



Miljø- og Fødevareministeriet  
Miljøstyrelsen

# EmiLowNox

En katalytisk enhed for reduktion af NOx  
fra dieselmotorer

Miljøprojekt nr. 1832, 2016

**Titel:**

EmiLowNox

**Redaktion:**

Per Monberg, Emicon Systems ApS (projektleder)  
Mads Davidoff, Emicon Systems ApS  
Peter Herman Malm, Davidoff Maskinfabrik A/S  
Per Møller, DTU  
Rokas Janunis, DTU  
Lars Pleth, DTI

**Udgiver:**

Miljøstyrelsen  
Strandgade 29  
1401 København K  
www.mst.dk

**Foto:**

Redaktionen

**Illustration:**

Redaktionen

**År:**

2016

**ISBN nr.**

978-87-93435-36-0

**Ansvarsfraskrivelse:**

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

# Indhold

<b>Forord</b> .....	<b>5</b>
<b>Konklusion og sammenfatning</b> .....	<b>6</b>
<b>1. Projektets fase 1</b> .....	<b>8</b>
1.1 Udvikling af løsning.....	8
1.2 Fase 1-aktivitet: Dimensionering/programudvikling – software og formeludvikling.....	9
1.3 Fase 1-aktivitet: ECU-styring, valg af leverandør, udvikler, specifikation og dataregistrering.....	11
1.4 Fase 1-aktivitet: Dataopsamling fra test – ECU-funktioner .....	12
1.5 Fase 1-aktivitet: Definition af testapplikation – figur 3 .....	12
1.5.1 Emicon System funktionsskitse over testsystem 1. ....	12
1.5.2 Emicon System funktionsskitse over test system 2. ....	13
1.6 Fase 1-aktivitet: Valg af egne testapplikationer .....	13
1.7 Fase 1-aktivitet: Valg af egen testfacilitet.....	13
1.8 Fase 1-aktivitet: On-road-test defineres .....	13
1.9 Fase 1-aktivitet: Beslutning om licensgivers lab-test skal udføres ...	13
1.10 Fase 1-aktivitet: Beslutning om eventuel bænkttest i samarbejde med DTI .....	14
1.11 Fase 1-aktiviteter: DTI-bænkttest og substrat undersøges.....	15
1.12 Fase 1-aktivitet: Resultat og konklusion .....	16
<b>2. Projektets fase 2</b> .....	<b>17</b>
2.1 Fase 2-aktivitet: Validering af testresultater fra US-rapport eventuelt i samarbejde med TI .....	17
2.2 Fase-2 aktivitet: Egne bænkttest .....	17
2.2.1 Dataopsamlingen fra to tests har vist følgende: .....	18
2.2.2 Definition af testapplikation 1. ....	18
2.2.3 Definition af testapplikation 2.....	20
2.3 Fase 2-aktivitet: Kalibrering af system i samarbejde med ECU-leverandør .....	21
2.4 Fase 2-aktivitet: Supplerende måling af antagelig TI .....	22
2.5 Fase 2-aktivitet: Resultat og konklusion.....	22
2.5.1 Emicon System funktionsskitse – fremtidige komplette system .....	23
<b>3. Projektets fase 3 og 4</b> .....	<b>24</b>
3.1 Projektændringer .....	24
3.2 Fase 3- og 4-aktivitet: Fieldtests i samarbejde med danske kunder/flådeejere.....	25
3.3 Fase 3- og 4-aktivitet: Fieldtests via kontakter i England, Buses Company, Birmingham area .....	26
3.4 Fase 3- og 4-aktivitet: Dataopsamling i testprotokol .....	26
3.5 Fase 3- og 4-aktivitet: Konstruktionsgranskning, risikovurdering og datavalidering .....	26
3.6 Fase 3- og 4-aktivitet: Undersøgelse af, om og hvordan produktet/løsningen kan godkendes hos TÜF, LeZ, DK, SE, VERT mv.....	26
3.7 Fase 3- og 4-aktivitet: Konkret godkendelsesplan udarbejdes for de markeder og markedssegmenter, Emicon arbejder med .....	26

3.8	Fase 3-og 4-aktivitet: Vurdering af, om opdatering af Emicons ISO900-system er dækkende for dels at registrere, fastholde og dokumentere de gældende godkendelseskrav, der er fra godkendelsesudstederne .....	27
3.9	Fase 3- og 4-aktivitet: Konstruktionsgranskning .....	27
<b>4.</b>	<b>Projektets fase 5 .....</b>	<b>28</b>
4.1	Fase 3- og 4-aktivitet: Identifikation af markeder – afhængig af licensforhandlinger med licensudstederen.....	28
4.2	Risikovurdering samt vurdering af, hvilke godkendelsesudstedere der dækker markeder, som Emicon finder størst muligheder på.....	29
4.3	Fase 3- og 4-aktivitet: Valg af markedssegmenter – afhængig af licensforhandlinger med licensudstederen.....	29
4.4	Fase 3- og 4-aktivitet: Udarbejdelse af markedsføringsmateriale (der søges ikke tilskud hertil).....	29
4.5	Fase 3- og 4-aktivitet: Udarbejdelse af instruktioner og vejledninger .....	29
4.6	Fase 5-aktivitet: Gennemgående aktivitet – projektledelse og formidling .....	30
4.7	Fase 5-aktivitet: Projektledelse faglig .....	30
4.8	Fase 5-aktivitet: Projektledelse over for MST.....	30
4.9	Fase 5-aktivitet: Kvalitetssikring.....	30
4.10	Fase 5-aktivitet: Formidling .....	30
	Forkortelser: .....	31
	<b>Referencer .....</b>	<b>32</b>
<b>Bilag 1:</b>	<b>WHVC-test, TI, Aarhus.....</b>	<b>33</b>
<b>Bilag 2:</b>	<b>Analyse af ”Argonne Univercity”-katalysator v/Per Møller og Lars Pleth .....</b>	<b>40</b>
<b>Bilag 3:</b>	<b>DeNOx project report DTU .....</b>	<b>45</b>
<b>Bilag 4:</b>	<b>Installationsvejledning for EmiFit combi DPF-SCR V3 09042015 .....</b>	<b>48</b>
<b>Bilag 5:</b>	<b>Bilag til ES-servicevejledning. DPF-DOC-SCR for 18E 27032015.....</b>	<b>49</b>

# Forord

Projektet udføres af en projektgruppe sammensat på tværs af industri- og videninstitutioner. Medlemmerne af projektgruppen er Teknologisk Institut, DTU, Davidoff Maskinfabrik (fabrikant af ståldele til emissionssystemer) samt Emicon Systems. Projektet er medfinansieret af Miljøstyrelsens "Tilskudsordning for Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprojekter".

Formålet med projektet er at udvikle og designe et simpelt NO<sub>x</sub>-reducerende system, som ikke er afhængigt af AdBlue (urea), og som kan leveres til en væsentlig reduceret pris – en pris, der udgør cirka halvdelen af et AdBlue-baseret SCR-system.

Systemudviklingen tager udgangspunkt i et eksisterende produkt fra Argonne National Laboratory, som endnu ikke er/var "real world"-testet.

Et væsentligt udgangspunkt for udviklingen er, at der ikke skal installeres ekstra beholdere eller tankes andre reaktanter end dieselolie, som er reaktanten for NO<sub>x</sub>-reduktion i EmiLowNox-systemet. Hensigten er at udvikle et system, som er mere simpelt og billigere end de eksisterende almindelige kendte og meget avancerede AdBlue-baserede NO<sub>x</sub>-reduktionssystemer. Systemerne tiltænkes anvendt som retrofit til Euro 3-køretøjer og ældre maskiner. Det kan ikke udelukkes, at nyere motorer opgraderes med EmiLowNox-systemet.

Rapporten indeholder beskrivelser af de teknologier, der tænkes anvendt i projektet, hvordan de testes, og hvilke beregningsmodeller der ligger bag.

Rapporten gør rede for de ændringer, der er gennemført i projektperioden, hvor ønskede resultater ikke er opnået. Der gøres rede for en større projektændring i projektets fase 2, hvor det blev fundet nødvendigt at optimere og forbedre den oprindelige katalysator fra Argonne National Laboratory. Projektet blev afsluttet seks måneder senere end planlagt på grund af væsentlige ændringer i forhold til forventede eller forsinkede testresultater.

Rapportens indhold er nødvendigvis ikke et udtryk for Miljøstyrelsens holdninger, men styrelsen har støttet projektet, fordi man finder dets målsætning væsentlig og interessant.

# Konklusion og sammenfatning

Emicon System søgte Miljøstyrelsen om tilskud til EmiLowNox-projektet, "Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprojekt" på kr.2.598.039,-, hvoraf støttebeløbet reduceres til kr. 2.073.000,-, idet der ikke gives tilskud til tekniske godkendelser. Projektet startede i januar 2013 og er delt op i fem faser.

Hovedformålet; "at udvikle et konkurrencedygtigt, ikke AdBlue-forbrugende NOx-reduktionssystem for tunge køretøjer" er fastholdt. Delmål har måttet reguleres undervejs i projektet i erkendelse af, at projektet var for afhængigt af, om hovedproduktet kunne leve op til de af leverandøren påståede specifikationer. Hovedproduktet viste sig ikke at kunne leve op til det forventede og leverede af flere årsager ikke en tilfredsstillende NOx-reduktionsgrad. Yderligere viste det sig, at samarbejdet med de oversøiske institutioner var langt mere udfordrende end forventet. Projektet indledte samarbejde med flere europæiske katalysatorproducenter og systemleverandører, der i projektet har været med til at øge Emicon Systems viden og kompetencer inden for NOx-reduktionssystemer og teknologier.

Projektets retning bevægede sig i fase 1 frem til afslutningen af fase 2 i november 2013 fra undersøgelse og test af eksisterende katalysatorer fra Argonne National Laboratory. Opfølgende dialoger med Christoffer Marshall bekræfter, at katalysatoren ikke var produktionsmodnet, hvilket var kendt på forhånd. Det var ikke kendt af Argonne, at katalysatorens Space Velocity var så lav, at det ikke var realistisk at designe HC-DeNox-katalysator til hverken busser eller lastbiler.

MST godkendte i december 2013, at Emicon Systems indledte undersøgelser og etablering af grundlag for udviklingen af et nyt katalysatorsystem i samarbejde med DTU og Teknologisk Institut. Den meget begrænsede virkningsgrad på Argonne National Laboratorys katalysator medførte, at alternative veje måtte undersøges. DTU gennemførte således en analyse af Argonne National Laboratorys katalysator for at vurdere, om basiscoatingen af katalysatoren rent kemisk kunne reagere med NO og NO<sub>2</sub> med HC som reaktant.

Emicon System indgik en samarbejdsaftale med DTU om opstilling af en udviklingsenhed for DeNOx-katalysatorer. DTU opstillede en testunit for test af forskellige metaller evne til at reducere NOx ved brug af reaktanter og gennemførte en test på et alternativt katalysatorsubstrat i en prøveopstilling, som viste forholdsvis gode reduktioner. Testuniten skal fremadrettet anvendes ved test og afprøvning i et kommende EuroStar-projekt for at finde den bedst anvendelige katalytiske coat på det til formålet bedst anvendelige katalysatorsubstrat. H<sub>2</sub> SCR er en løsning, der anvendes på nogle personbiler.

Emicon Systems har i projektperioden opbygget en solid videnbase, der indeholder beregningsmodeller, der har medvirket til, at vi med øget præcision kan beregne mere eksakte filterstørrelser, mere eksakte katalysatorstørrelser, som har stor betydning for vores tilbudsgivninger på markedet for emissionssystemer.

For at profilere Emicon Systems på markedet og dermed opnå en markedsposition som en kendt leverandør af NOx-reduktionssystemer blev det besluttet at arbejde med i andre retrofit-projekter, hvor konventionel NOx-reduktionsteknologi anvendes. Det har været proces, som har givet Emicon Systems en stor baggrundsviden om, hvordan de mest avancerede retrofitsystemer på markedet fungerer.

Space Velocity udtrykkes

$$\text{matematisk som } SV = \frac{F \text{ m}^3/\text{h}}{Vm^3} = \frac{1}{h} = \text{eksp. } h - 1$$

I dette repræsenterer F m<sup>3</sup>/h volumenflowet (hastigheden) af reaktanten ind i katalysatoren, og Vm<sup>3</sup> repræsenterer rumfanget af selve katalysatoren. Dette er udtryk for reaktantens opholdstid i katalysatoren. SV oplyses af katalysatorproducenten i forhold den aktuelle katalysatorfunktion.

Emicon System er i en position, hvor vi kan markedsføre NOx-reduktionssystemer til busser, lastbiler, generatorer og andre dieselmotorapplikationer. Emicon Systems grundsystem er således parat til at kunne applikeres med de kommende egenudviklede katalysatorer og er ligeledes parat til at kunne kontrollere injektion af dieselolie for NOx-reduktion.

Emicon Systems modtager til stadighed forespørgsler på NOx-reduktionssystemer og byder på EU-udbud til storbyer i Europa og har senest afgivet tilbud til MOVIA på 255 systemer til opgradering af Euro 4, 5 og EEV-busser, der kører i Københavnsområdet.

Emicon har, uden for projektet og uden for projektets støttemidler, gennemført en WHVC-test (Bilag 1. WHVC-test, TI, Aarhus) hos TI i Aarhus, hvor det vægtede emissionsniveau ligger mellem Euro 5 og Euro 6 på en opgraderet Euro 4. Specielt under WHVC-varmstartcyklussen ligger NOx-niveauet på 0,2 g/kWh – Euro 6 niveauet ligger på 0,46 g/kWh. Målet er at opnå en vægtet reduktion på 1g/kWh. Det er teknisk muligt at opnå ved små justeringer i systemet.

Der er god sammenhæng med de oprindelige markedsanalyser, som dannede en del af grundlaget for at iværksætte EmiLowNox-projektet.

Emicon Systems har således via EmiLowNox-projektet opbygget kompetencer inden for dimensionering af SCR-katalysatorer og håndtering af avancerede styreenheder for kontrol af reaktant injektion styret af en række forskellige sensorer samt motordatasignaler fra CAN-bussystemet – alle nødvendige parametre for at kontrollere en optimal NOx-reduktion ved minimal brug af reaktanter.

Afslutningsvis fortsætter projektet i EuroStar-regi, forudsat der opnås tilsagn og støtte hertil, hvor formålet er at udvikle en katalysatorcoatning og/eller en partikelfiltercoatning, som ved hjælp af on-board-reaktanter kan give en maksimal NOx-reduktion til en konkurrencedygtig pris. Et katalysatorsystem, som forventeligt skal kunne bygges ind i det grundsystem, Emicon Systems har udviklet i projektet.

Emicon System kan på baggrund af MUDP-støtten levere og markedsføre NOx-reduktionssystemer, dog baseret på konventionel teknologi. En teknologi, som kan fungere som grundsystem, når og hvis udviklingen af en DeNOx-katalysator gennemføres.

WHVC (World Harmoniseret Vehicle Cycle) er en rullefeltstest udviklet på grundlag datasæt, der blev anvendt til udvikling af WHTC (World Harmoniseret Transient Cycle). I modsætning til WHTC er WHVC ikke en standardiseret procedure og anvendes ikke til lovmæssige test. Mens WHVC som rullefeldtsstest ikke er identisk med WHTC-motorbænkstest har resultaterne i WHVC været brugt til at sammenligne køretøjers og motorers emissionsniveauer til forskningsformål.

DeNOx dækker over et fælles udtryk for SCR-katalysatorer, der IKKE anvender urea/AdBlue som reaktant.

