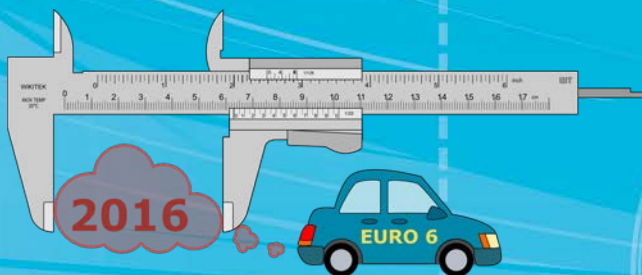


# Utslipp fra personbiler med bensin-direkteinnsprøytning

Resultater fra måleprogrammet i EMIROAD  
2016





# Utslipp fra personbiler med bensin- direkteinnsprøytning

## Resultater fra måleprogrammet i EMIROAD 2016

Christian Weber

*Forsidebilde: Christian Weber TØI*

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 personbiler med bensindirekteinnsprøyting. Resultater fra måleprogrammet i EMIROAD 2016

**Forfatter:** Christian Weber

**Dato:** 12/2016

**TØI-rapport:** 1541/2016

**Sider:** 30

**ISBN elektronisk:** 978-82-480-1820-9

**ISSN:** 0808-1190

**Finansieringskilde:** Statens vegvesen Vegdirektoratet

**Prosjekt:** 4108 – EMIROAD

**Prosjektleder:** Christian Weber

**Kvalitetsansvarlig:** Erik Figenbaum

**Fagfelt:** 23 Miljø, energi og teknologi

**Emneord:** Avgassutslipp  
CO<sub>2</sub>-utslipp  
Kjøretøyteknologi  
NOx  
PM

#### Sammendrag:

Rapporten presenterer resultater fra utslippsmålinger av personbiler med GDI-motor. Rapporten bekrefter at bensinbiler slipper ut mer CO<sub>2</sub> enn dieslbiler, men diesebilens forsprang minker: Ved +23 °C slipper bensinbilene i gjennomsnitt ut 13,3 % mer CO<sub>2</sub> per kilogram kjøretøymasse enn diesebilene. Men denne forbedringen kommer til en høy pris: Ved kaldstart i kulde slipper biler med GDI-motor mer partikkelmasse enn dieslbiler med partikkelfilter. Noen biler med GDI-motor viser relativt høyt utslipp av NO<sub>x</sub>, men utslippet er betydelig lavere enn fra moderne dieslbiler.

**Title:** Exhaust emissions from cars with GDI-technology. Results from the measurement program in EMIROAD 2016

**Author:** Christian Weber

**Date:** 12/2016

**TØI Report:** 1541/2016

**Pages:** 30

**ISBN Electronic:** 978-82-480-1820-9

**ISSN:** 0808-1190

**Financed by:** Norwegian Public Roads Administration

**Project:** 4108 – EMIROAD

**Project Manager:** Christian Weber

**Quality Manager:** Erik Figenbaum

**Research Area:** 23 Environment, energy and technology

**Keywords:** Emissions  
CO<sub>2</sub>-emission  
NO<sub>x</sub>  
Particle emission

#### Summary:

The report presents results from emission measurements of passenger cars with GDI engines. The report confirms that petrol cars release more CO<sub>2</sub> than diesel cars, with petrol cars emitting an average of 13.3 % more CO<sub>2</sub> per kilogram of vehicle at +23 °C. While the level of CO<sub>2</sub>-emissions of petrol cars is closing in on that of diesel cars, the improvement comes at a price: With cold starts at low temperatures, cars with GDI-engines release more particulate matter than diesel cars with particle filters. Some cars with GDI-engines show relatively high emissions of NO<sub>x</sub>, but the emissions are still significantly lower than from modern diesel cars.

**Language of report:** Norwegian

Transportøkonomisk Institutt  
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo  
Telefon 22 57 38 00 - [www.toi.no](http://www.toi.no)

Institute of Transport Economics  
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo, Norway  
Telefon 22 57 38 00 - [www.toi.no](http://www.toi.no)

# Forord

Flere byer i Norge sliter med dårlig luftkvalitet, særlig vinterstid har utslippene gitt høye konsentrasjoner av NO<sub>2</sub> i luften. Rapporten presenterer måleresultater for avgassutslipp fra personbiler med bensin-direkteinnsprøyting, 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-kravene, har vært å få indikasjoner på om disse kjøretøy vil bidra til tilfredsstillende luftkvalitet. 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 nitrogenoksider (NO<sub>x</sub>), 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 personbiler med bensin-direkteinnsprøyting. Rapporten oppsummerer resultatene fra kjøretøy testet i hele måleprogrammet.

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 forsker Christian Weber. Forskningsleder Erik Figenbaum har vært ansvarlig for kvalitetssikringen av rapporten, mens sekretær Trude Kvalsvik har tilrettelagt rapporten for publisering.

Oslo, desember 2016

Transportøkonomisk institutt

*Gunnar Lindberg*  
Direktør

*Erik Figenbaum*  
Forskningsleder



# Innhold

## Sammendrag

### Summary

<b>1</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>1</b>
1.1	Bakgrunn.....	1
1.2	Avgrensning.....	2
1.3	Rapportstruktur.....	2
<b>2</b>	<b>Teknologi</b> .....	<b>3</b>
2.1	Motorteknologi.....	3
2.2	Avgassrensing i bensinbiler.....	4
<b>3</b>	<b>Metode</b> .....	<b>6</b>
3.1	Avgassmålinger.....	6
3.2	Kjøresykluser.....	7
3.3	Testede kjøretøy.....	9
3.4	Usikkerhet i måleresultatene.....	9
<b>4</b>	<b>Resultater</b> .....	<b>10</b>
4.1	Varmstart av motoren: Helsinki-syklus.....	10
4.2	Kaldstart av motoren: Artemis Urban-syklus.....	15
<b>5</b>	<b>Diskusjon</b> .....	<b>19</b>
5.1	CO <sub>2</sub> -utslipp fra eksosrøret.....	19
5.2	Partikkelutslipp.....	21
5.3	NO <sub>x</sub> -utslipp.....	23
<b>6</b>	<b>Konklusjon</b> .....	<b>26</b>
<b>7</b>	<b>Ordliste - motor og miljøteknologi</b> .....	<b>27</b>
	<b>Referanser</b> .....	<b>30</b>





## Sammendrag

# Utslipp fra personbiler med bensin-direkteinnsprøytning.

## Resultater fra måleprogrammet i EMIROAD 2016

TØI rapport 1541/2016  
Forfattere: Christian Weber  
Oslo 2016 30 sider

*Bensinbiler med direkteinnsprøytning skal kunne gi lavere drivstofforbruk og høyere ytelse enn tradisjonell bensinmotorteknologi. Men denne drivstoffbesparelsen kan ha en nedside: Utslipp av partikler og nitrogenoksyder kan være relativt høyt fra denne biltypen.*

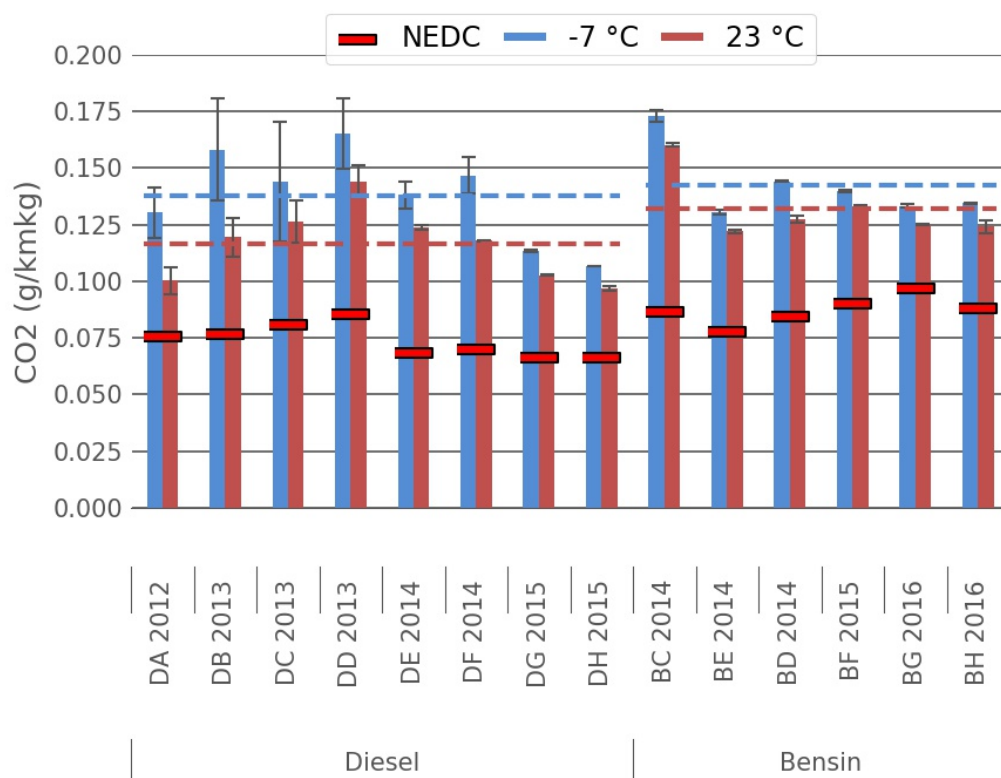
For å forbedre drivstofføkonomien, ble direkteinnsprøytning (DI) av drivstoffet direkte i sylindern innført i dieselmotorer. De siste årene har denne teknologien også blitt overført til bensinmotorer («gasoline direct injection», GDI). Sammen med reduksjon av sylindervolum («downsizing») gir denne teknologien potensial for drivstoffbesparelse, mens effekt-uttaket fortsatt er på høyt nivå. Det er kjent at GDI-teknologien ikke bare har fordeler: Når forholdene i sylindern under forbrenning nærmer seg de samme som i dieselmotorer, kan også ulempene som høye partikkel- og NO<sub>x</sub>-utslipp fra motoren overføres til bensinbiler. Problematikken er kjent, men det finnes få undersøkelser som kartlegger utslippene under realistiske forhold.

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 som bidrar til lokale forurensningseffekter. Siden 2013 har måleprosjektet vært finansiert av Statens vegvesens FoU-program EMIROAD (EMISSIONS FROM ROAD TRANSPORT VEHICLES).

Den foreliggende rapporten presenterer resultatene fra målinger av personbiler med GDI-motor i realistiske kjøreforhold, ved kald- og varmstart av motoren og i ulike temperaturer. Målingene er utført i VTTs avgasslaboratorium i Helsinki, Finland.

## Bensinbiler med GDI-motor slipper ut mer CO<sub>2</sub> enn dieserbiler

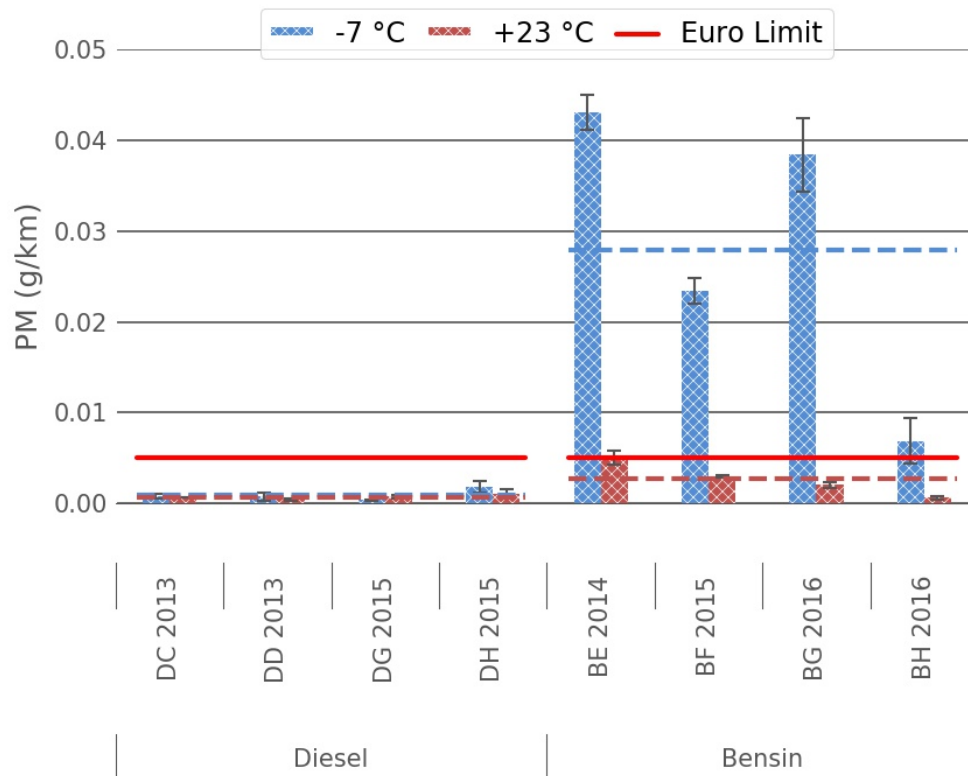
Bensinbiler har tradisjonelt en ca. 20-25 % høyere drivstofforbruk og dermed høyere CO<sub>2</sub>-utslipp enn dieserbiler. Men dieserbilens forsprang minker: Figur S 1 viser CO<sub>2</sub>-utslippet av biler testet i EMIROAD-programmet. Utslippstallene er normalisert på kjørte kilometer i Helsinki-syklus og på vekten av kjøretøyet. Ved +23 °C slipper bensinbilene i gjennomsnitt ut 13,3 % mer CO<sub>2</sub> per kilogram kjøretøymasse enn dieserbilene. Men som rapporten viser, kommer denne forbedringen med en høy pris, når det gjelder de «lokale» utslippsfaktorene som partikler og nitrogenoksyder. I denne sammenhengen er det også viktig å nevne at det er det totale utslippet av CO<sub>2</sub> fra hele kjøretøyet, i et livsløpsperspektiv, som er viktig i et klimaperspektiv.



Figur S 1: CO<sub>2</sub>-utslipp fra bensinbiler (BC-BH), sammenlignet med CO<sub>2</sub>-utslippet fra dieslbiler (DA-DH) i Helsinki-syklus, normert i forhold til kjøretøysvekt ((g/km)/kg kjøretøysvekt). Årstallet angir bilens produksjonsår. Den røde markeringen viser utslippsverdien som angitt av produsentene. De stiplede røde og blå linjene viser gjennomsnittet av måle-verdiene for begge kjøretøytypene og ved de to forskjellige temperaturnivåene. Data for diesebilene er hentet fra tidligere TØI-rapporter.

