Det er bare dieselpersonbilen DB som i kulde har utslippsverdier i samme størrelsesorden som grenseverdien for CO, se Figur 15.



Figur 15: CO-utslipp i g/km for testede dieselpersonbiler (DA, DB) og personbiler med bensinmotor (BA, BB) ved varmstart av motoren i Helsinki-syklusen. Den røde markeringen viser verdien som angitt av produsentene. Den røde linjen viser typegodkjenningskravet for Euro 6-normen (European Parliament 2007). Som referanse vises også en typisk Euro 5-personbil med hhv. diesel- og bensinmotor (Typ. D og Typ. B). Usikkerheten i måleresultatene er estimert til 12 %.

3.2.6 THC

Figur 16 viser utslippet av de samlede hydrokarbonene (uforbrente eller delvis forbrente rester av drivstoff). I samsvar med tidligere målinger er THC-utslippene lave også i virkelig trafikk og i kulde (Weber et al. 2015; Hagman et al. 2015).



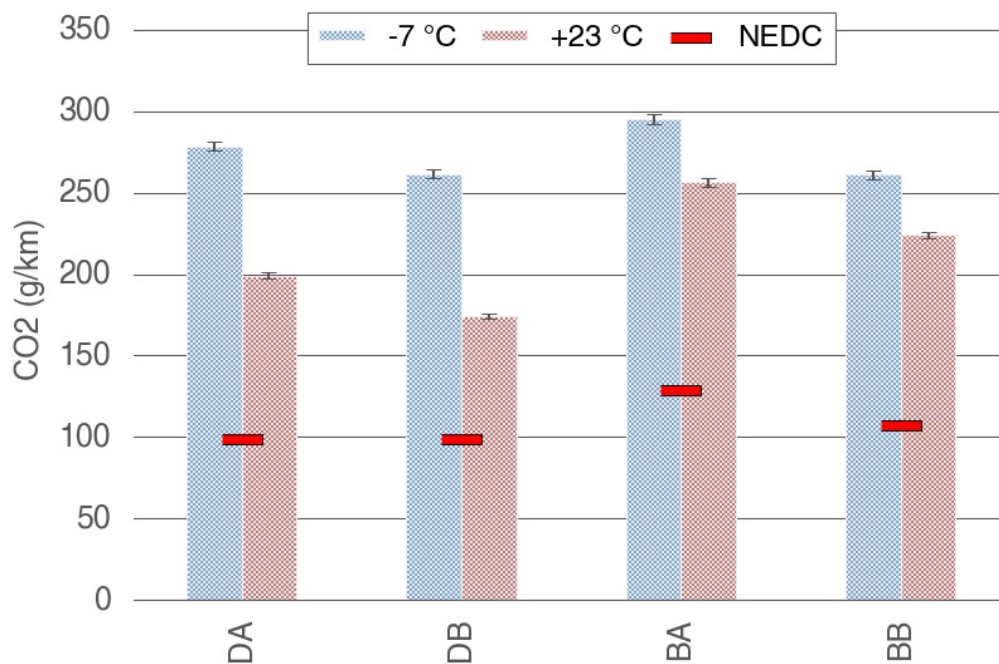
Figur 16: THC-utslipp i g/km for testede dieselpersonbiler (DA, DB) og personbiler med bensinmotor (BA, BB) ved varmstart av motoren i Helsinki-syklus. Den røde markeringen viser verdien som angitt av produsentene. Den røde linjen viser typegodkjenningskravet for Euro 6-normen (European Parliament 2007). Som referanse vises også en typisk Euro 5-personbil med hhv. diesel- og bensinmotor (Typ. D og Typ. B). Usikkerheten i måleresultatene er estimert til 14 %.

3.3 Resultater personbiler: Kaldstart av motoren

3.3.1 CO₂

CO₂-utslippet fra de testede Euro 6-bilene ved kaldstart av motoren i Artemis Urban-syklus vises i Figur 17. I likhet med resultatene ved varmstart (Figur 11), finnes det en tydelig tendens til høye utslipp av CO₂, særlig i kulde.

Figuren inkluderer CO₂-utslippet fra kjøretøyene slik det er angitt av produsentene (Finish Transport Safety Agency, 2015). Disse verdiene er målt ved typegodkjenningen med NEDC-kjøresyklus og kaldstart av motoren. I virkelig bytrafikk kan utslippet dermed være mer enn det dobbelte av hva som er angitt av produsenten. For de testete bilene er CO₂-utslippet i Artemis Urban-syklusen mellom 1,8 og 2,8 ganger høyere enn utslippet i NEDC.



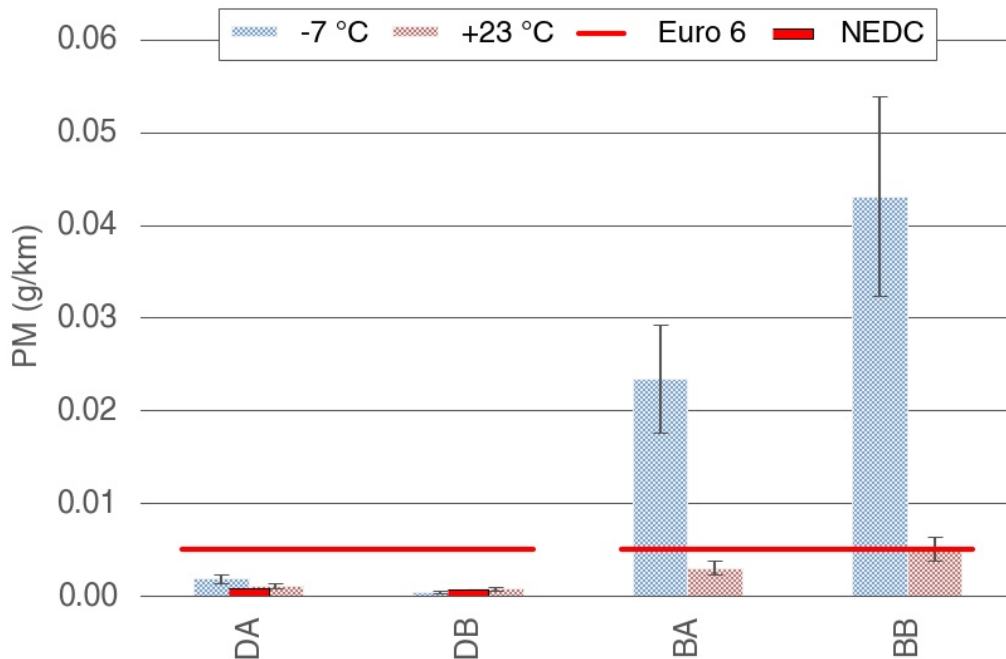
Figur 17: CO₂-utslipp i g/km for testede dieselpersonbiler (DA, DB) og personbiler med bensinmotor (BA, BB) ved kaldstart av motoren i Artemis Urban-syklus. Den røde markeringen viser verdien som angitt av produsentene. Usikkerheten i måleresultatene er estimert til 1 %.

3.3.2 PM

De testete dieselbilene oppfyller Euro 6-kravene for partikkelutslipp med god margin også i bytrafikk og kulde (Figur 18).

Bensinbilene har høyere PM-utslipp enn dieselbilene, og i kulde kan verdiene være opp mot 8,5 ganger grenseverdien for PM i Euro 6-typegodkjenningen.

Dieselbilene er utstyrt med partikkelfilter mens bensinbilene som ble testet ikke hadde partikkelfilter.

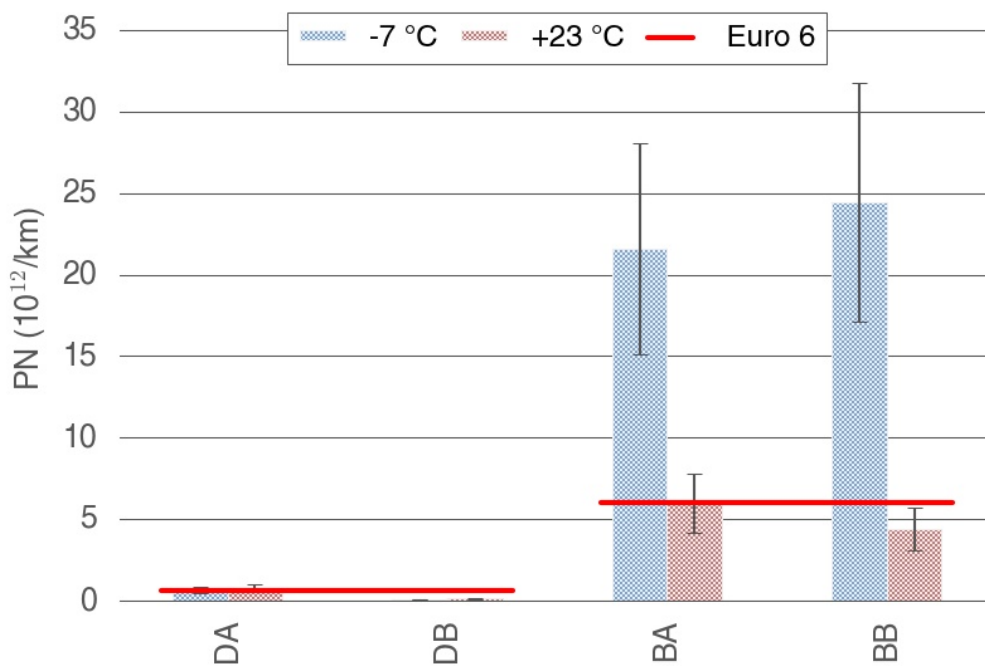


Figur 18: PM-utslipp i g/km for testede dieselpersonbiler (DA, DB) og personbiler med bensinmotor (BA, BB) ved kaldstart av motoren i Artemis Urban-syklus. Den røde markeringen viser verdien som angitt av produsentene. For bensinbiler er det ikke oppgitt verdier for PM. Den røde linjen viser typegodkjenningskravet for Euro 6 (European Parliament 2007). Usikkerheten i måleresultatene er estimert til 25 %.

3.3.3 PN

For antall av partikler, PN, ser bildet likt ut som for partikkelmasse (PM): Diesebilene oppfylder typegodkjenningskravene også i den mer realistiske syklusen. Men bensinbilene har betydelige overskridelser av grenseverdien i kulde. BB viser en verdi 4 ganger så høy som grenseverdien for PN i Euro 6-typegodkjenningen ved testing i kulde (-7 °C).

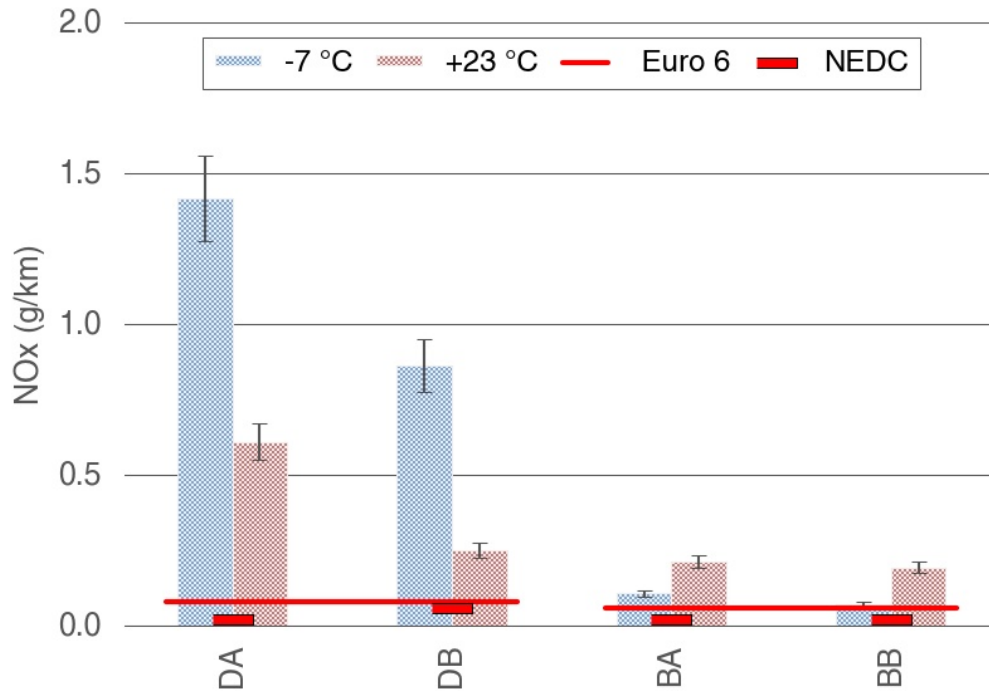
Diesebilene er utstyrt med partikkelfilter mens bensinbilene som ble testet ikke hadde partikkelfilter.



Figur 19: PN-utslipp i antall partikler per km for testede dieselpersonbiler (DA, DB) og personbiler med bensinmotor (BA, BB) ved kaldstart av motoren i Artemis Urban-syklus. Den røde linjen viser typegodkjenningsskravet for Euro 6 (European Parliament 2007) som den gjelder i 2015 for biler med dieselmotor eller bensinmotor med direkteinnsprøyting. Usikkerheten i måleresultatene er estimert til 30 %.

3.3.4 NO_x

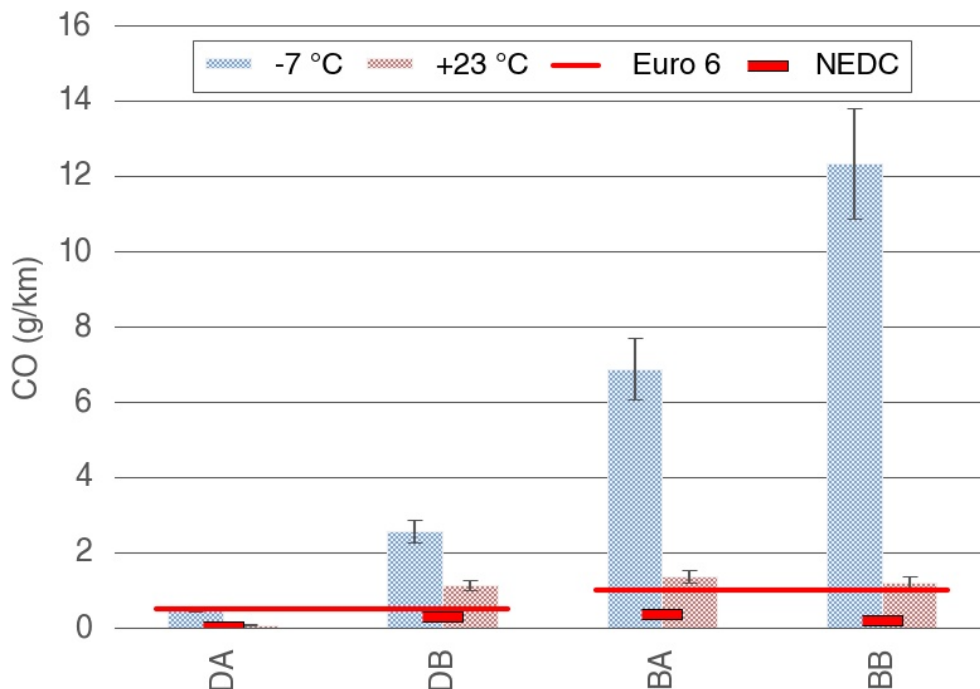
NO_x-utslippet ved kaldstart i Artemis Urban-syklus bekrefter tidligere målinger av dieselmotorer, og målte utslipp ligger langt over grenseverdien (Figur 20). Men i likhet med målingene i Helsinki-syklus og varmstart (Figur 14), overskrider også bensinmotorer grenseverdien, men på langt nær med så mye som dieselmotorer, og mest i varmt klima mens dieselmotorer har høyest utslipp i kaldt klima.