# 1. Projektets fase 1

## 1.1 Udvikling af løsning

*Udvikling af løsning baseret på Argonne National Laboratory baseret på DeNOx-katalysatoren blev forsinket på grund af ANL's prioriterede licensforhandlinger, der tydeligvis blev vægtet frem for dokumentation af DeNOx-katalysatorens effektivitet og virkemåde. Derfor indgik Emicon samarbejde med DTU og DTI med henblik på egenproduktion af tilsvarende katalysator eller NOx-reduktion.*

Forhandlingerne med Argonne National Laboratory angående køb, salg og brug af den patenterede DeNOx-katalysator viste sig mere udfordrende end forudset, hvorfor pre-støtte "Fase 0"-aktiviteterne blev væsentligt forsinkede. Hovedårsagen til forsinkelsen har ligget hos Argonnes lange afklaring af, hvordan Emicon kunne få adgang til testsubstrater uden at overskride de interne amerikanske licensjeres (Argonne National Laboratory selv) rettigheder, samt det faktum at Emicon System ikke ville signere en licensaftale baseret på aktuelle markedsundersøgelser, fordi licensomkostningerne, set med Emicon Systems øjne, var alt for dyre og urimelige. Denne beslutning blev truffet på baggrund af den support og anbefaling, Emicon Systems fik af Rasmus Offersen fra DTI, Taastrup.

Med Argonne National Laboratory som hovedleverandør til projektet viste de sig at været meget udfordrende at samarbejde med, derfor besluttede Emicon Systems gennem dialog med Lars Pleth, DTI at undersøge, om udviklingen af en egenproduceret katalysator baseret på det amerikanske patent og øvrige teknisk data, vi har fra Argonne, var mulig.

Emicon Systems valgte den 14. marts 2013 at signere en "Nonexclusive License and Material Bailment Agreement", således at Emicon Systems skulle betale en engangslicens på \$ 2.000,00 for at anvende de fire katalysatorsubstrater til planlagte udviklings- og testformål. Samtidig besluttede Emicon System at afvise Argonne National Laboratorys tilbud om gennemførelse af licensgivende laboratorietest. Årsagen var, at det dels er for dyrt; \$ 250.000, og en væsentlig længere proces end det først var lovet – testforløbet er ændret fra tre måneder til 12-14 måneder. Emicon Systems besluttede på baggrund af tidligere dialog med Lars Pleth, DTI at opstarte et formelt samarbejde med henblik på at definere og udvikle katalysatoren med henblik på egenproduktion.

Produktet kan, uden overskridelse af amerikanske patenter og licensrettigheder, produceres i Danmark baseret på, at DTI og DTU kan udvikle en lignende katalysator baseret på de faktiske tekniske oplysninger, vi allerede har modtaget fra Argonne National Laboratory inklusive det gældende amerikanske patent. Emicon Systems fik tilsagn fra Lars Pleth, DTI og Per Møller, DTU om, at begge ønsker at deltage i projektet ud fra en vurdering af, at produktet er muligt at udvikle og producere i Danmark.

Emicon System modtog en rapport fra Lars Pleth og Per Møller (Se Bilag 2. Analyse af "Argonne University" katalysator v/Per Møller og Lars Pleth), som beskriver dels en analyse af Argonne katalysatoren og dels en beskrivelse af, hvordan den kan forbedres/optimeres set ud fra en kemisk/produktionsteknisk vinkel.

Den fortsatte dialog med Argonne National Laboratory afslører uklarheder vedrørende de tekniske grundspecifikationer, specielt katalysatorens "Space Velocity". Argonne National Laboratory har oplyst en Space Velocity, der ikke stemmer overens med de dimensioneringsprogrammer og beregninger, der ligger til grund for størrelsesberegningsprogrammet. Argonne National Laboratory etablerede kontakt til Hypercat-acp, som er samarbejdspartner med licensjeren. Hypercat har de specifikke kompetencer til at oplyse/beregne katalysatorens korrekte Space Velocity. Det viste sig, at katalysatoren har et Space Velocity 10-15.000<sup>h-1</sup>. For at beregne en realistisk katalysatorstørrelse til en lastbil eller bus skal Space Velocity ligge på minimum 30-40.000<sup>h-1</sup> for at opnå et minimum

Space Velocity udtrykkes matematisk som  $SV = \frac{F \text{ m}^3/\text{h}}{V \text{ m}^3} = \frac{1}{h} = \text{eksp. } h - 1$

I dette repræsenterer F m<sup>3</sup>/h volumenflowet (hastigheden) af reaktanten ind i katalysatoren, og Vm<sup>3</sup> repræsenterer rumfanget af selve katalysatoren. Dette er udtryk for reaktantens opholdstid i katalysatoren. SV oplyses af katalysatorproducenten i forhold den aktuelle katalysatorfunktion.



og acceptabelt NO<sub>x</sub>-reduktionsniveau – cirka 50 %. Jo højere NO<sub>x</sub>-reduktion der kræves, jo højere Space Velocity skal der til afhængig af røggastemperaturen. Yderligere kan systemerne ikke designes til retrofitformål, hvis den grundlæggende reduktionskapacitet på baggrund af Space Velocity er mindre end 30-40.000 h<sup>-1</sup> af hensyn den tilgængelige plads på køretøjerne. Den langvarige dialog med Argonne National Laboratory har ikke bidraget med informationer, som har genereret væsentlige resultater. Der er usikkerhed, om Argonne National Laboratory har styr på de teknologier, produktet anvendes til. Det genererer en begrundet tvivl, om produktet er produkt- og produktionsmodnet nok til at sende det på markedet for testapplikationer – der er tydeligvis nogle udfordringer i selve coatningsprocessen og coatingmaterialet (laboratoriemikset), der medfører, at det ikke er muligt at opnå en acceptabel NO<sub>x</sub>-reduktion ved højere Space Velocity end 15.000h<sup>-1</sup>, hvilket medfører alt for store katalysatorer samt urealistisk høje reduktionstemperaturer.

Vi konstaterede, at Argonne National Laboratory og deres partnere ikke kan leve op til vores krav og forventninger. De langstrakte dialoger og forhandlinger har givet Emicon Systems et videngrundlag, der kan indgå i det videre udviklingsarbejde i samarbejdet med DTI og DTU. Dette samarbejde skal sikre en optimeret fremstilling af en helt ny katalysator for NO<sub>x</sub>-reduktion, hvor der skal fokuseres på produktionsegnethed og temperatureffektivitet. Der tages udgangspunkt i Argonne-katalysatorens reaktant, som faktisk virker, forudsat at coatingen er udført optimalt. Det er en opgave, som DTI og DTU kan løse.

På baggrund af gennemførte bænkttest og resultater heraf samt efterfølgende afklarende dialog med Argonne National Laboratory og Hypercat blev det besluttet at stoppe projektsamarbejdet med Argonne National Laboratory og deres samarbejdspartnere, da det med sikkerhed konstateredes, at der ikke er styr på hverken coatingmaterialer, coatingprocesser eller funktioner. Argonne National Laboratory har "oversolgt" produktet i forhold til, at katalysatoren hverken er produkt- eller produktionsmodnet.

Den meget begrænsede virkningsgrad på Argonne National Laboratorys katalysator medførte, at alternative veje måtte undersøges. DTU gennemførte således en analyse af Argonne National Laboratorys katalysator for at vurdere, om basiscoatingen af katalysatoren rent kemisk kunne reagere med NO og NO<sub>2</sub> med HC som reaktant.

MST godkendte i december 2013, at Emicon Systems indledte disse undersøgelser og etablering af grundlag for udviklingen af et nyt katalysatorsystem i samarbejde med DTU og Teknologisk Institut.

## **1.2 Fase 1-aktivitet: Dimensionering/programudvikling – software og formeludvikling**

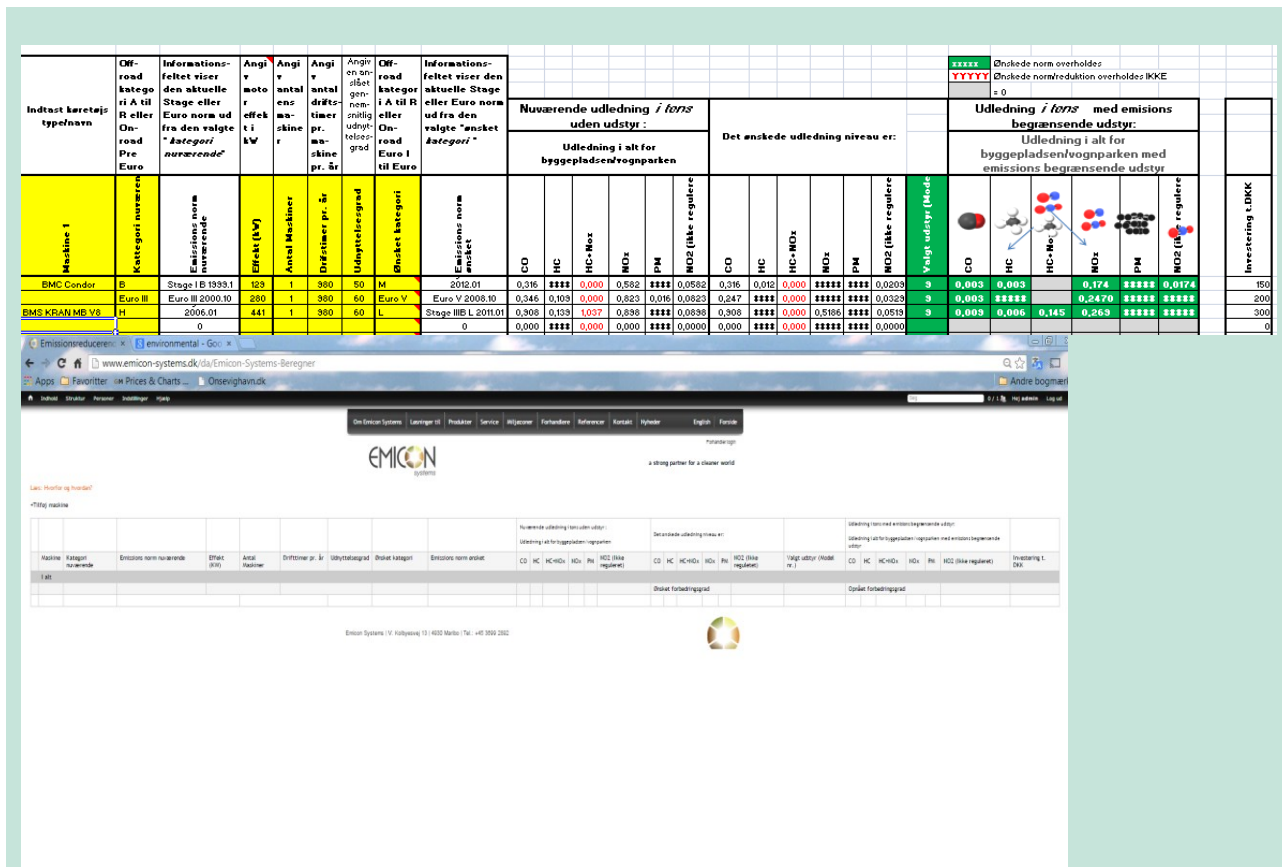
*Dimensionering og programudviklingen skal generere muligheden for at dimensionere katalysatorer af forskellige typer, almindelige DOC'er og SCR-katalysatorer for HC-injektion og urea-injektion. Leverandører oplyser altid en katalysators Space Velocity-specifikation, hvorfra størrelsen skal kunne beregnes til en specifik motorstørrelse og effekt. Samlet set skal programudviklingen hjælpe Emicon Systems og Emicon Systems kunder og potentielle kunder med at få overblik over systempris og reduktionspotentiale.*

- Dimensioneringsprogrammet blev færdigudviklet og ligger som en excelbase. Programmet indeholder flere kontrolfunktioner i form af erfaringslister, kontrolberegningsprogrammer fra underleverandører, som udleveres til Emicon Systems som fortroligt materiale, der ikke må videregives til tredjemand. Se figur 1.

Chosen Space Vel	EU STAGE	3 g/L	g/h (EURO stage)	h/200 mbar
Space Velocity	Max soot loadper L DPF	97,91	19,85	4,93
Volumetric efficiency	Specification	5	0,1	
Intake air temperature	20 Standard temp using turbo and intercooler	300	Outlet temp.	
Volume flow (l/s)	Inlet MAP	clean 974,02	75% capacity 974,02	50% capacity 974,02
Engine displacement (L)	SLI=	49,74	66,32	99,49
Rpm. (at max touq/)	At mbar	16,7	41,8	83,7
Turbo pressure (bar)	Control Factor	1,9	1,87	
Mass flow (kg/h)	Control Factor: If the factor is higher than 1,5 validate turbo pressure in "Tjekskema", if the Control factor is higher than 3 the entered engine data is wrong!			
Volume Flow m3/h	Actual Calculated SV (h-1)	1904,82	47620614,6 Vol mm3	45629
Catalyst substrate length mm	Expected BP (mbar)	303		16,7
Calculated catalyst diametre	Optimized size in inch	286 mm		12,0 x diametre 10,50
Chosen Diameter		267 mm		
The yellow fields parametres can be changed.				
The yellow fields contains an explanation				
The green cells are calculated results				

FIGUR 1  
FILTER- OG KATALYSATOR-BEREGNINGSPROGRAM

- For beregning af emissionsudledningsgrader ved opgradering med Emicon Systems emissionsudstyr er der udviklet et beregningsprogram "Environmental Impact", som kan beregne udledningsreduktioner for en hel vogn- eller maskinpark, hvor emissionsnormerne Euro- og Stage-normerne anvendes. Programmet er tilgængeligt på Emicon Systems hjemmeside <http://www.emicon-systems.dk/da/Emicon-Systems-Beregner>, dog skal brugere tildeles adgang via [info@emisys.dk](mailto:info@emisys.dk), (sikring af, at konkurrenter ikke kan få adgang).
- "Environmental Impact" programbeskrivelse:
  - Bil-/motortype
  - Nuværende emissionsnorm
  - Motoreffekt
  - Antal køretøjer/maskiner
  - Vægtet virknings- eller udnyttelsesgrad
  - Ønsket emissionsnorm
  - Aktuell emissionsudledning tons per år for CO, HC, HC+NOx, NOx, PM og (beregnet NO<sub>2</sub>)
  - Valg af emissionsreducerende udstyr
  - Opnåeligt emissionsniveau i forhold til ønsket emissionsniveau, opfyldt niveau eller ikke opfyldt niveau v/farvekoder Grøn/Rød
  - Totaludledning i ton per år med emissionsløsning
  - Reduktionsgrad med emissionsløsning
  - Anslået samlet investering for forslået emissionsløsning
- Variable reduktionsgrader kan lægges ind i programmet, alt efter om vurderingen skal tage udgangspunkt i Transiente testcyklusser med kold og varm start, eller om det ønskes at kende det faktiske emissionsniveau ud fra faktiske kørselsmønstre med for eksempel maskiner, der kører i døgndrift, hvor koldstarter ikke bør vægtes lige så højt som for eksempel i en WHVC-test.
- Programmet blev primært udviklet til at skabe overblik over, hvilke reduktionsgrader der er nødvendige, når der skal opgraderes fra en emissionsnorm til en anden. Det er inden for stagenormen ikke helt ukompliceret, fordi NOx og HC er lagt sammen i nogle kategorier, hvor disse to emissioner er adskilt i nyere kategorier.



FIGUR 2  
BEREGNINGSPROGRAM PÅ [WWW.EMICON-SYSTEMS.DK](http://WWW.EMICON-SYSTEMS.DK) + GRUNDEXCELTABLEL (ØVERST)

### 1.3 Fase 1-aktivitet: ECU-styring, valg af leverandør, udvikler, specifikation og dataregistrering

Den optimale ECU for NOx-reduktionssystemer skal kontrollere, HC eller urea-injektion via katalysatorleverandørens algoritmer. Systemet skal kunne håndtere alle nødvendige dele, der skal til for at kontrollere en optimal NOx-reduktion.

Emicon Systems undersøgte og testede tre forskellige ECU-leverandørers produkter.