## Ved kaldstart i kulde slipper biler med GDI-motor ut mer partikkelmasse en dieslbiler med partikkelfilter

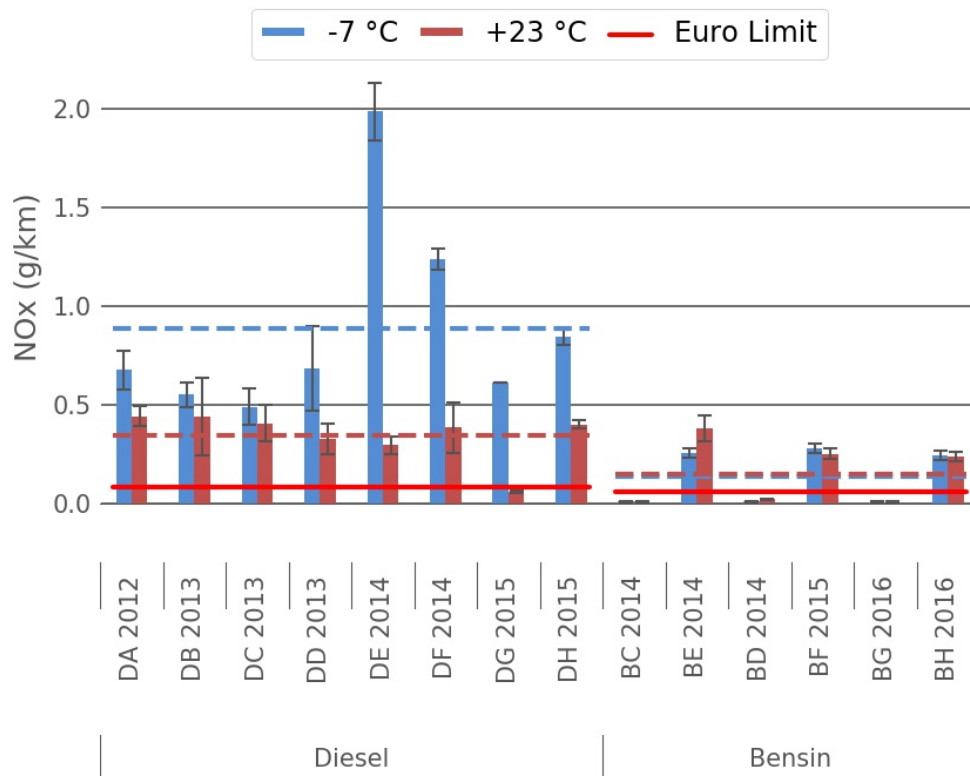
Dieselen har vært versting når det gjelder partikkelutslipp i mange år. Men med innføring av dieselpartikkelfiltre (DPF) har utslippet av partikkelmasse (PM) blitt veldig lavt, og for nye dieslbiler er nivået godt under grenseverdien til Euro 6-typegodkjenningen (Figur S 2). For bensinbiler med GDI-teknologi derimot kan PM-utslippene ved kaldstart i kulde være høy og ligge opp til 8,6 ganger over grenseverdien. Med innstramning av grenseverdien for PM i 2017 forventes det at også bensinbiler med GDI-motor blir utstyrt med partikkelfilter. Det er rimelig å forvente at PM-utslippet da kan bli like lavt som for diesebilene, men det blir også fremover viktig med uavhengige målinger, særlig av utslippene i nordisk klima (vinterkulde).



Figur S 2: PM-utslipp i g/km for testede personbiler med dieselmotor (DC, DD, DG, DH) og med bensinmotor (BE-BH) ved kaldstart av motoren i Artemis Urban-syklus. Årstallet angir bilenes produksjonsår. Den røde linjen viser typegodkjenningskravet for Euro 6-normen (European Parliament, 2007). De stiplede røde og blå linjene viser gjennomsnittet av måleverdiene for begge kjøretøytypene og ved de to forskjellige temperaturnivåene. Data for diesellbilene er hentet fra tidligere TØI-rapporter.

### Noen biler med GDI-motor viser relativt høyt utslipp av NO<sub>x</sub>- men utslippet er betydelig lavere enn fra moderne dieslbiler

Halvparten av de testede bilene med GDI-motor viste NO<sub>x</sub>-utslipp som lå betydelig over grenseverdien i Euro 6-typegodkjenningen (Figur S 3). Også denne observasjonen krever oppfølging, særlig siden innføring av partikkelfiltre for bensinbiler potensielt kan føre til økt utslipp av NO<sub>2</sub>. Allikevel er utslippsnivået for NO<sub>x</sub> fra bensinbiler med GDI-motor i kulde betydelig lavere enn det er for nye dieslbiler.



Figur S 3: NO<sub>x</sub>-utslipp fra bensinbilene (BC-BH), sammenlignet med NO<sub>x</sub>-utslippet fra dieslbiler (DA-DH) kjørt i Helsinki-syklus. Årstallet angir bilens produksjonsår. Den røde linjen viser typegodkjenningskravet for Euro 6-normen (European Parliament, 2007). De heltrukne røde og blå linjene viser gjennomsnittet av måle-verdiene for begge kjøretøytypene og ved de to forskjellige temperaturnivåene. Data for dieslbilene er hentet fra tidligere TØI-rapporter.

## Summary

# Exhaust emissions from cars with GDI-technology

## Results from the measurement program in EMIROAD 2016

*TØI Report 1541/2016*

*Author: Christian Weber*

*Oslo 2016 30 pages Norwegian language*

*Petrol cars with gasoline direct-injection technology should provide lower fuel consumption and higher performance than traditional petrol engine technology. However, these savings may have a downside: Emissions of particles and nitrogen oxides can be relatively high from this car type.*

In order to improve fuel economy, the injection of fuel directly into the cylinder (direct injection, DI), was introduced for diesel engines. In recent years, this technology has also been transferred to petrol engines (gasoline direct injection - GDI). Together with reduction of cylinder volume ("downsizing"), this technology offers potential for fuel saving, while at the same time maintaining high power-output levels. However, GDI-technology also has downsides. As conditions in the cylinder of petrol engines during combustion approach those found in diesel engines, the disadvantages of high particulate and nitrogen oxide emissions can also be transferred to petrol cars. While many are aware of this problem, few have performed studies that map the emissions during realistic driving conditions.

Since 2011, the Institute of Transport Economics (TØI) has investigated to what extent and why road traffic contributes to high levels of emissions of local pollutants. Since 2013, this measurement project has been funded by the National Road Administration's R & D program EMIROAD (EMissions from ROAD transport vehicles).

This report presents the results of measurements from passenger cars with GDI-engines in realistic driving conditions, with cold and hot start of the engine at different temperatures. The measurements were carried out in VTT's emission-laboratory in Helsinki, Finland.

### **Petrol cars with GDI-engines emit more CO<sub>2</sub> than diesel cars**

Petrol cars traditionally have an approx. 20-25 % higher fuel consumption and therefore exhibit higher CO<sub>2</sub>-emissions than diesel cars. But the difference between the two engine technologies is decreasing. Figure S 1 shows the CO<sub>2</sub>-emission of cars tested during the EMIROAD program. The emission figures are normalized based on kilometers driven using the Helsinki-cycle, and on the weight of the vehicles. At +23 °C, petrol cars emit on average 13.3 % more CO<sub>2</sub> per kilogram of vehicle-mass than diesel cars. However, as the report shows, this improvement comes at a high price in terms of the "local" emission factors, such as particulate matter (PM) and nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>). In this context, it is also important to mention that it is the total CO<sub>2</sub>-emission of the whole vehicle, in a life-cycle perspective, that is important in a climate perspective.

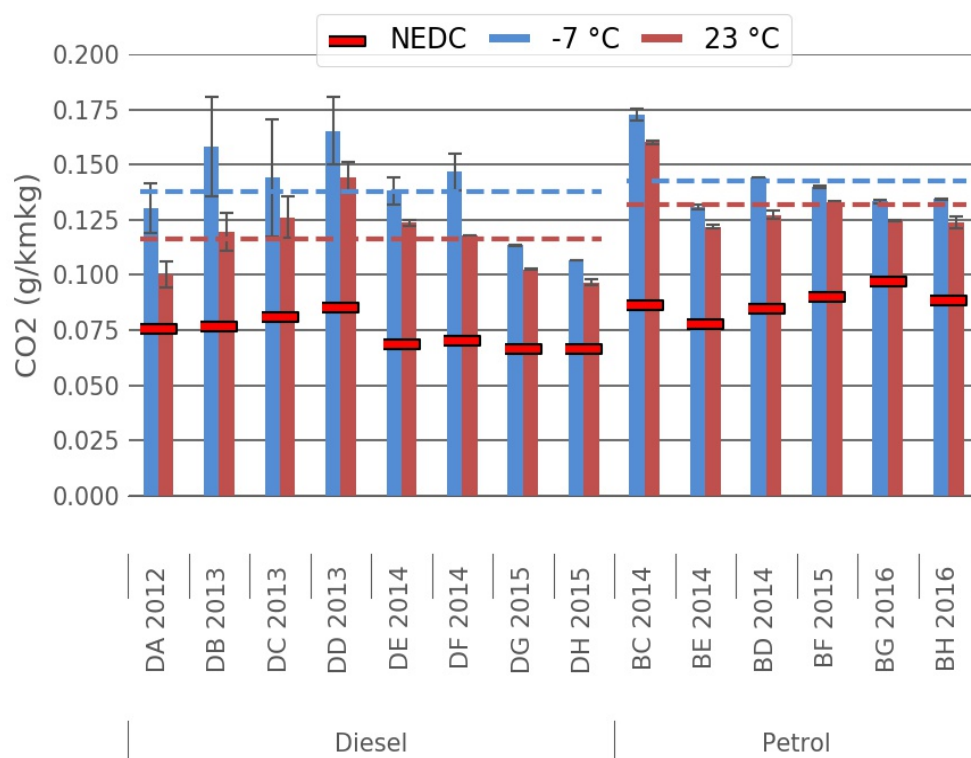


Figure S 1: CO<sub>2</sub>-emissions from petrol cars (BC-BH), compared to those of diesel cars (DA-DH). The year indicates the production year of the vehicle. Helsinki-cycles, normalized based on weight of vehicles ((g/ km)/ kg). The red markers on the bars indicate the emissions reported by the manufacturer. The dotted red and blue lines show the average measured values for both vehicle types, and at two different temperature levels. The values for the diesel vehicles are collected from previous TØI reports in the EMIROAD program.

### In cold-starts at low temperatures, cars with GDI-engines emit more particle mass than diesel cars

The diesel car has had a bad reputation for particle emissions for many years. However, with the introduction of diesel particulate filters (DPF), particulate matter emissions have become very low, and for new diesel cars, the level is well below the Euro 6 type approval limit (Figure S 2). For petrol cars with GDI-technology, however, cold-start PM emissions (at low temperatures) can be high, and reach up to 8.6 times above approved limits. With the further reduction of the approved limit value for PM in 2017, it is expected that petrol cars with GDI-engines will also be equipped with particle filters. It is reasonable to expect then that the PM-emissions will become as low as they are for diesel cars, but it will be important to monitor this development with independent measurements. It will be especially important to check developments in emission levels in Nordic climates (winter temperatures).

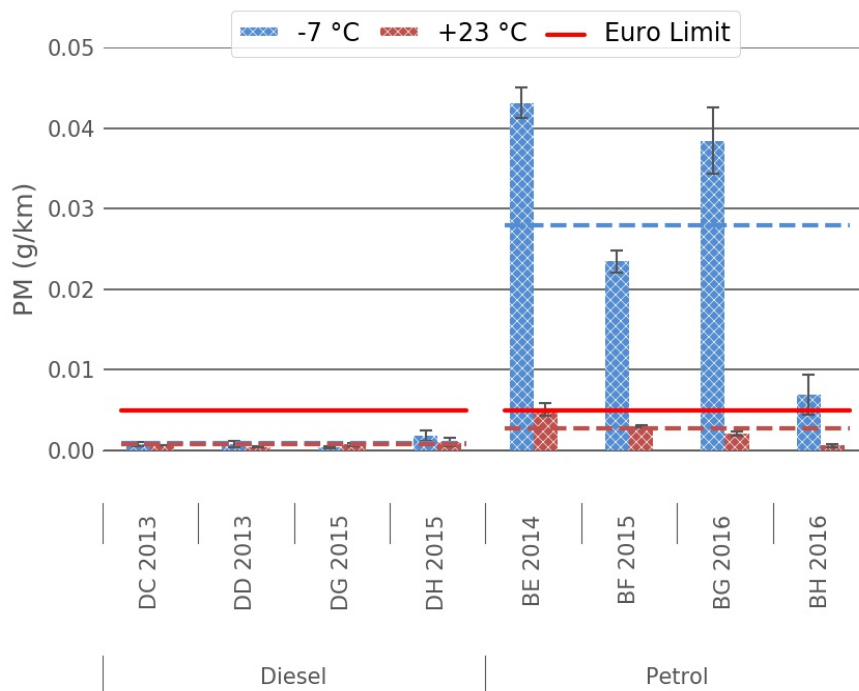


Figure S 2: PM-emission for tested cars with diesel engines (DC, DD, DG, DH) and petrol engines (BE, BF, BG, BH) at cold-start conditions during the Artemis Urban-cycle. The year indicates the vehicle's year of production. The red line shows the Euro 6 type approval limit-value (European Parliament, 2007). The dotted red and blue lines show the average measured values for both vehicle types, and at two different temperature levels. The values for the diesel vehicles are collected from previous TOI reports in the EMIROAD program.

### Some cars with GDI-engines have relatively high emission of NO<sub>x</sub>, but the emission level is still considerable lower than that of modern diesel cars

Half of the tested cars with GDI-engine showed NO<sub>x</sub>-emissions that were significantly above the Euro 6 limit value for type approval (Figure S 3). This observation also requires follow-up, especially since the introduction of particulate filters for petrol cars potentially can lead to increased NO<sub>2</sub>-emissions. Nevertheless, NO<sub>x</sub>-emissions from petrol cars with GDI-engines in cold temperatures are significantly lower than that of new diesel cars.

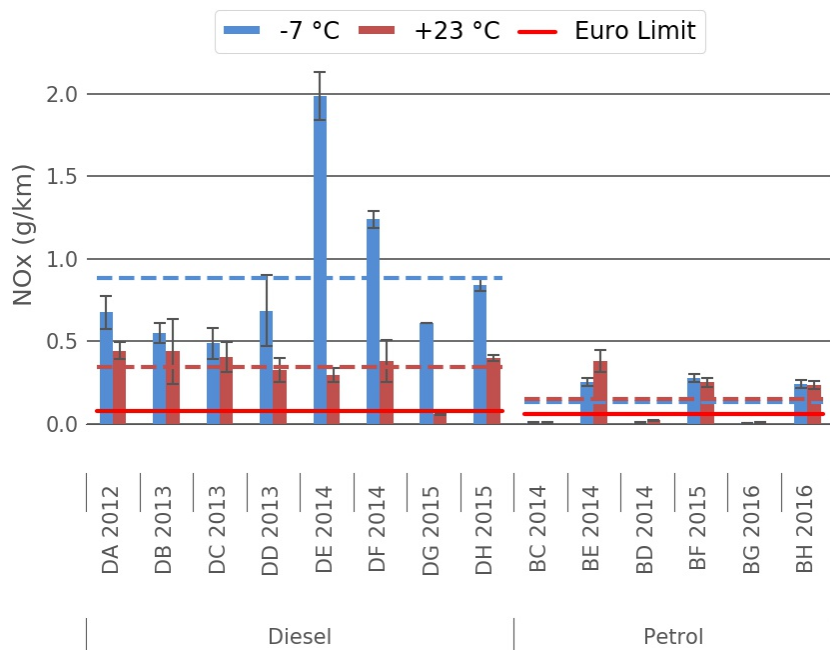


Figure S 3: NO<sub>x</sub>-emission for petrol cars (BC-BH), compared to diesel cars (DA-DH). Emission during the Helsinki-cycle. The year indicates the production year of the vehicle. The red line show the Euro 6 type approval limit-value (European Parliament, 2007). The dotted red and blue lines show the average measured values for both vehicle types, and at two different temperature levels. The values for the diesel vehicles are collected from previous TOI reports in the EMROAD-program.



# 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 personbiler må klare de nye Euro 6-utslippskravene (se Tabell 1). Spørsmålet har vært om de nye utslippskravene medfører at personbiler i virkelige trafikksituasjoner vil slippe ut så små mengder av lokalt helseskadelige avgasskomponenter at nasjonale og internasjonale krav til luftkvalitet vil kunne oppfylles.

I hvilken grad bør myndighetene legge til grunn utslippsverdiene fra typegodkjenningen av biler (Euro 6) 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 byrdene ved ulike tiltak.

For å forbedre drivstofføkonomien, og dermed møte kravene til stadig lavere CO<sub>2</sub>-utslipp fra nye biler i EU, ble direkteinnsprøytning (DI) først innført i dieselmotorer. Teknologien gir også betydelig økt motoreffekt og dreiemoment som er attraktive egenskaper som bilkjøperne setter pris på. Drivstoffet blir i disse motorene sprøytet direkte inn i sylindere med høyt trykk. Doseringen skjer veldig nøyaktig, med hensikt på mengden og tidspunktet, slik at det ikke blir overskudd av drivstoff som ikke forbrenner. De siste årene har denne teknologien også blitt overført til bensinmotorer («gasoline direct injection», GDI). Sammen med reduksjon av sylindervolum («downsizing») gir denne teknologien mulighet til drivstoffbesparelse, mens effekt-uttaket fortsatt er på høyt nivå. For mer informasjon om GDI-teknologien, se avsnitt 2.1.