Figur 20: NO_x-utslipp i g/ km for testede dieselpersonbiler (DA, DB) og personbiler med bensinmotor (BA, BB) ved kaldstart av motoren i Artemis Urban-syklus. Den røde markeringen viser verdien som angitt av produsentene. Den røde linjen viser typegodkjenningskravet for Euro 6-normen (European Parliament 2007). Usikkerheten i måleresultatene er estimert til 10 %.

3.3.5 CO

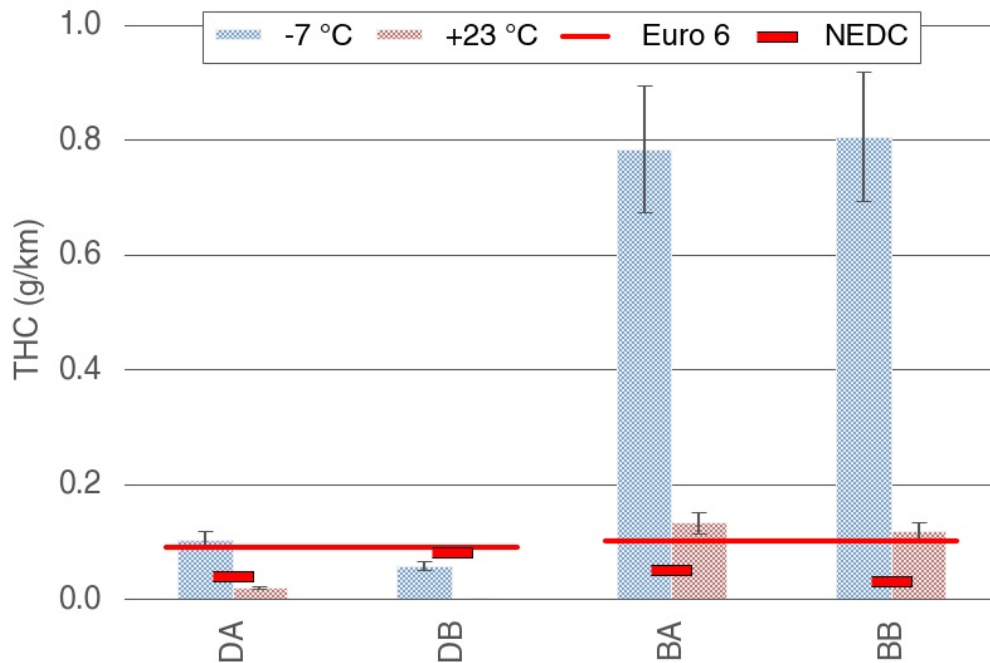
For CO-utslippet fører kaldstart i Artemis Urban-syklus til høye utslipp av CO for begge bensinbilene, særlig i kulde (Figur 21). Også en av diesebilene (DB) har økt utslipp av CO.



Figur 21: CO-utslipp i g/km for testede dieselpersonbiler (DA, DB) og personbiler med bensinmotor (BA, BB) ved kaldstart av motoren i Artemis Urban-syklus. Den røde markeringen viser verdien som angitt av produsentene. Den røde linjen viser typegodkjenningsskravet for Euro 6-normen (European Parliament 2007). Usikkerheten i måleresultatene er estimert til 12 %.

3.3.6 THC

Figur 22 viser at det er høye utslipp av hydrokarboner fra bensinbilene ved kaldstart i kulde. Utslippene ligger langt over grenseverdien i NEDC-testen.

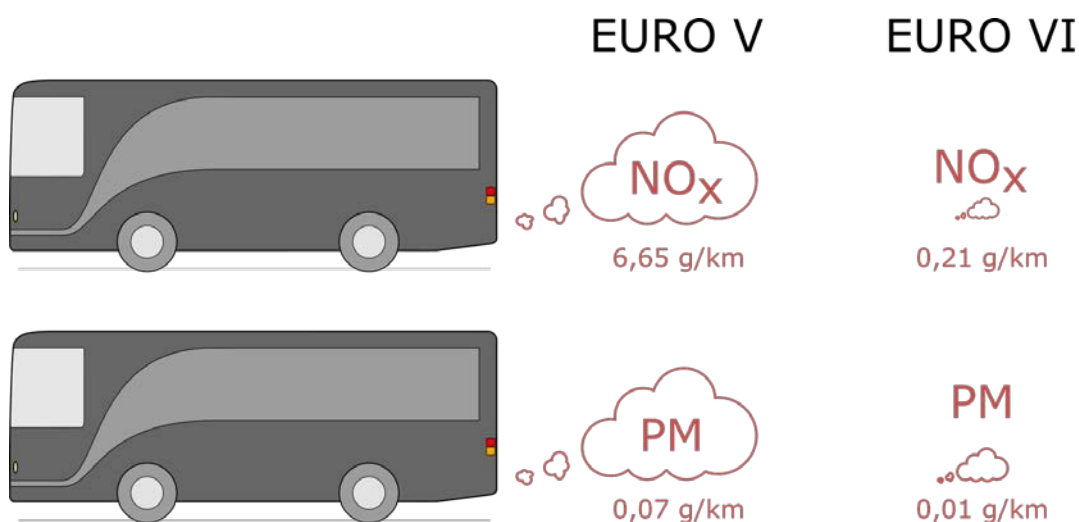


Figur 22: THC-utslipp i g/km for testede dieselpersonbiler (DA, DB) og personbiler med bensinmotor (BA, BB) ved kaldstart av motoren i Artemis Urban-syklus. Den røde markeringen viser verdien som angitt av produsentene. Den røde linjen viser typegodkjenningskravet for Euro 6-normen (European Parliament 2007). Usikkerheten i måleresultatene er estimert til 14%.

4 Diskusjon av måleresultatene

4.1 Utslipp fra bybusser med Euro VI-motor

Som ved tidligere målinger (Hagman & Amundsen 2013a; Hagman & Amundsen 2013b; Weber et al. 2015; Hagman et al. 2015), viser også disse målingene at det er lave utslipp av NO_x og PM fra bybusser med Euro VI-motor, sammenlignet med typiske verdier fra bybusser med Euro V-motor. Gjennomsnittlige utslippsverdier for bussene vises som tall og "skalerte skyer" i Figur 23.



Figur 23: Gjennomsnitt NO_x -utslipp og avgasspartikler PM i g/km, målt ved ca. $+23^\circ\text{C}$ for 11 busser med Euro VI-dieselmotorer ved kjøring av Braunschweig bykjøringsyklus sammenlignet med en typisk buss med Euro V-motor. Arealet av skyene for Euro VI-gjennomsnittet er skalert i forhold til utslippstallet fra Euro V-klassen.

I forhold til 2014-resultatene, hvor det gjennomsnittlige utslippet for de testede kjøretøyene var $0,12 \text{ g/km}$, har NO_x -utslippet for kjøretøyene testet i 2015 (presentert i denne rapporten) økt noe, til $0,32 \text{ g/km}$. Men utslippet er fortsatt veldig lavt i forhold til typisk utslipp for Euro V-klassen ($6,65 \text{ g/km}$) og gjennomsnittlig utslipp av NO_x fra personbiler, se Figur 24. Gjennomsnittlig utslipp av NO_x for de 11 bussene som hittil er testet (i perioden 2013-2015), ligger dermed på $0,21 \text{ g/km}$.

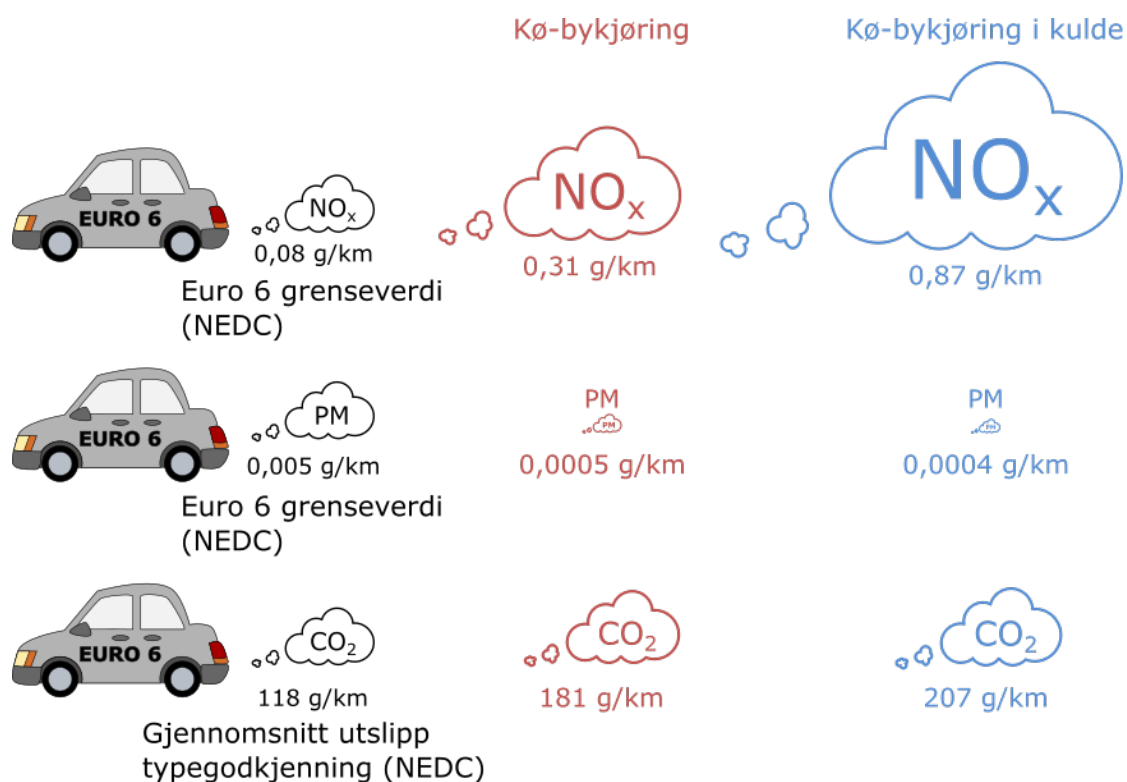
Nivået av PM for de testede bussene er fortsatt lavt, og ble målt til $0,01 \text{ g/km}$. Dette tilsvarer verdiene som ble målt i de tidligere rapportene.

4.2 Utslipp fra personbiler

4.2.1 Varmstart av motoren

For dieselpersonbiler bekrefter de nye måleresultatene i stor grad tidligere målinger (Hagman & Amundsen 2013b; Weber et al. 2015; Hagman et al. 2015). Figur 24 viser gjennomsnittet av NO_x-, PM- og CO₂-utslippet i kø-bykjøring ved henholdsvis -7 og +23 °C, sammenlignet med referansetall fra NEDC (kjøring i typegodkjenningssyklusen). Utslipp av partikler er igjen bekreftet å være lavt ved bykjøring, også i kulde.

De to personbiler med bensinmotor som ble testet i denne måleperioden oppfyller typegodkjenningsskravene med god margin – med unntak av grenseverdien for NO_x. Målingene viser at også personbiler med bensinmotor og direkte innsprøytning gir NO_x-utslipp over grenseverdien (Figur 14). Med bare to biler fra to forskjellige leverandører er det for tidlig å konkludere noe, men disse funnene fører til at utslippene fra personbiler med bensinmotor og direct-injection (DI) teknologi vil bli undersøkt med flere målinger. Det er kjent at GDI-teknologien (gasoline direct injection) på den ene side fører til bedre drivstofføkonomi, men på den andre side medfører dette også ulemper som er kjent fra diesel-DI-teknologi, f.eks. økt partikkelutslipp (Guan et al. 2015).



Figur 24: Sammenligning av avgasskravet (grenseverdi)/gjennomsnitt CO₂, PM og NO_x ved typegodkjenning av Euro 6-dieselpersonbiler (med den standardiserte NEDC kjøresyklusen) (sort sky) og gjennomsnittlige avgassutslipp fra syv Euro 6-personbiler med dieselmotor ved bykjøring, 23 °C (rød sky) og ved bykjøring i kulde, -7 °C (blå sky). Størrelsen av gasskyene tilsvarer utslippenes størrelse i forhold til typegodkjenningsskravet.

Målingene viser fortsatt store forskjell mellom CO₂-utslippet som fremkommer i typegodkjenningssyklusen (NEDC) og det bilene slipper ut i mer realistiske kjøresykluser, særlig i kulde (se Figur 24). For de testete bilene er CO₂-utslippet i Helsinki-syklusen mellom 1,5 og 1,7 ganger høyere enn utslippet i NEDC. I typegodkjenningstesten, NEDC, oppgis drivstofforbruk i by, landeveg og blandet kjøring, mens CO₂-utslippet bare oppgis

ved blandet kjøring. Det er dermed forventet at utslipp i bykjøring er noe høyere enn i NEDC-testen, men på langt nær så mye høyere som disse testene viser. ICCT (The International Council on Clean Transportation) har i flere dokumenter analysert årsakene til, og størrelsen på, avviket for CO₂-utslipp mellom typegodkjenning og virkelig trafikk, se f.eks. Tietge et al. (2015).

Resultatene for de to dieselbilene viser en liten nedgang i det gjennomsnittlige NO_x-utslippet i forhold til tidligere målinger. Allikevel er det fortsatt høye utslippsverdier for NO_x fra dieselpersonbiler. Dette til tross for at kjøretøyene har SCR-renseselement, som ser ut til å fungere veldig bra i tunge kjøretøy.

Grunnen til at SCR-systemet ikke synes å fungere i realistiske kjøresykluser for personbiler kan skyldes rensestrategien produsentene har valgt. Undersøkelser utført av myndigheter i Frankrike, England og Tyskland tyder på at produsentene utnytter et smutthull i typegodkjenningen. Bilprodusentene oppgir at for å beskytte kjøretøyet, blir avgassrensingen utsatt når temperaturen ikke er i nærheten av det fastsatte temperaturvinduet som benyttes i typegodkjenningstesten. For mer informasjon rundt denne problemstillingen se kapittel 5.

En tilpasning til temperaturvinduet i typegodkjenningstesten kan være en mulig forklaring på at kjøretøyet DB renses NO_x effektivt ved 23 °C, men ikke i kulde (Figur 14).

4.2.2 Kaldstart av motoren

I denne rapporten er det fokus på kaldstart av motoren i kulde. Det har lenge vært kjent at utslippene er høyest ved kaldstart av motoren, mens rensesystemet er kaldt. Dette er grunnen til at typegodkjenningstesten krever kaldstart av motoren i NEDC. Men typegodkjenningen gjennomføres ved rundt 23 °C, ikke i nordisk kulde. Tilpasningen av bilene til typegodkjenningstesten går så langt at utslippene blir lavere ved kaldstart enn ved varmstart, mens rensesystemene egentlig burde komme raskt i drift ved varmstart. Kapittel 5 belyser denne problematikken.

