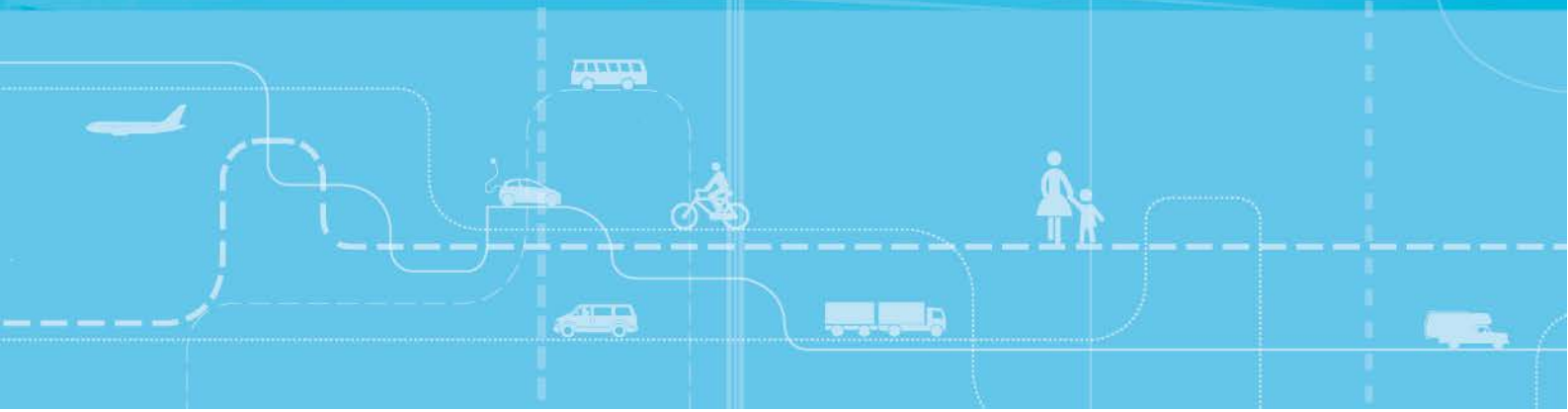


Busser, Euro VI og avgassutslipp

Status 2016/2017



Busser, Euro VI og avgassutslipp

Status 2016/2017

Rolf Hagman

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: Busser, Euro VI og avgassutslipp. Status 2016/2017

Forfattere: Rolf Hagman

Dato: 12.2016

TØI rapport: 1540/2016

Sider 28

ISBN Elektronisk: 978-82-480-1819-3

ISSN 0808-1190

Finansieringskilde: Statens vegvesen Vegdirektoratet

Prosjekt: 4108 - EMIROAD

Prosjektleder: Christian Weber

Kvalitetsansvarlig: Erik Figenbaum

Emneord: Busser
Diesel
EURO VI
Gass

Title: Buses, Euro VI and tailpipe emissions. Status 2016/2017

Author(s): Rolf Hagman

Date: 12.2016

TØI report: 1540/2016

Pages 28

ISBN Electronic: 978-82-480-1819-3

ISSN 0808-1190

Financed by: The Norwegian Public Roads Administration

Project: 4108 - EMIROAD

Project manager: Christian Weber

Quality manager: Erik Figenbaum

Key words: Buses
Diesel
EURO VI
Gas

Sammendrag:

Tester av busser med Euro VI-dieselmotorer viser ved normale temperaturer meget lave nivåer når det gjelder utslipp av lokalt forurensende avgasser. En pilotstudie med tre dieselbusser viser at det blir utfordringer med oppvarming av SCR-rensesystemet for reduksjon av NOX ved nordisk lave temperaturer, under 0 °C.

Busser med nye Euro VI-godkjente gassmotorer er nå, noen år etter busser med tilsvarende dieselmotorer, blitt tilgjengelige på markedet. Avgasstester i VTTs avgasslaboratorium viser at to nye gassbusser ved normale temperaturer har utslipp av NOX, PM og CO2 på samme nivåer som nye dieselbusser.

Summary:

Tests of buses with Euro VI diesel engines show at normal temperatures low emission-levels of local pollutants. A pilot study with three diesel buses show challenges with temperature and warming of the SCR NOX-reduction system at low Nordic temperatures, below 0 °C.

Buses with new CNG Euro VI engines are, a few years after similar buses with diesel engines, available on the market. Tests at the VTT emission laboratory show that two new CNG buses of different brands at normal temperatures have low emissions of NOX, PM and CO2. The emissions are of the same magnitude as from corresponding new buses with diesel engines.

Language of report: Norwegian

Rapporten utgis kun i elektronisk utgave.

This report is available only in electronic version.

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

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

Forord

Avgassutslippene av lokalt forurensende og helseskadelig avgasskomponenter fra nye busser med Euro VI-dieselmotorer er ved normale temperaturer takket være effektiv rensing meget lave. Dette sammenfattes blant annet i TØI rapporten 1407/2015 *Utslipp fra nye kjøretøy - holder de hva de lover? Avgassmålinger Euro 6/VI - status 2015*.

Rapporten *Busser, Euro VI og avgassutslipp – status 2016/2017* presenterer erfaringer og utfordringer fra en pilottest av kuldeegenskapene og utfordringer med SCR (Selective Catalytic Reduction) og NO_x (nitrogenoksider) avgassrensing i tre busser med Euro VI dieselmotorer. Videre presenterer rapporten resultatene fra avgasstester med to nye Euro VI-godkjente gassbusser. Resultatene for gassbussene blir i rapporten sammenlignet med tilsvarende resultater fra dieselbusser.

Hensikten med pilotprosjektet er dels å få innsikt i muligheter og utfordringer med SCR avgassrensing i nordisk kulde. Videre formidler rapporten ny kunnskap om utslipp fra busser med nye Euro VI-godkjente gassmotorer. Kunnskap om hva busser med forskjellig teknologi bidrar med av lokalt helseskadelige utslipp, klimagasser og energiforbruk er avgjørende for viktige valg og prioriteringer i samfunnet.

Det norske delen av prosjektet er finansiert av Statens vegvesen, Vegdirektoratet. Prosjektet er en del av etatsprosjektet EMIROAD. TØI har utført prosjektet i samarbeid med VTT. Forsker Rolf Hagman har vært TØIs prosjektleder for EMIROAD. Denne rollen ble våren 2016 overtatt av forsker Christian Weber.

Hos VTT har Nils-Olof Nylund vært den ansvarlige for rapportering av utslippsmålingene til TØI. Nylund har også kvalitetssikret innholdet i den norske versjonen av rapporten, den bygger på den finske rapporteringen om NO_x-utslipp i kulde *Euro VI päästötason kaupunkibussien käytön aikaiset päästöt*.

Kontaktperson hos oppdragsgiver er Karl Idar Gjerstad. Rapporten er skrevet av forsker Rolf Hagman. Forskningsleder Erik Figenbaum har vært ansvarlig for kvalitetssikringen av rapporten, mens sekretær Trude Rømning har tilrettelagt rapporten for publisering.

Oslo, desember 2016
Transportøkonomisk institutt

Gunnar Lindberg
direktør

Erik Figenbaum
forskningsleder

Innhold

Sammendrag

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Busser og Euro VI-motorer | 1 |
| 1.1 | Bakgrunn..... | 1 |
| 1.2 | Utslipp ved normal temperatur | 2 |
| 1.3 | Avgassrensing i Euro VI-motorer..... | 3 |
| 1.3.1 | Avgassrensing i Euro VI-dieselmotorer | 3 |
| 1.3.2 | Avgassrensing i Euro VI-gassmotorer | 4 |
| 2 | Metoder | 5 |
| 2.1 | Måling - NO _x -rensing av dieselavgasser | 5 |
| 2.2 | NO _x før og etter SCR avgassrensing..... | 6 |
| 2.3 | Tester i avgasslaboratorium | 7 |
| 2.4 | Tester på lukket bane..... | 8 |
| 2.5 | NO _x -reduksjoner registrering gjennom et år | 10 |
| 3 | Resultater dieselbusser – Euro VI | 11 |
| 3.1 | Test i avgasslaboratorium – varm motor | 11 |
| 3.2 | Resultat av testkjøring på lukket bane | 11 |
| 3.3 | Tidsforsinkelser for SCR-systemene ved start | 13 |
| 3.4 | Gjennomsnitt NO _x -reduksjoner 2015 og 2016 | 13 |
| 3.4.1 | Typisk NO _x -renseeffekt for buss ±16 °C | 13 |
| 3.4.2 | NO _x -reduksjon for de tre bussene i ulik temperatur..... | 14 |
| 3.5 | Virkelige utslipp av NO _x med Euro VI-motorer | 17 |
| 4 | Resultater gassbusser – Euro VI..... | 19 |
| 4.1 | Gassbusser sammenlignet med dieselbusser | 20 |
| 5 | Konklusjon og videre arbeid | 23 |
| 6 | Referanser..... | 25 |
| | Vedlegg 1 ”Database - avgassutslipp”..... | 26 |
| | Vedlegg 2 ”Klimapåvirkning - WTW”..... | 27 |

Sammendrag:

Busser, Euro VI og avgassutslipp

Status 2016/2017

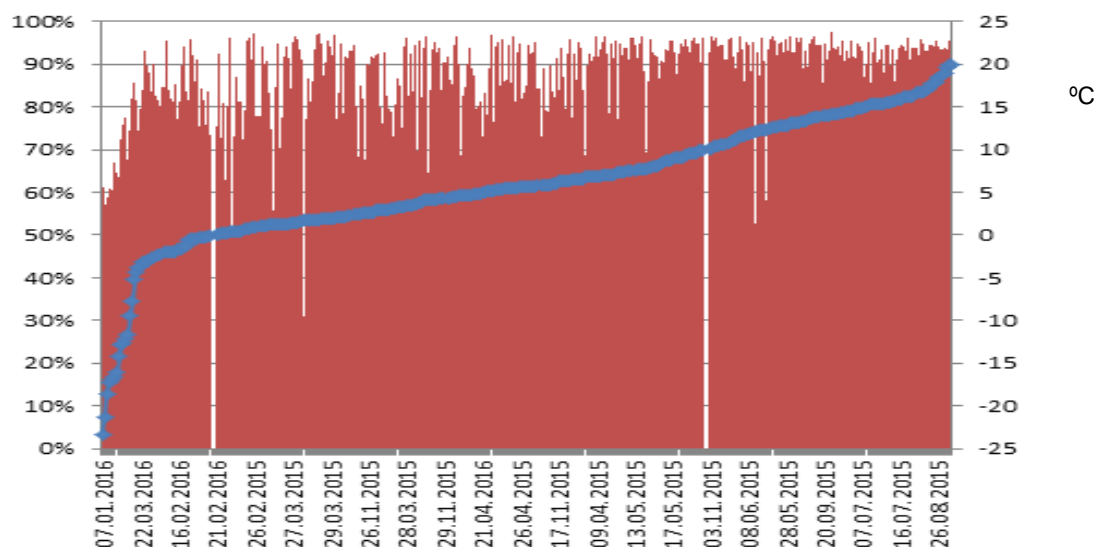
TØI rapport 1540/2016
Forfatter: Rolf Hagman
Oslo 2017 28 sider

Utslipp fra nye busser har blitt testet og vurdert av TØI og VTT som en del av Statens Vegvesen, Vegdirektoratets forsknings- og utviklingsprosjekt EMIROAD. Busser med Euro VI-godkjente dieselmotorer har takket være effektiv avgassrensing fått redusert utslippene av de lokalt forurensende NO_x (nitrogenoksider) og PM (avgasspartikler) til en brøkdel av hva de var fra busser med Euro V-motorer. Avgassrensingen kalles SCR (Selektiv Catalytic Reduksjon) og med nøyaktig styring og regulering er det mulig å helt eller til stor del fjerne den NO_x som dannes i selve motoren. Tidligere er det vist at SCR-rensingen fungerer fint og er meget effektiv med driftsvarm motor og ved utetemperaturer (20-25°C). Erfaringene fra et pilotprosjekt med tre dieselbusser i vanlig rutetraffikk, måling av SCR-systemets tidsforsinkelser og renseeffekt i sterk kulde, blir presentert i denne rapporten.

Busser med Euro VI-godkjente gassmotorer er på markedet, noen år etter at tilsvarende busser med dieselmotorer ble tilgjengelige. To busser med nye Euro VI-gassmotorer er testet i VTTs avgasslaboratorium. Resultatene blir sammenlignet med avgassutslippene fra Euro V-gassmotorer og med utslippene fra nye og eldre busser med dieselmotorer.

Euro VI og rensing av dieselavgasser i kulde

Andelen NO_x som blir fjernet med SCR-renseteknologi (Selektiv Catalytic Reduksjon) fra en varm motor i en buss med Euro VI-teknologi, kan ligge på ca 90 % ved utetemperaturer på over 0 °C. Ved utetemperaturer lavere enn 0 °C kan andelen NO_x som blir fjernet ligge på ca 80 %. Ved temperaturer lavere enn -5 °C og ned mot -20 °C ser det ut til at andelen NO_x som blir fjernet er usikker og under 60 %.



Figur S1. Andel (%) av NO_x utslippene direkte ut fra en Euro VI-dieselmotor som ble fjernet med SCR-renseteknologi (røde søyler). Søylene er sortert etter fallende utetemperatur (°C) (blå kurve) og med angivelse av dato for de registrerte parrene av renseeffekt og utetemperatur.

Effektiv fjerning av NO_x fra dieslavgasser er nytt. Med fullt driftsvarm motor viser tester i avgasslaboratorium at fjerningen av NO_x ved bykjøring (Braunschweig bykjøresyklus) i noen tilfeller ut til å være opp mot 100 prosent. I pilotprosjektet har vi funnet svakheter med SCR teknologiens driftssikkerhet i kulde og at effektiviteten er forskjellig hos ulike busser.

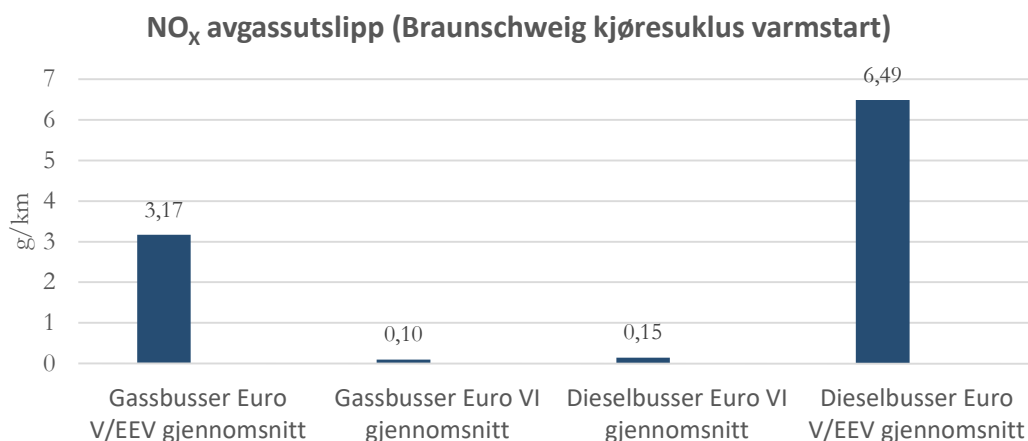
Ved start av busser som har dieselmotor og SCR-avgassrensesystem viser målingene at hvis motoren er kald og utetemperaturer over 0°C , tar det 5-10 min før avgassrensingen starter. Ved lavere utetemperaturer enn 0°C blir tidsforsinkelsen lengre.