I 2016 har personbiler med GDI-teknologi hatt en markedsandel i nybilsalget på 49 % (tall for USA, (Davis *et al.*, 2016)). Det kan forventes at disse tallene kan overføres til det europeiske markedet for bensinbiler. Derfor er det viktig å følge med på de reelle utslippene fra disse type biler, for å kunne tidlig oppdage eventuelle uregelmessigheter. Alle bensinbilene testet i denne rapporten har GDI-motor og er utstyrt med treveiskatalysator, men uten partikkelfilter.

Det er kjent at GDI-teknologien ikke bare har fordeler: Når forholdene i sylindere nærmer seg de samme som i dieselmotorer, kan også ulempene som høyt partikkel- og NO<sub>x</sub>-utslipp fra motoren overføres til bensinbiler (mer informasjon i kapittel 2.2 og f.eks. Myung & Park 2012). EU-kommisjonen er oppmerksomme på problemet, og

typegodkjenningen har blitt tilpasset, slik at det siden 2009 har vært en grenseverdi for partikkelmasse (PM) fra GDI-biler, se Tabell 1. Med introduksjonen av Euro 6 kom det også en grenseverdi for partikkelantall («particulate number», PN) på  $6,0 \cdot 10^{12}$  partikler per km. Innen september 2017 må imidlertid også utslippene av antall partikler fra bensinbiler med direkteinnsprøyting oppfylle samme krav som dieslbiler, dvs. til  $6,0 \cdot 10^{11}$  partikler per km («Euro 6c»). EMIROAD-måleresultatene for dagens biler som presenteres i denne rapporten viser imidlertid at utslippene kan være høyere under nordiske forhold.

Tabell 1: Grenseverdier i typegodkjenning for diesel- og bensinbiler med totalvekt under 3,5 t.

<sup>a</sup>: gjelder for biler med GDI-motorer, <sup>b</sup>: gjelder fra september 2017 for biler med GDI-motorer. Kilde: dieselnets.com.

Trinn	Dato	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM	PN
		g/km					#/km
<b>Kompresjonstenning (Dieselmotor)</b>							
<b>Euro 1</b>	1992.07	2,72	-	0,97	-	0,14	-
<b>Euro 2</b>	1996.01	1,00	-	0,70	-	0,08	-
<b>Euro 3</b>	2000.01	0,64	-	0,56	0,50	0,05	-
<b>Euro 4</b>	2005.01	0,50	-	0,30	0,25	0,025	-
<b>Euro 5a</b>	2009.09	0,50	-	0,23	0,18	0,005	-
<b>Euro 5b</b>	2011.09	0,50	-	0,23	0,18	0,005	$6,0 \cdot 10^{11}$
<b>Euro 6</b>	2014.09	0,50	-	0,17	0,08	0,005	$6,0 \cdot 10^{11}$
<b>Gnisttenning (Bensinmotor)</b>							
<b>Euro 1</b>	1992.07	2,72	-	0,97	-	-	-
<b>Euro 2</b>	1996.01	2,20	-	0,50	-	-	-
<b>Euro 3</b>	2000.01	2,30	0,20	-	0,15	-	-
<b>Euro 4</b>	2005.01	1,00	0,10	-	0,08	-	-
<b>Euro 5</b>	2009.09	1,00	0,10	-	0,06	0,005 <sup>a</sup>	-
<b>Euro 6</b>	2014.09	1,00	0,10	-	0,06	0,005 <sup>a</sup>	$6,0 \cdot 10^{11}$ a,b

## 1.2 Avgrensning

Rapporten presenterer resultater av målinger av alle GDI-biler i EMIROADs måleprogram. En del av dataene har vært publisert tidligere (bensinbilene BA-BF), bilene BG og BH ble undersøkt høsten 2016 (se også kapittel 3.3). Denne rapporten inkluderer kun data for bensinbiler med GDI-motor. For resultater fra målingene av dieselpersonbiler, se rapportene Hagman & Amundsen 2013; Weber et al. 2015; Weber & Amundsen 2016.

## 1.3 Rapportstruktur

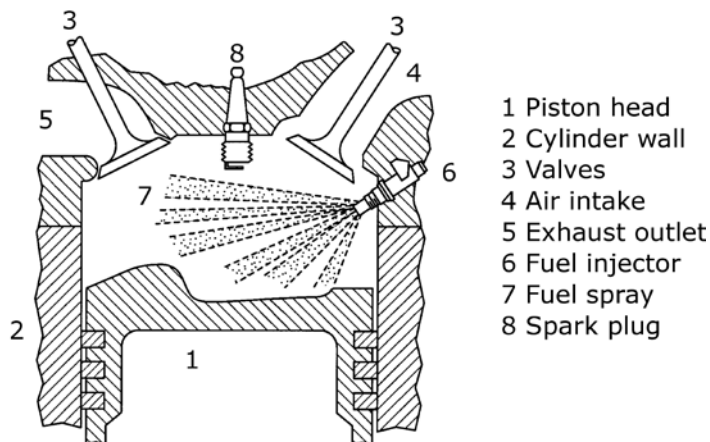
Kapittel 2 gir en kort innføring i motorteknologi og avgassrensing i bensinbiler. Kapittel 3 handler om målemetoden i laboratoriet, beskriver avgassmålingene og kjøresyklusene. Egenskapene til de bilene som ble testet presenteres i kapittel 3.3, og kapittel 3.4 diskuterer usikkerheten i måleresultatene. Kapittel 4 presenterer måleresultatene, delt opp i bykjøring med varmstart av motoren (Helsinki-syklus, kapittel 4.1) og med kaldstart av motoren (Artemis Urban-syklus, kapittel 4.2). Funnene diskuteres i kapittel 5.

## 2 Teknologi

Teknologikapitlet gir en kort innføring i motorteknologi og en oversikt over hvordan avgassene renses i bensinbiler.

### 2.1 Motorteknologi

Innsprøyting av drivstoff direkte i sylinderen er teknologi som lenge har vært kjent i dieselmotorer. I bensinmotorer ble drivstoffet først blandet med luft i en forgasser, i senere utviklete motorer ble drivstoffet sprøytet inn ved luftinntaket til sylinderen (Port Fuel Injection, PFI). I de siste tiårene har direkteinnsprøytingsteknologien også blitt overført til bensinbiler i større markedsvolum. Motorer med direkteinnsprøyting av bensin («gasoline direct injection», GDI) kan deles opp i to grupper (Reif and Dietsche, 2014): «Homogeneous operation (HO)» og «stratified-charge operation (SCO)». Begge GDI-teknologiene fører til drivstoffbesparelser på grunn av redusert sylindervolum, høyere trykk i sylinderen og lavere friksjonstap. I motsetning til dieselmotoren, der kompresjon fører til selvantennelse av blandingen, blir blandingen i GDI-motorer tent med et gnist fra tennpluggen (se Figur 1).



Figur 1: Teknisk tegning av sylinderen i en GDI-motor. I motsetning til en motor med port-fuel injection (PFI), der innsprøytingen skjer i luftinntaket (4), sitter innsprøytingsdysen direkte i sylinderen. Kilde: Alan et al., 2008.

SCO-motorer drives i hovedsak med overskudd av luft (mager blanding, «lean»), som sørger for mer effektiv forbrenning av drivstoffet. Men denne besparelsen krever høyere innsprøytingstrykk (opp til 200 bar (Reif and Dietsche, 2014)) og bedre nøyaktighet ved innsprøytingen. Kortere tid for å blande luft og drivstoff fører til områder med forholdsvis mye drivstoff, som da brenner dårlig og fører til dannelsen av partikler (PM, «particulate matter»). Dersom drivstoffet treffer sylinderveggen før den er godt blandet med luft («wall-wetting»), fører dette til økt utslipp av hydrokarboner. I tillegg fører luftoverskuddet til at treveiskatalysatoren ikke fungerer effektivt, se kapittel 2.2. Slike biler vil trenge en NO<sub>x</sub>-katalysator i tillegg til treveiskatalysatoren (Reif and Dietsche, 2014).

I HO-motorer skjer innsprøytningen samtidig som at det suges inn luft i sylindren, deretter blir blandingen komprimert. I dette konseptet er det bedre tid for blanding av luft og drivstoff før blandingen blir tent. Forholdet mellom luft og drivstoff er stort sett støkiometrisk, dvs. det finnes nok oksygen til å brenne alt drivstoff. Dette forholdet er 14,7:1, noe som betyr at det trengs 14,7 kg luft for å brenne 1 kg drivstoff. For å beskrive forholdet mellom mengde luft og drivstoff, bruker man overskudds-faktoren  $\lambda$ .  $\lambda = 1$  betyr støkiometrisk forhold, altså teoretisk optimal forbrenning.

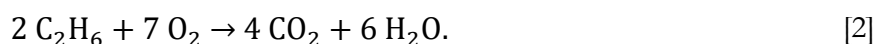
HO-motorer drives mest med  $\lambda = 1$ , men kan i korte tidsperioder også gå over til «fett» ( $\lambda < 1$ , luftunderskudd) eller «magert» ( $\lambda > 1$ , luftoverskudd, «lean») blandingsforhold. Det er effektbehovet som styrer i hvilke område motoren skal arbeide: Under lav last sprøytes drivstoffet inn mens luften blir komprimert, med stort luftoverskudd ( $\lambda > 1$ ). I dette området er forbrenningen meget effektiv. Under «middels» last sprøytes drivstoffet inn ved luftinntak, slik at det blir en mer homogen blanding. Det er fortsatt luftoverskudd ( $\lambda > 1$ ). Når det er høyt effektuttak (høy last), går motorstyringen i støkiometrisk modus ( $\lambda = 1$ ).

I følge (Reif and Dietsche, 2014) har HO-motorer den høyeste markedsandelen blant GDI-motorer.

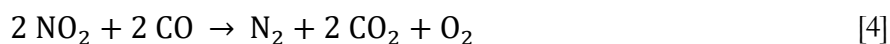
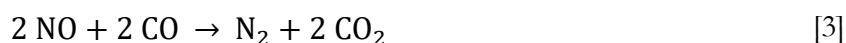
## 2.2 Avgassrensing i bensinbiler

For motorer med støkiometrisk forbrenning, dvs. der forholdet mellom luft og drivstoff er 14,7:1, er treveiskatalysatoren det mest utbredte rensesystemet, og blir også brukt i GDI-biler. Treveiskatalysatoren består av et keramisk substrat med belegg av aluminiumoksid, som danner et veldig stort areal, opp til 7000 m<sup>2</sup> (Reif and Dietsche, 2014). I tillegg finnes det en liten mengde av edelmetaller som virker som kjemiske katalysatorer for de kjemiske reaksjonene.

I oksidasjonsskrittet sørger de kjemiske katalysatorene platina eller palladium for at CO og hydrokarboner (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) blir oksidert til CO<sub>2</sub>:

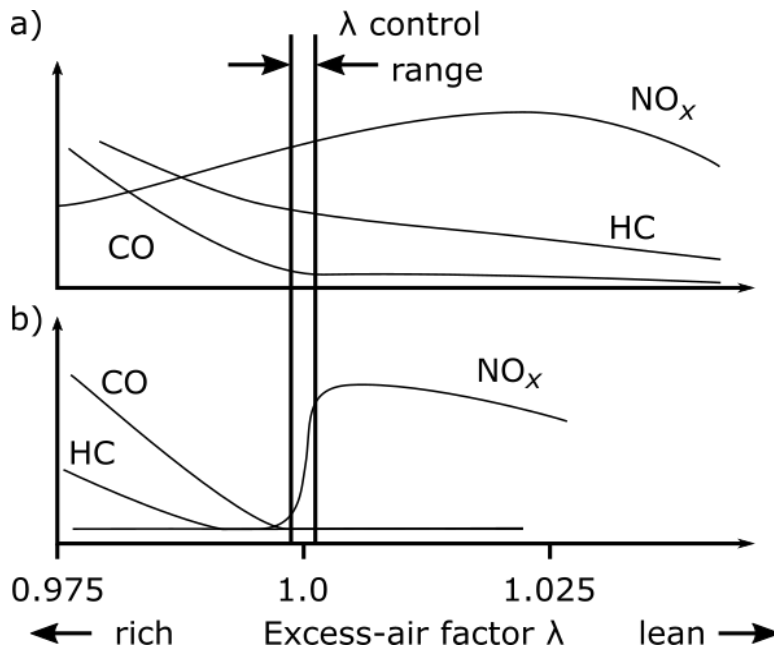


Samtidig blir NO og NO<sub>2</sub>, sammen med CO, ved hjelp av rhodium som kjemisk katalysator, redusert til ren nitrogen (N<sub>2</sub>):



Disse reaksjonene kan skje på en veldig effektiv måte, dersom to forutsetninger er oppfylt: 1) Treveiskatalysatoren må være varmet opp over «tenningstemperaturen», rundt 250 °C. Typiske operasjonstemperaturer er 400 til 800 °C. Kald treveiskatalysator er hovedgrunnen til at kaldstart av motorene fører til høye utslipp av HC, CO og NO<sub>x</sub> (Reif and Dietsche, 2014).

2) Alle fire likninger for oksidasjon og reduksjon oppfylles samtidig. Det er derfor viktig at motoren styres slik at  $\lambda = 1$  for å få lave utslipp av alle komponenter. Dette vises også i Figur 2: For  $\lambda > 1$  vil luftoverskudd føre til en rask oksidasjon av alt CO (likning 1). Deretter er det ikke nok CO til å redusere NO og NO<sub>2</sub>, og det vil dermed føre til høye NO<sub>x</sub>-utslipp. I tillegg vil  $\lambda > 1$  føre til høy NO<sub>x</sub>-dannelse i motoren, samtidig som CO og HC blir lav (Figur 2a).



Figur 2: Funksjonsprinsipp treveiskatalysator (Reif and Dietsche, 2014). Den øverste grafen (a) viser mengden av CO, NO<sub>x</sub> og HC for avgassene kommer inn i treveiskatalysatoren. Den underste grafen (b) viser nivåene etter katalysatoren: For  $\lambda=1$  er utslippene av CO, HC og NO<sub>x</sub> veldig lave, mens de kan være høy i andre områder.

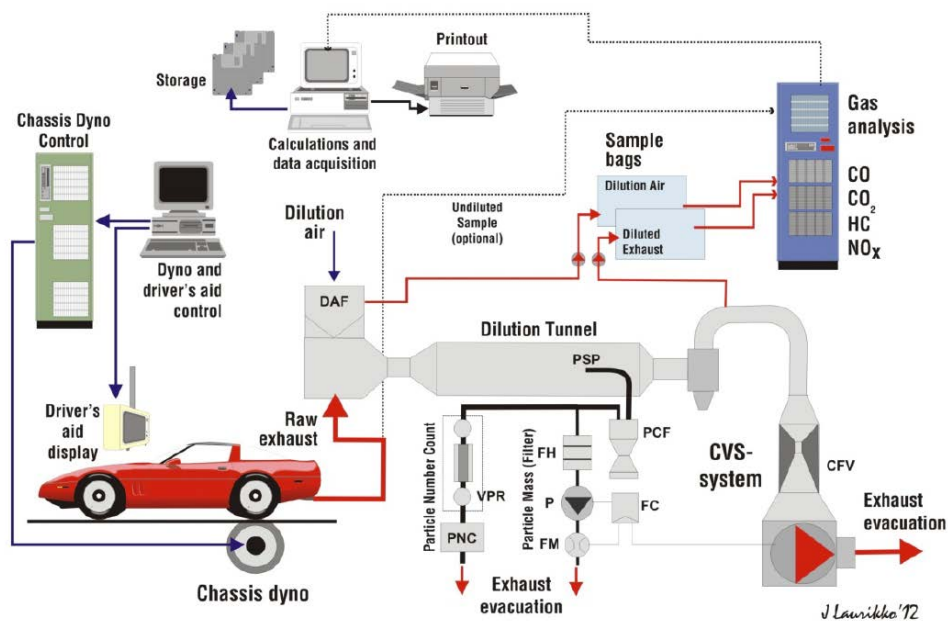
Motorer med SCO (se kapittel 2.1) kjøres i lean-modus over lengre tidsperioder. For å unngå høye NO<sub>x</sub>-utslipp, trenger disse type biler en ekstra NO<sub>x</sub>-katalysator som kan lagre NO<sub>2</sub>. Denne lagringen har begrenset kapasitet og må regenereres ved å kjøre motoren med fete blandingsforhold (Reif and Dietsche, 2014).