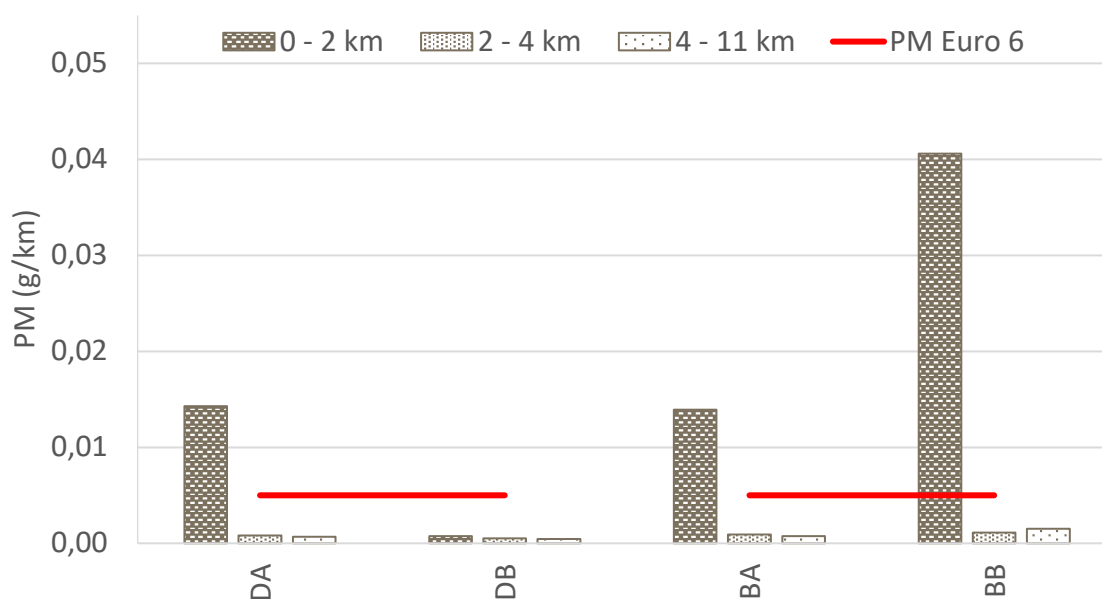
Som figurene i kapittel 3.3 viser, er utslippsfaktorene for dieselbilene lave ved kaldstart av motoren, bortsett fra NO_x-utslippet. I kulde kan utslippene ved kaldstart i Artemis Urban-syklusen ligge opp til 18 ganger så høyt som grenseverdien i NEDC (Figur 20).

De to bensinbilene med GDI-teknologi har lave utslipp ved kaldstart i 23 °C. Ved kaldere temperaturer derimot, oppstår høye utslipp av PM, PN, NO_x, CO og THC. Særlig utslipp av PM og PN er høye, med utslippsverdier i Artemis Urban-syklusen som er opp mot henholdsvis 8,6 og 4,1 ganger så høye som grenseverdien i NEDC.

En del av forklaringen for så høye overskridelser for grenseverdien av PM og PN kan skyldes forskjellige kjørelengder i Artemis Urban-syklusen og NEDC, se Tabell 1. Utslippene rapporteres som gram per kilometer. Dersom vi antar at nesten all utslipp skyldes effekten av kaldstarten (grunnen til det forklares nedenfor, se også Figur 25), kan vi skalere utslippstallene til faktisk kjørt lengde i Artemis Urban-syklusen. Dersom vi korrigerer for ulike kjørelengder, er utslippene av PM og PN for bensinbilene henholdsvis 3,5 og 1,7 ganger så høyt som grenseverdien. Denne skaleringen kan imidlertid ikke gjennomføres for NO_x-utslippet fra dieselbilene, da Figur 26 viser at det er betydelige utslipp av NO_x over hele syklusen. Disse målingene viser bare resultater for 2 biler, og det er dermed for tidlig til å konkludere om dette skyldes ulemper ved selve GDI-teknologien i dagens biler. Det er imidlertid oppsiktsvekkende, og i fremtidige målinger vil det bli fokusert på bensinbiler med GDI-teknologi. Europakommisjonen er oppmerksom på dette problemet og har bestemt at grenseverdiene for PN for biler med GDI-teknologi skal

strammes inn fra 2017. Dette vil føre til at bensinbilene vil trenge mer avanserte rensesystemer, som f.eks. partikkelfiltre. Mer avanserte rensesystemer kommer til å øke kostnadene på bilene, noe som kan føre til at fremtidens biler med forbrenningsmotor blir mindre konkurransedyktige.

De høye utslippene ved kaldstart i kulde kan skyldes at treveiskatalysatoren enda ikke har oppnådd minimumstemperaturen der de katalytiske prosessene kommer i gang og utslippene reduseres. I tillegg er forbrenningen i bensinmotorer ikke støkiometrisk (optimal blanding av bensin og luft for samtidig reduksjon av utslipp av NO_x , CO og HC i treveiskatalysatoren) så lenge motoren er kald. I GDI-motorer kan det oppstå drivstoffrike soner i sylindere, som fører til økt dannelse av partikler under forbrenningen. Når motoren har blitt varm vil også katalysatoren være varm og motoren vil da styres støkiometrisk slik at katalysatoren kan redusere utslippene effektivt, og drivstoffet forbrennes deretter fullstendig. Nesten hele utslippet av PM, CO og THC ved kaldstart kommer derfor fra utslippet i de første 2 km av kjøresyklusen. Dette vises eksempelvis i Figur 25, der måleresultatene for PM fra NEDC-syklusen (se Figur 1) er delt opp i 3 kategorier. Det er tydelig fra figuren at de første 2 km står for mesteparten av utslippet. Grenseverdien som gjelder når man kjører *hele strekningen* i NEDC overskrides i de første 2 km, med unntak av kjøretøy DB. Når motoren og rensesystemet er varm, er utslippene lave (fra ca. 2 km).

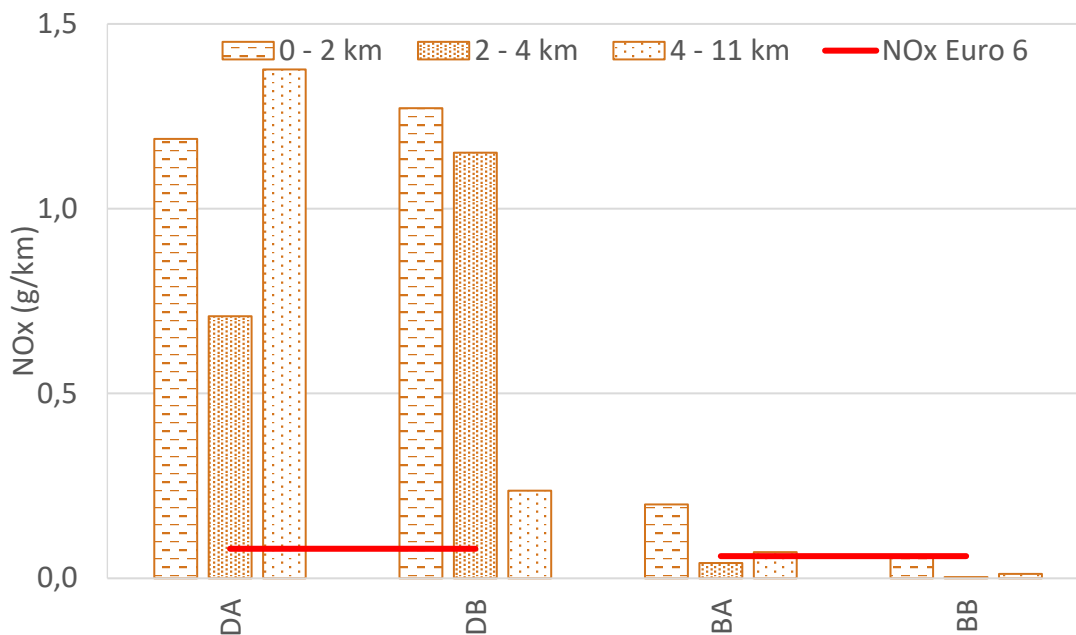


Figur 25: PM-utslipp i g/km for testede dieselpersonbiler (DA, DB) og personbiler med bensinmotor (BA, BB) ved kaldstart av motoren i NEDC-syklus ved -7°C . Søylene viser utslippet for de første 2 km, 2 til 4 km og 4 til 11 km. Den røde linjen viser typegodkjenningskravet for Euro 6 (European Parliament 2007).

At hoveddelen av utslippet kommer fra oppstartsfasen av bilen gjelder imidlertid ikke for NO_x -utslippet fra dieselpersonbiler. Figur 26 viser at NO_x -utslippet for dieselpersonbilene er høy i alle delene av NEDC-syklusen.

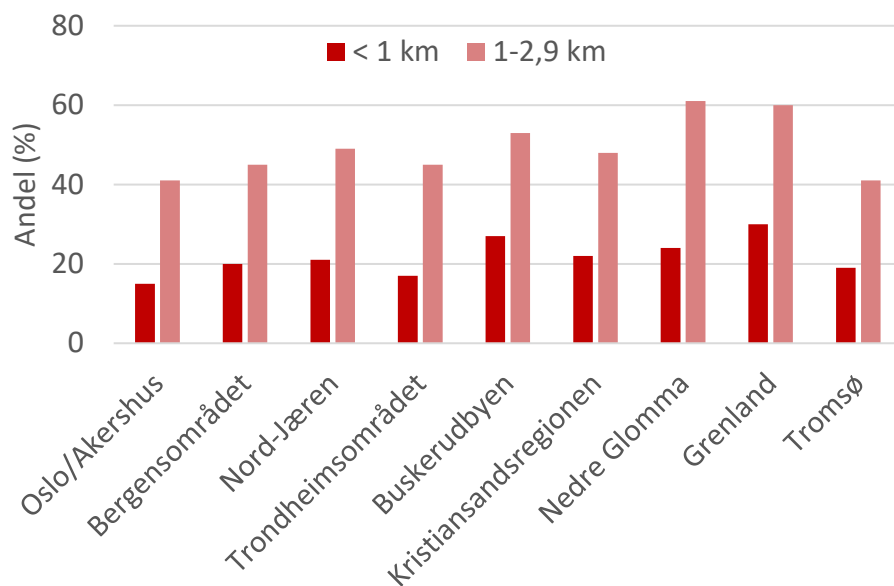
I Norge er det slik at luftforurensningen er verst om vinteren og det er da grenseverdiene for luftkvalitet brytes, spesielt når kald luft legger seg som et lokk over byene og hindrer luft sirkulasjon ("inversjon"). Dette åpner for mulige grep for å redusere luftforurensningen, særlig på kalde dager og når det er inversjon: Det å velge å la bilen stå og ta alternative transportmidler, særlig for de aller korteste turene, kan føre til at disse høye utslippene reduseres. Figur 27 viser andelen av bilreiser under 3 km for ni byregioner i Norge. Mellom

56 og 90 % av reisene er kortere enn 3 km (tallene inneholder imidlertid også turer som er en del av lengre reiser).



Figur 26: NO_x-utslipp i g/km for testede dieselpersonbiler (DA, DB) og personbiler med bensinmotor (BA, BB) ved kaldstart av motoren i NEDC-syklus ved -7 °C. Søylene viser utslippet for de første 2 km, 2 til 4 km og 4 til 11 km.

For Oslo gjelder dette særlig for reiser som starter innenfor bomringen; et virkemiddel som rushtidsavgift i bomringen sikter mest på biler som kjører inn til byen, men da er motoren blitt varm og rensesystemet er varmt og utslippene relativt lave (bortsett fra diesebilenes NO_x-utslipp, se Figur 26). Det er derfor viktig å motivere også bilistene innenfor bomringen til å la bilen stå, særlig på de korte turene. Her kan en "lavutslippssone" i stedet for en bomring være mer hensiktsmessig. Men for å redusere NO₂-nivåene er det reduksjon i totalt antall dieserbiler som kjører på vegene som er mest effektivt.



Figur 27: Bruk av bil som fører på reiser < 1 km og på reiser mellom 1 og 3 km i ni byregioner (Nasjonal Transportplan 2013).

Fra utgangen av 2017 skal grenseverdien for PN strammes inn for bensinbiler med direkteinnsprøytningsteknologi. Grenseverdien skal da settes ned til $6 \cdot 10^{11}$ /km, som er det samme nivået som for dieslbiler i dag. Dette kommer til å føre til at nye GDI-biler mest sannsynlig blir utstyrt med partikkelfiltre eller partikkelfeller, på samme måte som personbiler med dieselmotor allerede har. I kombinasjon med mer realistiske kjøresykluser (WHDC, world harmonized driving cycle) og målinger utenfor laboratoriet (RDE med PEMS, se ordliste i kapittel 9), som skal innføres med en oppdatering av Euro 6-typegodkjenningen, er det forventet at utslippene også blir lave i virkelig trafikk. Uansett er det fortsatt mulig at det skjer uventete tilpasninger, f.eks. kan sjåførene på RDE-turene være spesielt trent til å kjøre med lavest mulig utslipp. Krav om "in-service" testing av biler, det vil si tester der typegodkjenningen blir revurdert etter at bilen har vært i drift i noen år, ble skjerpet som følge av VW-saken (EU kommisjonsforordning 2016/427). Endringene ble gjeldende i EU landene fra 1. januar 2016 og arbeidet med å innarbeide dette i det norske lovverket er påbegynt. Men det vil allikevel være viktig med en fortsatt uavhengig norsk oppfølging av utslippsegenskapene til nye kjøretøy og nye teknologier.

5 Oppfølging av "Dieselskandalen"

Høsten 2015 ble det offentliggjort fra amerikanske Environmental Protection Agency (EPA) og California Air Resources Board (CARB) at Volkswagen brukte ulovlig programvare ("defeat device", device kan i denne sammenheng også være programvare) for å gjenkjenne en typegodkjenningssituasjon, og at bilene forandret rensestrategien under slik testing (United States Environmental Protection Agency 2015). Dette ble først oppdaget i USA, men Volkswagen tilsto at de også brukte programvaren i Europa (Volkswagen AG 2015). Mange land har deretter begynt å teste biler på nytt, blant disse Frankrike, England og Tyskland. I Norge har TØI siden 2011 på oppdrag av Statens vegvesen gjennomført egne målinger, der det allerede i 2012 ble oppdaget høyt utslipp av NO_x under kjøring i virkelig trafikk (Hagman og Amundsen 2013a, 2013b; Hagman et al. 2011; Hagman et al. 2015; Weber et al. 2015).

Målingene i Tyskland ble koordinert av typegodkjenningsmyndigheten Kraftfahrtbundesamt (KBA), og selve målingene ble gjennomført av uavhengige laboratorier og resultatene ble publisert i 2016 (BMVI 2016). Testene på laboratoriet besto av typegodkjenningssyklusen NEDC med pre-kondisjonering og kaldstart av motoren, som beskrevet i typegodkjenningsregelverket. I tillegg ble det gjennomført en NEDC-måling med varmstart av motoren, og en NEDC-måling ved lavere temperatur (10 °C). Det ble også gjennomført tester på veg, hvor det ble kjørt vanlig NEDC-profil, baklengs NEDC og NEDC med 10 % høyere og 10 % lavere hastighet. Videre ble det kjørt en RDE-tur (real driving emission), som er et definert kjøremønstre som skal bli en del av typegodkjenningen fra 2017. På veg ble utslippene målt med portabelt måleutstyr (PEMS, Portable Emission Measurement System).

Figur 28 viser en oversikt over NO_x-utslippet som ble målt i KBA-testene. Alle de testede kjøretøyene har utslippsverdier som er lavere enn grenseverdien i NEDC-testen i laboratoriet. Men når bilene kjøres utenfor laboratoriet, viser nesten alle biler betydelig høyere utslipp av NO_x. Det var bare 3 biler som også utenfor laboratoriet hadde lave utslipp av NO_x.