Varme og oppvarming av reduksjonsmidlet urea, rask oppvarming av katalysatorer samt følere i SCR-systemene, er faktorer som vil bidra til korte tidsforsinkelser og effektiv fjerning av NO_x . Driftssikkerhet, tidsforsinkelse og temperaturavhengighet ser ut å være forskjellig mellom busser fra ulike bussprodusenter og bør følges opp med mer omfattende målinger. Vi kan forvente at SCR-teknologien kan videreutvikles slik at den på alle måter og under alle driftsforhold blir effektiv og driftssikker.

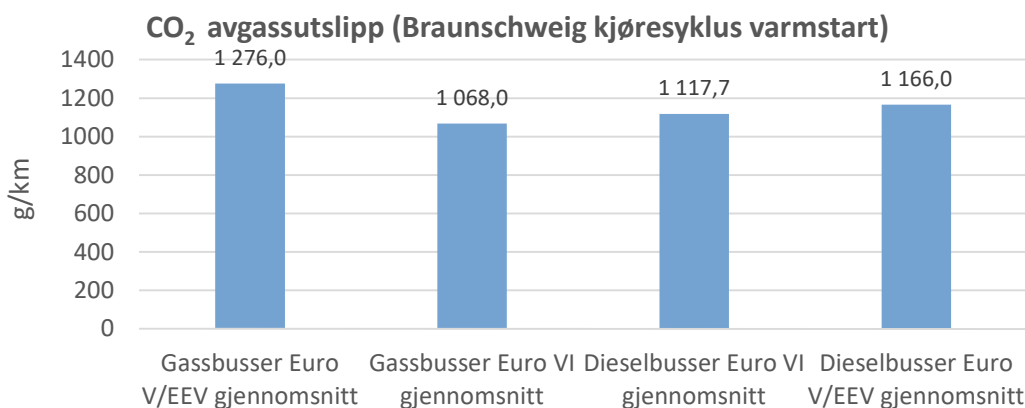
Resultatene viser at også partikkelutslippene er svært lave i virkelig trafikk. At avgassrensingen fra bybusser med dieselmotorer er effektiv og driftssikker under alle kjøreforhold er viktig for å kunne oppnå god lokal luftkvalitet i store norske byer. Med SCR-rensing og fornybare drivstoffer kan bybusser med dieselmotor være et transportmiddel som på alle måter er miljø- og klimavennlig. At utslippene fra busser følges opp med uavhengige målinger og informasjon om resultatene, er nødvendig for å oppnå høy tillit til busstransport, når det gjelder miljø- og klimapåvirkning.

Gassbusser med Euro VI-motorer.

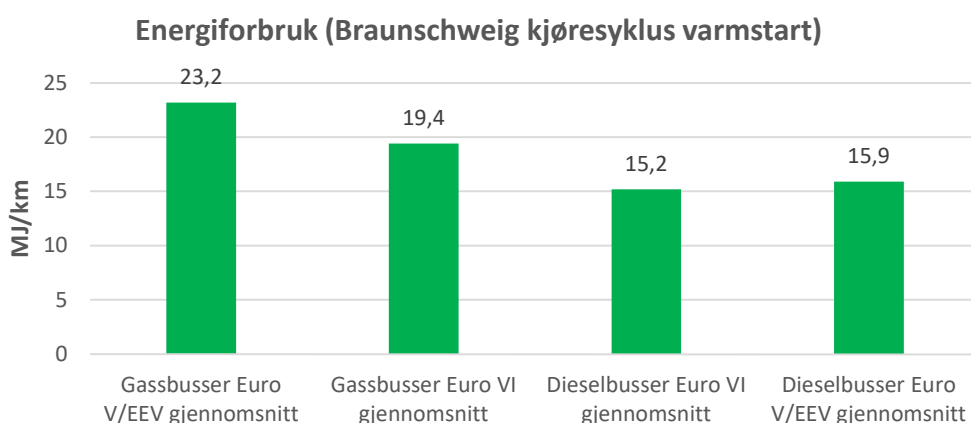
Gassbusser har et rykte for å ha gode miljøegenskaper. Eldre og nye gassbusser har, med metan som drivstoff og uten partikkelfiltre, minimalt med utslipp av avgasspartikler. Eldre gassbusser har dog i virkelig trafikk hatt avgassutslipp av NO_x og CO_2 på samme nivå som eldre dieselbusser. Gassbusser med Euro VI- godkjente motorer har nå kommet på markedet noen år etter tilsvarende dieselmotorer ble tilgjengelige. To busser med nye gassmotorer ble i desember 2016 testet ved VTT's avgasslaboratorium. Resultatene vises i figurene S2-S4.



Figur S2. Avgassutslipp av NO_x fra nye busser med moderne Euro VI-diesel- og gassmotorer samt tilsvarende utslipp fra busser med Euro V/EEV-diesel- og gassmotorer.



Figur S3. Avgassutslipp av CO₂ fra nye busser med moderne Euro VI-diesel- og gassmotorer samt tilsvarende utslipp fra busser med Euro V/EEV-diesel- og gassmotorer.



Figur S4. Energiforbruk hos nye busser med moderne Euro VI-diesel- og gassmotorer samt tilsvarende utslipp fra busser med Euro V/EEV-diesel- og gassmotorer.

Nye busser med moderne Euro VI-diesel- og gassmotorer har takket være effektiv avgassrensing betydelig lavere utslipp av NO_x enn EEV-busser og busser med med Euro V-motorer. Figur S2 viser at de to nye gassbussene har lave utslipp av NO_x.

Figur S3 viser at avgassutslippene av CO₂ fra gassbusser med Euro VI-motorer nå er på linje med eller marginalt lavere enn fra tilsvarende nye dieselbusser. Nye busser med moderne Euro VI-gassmotorer har lavere avgassutslipp av CO₂ enn tilsvarende busser med Euro V-gassmotorer.

Figur S4 viser at busser med dieselmotorer har generelt lavere energiforbruk enn busser med gassmotorer. Energivirkningsgraden har blitt bedre enn hva den tidligere var i gassmotorer. Virkningsgraden er dog ved kjøring i virkelig trafikk fortsatt ca. 20 prosent lavere for de nye gassmotorene sammenlignet med motorene i tilsvarende dieselbusser.

1 Busser og Euro VI-motorer

1.1 Bakgrunn

Avgassutslipp fra den norske bilparken reguleres i hovedsak gjennom de europeiske kravene til typegodkjenning. For å kunne selges i EU og i Norge må alle nye modeller av personbiler og alle nye motorer til tunge kjøretøy typegodkjennes. Ved typegodkjenningen er det de til enhver tid gjeldende EU-kravene for lokalt forurensende avgassutslipp som må tilfredsstilles. I tillegg til måling av lokalt helseskadelige avgasser hvor det finnes grenseverdier, registreres også avgassutslippene av klimagassen CO₂¹.

For tunge kjøretøy (over 3,5 tonn) er det motorene og ikke selve kjøretøyet som skal klare de til enhver tid gjeldende Euro-kravene til typegodkjenning. Euro-kravene for motorer til tunge kjøretøy blir oppgitt som utslipp gram NO_x, PM, HC, CO og CH₄ per levert energienhet fra motoren (målt per kWh).

Testregimene for Euro-godkjenning av motorer til tunge kjøretøy og for godkjenning av lette kjøretøy har blitt kritisert for å vise altfor gode resultater i forhold til de utslipp av avgasser som blir registrert i virkelig trafikk (Franco et al., 2014).

Testprosedyrene for typegodkjenning av busser i virkelig trafikk, motorer og lette kjøretøy er under revidering. Nye testsykluser og krav som i større grad gjenspeiler virkelig trafikk, forventes å bli tatt i bruk i løpet av noen år.

I avgasstester som er utført av TØI og vår samarbeidspartner VTT (Finlands Tekniske forskningsinstitutt) er det brukt betingelser og kjøresykluser som langt på vei er typiske for bruksområdene til ulike typer tunge kjøretøy. Avgasstestene gir realistiske verdier for helseskadelig avgassutslipp og utslipp av klimagasser. VTT bruker ved testing av busser tradisjonelt Braunschweig bykjøresyklus og en ny internasjonal kjøresyklus (WHVC, World Harmonised Vehicle Cycle). Det vil si at testene av busser er utført under betingelser som fanger opp kjøremønstrene i store norske byer, med kø- og bykjøring. I forbindelse med utslippsmålingene fra busser med Euro VI-motorer har vi fokus på bykjøring og utslipp av NO_x (nitrogenoksider), PM (avgasspartikler) og CO₂.

Det er vist at busser og andre tunge kjøretøy med Euro VI-godkjente dieselmotorer har meget lave utslipp av lokalt helseskadelige avgasser når de testes ved de temperaturene som er i et avgasslaboratorium. En av årsakene til at tunge kjøretøy nå har så lave utslipp er at tunge kjøretøy må kunne vise lave utslipp i virkelig trafikk som følge av RDE-krav, (Real Driving Emission) i tillegg til typegodkjenning av motoren. En forutsetning for lave utslipp er godt fungerende avgassrensingsystemer. De tidligere høye utslippene av NO_x for dieselmotorer blir fra og med Euro VI-motorene (2014) effektivt redusert eller tilnærmet fjernet ved bruk av såkalt SCR-teknologi. SCR-teknologi innebærer forenklet at nitrogenoksidene blir fjernet ved hjelp av reduksjonsmidlet urea (AdBlue er markedsledende produkt navn for urea til Euro VI-motorer).

¹ Det finnes ingen grenseverdier for CO₂ ved typegodkjenningen, men utslippet blir registrert.

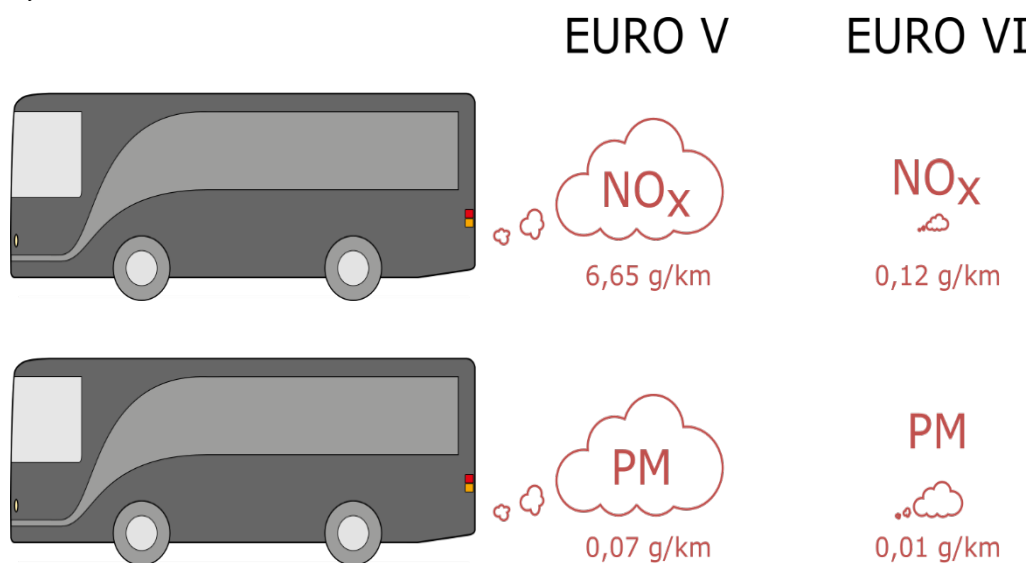
Denne rapporten viser resultatene fra et pilotprosjekt, der formålet er å få innsikt i hvordan SCR-renseteknologien fungerer i nordiske kulde. Pilotprosjektet er utført av VTT. Tre busser (fra 3 forskjellige leverandører) tilhørende Helsingfors stadstrafikk har inngått i pilotprosjektet. Prosjektet er finansiert av Helsingfors stadstrafikk, det finske Trafiksikkerhetsverket, Helsingfors stads miljøcentral, med bidrag fra blant annet Statens vegvesens treårige EMIROAD prosjekt (via TØI).

Rapporteringen om NO_x-avgassutslipp bygger på VTTs rapport om kuldeforsøk med 3 busser Euro VI på äästäön kaupunkibussien käyttönaikaiset päästöt (Karvonen et al, 2016). VTT har i tillegg til rapporten på finsk bidratt med kvalitetssikring av den norske TØI-rapporten. TØI-rapporten inneholder egne analyser og tolkninger av den finske rapporten.

Dieselmotorer er den helt dominerende typen av motorer for busser. Utvikling og godkjenning av Euro VI-dieselmotorer har derfor vært en prioritert oppgave for alle leverandører av busser og for fremdriftssystemer til tunge kjøretøy. Euro VI-gassmotorer for naturgass, CNG og biometan har først blitt tilgjengelige noen år etter bussprodusentene kom med Euro VI-godkjente dieselmotorer. Vår samarbeidspartner VTT har i desember 2016 fått mulighet til å avgassteste to busser med nye Euro VI-gassmotorer i sitt avgasslaboratorium. Resultatene fra testene med Euro VI-gassbusser er inkludert i et eget kapittel i denne rapporten.

1.2 Utslipp ved normal temperatur

TØI-rapporten *Utslipp fra Nye Kjøretøy – Holder de Hva de Lover?* (Hagman, Amundsen, Weber, 2015) viser at nye busser med Euro VI-godkjente dieselmotorer har mye lavere utslipp enn tilsvarende busser med Euro V-godkjente motorer. Figur 1 viser gjennomsnittlige NO_x- og PM-utslipp for seks bybusser med Euro VI-dieselmotorer ved kjøring i Braunschweig kjøresyklus. De lokalt helseskadelige utslippene fra busser med Euro VI-motorer er i figur 1 sammenlignet med tilsvarende utslipp fra typiske bybusser med Euro V-motor.