Dagens bensinbiler har ikke partikkelfilter montert i bilen. Med innføring av nye krav i typegodkjenningen fra september 2017, forventes det at også GDI-biler blir utstyrt med partikkelfiltre.

## 3 Metode

### 3.1 Avgassmålinger

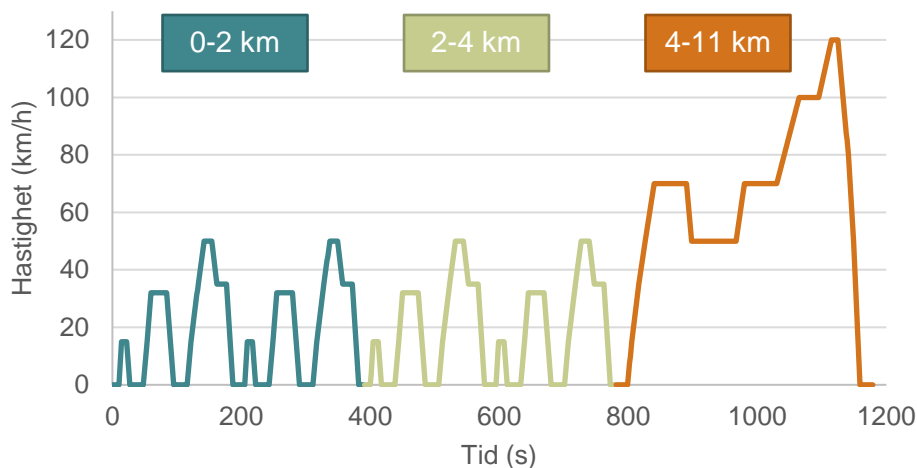
Avgassmålingene i EMIROAD ble utført ved VTT's avgasslaboratorium i Helsinki, Finland. Figur 3 viser en oversikt over dette avgasslaboratoriet for personbiler. Bildet viser en bil som blir testet på dynamometer: Bakakselen til bilen står på ruller («chassis dynamometer»). Sammen med en elektrisk motor/generator sørger disse rullene for at bilen må jobbe mot en realistisk kjøremotstand, som bl.a. omfatter kjøretøyet's luftmotstand. På denne rullen kan bilen kjøres i forskjellige kjøresykluser, se kapittel 3.2. 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). Kjøretøyet befinner seg i et klimakammer, som gjør det mulig å velge omgivelsestemperaturen under testen. I våre tester ble den satt til +23 °C og -7 °C. I testene ble det målt utslippsfaktorene av karbonmonoksid (CO), karbondioksid (CO<sub>2</sub>), hydrokarboner (HC), nitrogenoksid (NO<sub>x</sub>), partikkelmasse (PM) og partikkelantall (PN).



Figur 3: Sjematisk tegning av avgasslaboratoriet ved VTT i Helsinki, Finland. Kilde: Juhani Laurikko, VTT.

## 3.2 Kjøretykluser

I tillegg til typegodkjenningssyklusen NEDC (Figur 4), ble personbilene testet i «Helsinki congested city cycle». Denne kjøresyklusen simulerer virkelig trafikk i en by (basert på målinger av trafikken i Helsinki) med mye trafikk. Hastighetsprofilen vises i Figur 5, og nøkkeltall for syklusen vises i Tabell 2. 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).



Figur 4: 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.

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 for Helsinki-syklusen som er presentert i kapittel 4.1 er målt med varmstart av motoren.

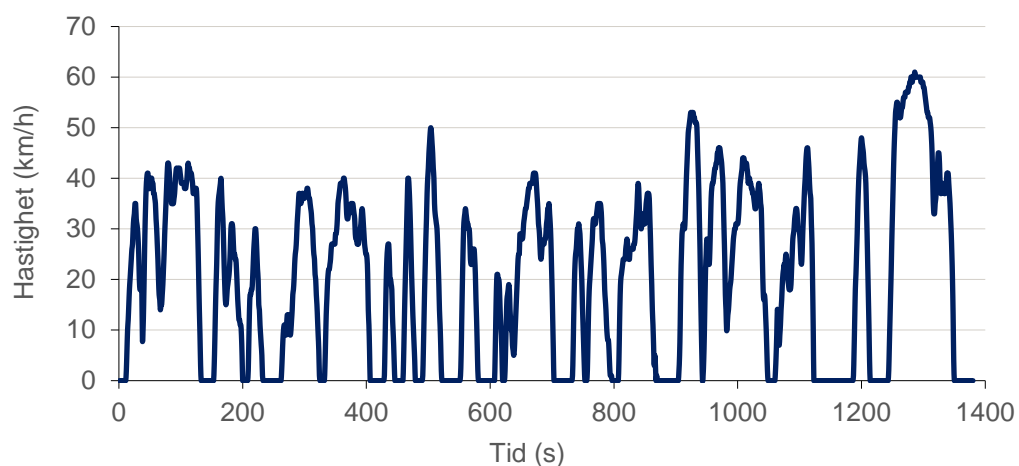
I tillegg ble personbilene målt med kaldstart av motoren, i Artemis Urban-syklus (kapittel 4.2). Hastighetsprofilen vises i Figur 6 og nøkkeltall for syklusen vises i Tabell 2. Selv om Artemis Urban også er en kjøresyklus som skal gjenspeile virkelig trafikk i by, har syklusen en annen belastningsprofil enn Helsinki-syklusen som ble brukt i tidligere målinger, og i kapittel 4.1. Dermed kan resultatene for CO<sub>2</sub>-utslippet ikke sammenlignes direkte og må vurderes separat. For alle andre utslippsfaktorer som f.eks. NO<sub>x</sub> og PM derimot, er det rensesystemet som er avgjørende for utslippsnivået, slik at en sammenligning blir mindre usikker.

Effekten av kaldstart av motoren kan allikevel være stor og vil overskygge effekten av selve effektbehovet i syklusen. Her er det viktig å huske at Artemis Urban-syklusen er kortere enn Helsinki-syklusen (se Tabell 2). Dette betyr at selve størrelsen på utslippstallene, når de angis i g/km, ikke kan sammenlignes direkte. Se også kapittel 4.2.2 i Weber and Amundsen (2016).

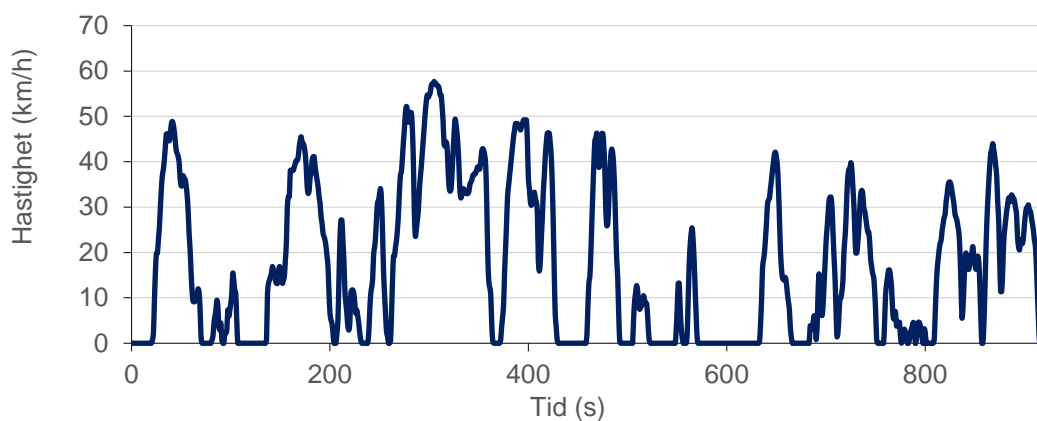
Hensikten med målingene av utslippet ved Artemis Urban-syklusen i stedet for Helsinki-syklusen er at Artemis Urban-syklusen er mer brukt i Europa og skaper dermed bedre internasjonal sammenlignbarhet. Begge kjøresyklusene er konstruert for å gi mer realistiske måleresultater enn NEDC-syklusen som brukes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

Tabell 2: Nøkkeltall for kjøresyklusene. Tallene er beregnet basert på hastighetsprofilene i Figur 4, 5 og 6

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



Figur 5: Helsinki-kjøresyklus for personbiler, som gjenspeiler bykjøring med mye trafikk (Nylund and Koponen, 2012)



Figur 6: Artemis Urban-kjøresyklus for personbiler, som gjenspeiler bykjøring (Barlow et al., 2009)



### 3.3 Testede kjøretøy

Tabell 3 gir en oversikt over personbiler med bensinmotor som er testet i regi av EMIROAD (kjøretøy BC-BH). Alle bilene er godkjent etter Euro 6-normen (se Tabell 1) og har bensinmotor med direkteinnsprøytning (GDI). I tillegg vises to GDI-biler med Euro 5-typegodkjenning som ble testet tidligere (BA, BB).

Utvalget av bilene var i hovedsak styrt etter tilgjengelighet. Særlig tidlige Euro 6-modeller er biler som kostnadsfritt er stilt til disposisjon av importørene i Finland. Alle testede kjøretøy er serieprodusert, det vil si at de er tilgjengelige på markedet, og ikke kun prototyper eller kjøretøy laget spesielt for testing. Bilene er testet slik de er levert på markedet, det vil si med standard dekk og utstyr for øvrig. Hensikten var ikke å gjenspeile det norske nybilmarkedet, men å oppdage trender i teknologiutviklingen.

Alle biler er utstyrt med treveiskatalysator (se kapittel 2.2).

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

Tabell 3: Oversikt over testede personbiler med bensin-direkteinnsprøytningsteknologi. Grå rader er tidligere målte Euro 5 biler. Bilene BG og BH er biler testet i 2016, alle andre bilene er testet tidligere.

Kjøretøy	Årsmodell	Avgasskrav	Drivstoff	Motor-effekt (kW)	Sylinder-volum (l)	Utslippskontroll	Egenvekt (kg)
BA	2012	Euro 5	Bensin	92	1,0	TWC	1332
BB	2013	Euro 5	Bensin	72	1,2	TWC	1122
BC	2014	Euro 6	Bensin	115	1,6	TWC	1395
BD	2014	Euro 6	Bensin	180	2,0	TWC	1583
BE	2014	Euro 6	Bensin	96	1,2	TWC	1375
BF	2015	Euro 6	Bensin	85	1,2	TWC	1436
BG	2016	Euro 6	Bensin	110	1,4	TWC	1292
BH	2016	Euro 6	Bensin	85	1,2	TWC	1300

### 3.4 Usikkerhet i måleresultatene

Alle testene ble gjennomført to ganger, og de presenterte resultatene er gjennomsnittet av disse to målingene. Repeterte målinger vil alltid innebære en viss 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 beregnet for hvert sett av målinger etter

$$0,5 \cdot (\max(EF) - \min(EF)), \quad [5]$$

der  $EF$  er utslippsfaktoren i g/km som skal evalueres. Disse verdiene er tatt i bruk for å evaluere usikkerheten i figurene. Siden de fleste målingene består av to enkeltmålinger, viser spredningen den høyeste og laveste målte verdien.

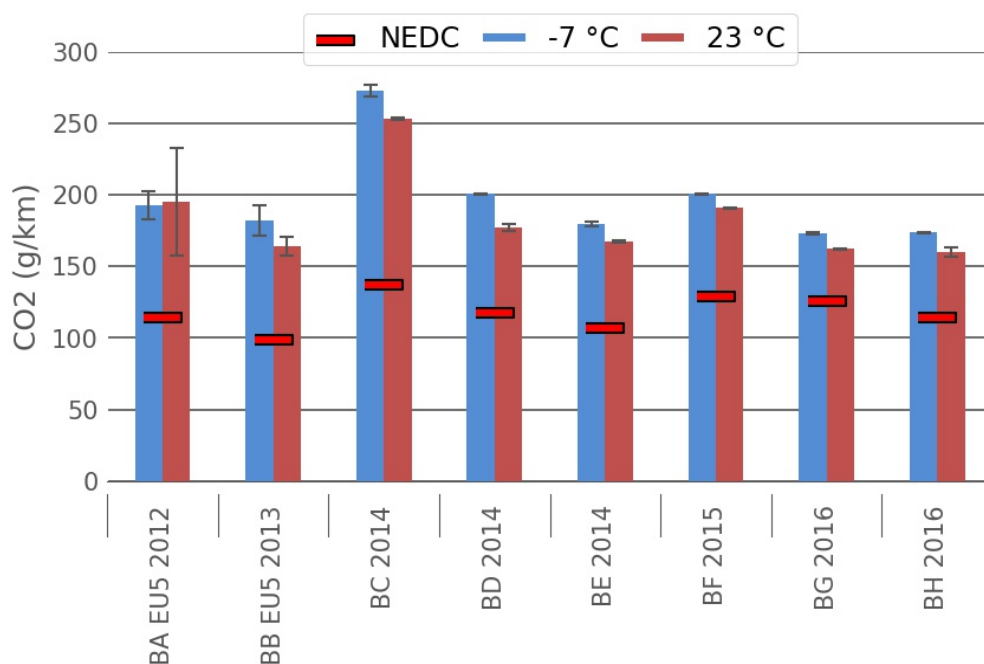
## 4 Resultater

### 4.1 Varmstart av motoren: Helsinki-syklus

#### 4.1.1 CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub>-utslippet vises i Figur 7. Resultatene viser en tendens til høye utslipp av CO<sub>2</sub>, særlig i kulde.

Figuren inkluderer også CO<sub>2</sub>-utslippet fra kjøretøyene slik det er angitt av produsentene (Finish Transport Safety Agency, 2015). Disse verdiene er målt ved typegodkjenningen med NEDC og kaldstart av motoren. I virkelig bytrafikk kan dermed utslippet være betydelig høyere enn det som kommer frem fra NEDC. For de testede bilene er CO<sub>2</sub>-utslippet i Helsinki-syklusen 1,3 til 2,0 ganger høyere enn utslippet i NEDC.

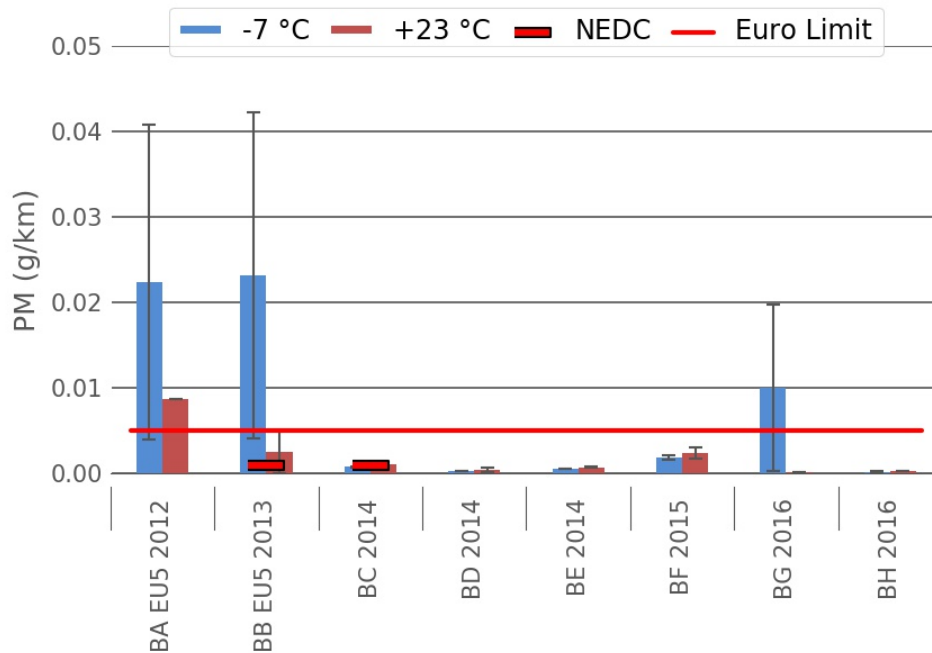


Figur 7: CO<sub>2</sub>-utslipp i g/km for testede personbiler med bensinmotor (BA-BH) ved varmstart av motoren i Helsinki-syklus. Årstallet angir bilens produksjonsår. Den røde markeringen viser utslippsverdien som er angitt av produsentene. Som referanse vises også to Euro 5-personbiler (BA EU5, BB EU5).