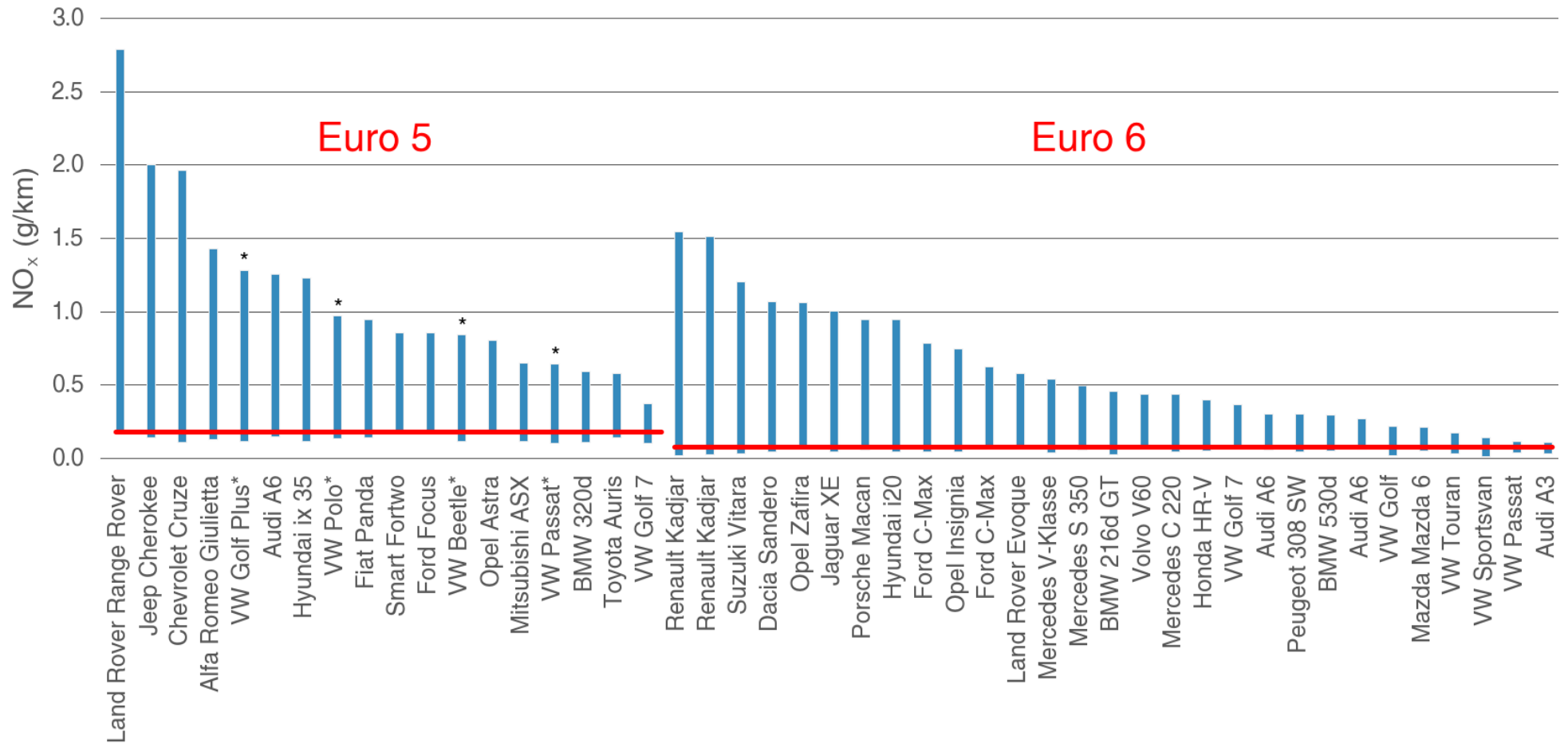
Volkswagen biler som var utstyrt med en "defeat device" er markert med en stjerne i Figur 28. Som det tydelig fremgår fra figuren, er det ikke VW-kjøretøyene som har de høyeste utslippene av NO_x, av de testede bilene. KBA sier at de klarte å aktivere programvaren som starter rensesystemet under typegodkjenningstesten, mens rensesystemet er slått av når bilen er i vanlig drift. At andre biler også har høye (og enda høyere) utslipp av NO_x under testene utenfor laboratoriet tyder på at også andre produsenter reduserer avgassrensingen under visse forhold.

Testene som ble gjennomført av KBA gjør det mulig å sammenligne utslipp ved kald- og varmstart av motoren i NEDC-syklusen. I følge typegodkjenningen skal bilen måles ved kaldstart, siden det forventes høye utslipp dersom motoren og rensesystemet er kaldt.

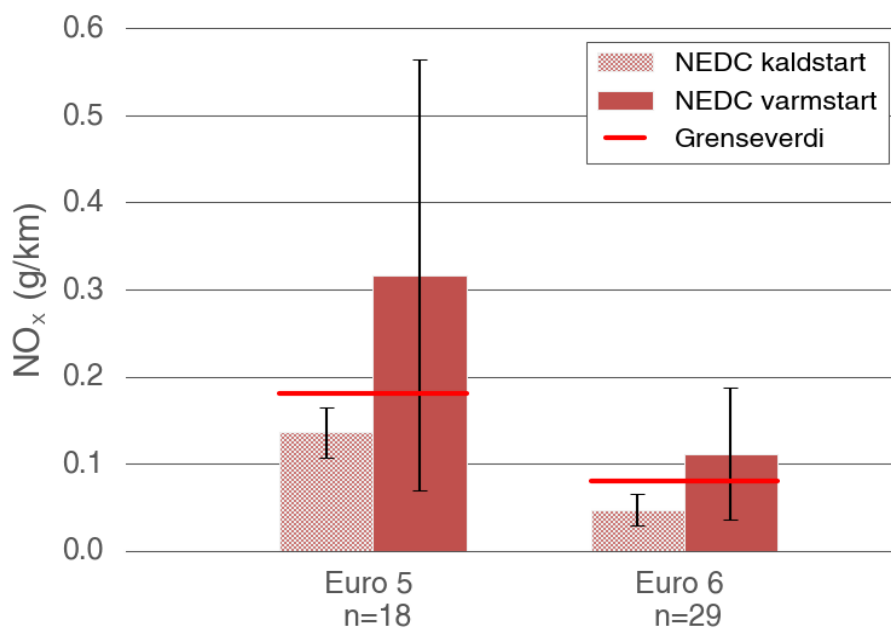
Figur 29 viser gjennomsnittet av NO_x-utslippet for kald- og varmstart av motoren. Det er tydelig å se at alle kjøretøy ligger under grenseverdien ved kaldstart av motoren, mens det finnes store overskridelser ved varmstart. Fra fysikkens side er disse funnene interessante, siden rensesystemene på Euro 6-bilene bør være varme nok til å fungere på en effektiv måte etter varmstart av motoren. KBA ba om en forklaring på denne effekten fra

produsentene, før rapporten ble offentliggjort. De fleste produsentene svarte at de reduserer eller stenger av rensesystemet ved "lave" temperaturer for å unngå skader i motoren. "Lav" temperatur ble f.eks. definert under 17 eller 20 °C. For Euro 6-biler med SCR ble det nevnt at rensesystemet stenges for å unngå NH₃-utslipp (ammoniakk).

Norske somre (juni-august) har en snittemperatur på 13-14 °C (Kilde: SSB). Oslo kan ha noe høyere snittemperatur enn Norge totalt. Men selv om det kjøres mest på dagtid da temperaturen er høyere, vil den meste av trafikken i Norge foregå ved lavere temperaturer enn 17-20 °C. Det kan derfor antas at mange av dagens dieslbiler på norske veier stenger av rensesystemet i store deler av året.



Figur 28: Oversikt over resultater av laboratoriemålinger og målinger på veg, gjennomført av tyske KBA. Kjøretøyene er gruppert etter typegodkjenningssklasse og rangert etter høyest utslipp av NO_x. Den lavere verdien resulterer fra måling i typegodkjenningssyklusen (NEDC) på laboratoriet, den høyere verdien tilsvarer den høyeste verdien målt på tur på veg. Kjøretøyene markert med '*' er Volkswagen biler med "jukseprogram". De røde linjene markerer grenseverdien i typegodkjenningen. Data fra KBA (BMVI 2016).



Figur 29: Gjennomsnitt av NO_x -utslippet i NEDC-syklus ved kald- og varmstart av motoren. Det ble testet 18 kjøretøy i Euro 5-klassen og 29 kjøretøy i Euro 6-klassen. Feilmarginene viser den laveste og høyeste verdien i klassen. Data fra KBA (BMVI 2016).

Produsentene rettferdiggjør avstengningen av rensesystemene med artikkel 5, paragraf 2 i typegodkjenningen (European Parliament 2007). Ifølge denne paragrafen er det lov å utsette avgassrensingen, hvis det er nødvendig for å beskytte motoren eller driften av kjøretøyet. Men KBA mener at det å stenge av EGR ved temperaturer utenom de som er definert i typegodkjenningen, også er en "defeat device" (BMVI 2016, p. 119).

Her vises en betydelig svakhet i den aktuelle lovgivningen: Selv om dokumentet forbyr bruken av "defeat devices", åpner den for bruken i enkelte situasjoner – uten å definere slike situasjoner nøye nok til at misbruk kan utelukkes.

Europeisk lovgivning åpner for å bruke utetemperaturer som indikator for temperaturen i kjøretøyet, f.eks. i luftinntaket, temperaturen i forbrenningskammeret eller i katalysatoren. Lovgivningen i USA derimot, krever at temperaturen måles direkte i elementet som skal stenges av for å beskytte den, dersom den er følsom for ekstreme temperaturer. I eksempelet med utsatt EGR ved "lave" temperaturer, begrunner europeiske produsenter utsettingen med fare for kondensasjon i luftinntaket, når det er kaldt ute. I USA krever lovgivningen derfor at temperaturen måles i selve luftinntaket, for å kunne oppdage kondensasjon. Dette fører til at rensesystemet stenges av sjeldnere i kjøretøy produsert for det amerikanske markedet enn i de som er produsert for det europeiske markedet.

Det er vanskelig, hvis ikke umulig, å finne ut om bilen har noen form for "defeat device", siden det er nesten ubegrensede muligheter til å detektere en testsituasjon. Det er derfor viktig at lovgivningen tilpasses på en måte som er strengere enn i dag, og kreve at kjøretøyet har lavt utslipp også under normal bruk. Første skrittet vil da være å definere, hva som kan ansees som "normal bruk" av kjøretøyet. I tillegg bør det kreves at bruk av rensesystemet bare kan utsettes i kortest mulige tidsintervaller, dersom det er nødvendig og uunngåelig for å sikre sikkert drift av kjøretøyet. Realiteten i dag ser ut til å være at rensesystemet i enkelte biltyper kan være sjelden på i normal drift under norske klimatiske forhold.

6 Internasjonal undersøkelse av tunge og lette kjøretøy og drivstofftyper

I denne testrunden ble det ikke gjennomført noen nye tester av lastebiler. TØI har i stedet bidratt med data fra en tidligere måling av et CNG (compressed natural gas) kjøretøy til *Annex 49 on commercial vehicles* (COMVEC) av IEAs (International Energy Agency) samarbeidsprogram for innføring av avanserte drivstoffer (Advanced Motor Fuels Implementing Agreement) (Nylund 2016). Fra dette samarbeidet har TØI dermed fått tilgang til måleresultater fra ni forskjellige land. Totalt ble det målt 35 kjøretøy på en måte som sikrer at resultatene er sammenlignbare. Kapittel 6 gir en oversikt over de viktigste funnene i rapporten. Rapporten ble offentliggjort på IEAs webside (http://www.iea-amf.org/content/publications/project_reports) i oktober 2016.



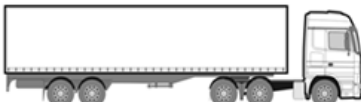
Hensikten med COMVEC programmet var å definere en sammenlignbar testprosedyre for kommersielle lette og tunge kjøretøy. Det ble så utført tester der den aktuelle prosedyren ble benyttet. Basert på testresultatene ble det produsert en rapport, med spesielt fokus på energieffektivitet og utslipp av CO₂, NO_x og PM. Klimapåvirkningen ble evaluert i et livsløpsperspektiv, dvs. både direkte CO₂-utslipp fra eksosrøret og klimapåvirkningen ved produksjon og distribusjon av drivstoffet eller energibæreren (elektrisitet).

6.1 Kjøretøy og drivstoffer

De 35 testede kjøretøyene ble delt i tre kategorier, som vist i Tabell 4. Tabellen gir også en oversikt over hvilke drivstoffer som ble testet for de forskjellige kjøretøykategoriene. Noen av kjøretøyene ble testet med forskjellige drivstoffer. Avsnitt 1.3 i COMVEC-rapporten gir en omfattende oversikt over drivstoffene som ble undersøkt. I tillegg til fossil bensin og diesel ble det testet FAME og HVO som er biodrivstoffer som kan anvendes i dieselmotorer, og forskjellige konfigurasjoner for CNG, LNG og LPG, etanol og DME (se ordliste i kapittel 9 for forklaring av forkortelsene). I tillegg ble en liten elektrisk distribusjonslastebil testet.

Kjøretøykategoriene avviker noe fra inndelingen i Norge, der kjøretøy opp til 3,5 tonn blir betegnet som "lette kjøretøy" og kjøretøy med egenvekt over 3,5 tonn betegnes som "tunge kjøretøy".

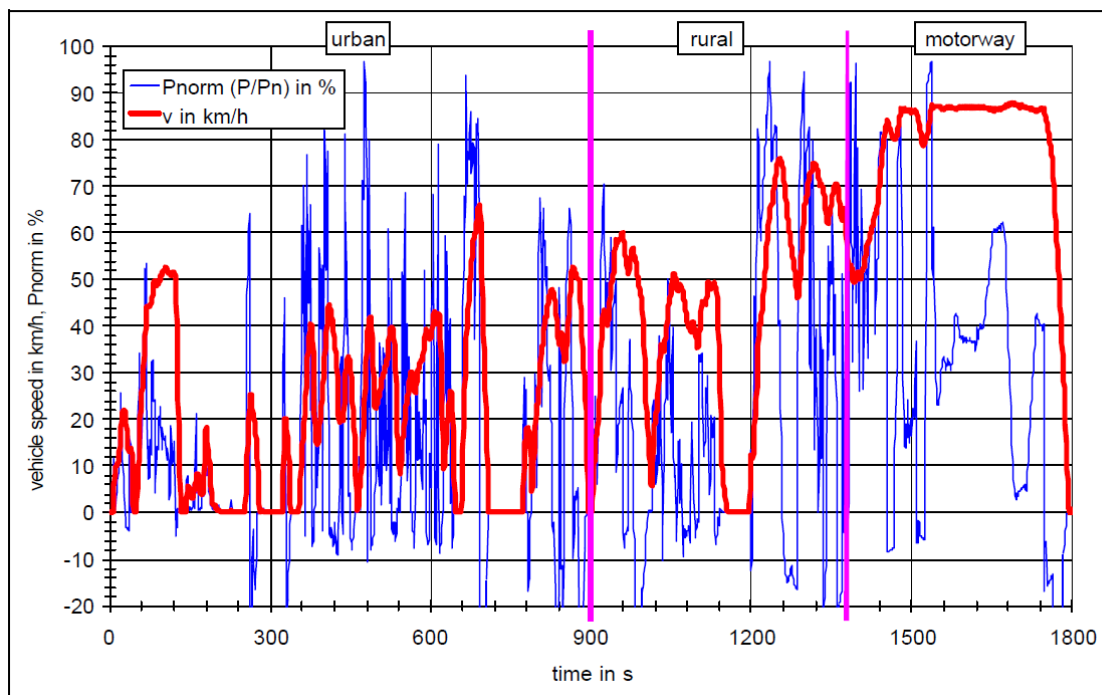
Tabell 4: Oversikt over kjøretøyklasser og drivstoffer i COMVEC-rapporten (Nylund 2016).