Figur 1. Gjennomsnittlig NO_x-utslipp og utslipp av avgasspartikler PM i (målt i g/km) med varm motor ved ca. +20 °C for seks busser med Euro VI dieselmotorer ved kjøring i Braunschweig bykjøringsyklus sammenlignet med en typisk buss med Euro V-dieselmotor.

Ved VTTs avgasslaboratorium har busser med Euro VI-motorer fra alle de store leverandørene i Europa blitt testet. Alle de testede nye bussene med Euro VI-motorer har meget lave utslipp av NO_x, NO₂ og PM. Avgasslaboratoriet for tunge kjøretøy har ikke mulighet for nedkjøling og tester i kulde og avgasstestene er utført med varm motor ved normal temperatur. Normalt er temperaturen i avgasslaboratoriet rundt 20 °C ved start av testprosedyren og noe høyere etterhvert som varmen fra motoren varmer opp testlokalet.

Frem til og med Euro V ble alle avgasstester gjennomført med fullt oppvarmede motorer. Fra og med Euro VI er måleresultatene basert på en kombinasjon av tester ved kaldstart (ca. 20 °C) og tester med fullt oppvarmet motor (vekting 14 %/86 %). VTT rapporterer nå både resultater fra start med oppvarmet motor (varmstart) og kombinasjonen av resultatene fra kjøring i kjøresyklusen med kaldstart og kjøring med helt varm motor.

Tidligere testing har vist at avgassrensing med SCR og AdBlue fungerer på en effektiv måte ved kaldstart og ca. 20 °C utetemperatur, i virkelig trafikk og med ved varm motor. Vi vet dog lite om egenskapene i nordisk kulde. Hvordan SCR-avgassrensesystemene i kjøretøy fra forskjellige leverandører fungerer ved kaldstart og i nordisk kulde er av stor interesse. Det er i kulde og ved klimafenomenet inversjon at problemene med dårlig luftkvalitet er størst i nordiske byer.

1.3 Avgassrensing i Euro VI-motorer

1.3.1 Avgassrensing i Euro VI-dieselmotorer

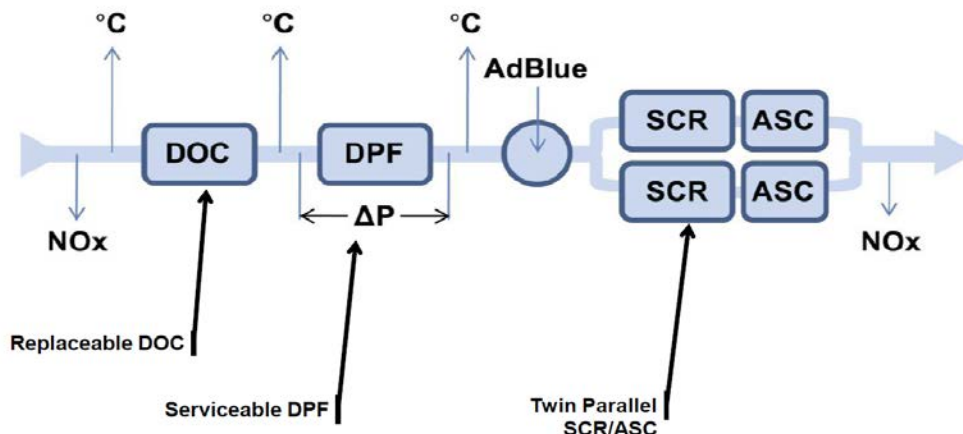
For tunge kjøretøy med Euro VI dieselmotorer er det SCR-teknologien, reduksjonsmidlet urea, samt avanserte styrings- og reguleringsystemer som er grunnen til de lave utslippene av NO_x i virkelig trafikk. SCR-rensingen (med en fjerning av NO_x på over 95 %) overskygger helt effekten av å bruke rapsmetylester RME, HVO eller andre diesel-drivstoffer. Figur 2 viser et typisk SCR rensesystem for rensing av dieselavgasser med oksidasjonskatalysator "DOC", partikkelfilter "DPF", AdBlue-tilsetning, katalysator for kjemisk reduksjon av NO_x "SCR" og katalysator for fjerning av overflødig ammoniakk "ASC".

AdBlue består av 32,5% urea og 67,5% destillert vann. AdBlue fryser ved -11 °C. For at kjemisk reduksjon av NO_x til nitrogen og vann skal være mulig, må AdBlue kunne sprøytes inn i SCR-systemets blandekammer og blandes med avgassene fra dieselmotoren. Videre må avgassene og SCR-katalysatoren være varme nok til at en kjemisk reduksjon av NO_x til ufarlig nitrogengass, ved hjelp av ammoniakk fra urealøsningen, skal være mulig.

For at avgassrensingen skal bli effektiv er det nødvendig med nøyaktig regulering, måling av temperaturer, trykkfall og konsentrasjoner av NO_x i alle ledd. Videre er det nødvendig at de forskjellige katalysatorene har oppnådd sin driftstemperatur. Driftstemperaturen som er nødvendig for å unngå systemfeil i SCR systemene ved innsprøyting av urea (AdBlue), er ca. 200 °C. Før denne driftstemperaturen er oppnådd, vil ikke dieselavgassene bli renses for NO_x.

Vi ser at forskjellige leverandører av tunge kjøretøy har forskjeller i utformingen av sine SCR-systemer. At alle har lave verdier på lokalt helseskadelige avgassutslipp ved normal temperatur betyr ikke nødvendigvis at egenskapene i kulde vil være like gode.

Schematic layout of Euro VI system

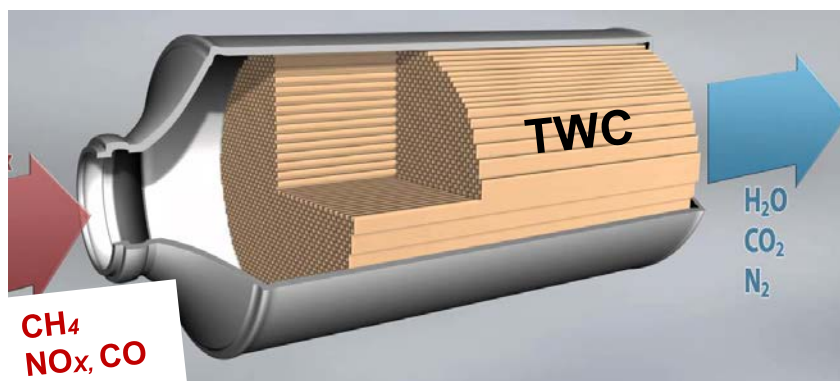


Figur 2. Rensesystem for rensing av dieselavgasser (kilde Scania). Rensesystemet består av oksidasjonskatalysator "DOC", partikkelfilter "DPF", AdBlue-tilsetning, katalysator for kjemisk reduksjon av NO_x "SCR" og katalysator for fjerning av ammoniakk "ASC".

1.3.2 Avgassrensing i Euro VI-gassmotorer

Gassmotorer for bruk av naturgass eller biometan (biogass) som drivstoff i busser bruker treveiskatalysatorer for å tilfredstille de strenge Euro VI kravene. For å fungere effektivt er treveiskatalysatorer avhengig av støkiometrisk forbrenning (passe mye luft og oksygen inn til motoren slik at drivstoffblandingen hverken er fet eller mager).

Treveiskatalysatorer har en enklere oppbygning enn SCR-rensesystemer. For bruk av treveiskatalysatorer sammen med gassmotorer er det nødvendig at de katalytiske stoffene er i stand til å oksidere de relativt stabile metan-molekylene samtidig som NO_x blir kjemisk redusert til nitrogengass. Avgassrensing med treveiskatalysator er moden teknologi og etter hvert har det blitt mulig å få treveiskatalysatorer til å rens avgassene (tenne) med kort oppvarmingstid. Gassbusser med motorer eldre enn Euro VI utslippsklasse, har i bykjøring hatt høye utslipp av CH₄ (metan) og NO_x (se vedlegg). Utslippene har vært betydelig høyere enn hva typegodkjenningen av motorene indikerte. Figur 3 viser en treveiskatalysator hvor avgassene CH₄ (metan), CO og NO_x oksideres/redueres til H₂O, CO₂ og N₂.



Figur 3. Treveiskatalysator (TWC) for rensing av avgasser fra en gassmotor.

2 Metoder

2.1 Måling - NO_x-rensing av dieselavgasser

I denne rapporten presenterer vi resultater fra forsøk med målinger av NO_x-utslipp fra busser med dieselmotorer i kulde. Dette må betraktes som et pilotprosjekt som har som formål å få kunnskap om hvordan og hvor godt rensingen av NO_x fungerer i bybusser året rundt, i vanlig trafikk og i kaldt vær. Tre ordinære dieselbusser A, B og C fra tre forskjellige bussprodusenter ble stilt til disposisjon av Helsingfors stads trafikksekselskap.

Bussene ble i februar 2015 utstyrt med dataregistreringsutstyr og NO_x-målere som målte nivåer før (NO_x In) og etter (NO_x Out) avgassrensesystemet. Måleutstyret var levert av Proventia Emission Control Ltd. Instrumenteringen for måling av nitrogenoksider (NO_x) ble kalibrert i VTT's avgasslaboratorium ved kjøring av Braunschweig kjøresyklus i normal temperatur. Bussene hadde under testene en vekt som tilsvarer en halvfull buss (halv maksimal last).



Figur 4. Tre bybusser fra tre forskjellige produsenter ble stilt til disposisjon fra Helsingfors bys trafikksekselskap for tester i kulde og registrering av NO_x-utslipp.

De respektive bussprodusentene var ikke involvert i prosjektet. For ikke å risikere at det blir trukket feilaktige og for store konklusjoner fra et pilotprosjekt med kun tre busser oppgir vi ikke bussprodusentenes merkenavn. Tabell 1 viser de tre bussenes konfigurasjon og hvilke avgassrensesystemer de er utstyrt med.

Tabell 1: Type busser med Euro VI motorer og tilhørende avgassrensesystemer

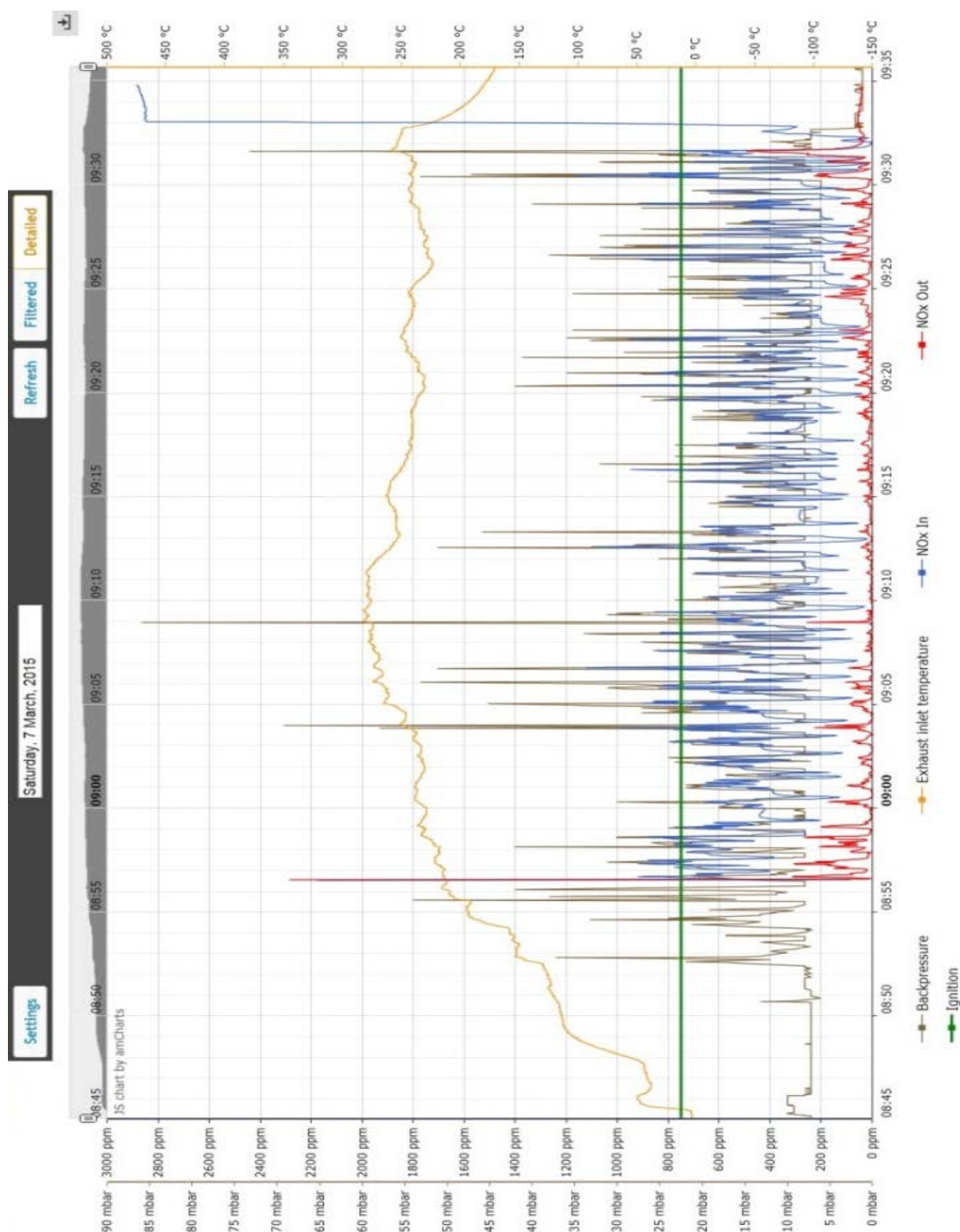
| Buss | Busstype | Avgassrensesystem |
|--------|----------------------|-------------------|
| Buss A | 2-akslet 12 m bybuss | SCR+DPF+EGR |
| Buss B | 2-akslet 12 m bybuss | SCR+DPF |
| Buss C | 3-akslet 15 m bybuss | SCR+DPF+EGR |

I tillegg til selektiv katalytisk rensing av NO_x ”SCR” og partikkelfilter ”DPF” hadde buss A og C systemer for resirkulering av avgasser ”EGR”. EGR har til hensikt å gi mindre dannelse av NO_x i motoren ved at en del av avgassene føres tilbake og erstatter frisk luft (oxygen). Da senkes temperaturen og derved reduseres dannelsen av NO_x.

Tre typer målinger gir et bilde av hvor gode NO_x-rensesystemer i virkeligheten er. Test i VTTs avgasslaboratorium med kjøresykluser som etterligner bykjøring ved normal temperatur (ca. 20°C) er den første målingen og utgjør referansetesten for andre tester ved lavere temperaturer. Resultatene fra avgasslaboratoriet kompletteres med målinger på lukket bane hvor bussene får kjøre de samme bykjøresykluserne som i avgasslaboratoriet. Den tredje formen for informasjon om NO_x-rensesystemene kommer fra overvåkning og registrering av graden av NO_x-reduksjon i de tre bussene gjennom et helt år.