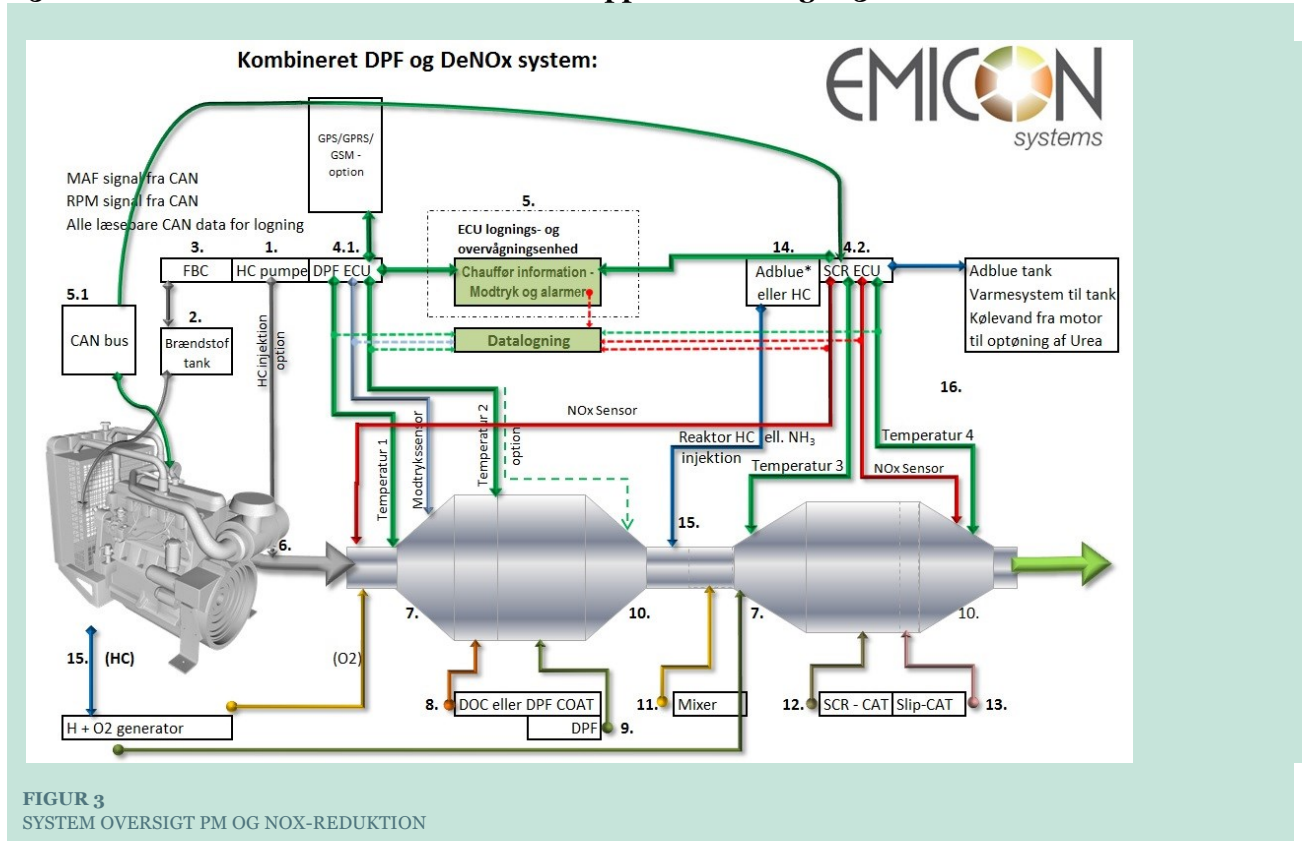
- CPK-systemet blev valgt ud fra, det var en kendt leverandør, CKP-Automotive GmbH, som Emicon System havde haft et mangeårigt samarbejde med. Der blev kørt en række tests hos CPK i Tyskland, hvor en ECU-prototype afprøvedes – CPK-Automotive GmbH var ikke klar med et færdigt system på daværende tidspunkt og forventede 1-2 års produktionsmodning, før ECU'en var produktionsklar.
- Efter et halvt års samarbejde med en ny ECU-partner, Emitec, valgte Emitec at bringe samarbejdet til ophør, da Emitec havde ikke ressourcer til at støtte og supportere Emicon Systems på grund af større OEM-opgaver.
- Emicon Systems indledte et samarbejde med firmaet DEC som leverandør af ECU-system for kontrol af alle SCR- og partikelfilterfunktioner, fordi DEC kunne supportere Emicon Systems med support, udvikling og dataregistrering.

### 1.4 Fase 1-aktivitet: Dataopsamling fra test – ECU-funktioner

Dataopsamling i ECU har til formål at kunne aflæse historik og fejl med henblik på reduktionsdokumentation og fejlretning.

- Det valgte dataopsamlingsystem kan datalogge alle nødvendige værdier, både fra monterede sensorer og fra tilgængelige J1939 CAN-bussignaler samt trådløs web-baseret dataoverførsel og overvågning.
- Testapplikationen i fase 1 defineredes ud fra, at den første test skulle gennemføres hos CKP-Automotive i Tyskland, hvorfor applikationen blev baseret på CPK ECU'en. Se detaljerne under punkt 2.

### 1.5 Fase 1-aktivitet: Definition af testapplikation – figur 3



FIGUR 3  
SYSTEM OVERSIGT PM OG NOX-REDUKTION

#### 1.5.1 Emicon System funktionsskitse over testsystem 1.

*De lysegrå tekstmarkerede dele er IKKE anvendtes i testen*

- |                                                                                               |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1. Dieselpumpe for DPF-aktiv regenerering (CPK-dieselbrænder valgt til test 1)                | ✓      |
| 2. Brændstoftank med tilslutning til pumpe                                                    | ✓      |
| 3. Additiv doseringssystem for regenerering af DPF                                            | -      |
| 4. °C1, 2 og 3 ECU for kontrol af DPF og/eller SCR-system – CAN-buslæsning CPK                | -/✓    |
| 5. Systemovervågning – chauffør                                                               | -      |
| 6. Datalogning                                                                                | ✓      |
| 7. Indløbsmodul, der sikrer korrekt flow over katalysatorer og DPF                            | ✓      |
| 8. Dieseloxidationskatalysator for NO <sub>2</sub> -øgning eller temperaturøgning             | -      |
| 9. DPF-katalytiske coatede for optimeret regenerering og SCR-funktion                         | -      |
| 10. Udløbsmodul, der sikrer optimeret lydæmpning                                              | ✓      |
| 11. Gasmixer og varmeveksler for optimeret gasmix og minimum varmetab                         | ✓      |
| 12. SCR-katalysator Haldor Topsøe TiO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> -katalysator/ANL DeNox Cat | - /-/✓ |
| 13. Slipkatalysator for begrænsning af urea-slip                                              | -      |
| 14. Urea-system/diesel-injektionssystem for NOx-reduktion                                     | -/✓    |

15.	H <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> -generator – H <sub>2</sub> for NO <sub>x</sub> -reduktion – O <sub>2</sub> for optimeret regenerering	-
<b>1.5.2 Emicon System funktionsskitse over test system 2.</b>		
1.	Dieselpumpe for DPF-aktiv regenerering (CPK-dieselbrænder valgt til test 1)	✓
2.	Brændstoftank med tilslutning til pumpe	✓
3.	Additiv doseringssystem for regenerering af DPF	-
4.	°C1, 2 og 3 ECU for kontrol af DPF og/eller SCR-system – CAN-buslæsning CPK	✓
5.	Systemovervågning – chauffør (overvåges online via computer)	-
6.	Datalogning	✓
7.	Indløbsmodul, der sikrer korrekt flow over katalysatorer og DPF	✓
8.	Dieseloxidationskatalysator for NO <sub>2</sub> -øgning eller temperaturøgning	-
9.	DPF-katalytiske coatede for optimeret regenerering og SCR-funktion	✓
10.	Udløbsmodul, der sikrer optimeret lyddæmpning	✓
11.	Gasmixer og varmeveksler for optimeret gasmix og minimum varmetab	✓
12.	SCR-katalysator Haldor Topsøe TiO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> -katalysator/ANL DeNox Cat	✓/*/-
13.	Slipkatalysator for begrænsning af urea-slip	✓
14.	Urea-system/diesel-injektionsystem for NO <sub>x</sub> -reduktion	✓/*1
15.	H <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> -generator – H <sub>2</sub> for NO <sub>x</sub> -reduktion – O <sub>2</sub> for optimeret regenerering	*2

\* H<sub>2</sub>-katalysator videreudvikles i et kommende EuroStar-projekt.

\*1 Dieselolieinjektion som reaktant for NO<sub>x</sub>-reduktion behøver kalibrering

\*2 H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>-generatoren videreudvikles i kommende EuroStar-projekt. Der behøves en mindre programændring i DEC-systemet, som kan udføres forholdsvis enkelt.

## 1.6 Fase 1-aktivitet: Valg af egne testapplikationer

ANL = Argonne National Laboratory

Testapplikation for test og prøvning blev valgt ud fra det, der dels umiddelbart var tilgængeligt, og dels den applikation der kunne anvendes i praksis for at finde dokumentation for ANL-katalysatorens virkningsgrad.

- Testapplikation 1 blev sammensat jævnfør daværende vejledning fra ANL og testet på to forskellige motorer. Test 1 blev gennemført på en væsentlig mindre motor end aftalt med ANL, og test 2 blev gennemført på en motorstørrelse, som ANL var bekendt med.

## 1.7 Fase 1-aktivitet: Valg af egen testfacilitet

Til at udføre hurtigere tests blev en testbænk etableret i moderselskabets lokalteter, hvor Emicon Systems kunne få adgang til at planlægge og gennemføre test af katalysatorer og partikelfiltre, uden der skulle transporteres udstyr og personale til testfaciliteter i udlandet.

- Emicon Systems fik adgang til ældre testbænk (vandbremse) inkl. en ældre Volvo DH 12-motor, Euro 3, 320 HK. Til testbænken er der etableret et særligt testrum, hvori testmotorer opsættes. Testbænken blev købt af Davidoff Maskinfabrik, som udlejer bænktimer til Emicon Systems.

## 1.8 Fase 1-aktivitet: On-road-test defineres

For at gennemføre "real-world"-test af ANL-systemet blev der søgt efter interesserede kunder gennem Emicon Systems eksisterende forhandlernetværk, hvor der især i England var kunder, som var interesserede i produktet.

- På dette stadie af projektet blev der indgået en aftale med en engelsk samarbejdspartner (RWT), som var meget interesseret i at samarbejde omkring test og afprøvning af NO<sub>x</sub>-reduktionssystemer hos nogle af de busselskaber, som RWT har som nuværende kunde. Dette blev ikke gennemført grundet de udfordringer, der har været med katalysatorsubstratet. Aftalen og samarbejdet med RWT er stadig aktivt, og Emicon System bruger stadig RWT som partner, når vi byder på udbud i England.
- RWT har deltaget i samtlige de udbudsrunder, Emicon System har deltaget i i UK.

## 1.9 Fase 1-aktivitet: Beslutning om licensgivers lab-test skal udføres

Efter langstrakte forhandlinger med ANL angående rettighedsgivende licenser til DeNOx-katalysatoren skulle det besluttes, hvorvidt Emicon System ville/kunne indgå en aftale med ANL angående et længerevarende omkostningstungt testforløb.

- Licensgivende test hos Argonne National Laboratory er afvist på grund af ikke-acceptabel pris og tidsramme.

### 1.10 Fase 1-aktivitet: Beslutning om eventuel bænktest i samarbejde med DTI

Den ovenstående beslutning om ikke at indgå en aftale med ANL om testforløb medførte, at Emicon System indgik en formel og MST-godkendt aftale med DTI og DTU om test og afprøvning af DeNOx-katalysatoren med det tillæg, hvorvidt vi kunne egenproducere katalysatoren i Danmark, da DeNOx-patentet kun var gældende i USA.

- En formel aftale indgås med DTU om etablering af en "DeNOx"-testunit.
- Baseret i de første resultater, at Argonne Cu/ZSM5-katalysator ikke fungerer som forventet, og at dens aktivitet er væsentligt mindre end forventet, er det nødvendigt at gå et skridt tilbage og indlede udviklingen af en ny katalysator. Dette vil ske i samarbejde med Dansk Teknologisk Universitet (DTU), Dansk Teknologisk Institut (DTI) og Elplatek A/S.

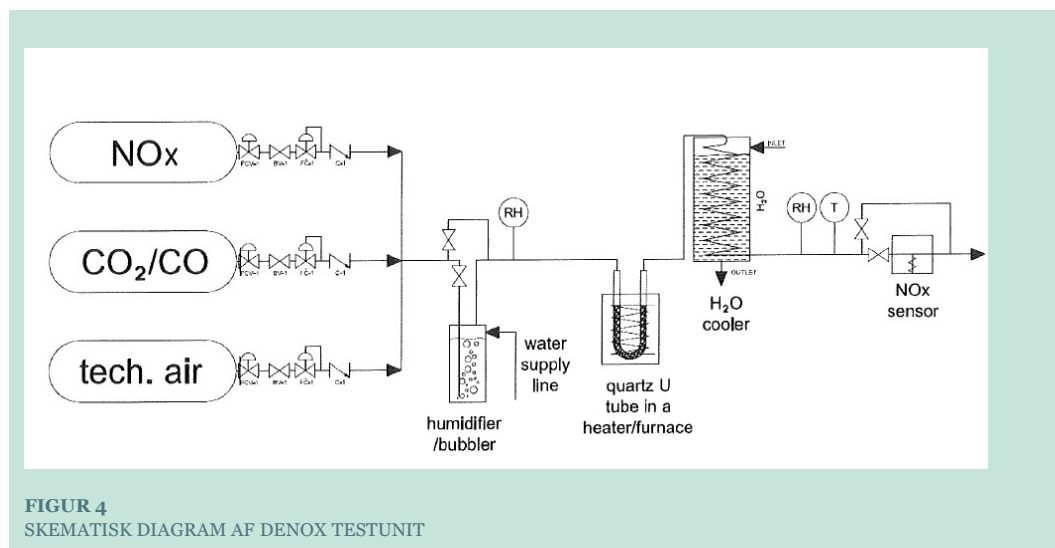
For at indlede denne udvikling er det nødvendigt at konstruere en opstilling baseret på fire gaslinjer, som skitseret nedenfor i Figur 3.

Den fjerde gasledning vil blive monteret tæt på reaktoren således evnen til at dosere kulbrinter, ammoniak eller urinstof som reduktionsmiddel. Det er hensigten at afprøve forskellige kommercielle tilgængelige katalysatorsystemer under modelsimulering reelle DeNOx-forhold. De første kandidater er:

- Argonne Cu/ZSM5-katalysatoren.
- Ikke-zeolitbaserede katalysator supporteret af oxider fra Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> og ZrO<sub>2</sub> og i øvrigt ikke i forbindelse konventionelle ædelmetaller, som platinumium og palladium, men mere billige metaller som for eksempel Co, Ni, Cu, Fe, Sn, Ga og Ag.
- SCR DeNOx-teknologi baseret på TiO<sub>2</sub>-WO<sub>3</sub>-V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> type katalysator

Som tillæg til den konventionelle katalysorteknologi arbejders der med idéer om Co/BaO-systemer, sølvbaserede systemer, og idéer om nye "washing"-teknologier undersøges.

En washing eller washcoat er en bærer af de katalytiske aktive materialer og bruges til at sprede materialer over et større areal. De katalytiske aktive materialer er som regel ikke er del af washcoat, for den påføres på kernen. Washcoatmaterialerne er udvalgt til at danne en uregelmæssig overflade, som øger overfladearealet i forhold til den glatte overflade på det rå substrat.