	Kat. 1	Kat. 2	Kat. 3
			
Nettovekt (t)	2,5 - 5	5 - 18	ca. 40
Antall kjøretøy	13	14	8
Diesel	x	x	x
CNG, LPG, LNG	x	x	x
Etanol		x	
DME			x
Hybrid		x	
EL	x		

6.2 Måleprotokoll

Alle kjøretøy ble testet ved hjelp av "World Harmonised Vehicle Cycle" (WHVC). Hastighetsprofilen og effektkrav i kjøresyklusen er vist i Figur 30. Typiske parameterne i denne syklusen er en maksimal hastighet på 87,8 km/t, gjennomsnittsfart på 40,0 km/t og en kjørelengde på 20 km i løpet av 1800 s (30 minutter).

Protokollen innebærer bl.a. regler for kondisjonering av kjøretøyet (varmstart), temperatur og hvilke utslippsfaktorer som skal måles. Alle testene er utført ved halv last av kjøretøyet, som er ansett som representativt for kommersielle kjøretøy. For mer informasjon om måleprotokollen, se Nylund (2016), kapittel 5.

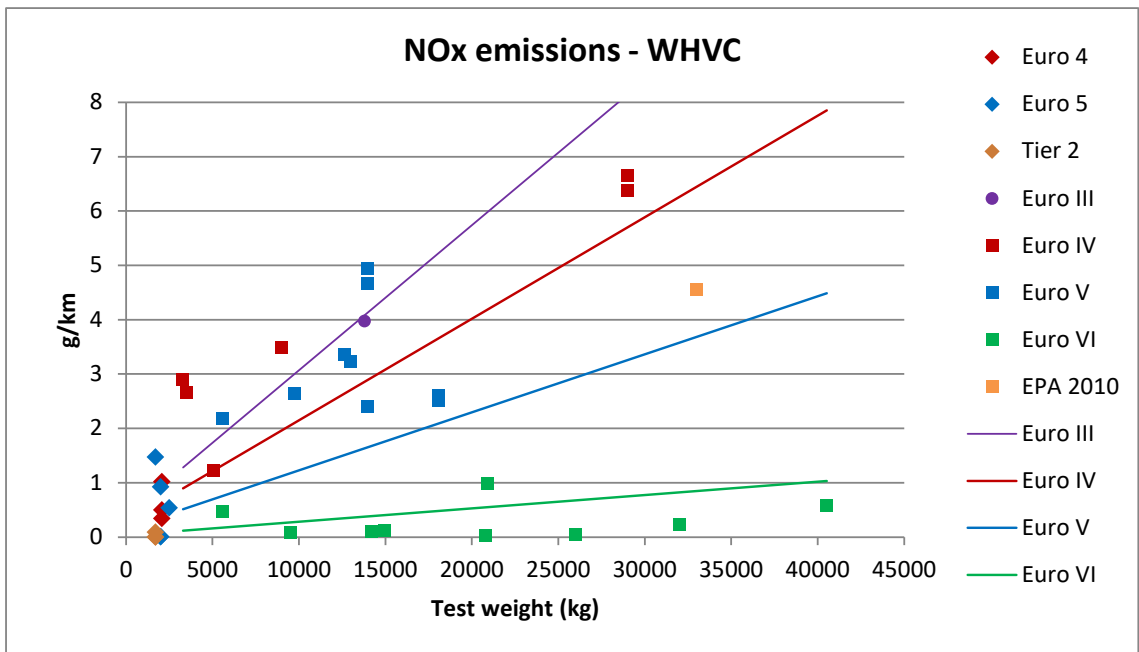


Figur 30: Målesyklus World Harmonised Vehicle Cycle (WHVC). Hastighet (v) og normalisert effektkrav (P_{norm}). (Nylund 2016).

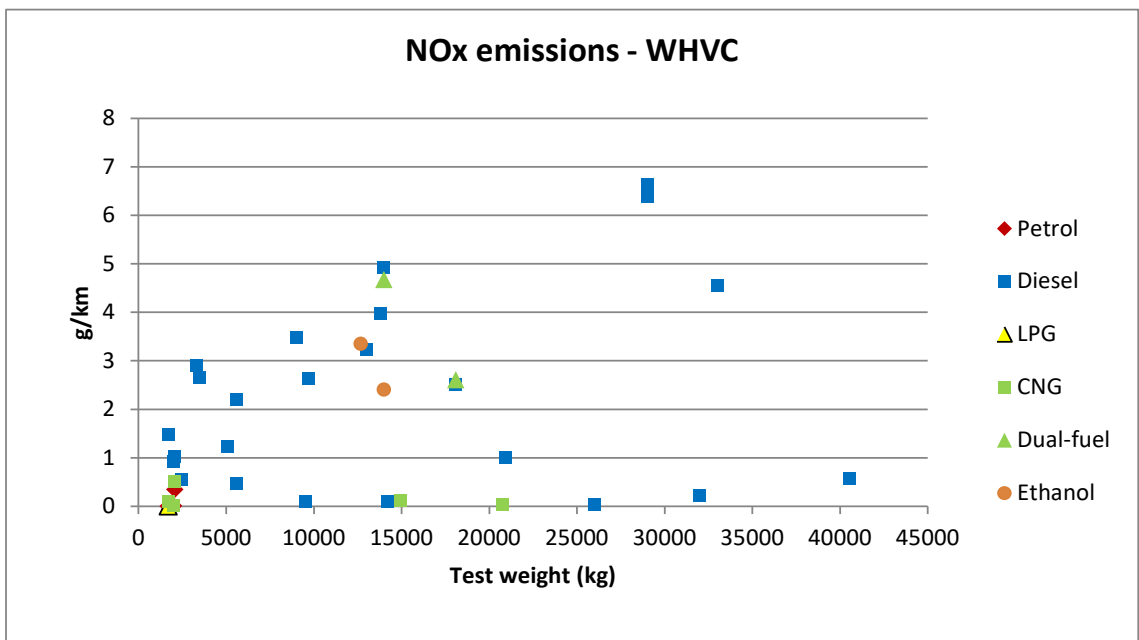
6.3 NO_x

COMVEC-rapporten viser at det er store forskjeller i NO_x-utslipp fra de målte kjøretøyene. For nye kjøretøy er lave NO_x-utslipp imidlertid knyttet til Euro-klasse, ikke til drivstoff. Figur 31 viser NO_x-utslippet i WHVC sett i forhold til vekten av kjøretøyet, fargene angir typegodkjenningssklasse. Strekene antyder referansenivået i Euro-typegodkjenningen, beregnet for WHVC i g/km. For utdypende informasjon om beregningen av referansenivået, se Nylund (2016).

Alle kategori 2 og 3 kjøretøy i Euro IV- og Euro V-klassen har høyere utslipp enn grenseverdien i typegodkjenningen, uansett drivstoff, se også Figur 32. For Euro VI-klassen ligger syv av ni kjøretøy under referansenivået. Ett av kjøretøyene som ligger over referansenivået var et hybridkjøretøy. Rapporten går ikke dypere inn i grunnene til høye utslipp, utover å nevne at kjøretøyene ble varmet opp og at ingen "not-to-exceed" faktorer ble lagt inn.



Figur 31: NO_x-utslipp etter typegodkjenningsklasse, i forhold til vekten av kjøretøyet med halv last. Strekene skal antyde referansenivået i Euro-typegodkjenningen. (Nylund 2016).

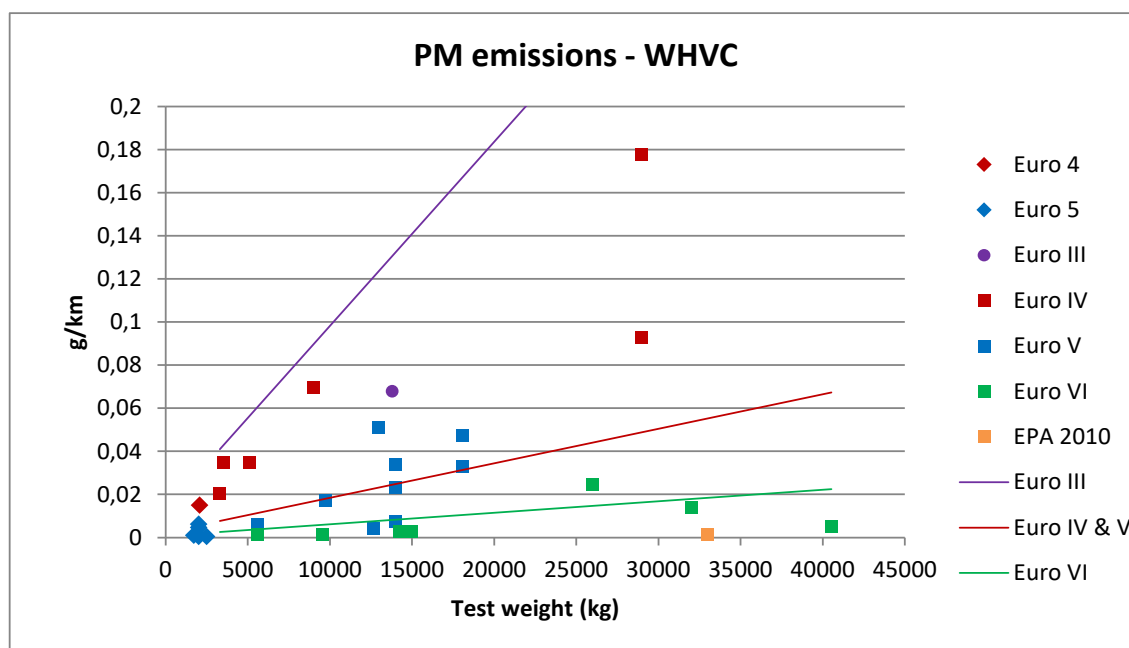


Figur 32: NO_x-utslipp etter drivstofftype, i forhold til vekten av kjøretøyet med halv last. (Nylund 2016).

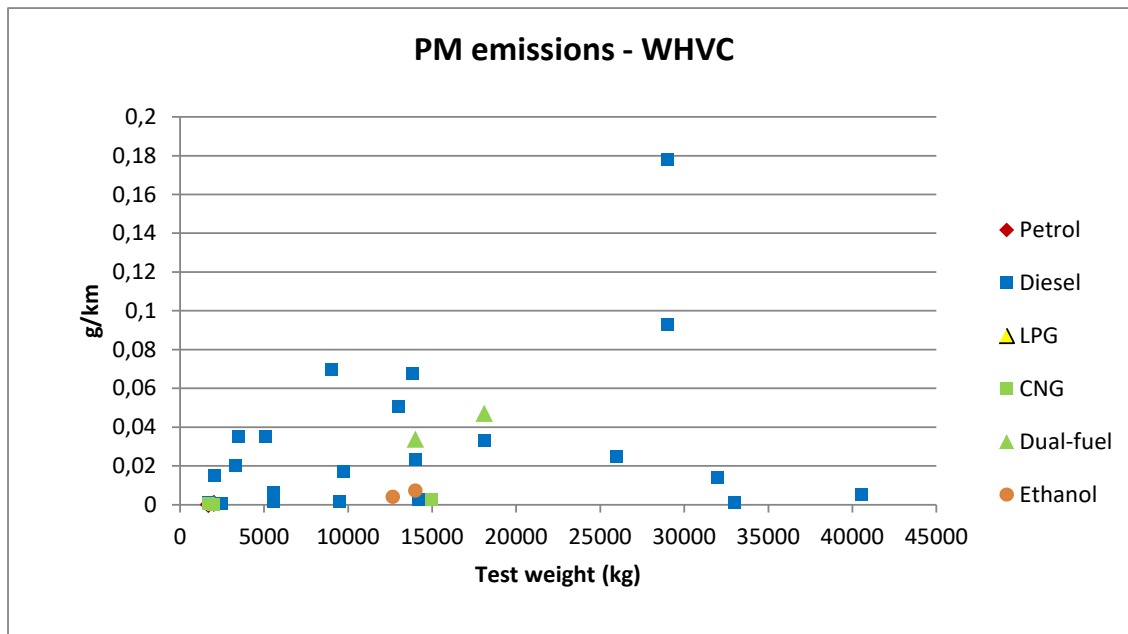
6.4 PM

Når det gjelder utslipp av PM fra eksosrøret, viser målingene at alle kjøretøy har lavere utslipp enn Euro III-nivået. Figur 33 viser PM-utslippet sett i forhold til vekten av kjøretøyet, fargene angir typegodkjenningsklasse. Strekene antyder referansenivået i Euro-typegodkjenningen, beregnet ved hjelp av WHVC i g/km. For utdypende informasjon om beregningen av referansenivået, se Nylund (2016).

CNG med gnisttenning har lavt PM-utslipp, også i kjøretøy uten partikkelfilter. Dual-fuel kjøretøy derimot (se Figur 34), der en liten mengde diesel blir brukt for å tenne gassen, viser noe høyere utslipp av PM. Rapporten antyder at dette er et resultat av mangelfull regulering av partikkelfiltrene, ikke selve drivstoffet.



Figur 33: PM-utslipp fra eksosrøret etter typegodkjenningsklasse, tegnet mot vekten av kjøretøyet med halv last. Strekene skal antyde referansenivået i Euro-typegodkjenningen. (Nylund 2016).



Figur 34: PM-utslipp etter drivstofftype, tegnet mot vekten av kjøretøyet med halv last. (Nylund 2016).

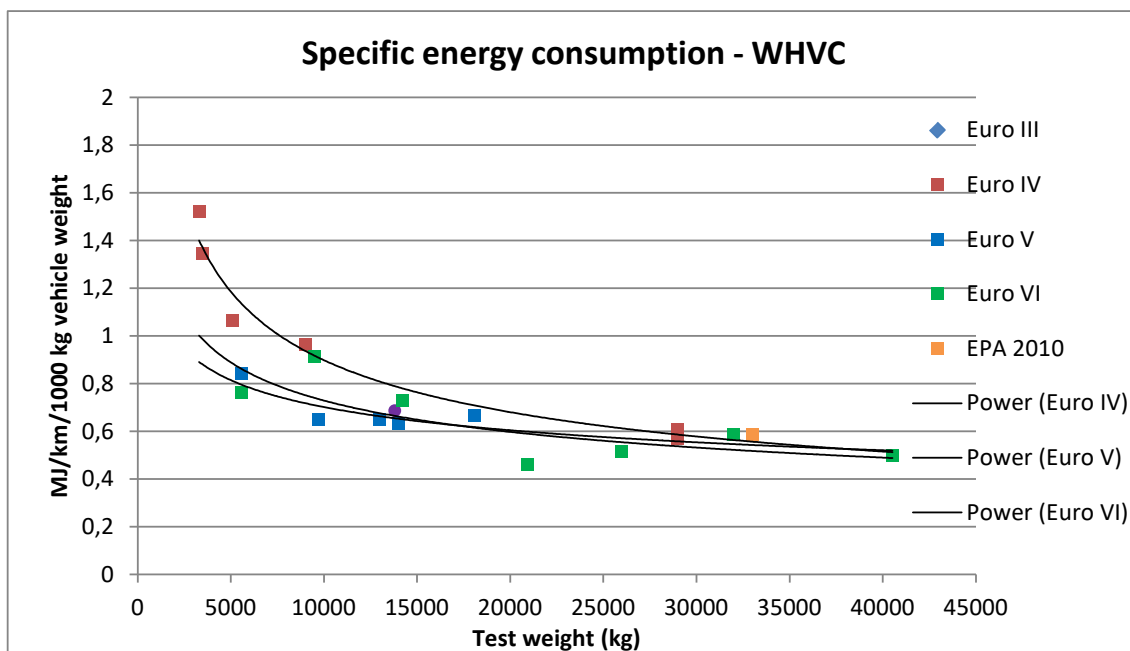
6.5 Energibruk

COMVEC-rapporten konstaterer at Euro VI-kjøretøy har lavere utslipp av PM og NO_x enn eldre kjøretøy, uten at de har høyere energiforbruk. Figur 35 viser energibruk per km og kg, vekten inkluderer hele kjøretøyet og halv last.