2.2 NO_x før og etter SCR avgassrensing

Ved testene i Finland og ved kjøring av bussene på bane og i virkelig trafikk, blir konsentrasjonene av NO_x i avgassene målt (ppm-nivået) før og etter avgassrensesystemet. Figur 5 viser et eksempel på den registrerte NO_x-konsentrasjonen ut fra selve motoren og inn til avgassrensesystemet (blå graf) og NO_x-konsentrasjonen etter at avgassene har blitt renset for NO_x (rød graf).



Figur 5. Eksempel på NO_x-rensing med NO_x-konsentrasjonen ut fra selve motoren og inn til SCR-avgassrensesystemet (blå graf) og konsentrasjonen etter at avgassene har blitt renses for NO_x (rød graf).

2.3 Tester i avgasslaboratorium

I avgasslaboratoriet blir avgassutslippene målt under strengt kontrollerte betingelser.

Diesellusser

De tre bussene med Euro VI-dieselmotorer (eller identiske like busser) ble testet i VTI's avgasslaboratorium med kjøring av Braunschweig kjøresyklus ved normaltemperatur (ca. 20 °C). Figur 6 viser hastighetsprofilen for Braunschweig

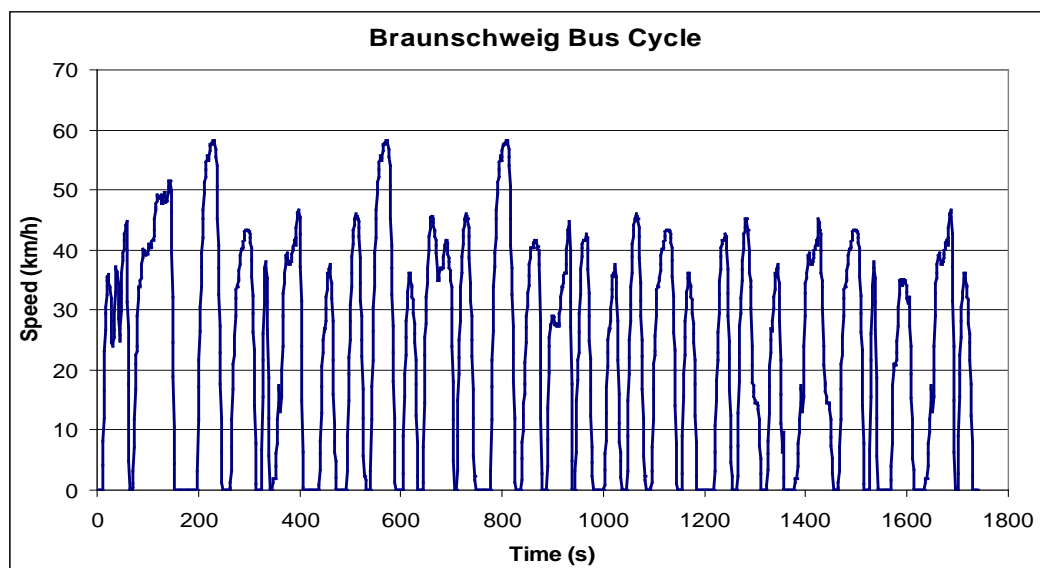
kjøresyklus, med hyppige stopp, kraftige akselerasjoner og innbremsinger mellom holdeplassene.

Gassbusser

To busser med nyutviklede Euro VI-godkjente gassmotorer ble på slutten av 2016 tilgjengelige for avgasstesting. De ble i avgasslaboratoriet testet med Braunschweig testsyklus (fig 6). Testsyklusen ble kjørt både med kaldstart ved normaltemperatur (ca. 20 °C) og med varmstart (fullt oppvarmet motor) ved normaltemperatur (ca. 20 °C). De to gassbussene med Euro VI-motorer har egenskaper som fremgår av tabell 2.

Tabell 2: Type gassbusser med Euro VI-gassmotorer og tilhørende avgassrensesystemer

| Buss | Busstype | Avgassrensesystem |
|------------|----------------------|---------------------|
| Gassbuss A | 2-akslet 12 m bybuss | Treveis-katalysator |
| Gassbuss B | 2-akslet 12 m bybuss | Treveis-katalysator |



Figur 6. Hastighetsprofil for Braunschweig bykjøresyklus.

2.4 Tester på lukket bane

For å oppnå kontrollerte tester med de tre dieselbussene og NO_x-rensesystemet i kulde, ble bussen startet i kulde og kjørt på en lukket motorbane (Botnia ring) samtidig som renseseffekten ble målt og registrert. Figur 7 viser kjøring av en buss på lukket bane. For å kunne kjøre i henhold til de aktuelle kjøresyklusene fikk bussføreren hjelp til å følge kjøremønstret og informasjon om aktuell hastighet via en PC foran på førerplassen.

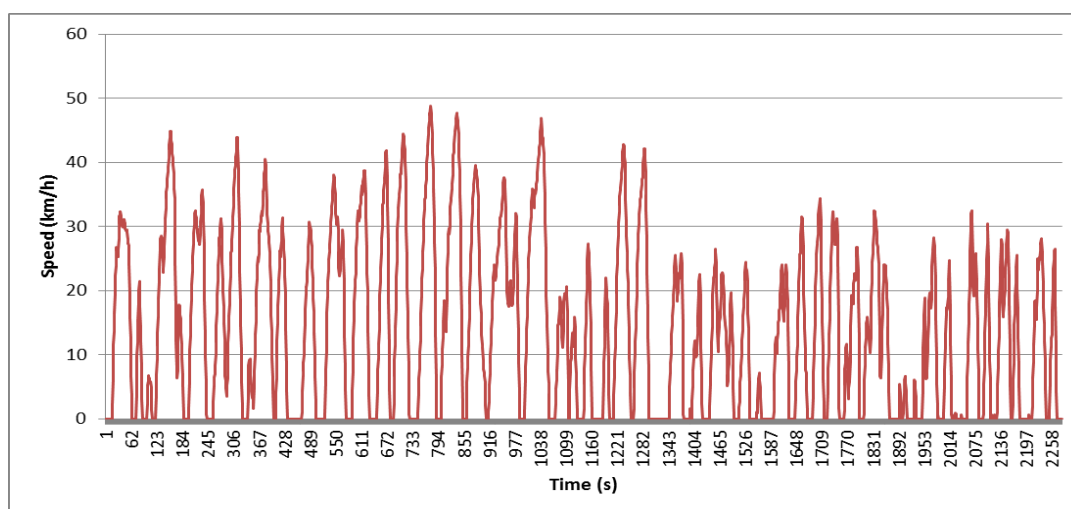


Figur 7. Illustrasjon av kjøring av dieselbuss på lukket bane der fører får informasjon om valg av kjøremønster og hastighet via PC.

Etter start ble bussene først kjørt med et kjøremønster som tilsvarer Millbrook kjøresyklus (figur 8) og deretter med et kjøremønster som tilsvarer Braunschweig kjøresyklus (figur 6). Tabell 3 viser gjennomsnittlig hastighet, kjørelengde og kjøretid for de to kjøresyklusene. Figur 8 viser hastighetsprofilen for Millbrook kjøresyklus. Braunschweig kjøresyklus er en krevende bykjøresyklus med lav gjennomsnittshastighet (22,5 km/t). Millbrook er en enda mer ekstrem bykjøresyklus og har en gjennomsnittshastighet på kun 14,2 km/t.

Tabell 3: Kjøresykluser på lukket bane med gjennomsnittlig hastighet, lengde og tidsbruk.

| Kjøresykluser | Hastighet (km/t) | Lengde(km) | Tid (min) |
|---------------|------------------|------------|-----------|
| Braunschweig | 22.5 | 10.873 | 29 |
| Millbrook | 14.2 | 8.968 | 38 |



Figur 8. Hastighetsprofil for Millbrook bykjøresyklus.

2.5 NO_x-reduksjoner registrering gjennom et år

Måleutstyret for registrering av NO_x-reduksjoner var montert i et helt år i de tre bussene. Det var under testperioden betydelige tekniske problemer både med måleutstyret og med selve bussene. I tillegg var det forskjeller i bruksmønstret for de tre dieslbussene. Færrest data ble registrert fra buss "B" og flest data fra buss "C":

- Dieslbuss A - data for 236 dager
- Dieslbuss B - data for 18 dager
- Dieslbuss C - data for 377 dager

Tidsforsinkelse for start av NO_x-fjerning

I tillegg til å registrere gjennomsnittlig NO_x-reduksjon ble det også målt hvor lang tidsforsinkelsen var fra oppstart av SCR-rensesystemet til systemet begynte å virke (faktisk reduksjon av NO_x-verdier).

For disse analysene ble 4 dager med middeltemperaturer fra -16 °C til +15 °C valgt. Tabell 4 viser de valgte dagene med tilhørende temperaturinformasjon innhentet fra Finlands meteorologiske institutt.

Tabell 4: Oversikt over dager og temperatur i Helsingforsområdet som ble brukt for innbenting av informasjon om tidsforsinkelser for start av SCR-systemene og NO_x-reduksjon.

| Dato | Min temperatur (°C) | Middeltemperatur (°C) | Maks temperatur (°C) |
|------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
| 04.03.2015 | 0.8 | 1.6 | 2.6 |
| 30.07.2015 | 13.9 | 15.3 | 18.1 |
| 21.01.2016 | -20.1 | -16.0 | -12.0 |
| 02.02.2016 | 0.0 | 1.4 | 2.8 |

De tre dieslbussene A, B, C hadde hadde i løpet av et år (2015-2016) diverse problemer med dataregistrering, hvor godt rensutstyrer fungerte samt oppnåelse av høy og god katalysatortemperatur under ekstremt kalde dager. Likevel ble en rekke data registrert og analysert og resultatene er av stor verdi for å forstå muligheter og status for SCR avgassrensing i nordisk kulde.

3 Resultater dieselbusser – Euro VI

3.1 Test i avgasslaboratorium – varm motor

Utslippene angitt i tabell 5 viser de gjennomsnittlige avgassutslippene ved varmstart og kjøring av en hel Braunschweig bykjøresyklus.

Tabell 5. Avgassutslipp ved kjøring av Braunschweig kjøresyklus (med varmstart) i VTTs avgasslaboratorium fra tre busser med Euro VI-motor samt som referanse utslippene fra EEV busser med Euro V-motor (fra VTTs utslippsdatabase, jf. vedlegg).

| | CO (g/km) | HC (g/km) | NO _x (g/km) | PM (g/km) | CO ₂ (g/km) |
|---------------------------------|--------------|--------------|---------------------------|-----------|------------------------|
| Buss A Euro VI | 0.27 | 0.00 | 0.02 | 0.002 | 1093 |
| Buss B Euro VI | 0.08 | 0.00 | 0.02 | 0.004 | 1119 |
| Buss C Euro VI | 0.10 | 0.00 | 0.22 | 0.009 | 1428 |
| EEV (Busser med Euro V-motorer) | 1.08 | 0.03 | 6.49 | 0.068 | 1166 |

Tabell 5 viser at de tre bussene med Euro VI-motor har betydelig lavere utslipp av alle typer helseskadelige avgasser enn de beste bussene med Euro V-motor og ekstra avgassrensing (EEV). I dette forprosjektet har vi fokusert på rensing av NO_x og vi ser at disse utslippet er minst 96 % lavere enn gjennomsnittet for EEV-busser. Buss A og B har tilnærmet null utslipp av NO_x (ved varmstart, i et romtemperert avgasslaboratorium).

Drivstofforbruket er direkte proporsjonalt med utslippet av klimagassen CO₂. Tabell 5 viser også at utslippene av CO₂ er lavere for de sammenlignbare bussene A og B (buss C var en 3-akslet buss på 15 meter) enn for EEV-bussen. De forventede effektene når det gjelder CO₂, drivstofforbruk og SCR-rensing er at rensingen i seg selv skal gi noe høyere drivstofforbruk. Selve motoren kan dog takket være mulighetene for høyere temperaturer og mer effektiv forbrenning bli mer energieffektiv.

3.2 Resultat av testkjøring på lukket bane

For å teste hvordan avgassrensesystemene i de tre bussene fungerte ved lave utetemperaturer ble bussene kjørt med kjøremønster som tilsvarer Milbrook (først) og siden med Braunschweig bykjøresykler på lukket bane. Testene ble utført på racingbanen Botnia ring 7. mars 2015. Temperaturen på testdagen varierte fra 0 °C til -2 °C.

Tiden fra start av bussmotoren til SCR-rensesystemet begynte å virke (tente) var en av de interessante parameterene som ble registrert. Den andre var rensingen av NO_x

målt i prosent. Rensing er her definert som konsentrasjonene av NO_x ut fra SCR-systemet i forhold til konsentrasjonene av NO_x ut fra selve motoren og inn til rensesystemet.

Ved testene på Botnia ring hadde VTT kun en dag til rådighet, og det var kun mulig å gjøre én kaldstart med en motortemperatur som tilsvarer utetemperaturen per buss.

Ved kjøring av Millbrook kjøresyklus var hele bussen ved første kjøring helt nedkjølt til omgivelsestemperaturen (kaldstart i kulde). Ved den andre kjøringen av denne kjøresyklusen ble testsyklusen registrert som en varmstart i kulde.

Ved kjøring av Braunschweig kjøresyklus var motoren ved første kjøring kun til en viss grad nedkjølt til omgivelsestemperaturen. Den andre kjøringen av denne kjøresyklusen var en varmstart.

I løpet av testene på Baltic ring oppsto måletekniske problemer med datainnsamling og interferens mellom bussene (ingen data ble innsamlet fra buss "C"; ingen data for varmstart med Braunschweig kjøresyklus fra buss "A"). De resultatene vi har fått her trenger derfor å kompletteres med nye og flere målinger på lukket bane i nordisk kulde. Målingene gir allikevel en antydning om hvilke oppvarmingstider og hvilken grad av rensing vi kan ha med med Euro VI-renseteknologi i kulde.

Dieselbuss A

Buss A, med både EGR- og SCR-rensing hadde ved kaldstart og 0 °C til -2 °C omgivelsestemperatur en forholdvids lang oppvarmingstid på 11 min før rensesystemet begynte å virke. Med varm motor var reduksjonen av NO_x så effektiv som 94 %.

Dieselbuss B

Buss B, med kun SCR-rensing, hadde ved kaldstart og 0 °C til -2 °C omgivelsestemperatur en oppvarmingstid på kun 5 min før rensesystemet begynte å virke. Reduksjonen av NO_x så for denne bussen ut til å bli mer effektiv jo varmere motoren er. Den økte fra 82 % ved kaldstart med Millbrook kjøresyklus til 97 % ved varmstart med Braunschweig sykklus.