#### 4.1.2 PM

Ved varmstart viser alle Euro 6 bilene lavere partikkelutslipp enn typegodkjenningen krever, bortsett fra bil BG 2016, som i kulde ligger en faktor 2 over grenseverdien (se Figur 8). Særlig i kulde kan dette tyde på en forbedring fra Euro 5 til Euro 6, siden de to Euro 5-bilene ligger betydelig over grenseverdien.

Feilmarginene for målingene av BA, BB og BG viser stor spredning ved  $-7^{\circ}\text{C}$ . Dette viser at en av de to enkeltmålingene som ble gjennomført lå høyt over grenseverdien, mens den andre lå under. Gjennomsnittet (søylen) av de to målingene ligger da over grenseverdien.



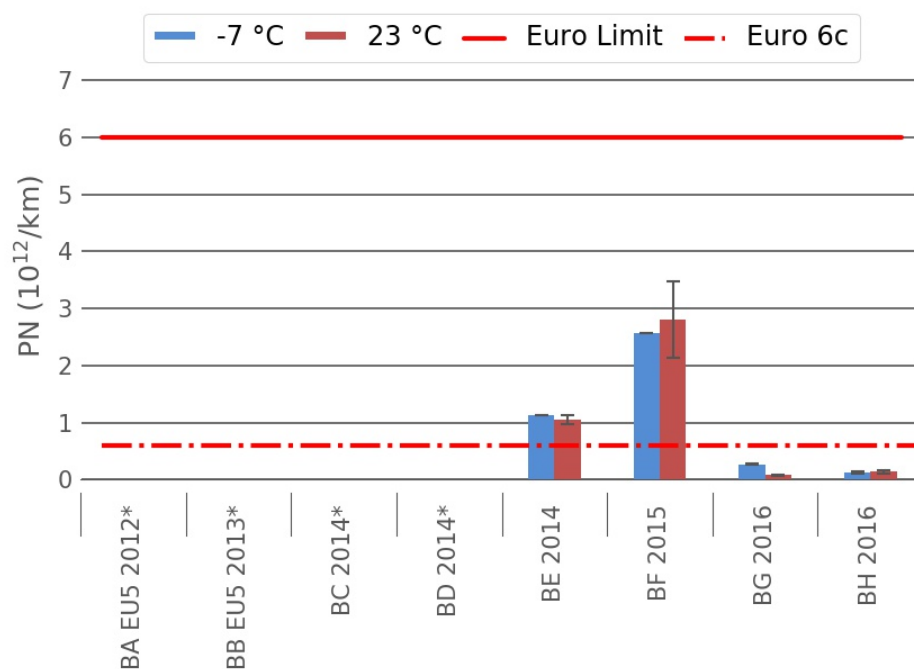
Figur 8: PM-utslipp i g/km for testede personbiler med bensinmotor (BA-BH) ved varmstart av motoren i Helsinki-syklus. Årstallet angir bilens produksjonsår. Den røde linjen viser typegodkjenningskravet for Euro 6-normen (European Parliament, 2007). Den røde markeringen viser utslippsverdien som er angitt av produsentene. For bensinbiler er det ikke forpliktende å angi verdier for PM. Som referanse vises også to Euro 5-personbiler (BA EU5, BB EU5).

### 4.1.3 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 september 2017 reduseres til nivået for dieserbiler («Euro 6c»), dvs. til  $0,6 \cdot 10^{12}$  partikler per km.

Figur 9 viser PN-utslippet for de testede bilene ved -7 og +23 °C. For bilene BA-BD foreligger det ikke målinger av PN-utslippet. De fire bilene som det ble målt PN for klarer å oppfylle dagens typegodkjenningskrav også i Helsinki-syklusen.

Mens bilene BG og BH også hadde oppfylt PN-kravet i Euro 6c, hadde bilene BE og BF overskredet grensen henholdsvis med en faktor 1,8 og 4,5.



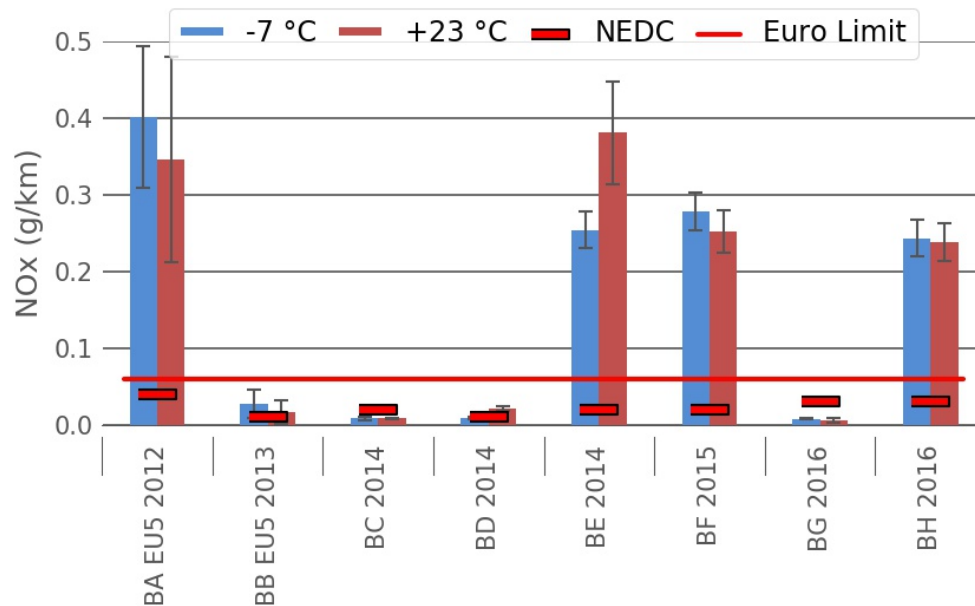
Figur 9: PN-utslipp i antall partikler per km for testede personbiler med bensinmotor (BA-BH) ved varmstart av motoren i Helsinki-syklus. Årstallet angir bilens produksjonsår. Den røde heltrukne linjen viser typegodkjenningskravet for Euro 6-normen som den gjelder i 2016 for biler med bensinmotor og direkteinnsprøytning. Den prikkete røde linjen viser det nye typegodkjenningskravet som innføres september 2017 (European Parliament, 2007). For bilene BA-BD finnes det ikke målinger av PN (merket med stjerne).

#### 4.1.4 NO<sub>x</sub>

Figur 10 viser NO<sub>x</sub>-utslippet for de testede bilene ved -7 og +23 °C. Mens halvparten av de testede bilene støtter det tradisjonelle synspunktet at bensinbiler med treveiskatalysator har lave NO<sub>x</sub>-utslipp, sørger den andre halvparten for oppsiktsvekkende resultater.

Overskridelser av grenseverdien ligger for disse på mellom 4,0 og 6,4 ganger.

For noen biler er NO<sub>x</sub>-utslippet korrelert med utetemperaturen mens det for andre biler ikke er det.



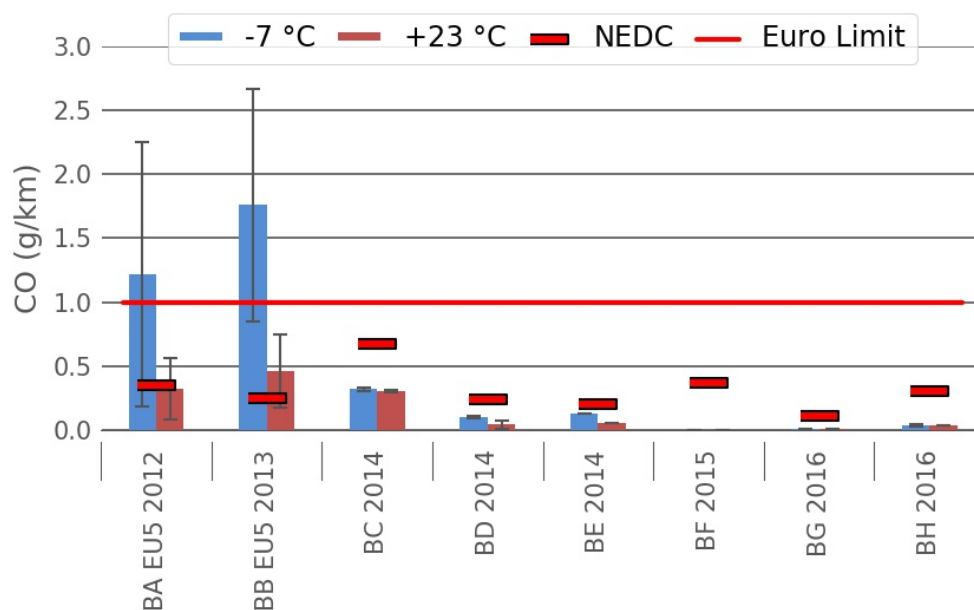
Figur 10: NO<sub>x</sub>-utslipp i g/km for testede personbiler med bensinmotor (BA-BH) ved varmstart av motoren i Helsinki-syklus. Årstallet angir bilens produksjonsår. Den røde markeringen viser utslippsverdien som er angitt av produsentene. Den røde linjen viser typegodkjenningskravet for Euro 6-normen (European Parliament, 2007). Som referanse vises også to Euro 5-personbiler (BA EU5, BB EU5).

#### 4.1.5 CO

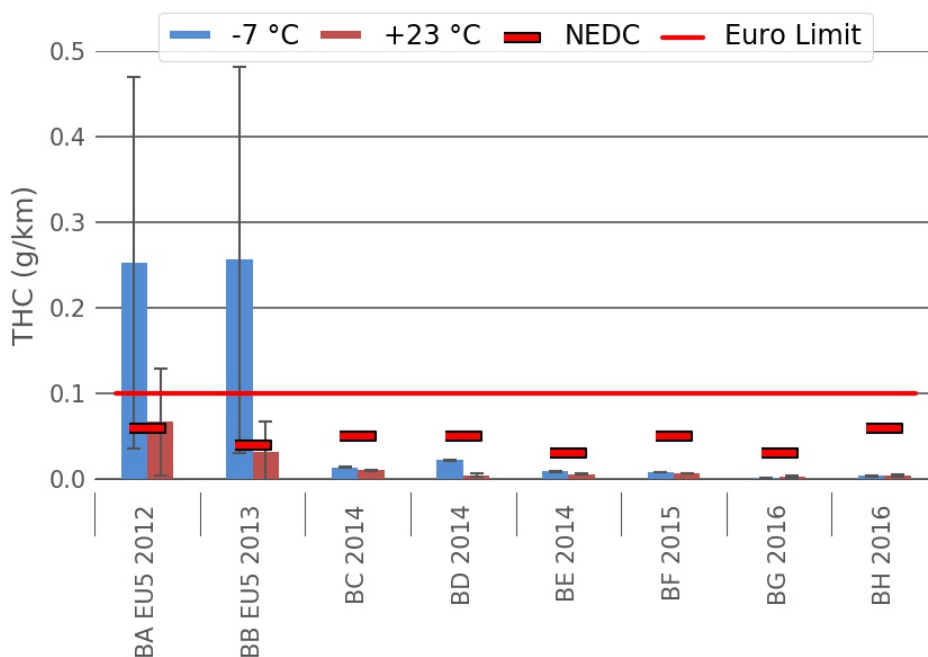
CO-utslippet ved varmstart i Helsinki-syklus er lavt og godt under grenseverdien for alle de testede Euro 6 bilene (se Figur 11). Særlig i kulde kan dette tyde på en forbedring fra Euro 5 til Euro 6, siden begge Euro 5-bilene i gjennomsnittet ligger over grenseverdien.

#### 4.1.6 THC

Figur 12 viser utslippet av total mengde hydrokarboner (THC) ved varmstart i Helsinki-syklus. Utslippene er lave og godt under grenseverdien for alle de testede Euro 6 bilene. Særlig i kulde kan dette tyde på en forbedring fra Euro 5 til Euro 6, siden begge Euro 5-bilene i gjennomsnittet ligger betydelig over grenseverdien. Feilmarginene for målingene av BA og BB viser stor spredning ved -7 °C. Dette viser at en av de to enkeltmålingene som ble gjennomført lå høyt over grenseverdien, mens den andre lå under. Gjennomsnittet (søylen) av de to målingene ligger da over grenseverdien.



Figur 11: CO-utslipp i g/km for testede personbiler med bensinmotor (BA-BH) ved varmstart av motoren i Helsinki-syklus. Årstallet angir bilens produksjonsår. Den røde markeringen viser utslippsverdien som er angitt av produsentene. Den røde linjen viser typegodkjenningskravet for Euro 6-normen (European Parliament, 2007). Som referanse vises også to Euro 5-personbiler (BA EU5, BB EU5).



Figur 12: THC-utslipp i g/km for testede personbiler med bensinmotor (BA-BH) ved varmstart av motoren i Helsinki-syklus. Årstallet angir bilens produksjonsår. Den røde markeringen viser utslippsverdien som er angitt av produsentene. Den røde linjen viser typegodkjenningskravet for Euro 6-normen (European Parliament, 2007). Som referanse vises også to Euro 5-personbiler (BA EU5, BB EU5).

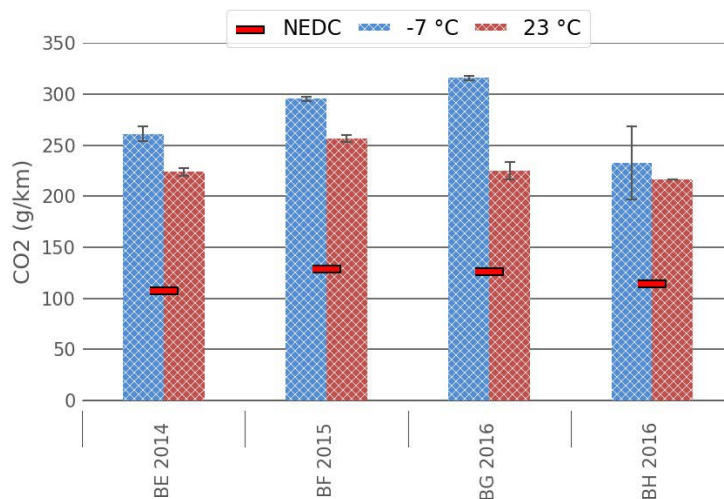
## 4.2 Kaldstart av motoren: Artemis Urban-syklus

Artemis Urban-syklusen med kaldstart av motoren ble målt for bilene BE-BH. Før 2014 var Artemis Urban ikke en del av måleprogrammet i EMIROAD.

### 4.2.1 CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub>-utslippet fra de testede Euro 6-bilene vises i Figur 13. Resultatene viser en tendens til høye utslipp av CO<sub>2</sub>, særlig i kulde.

Figuren inkluderer også CO<sub>2</sub>-utslippet fra kjøretøyene slik de er angitt av produsentene (Finish Transport Safety Agency, 2015). Disse verdiene er målt ved typegodkjenningen med NEDC og kaldstart av motoren. I virkelig bytrafikk kan dermed utslippet være betydelig høyere enn det som kommer frem fra NEDC. For de testede bilene er CO<sub>2</sub>-utslippet i Artemis Urban-syklusen 1,8 til 2,5 ganger høyere enn utslippet i NEDC. Det skyldes blant annet at Artemis Urban-syklusen er mer krevende og kortere enn NEDC-testen og er mer representativ for bykjøring.