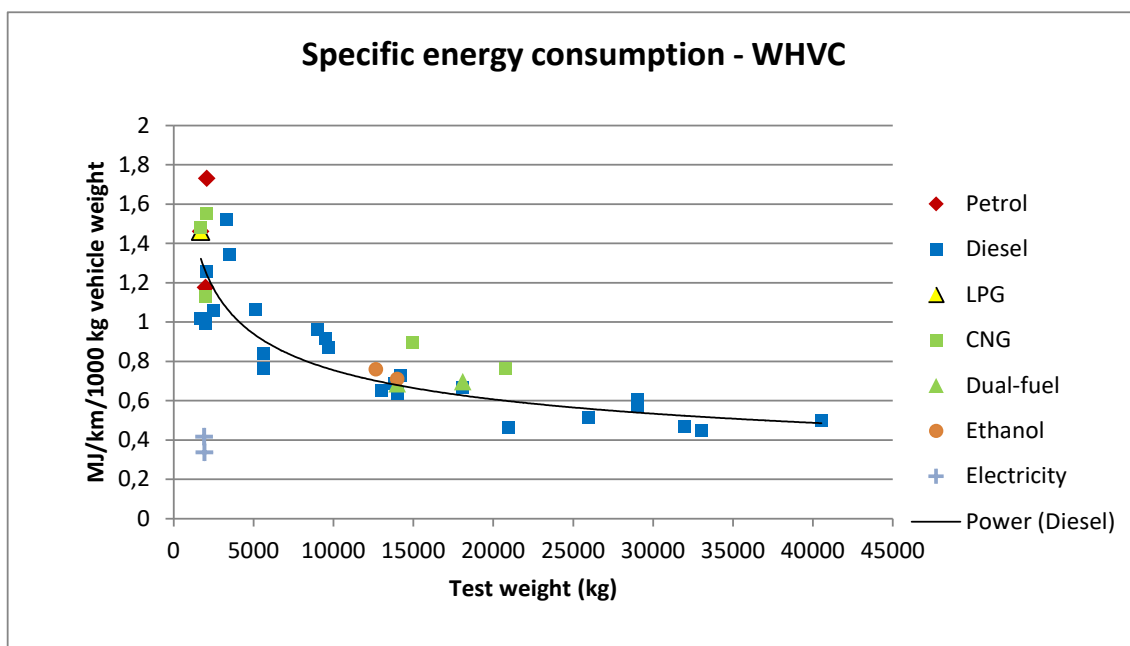
Både, kjøretøy fra Euro V- og Euro VI-klassen har lavere energiforbruk enn kjøretøy fra Euro IV-klassen.

Når det gjelder forskjellige drivstoffer, har gass-kjøretøy høyere energiforbruk enn dieselskjøretøy. Kjøretøy med selv-tennende etanol-motorer og dual-fuel motorer har energiforbruk i samme størrelsesorden som dieselskjøretøy.

Elektriske kjøretøy (bare kategori 1) har 60-70 % lavere energibruk enn kjøretøy med forbrenningsmotor i samme klasse.



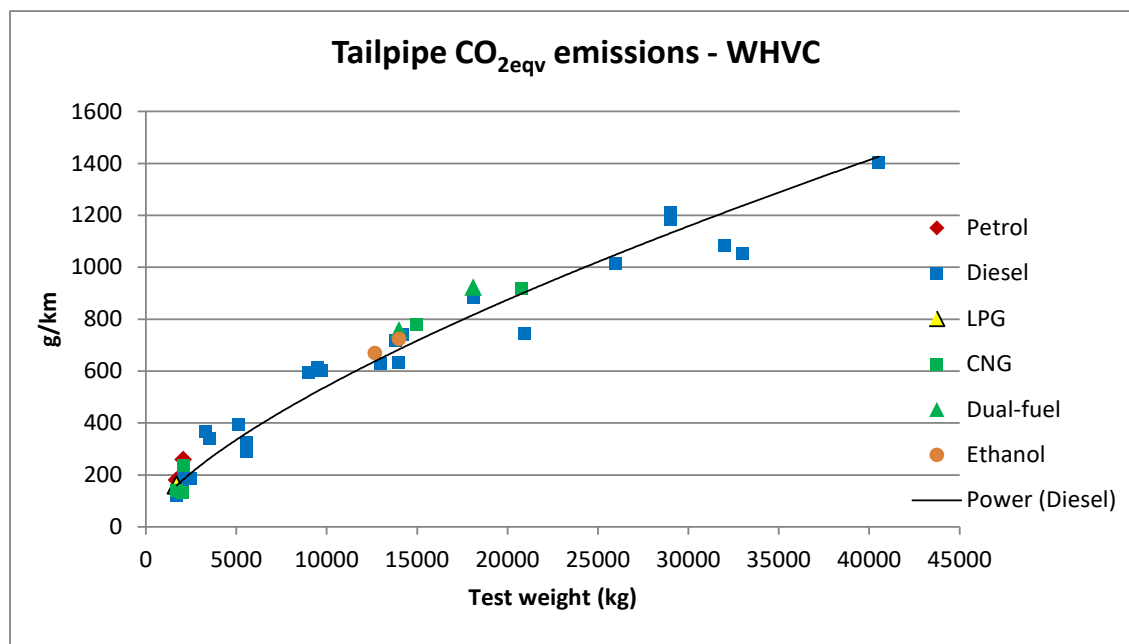
Figur 35: Energibruk etter Euro-klasse, kjøretøy fra kategori 1 og 2. Linjene antyder gjennomsnittet av forskjellige klasser. (Nylund 2016).



Figur 36: Energibruk etter drivstofftype. Linjen viser gjennomsnittet for diesel. (Nylund 2016).

6.6 CO₂-utslipp fra eksosrøret

Når man ser på direkte utslipp av CO₂ fra eksosrøret av kjøretøyene, er det nesten ikke forskjell mellom ulike drivstoff, se Figur 37. Gassmotoren har lavere energieffektivitet (CNG, LPG i Figur 36) enn de andre motorene, men dette blir kompensert av bedre C:H (andel karbon og hydrogen atomer) forhold i metan, slik at CO₂-utslippet fra eksosrøret ikke er større enn det er fra andre motorer.



Figur 37: Utslipp av CO_{2eqv} fra eksosrøret etter drivstofftype. For CNG er klimapåvirkningen fra utslipp av uforbrent metan inkludert. (Nylund 2016).

6.7 Klimapåvirkning i et livsløpsperspektiv

COMVEC rapporten gir en analyse av klimapåvirkningen i et livsløpsperspektiv (well-to-wheel, WTW) med hjelp av well-to-tank (WTT) data fra JEC – Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE prosjektet (Edwards et al. 2014). Analysen ble utført for kjøretøykategoriene 1 og 2.

Rapporten konkluderer med at CNG fra fossile kilder ikke gir en besparelse av hverken energibruk eller klimapåvirkning i et WTW-perspektiv, sammenlignet med fossil diesel. Til tross for at biodrivstoffene ofte krever mye energi under produksjon, har enkelte typer (f.eks. biogass fra matavfall, HVO fra brukt frityrolje) potensial til stor besparelse av CO₂-utslipp. Dersom strøm til elektriske kjøretøy kommer fra fornybare kilder, gir dette størst besparelse i WTW CO₂-utslipp og energibruk.

7 Utslippsmålinger for tilleggsvarmere – foreløpige resultater

7.1 Innledning

Moderne biler med forbrenningsmotor er optimert for lavt drivstofforbruk og dermed lavt CO₂-utslipp. Viktige stikkord i denne sammenheng er "down-sizing" og "down-speeding", dvs. bilene har mindre motorer som går på lavere turtall. Dette har positiv påvirkning på ytelse og drivstofforbruket. I tillegg fører dette til at moderne bensin- og dieselmotorer produserer mindre overskuddsvarme enn eldre motorer. Mens dette ikke er et stort problem i store deler av Europa, gir det en del utfordringer i nordiske land. På veldig kalde dager kan det ta lang tid før det blir varm i kupeen, frontrutene kan dugge og fryse så sikten er påvirket. I tillegg tar det lengre tid før motorblokken er varm og forbrenningen i sylindrene blir jevn.

For det nordiske markedet er derfor mange nye biler utstyrt med tilleggsvarmere, som enten er elektriske eller går på bilens drivstoff, direkte fra tanken. Disse tilleggsvarmerne varmer opp kupeen, aviser vinduer og varmer opp motorblokken. Typiske standardinnstillinger slår på tilleggsvarmeren når utetemperaturen synker under 5 °C og tenningen er på (kilde: bruksanvisning tilleggsvarmer). I tillegg kan varmeren settes på manuelt før starten av bilen. Varmerne ettermonteres ofte i Norge og er dermed ikke omfattet av typegodkjenningskrav.

Mens disse type varmere sørger for økt komfort og sikkerhet i bilen, kan det ved bruk av drivstofforbrennende varmere være utfordringer knyttet til økt utslipp av lokalt forurensende stoffer, særlig partikler (PM), uforbrent drivstoff (hydrokarboner, HC), nitrogenoksyder (NO_x) og kullos (CO). Eksosgassene fra tilleggsvarmere slippes ut direkte under bilen, og blir dermed ikke ført gjennom bilens avgassrensingsystem.

EMIROAD har derfor begynt å undersøke utslipp fra dieselfyrte tilleggsvarmere. Dette dokumentet presenterer første funn av utslippsmålinger for en tilleggsvarmer. Disse målingene presenterer tidlige eksperimenter, der hovedfokus var på oppsettet av måleutstyret og å "bli kjent" med eksperimentet. De presenterte tallene er derfor foreløpige og skal gi bakgrunn for videre undersøkelser.

7.2 Oppsett

Tilleggsvarmeren ble testet ved VTTs avgasslaboratorium i Helsinki. Enheten ble stilt til rådighet fra den finske importøren av tilleggsvarmeren, og er en frittstående demonstrasjonsenhet som til vanlig blir brukt til å lære opp selgere og mekanikere. Det kan hende at enheter som er bygd inn i kjøretøy har andre innstillinger og må derfor testes separat. I denne fasen av eksperimentet var imidlertid hovedfokuset å finne ut om det er fysisk mulig å måle utslipp fra en tilleggsvarmer i et avgasslaboratorium, utvikle metoden for å måle, og å få erfaring med disse type målinger.

Tabell 5 viser en oversikt over viktige egenskaper for den dieselfyrte tilleggsvarmeren "Webasto Thermo Top EVO 5kW Diesel". Under fullast har varmeren en varmeeffekt av 5 kW.

Tabell 5: Oversikt over viktige egenskaper av den dieselfyrte tilleggsvarmeren.
Kilde: Bruksanvisningen til tilleggsvarmeren.

	Dellast	Fullast
Varmeeffekt (kW)	2,5	5
Drivstofforbruk (l/h)	0,31	0,61

Figur 38 viser deler av testoppsettet for målingen av utslippet fra tilleggsvarmeren. Utslipet fanges opp i eksosrøret (ikke synlig på bildet) og ledes i oppvarmet slange til videre analyse. Et infrarød-Fourier-transform (FTIR) spektrometer analyserer gasser og andre forbindelser som finnes i eksosgassen, som f.eks. vanddamp (H₂O), hydrokarboner (HC), nitrogenoksyder (NO_x) og kulløs (CO). Testene er utført ved romtemperatur (ca. 20 °C).

Det var ikke mulig å måle antall (PN) eller masse av partikler (PM) direkte i oppsettet som ble benyttet under testene. Laboratoriet jobber med å finne en metode til å gjennomføre denne typen analyser også. Utfordringer er knyttet til at flammen i brennkammeret forstyrres dersom dragsuget til analysesystemet settes på, og dersom trykket ikke er nøyaktig tilpasset til eksosstrykket fra brenneren. For å måle eksosgasser fra kjøretøy, fortynnes eksosgassene i ett anlegg som sørger for at målevolumet alltid er konstant (constant volume sampling, CVS). Mens dette ikke fører til problemer ved måling av kjøretøy, siden eksosgassene blåses ut med overtrykk, kan det være en utfordring ved målinger av tilleggsvarmere, siden overtrykket er lavere.

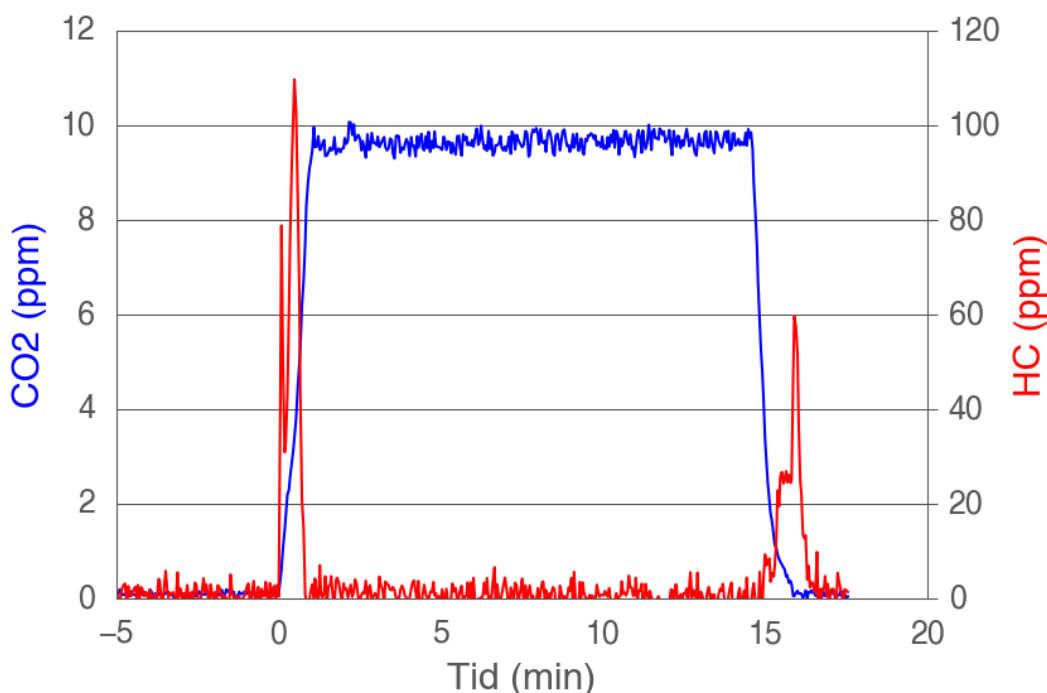


Figur 38: Oppsett av tilleggsvarmeren. Testene ble utført ved romtemperatur ved kald- og varmstart av varmeren.