Dieselbuss C

Buss C, med både EGR- og SCR-rensing samt høy vekt (15 m) hadde måletekniske problemer under testene på lukket bane og for denne bussen er alle måledata tapt.

Resultatene for buss A og B er oppsummert i tabell 6.

Tabell 6: Resultater fra kjøring av bysykluser på lukket bane ved temperatur fra 0 °C til -2 °C. Asterix * betyr at motorerne har vært avkjølt men ikke helt kalde.

| | | Buss A | | Buss B | |
|--------------|-----------|----------------------------------|-------------|----------------------------------|-------------|
| | | Oppvarmingstid til rensing (min) | Rensing (%) | Oppvarmingstid til rensing (min) | Rensing (%) |
| Millbrook | Kaldstart | 11 | 94 | 5 | 82 |
| | Varmstart | 0 | 94 | 2 | 92 |
| Braunschweig | Kaldstart | 4* | 85* | 2* | 90* |
| | Varmstart | - | - | 1 | 97 |

3.3 Tidsforsinkelser for SCR-systemene ved start

Testkjøringen på lukket bane ga noen indikasjoner (med begrensede måleresultater) på hvor lang tid det tar før SCR rensingen av NO_x begynner å fungere (forsinkelse) ved en omgivelsestemperatur på ca. 0 °C.

Relevante måledata for forsinkelsen var også mulig å registrere for noen av bussene på enkelte dager med andre omgivelsestemperaturer under kjøringen i ordinær rutetrafikk. Tabell 7 viser registrerte data om forsinkelsene for de tre bussene med Euro VI-motorer for 4 dager med omgivelsestemperaturer fra -16,0 °C til +15,3 °C. Mangel på data i tabellen beror på diverse tekniske problemer med bussene og med registreringsutstyret.

Tabell 7: Registrerte forsinkelsene for hvor lang tid det tar før SCR rensingen av NO_x begynner å fungere.

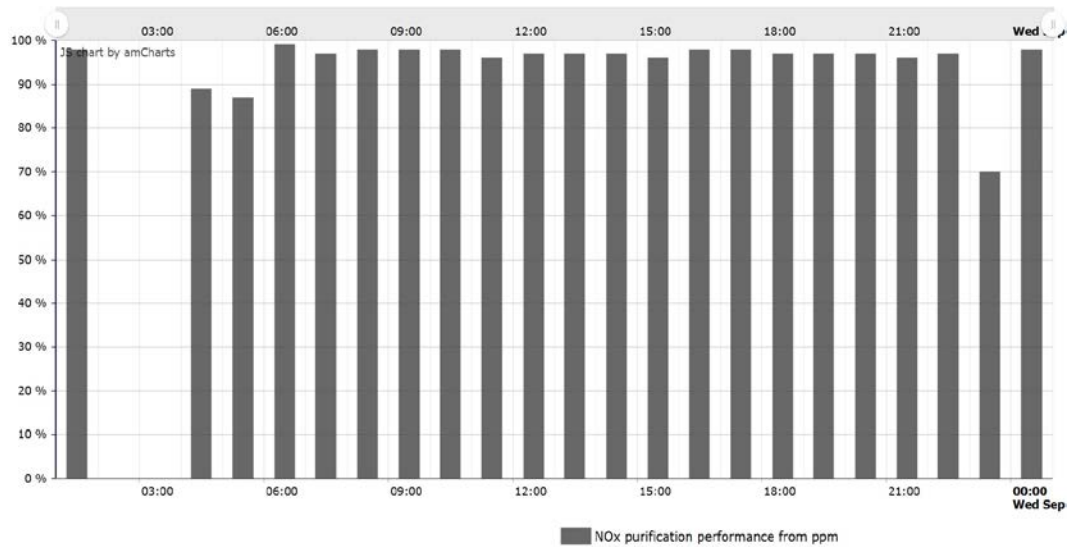
| Dato og middeltemperatur | Middeltemp | Betingelser | Buss A (min) | Buss B (min) | Buss C (min) |
|--------------------------|------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|
| 04.03.2015 | 1.6 °C | Forsinkelse kaldstart | 12.2 | 10.9 | 5.2 |
| | | Forsinkelse varmstart | 1.0 | 3.4 | 1.8 |
| 30.07.2015 | 15.3 °C | Forsinkelse kaldstart | 7.3 | - | 7.7 |
| | | Forsinkelse varmstart | 3.2 | - | 2.0 |
| 21.01.2016 | -16.0 °C | Forsinkelse kaldstart | ~23 | - | - |
| | | Forsinkelse varmstart | 14 | - | - |
| 02.02.2016 | -16.0 °C | Forsinkelse kaldstart | 23 | - | - |
| | | Forsinkelse varmstart | - | - | - |

Det er tydelig at forsinkelsene er større ved kaldstart enn ved varmstart, uansett hvilken buss som er undersøkt. Det er også nokså klart at forsinkelsen er større når utetemperaturene er lave, men her har vi kun data fra buss A.

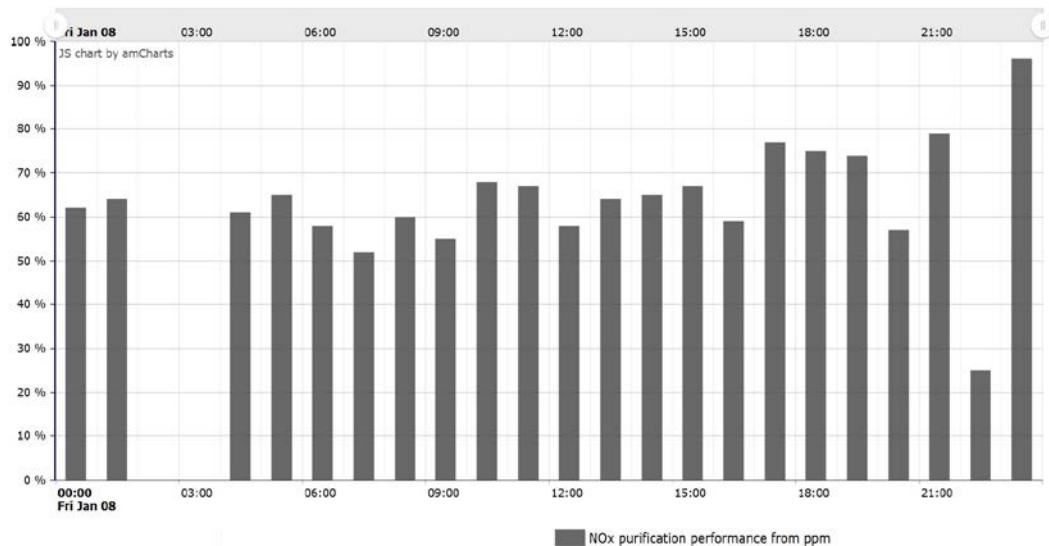
3.4 Gjennomsnitt NO_x-reduksjoner 2015 og 2016

3.4.1 Typisk NO_x-renseeffekt for buss ±16 °C

For den 15 meter lange buss C var det mulig å registrere hvor effektivt SCR-systemet fungerte i løpet av to hele driftsdøgn med middeltemperatur på henholdsvis +16 °C og -16 °C. Vi ser av figurene 9 og 10 at renseeffekten ved en omgivelsestemperatur på +16 °C er mellom 90 % og 98 %. Ved -16 °C var renseeffekten ca. 60 %.



Figur 9. Buss C og NO_x-renseeffekt under et driftsdøgn med middeltemperaturen +16 °C.



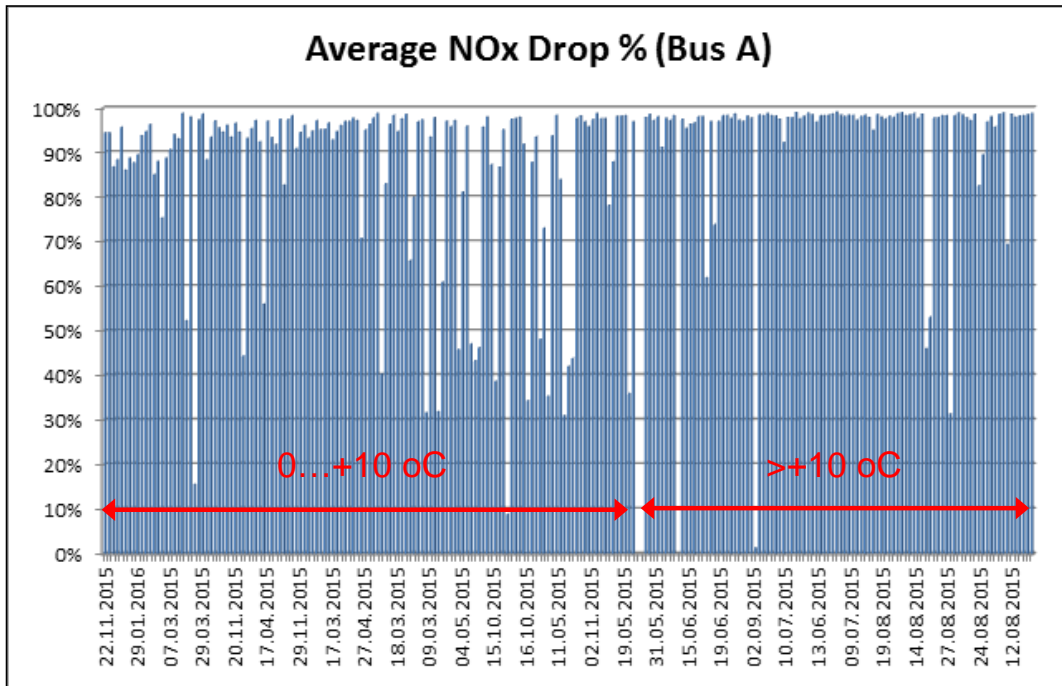
Figur 10. Buss C og NO_x-renseeffekt under et driftsdøgn med middeltemperaturen -16 °C.

3.4.2 NO_x-reduksjon for de tre bussene i ulike temperatur

Testdagene er sortert i tre grupper etter temperatur med følgende temperaturintervaller:

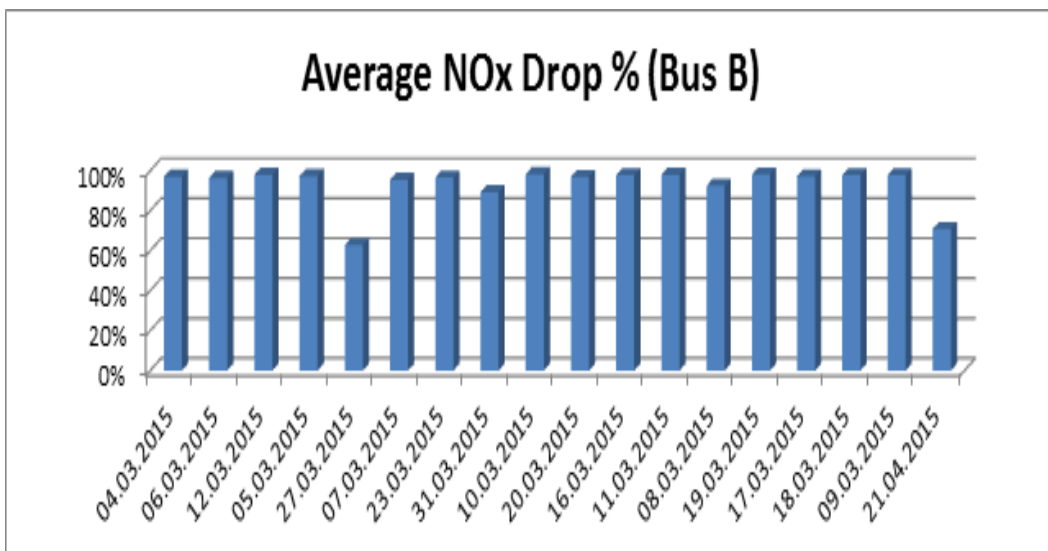
- Under 0 °C
- Mellom 0 °C og +10 °C
- Over +10 °C

Figurene 11 og 13 viser de registrerte renseeffektene for buss A og buss C som funksjon av temperatur (resultatene er sortert i forhold til dagenes middeltemperatur).



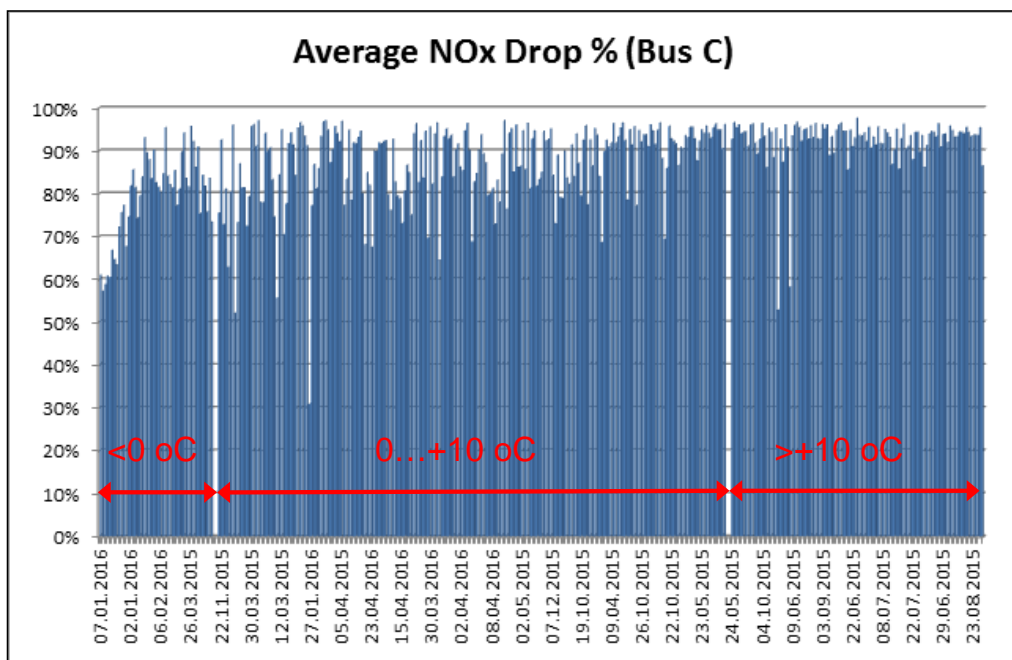
Figur 11. Den registrerte NO_x-renseeffekten for buss A, som funksjon av temperaturer i løpet av ordinær drift i 2015 og 2016

For buss B finnes kun registrerte måledata for renseseffekt i ordinær drift fra mars 2015. Resultatene er vist i figur 12.