Vigtigste mål:

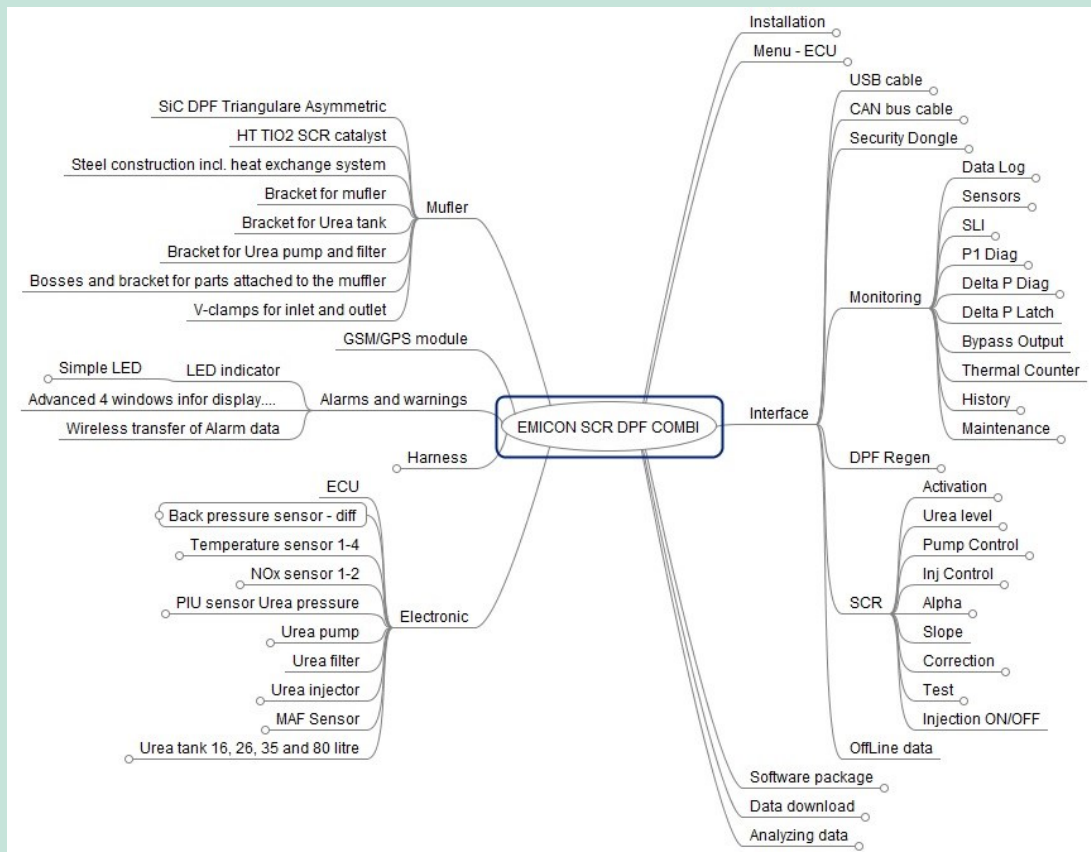
9. NO<sub>x</sub>-reduktionsmål: minimum 80 % (under WHSC/tillæg 1) Under et rå-emissionsniveau på 1000 ppm ved et masseflow ved 1500kg/h ~ 2650m<sup>3</sup>/h - Volvo 12L Euro 3-motor.
  - 9.1. For katalysatorløsninger:
  - 9.2. Space Velocity h<sup>-1</sup>-specifikation = minimum 80.000<sup>h<sup>-1</sup></sup>
  - 9.3. NO<sub>x</sub>-reduktionsmål = minimum 80 %
  - 9.4. Temperatureffektivitet = minimum 50 % reduktion ved 200°C eller bedre og maksimal NO<sub>x</sub>-reduktion ved 350°C eller bedre.
  - 9.5. HC-baserede NO<sub>x</sub>-reduktionssystem – eller endnu bedre et passivt reduktionssystem.
  - 9.6. Substrat – kendte metal- eller keramik-substrater.
  - 9.7. Coatningrecept-materiale og overfladebehandlingsproces skal være mulig ved anvendelse af nuværende og kendte procesteknologier – med mindre en ny proces er beskrevet i fuld og forståelig form, som skal kunne udføres hos Emicon Systems eller hos nuværende leverandører.
  - 9.8. Den primære opgave er at udvikle en katalytisk coat (proces) for at reducere NO<sub>x</sub>.
  - 9.9. Sekundær opgave – sikre, at coaten kan lægges på eksisterende kendte substrattyper.
  - 9.10. Emicon ønsker at have opfølgende møder for at dokumentere, at udviklingen i projektet forløber og fortsætter i den rigtige retning:

#### **1.11 Fase 1-aktiviteter: DTI-bænktest og substrat undersøges**

*En af Miljøstyrelsen godkendt ændring i projektet betød, at en laboratoriebænk kunne etableres hos DTU, hvori DeNO<sub>x</sub>-katalysatorens NO<sub>x</sub>-reduktionskapacitet kunne undersøges nærmere.*

- Der blev via DTI og DTU indgået aftaler om nærmere undersøgelse af ANL DeNox-substratet. Per Møller, DTU, gennemførte en analyse af ANL-substratet og udarbejdede en rapport (se bilag 2. Analyse af "Argonne University"-katalysator v/Per Møller og Lars Pleth).

Lange forhandlingsforløb og leveringstider fra ANL forsinkede fase 1. Definition af systemet er færdig. Systemet er applikeret, således at der er indbygget fleksibilitet, så forskellige katalysatorer kan anvendes, og forskellige reaktanter kan anvendes. Det ligger i selve programmeringen og injektionsalgoritmerne, hvordan systemet kontrollerer injektionen og dermed NO<sub>x</sub>-reduktionen. Systemet og systemets kompleksitet, se Figur 5.



FIGUR 5  
MIND-MAPP SYSTEMKOMPLEKSITET OVERORDNET NIVEAU

### 1.12 Fase 1-aktivitet: Resultat og konklusion

Systemopsætningen afhænger af, hvilke grundkomponenter der anvendes i systemet. Figur 5 viser systemkompleksiteten på overordnet niveau, hvor urea-dele kan udskiftes til for eksempel dieseldeler, hvis det er diesel, der skal anvendes som reaktant.

Der indledtes i Fase 1 et samarbejde med DTI, da det under forhandlingerne med ANL blev mere og mere klart, at det kunne blive en langtrukket proces. Det blev i foråret 2013 klart, at ANL havde store udfordringer – der kunne ikke skaffes coatingmateriale i ordentlig kvalitet, og der kunne ikke skaffes basiscoatingmateriale, og så var den ene leverandør ikke god nok længere og så videre. Derfor intensiveredes samarbejdet med DTI og nu DTU for at speede processen op og være klar til at analysere ANL DeNox-katalysatorerne, når de kunne leveres.



## 2. Projektets fase 2

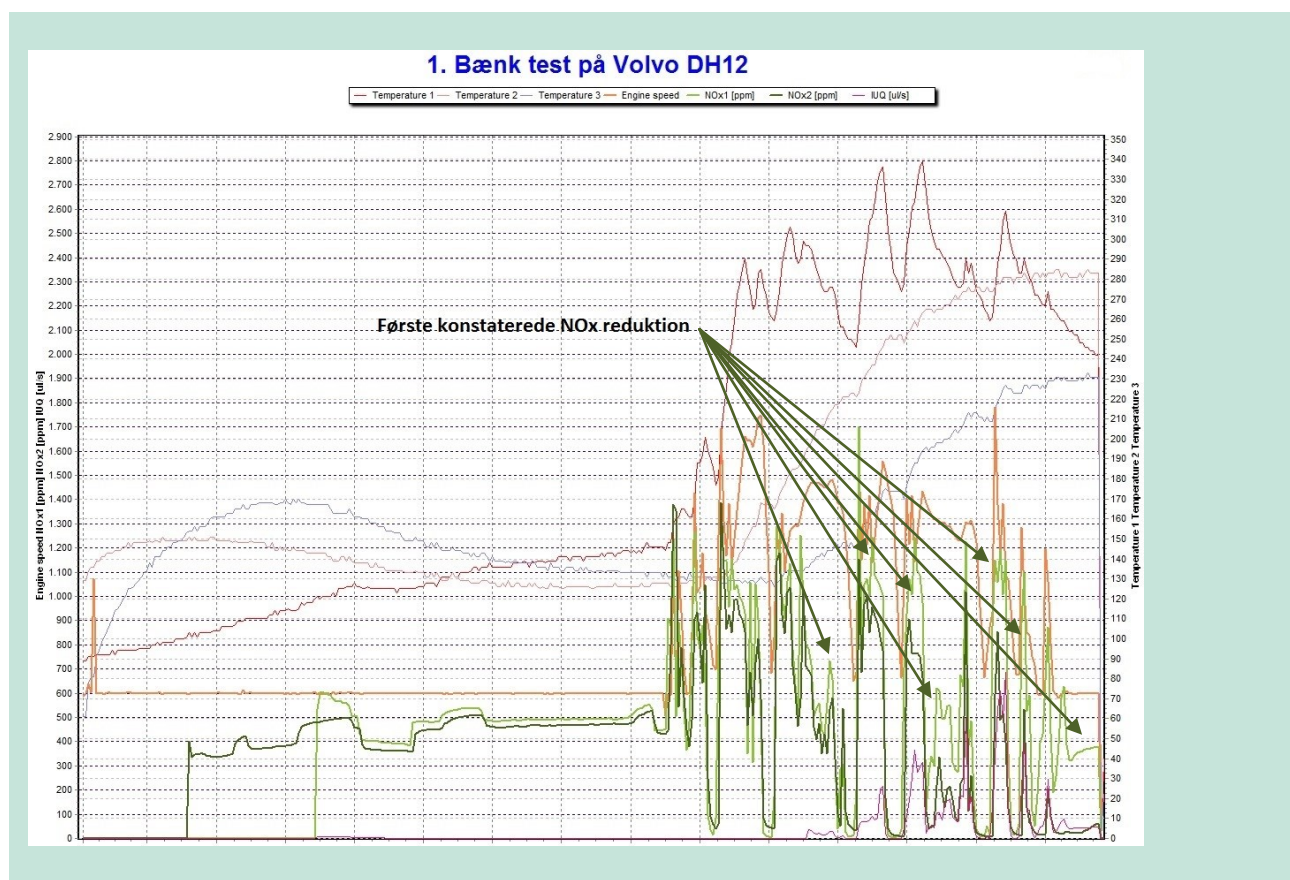
### 2.1 Fase 2-aktivitet: Validering af testresultater fra US-rapport eventuelt i samarbejde med TI

Teknisk dokumentation blev præsenteret for DTI og DTU med henblik på at få en vurdering af amerikanske patent og de kemisk-tekniske beskrivelser i DeNOx-dokumentation fra ANL. Argonne National Laboratorys "DeNOx overview", US patent "US7220692B2", "CastagnolaCatalToday2004" og "report 2003 829852"-dokumenter blev udleveret til DTI og DTU, som konkluderede, at katalysatoren uden at overskride US-patenter kan produceres i Danmark eller Europa, og coatingen burde være simpel at lave. Overstående dokumenter kan rekvireres ved henvendelse til Emicon Systems, [info@emisys.dk](mailto:info@emisys.dk) – de indgår IKKE som bilag i rapporten.

### 2.2 Fase-2 aktivitet: Egne bænktest

Uddannelse i systemsoftware blev gennemført på en testbænk på Davidoff Maskinfabrik, hvor konventionel SCR-teknologi blev anvendt, en teknologi som er lig den systemteknologi, der skal anvendes til HC-injektion. Reaktanten er ikke bestemmende for valg af styresystem.

Emicon Systems installerede i samarbejde med Davidoff Maskinfabrik en testbænk med en Volvo DH12, Euro-motor. En motor som var for stor til de katalysatorer, der var modtaget fra ANL. Volvo-motoren blev imidlertid anvendt til test og uddannelse i det valgte styresystem, som benyttede konventionel SCR-teknologi. Figur 6 viser de første opnåede NOx-reduktioner.



**FIGUR 6**

*NOx1 fra motor; lysegrøn kurve. NOx2 fra systemet; mørkegrøn kurve. Maks. reduktion fra 630 ppm til 20 ppm = reduktionsgrad 96 % v/230°C katalysator-temperatur og 280°C røggastemperatur.*

Forud for den første test gennemførtes en lang række motortests for at dels kalibrere motor og testbænk og dels for at få elektronikken korrekt monteret, der var en række ekstra sensorer, der skulle monteres på motoren, da motoren er en ældre model uden CAN-bus. Der blev således monteret sensor for omdrejninger og MAF-sensor for masseflow-registrering. Imidlertid medførte fejl på Volvo-motoren og det faktum, at den var for stor til ANL's katalysatorer, at vi flyttede test af ANL-katalysatoren til CPK-Automotive GmbH i Tyskland.

CPK-Automotive GmbH' ECU'en blev her valgt til at styre HC-injektion på basis af NOx- og temperatursensorers signaler. De aktuelle tests blev gennemført hos CPK, Münster, Tyskland 12. august-23. august 2013.

ECU'ens hovedprogram og hardware blev fastlagt – de endelige algoritmer skulle fastlægges /defineres, når den endelige testcyklus kunne køres med optimeret katalysator.

### 2.2.1 Dataopsamlingen fra to tests har vist følgende:

*Test, forsøg og afprøvning af DeNOx-katalysatoren blev gennemført hos CPK i Tyskland. CPK var på afprøvningstidspunktet en af Emicon Systems kendt leverandør af HC-injektionssystemer. CPK var i besiddelse af flere testmotorer og teknologi, der kunne afpasse flow og røggastemperatur til DeNOx-katalysatoren. CPK var ligeledes i gang med udvikling af NOx-reduktionssystemer baseret den styreenhed, som Emicon Systems var bekendt med.*

Første forsøg blev fortaget på en 0,5ccm motor, 3600 omdr./min.

Varmeforøgelsesenhed – dieselbrænder.

Temperatur 350°C.

Space Velocity blev beregnet til 15644 h<sup>-1</sup> (Argonnes DeNOX cat' SV-specifikation var ikke opgivet på dette tidspunkt).

Konstateret reduktionsgrad 65 %, dog med et voldsomt udslip af HC (hvid-røg og åbne flammer).

### 2.2.2 Definition af testapplikation 1.

Motor	Mass flow	Volumne flow	Udstødnings-temperatur	Omdrejninger
Yanmar generator				
	Kg/h	m <sup>3</sup> /h	°C	RPM
<b>v/max Torq</b>	116	97	400	3600

**TABEL 1**  
GRUNDDATA MOTOR 1

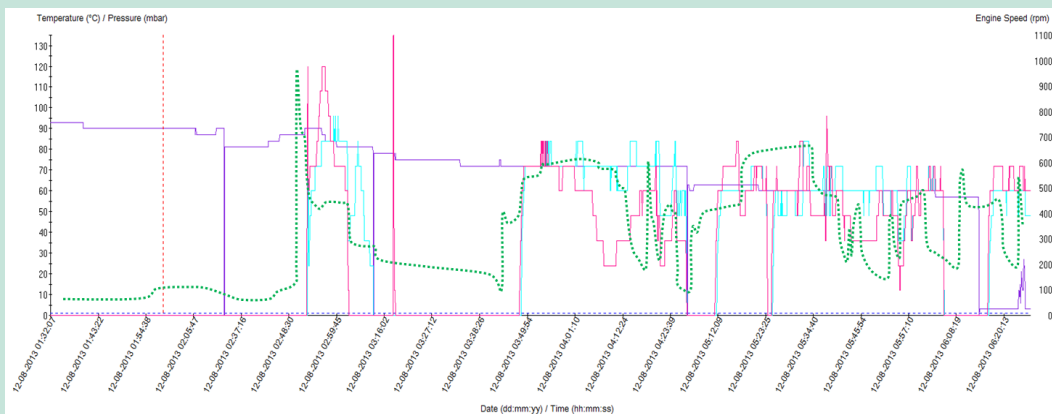
Motoren blev monteret med et 8,4 liter SiC 150 cpsi-partikelfilter foran ELN-katalysatoren. Motoren kunne ved egen hjælp generere cirka 150°C. Udstødningssystemet var derfor udstyret med en dieselbrænder, der havde kapacitet til at øge temperaturen til niveauer, der var planlagt at teste under:

Step 1. 250 til 260°C

Step 2. Minimum 350°C

- Setup Yanmar:
- CPK dieselbrænder
- Temperatursensor 1 efter brænder
- Emicon 8,4 L DPF
- OUT let modul med holder for injektor (2. position)

- Stålrør diameter 3" med holder for injektor (primær position)
- Nozzle (Danfoss 0,55, 80° indsprøjtningdyse)
- Brændstofpumpe, 0,063 ml. pr. pumpe slag
- Pumpe slag under test 0-5 Hz
- DeNox Catalyst inlet med:
- Temperatursensor 2
- NOx-sensor 1
- DeNox Catalyst outlet med:
- NOx-sensor 2



**FIGUR 7**  
NOX REDUKTIONSDIAGRAM TEST 1

- Figur 7 viser, at der på trods af ekstrem høj udstødningstemperatur ikke konstateres særlige NOx-reduktioner i testen.
- Mange ting gik galt i den første test på grund af det faktum, at motoren og testsystemet ikke var 100 % forenelige.
- En af konklusionerne er, at motoren ikke kunne skabe flow nok i den relative store rørdiameter på testsystemet.
- Pletter på katalysatorens (Billede 3) udløbsside tyder på, at gasflowet ikke var optimalt. Under en bestemt periode under testen oplevede vi en reduktion på cirka 65 % (måske ved hjælp af 20-30 % af katalysatorens kapacitet), som således antydede, at katalysatoren var aktiv.