7.3 Kvalitativ analyse – tidsforløp av utvalgte utslippsfaktorer

Som nevnt i avsnitt 7.1 og 7.2, presenterer dette dokumentet foreløpige funn for målingene av en dieselfyrt tilleggsvarmer. Målingene kan i liten grad tolkes på en kvantitativ måte, men det er mulig å trekke noen kvalitative slutninger fra testresultatene.

Figur 39 viser tidsforløpet av utslippet av CO₂ og hydrokarboner i parts-per-million (ppm, deler per million), dvs. konsentrasjon av stoffene i eksosgassen.



Figur 39: Tidsforløp av CO₂-utslipp og utslipp av hydrokarboner i parts-per-million (ppm), målt ved varmstart av dieselsvarmeren.

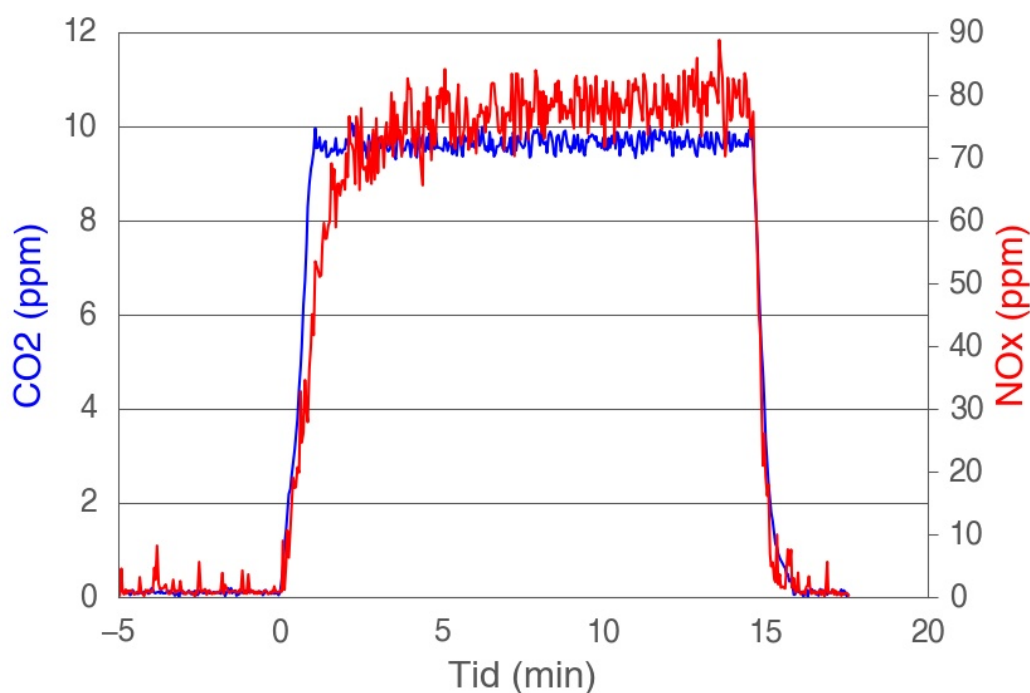
Etter oppstart av tilleggsvarmeren (0 min) viser en rask økning av CO₂-utslippet at forbrenningen er i gang (Figur 39). Etter ca. 1 minutt når utslippet ett nivå på ca. 9,6 ppm, som holdes konstant over hele forbrenningsfasen. Dette tyder på en veldig jevn og ren forbrenningsprosess.

Når man ser på hydrokarbonene, HC², er det lett å gjenkjenne oppstarts- og avstengningsfasen (Figur 39). Her viser målingen høye verdier, mens nivået er lavt under stabil forbrenning. Høye verdier av HC skyldes uforbrent drivstoff som fordampes i brennkammeret. Under oppstart av tilleggsvarmeren tar det noe tid før forbrenningsprosessen foregår på en stabil måte. Ca. 50 sekunder etter oppstart synker HC-verdiene til lave nivåer. Etter avstengningen (rundt 15 min i Figur 39) øker utslippet av HC, til den synker igjen etter ca. 1 minutt. Dette tyder på at det fortsatt er uforbrent drivstoff som fordampes etter at flammen har slukket.

² Her står HC for summen av metan (CH₃) og etan (C₂H₆), i motsetning til de andre målingene, der THC står for den totale mengden av hydrokarboner, dvs. inkludert mer komplekse forbindelser med flere carbonatomer.

I følge manualen til tilleggsvarmeren stenges drivstoffpumpen med en gang signalet til avstengning mottas. Viften som skal sørge for jevn blanding av drivstoff og luft kjøres videre i ca. 60 sekunder, for å kjøle ned brenneren. Farten på viften økes, etter at systemet har mottatt signalet at flammen har slukket. Dette kan forklare at HC-utslippet øker i to steg, før konsentrasjonen går ned igjen.

Vi har fått flere henvendelser fra privatpersoner, som klager over sterk lukt og pusteproblemer i garasjen, når tilleggsvarmeren startes eller stenges av. Hydrokarboner er sterk luktende, og økt dannelse under oppstart og avstengning av tilleggsvarmeren kan føre til konsentrasjoner som er følbare. Særlig i lukkede områder (garasjen) kan dette føre til merkbare verdier. Derfor skal ikke dieselfyrte tilleggsvarmere benyttes til å forvarme bilen i lukkede områder som garasjer. Det kan antas at problemet er større for brennere som ikke fungerer optimalt, f.eks. ved at det dannes sot som kan gi økte utslipp.



Figur 40: CO₂- og NO_x-utslipp i parts-per-million (ppm), målt ved varmstart av dieselvevarmeren.

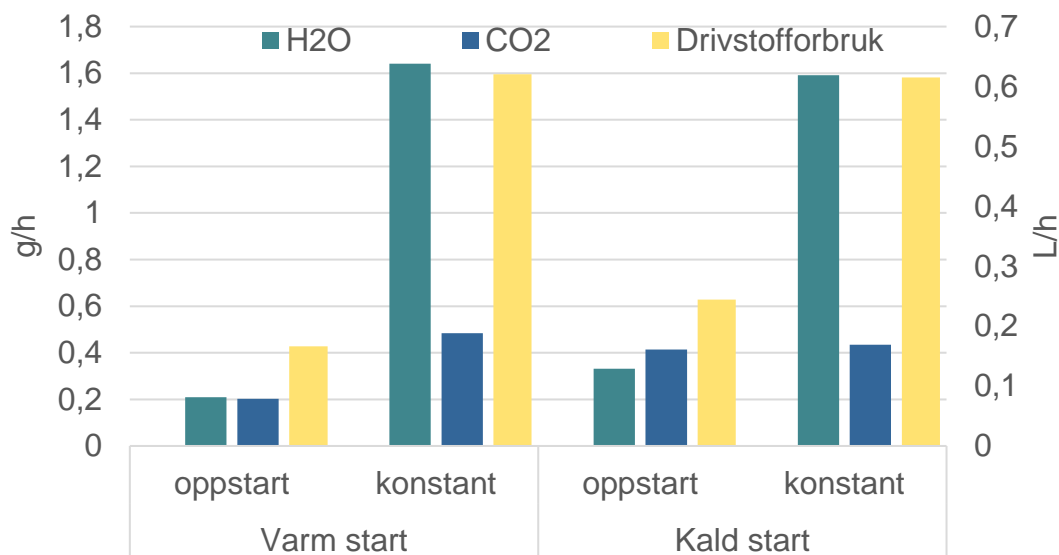
Utslipp av NO_x vises i Figur 40. Figuren viser også utslippet av CO₂, for å kunne gi oversikt over forbrenningsprosessen. Under oppvarming av forbrenningen stiger NO_x-verdiene, før de etter ca. 5 minutt når et stabilt nivå. Denne konstante økningen kan forklares med at NO_x dannes ved høy forbrenningstemperatur. Når brenneren stenges av, synker NO_x-verdiene like fort som CO₂-verdiene.

7.4 Kvantitativ analyse – foreløpige tall

I det foreløpige oppsettet av eksperimentet er det ikke mulig å måle volumet på luftstrømmen. Volumet av eksosgassen er derfor beregnet fra drivstofforbruket. Avlesningen av vekten var i de første forsøkene ikke automatisert, det finnes derfor bare verdier for det første minuttet, og verdier for konstant forbrenning, 10 min før brenneren slås av. Det ble gjennomført to forsøk, en ved varm start av brenneren, og en ved kald start av brenneren. Ved "varm start" var brenneren i drift før den ble startet på nytt og

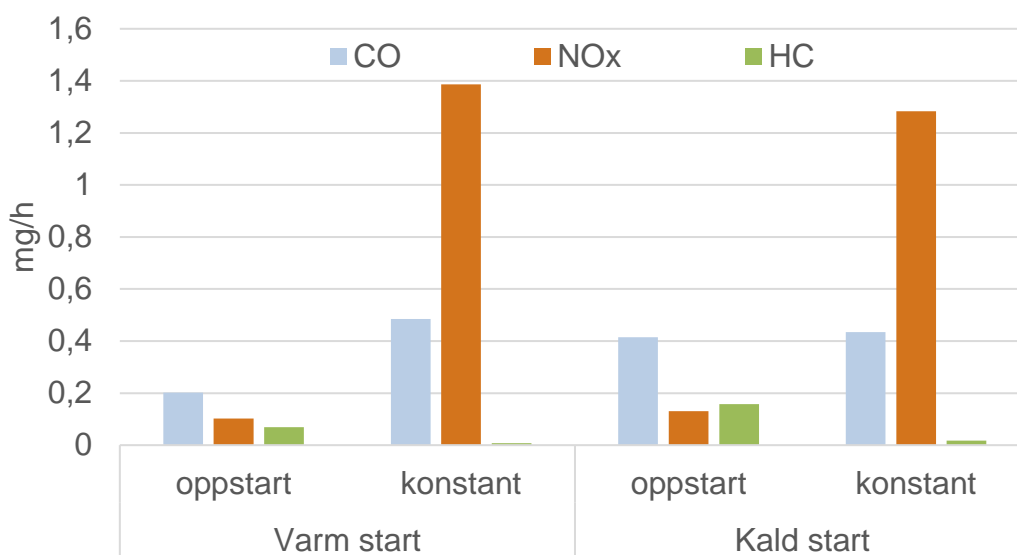
målingene startet, mens "kald start" betyr at brenneren ikke har vært i drift over natten, og starter helt fra romtemperatur.

Figur 41 viser utslippstallene for vanndamp og CO₂, sammen med drivstofforbruket ved oppstart og under konstant forbrenning. Det går tydelig frem fra figuren at drivstofforbruket og dermed utslippstallene er større i oppstartsfasen ved kaldstart enn ved varmstart. Under konstant forbrenning ved slutten av brennetiden, er det ingen vesentlig forskjell.



Figur 41: Utslipp av vanndamp (H₂O), CO₂ og drivstofforbruk (L/h) etter 1 min og etter mer enn 5 min, ved varm- og kaldstart av tilleggsvarmeren.

Utslippstallene for CO, NO_x og HC vises i Figur 42. Igjen finnes de største forskjellene ved oppstart av brenneren, utslippene er noe høyere ved kald start.



Figur 42: Utslipp av CO, NO_x og HC etter 1 min og etter mer enn 5 min, ved varm- og kaldstart av tilleggsvarmeren.

7.5 Diskusjon

Disse første målingene viser at det er mulig å måle utslipp fra tilleggsvarmere med FTIR-spektrometeret. Det gjenstår å sikre reproduserbarhet av resultatene og å få mer erfaring med utslippsmålingene.

De første resultatene tyder på ren forbrenning ved normal drift, det er lite HC-utslipp ved jevn forbrenning. I oppstarts- og avstengningsfasen finnes det noe HC-utslipp, som kan forklare lukten enkelte personer opplever når de operer brenneren i lukkede områder. Dette bør unngås over lengre tidsperioder, særlig med hensikt til relativt høyt utslipp av CO. Per nåværende tidspunkt er det vanskelig å tolke nivået av NO_x-utslippet. Dersom vi sammenligner utslippstallene for tilleggsvarmeren med utslippet i Artemis Urban-syklus, ved kaldstart i kulde, er gjennomsnittet av utslippene av CO, CO₂, NO_x og HC for diesebiler omtrent 4-5 tierpotenser høyere enn for tilleggsvarmeren. Dieselforbruket derimot varierer bare med en faktor 10. På den andre siden er disse tall vanskelig å sammenligne, siden energiuttaket i en kjøresyklus er mye høyere enn ved tomgangskjøring.

I en mulig oppfølging skal det undersøkes om også PM/PN kan måles. Det blir interessant å måle utslippet i forskjellige temperaturer, f.eks. 0, -7 og -24 °C. I tillegg er det mulighet til å teste brennere for tunge kjøretøy (bybusser), og det bør undersøkes muligheten til å teste brennere som er installert i biler samtidig som en tester avgassutslippet fra bilen. I denne sammenhengen kan det også undersøkes hvorvidt oppvarmingen av motorblokken påvirker utslippsnivået og drivstofforbruket når bilen kjører i nordisk kulde.

8 Konklusjoner

Rapporten viser resultater fra målinger gjennomført i 2015. Funnene for dieselpersonbiler støtter i stor grad tidligere funn, i samsvar med observasjoner fra andre institusjoner (KBA, TNO, ICCT), mens utslippene for PM er lave, er utslippene av NO_x høy i alle testsituasjoner. Eneste unntak var dieselbil DB, som hadde lave verdier ved varmstart i 23 °C i Helsinki-syklus.

De to bensinbilene med GDI-teknologi hadde høye utslippsverdier for PM og NO_x ved kald start i ved -7 °C. Med bare to testede biler er det for tidlig til å konkludere hvordan teknologien kommer til å påvirke utslippsnivået, men utviklingen videre vil bli fulgt nøye, særlig med tanke på innstramning av utslippskravene til PM for GDI-biler i 2017.

For tunge kjøretøy bekrefter målingene av bybussene tidligere funn, det er lave utslipp av PM og NO_x i realistiske kjøresykluser i laboratoriet. Når det gjelder lastebiler og forskjellige drivstoffalternativer, viser IEA/COMVEC-rapporten at det er typegodkjenningsklasse fremfor drivstofftype som avgjør utslipp av lokale utslippsfaktorer (som NO_x og PM). Kjøretøy drevet med naturgass (metan fra fossile kilder) gir ikke mindre utslipp av CO₂-ekvivalenter i et livsløpsperspektiv, sammenlignet med et kjøretøy drevet med fossil diesel. Klimapåvirkningen av ulike fornybare drivstoffer må vurderes i hvert enkelt tilfelle.

I oppfølging av "dieselskandalen" viser tall fra tyske KBA at Volkswagens biler med ulovlig programvare ligger "midt på treet" når det gjelder utslipp av NO_x i realistiske kjøreforhold. KBA-rapporten nevner at flere bilprodusenter velger rensestrategier som er mer aktive under forhold som er definert i typegodkjenningsregelverket, særlig gjenkjenning av temperatur. Mens bilprodusentene hevder at dette er lovlig bruk av regelverket for å beskytte motorene, viser saken at høye utslippstall er et prinsipielt problem i industrien. Hensikten med avgasskravene er jo at det også at det skal bli renere byluft og dette målet vil jo undergraves dersom avgassrensingen skrur av under vanlige trafikkforhold.