Figur 12. Den registrerte NO_x-renseeffekten for buss B, i løpet av den periode hvor SCR-systemet fungerte

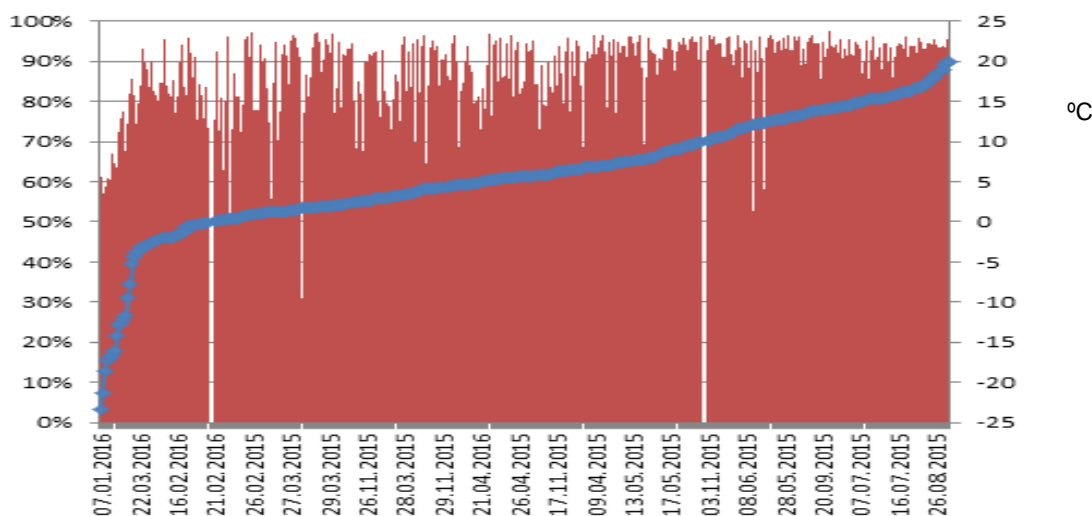
Figur 12 viser at renseseffekten av SCR-systemet i buss B er god i perioden som er registrert. Fra april 2015 var SCR rensesystemet ikke lenger i funksjon og den nasjonale representanten for bussprodusenten klarte ikke å få det i drift under testperioden.



Figur 13. Den registrerte NO_x-renseeffekten for buss C, som funksjon av temperaturer ved ordinær drift i 2015 og 2016

Buss C, med både SCR og EGR og høyest vekt (lengde 15 m) var den bussen som bidro med flest måledata ved ordinær drift i 2015 og 2016. Med høyest vekt og tilnærmet samme størrelse på motoren som buss A og B, er buss C den bussen som vil ha høyest belastning av motoren og derved høyest temperatur på avgassene. Høy temperatur på avgassene innebærer rask oppvarming av SCR-systemet.

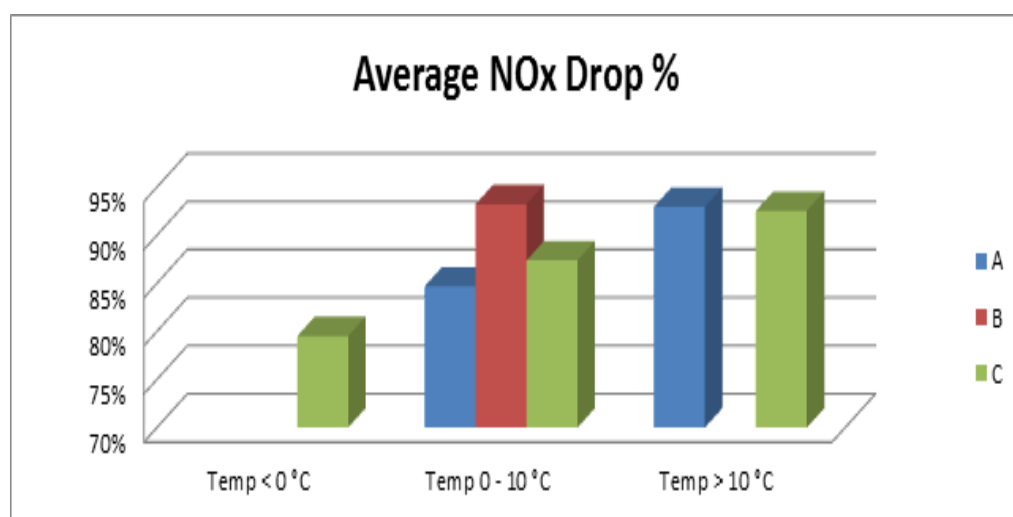
Buss C var også den bussen som ga den mest stabile rensingen av avgassene. Figur 14 viser rensingseffekt for buss C fordelt på døgn, og sett i forhold til temperatur for et stort antall døgn. Andelen NO_x som blir fjernet ligger på ca 90 % ved utetemperaturer på over 0 °C. Ved utetemperaturer lavere enn 0 °C kan andelen NO_x som blir fjernet ligge på ca 80 %. Ved temperaturer lavere enn -5 °C og ned mot -20 °C ser det ut til at andelen NO_x som blir fjernet er usikker og under 60 %.



Figur 14. Andel (%) av NO_x utslippene direkte ut fra en Euro VI-dieselmotor som ble fjernet med SCR-rensingsteknologi (røde søyler). Søylene er sortert etter fallende utetemperatur (°C) (blå kurve) og med angivelse av dato for de registrerte parrene av rensingseffekt og utetemperatur.

Måleresultatene i pilotprosjektet med måling av NO_x-reduksjon for tre busser med Euro VI-motorer er langt fra komplette. Samlet kan dog de registrerte verdiene gi et bilde av hva som er dagens status og mulige reduksjoner med SCR-teknologi og avhengigheten av temperatur.

Figur 15 viser registrerte gjennomsnittlige reduksjoner av NO_x for bussene A, B og C ved kjøring med varm motor i temperaturintervallene lavere enn ±0 °C, mellom ±0 °C og +10 °C og høyere enn +10 °C .



Figur 15. Registrerte reduksjoner av NO_x for bussene A, B og C ved kjøring med varm motor i temperaturintervaller lavere enn 0 °C; mellom 0 °C og +10 °C og høyere enn +10 °C .

3.5 Virkelige utslipp av NO_x med Euro VI-motorer

På grunnlag av resultatene vist i de tidligere avsnittene i kapittel 3, har forskerne ved VTI estimert virkelige NO_x-utslipp for busser med Euro VI-motorer i tre forskjellige temperaturintervaller. De estimerte utslippsfaktorene for busser med Euro VI-motorer og rensesystemer som bruker EGR+SCR baseres på resultater fra testene med bussene A og C. De estimerte utslippsfaktorene for busser med Euro VI-motorer og rensesystemer som kun bruker SCR baseres på testene med buss B.

For busser med EGR+SCR er det forutsatt at utslippene direkte ut fra motoren (det vil si NO_x inn til SCR-rensesystemet) er 8,5 g/km (tilsvarer busser med Euro III-motorer).

For busser med kun SCR er det forutsatt at utslippene direkte ut fra motoren (det vil si NO_x inn til SCR-rensesystemet) er 13 g/km (tilsvarer busser med Euro II-motorer og høyt utslipp av NO_x).

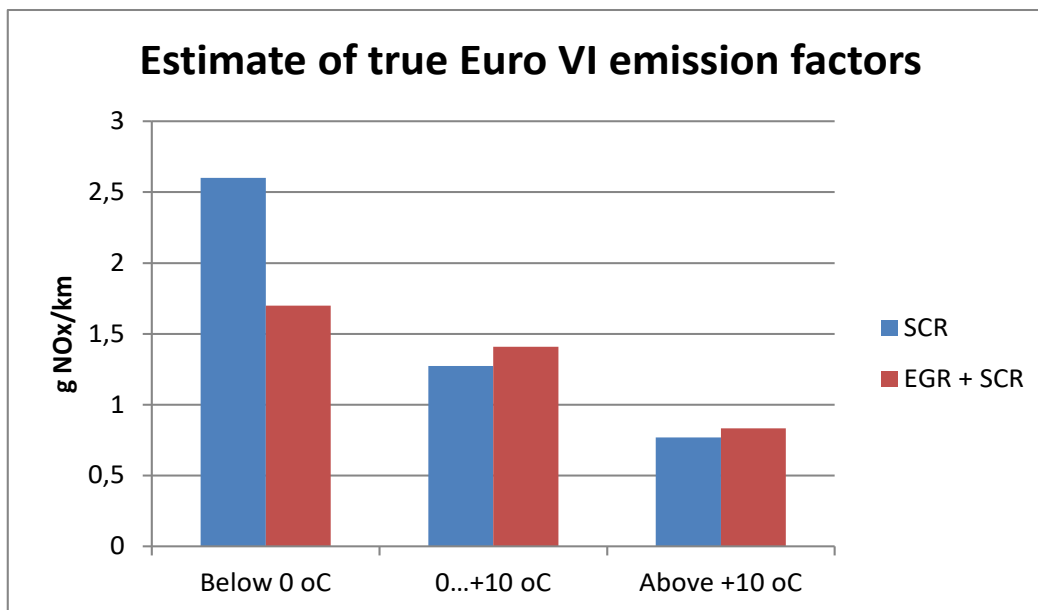
Ved beregning av virkelige utslipp er det antatt at den tiden som SCR-avgassrensingen ikke fungerer er ca. 3 % av den totale driftstiden for bussen. Hvis en buss kjøres 18 timer per døgn, vil 3 % tilsvare ca. 30 minutter per døgn.

Et regneeksempel er presentert under. Resultatene av beregningene er vist i figur 16.

Regneeksempel for en diesalbuss med EGR + SCR som leder frem til en Estimert verdi for gjennomsnitt daglige utslipp ved temperaturer 0-10 °C. (midtre rød søyle i figur 16)

- Motor-ut NO_x: 8,5 g/km
- NO_x-reduksjon: 86 % (temperatur 0...+10 °C)
- Andel av tiden som NO_x rensing ikke er aktiv . 3 %

Estimat virkelige NO_x-utslipp= $0,03 * 8,5 + 0,97 * 8,5 * ((100-86)/100) = 1,4 \text{ g/km}$



Figur 16. Estimerte virkelige NO_x-utslipp for busser med Euro VI-motorer og bykjøring sortert i tre forskjellige temperaturintervaller. Blå søyler for busser med SCR-rensing og røde søyler for busser med en kombinasjon av EGR+SCR-rensing.

Figur 16 viser at NO_x-utslippene varierer med temperatur, og det gjelder særlig for busser med kun SCR-rensing. De høyeste verdiene er i overkant av 2,5 g/km. Til sammenligning har bussene med de reneste Euro V-motorene (EEV busser med fullt oppvarmede motorer) i henhold til VTTs database et gjennomsnittlig NO_x-utslipp på 6,5 g/km. Uansett temperatur er altså utslippene betydelig lavere for busser med Euro VI-motorer og fungerende SCR-rensingsystemer enn for busser med Euro V-motorer.

4 Resultater gassbusser – Euro VI

Avgassutslippene fra to 12 m lange busser med Euro VI godkjente gassmotorer ”Gassbuss A” og ”Gassbuss B” ble målt ved kjøring av Braunschweig bykjøresyklus i VTTs avgasslaboratorium for tunge kjøretøy. Drivstoffet til bussene var CNG (Compressed Natural Gas). CNG består omtrent utelukkende av metangass (CH₄) og avgassutslippene vil være de samme om drivstoffet er biometan (biogass).

Tabell 8 viser avgassutslippene målt i g/km for kjøring av en hel Braunschweig kjøresyklus. Avgassutslippene av CO₂ er de utslipp som måles fra avgassrøret og viser ikke forskjell i klimapåvirkningen (livsløpsperspektiv) mellom biogass og naturgass. Avgassutslippene vises både når kjøresyklusen ble startet med kald motor (ca. 20 °C) og når kjøresyklusen ble startet med driftsvarm motor. Ved kaldstart må motor og rensesystemet for avgasser (treveiskatalysatoren) varmes opp under kjøresyklusen. Som regel er utslippene av de fleste avgasskomponentene større ved kaldstart enn ved varmstart.

For de to gassbussene ble følgende avgasskomponenter målt:

- CO (karbonmonoksid),
- HC (flyktige hydrokarbonforbindelser),
- NMHC (flyktige hydrokarbonforbindelser unntatt metan),
- CH₄ (metan), NO_x (nitrogenoksider),
- PM (avgasspartikler)
- CO₂ (karbondioksid)

Til forskjell fra dieselbusser vil gassbusser ha spesifiserte utslipp av HC, NMHC og CH₄ hver for seg. Med CH₄ som drivstoff vil det spesielt forekomme utslipp av ikke forbrent drivstoff (CH₄). Metan (CH₄) er en gass med meget sterk og negativ klimapåvirkning. Ved varmstart med fullt oppvarmet motor og en godt fungerende treveiskatalysator vil utslippene av denne kraftige klimagassen være betraktelig lavere enn ved kaldstart. Ved kaldstart tar det en viss tid før treveiskatalysatoren oppnår arbeidstemperatur og kan begynne å rense avgassene.

Tabell 8: Registrerte avgassutslipp fra to gassbusser (fra forskjellige produsenter) - begge med Euro VI-godkjente gassmotorer. Braunschweig kjøresyklus med kaldstart respektive varmstart i VTTs avgasslaboratorium ved omgivelsestemperatur på ca. 20 °C.

| Modell | Størrelse 12 m 18 tonn | Euro- klasse | CO [g/km] | HC [g/km] | NMHC [g/km] | CH ₄ [g/km] | NO _x [g/km] | PM PM[g/km] | CO ₂ [g/km] | Forbruk [kg/100km] |
|----------------------|---------------------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|---------------------------|---------------------------|----------------|---------------------------|-----------------------|
| Gassbuss A kaldstart | halv last | Euro VI | 0,398 | 1,224 | 0,187 | 1,037 | 4,086 | 0,017 | 1138,229 | 40,687 |
| Gassbuss A varmstart | halv last | Euro VI | 0,653 | 0,065 | 0,033 | 0,032 | 0,120 | 0,035 | 1069,189 | 37,811 |
| Gassbuss B kaldstart | halv last | Euro VI | 2,441 | 0,639 | 0,117 | 0,522 | 0,838 | 0,027 | 1222,517 | 45,688 |
| Gassbuss B varmstart | halv last | Euro VI | 0,402 | 0,025 | 0,021 | 0,004 | 0,071 | 0,022 | 1132,609 | 40,962 |

En utfordring med treveiskatalysatorer for gassmotorer er at de samtidig skal kjemisk redusere NO_x og kjemisk oksidere de relativt stabile metanmolekylene. Måleverdiene i tabell 8 viser at katalysatorene har klart dette ved testene av Gassbuss A og Gassbuss B.