Den sorte plet på katalysatoren antyder, at der har været en væsentlig overdosering af dieselolie i ikke ordentlig forstøvet form.

Den lyse ring på substratet antyder det område på substratet, som har ydet optimal NOx-konversion.

Begge disse markeringer på substratet antyder, at flowet før og i katalysatoren har været langt fra optimalt.



**BILLEDE 3**  
BESKADIGET KATALYSATORSUBSTRAT EFTER TEST 1

- Det blev besluttet at gentage testen på den oprindelige planlagte motor med nogle små ændringer på injektorplaceringen, forsøge at undgå flowforstyrrelser og gøre gas-flowet mere laminart samt forsøge at opnå optimal gas/diesel-miks foran katalysatoren.

- Under testen stod åbne flammer ud af katalysatoren, hvilket antydede, at ikke-effektivt forstøvet brændstof passerede katalysatoren og naturligvis for meget brændstof. Der blev ved lave pumpefrekvenser udledt en del hvid-røg (ikke oxideret dieselolie). Vi har ingen idé om, hvorvidt katalysatoren blev beskadiget af for meget brændstof eller for meget varme. Indblæsningstemperaturen til katalysatoren var 350-380°C, da katalysatorbranden opstod.
- NOx-sensor 1 blev placeret efter injektoren og synes at reagere på indsprøjtet brændstof.

### 2.2.3 Definition af testapplikation 2.

Motor	Masseflow	Volumenflow	Udstødnings-temperatur	Omdrejninger
Perkins 1004TG2				
	Kg/h	M <sup>3</sup> /h	°C	RPM
<b>Max Torq</b>	823	819	400	1500
<b>Max Effekt</b>	870	870	584	1500

TABEL 2  
GRUNDDATA MOTOR 2

- Placering af injektionsdysen blev ændret for opnåelse af bedre gas/dieselmiks.
- Afstanden mellem partikelfilter og katalysator blev øget med 1 meter i forsøg på at gøre gasflowet mere laminart.
- En ny katalysator 2 blev klargjort med et rørstykke uden hindringer i form af bøjninger, konusser og lignende.
- Denne applikation blev klargjort til at teste to forskellige injektionssystemer. 1, en ordinær forstøvningsdyse og 2, en vaporizer, som injicerer fordampet dieselolie.
- På denne testopstilling blev NOx-sensor 1 placeret direkte på motorens afgangsrør, og temperatursensor 2 blev placeret efter katalysatoren for at registrere katalysatoren faktiske temperatur.

Setup Perkins:

NOx sensor 1.

Temperatur 1.

Emicon 8,4 L DPF

For testcyklus 2 og 3. Stålrør diameter 3" med holder for injektor.

Dyse (Danfoss 0,55, 80° nozzle).

Brændstofpumpe; 0,063 ml. pr. slag.

Pumpeslag under test 0-5 Hz.

For testcyklus 4. Stålrør diameter 6" med holder for vaporizer.

Der er ikke aktuelle specifikationer for "vaporizer".

Brændstofpumpe; 0,063 ml. pr. slag.

Pumpeslag under test 0-5 Hz.

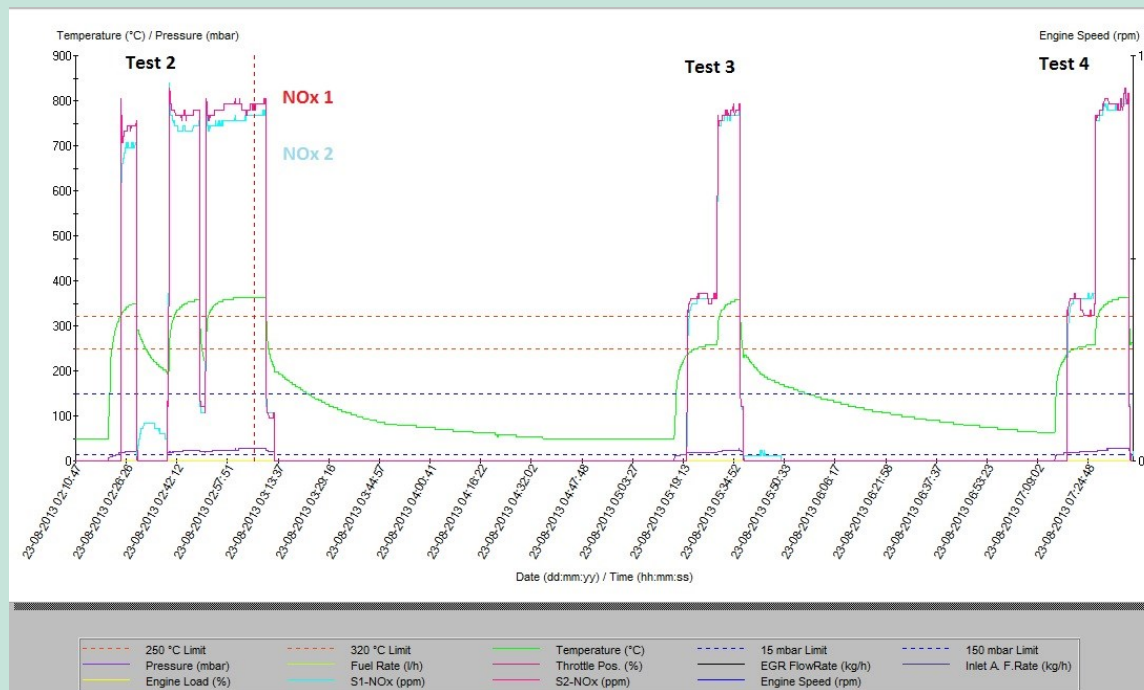
DeNox-katalysator inlet med:

Ingen sensorer.

DeNox-katalysator outlet med:

NOx-sensor 2.

Temperatursensor 2.



FIGUR 9  
NOx-REDUKTIONSDIAGRAM TEST 2, 3 OG 4

- Under testcyklus 2 (Figur 9), hvor samme katalysator anvendes som ved testcyklus 1, var der ingen reduktion. Den reduktion, der indikeres i diagrammet, skyldes at NOx-sensorerne kørte ukalibrerede. NOx-sensoren blev kalibreret inden test 3 og 4.
- Under test 3 med en ny katalysator var der ingen reduktion at spore. Der var masser af hvid-røg. Efter testen var der igen synlige pletter på katalysatorsubstratet.
- Under test cyklus 4 med vaporizer-injektionen var der en minimal reduktion:
- Medium belastning ved 260°C var der en reduktion på 9.6 til 12.9 %.
- Medium til høj belastning ved ca. 350°C var reduktion igen 0 % og en masse hvid-røg.
- Pletter på katalysatorsubstratet antyder, at en del af katalysatoren har været aktiv, cirka 30-40 %.

### 2.3 Fase 2-aktivitet: Kalibrering af system i samarbejde med ECU-leverandør

Det skulle besluttes, hvilket styresystem der skulle anvendes til Emicon Systems fremtidige NOx-reduktionssystem. Da DeNOx-katalysatoren ikke fandtes klar, hverken til effektive testforløb eller til produktion, valgtes det at fortsætte udvikling/uddannelse af styresystemet, hvor leverandørvalget blev meget aktuelt. Emicon System kunne ikke vente på, at en HC-baseret DeNOx-katalysator blev færdigudviklet, hvorfor en kendt SCR-ECU-leverandør blev valgt til at levere og supportere SCR-styresystemer til Emicon. Disse systemer kan kontrollere AdBlue og HC-injektion.

DEC, som har været leverandør på det urea-baserede system, leverer deres system med færdige algoritmer, der garanterer en minimumsreduktion på 70 % NOx under "normale" temperatur og driftsforhold. DEC-systemer leveres som "PLUG and PLAY".

CPK, som har leveret et testsystem med HC-injektion, havde kun deres system klart i en laboratorieopsætning og havde på testtidspunktet ikke referencesystemer aktivt kørende for NOx-reduktion. Der var således på testtidspunktet en del udviklingsarbejde at udføre, før CPK-systemet kunne være klar til produktion og on-road-test.

Emicon Systems tager derfor udgangspunkt i et fremtidigt samarbejde med DEC som leverandør af ECU'er til NOx-reduktionssystemer. DEC-system kan i sin grundform injicere hvilken som helst reaktant.

## 2.4 Fase 2-aktivitet: Supplerende måling

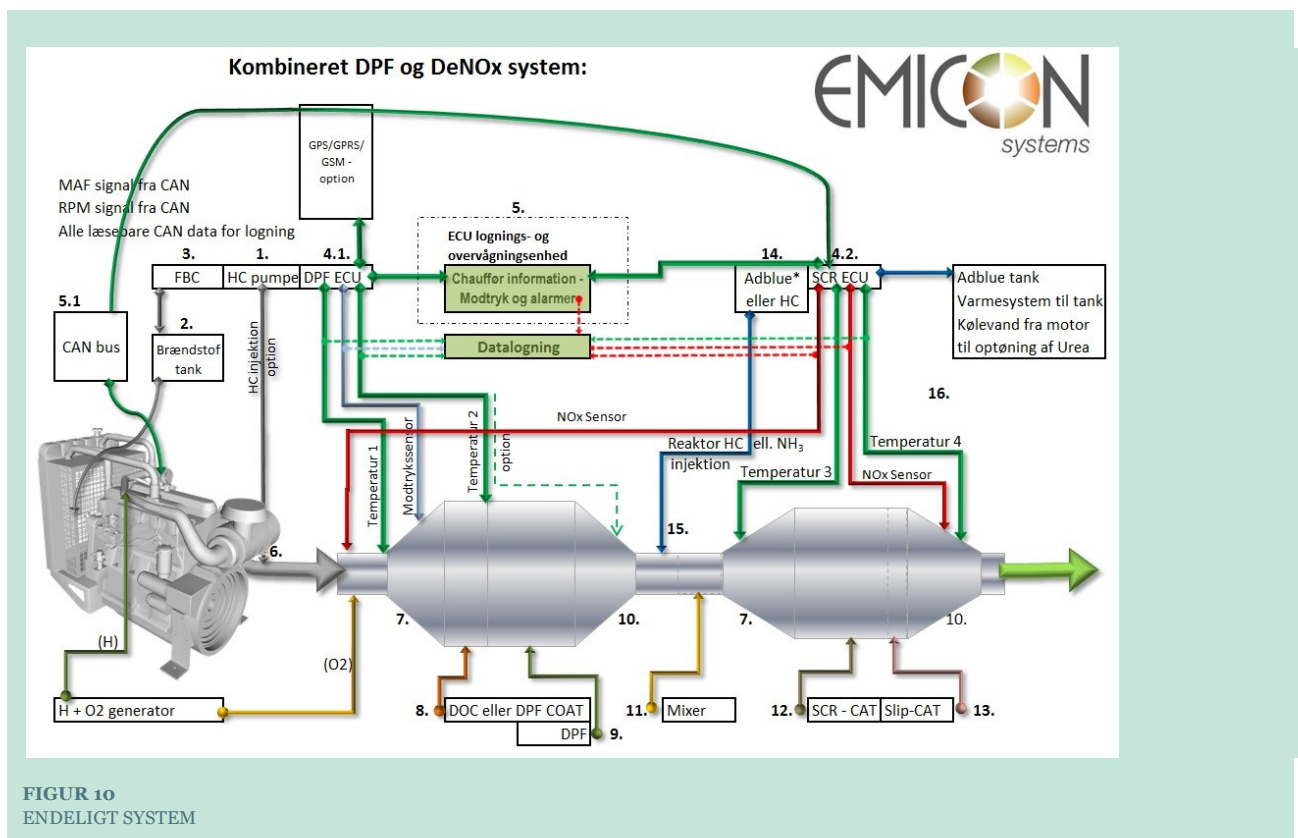
En godkendt projektændring betød, at en testunit etableredes hos DTU. Under kontrollerede forhold kunne DeNOx-katalysatorens reduktionsevne testes og effektiviseres.

På basis af aftale med DTU, punkt 1.10, blev DeNOx-test-uniten etableret og testet. Testuniten er således klar til at gennemføre test og udvikling af planlagte aktiviteter, som gennemføres i et kommende EuroStar-projekt.

## 2.5 Fase 2-aktivitet: Resultat og konklusion

De to testapplikationer vurderedes til at have bidraget til at dels finde det korrekte injektionssystem og dels bidraget med viden om, hvordan gas og indsprøjet reaktant mikses optimalt, inden det når katalysatoren. Ligesom forsøget viste, at alle ydre ståflader, som reaktanten kan komme i berøring med, skal isoleres effektivt, således der ikke kan ske en kondensering eller krystallisering på "kolde" ståflader.

Der var efter testen ikke tvivl om, at katalysatorerne fra Argonne National Laboratory ikke præsterer som forventet. Der startedes en afklarende dialog med Argonne National Laboratory, som ikke bragte os tættere på målet, og samarbejdet bringes til ophør, dog uden udsigt til at kunne returnere de ikke-brugbare katalysatorer.



FIGUR 10  
ENDELIGT SYSTEM

### 2.5.1 Emicon System funktionsskitse – fremtidige komplette system

De lysegrå tekstmarkerede dele er IKKE anvendt i testen.

- |                                                                                                                                          |                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 1. Dieselpumpe for DPF-aktiv regenerering (CPK-dieselbrænder valgt til test 1)                                                           | ✓                |
| 2. Brændstoftank med tilslutning til pumpe                                                                                               | ✓                |
| 3. Additiv doseringssystem for regenerering af DPF                                                                                       | -                |
| 4. °C 1, 2 og 3-ECU for kontrol af DPF- og/eller SCR-system – CAN buslæsning CPK                                                         | ✓                |
| 5. Systemovervågning – chauffør (overvåges online via computer)                                                                          | -                |
| 6. Datalogning                                                                                                                           | ✓                |
| 7. Indløbsmodul, der sikrer korrekt flow over katalysatorer og DPF                                                                       | ✓                |
| 8. Dieseloxydationskatalysator for NO <sub>2</sub> -øgning eller temperaturøgning                                                        | -                |
| 9. DPF – Katalytiske coatede for optimeret regenerering og SCR-funktion                                                                  | ✓                |
| 10. Udløbsmodul, der sikrer optimeret lydæmpning                                                                                         | ✓                |
| 11. Gasmixer og varmeveksler for optimeret gasmix og minimum varmetab                                                                    | ✓                |
| 12. SCR-katalysator Haldor Topsøe TiO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> katalysator/ANL DeNOx Cat                                             | ✓/*/-            |
| 13. Slipkatalysator for begrænsning af urea-slip                                                                                         | ✓                |
| 14. Urea-system/diesel injektionssystem for NO <sub>x</sub> -reduktion                                                                   | ✓/* <sub>1</sub> |
| 15. H <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> generator – H <sub>2</sub> for NO <sub>x</sub> -reduktion – O <sub>2</sub> for optimeret regenerering | * <sub>2</sub>   |

Systemdele, der skal udvikles/videreudvikles under pkt. 12 og 15, udvikles i samarbejde med partnerne i EuroStar-projektet. Systemdelene, der skal kalibreres, er dele, der allerede nu kan injicere dieselolie i programmerede mængder – der er en kalibrerings- og afprøvningsproces, som skal testes, kalibreres til opnåelse af optimal reduktion af NO<sub>x</sub>.