De foreløpige resultatene av målingen av utslipp fra en tilleggsvarmer tyder på at forbrenningen i tilleggsvarmere som installeres i dieslbiler som selges i Norge stort sett skjer veldig rent. Utslipp av hydrokarboner skjer mest ved oppstart og avstengning av brenneren. NO_x-utslippet er lav i forhold til utslippet fra en dieselbil i bykjøring.

9 Ordliste - motor og miljøteknologi

AdBlue	Handelsnavn for urea som er et kjemisk reduksjonsmiddel for rensing av avgasser fra NO _x , se SCR.
Biodiesel	Biodiesel er et felles navn på en mengde forskjellige drivstoffer som er produsert av biomasse og som kan brukes i CI-motorer, se ICE. Rapsmetylester, RME blandes i lave konsentrasjoner inn i all autodiesel i Norge.
Biogass	Gass fra anaerob (oksygenfri) nedbryting av organiske materialer, som f.eks. matavfall, kloakk eller planter. Gassen må for å kunne brukes som drivstoff (biometan) renses fra CO ₂ , vann og forurensende stoffer.
CI	se ICE.
CNG	<i>Compressed Natural Gas</i> (hovedsakelig metan). Komprimert naturgass som kan brukes som drivstoff. Gassen blir komprimert til høyt trykk (200 bar). Energitettheten per volum er mindre enn for LNG, dvs. samme kjørelengde må en tank med CNG være større enn en med LNG.
DME	Dimetyleter. Den enkleste form av en eter (C ₂ H ₆ O) har lenge vært i bruk som drivgass i sprayflasker, men vurderes også som drivstoff i forbrenningsmotorer.
DPF	Dieselpartikkelfilter. Filteret brenner karbonholdig partikler i eksosgassen og slipper kun gass gjennom veggene i filtret. Bruk av katalytiske materialer i filteret senker temperaturen som trengs for å brenne partiklene. Noen partikler består av materialer som ikke lar seg forbrenne og kan bli kvar i filtret.
EN228	En spesifisering for hvilke egenskaper et drivstoff skal ha for å kunne bli godkjent til bruk i bensinmotorer, SI-motor, se ICE. Viktige egenskaper er blant annet tetthet og Oktantall.
EN590	En spesifisering for hvilke egenskaper et drivstoff skal ha for å kunne bli godkjent til bruk i dieselmotorer, CI-motor, se ICE. Viktige egenskaper er blant annet tetthet og Cetantall.
Etanol	De fleste alkoholer kan brukes som drivstoff. ED95 er et drivstoff som brukes i CI-motorer fra Scania, se ICE. Forskjellige innblandinger av etanol i bensin fungerer i SI-motorer til personbiler, se ICE. Uttrykket Bioetanol brukes for å poengtere at den aktuelle etanolen er produsert av biomasse.
GDI	<i>Gasoline Direct Injection</i> , direkteinnsprøytning i bensinmotorer. DI-teknologien har lenge vært brukt i dieselmotorer, men har i de siste årene også kommet til bensinmotorer. Fordelen med nøyaktig innsprøytning direkte i brennkammeret er bedre drivstofføkonomi, men teknologien kan også medføre ulemper, som f.eks. økt partikkelantall.

ICE	<i>Internal Combustion Engine</i> , forbrenningsmotor som i Norge i praksis enten er bensinmotor eller dieselmotor. I engelsk litteratur brukes de mer generelle beskrivende benevnelsene <i>SI ICE</i> , <i>Spark Ignition Internal Combustion Engine</i> og <i>CI ICE</i> , <i>Compression Ignition Internal Combustion Engine</i> .
LBG	<i>Liquefied Biogas</i> , flytende rensset biogass (biometan), se Biogass, CNG og LNG.
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i> , livsløpsanalyse. I en livsløpsanalyse vurderes miljøpåvirkningen av ett produkt eller aktivitet i ett livsløpsperspektiv. For en bil med spesifisert drivstoff vurderes klimapåvirkningen fra utvinning av råmaterialer, produksjon av produktet, distribusjon, bruk og deponering. Siden det er nesten umulig å ta med absolutt alle faktorer som påvirker miljøet på grunn av ett produkt, er det viktig å definere hvilke faktorer som blir inkludert i livsløpsanalysen og hva som ikke blir tatt med, se WTW.
LNG	<i>Liquefied Natural Gas</i> , flytende naturgass, kan brukes som drivstoff i ICE motorer. Metan blir flytende ved temperaturer under $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$ og blir lagret i varmeisolererte tanker. Nedkjøling krever energi, men energitettheten for LNG er større enn for CNG, se CNG.
LNT	<i>Lean Nitrogen Trap</i> , NO_x katalysator. LNT er et NO_x -rensesystem som ikke trenger tilsatt reduksjonsmiddel. Under mager forbrenning blir NO_x adsorbent (lagret) på overflaten av katalytisk materialer. Regenerering av katalysatoren (tømming av lagret NO_x) foregår under støkiometriske forhold og NO_x kan da bli kjemisk redusert til nitrogengass N_2 .
LPG	<i>Liquefied Petroleum Gas</i> , flytende petroleum gass som kan brukes som drivstoff. LPG er en blanding av Propan og Butan. LPG går over til flytende form ved moderat trykk (5-10 bar) i romtemperatur. LPG kan oppbevares i rimelige trykktanker, men gassen er tyngre enn luft og krever derfor spesielle sikkerhetstiltak.
N_2O	<i>Dinitrogenoksyd</i> , Lystgass. N_2O regnes ikke som lokalt forurensende, men vurderes å ha ca. 300 ganger sterkere klimapåvirkning enn CO_2 .
Naturgass	Gass fra fossile kilder som i hovedsak består av metan. I motsetning til bensin, diesel eller biogass krever naturgass lite raffinering. Høy metanandel medfører mulighet til forbrenning med lave utslipp av lokalt forurensende avgasser, se CNG og LNG.
NGV	<i>Natural Gas Vehicle</i> , kjøretøy som bruker gass (metan og biometan) som drivstoff.
NMHC	<i>Non-Methane Hydro Carbons</i> . Omfatter alle hydrokarboner i eksosgass, unntatt metan (CH_4).
NO	Nitrogenoksid, en gass som dannes sammen med NO_2 ved høy temperatur i forbrenningsprosesser ved at luftens nitrogen reagerer med luftens oksygen. NO omdannes ved reaksjoner med ozon, O_3 til NO_2 .
NO_2	Nitroendioksid, en gass som dannes sammen med NO i forbrenningsprosesser ved høy temperatur og ved oksidering av NO. NO_2 har en skarp lukt og kan skape astma og helseproblemer.
NO_x	Samlebegrep for nitrogenoksider, NO og NO_2 .

- PEMS** *Portable Emission Measurement System*, portabelt system for utslippsmåling. Istedenfor å kjøre bilen i faste sykluser på laboratoriet, gjør PEMS det mulig å ha laboratoriet i bilen og kjøre bilen på vanlig veg, under realistiske forhold. PEMS systemet bør kalibreres mot laboratoriemålinger. Repeterbarheten av testene er lavere i forhold til laboratoriemålinger, mest pga. trafikk, vind og vær, men PEMS-tester kan gi en god oversikt over de faktiske utslippene på vegene.
- PM** *Particulate Matter*. PM er samlebegrepet for vekten av partikler og eventuell annen forurensning som samles opp på et filter ved målinger av partikkelforurensning. Ufullstendig forbrenning fører til dannelse av karbonpartikler og partikler av adsorberte hydrokarboner. Avgasspartikler og vegstøv kan skape helseproblemer. Fra kjøretøy er ikke bare forbrenning av drivstoff en kilde til partikler, men i stor grad også slitasje av bremses, dekk og asfalt.
- PN** *Particulate Number*. Antall av partikler som til sammen former PM. Innføring av partikkelfiltre har ført til lave verdier for PM i typegodkjenningen. Men siden andelen av veldig små partikler bidrar marginalt til den totale massen av partikler, ble det innført grenseverdier for antall av partikler. Disse gjelder fra Euro 5b for dieslbiler og fra Euro 6 for bensinbiler med direkteinnsprøyting.
- RDE** *Real Driving Emission*, utslipp på realistisk kjøring. Fra 2017 skal RDE-turer tas inn i typegodkjenningen. Dette betyr at det skal settes portabelt måleutstyr på bilen (se PEMS) og bilen skal kjøres på vanlig veg med definert andel i by, landveg og motorveg.
- SCR** *Selective Catalytic Reduction*, selektiv katalytisk reduksjon. I et SCR rensesystemer, blir nitrogenoksider (NO og NO₂) kjemisk redusert til nitrogen (N₂) ved hjelp av katalysatorer og et reduksjonsmiddel. Reduksjonsmidlet i SCR er ammoniakk, som blir tilført i form av urea (løsning av ammoniakk i vann, solgt under handelsnavnet AdBlue).
- SI** se ICE.
- THC** *Total Hydro Carbons*. Den samlede mengden av hydrokarboner (HC) i eksos, inkludert metan (CH₄). Ved bruk av gass som drivstoff spesifiseres HC og utslipper av CH₄ separat da signifikante mengder uforbrent metan i avgassene i sterk grad bidrar til klimapåvirkning.
- TTW** *Tank To Wheel*, se WTW og LCA.
- TWC** *Three Way Catalyst*, treveiskatalysator. I moderne bensinbiler er det mulig å styre motoren på en slik måte at det blir akkurat passende mengde luft og drivstoff (støkiometrisk forbrenning). Ved hjelp av katalytiske materialer er det da mulig å fjerne (kjemisk reduksjon samtidig med kjemisk oksidasjon) NO_x, CO og uforbrent drivstoff (HC og PM) fra eksosgassen på en effektiv måte.
- WTT** *Well To Tank*, se WTW og LCA.
- WTW** *Well To Wheel*, kilde til hjul. En WTW miljøvurdering av et drivstoff kan deles opp i en del som omfatter WTT, Well to Tank, kilde til tank og en del som omfatter TTW, tank to Wheel, tank til hjul. WTT delen for bensin tar med miljøbelastningen for å pumpe opp olje, raffinering og transport til bensinstasjon. TTW delen omfatter utslipp og klimapåvirkningen fra forbrenning av drivstoffet i kjøretøyet.

10 Referanser

- Barlow, T. et al., 2009. A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions. , p.280.
- BMVI, 2016. Bericht der Untersuchungskommission "Volkswagen."
- Edwards, R. et al., 2014. Well-to-tank report version 4.a, JEC Well-to-wheels analysis,
- European Parliament, C. of the E.U., 2007. Regulation (EC) No 715/2007 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2007 on type approval of motor vehicles with respect to emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 5 and Euro 6) and on access to vehicle repair and mai. Official Journal of the European Union.
- Finish Transport Safety Agency, 2015. Energy Rating of Vehicles. Available at: http://services.netwheels.fi/ekotrafikaytetty_auto/default.aspx [Accessed April 1, 2016].
- Franco, V. et al., 2014. REAL-WORLD EXHAUST EMISSIONS FROM MODERN DIESEL CARS Part 1, International Council on Clean Transportation Europe.
- Guan, B. et al., 2015. Review of the state-of-the-art of exhaust particulate filter technology in internal combustion engines. Journal of Environmental Management, 154, pp.225–258.
- Hagman, R., Gjerstad, K.I. & Amundsen, A.H., 2011. NO₂-utslipp fra kjøretøyparken i norske storbyer, TØI rapport 1168/2011: Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Hagman, R., Weber, C. & Amundsen, A.H., 2015. Utslipp fra nye kjøretøy – holder de hva de lover?, TØI rapport 1407/2015: Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Hagman, R. & Amundsen, A.H., 2013a. Utslipp fra kjøretøy med Euro 6/VI teknologi, TØI rapport 1259/2013: Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Hagman, R. & Amundsen, A.H., 2013b. Utslipp fra kjøretøy med Euro 6/VI teknologi - Måleprogrammet fase 2, TØI rapport 1291/2013: Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Nasjonal Transportplan, 2013. Faktaark Reisevane: Transport i de ni største byområdene, Oslo.
- Nylund, N., 2016. COMVEC: Fuel and Technology Alternatives for Commercial Vehicles, Helsinki.
- Nylund, N.-O. & Koponen, K., 2012. Fuel and Technology Alternatives for Buses; Overall Energy Efficiency and Emission Performance, VTT Technical Research Centre of Finland.
- Nylund, N. & Erkkilä, K., 2007. Evaluation of duty cycles for heavy-duty urban vehicles Final report of IEA AMF Annex XXIX. VTT research notes, 2396.
- Tietge, U. et al., 2015. From laboratory to road. ICCT White Paper.

United Nations, 2015. Agreement Concerning the Adoption of Uniform Technical Prescriptions for Wheeled Vehicles, Equipment and Parts which can be fitted and/or be used on Wheeled Vehicles and the Conditions for Reciprocal Recognition of Approvals Granted on the Basis of these .

E/ECE/324/Rev.1/Add.82/Rev.5–E/ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.82/Rev.5.

United States Environmental Protection Agency, 2015. Notice of violation.

Volkswagen AG, 2015. Pressemeldung, 22.9.2015. , (22.9.2015).

Weber, C., Hagman, R. & Amundsen, A.H., 2015. Utslipp fra kjøretøy med Euro 6 / VI teknologi Resultater fra måleprogrammet i EMIROAD 2014, TØI rapport 1405/2015: Transportøkonomisk institutt, Oslo.

Transportøkonomisk institutt (TØI) Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning

TØI er et anvendt forskningsinstitutt, som mottar basisbevilgning fra Norges forskningsråd og gjennomfører forsknings- og utredningsoppdrag for næringsliv og offentlige etater. TØI ble opprettet i 1964 og er organisert som uavhengig stiftelse.

TØI utvikler og formidler kunnskap om samferdsel med vitenskapelig kvalitet og praktisk anvendelse. Instituttet har et tverrfaglig miljø med rundt 70 høyt spesialiserte forskere.

Instituttet utgir tidsskriftet Samferdsel med 10 nummer i året og driver også forskningsformidling gjennom TØI-rapporter, artikler i vitenskapelige tidsskrifter, samt innlegg og intervjuer i media. TØI-rapportene er gratis tilgjengelige på instituttets hjemmeside www.toi.no.

TØI er partner i CIENS Forskningscenter for miljø og samfunn, lokalisert i Forskningsparken nær Universitetet i Oslo (se www.ciens.no). Instituttet deltar aktivt i internasjonalt forsknings-samarbeid, med særlig vekt på EUs rammeprogrammer.

TØI dekker alle transportmidler og temaområder innen samferdsel, inkludert trafiksikkerhet, kollektivtransport, klima og miljø, reiseliv, reisevaner og reiseetterspørsel, arealplanlegging, offentlige beslutningsprosesser, næringslivets transport og generell transportøkonomi.

Transportøkonomisk institutt krever opphavsrett til egne arbeider og legger vekt på å opptre uavhengig av oppdragsgiverne i alle faglige analyser og vurderinger.

Besøks- og postadresse:

Transportøkonomisk institutt
Gautstadalléen 21
NO-0349 Oslo

22 57 38 00
toi@toi.no
www.toi.no