Fra og med Euro VI skal avgassutslippene ved kjøring av en busskjøresyklus måles både med kaldstart og med varmstart av motoren. Utslippene skal så vurderes kombinert etter en vektning av måleresultatene på 14 % respektive 86 % for de to kjøringene. De kombinerte verdiene fra kaldstart og varmstart for de to gassbussene vises i tabell 9.

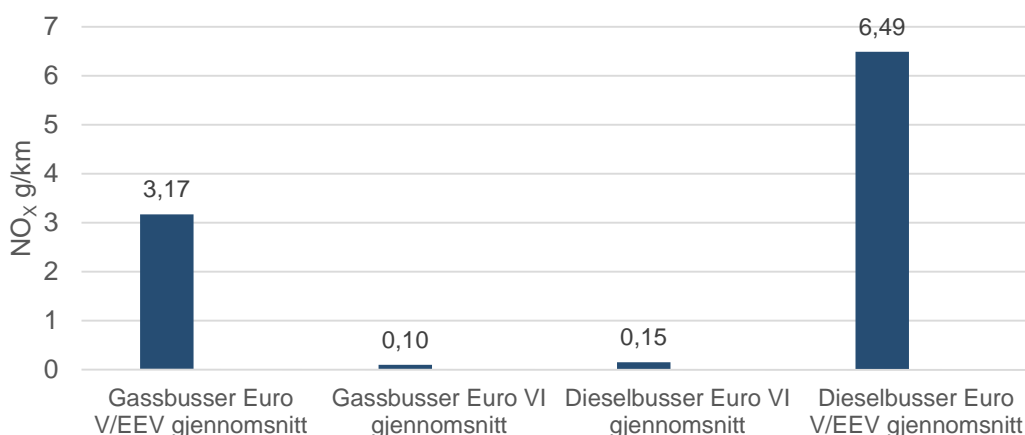
Tabell 9: Kombinerte utslippsverdier ved kjøring av Braunschweig kjøresyklus med to gassbuss og Euro-VI godkjente motorer og (kaldstart- respektive varmstartutslipp vektet 14 % /86 %).

| Modell | Størrelse 12 m 18 tonn | Euro- klasse | CO [g/km] | HC [g/km] | NMHC [g/km] | CH ₄ [g/km] | NO _x [g/km] | PM PM[g/km] | CO ₂ [g/km] | Forbruk [MJ/100km] |
|------------------|---------------------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|---------------------------|---------------------------|----------------|---------------------------|-----------------------|
| Gassbuss A kombi | halv last | Euro VI | 0,617 | 0,227 | 0,055 | 0,172 | 0,675 | 0,032 | 1078,9 | 19,0 |
| Gassbuss B kombi | halv last | Euro VI | 0,688 | 0,111 | 0,034 | 0,077 | 0,178 | 0,022 | 1145,2 | 20,2 |

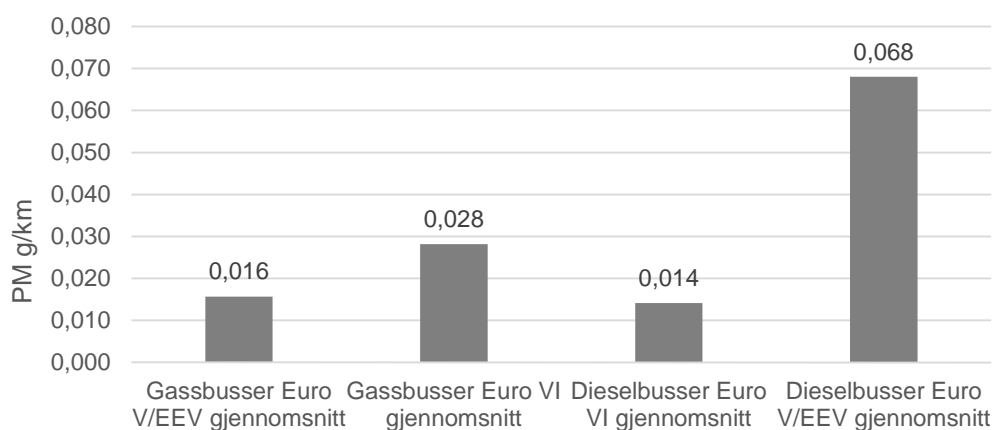
4.1 Gassbusser sammenlignet med dieselbusser

Utslipp av lokalt forurensende avgasser, avgassutslipp av CO₂ og energiforbruk er tre faktorer som har avgjørende betydning for hvor miljøvennlig en buss er i drift. I denne rapporten har vi undersøkt slike egenskaper for busser med diesel- respektive gassmotorer. I tillegg til avgassutslippene fra eksosrøret er klimapåvirkningen fra driften avhengig av i hvilken grad drivstoffet er klimanøytralt eller fornybart i et livsløpsperspektiv. Begge de undersøkte motortypene kan kjøres med fornybare respektive fossile drivstoffer. Avgassutslipp er utslipp fra eksosrøret, klimapåvirkningen må vurderes i en WTW (Well-To-Wheel) og livsløpsperspektiv.

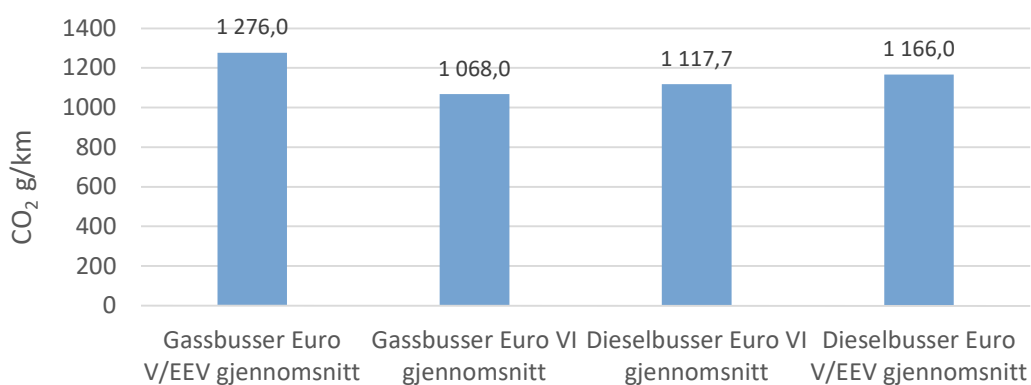
Figurene 17-20 viser sammenligninger av de tre faktorene som har betydning for hvor miljøvennlige nye (Euro VI) respektive eldre busser (Euro V) med diesel- respektive gassmotorer er. NO_x og PM er de to utslippsfaktorene som representerer lokalt forurensende avgasser. Utslippsverdiene og verdiene for energiforbruk i figur 20 er hentet fra VITs oppdaterte utslippsdatabase for busser (se vedlegg).



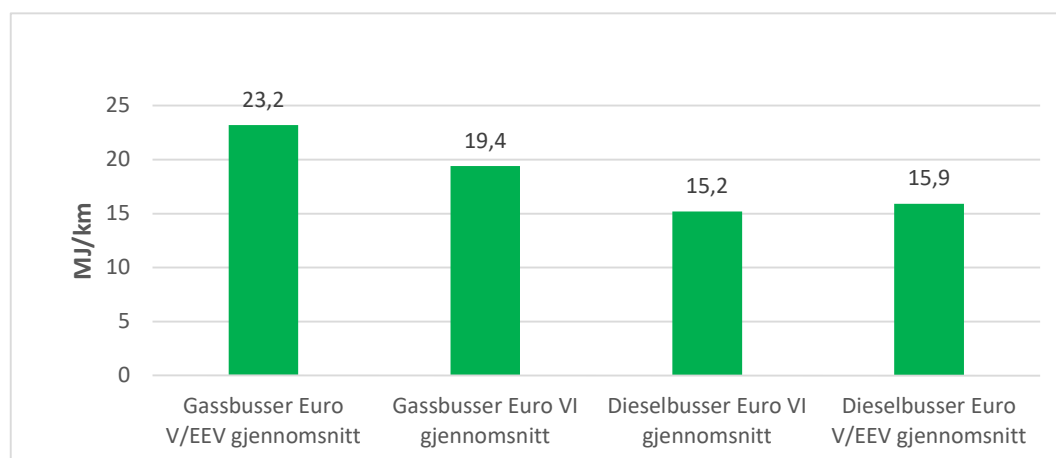
Figur 17. Utslipp av NO_x (g/km) for busser med Euro VI-diesel- og gassmotorer og EEV-busser med Euro V-motorer ved testing i Braunschweig kjøresyklus med varmstart.



Figur 18. Utslipp av avgasspartikler (g/km) for busser med Euro VI-diesel- og gassmotorer og EEV-busser med Euro V-motorer ved testing i Braunschweig kjøresyklus med varmstart.



Figur 19. Utslipp av CO₂ (g/km) for busser med Euro VI-diesel- og gassmotorer og EEV-busser med Euro V-motorer ved testing i Braunschweig kjøresyklus med varmstart.



Figur 20. Energiforbruk (MJ/km) for busser med Euro VI-diesel- og gassmotorer og EEV-busser med Euro V-motorer ved testing i Braunschweig kjøresyklus med varmstart.

Nye busser med moderne Euro VI-diesel- og gassmotorer har takket være effektiv avgassrensing betydelig lavere utslipp av NO_x enn EEV-busser og busser med med Euro V-motorer. Figur 17 viser at de to nye gassbussene har lave utslipp av NO_x.

Figur 18 viser lave nivåer av avgasspartikler for busser med Euro VI-diesel- og gassmotorer og fra EEV-busser med gassmotorer. Bussene med Euro V/EEV-diesel motorer har med 0,068 g/km motorer noe høyere utslipp av avgasspartikler enn de 0,04 g/km som tilsvarer kravet ved typegodkjenning.

Figur 19 viser at avgassutslippene av CO₂ fra gassbusser med Euro VI-motorer nå er på linje med eller marginalt lavere enn fra tilsvarende nye dieselbusser. Nye busser med moderne Euro VI-gassmotorer har lavere avgassutslipp av CO₂ enn tilsvarende busser med Euro V-gassbussmotorer.

Figur 20 viser at busser med dieselmotorer har generelt lavere energiforbruk enn busser med gassmotorer. Energivirkningsgraden har blitt bedre enn hva den tidligere var i gassmotorer. Virkningsgraden er dog ved kjøring i virkelig trafikk fortsatt ca. 20 prosent lavere for de nye gassmotorene sammenlignet med motorene i tilsvarende dieselbusser.

Vedlegget ”database - avgassutslipp” viser en oppdatert oversikt over målte avgassutslipp fra busser som er testet ved VTTs avgasslaboratorium i Finland. Det er også målte avgassutslipp fra avgassrøret til busser som presentert og diskutert i denne rapporten.

Vedlegget ”klimapåvirkning - WTW” diskuterer forskjellen mellom avgassutslipp av CO₂, TTW (Tank To Wheel) og klimapåvirkning av CO₂-ekvivalenter WTW (Well To Wheel). Vedlegget ”klimapåvirkning - WTW” viser også klimapåvirkning og forskjeller i klimapåvirkning fra gass- og dieselbusser.

5 Konklusjon og videre arbeid

NO_x-rensing med SCR-teknologi er vist å kunne fungere meget effektivt og godt for tunge kjøretøy med Euro VI dieselmotorer i VTT's avgasslaboratorium ved normaltemperatur. For enkelte av de testede bussene er NO_x-utslippene tilnærmet helt fjernet ved kjøring med varm motor. SCR renseteknologi for rensing av avgasser trenger stor nøyaktighet, kontroll og styring av alle parametere og komponenter. Forskjellige produsenter av busser løser dette på forskjellige måter.

Å måle avgassene fra dieselbusser i kulde er en utfordring, og denne rapporten viser resultater fra et pilotprosjekt der dette er gjennomført i Finland i samarbeid med VTT. Vi kjenner ikke til at slike utslippsdata fra busser i nordisk kulde er rapportert tidligere. Målingene indikerer at tiden for oppvarming av SCR-systemet og start av NO_x-rensingen kan øke fra noen få minutter ved kaldstart i normal temperatur til i størrelsesorden 20 min ved streng kulde (-20 °C). Ved temperaturer godt under 0 °C ser vi også at renseseffekten av SCR teknologien kan synke fra over 90 % til ned mot 60 %.

Varme og oppvarming av reduksjonsmidlet urea (AdBlue) samt rask oppvarming av de forskjellige katalysatorene i hele SCR-systemet, er avgjørende for å redusere tidsforsinkelser før rensesprosessene starter slik at rensingen blir optimalt effektiv. Målingene angitt i denne rapporten viser at SCR-avgassrensing kan fungere godt i kulde men konklusjonene er beheftet med usikkerhet. Måletekniske problemer, tekniske utfordringer med selve bussene og SCR-systemene, har i dette pilotprosjektet gjort at konklusjonene er basert på et begrenset antall målinger.

Avgassutslipp i virkelig trafikk som er langt høyere enn hva som fremkommer av typegodkjenningstester av lette og tunge kjøretøy, har fremskyndet utvikling av portabelt måleutstyr for avgassmåling. Portabelt avgassmåleutstyr, *PEMS*, er nå tilgjengelig på markedet. Flere målinger av busser med Euro VI-dieselmotorer er nødvendig for en dypere forståelse av de eksisterende SCR-systemenes styrker, potensial og svakheter. Noen produsenter ser ut til å løse utfordringene med driftssikkerhet og funksjon i kulde bedre enn andre.

God varmeisolasjon av rensestyret og intern oppvarming av reduksjonsmidlet urea er mulige tiltak for ytterligere å forbedre effekten av å bruke SCR-rensing av NO_x utslipp under alle kjøreforhold.

Busser med Euro VI-godkjente gassmotorer har først kommet på markedet i 2016. Avgasstester ved VTT's avgasslaboratorium viser at to nye bussmodeller med gassmotor i virkelig trafikk (Braunschweig kjøresyklus) har betydelig lavere utslipp av NO_x i virkelig trafikk enn hva som har vært tilfellet for tidligere generasjoner av busser med gassmotorer.

De testede nye gassbussene har motorer som i virkelig trafikk er ca. 10 prosent mer energieffektive enn tidligere generasjoner av motorer til gassbusser. Gassmotorene er dog i virkelig trafikk (Braunschweig kjøresyklus) ca. 20 prosent mindre energieffektive enn tilsvarende busser med Euro VI dieselmotorer.

De testede bussene med Euro VI gassmotor hadde ca. 5 prosent lavere avgassutslipp av CO₂ enn tilvarende busser med dieselmotorer.