\* H<sub>2</sub>-katalysatorsubstrat og katalytisk coating skal videreudvikles i et kommende EuroStar-projekt.

\*<sub>1</sub> Dieselolieinjektion som reaktant for NO<sub>x</sub>-reduktion behøver kalibrering.

\*<sub>2</sub> H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>-generatoren videreudvikles i kommende EuroStar-projekt. Der behøves en mindre programændring i DEC-systemet, som kan udføres forholdsvis enkelt.

Ovenstående kan testes i den af DTU etablerede DeNO<sub>x</sub>-testunit.

# 3. Projektets fase 3 og 4

## 3.1 Projektændringer

Emicon Systems vælger, jævnfør aftale med MST, at sammenlægge fase 3 og 4, samtidig med at samarbejdet med DTU og DTI intensiveres.

Det var på dette tidspunkt i projektet klart, at Argonne-katalysatoren ikke virkede til det formål, Emicon Systems havde tænkt at benytte katalysatoren til, og dermed afsluttedes ressourceforbruget i forhold til flere undersøgelser og test af denne katalysator.

Per Møller fra DTU har brugt en del ressourcer på idégenerering og inspirationsdialoger med udenlandske kolleger. Der blev afholdt flere møderækker, hvor det blev drøftet, hvordan vi kan finde frem til en katalysator, som kan leve op til Emicon Systems krav.

Det blev derfor i samråd med Lars Pleth (DTI) og prof. Per Møller (DTU) besluttet at gennemføre nogle laboratorieforsøg med måling på forskellige sammensætninger af egnede materialer for derigennem at få en ny coating, der giver en betydelig større reduktion af NO<sub>x</sub> ved lavere temperaturer end det amerikanske patent og i tillæg en højere Space Velocity. Både Per Møller og Lars Pleth mente, det var realistisk at finde en coat, der kunne virke i forhold til den oprindelige målsætning, og en coat, der var til at arbejde med i forhold til produktionen af selve katalysatoren. Dette ville gøre os helt uafhængige af Argonne og ville antagelige medføre, at der kunne rejses nye patenter.

DTU konstruerede således en laboratorietestunit, som havde til formål at teste forskellige metallers påvirkning på NO<sub>x</sub> under forskellige temperaturforhold. (Se Bilag 3. DeNO<sub>x</sub> project report DTU).

Der arbejdedes på en idé, hvor dieselolie anvendes til at skabe H<sub>2</sub> og O<sub>2</sub>, som føres ind i gasstrømmen over en speciel H<sub>2</sub>-katalysator. DTU har påvist, at der kunne opnås en 60 % reduktion af NO<sub>x</sub> med 5 % H<sub>2</sub>-flow ved 120-180°C. (Se Bilag 3 DeNO<sub>x</sub> project report DTU).

Det blev således påvist, at et unavngivet amerikansk firma kan levere en katalysator, der er særdeles aktiv i forhold til NO<sub>x</sub>-reduktion ved brug af H<sub>2</sub> som reaktant. Dette er pt. kun påvist i en foreløbig testopstilling, som har til formål at bevise, at testopstillingen fungerer.

For produktionsmodning af denne katalysator, og det gælder både katalysatorsubstrat og katalysatorcoating, blev der søgt udviklingsmidler via EuroStar, hvor Emicon Systems sammen med IPU, Elplatek og SP Technical Research Institute of Sweden søgte om tilskud fra EUopStart til EuroStar-ansøgningen. Der afventes svar på denne ansøgning til februar 2015. I dette projekt skal der udvikles en H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>-generator, som kan anvendes til tunge køretøjer, hvor H<sub>2</sub> anvendes som reaktant for NO<sub>x</sub>-reduktion. Grundreaktanten er dieselolie, som via lufttilførsel og katalytiske processer i en H<sub>2</sub>-generator deler HC op i H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>/CO.

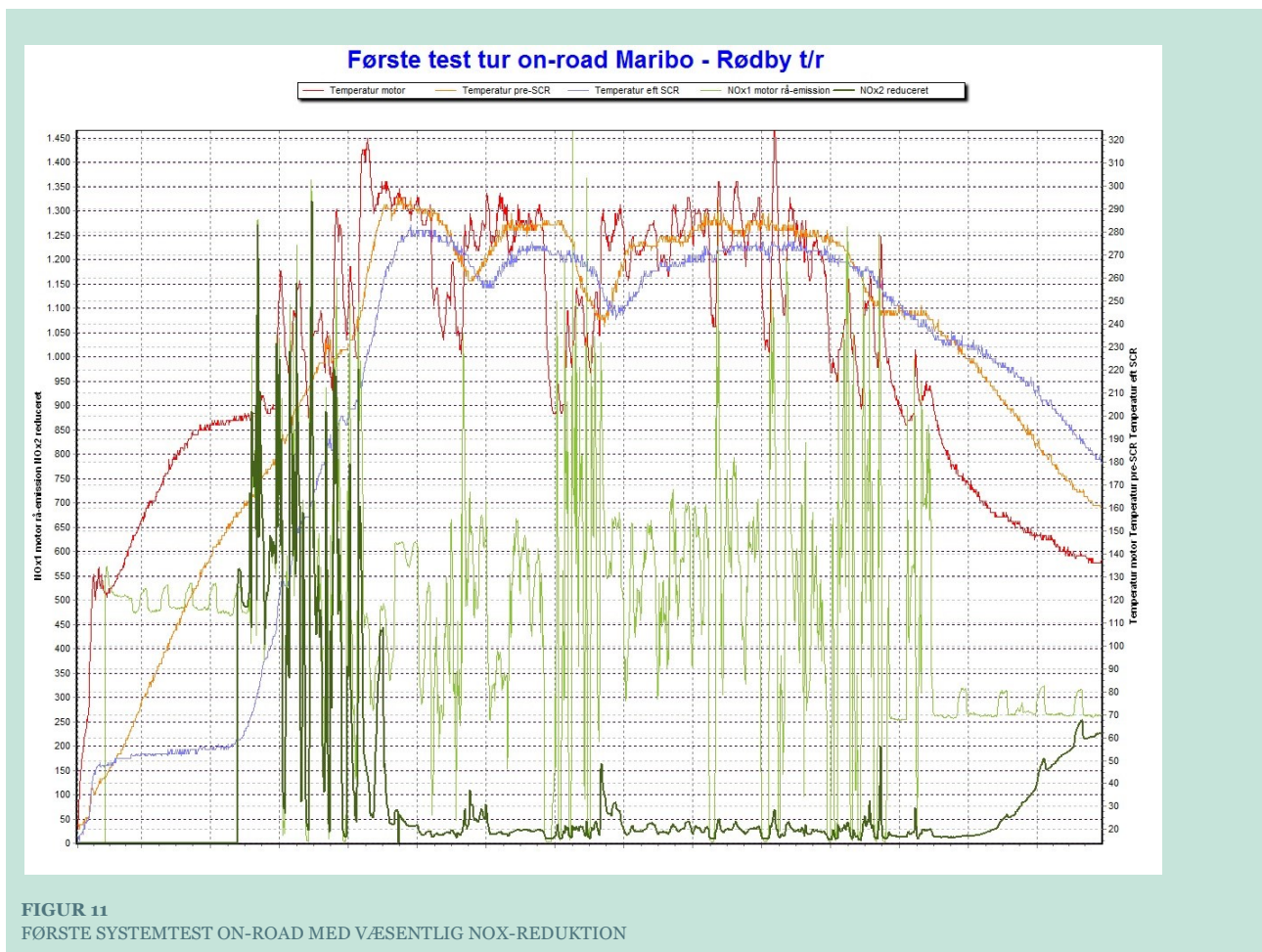
Emicon System er blevet aktive på markedet for NO<sub>x</sub>-reduktionssystemer baseret på ordinær SCR-teknologi, som er den samme grundteknologi, der skal anvendes, når dieselinjektionsystemet bliver færdigudviklet.



### 3.2 Fase 3- og 4-aktivitet: Fieldtests i samarbejde med danske kunder/flådeejere

Fieldtests blev gennemført på Volvo DH12 Bus Euro 5, Scania DC9 EEV og på Scania DC 9 Euro 4. Emicon System fik i starten og midten af 2014 flere busser til rådighed for tests. Emicon System fik således testet følgende udstyr i fieldtests:

- Triangulær Assymetrisk SiC 200 cpsi-partikelfilter, som kræver mindre varmeenergi til opvarmning på grund af mindre masse (varmekatalysator for SCR-funktion).
- Haldor Topsøe TiO<sub>2</sub> SCR-katalysator.
- Varmeveksler/gasmikser-system for optimal blanding af reaktant og udstødningsgas – et MUDP-genereret design.
- Test, afprøvning og erfaringsopbygning med DEC ECU-systemet – et MUDP-genereret systemvalg. Data fra den første test og afprøvningstur er vist i Figur 11.



FIGUR 11  
FØRSTE SYSTEMTEST ON-ROAD MED VÆSENTLIG NOX-REDUKTION

### **3.3 Fase 3- og 4-aktivitet: Fieldtests via kontakter i England, Buses Company, Birmingham area**

*Forsinkelsen af udviklingen af DeNOx-katalysatoren medførte, at Emicon Systems i udviklingen/uddannelsen i DEC ECU-systemet er blevet kompetente i ordinære SCR-systemer, hvorfor det blev muligt at byde på flere udbud i England i samarbejde med en tidligere udpeget samarbejdspartner.*

Der blev indgået en aftale med en engelsk samarbejdspartner (RWT), som var meget interesseret i at samarbejde omkring test og afprøvning af NOx-reduktionssystemer hos nogle af de busselskaber, som RWT har som nuværende kunder. Dette blev ikke gennemført grundet de udfordringer, der har været med katalysatorsubstratet. Aftalen og samarbejdet med RWT er stadig aktivt, og Emicon. RWT har således været involveret i tre UK-udbudsrunder, Leeds, Manchester og senest Dudley.

### **3.4 Fase 3- og 4-aktivitet: Dataopsamling i testprotokol**

*Dataopsamling af DeNOx-reduktionsdata blev begrænset til en meget lille mængde data, der dog er nok til at konkludere, at katalysatoren ikke fungerede. Udviklingen af ECU-systemet har leveret enorme mængder erfaringsdata.*

Dataopsamling i forhold til ANL DeNOx-katalysatoren har ikke været hverken relevant eller mulig, fordi det ikke lykkedes at gennemføre et fuldt testforløb.

I forhold til det urea-baserede testsystem ligger Emicon Systems inde med 2,3 GB logdata fra tre køretøjer. Der er for hvert køretøj oprettet en logbog, hvor fejl registreres, og korrigerende handling beskrives.

### **3.5 Fase 3- og 4-aktivitet: Konstruktionsgranskning, risikovurdering og datavalidering**

Gennem projektet har der løbende været dialoger med DTU og DTI i forhold til, hvordan vi hurtigt og mest effektivt kunne komme i gang med at anvende dieselreaktanten som oprindelig planlagt. Konklusionen blev, at det var nødvendigt at opstarte et særskilt projekt til udvikling af et prisbilligt, effektivt og konkurrencedygtigt produkt.

Emicon Systems har oparbejdet kompetencer og erfaring med NOx-reduktionssystemer og et meget massivt erfaringsgrundlag, idet data fra tre køretøjer er blevet fulgt og analyseret konstant i perioden. Der er stadig risiko for fejl i systemet, idet test og kalibreringer gennemføres i forhold til kørsels- og årstidsvariationer.

### **3.6 Fase 3- og 4-aktivitet: Undersøgelse af, om og hvordan produktet/løsningen kan godkendes hos TÜF, LeZ, DK, SE, VERT mv.**

Der er på nuværende tidspunkt ”Principgodkendelsesordning for kombinationssystemer til tunge køretøjer, som reducerer partikler og NOx” i Danmark til opgradering af Euro 1, 2, og 3 til Euro 4, som kræver ”FIGE Heavy Duty Vehicle Cycle”-test, der skal dokumentere maks. 3,5 g/kWh NOx-udledning. Der er ikke aktive godkendelsesordninger for NOx-reduktionssystemer i Europa.

### **3.7 Fase 3- og 4-aktivitet: Konkret godkendelsesplan udarbejdes for de markeder og markedssegmenter, Emicon arbejder med**

*Der findes i projektføreløbet ikke specifikke internationale godkendelsesordninger for NOx-reduktionssystemer. Der er en udvidet dansk principgodkendelsesordning på vej i forhold til opgradering af Euro 4, Euro 5 og EEV-køretøjer, hvor en WHVC-testcyklus, koldstart/varmstart skal ligge til grund for en godkendelsesudstedelse. Yderligere skal udledningsniveauet dokumenteres ved lav belastning jævnfør ”Millbrook London Transport Bus Drive Cycle”.*

Emicon Systems vælger, i det omfang det er muligt, at gennemføre godkendelsestest, når der er mulighed for, at kunden selv finansierer en eventuel godkendelse.

### **3.8 Fase 3-og 4-aktivitet: Vurdering af, om opdatering af Emicons ISO900-system er dækkende for dels at registrere, fastholde og dokumentere de gældende godkendelseskrav, der er fra godkendelsesudstederne**

Der er ikke knyttet kommentarer til dette, idet vi i projektperioden har gennemført to audit udført af DNV – ligesom der i perioden er gennemført to audit af MV Consulting på vegne af TFL (Transport for London), som er godkendelsesudsteder for Emicon Systems LeZ-certifikat.

### **3.9 Fase 3- og 4-aktivitet: Konstruktionsgranskning**

De gennemførte fieldtests har vist et godt reduktionsniveau, ganske vist med brug af urea. Det testede system er ikke kun dedikeret til urea, men kan konverteres til HC som reaktant.

Gennem andre projekter, "luftpakken", mener "projektledelsen", at der kommer stor international opmærksomhed på dette danske projekt, hvorfor det kan forventes, at den danske "principgodkendelsesordning" bliver bredt accepteret. Emicon Systems forholder sig afventende og skeptisk over for denne forventning, fordi kravene i ordningen på punkter ikke lever op til de internationale standarder/krav omkring partikelfilterdelen i kombinationssystemerne.

# 4. Projektets fase 5

Instruktioner (se Bilag 4) og servicevejledninger (se Bilag 5) er færdiggjort i fase 5 – instruktioner er på engelsk og er under oversættelse til dansk.

## 4.1 Fase 3- og 4-aktivitet: Identifikation af markeder – afhængig af licensforhandlinger med licensudstederen

Markedsidentifikationen har været en udfordring, fordi der ikke, før end ved projektafslutningen, har været entydige godkendelsesordninger og krav til opdateringer af den eksisterende bilpark. Ved projektafslutningen er der godkendelsesordninger på vej i Danmark, der er godkendelsesordning i England, og senest er vi blevet bekendt med, at der er godkendelsesordning i Sverige.

Afhængigheden af licensudstederen er ikke relevant, da ANL DeNOx-katalysatoren ikke tænkes anvendt i Emicon Systems regi.

Der er i Emicon Systems valg af ECU-leverandør nogle få markedsbegrænsninger, som endnu ikke har været mulige at identificere. Men DEC er som ECU-leverandør meget forsigtige med at tilbyde deres systemer til markeder, hvor der i forvejen er DEC-repræsentanter. Der er ikke tvivl om, at Emicon Systems deltagelse i MOVIA<sup>1</sup>-projektet har medført en vis international opmærksomhed. Emicon Systems foretager ikke nogen målrettede markedsføringsindsatser, før vi har endelige danske godkendelser på plads.

Identifikation af markeder:

Danmark	Principgodkendelsesordning for kombinationssystemer til tunge køretøjer, som reducerer partikler og NOx niveau	NOx 3.5 g/kWh – PM Euro 4-
Danmark	Afventer ny principgodkendelsesordning	NOx 1g/kWh – PM Euro 6-niveau
Sverige	Godkendelsesniveau Euro 5	DTI-testdokumentation accepteres
Norge	Potentiale inden for skinnekørende materiel	Ingen nuværende kendte regelsæt
England	Godkendelsesniveau ukendt	Millbrook London testcycle
Tyskland	Afv. anerkendelse af DK principgodkendelse	Ingen nuværende kendte regelsæt
Spanien	Afv. anerkendelse af DK principgodkendelse	Ingen nuværende kendte regelsæt
Italien	Afv. anerkendelse af DK principgodkendelse	Ingen nuværende kendte regelsæt
Frankrig	Afv. anerkendelse af DK principgodkendelse	Ingen nuværende kendte regelsæt
Øvrige Europa.		