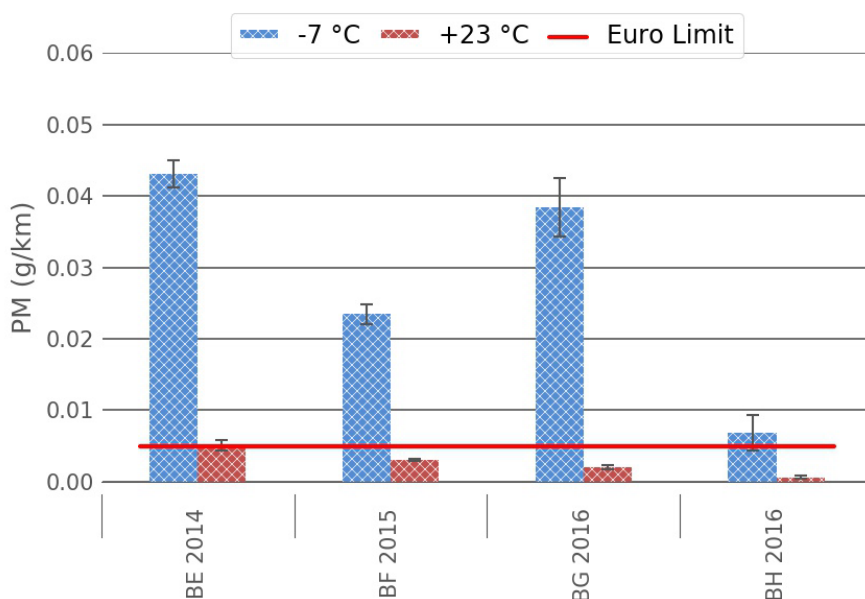
Figur 13: CO<sub>2</sub>-utslipp i g/km for testede personbiler med bensinmotor (BE-BH) ved kaldstart av motoren i Artemis Urban-syklus. Årstallet angir bilens produksjonsår. Den røde markeringen viser utslippsverdien som er angitt av produsentene.

### 4.2.2 PM

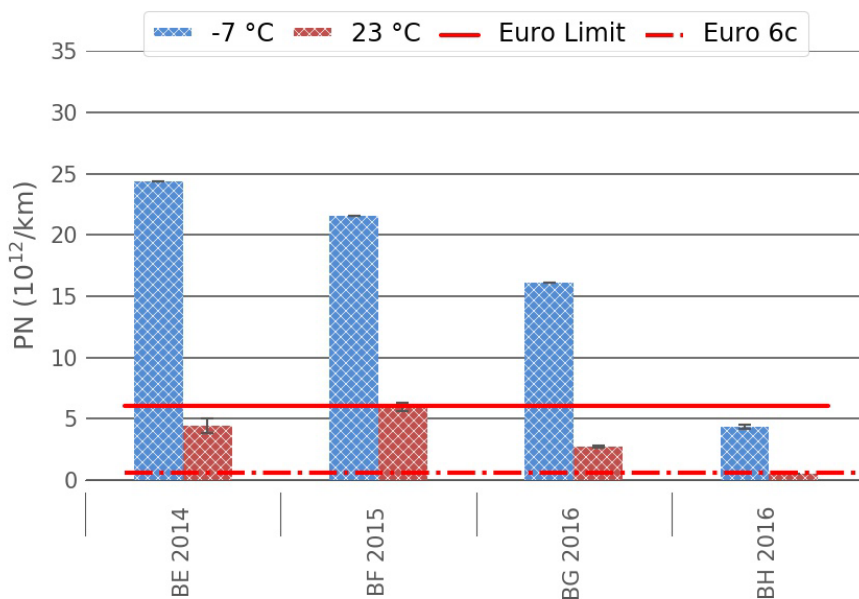
Utslipp av PM ved kaldstart av motoren i Artemis Urban-syklusen er lav ved +23 °C for alle de testede bilene (se Figur 14). Ved -7 °C derimot, er det bare bil BH som ligger under NEDC utslippskravet innenfor feilmarginene. For de andre bilene kan utslippet ligge 4,7 og 8,6 ganger høyere enn typegodkjenningskravet i NEDC.

### 4.2.3 PN

Figur 15 viser utslipp av antall partikler (PN). Situasjonen ligner utslippet av PM: Ved kaldstart av motoren i Artemis Urban-syklusen er utslippet lavt ved +23 °C for alle bilene. Ved -7 °C derimot, kan utslippene være 2,7 og 4,1 ganger over typegodkjenningskravet i NEDC-testen. Bil BH ligger under grenseverdien for Euro 6, både ved +23 °C og -7 °C. Ingen av bilene hadde uten videre tilpasninger klart å oppfylle kravene for PN i Euro 6c i de testede temperaturområdene. Bare bil BH hadde klart å oppfylle kravet i Euro 6c ved +23 °C.



Figur 14: PM-utslipp i g/km for testede personbiler med bensinmotor (BE-BH) ved kaldstart av motoren i Artemis Urban-syklus. Årstallet angir bilens produksjonsår. Den røde linjen viser typegodkjenningsskravet for Euro 6-normen (European Parliament, 2007).



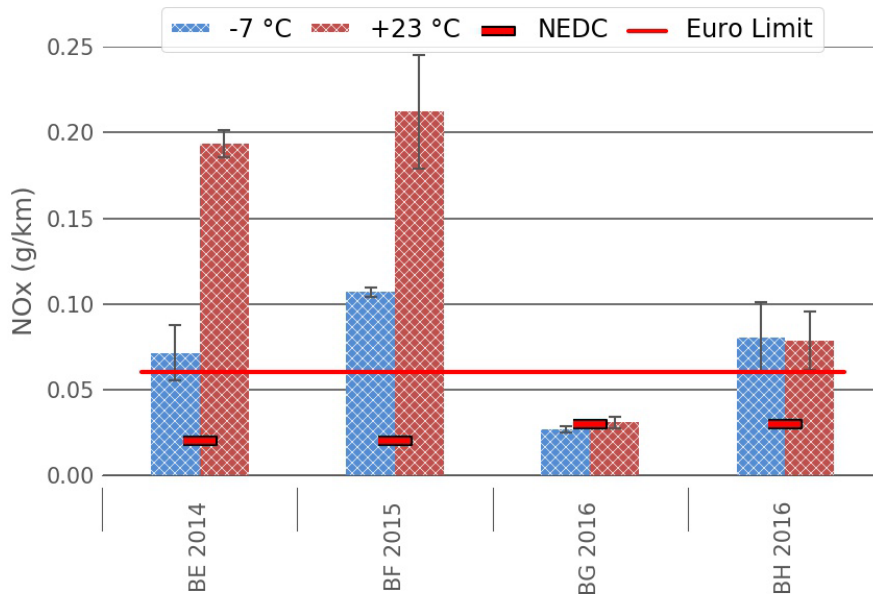
Figur 15: PN-utslipp i antall partikler per km for testede personbiler med bensinmotor (BA-BH) ved kaldstart av motoren i Artemis Urban-syklus. Årstallet angir bilenes produksjonsår. Den røde linjen viser dagens typegodkjenningsskrav for Euro 6-normen. Den prikkete røde linjen viser typegodkjenningsskravet som vil bli gjeldende fra september 2017 (European Parliament, 2007).

#### 4.2.4 NO<sub>x</sub>

Figur 16 viser NO<sub>x</sub>-utslippet for de testede bilene ved -7 °C og +23 °C. Bil BG ligger godt under grenseverdien ved begge temperaturene. De andre tre bilene viser til dels utslipp som ligger 1,2 og 3,5 ganger over NEDC-grenseverdien.



Ved kaldstart viser bilene BE og BF en tendens til lavere NO<sub>x</sub>-utslipp ved -7 °C, mens utslippet for bilene BG og BH er like, innenfor feilmarginene.



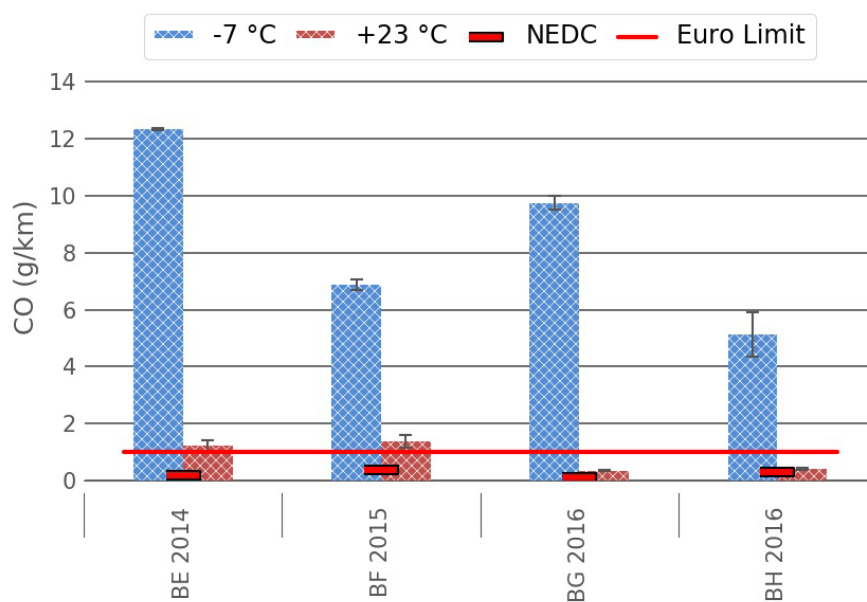
Figur 16: NO<sub>x</sub>-utslipp i g/km for testede personbiler med bensinmotor (BE-BH) ved kaldstart av motoren i Artemis Urban-syklus. Årstallet angir bilenes produksjonsår. Den røde markeringen viser utslippsverdien som er angitt av produsentene. Den røde linjen viser typegodkjenningskravet for Euro 6-normen (European Parliament, 2007).

#### 4.2.5 CO

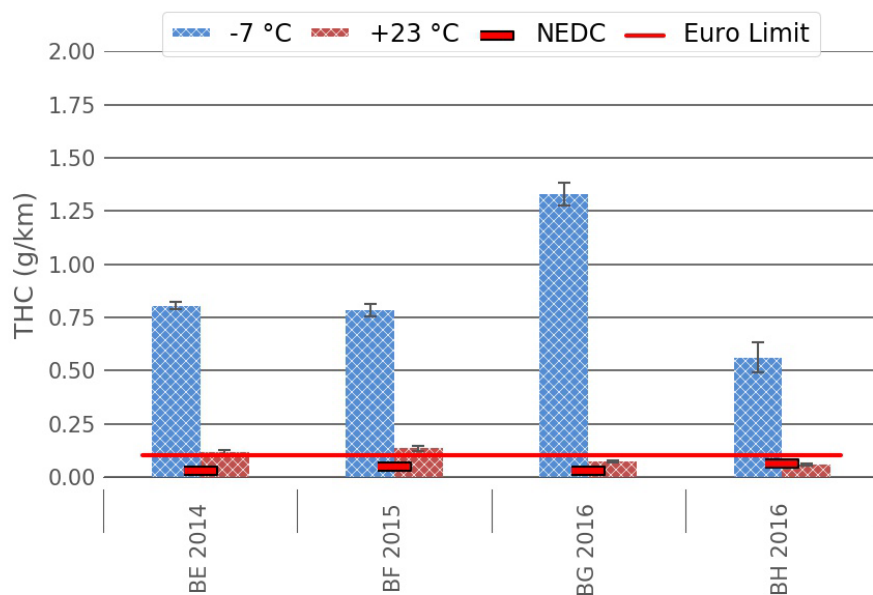
Ved kaldstart i kulde har alle bilene høye verdier av CO (Figur 17), mens utslippet er lavt ved kaldstart i +23 °C. I kulde ligger utslippene på mellom 5,1 og 12,3 ganger høyere enn grenseverdien i NEDC-testen.

#### 4.2.6 THC

Ved kaldstart i kulde har alle bilene høye utslipp av THC (Figur 18). I kulde ligger utslipp 5,1 og 12,3 ganger høyere enn grenseverdien i NEDC-testen. Utslippet er lavt ved kaldstart i +23 °C, men ligger for bilene BE og BF noe over grenseverdien.



Figur 17: CO-utslipp i g/km for testede personbiler med bensinmotor (BE-BH) ved kaldstart av motoren i Artemis Urban-syklus. Årstallet angir bilenes produksjonsår. Den røde markeringen viser utslippsverdien som er angitt av produsentene. Den røde linjen viser typegodkjenningskravet for Euro 6-normen (European Parliament, 2007).



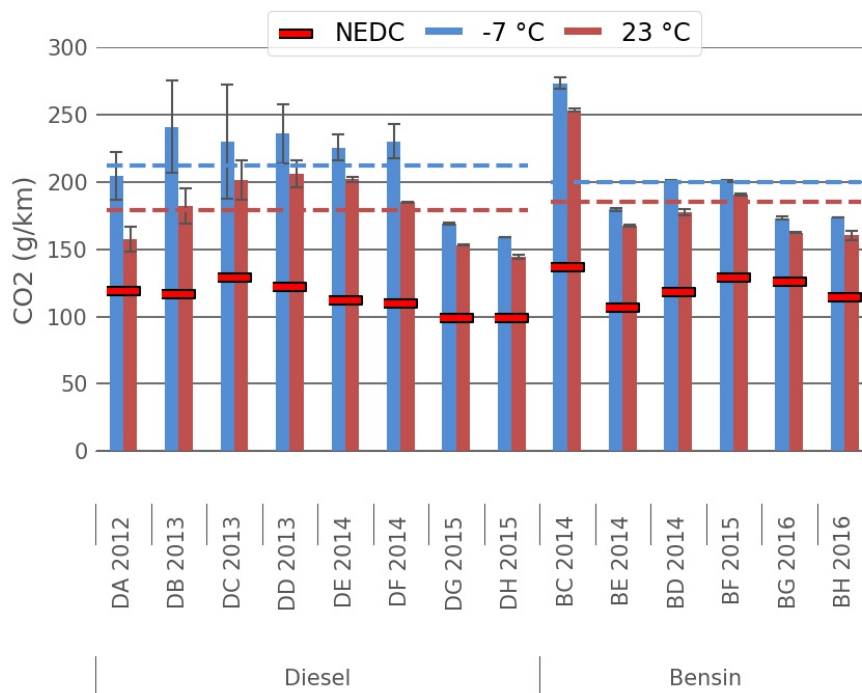
Figur 18: THC-utslipp i g/km for testede personbiler med bensinmotor (BE-BH) ved kaldstart av motoren i Artemis Urban-syklus. Årstallet angir bilenes produksjonsår. Den røde markeringen viser utslippsverdien som er angitt av produsentene. Den røde linjen viser typegodkjenningskravet for Euro 6-normen (European Parliament, 2007).