Det er et behov for videre forskning og å få besvart følgende spørsmål:

- Hvor god er driftssikkerheten og forskjellene mellom SCR-systemene i busser fra forskjellige produsenter?
- Hva er sikre verdier på tidsforsinkelsene før rensesystemene begynner å fungere i kulde?
- Hva er de kritiske temperaturene for akseptabel grad av rensing?
- Hvor godt og effektivt fungerer avgassrensesystemene i busser med dieselmotorer og busser med gassmotorer etter noen år i drift?

Oppfølging er viktig for å sikre at den gode starten der produsentene leverer effektiv SCR-rensing av avgasser fra dieselmotorer og nye mer effektive rensesystemer for gassmotorer kan videreføres. Erfaringer viser at uavhengige målinger over tid er viktig for å ivareta samfunnets interesser av god luftkvalitet og oppfølging når det gjelder klimapåvirkning fra veitrafikken.

Nasjonal kompetanse om utslipp er avgjørende for å identifisere gode miljøtiltak for veitrafikken. For at effektive tiltak, inkludert restriksjoner og stimulanstiltak skal bli akseptert, er det viktig at kunnskap formidles av myndighetene og av uavhengige forskningsinstitutter på en troverdig og forståelig måte.

6 Referanser

- Franco, V., Sánchez, F. P., German, J., & Mock, P. 2014. *REAL-WORLD EXHAUST EMISSIONS FROM MODERN DIESEL CARS Part 1*. International Council on Clean Transportation Europe.
- Hagman, Rolf, Christian Weber, and Astrid H. Amundsen. 2015. *Utslipp fra nye kjøretøy – Holder de hva de lover?* TØI rapport 1407/2015, Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Karvonen, Veikko, Nylund Nils-Olof, Kallonen Seppo. 2016. *Euro VI päästötason kaupunkibussien käytönaikaiset päästöt*. VTT Technical Research Centre of Finland
- Nylund, N.-O., & Koponen, K. 2012. *Fuel and Technology Alternatives for Buses; Overall Energy Efficiency and Emission Performance*. VTT Technical Research Centre of Finland.

Vedlegg 1 "Database - avgassutslipp"

VTI's utslippsdatabase for busser oppdatert 21. des 2016

| VTI's bus data base: Updated | | 21.12.2016 | | | | | | | | | | |
|--|----------------------|---------------|---------|---------|---------|----------------------|----------|---------|----------------------|----------------------------|-------------|----------|
| Branschwieg test cycle | Number of vehicles n | Driven km Min | Max | CO g/km | HC g/km | CH ₄ g/km | NOx g/km | PM g/km | CO ₂ g/km | CO ₂ eqv** g/km | FC kg/100km | FC MJ/km |
| 2-axle buses, data for fully warmed-up engines | | | | | | | | | | | | |
| Diesel Euro I | 2 | 555025 | 672700 | 1,39 | 0,32 | | 15,59 | 0,436 | 1220 | 1220 | 38,6 | 16,6 |
| Diesel Euro II | 13 | 160500 | 1125674 | 1,60 | 0,21 | | 12,86 | 0,213 | 1286 | 1286 | 40,7 | 17,5 |
| Diesel Euro III | 14 | 15934 | 786164 | 0,85 | 0,12 | | 8,48 | 0,209 | 1213 | 1213 | 38,4 | 16,6 |
| Diesel Euro IV | 8 | 6105 | 474152 | 2,96 | 0,10 | | 8,36 | 0,112 | 1207 | 1207 | 38,2 | 16,5 |
| Diesel Euro V*** | | | | 2,96 | 0,10 | | 7,51 | 0,089 | 1207 | 1207 | 38,2 | 16,5 |
| Diesel EEV | 21 | 1020 | 696931 | 1,08 | 0,03 | | 6,49 | 0,068 | 1166 | 1166 | 36,9 | 15,9 |
| Diesel Euro VI | 8 | 15371 | 370017 | 0,14 | 0,01 | | 0,15 | 0,014 | 1118 | 1118 | 35,4 | 15,2 |
| Ethanol EEV | 4 | 25249 | 133297 | 4,01 | 0,69 | | 6,25 | 0,022 | 1321 | 1321 | 69,2 | 17,5 |
| Diesel Hyb. EEV | 5 | 2602 | 136255 | 0,89 | 0,02 | | 5,12 | 0,046 | 848 | 848 | 26,9 | 11,6 |
| Diesel Hyb. Euro VI | 1 | 68310 | 68310 | 1,66 | 0,00 | | 0,21 | 0,011 | 943 | 943 | 29,8 | 12,9 |
| CNG Euro II* | 2 | 211000 | 672946 | 4,32 | 7,12 | 6,76 | 16,92 | 0,009 | 1140 | 1295 | 42,1 | 20,7 |
| CNG Euro III | 2 | 37600 | 237189 | 0,05 | 2,64 | 2,38 | 9,44 | 0,019 | 1185 | 1240 | 43,7 | 21,5 |
| CNG EEV | 8 | 1824 | 640252 | 2,78 | 1,28 | 1,08 | 3,17 | 0,008 | 1276 | 1301 | 47,1 | 23,2 |
| CNG Euro VI | 2 | 347 | 36047 | 0,53 | 0,06 | 0,04 | 0,09 | 0,025 | 1068 | 1068 | 39,4 | 19,4 |
| 2-axle buses, combined cold and hot start***** | | | | | | | | | | | | |
| Diesel Euro VI***** | 3 | 26977 | 369960 | 0,24 | 0,02 | | 0,63 | 0,027 | 1128 | 1128 | 35,7 | 15,4 |
| CNG Euro VI***** | 2 | 347 | 35992 | 0,61 | 0,19 | 0,13 | 0,42 | 0,024 | 1078 | 1081 | 39,8 | 19,6 |
| 2-axle buses, light-weight, data for fully warmed-up engines | | | | | | | | | | | | |
| Diesel**** | 4 | 993 | 26436 | 0,88 | 0,03 | | 6,70 | 0,047 | 953 | 953 | 30,17 | 13,0 |
| Diesel Euro VI | 2 | 8977 | 21726 | 0,14 | 0,01 | | 0,37 | 0,006 | 961 | 961 | 30,41 | 13,1 |
| 3-axle buses, data for fully warmed-up engines | | | | | | | | | | | | |
| Diesel Euro V | 4 | 1400 | 232494 | 6,68 | 0,03 | | 3,16 | 0,089 | 1414 | 1414 | 44,8 | 19,3 |
| Diesel EEV | 7 | 5444 | 94910 | 1,24 | 0,04 | | 6,02 | 0,072 | 1462 | 1462 | 46,3 | 19,9 |
| Diesel Euro VI | 6 | 10215 | 198950 | 0,16 | 0,00 | | 0,51 | 0,007 | 1383 | 1383 | 43,8 | 18,9 |
| CNG EEV | 5 | 121773 | 651529 | 10,96 | 1,69 | 1,53 | 6,37 | 0,010 | 1407 | 1442 | 51,9 | 25,5 |
| 3-axle buses, combined cold and hot start***** | | | | | | | | | | | | |
| Diesel Euro VI***** | 2 | 86249 | 198899 | 0,27 | 0,01 | | 2,07 | 0,026 | 1439 | 1439 | 45,6 | 19,6 |

*For Euro II CNG CH₄ estimated at THC * 0,95, for newer CNG vehicles CH₄ measured

**CO_{2eqv} = CO₂ + 23 * CH₄

***Euro V results estimated based on Euro IV data

****Includes result from emission classes Euro III, Euro IV and EEV

*****Weighted average (cold start 14 %, hot start 86 %)

Vedlegg 2 "Klimapåvirkning - WTW"

Klimapåvirkningen av forskjellige drivstoff- og kjøretøykombinasjoner må vurderes i et livsløpsperspektiv. En full "LCA" (Life Cycle Analysis) inkluderer hele livssyklusen for drivstoffene og kjøretøy, inklusive bygg og vraking av kjøretøyet. En WTW-analyse (Well-To-Wheel) er noe mindre omfattende og ser på klimapåvirkningen som summen av drivstoffets klimapåvirkning WTT (Well-To-Tank) og klimapåvirkningen av forbrenningen av drivstoffet TTW (Tank-To-Wheel). Utslippene WTT står for klimapåvirkningen fra kilde og produksjon av drivstoffet til det har nådd drivstofftanken. Utslippene WTT og består av CO₂-avgassutslipp samt andre klimapåvirkende avgassutslipp ut fra avgassrøret ved forbrenningen av drivstoffet.

Tabell V2.1 viser en oversikt over energiforbruk og klimapåvirkning fra kilde til drivstofftank, WTT og bygger på JRCs (Joint Research Centre) rapport "WELL-TO-TANK Report Version 4.a". For avgrensinger, forutsetninger og ytterlig informasjon henvises til denne rapporten (ISSN 1831-9424 (online)).

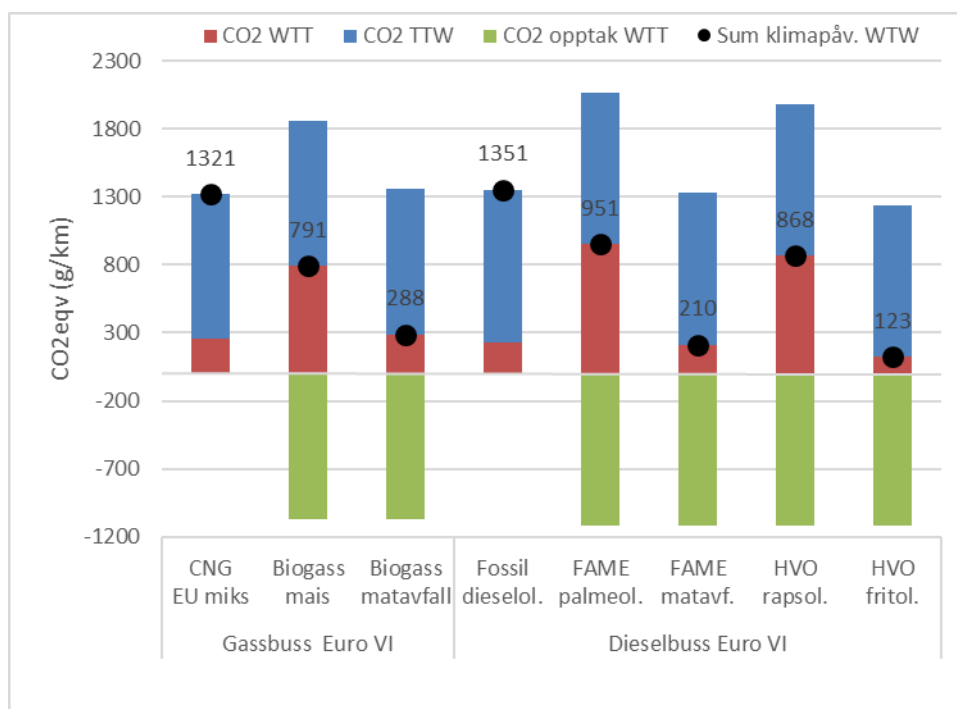
Det er viktig å legge merke til at tallene i tabell 1 skal ses på som eksempel. Klimapåvirkningen av forskjellige drivstoffer WTT kan variere sterk etter lokale forhold, fremstillingsveier og andre faktorer.

Tabell V2.1 viser utvalgte fremstillingsveier for CNG (naturgass), fossil dieselolje og flere fornybare drivstoffer.

Tabell V2.1: Energiforbruk WTT i forhold til brennverdi (MJ) samt klimapåvirkning WTT for noen utvalgte drivstoffer. Kilde JEC WTT Appendix 2 (Version 4.a, March 2014).

| Drivstoff | Brukt energi WTT (MJ) / brennverdi (MJ) | Klimapåvirkning CO ₂ eqv /MJ |
|-----------------------------------|--|--|
| CNG EU miks | 0,17 | 13,03 |
| Biogass fra mais | 1,28 | 40,76 |
| Biogass kommunalt matavfall | 0,99 | 14,83 |
| Dieselolje fra fossil mineralolje | 0,20 | 15,35 |
| FAME fra palmeolje | 1,33 | 62,55 |
| FAME fra brukt frityrolje | 0,28 | 13,79 |
| HVO fra rapsolje | 0,99 | 57,09 |
| HVO fra brukt frityrolje | 0,16 | 8,08 |

Figur V2.1 viser den totale klimapåvirkningen, WTW fra gass- og dieselbusser med Euro VI-motorer ved bykjøring og bruk av utvalgte fossile og fornybare drivstoffer. Avgassutslippene av CO₂ (TTW) er hentet fra vedlegget "database - avgassutslipp" i denne rapporten. Klimapåvirkningen WTT for de utvalgte drivstoffene er hentet fra JRC-rapporten "WELL-TO-TANK Report Version 4.a"



Figur V2.1: Klimapåvirkning i et WTW-perspektiv ved kjøring av gass- og diesalbuss (Euro VI) med forskjellige drivstoffer. Data fra JEC WTT Appendix 2 (Version 4.a, March 2014).

Figuren viser at klimapåvirkningen er i den samme størrelsesorden for gass- og diesalbuss som bruker drivstoffer med fossil opprinnelse (CNG og fossil dieselolje). CO₂-avgassutslippet fra forbrenning av fornybare drivstoffer antas som klimanøytralt, under den her antatte forutsetningen at den samme mengde CO₂ blir tatt opp fra atmosfæren ved dyrking av planter som gir fornybar energi. TTW-utslippet (blå søyler i Figur V2.1) er derfor like stort som opptaket av CO₂ fra atmosfæren (grønne søyler i Figur V2.1). Karbon i fossile drivstoffer antas også å være tatt fra atmosfæren, men denne prosessen ligger så langt bak i tid at fossil karbon i mineralolje bidrar til økning av CO₂ mengden i dagens atmosfære og dermed bidrar til global oppvarming.

Busser som bruker biogass fra dyrket mais er her beregnet å bidra med 40 % lavere klimapåvirkning sammenlignet med busser som bruker CNG (EU miks). Busser som bruker biogass (biometan) fra kommunalt matavfall har, i JRCs beregninger, 78 % lavere klimapåvirkning sammenlignet med om de bruker CNG (EU miks).

Bruk av FAME (Fatty-Acid Metyl Esther) vil føre til WTW-reduksjoner mellom 30 % - 85 % avhengig av den beregnede WTT-påvirkningen. Bruk av HVO (Hydrogenated Vegetable Oil) vil føre til WTW-reduksjoner 36 % - 91 % avhengig av den beregnede WTT-påvirkningen.

Hvor store reduksjonene i klimapåvirkning blir for alternative drivstoffer i et WTW-perspektiv avhenger sterkt av valg av råmateriale, hvor drivstoffet er dyrket og lokale forhold. Det er viktig å nøye analysere alle forhold før man erstatter konvensjonelle drivstoffer med forskjellige former for alternative og fornybare drivstoffer.

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