Med ingen kendte regelsæt menes der ingen godkendelsesordninger. Der er selvfølgelig regler for arbejdsmiljø for lukkede områder som lagerhaller, miner og lignende. Det er muligt at opgradere en motor til et andet Euro- eller Stageniveau, hvor test og godkendelse sker jævnt før gældende regler om brug af anerkendte testcyklusser.

Der er lokale specifikke krav til NOx-reduktion i forskellige europæiske byer, hvor der til stadighed forespørges om emissionsreduktion på nødstrømsgeneratorsæt.

<sup>1</sup> MUDP-projekt: Opgradering af efterbehandlings-systemer på Movias Euro IV, Euro V og EEV busser (<http://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2015/nov/miljoeprojekt-nr-1795-2015-opgradering-af-efterbehandlings-systemer-paa-movias-euro-iv-euro-v-og-eev-busser> )

#### **4.2 Risikovurdering samt vurdering af, hvilke godkendelsesudstedere der dækker markeder, som Emicon finder størst muligheder på**

Det er i de danske krav beskrevet, at partikelfilteret ikke må have et højere udledningsniveau end Euro 6, eller filteret i kombinationssystemet skal i forvejen være principgodkendt i Danmark. Det er lige præcis den gamle filterprincipgodkendelse, der gør, at den internationale anerkendelse af den nye principgodkendelsesordning for kombinationssystemer kan risikere at udeblive. Hvorvidt kravet om maks. NO<sub>x</sub>-udledning på 1 g/kWh i WHVC- eller Millbrook-test accepteres internationalt, må tiden vise.

Emicon forholder sig afventende i forhold til den danske principgodkendelsesordning, hvorvidt der kan opnås international anerkendelse af denne, særligt på det europæiske marked, som er Emicon Systems primære markedsområde. Ellers er de europæiske godkendelsesudstedere:

TÜF	Dækker Tyskland og det øvrige Europa og på sigt også USA
VERT	Dækker det meste af Europa – dog ikke Tyskland
TSFS 2012:XX	National svensk godkendelsesordning
Principgodkendelsesordning	National dansk godkendelsesordning

De nationale godkendelsesordninger er ikke internationalt anerkendt.

Akkrediterede testcentre kan benyttes, men der er ikke en rød tråd, der tilkendegiver, hvilken testcyklus der skal anvendes – det kan være Millbrook- eller WHVC-testcyklusser som dem, der anerkendes i Danmark.

#### **4.3 Fase 3- og 4-aktivitet: Valg af markedssegmenter – afhængig af licensforhandlinger med licensudstederen**

*Markedssegmentvalget står åbent. De aktuelle markedssegmenter, der arbejdes med pt., er busser og tunge køretøjer.*

Afhængigheden af licensudstederen er ikke relevant, da ANL DeNO<sub>x</sub>-katalysatoren ikke tænkes anvendt i Emicon Systems regi.

Pt. arbejdes der på bussegmentet, som også produktmæssigt dækker markedet for tunge køretøjer. Emicon Systems arbejder uden for MUDP-projektet på OE-system ikke-vejkørende maskiner (off-road).

Emicon System har valgt at satse på landbaserede maskiner:

On-road	Busser, lastbiler.
Off-road	Skinnekørende materiel, entreprenørmaskiner, mobile generatorer og kompressorer.
Gen-set	Generatorer er et interessant marked, som Emicon Systems vil arbejde sig ind på. Der er her typisk tale om meget store anlæg, som omsætningsmæssigt er meget interessante.

#### **4.4 Fase 3- og 4-aktivitet: Udarbejdelse af markedsføringsmateriale (der søges ikke tilskud hertil)**

Emicon System har indtil videre udarbejdet en simpel folder, men vigtigst har vi ændret og opdateret vores hjemmeside – der arbejdes stadig på hjemmesideudviklingen.

#### **4.5 Fase 3- og 4-aktivitet: Udarbejdelse af instruktioner og vejledninger**

*Til det nuværende emissionssystem har Emicon Systems i projektet løbende defineret instruktioner og servicevejledning på dansk og på engelsk, således at systemet er klar til salg, så snart relevante godkendelser udstedes. Instruktioner og servicevejledninger er udarbejdet løbende, samtidig med Emicon Systems og leverandøren har gennemgået og programmeret ECU'erne.*

Der er udarbejdet instruktioner (Se bilag 4) og servicevejledninger (Se bilag 5) for Emicon Systems kombinationssystem (pt. Bilag 5 kun på engelsk).

De danske instruktioner er under oversættelse.

#### **4.6 Fase 5-aktivitet: Gennemgående aktivitet – projektledelse og formidling**

*Emicon Systems har i projektet ikke vurderet, at der har været behov for formidling om produktet, idet der ikke foreligger en endelig godkendelse – der har dog været videreformidlet informationer om projektet ved et par lejligheder.*

De gennemgående aktiviteter i projektet har primært været den fortløbende dialog med Argonne National Laboratory og efterfølgende dialog med DTU og DTI om udviklingen af selve katalysatorsubstratet og den katalytiske coat, der skal kunne reducere NOx ved anvendelse af diesellole som reaktant.

Emicon Systems har via CAPNOVA (tidligere CAT-LINK) to gange oplyst om projektets fremdrift og resultater.

På Emicon Systems hjemmeside informeres der i begrænset omfang om NOx-reduktionsresultater på konkrete køretøjer.

#### **4.7 Fase 5-aktivitet: Projektledelse faglig**

Den faglige projektledelse har været påtaget af projektleder Per Monberg, Emicon Systems.

#### **4.8 Fase 5-aktivitet: Projektledelse over for MST**

Grundet travlhed har der i projektforsløbet været uddelegeret kontaktansvar ud til koordinator Peter Herman Malm, Davidoff Maskinfabrik.

#### **4.9 Fase 5-aktivitet: Kvalitetssikring**

Emicon System har i projektperioden arbejdet med kvalitetssikringen jævnfør vores kvalitetshåndbog. I alt fire audits har været gennemført i projektperioden uden bemærkninger til vores håndtering af projekter.

#### **4.10 Fase 5-aktivitet: Formidling**

Formidling sker via indeværende rapport, Emicon Systems hjemmeside, foldere samt instruktioner og servicevejledninger.

## Forkortelser:

AdBlue/urea	AdBlue produceres af en urea-opløsning af meget høj renhed. Urea fremstilles ved syntese af ammoniak og CO <sub>2</sub> (kuldioxid).
CAN-bus J1939	Er køretøjets netværk, der i praksis anvendes til kommunikation med og diagnose af køretøjets komponenter.
CO	Kulilte – som er en af de fire vigtigste normregulerede emissioner.
De-NO <sub>x</sub>	Markedsføringsnavn for NO <sub>x</sub> -reducerende katalysatorer, der anvender HC som reaktant.
DOC	Diesel Oxidation Catalyst (diesel-oxidations-katalysator).
DPF	Diesel Partikel Filter.
ECU	Electronic Control Unit (elektronisk kontrol-enhed).
Environmental Impact	Et Emicon Systems program, der kan anvendes til at beregne totale emissionstal for hele bil- eller maskinparker.
Euro 1, 2, 3, 4, 5, EEV	Den gældende europæiske emissionsnorm (standard) for regulering af CO, HC, NO <sub>x</sub> og PM – nuværende gældende niveau er Euro 6.
FIGE	En ikke standardiserer ETC-testcyklus for test (kontrol og godkendelse) af emissionsudledninger fra diesekøretøjer.
H <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> -generator	Brint- og iltgenerator, som ved hjælp af elektrolytiske processer og atmosfærisk luft adskiller HC til H <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> og O <sub>2</sub> .
HC	Også CH, som er hydro carboner, i rapporten diesololie.
Katalytisk coat	En metalbelægning på et metal- eller keramisk substrat, som igangsætter nogle katalytiske processer i dieseludstødningen, som konverterer farlige emissioner til mindre farlige emissioner.
kWh	kWh (kilowatttime) anvendes i rapport ifm., at dieselemisionernes grænseværdier er udtrykt i gr. pr. kilowatttime.
NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub> er nitrogenoxidforbindelser, især i denne forbindelse NO (NitrogenOxid) og NO <sub>2</sub> Nitrogendioxid.
"On-board"	Refererer til funktioner eller dele, der er monteret på et køretøj.
PM	Particulate Matter (sodpartikler).
Regenerering	Et partikelfilters egenrensningsproces, hvor sodpartikler oxideres eller "brændes af".
SCR	SelectiveCatalyticReduction (selektive katalytisk reduktion) for NO <sub>x</sub> -reduktion.
SV	SV = Space velocity = et udtryk for en gas' opholdstid i en katalysator.
WHVC	WorldHarmonizedVehicleCycle. Anerkendt testcyklus for test (kontrol og godkendelse) af emissionsudledninger fra diesekøretøjer.
"Luftpakke"	149 mio. kroner afsat på Finansloven 2015 til at bekæmpe luftforurening i Danmark i perioden 2015-17. Indsatsen er rettet mod tre vigtige kilder til luftforurening i Danmark – busser skibsfart og brændeovne: <a href="http://mst.dk/media/mst/9410405/ren_luft_faktaark_final_samlet_juni.pdf">http://mst.dk/media/mst/9410405/ren_luft_faktaark_final_samlet_juni.pdf</a>

# Referencer

Argonne National Laboratory	”DeNOx overview” v/ Christopher Marshall
Argonne National Laboratory	”US patent “US7220692B2”
Argonne National Laboratory	”CastagnolaCatalToday2004”
Argonne National Laboratory	”report 2003 829852”,
DTU	Analyse af ”Argonne Univercity” katalysator v/Per Møller og Lars Pleth
DTI	Analyse af ”Argonne Univercity” katalysator v/Per Møller og Lars Pleth
TI, WHVC-test, Ti, Aarhus	v/Kim Winter
DTI, licensforhandling	v/Rasmus Offersen
WHVC test cycle	<a href="http://www.dieselnet.com/standards/cycles/whtc.php">http://www.dieselnet.com/standards/cycles/whtc.php</a>
Hypercat-acp	v/Sales & Marketing Manager, Kathy Bynum
CPK	v/Director Claas Löffler
DEC	v/Director Kris Van Muellem
Emitec	v/Teknisk salg, Ernst Bjerregaard
MOVIA Projekt	v/Projektleder, René Bauer





TEKNOLOGISK  
INSTITUT

UM 94 114

# Emissionsmålinger på bus



**Titel:**

Emissionsmåling på bus

**Udarbejdet for:**

Emicon Systems ApS  
V. Kolbyes Vej 13  
4930 Maribo

**Udarbejdet af:**

Teknologisk Institut  
Teknologiparken  
Kongsvang Allé 29  
8000 Aarhus C  
Transport og Elektriske Systemer

November 2014

Forfatter: Kim Winther

Ordre nr. 619941

## Indholdsfortegnelse

1. Målemetode.....	4
2. Udstyr.....	5
3. Resultater .....	6
4. Grafer .....	7

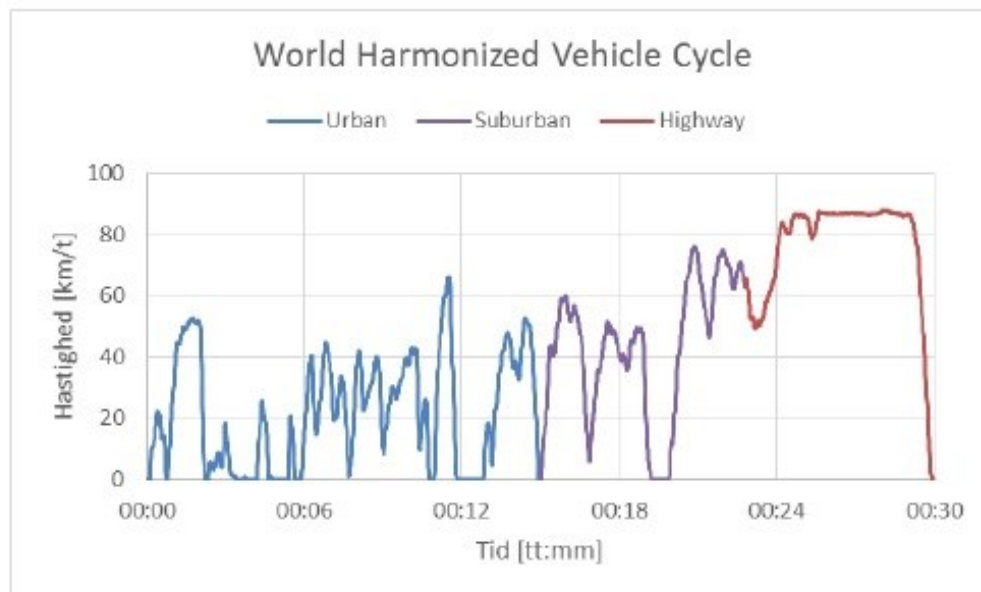
## 1. Målemetode

Målingerne blev udført på et lastvognsdynamometer/rullefelt som tilfører en køretøjsspecifik belastning afhængigt af aktuell hastighed og acceleration.

De anvendte køretøjsspecifikke koefficienter inklusive transmissionstab er:

Inertimasse	m	14140 Kg
Koefficient	a	1100 N
Koefficient	b	0 N/(km/h)
Koefficient	c	0,206 N/(km/h) <sup>2</sup>

Den anvendte kørecyklus var World Harmonized Vehicle Cycle (WHVC) som er en tilnærmelse af Euro VI typegodkendelsen (WHTC). Testen er udført både med kold og med varm motor.



## 2. Udstyr

Følgende prøvningsudstyr blev anvendt.

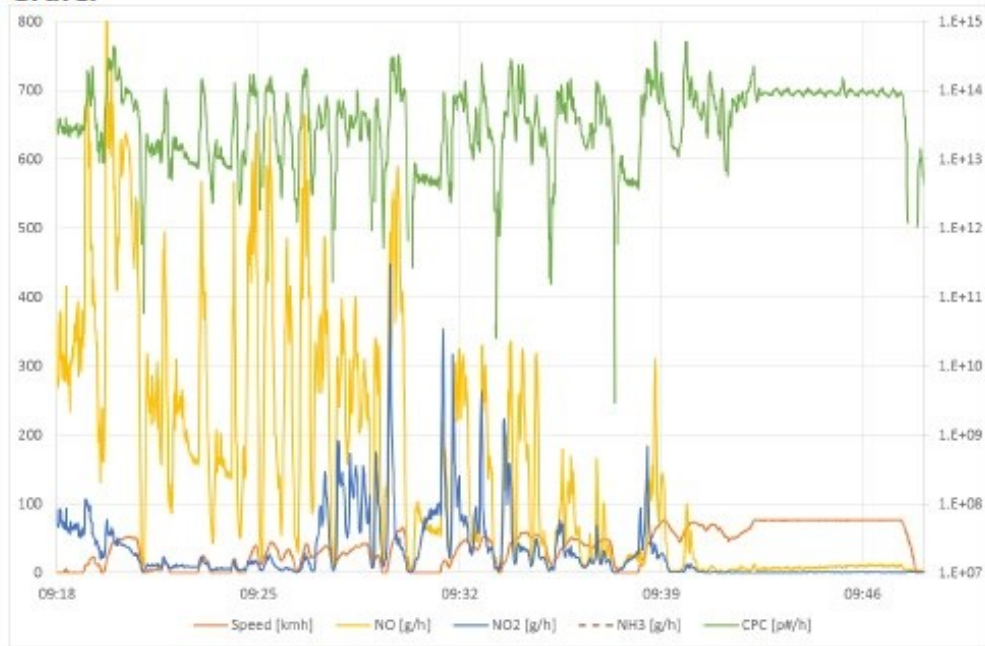
Component	Producent	Model	Type	Område	Usikkerhed
Dynamometer	AHS	ELP 500 A/D	Eddy current	0-500 kW	$\pm 2$ s $\pm 2$ km/h
Udstødningsgas	Antaris	IGS	FTIR	Raw Diesel Exhaust Calibration	$\pm 1,5$ %
Luftmængde	Bosch	0280217801	Hotwire	0-1500 kg/h	$\pm 2$ %
Dæktemperatur	Infrapoint	IMS-300-u	IR	0-300°C	-
Temperatur	RS Components	Type K	Termoelement	0-800°C	-
Datalogger	Agilent	34970A	Analog	0-10V	-
Vejrstation	Rosenborg	68700	-	-	-

### 3. Resultater

Resultaterne ses i nedenstående skema. For at muliggøre sammenligning med Euro VI krav er visse værdier angivet i [g/kWh]. Mekaniske tab fra hjul, ruller og transmission er inkluderet i det samlede arbejde [kWh].