## 5 Diskusjon

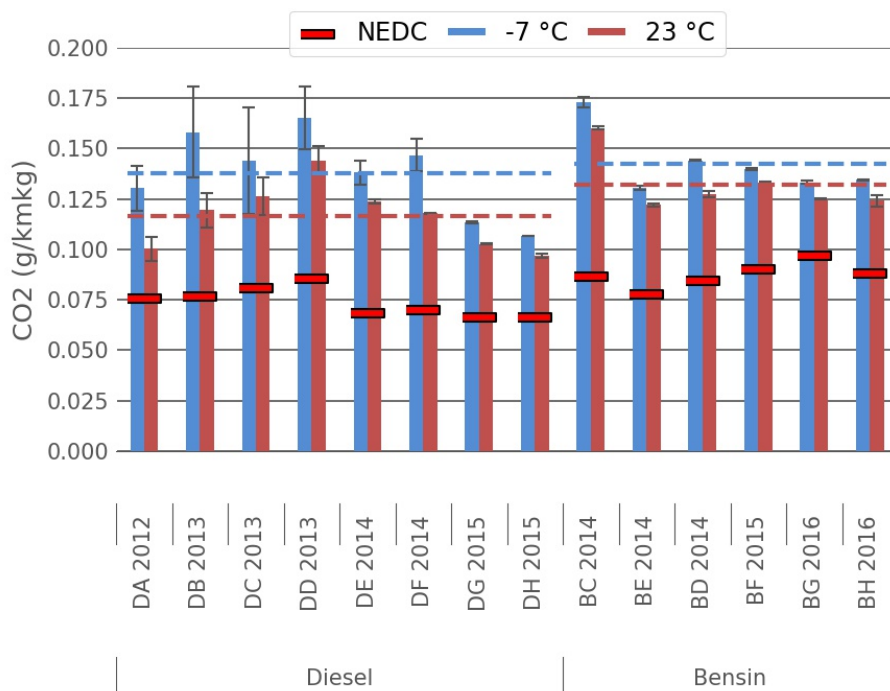
### 5.1 CO<sub>2</sub>-utslipp fra eksosrøret

Som nevnt i innledningen (Kapittel 1), ble GDI-teknologien innført for å redusere CO<sub>2</sub>-utslippet fra bensinbilene. Figur 19 viser CO<sub>2</sub>-utslippet for de diesel- og bensinpersonbiler som er målt i Helsinki-syklus i løpet av hele EMIROAD-prosjektet. Dersom vi sammenligner det gjennomsnittlige CO<sub>2</sub>-utslippet fra alle de testede dieselbilene med de fra bensinbilene, ser man at gjennomsnittet for bensinbilene bare er 3,6 % høyere enn gjennomsnittet for dieselbilene (tallverdiene finnes også i Tabell 4). Ved -7 °C ser det til og med ut som bensinbilene er mer effektive, og har CO<sub>2</sub>-utslipp som er 5,5 % lavere enn gjennomsnittet for dieselbilene.

Men denne fremstillingen tar ikke hensyn til at de testede dieselbilene er forholdsvis store og tunge, og bensinbilene vi har testet er relativt lette. Figur 20 viser CO<sub>2</sub>-utslippet fra de samme kjøretøyene, sett i forhold til bilenes vekt.



Figur 19: CO<sub>2</sub>-utslipp av bensinbilene (BC-BH) i g/km, sammenlignet med CO<sub>2</sub>-utslippet fra dieslbiler (DA-DH) i Helsinki-syklus. Årstallet angir bilens produksjonsår. Den røde markeringen viser utslippsverdien som er angitt av produsentene. De stiplede røde og blå linjene viser gjennomsnittet av måleverdiene for begge kjøretøytypene og ved de to forskjellige temperaturnivåene. Data for dieslbilene er hentet fra tidligere TØI-rapporter.



Figur 20: CO<sub>2</sub>-utslipp av bensinbilene (BC-BH), sammenlignet med CO<sub>2</sub>-utslippet fra dieslbilene (DA-DH) i Helsinki-syklus, sett i forhold til kjøretøyets vekt. Årstallet angir bilens produksjonsår. Den røde markeringen viser utslippsverdien som er angitt av produsentene. De stiplede røde og blå linjene viser gjennomsnittet av måleverdiene for begge kjøretøytypene og ved de to forskjellige temperaturnivåene. Data for dieslbilene er hentet fra tidligere TØI-rapporter.

Når vi tar hensyn til kjøretøyets vekt ser bildet annerledes ut: Ved +23 °C slipper bensinbilene i gjennomsnitt ut 13,8 % mer CO<sub>2</sub> per kilogram kjøretøymasse enn dieslbilene. Allikevel er dette en stor forbedring med tanke på at motorer med gnisttenning tradisjonelt har vært ca. 20-25 % mindre energieffektive enn dieselmotorene. Figur 20 viser også at forskjellen mellom diesel- og bensinbilene er mindre i kulde. Dette kan henge sammen med at bensinmotorene er lettere og derfor varmes opp fortere.

I denne sammenhengen er det viktig å nevne at det er de absolutte tallene som er viktige i et klimaperspektiv, ikke de relative som er normert til kjøretøyets vekt.

Det er en interessant observasjon at spredningen i måleresultatene blir mindre jo nyere bilene er. Dette kan henge sammen med at målingen skjer på en mer repeterbart måte over tid. En annen mulig forklaring er at bilene blir mer og mer tilpasset til testsituasjonen.

Tabell 4: Gjennomsnittlig CO<sub>2</sub>-utslipp i Helsinki-syklus ved -7 og +23 °C, inkludert relativ forskjell i CO<sub>2</sub>-utslipp for diesel og bensin. Kolonnene til høyre (CO<sub>2</sub> (g/kmkg)) er sett i forhold til kjøretøyets vekt.

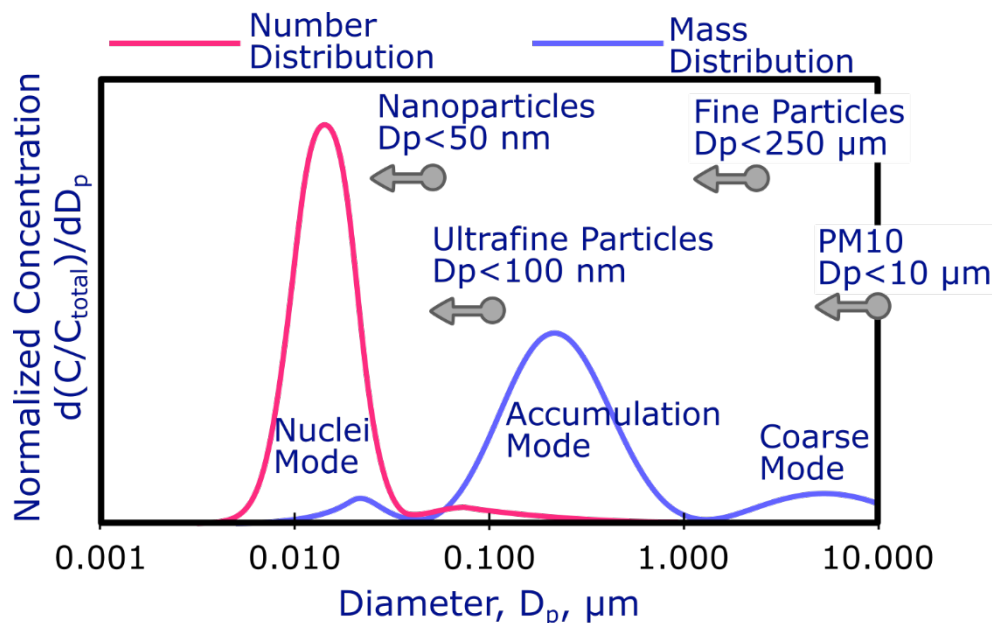
Temperatur (°C)	CO <sub>2</sub> (g/km)				CO <sub>2</sub> (g/kmkg)			
	-7		+23		-7		+23	
Drivstoff	Diesel	Bensin	Diesel	Bensin	Diesel	Bensin	Diesel	Bensin
Gjennomsnitt	212,1	200,3	179,0	185,4	0,138	0,143	0,116	0,132
Relativ (%) i forhold til diesel		-5,6		+3,6		+3,6		+13,8

## 5.2 Partikkelutslipp

Det har vært kjent at GDI-teknologien kan føre til økt partikkelutslipp sett i forhold til bensinbiler med port-fuel injection (se for eksempel Myung & Park, 2012 eller Reif & Dietsche, 2014). Med innføring av Euro 5-standarden i 2009 ble det derfor satt en grenseverdi for PM-utslipp i NEDC-testen for bensinbiler med GDI-motor (European Parliament, 2007).

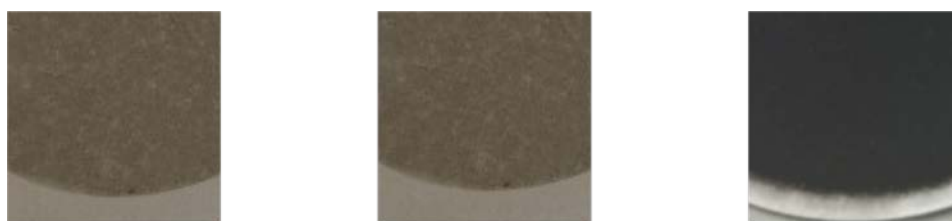
Siden partiklene fra eksosutslippet i forbrenningsmotorer er svært små, bidrar de lite til den totale vekten av partiklene (PM). Uansett kan det være svært mange nanopartikler (diameter under 50 nm) i avgassen. Figur 21 gir et eksempel på dette. Figuren viser en oversikt over tre typiske partikkelklasser i diesel-eksos. Maksimumet i massefordelingen (prikket linje) ligger mellom 100 og 1000 nm, mens maksimumet i antall partikler ligger rundt 10 nm. Dette betyr at det finnes veldig mange små partikler som bidrar lite til totalmasse, mens det finnes et mindre antall større partikler, som utgjør hoveddelen av PM.

Siden dette forholdet også er overførbart til bensinbiler, ble det i 2014 i tillegg til grenseverdien for PM også innført en grenseverdi for partikkelantallet, PN.



Figur 21: Normalisert konsentrasjon av partikler i diesel-eksos. Den logaritmiske skalaen viser antall- og massefordelingen etter den aerodynamiske partikkeldiameteren  $D_p$ . Kilde: dieselnet.com.

Filterpapir kan brukes til å fange opp partikler i avgasstrømmen. Etter tørking (vanndamp skal fjernes) veies filterpapiret og sammenlignes med vekten av et ubrukt papir, resultatet blir utslippsfaktoren til PM. Figur 22 viser slike filterpapir etter målingen. Det er veldig tydelig at filterpapiret fra en GDI-bil (til høyre) har fanget opp mest materiale.



**Diesel DI**

**Bensin PFI**

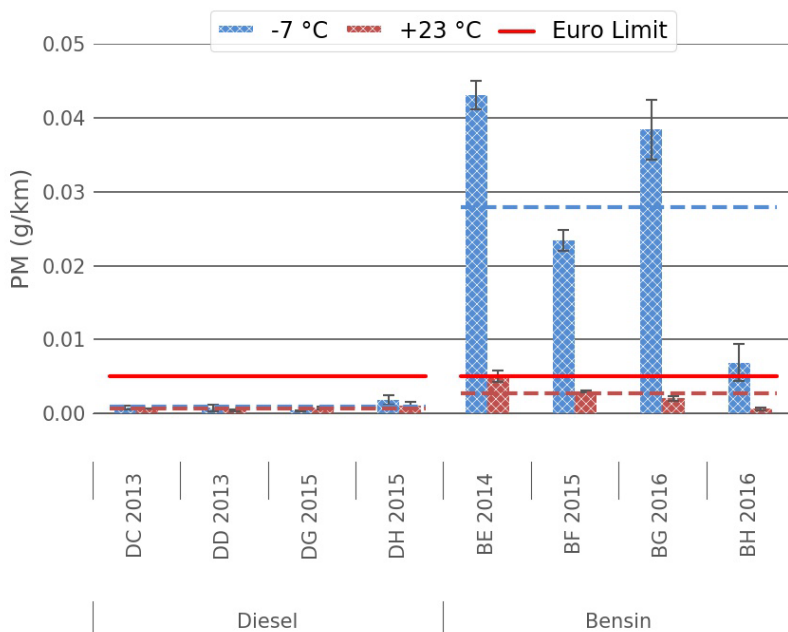
**Bensin GDI**

Figur 22: Filterpapir brukes til å fange opp partikler i avgasstrømmen. Til venstre vises et eksempel hvordan filterpapiret ser ut etter bruk ved moderne dieselmotorer (Diesel DI) eller «vanlige» bensinmotorer (Bensin PFI). Til høyre vises filterpapiret for bilen BG, etter kaldstart i Artemis Urban-syklus ved  $-7^{\circ}\text{C}$ .

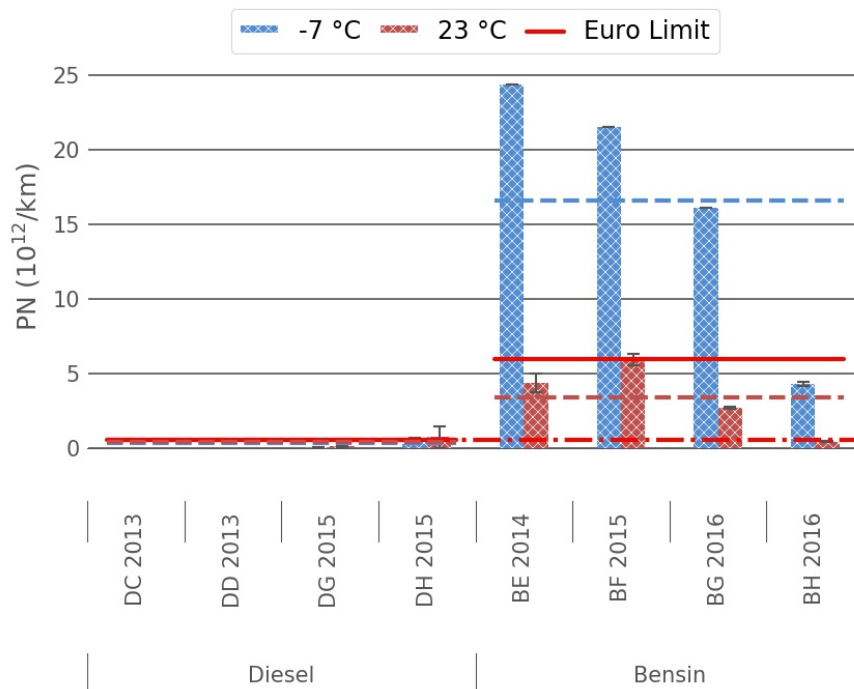
Mens både PM- og PN-utslippene stort sett er lave i Helsinki-syklus ved varmstart av motoren (Figur 8 og Figur 9), viser Figur 14 at det kan bli høye utslipp av partikler ved kaldstart i kulde ( $-7^{\circ}\text{C}$ ).

Figur 23 og Figur 24 sammenligner utslippene fra GDI-biler med utslippene fra dieselmotorer med partikkelfilter. Det går tydelig frem fra figurene at partikkelfilteret er et svært effektivt tiltak mot partikkelutslipp.

Det bekreftes av Figur 24, som viser PN-utslippet i Artemis Urban-syklusen. Mens alle dieselmotorer klarer å oppfylle grenseverdien på  $6 \cdot 10^{11}$ , vil bensinmotorer med GDI slite med å oppfylle den nye grenseverdien på  $6 \cdot 10^{11}$ , som innebærer at kravet til antall partikler senkes til samme nivået som for dieselmotorer (European Parliament, 2007). Det forventes at også GDI-biler kommer til å bli utstyrt med partikkelfiltere for å kunne oppfylle kravene. Resultatene fra dieselmotorer med partikkelfilter (Figur 23) gir god grunn til å forvente at om GDI-biler også utstyres med partikkelfilter vil dette, som for dieselmotorer, medføre betydelig reduserte utslipp av PM og PN.



Figur 23: PM-utslipp i g/km for testede personbiler med dieselmotor (DC, DD, DG, DH) og med bensinmotor (BE-BH) ved kaldstart av motoren i Artemis Urban-syklus. Årstallet angir bilens produksjonsår. Den røde linjen viser typegodkjenningskravet for Euro 6-normen (European Parliament, 2007). De stiplede røde og blå linjene viser gjennomsnittet av måleverdiene for begge kjøretøytypene og ved de to forskjellige temperaturnivåene. Data for dieselmotorer er hentet fra tidligere TØI-rapporter.



Figur 24: PN-utslipp i antall partikler per km for testede personbiler med dieselmotor (DC, DD, DG, DH) og med bensinmotor (BE-BH) ved kaldstart av motoren i Artemis Urban-syklus. Årstallet angir bilenes produksjonsår. Den røde linjen viser typegodkjenningskravet for Euro 6 og Euro 6c-normen (European Parliament, 2007). De heltrukne røde og blå linjene viser gjennomsnittet av måleverdiene for begge kjøretøytypene og ved de to forskjellige temperaturnivåene. Data for diesebilene er hentet fra tidligere TØI-rapporter.

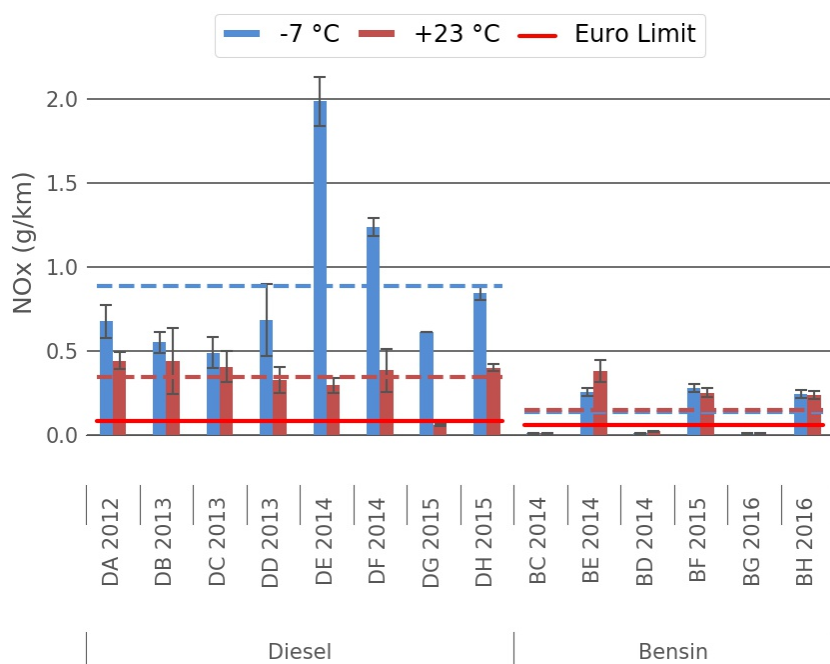
### 5.3 NO<sub>x</sub>-utslipp

Mens halvparten av de testede GDI-bilene støtter det tradisjonelle synspunktet om at bensinbiler med treveiskatalysator har lave NO<sub>x</sub>-utslipp, sørger den andre halvparten for oppsiktsvekkende resultater. Høye NO<sub>x</sub>-utslipp fra en bensinbil (BA, Euro 5) med GDI-motor ble først målt i 2012 (se Figur 10), men på dette tidspunktet var dette en enkeltmåling, som ikke kunne vektlegges mye. Målinger utført i 2013 og 2014 bekreftet det tradisjonelle synspunktet. Men i målingene utført høsten 2015, med bilene BE og BF, ble det igjen målt høye NO<sub>x</sub>-verdier i Helsinki-syklusen. I de etterfølgende målingene høsten 2016, med 2016-modellbilene BG og BH, var det igjen en av bilene som bekreftet at det er høye NO<sub>x</sub>-utslipp fra noen GDI-biler.

Gjennomsnittlig NO<sub>x</sub>-utslipp for alle Euro 6-bilene (BC-BH) ligger på 0,13 og 0,15 g/km for henholdsvis -7 og +23 °C. Tar vi bare Euro 6-bilene med betydelige overskridelser av grenseverdien, dvs. bilene BE, BF og BH, blir gjennomsnittet cirka dobbelt så høyt. Dette fører til nivåer som er 4,3 og 4,8 ganger så høyt som grenseverdien.

Temperaturen har en mindre effekt på NO<sub>x</sub>-utslippet fra bensinbilene enn for diesebilene: Figur 25 viser at mens det gjennomsnittlige NO<sub>x</sub>-utslippet fra diesebilene ved -7 °C er 3,6 ganger så høyt som ved +23 °C, er gjennomsnittet likt for bensinbilene.





Figur 25: NO<sub>x</sub>-utslipp fra bensinbilene (BC-BH), sammenlignet med NO<sub>x</sub>-utslippet fra dieslbiler (DA-DH) kjørt i Helsinki-syklus. Årstallet angir bilens produksjonsår. Den røde linjen viser typegodkjenningskravet for Euro 6-normen (European Parliament, 2007). De heltrukne røde og blå linjene viser gjennomsnittet av måleverdiene for begge kjøretøytypene og ved de to forskjellige temperaturnivåene. Data for dieslbilene er hentet fra tidligere TØI-rapporter.

Den nye typegodkjenningen (Euro 6c) vil tillate en «conformity factor» for hvor mye utslippet i målinger på vanlig veg («RDE») får lov til å ligge over grenseverdien i laboratoriet. Fra september 2017 er den satt til 2,1 og skal strammes inn etterhvert. De bilene som overskrider grenseverdien i Helsinki-syklusen, hadde altså heller ikke klart å oppfylle grenseverdien for virkelig trafikk når den innføres.

Som nevnt i kapittel 5.2, vil innføring av Euro 6c sannsynligvis føre til at bensinbiler med GDI-teknologi blir utstyrt med partikkelfilter. Ved innføring av partikkelfiltre i dieslbiler i Euro 5, har forbrenningen av sot i filteret ført til høyere verdier av NO<sub>2</sub>. Det kommer til å bli viktig å følge med på hvordan bilprodusentene løser disse utfordringene.

Det kan være flere forklaringer på det høye NO<sub>x</sub>-utslipp fra kjøretøyene. Det høye NO<sub>x</sub>-utslippet ved +23 °C (se Figur 10) kan tyde på «mager» styring (luftoverskudd i forbrenningskammeret, lean-operation) av motoren i store deler av kjøresyklusen. Som ligningene 3 og 4 i kapittel 2.2 viser, trenges det CO for å kunne redusere NO og NO<sub>2</sub>. Men når forbrenningen skjer i lean-mode, er det luftoverskudd, som fører til at for mye CO blir oksidert. Noe som fører til at det ikke er nok CO igjen til å redusere NO og NO<sub>2</sub>. Dette medfører at NO<sub>x</sub>-verdiene stiger i eksos-utslippet, mens verdiene for CO (Figur 11) og THC (Figur 12) er svært lave (se også Figur 2).

Høye utslipp ved kaldstart i kulde (se Figur 16) skyldes sannsynligvis at katalysatoren ikke har nådd arbeidstemperaturen (light-off, se kapittel 2.2). Dette kan forklare høye utslipp av CO og HC, mens NO<sub>x</sub>-nivået er relativt lavt (Figur 17, Figur 18). Kondensasjon av uforbrent drivstoff i sylindern gir høy utslipp av HC, som ikke kan bli konvertert i katalysatoren siden arbeidstemperaturen ikke er nådd. For å varme opp katalysatoren så fort som mulig, øker motorstyringen forbrenningstemperaturen i sylindern. Dette kan føre til økt dannelse av NO<sub>x</sub> (Figur 16).



For GDI-bilene er det ingen observerbar sammenheng mellom kjøretøyets vekt eller motoreffekt og NO<sub>x</sub>-utslippet.

Det er viktig å huske at vi ikke har innsyn i kjøretøyenes motorstyringen, noe som betyr at det kan være flere årsaker til høye NO<sub>x</sub>-utslipp, enn angitt over. Selv om enkelte GDI-biler har høye utslipp av NO<sub>x</sub>, er det allikevel viktig å legge merke til at utslippene fra de testede GDI-bilene er betydelig lavere enn fra dieslbiler, særlig i kulde, se Figur 25. Ved +23 °C ligger gjennomsnittet av NO<sub>x</sub>-utslippet for de testede dieslbilene 2,3 ganger så høyt som GDI-bilene. I kulden er forskjellen enda større, da er utslippet 6,8 ganger så høyt. Tar vi bare bilene BE, BF og BH, altså GDI-bilene med høyt NO<sub>x</sub>-utslipp, er utslippet ved +23 °C nesten det samme som fra dieslbilene. Det gjenstår å finne ut om det er noe grunnleggende forskjell mellom disse to grupper GDI-biler, eller om dette er en tilfeldig variasjon.

## 6 Konklusjon

Fokus i rapporten ligger på bensinbiler med direkteinnsprøytningsteknologi (GDI). Rapporten viser resultater fra målinger av personbiler med GDI-teknologi i 2016, sammenlignet med tidligere utførte målinger. GDI-teknologien har potensial til å forbedre drivstofføkonomien, men kan også ha en del ulemper, som for eksempel økt utslipp av «lokale» forurensningskomponenter som NO<sub>x</sub> og PM. Som resultatene viser, har de testede bensinbilene lavere CO<sub>2</sub>-utslipp enn man tradisjonelt hadde forventet fra bensinbiler (Kapittel 5.1), men de testede bilene har noen utfordringer når det gjelder utslipp av partikler, særlig ved kaldstart i kulde (Figur 23 og Figur 24). Halvparten av de testede GDI-bilene viser også relativ høye verdier for NO<sub>x</sub> i bykjøring, sammenlignet med eldre bensinbiler (biler med PFI). Allikevel er NO<sub>x</sub>-utslippene fra GDI-bilene mye lavere enn fra Euro 6-dieslbiler (Figur 25), særlig i kulde.

Med innføring av Euro 6c i høst 2017 kommer det strengere grense for partikkelantall fra GDI-biler. I tillegg skal de nye reglene også inkludere måling av utslipp ved kjøring utenfor laboratoriet på «ekte» veger (RDE-test). Det forventes at de strengere reglene kommer til å føre til innføring av partikkelfiltre i nye GDI-biler, noe som viste seg å være meget effektivt i dieslbiler (Figur 23 og Figur 24). Testing på «ekte» veger kan føre til at bilene blir renere også i virkelig trafikk, men det er fortsatt en del usikkerhet knyttet til hvor godt RDE-testen vil tilsvare virkelig bruk av kjøretøyet.

Derfor vil det også i fremtiden være viktig med uavhengige tester av kjøretøy, særlig med hensyn til NO<sub>x</sub>-utslippet og kjøretøyenes egenskaper ved nordiske forhold.

## 7 Ordliste - motor og miljøteknologi

Adblue	Handelsnavn for urea som er et kjemisk reduksjonsmiddel for rensing av avgasser fra NO <sub>x</sub> , 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 <sub>2</sub> , vann og forurensende stoffer.
CI	se ICE.
CNG	<i>Compressed Natural Gas (bovedsakelig metan)</i> . 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 <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O) har lenge vært i bruk som drivgass i sprayflasker, men vurderes også som drivstoff i forbrenningsmotorer.
DPF	Dieselpartikkelfilter. Filteret brenner karbonholdige 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 igjen 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> .
HC	<i>Hydrocarbons</i> , se THC.
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> , $\text{NO}_x$ -katalysator. LNT er et $\text{NO}_x$ -rensesystem som ikke trenger tilsatt reduksjonsmiddel. Under mager forbrenning blir $\text{NO}_x$ adsorbent (lagret) på overflaten av katalytisk materialer. Regenerering av katalysatoren (tømming av lagret $\text{NO}_x$ ) foregår under støkiometriske forhold og $\text{NO}_x$ kan da bli kjemisk redusert til nitrogengass $\text{N}_2$ .
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.
$\text{N}_2\text{O}$	<i>Dinitrogenoksyd</i> , Lystgass. $\text{N}_2\text{O}$ regnes ikke som lokalt forurensende, men vurderes å ha ca. 300 ganger sterkere klimapåvirkning enn $\text{CO}_2$ .
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 ( $\text{CH}_4$ ).
NO	Nitrogenoksid, en gass som dannes sammen med $\text{NO}_2$ ved høy temperatur i forbrenningsprosesser ved at luftens nitrogen reagerer med luftens oksygen. NO omdannes ved reaksjoner med ozon, $\text{O}_3$ til $\text{NO}_2$ .
$\text{NO}_2$	Nitrogendioksid, en gass som dannes sammen med NO i forbrenningsprosesser ved høy temperatur og ved oksidering av NO. $\text{NO}_2$ har en skarp lukt og kan skape astma og helseproblemer.
$\text{NO}_x$	Samlebegrep for nitrogenoksider, NO og $\text{NO}_2$ .

PEMS	<i>Portable Emission Measurement System</i> , portabelt system for utslippsmåling. I stedet for 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.
PFI	<i>Port Fuel Injection</i> . Innsprøytningsteknologi i bensinbiler, der drivstoffet sprøytes inn ved luftinntaket til sylindere. Når ventilen til sylindere åpner, blir en blanding av luft og drivstoff suget inn i sylindere.
PM	<i>Particulate Matter</i> . 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	<i>Particulate Number</i> . 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 direkteinnsprøytning.
RDE	<i>Real Driving Emission</i> , 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	<i>Selective Catalytic Reduction</i> , selektiv katalytisk reduksjon. I et SCR rensesystemer, blir nitrogenoksider (NO og NO <sub>2</sub> ) kjemisk redusert til nitrogen (N <sub>2</sub> ) 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	<i>Total Hydro Carbons</i> . Den samlede mengden av hydrokarboner (HC) i eksos, inkludert metan (CH <sub>4</sub> ). Ved bruk av gass som drivstoff spesifiseres HC og utslipper av CH <sub>4</sub> separat da signifikante mengder uforbrent metan i avgassene i sterk grad bidrar til klimapåvirkning.
TTW	<i>Tank To Wheel</i> , se WTW og LCA.
TWC	<i>Three Way Catalyst</i> , 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 <sub>x</sub> , CO og uforbrent drivstoff (HC og PM) fra eksosgassen på en effektiv måte.
WT <sup>T</sup>	<i>Well To Tank</i> , se WTW og LCA.
WTW	<i>Well To Wheel</i> , kilde til hjul. En WTW miljøvurdering av et drivstoff kan deles opp i en del som omfatter WT <sup>T</sup> , Well to Tank, kilde til tank og en del som omfatter TTW, tank to Wheel, tank til hjul. WT <sup>T</sup> 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.

## Referanser

- Alan, B., Yi, J. J., Iyer, C. O., VanDerWege, B. A. and Wooldridge, S. (2008) 'Fuel injector spray pattern for direct injection spark ignition engines'. Google Patents. Available at: <https://www.google.com/patents/US7418940>.
- Barlow, T., Latham, S., Mccrae, I. and Boulter, P. (2009) 'A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions', p. 280.
- Davis, S. C., Diegel, S. W., Boundy, R. G. and Moore, S. A. (2016) *2016 Vehicle Technologies Market Report*. Oak Ridge, TN (United States): Oak Ridge National Laboratory.
- 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/ekotrafikaytettyauto/default.aspx> (Accessed: 1 April 2016).
- Flaig, F. (2014) 'Presse-Information: Benzin-Direkteinspritzung weltweit', *Bosch kompakt, Robert Bosch GmbH*, PI 8514 UB.
- Hagman, R. and Amundsen, A. H. (2013) *Utslipp fra kjøretøy med Euro 6 / VI teknologi - Måleprogrammet fase 2*. TØI rapport 1291/2013: Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Myung, C. L. and Park, S. (2012) 'Exhaust nanoparticle emissions from internal combustion engines: A review', *International Journal of Automotive Technology*, 13(1), pp. 9–22. doi: 10.1007/s12239-012-0002-y.
- Nylund, N.-O. and Koponen, K. (2012) *Fuel and Technology Alternatives for Buses; Overall Energy Efficiency and Emission Performance*. VTT Technical Research Centre of Finland.
- Reif, K. and Dietsche, K.-H. (2014) *Bosch Automotive Handbook*. 9th edn. Edited by Dipl. Ing. Karl-Heinz Dietsche. John Wiley & Sons Ltd.
- 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*. Available at: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/updates/R101r3e.pdf>.
- Weber, C., Hagman, R. and 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.
- Weber, C. and Amundsen, A. H. (2016) *Utslipp fra kjøretøy med Euro 6 / VI teknologi Resultater fra måleprogrammet i EMIROAD 2015*. TØI rapport 1506/2016: 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](http://www.toi.no).

TØI er partner i CIENS Forskningscenter for miljø og samfunn, lokalisert i Forskningsparken nær Universitetet i Oslo (se [www.ciens.no](http://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](mailto:toi@toi.no)  
[www.toi.no](http://www.toi.no)