	WHVC Cold	WHVC Warm	WHVC Weighted 14/86	EEV ca.	Euro VI
Duration [hh:mm:ss]	00:30:25	00:30:00	-	-	-
Distance [km]	19.3	19.3	-	-	-
Speed [kmh]	38.0	38.5	-	-	-
Engine load [kW]	31.5	31.8	-	-	-
Air flow [kg/h]	384	385	-	-	-
Ammonia [ppm]	1	13	-	-	-
CPC [p#/h]	6.0E+13	5.7E+13	-	-	-
Fuel flow [kg/h]	11.4	10.5	-	-	-
CO2 [g/h]	36,017	33,376	-	-	-
CO [g/h]	1	0	-	-	-
C3H8 [g/h]	7	6	-	-	-
CH4 [g/h]	0	0	-	-	-
CO2 eq. [g/h]	598	1,450	-	-	-
NOx [g/h]	253.1	7.0	-	-	-
NO [g/h]	152.5	4.6	-	-	-
NO2 [g/h]	31.4	0.2	-	-	-
N2O [g/h]	2.0	4.7	-	-	-
NH3 [g/h]	0.3	3.9	-	-	-
CO2 [g/km]	948	867	-	-	-
BSFC [g/kWh]	360	331	-	331	-
Diesel [l/100km]	35	32	-	40	-
CO [g/km]	0.0	0.0	-	-	-
CO [g/kWh]	0.0	0.0	-	-	4.0
THC [g/km]	0.2	0.2	-	-	-
THC [g/kWh]	0.2	0.2	-	-	0.16
NO [g/km]	4.0	0.1	-	-	-
NO2 [g/km]	0.8	0.0	-	-	-
NOx [g/km]	6.7	0.2	1.1	4.5	-
NOx [g/kWh]	8.0	0.2	1.3	-	0.46
Ratio NOx-CO2 [g/kg]	7.0	0.2	-	-	-
CO2 eq. Per CO2 [%]	0.02	0.04	-	0	-
Pn [# /km]	1.6E+12	1.5E+12	-	8.5E+13	-
Pn [# /kWh]	1.9E+12	1.8E+12	-	-	6.0E+11
Engine load [kWh/km]	0.8	0.8	-	1	-
Engine efficiency [%]	24	26	-	32	-

#### 4. Grafer



Figur 1: WHVC Kold

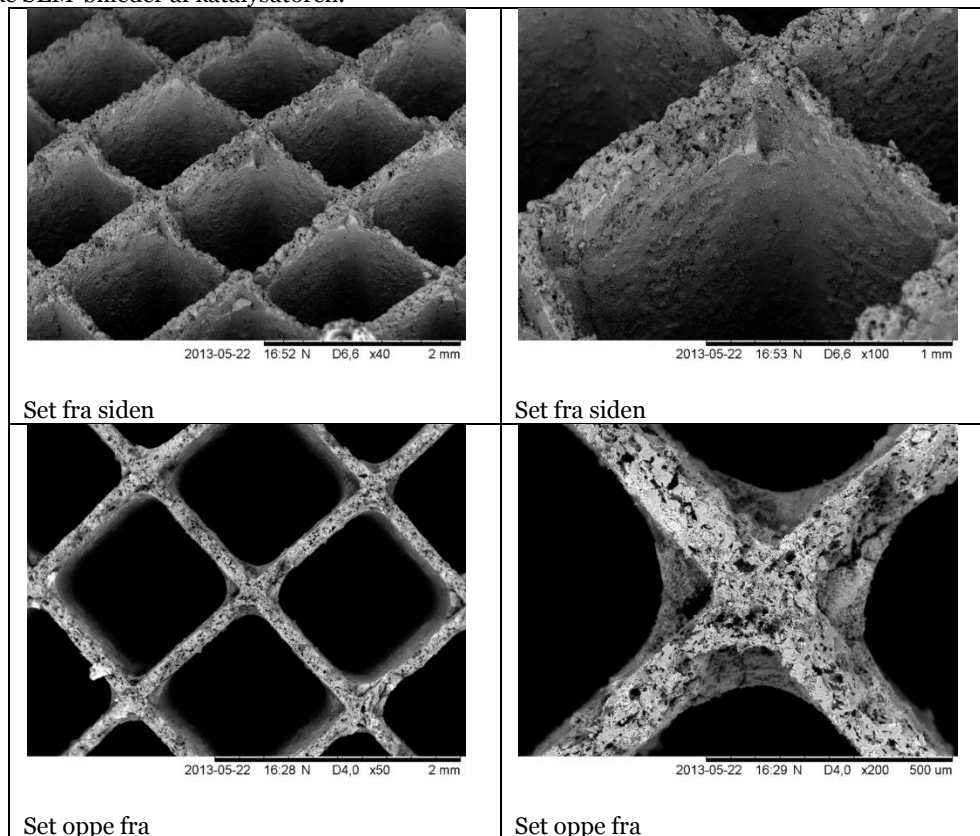


Figur 2: WHVC Varm

## Bilag 2: Analyse af ”Argonne University”-katalysator v/Per Møller og Lars Pleth

DTU fik udleveret et katalysatorsubstrat, for at undersøge og analysere, hvorvidt det kunne være muligt at forbedre DeNox-katalysatorens coating, heraf følgende rapportering:

Katalysatorprøven tilsendt fra Argonne er blevet analyseret med SEM. Figur 1 nedenfor viser en række SEM-billeder af katalysatoren.



Figur 1: SEM-billeder af Argonne-katalysatoren.

Som det ses af ovenstående figurer, består katalysatoren af et skelet, og det må umiddelbart antages, at det aktive materiale er påført skelettet. EDS-elementanalyse af skelettet er gengivet nedenfor i det på figur 2 angivne punkt.

### Analyse af bæremateriale:

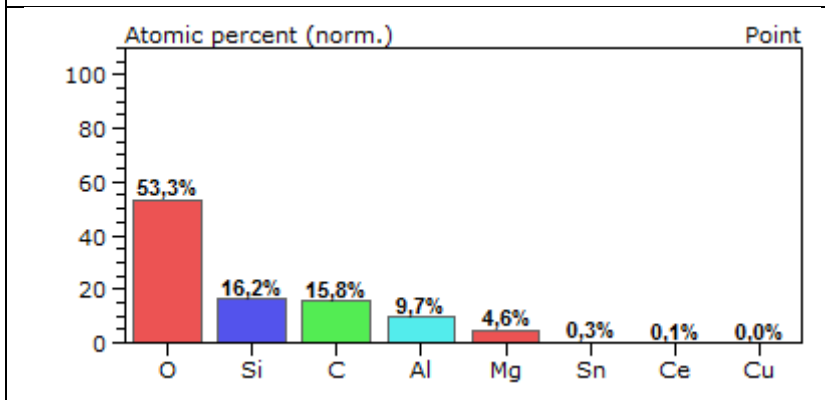


Figur 2: SEM-billede af katalysatorbærematerialet. Den gule cirkel viser, hvor der er foretaget EDS-elementanalyse.



Spectrum: Point

Element	AN	Series	norm. C	Atom. C
	[wt.%]	[at.%]		
-----				
Oxygen	44,42	8	K-series	53,27
Silicon	14	14	K-series	23,71
Carbon	6	6	K-series	9,87
Aluminium	13	13	K-series	13,66
Magnesium	12	12	K-series	5,89
Tin	50	50	L-series	1,82
Cerium	58	58	L-series	0,50
Copper	29	29	K-series	0,13
-----				
Total:	100,00			100,00



Materialet skønnes for nærværende at være en aluminiumsilikat af én eller anden art. I adskillige patenter angives dette materiale til at være bæremateriale for mange katalysatorkonstruktioner.

I nærværende tilfælde kan der være tale om et mere specifikt materiale, magnesium-aluminium-silikat  $(\text{MgO})_2 \cdot (\text{SiO}_2)_5 \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3)_2$ , der også kaldes cordierite (se <http://www.rsc.org/Education/EiC/issues/2011June/TheEvolutionOfCatalyticConverters.asp>) Sammensætningen af cordierite  $(\text{MgO})_2 \cdot (\text{SiO}_2)_5 \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3)_2$  er gengivet nedenfor og stemmer nogenlunde overens med de målinger og elementkoncentrationer, der er bestemt ovenfor.

Formula Weight: 584.9529 g/mol

Ion Weight: g/mol

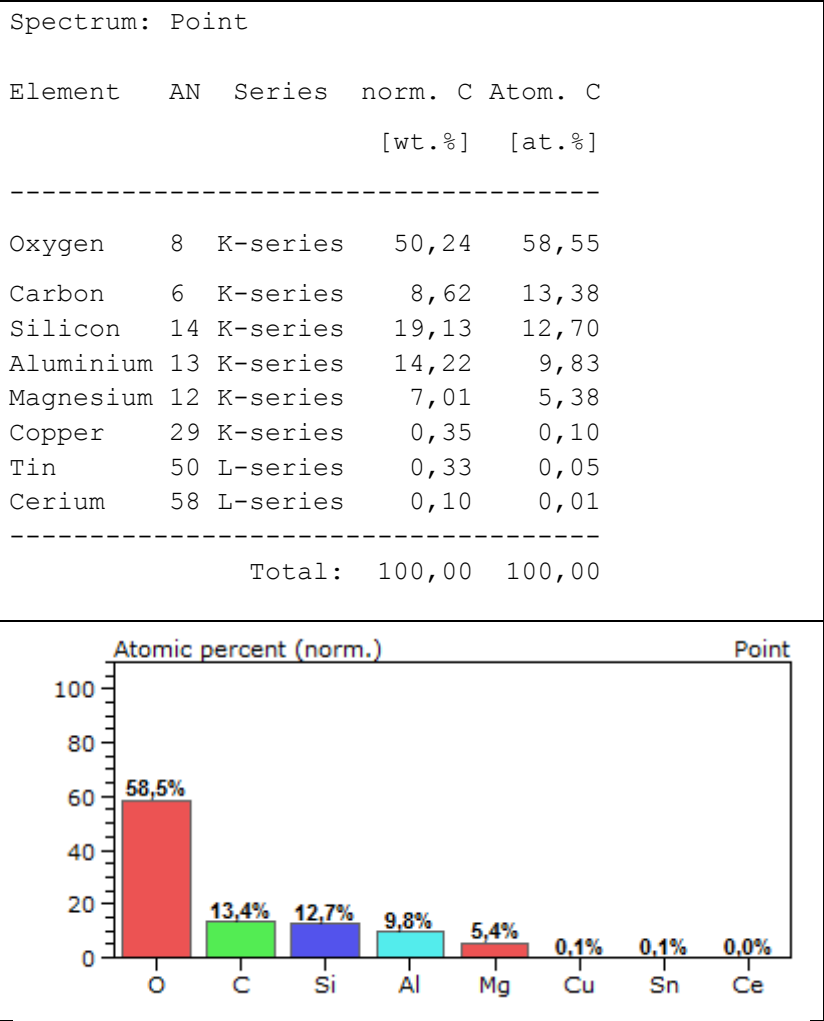
Elements:	wt-%	at-%	mol
Al	18.4504	13.7931	0.1379
Mg	8.3101	6.8966	0.0690
O	49.2329	62.0690	0.6207
Si	24.0066	17.2414	0.1724

### Analyse af det påførte materiale:

En tilsvarende analyse er lavet af det materiale, der er påført bærematerialet. Dette er formodentligt påført som en Sol-Gel. Undersøgelsen viser, at der i den deponerede Sol-Gel forefindes et zeolitlignende materiale. Analysen viser, at der er tilsat Ce og Cu i størrelsesorden 0,3% – men der kan også identificeres tin (Sn) – dette grundstof fremgår dog ikke af US-Patentet 7,220,692 fra 2007, der er basispatentet for den pågældende DeNOx-katalysator. US-patent 5.128.301, der også beskriver en DeNOx-katalysator, beskriver dog anvendelsen af tin som værende fordelagtig.



Figur 3: SEM-billede af det materiale, der er påført katalysatorbærematerialet. Den gule cirkel viser, hvor der er foretaget EDS-elementanalyse.



Nedenfor er gengivet et uddrag af Argonne-patentet (US-7,220,692), der viser, at det frembragte materiale (benævnes CeO<sub>2</sub>/Cu-ZSM-5) fås ved, at ion byttet med ZSM-5 efterfulgt af en ceriumholdig Sol-Gel er brugt efterfølgende som immobiliseringsmedie. Pastaen er derefter ekstruderet på et magnesium-aluminium-silikat-bæremateriale.

### EXAMPLE 1

Preparation of CeO<sub>2</sub>/Cu-ZSM-5: Copper was ion exchanged with a ZSM-5 zeolite via typical means. A 0.01 M solution of Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> was prepared, and 2 g of H-ZSM-5 (SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=80) was stirred into 40 ml of the solution. The slurry was stirred overnight at room temperature, then filtered, washed with distilled water, dried at 100° C. in a vacuum oven, then calcined in air at 500° C. for 3 hrs. Copper loadings can be adjusted by changing the concentration of the solution, the pH of mixing, or by repeated exchanges with the solution. Ceria was introduced by first diluting a ceria sol from 20 wt % to 0.01M. Two grams of the Cu-ZSM-5 was mixed with 40 ml of the ceria solution, and was stirred overnight at room temperature. The slurry was filtered, washed, dried, and then calcined using the same conditions above. This catalyst will be referred to as “CeO<sub>2</sub>/Cu-ZSM-5”.

#### 3.1 Konklusion

Både bærematerialet og coating består af Al, Si, O, C. Hertil kommer Ce, Sn, Cu, Mg. En mulig fabrikmetsmetode er, at Zeoliten ZSM-5 er ionbyttet med Cu og efterfølgende calcineret. Det frembragte materiale benævnes CeO<sub>2</sub>/Cu-ZSM-5 i Argonne-patentet. Efterfølgende er en Ce-Sol-Gel brugt som immobiliseringsmedie, men hele pastaen er ekstruderet på magnesium-aluminium-silikat-bæremateriale.

#### 3.2 Syntese af ny type DeNOx-katalysator:

Det foreslås, at det mekanisk langt mindre stabile magnesium-aluminium-silikat-bæremateriale erstattes med et makrostrukturel tyndplademateriale (eksempelvis ferritisk rustfrit stål), der forsynes med en bølgepaplignende struktur på makroniveau (typisk i mm). Denne bølgepapstrukturerede overflade vil kunne rulles sammen med den plan overflade for at danne kanaler til udstødningssømmen.

Den rustfrit stål-overflade skal forsynes med en superporøs cali-flower mikrostruktur, der fungerer som immobiliseringsstruktur for katalysatormateriale CeO<sub>2</sub>/Cu-ZSM-5 (der kan forsøges at arbejde med eller uden tin). Katalysatormaterialet interlockes i overfladen på den tynde pladestruktur, der er fremstillet via en reel-to-reel-proces under anvendelse af en galvanisk proces. Slutteligt rulles pladematerialet op – og rullen udgør katalysatorstrukturen og erstatter den nuværende keramiske struktur. Det skønnes umiddelbart muligt at frembringe en større overflade, hvis pladen frembringes i plademateriale med en tykkelse på ca. 100 micron.

Fordelene ved denne struktur er, at den optræder langt mere mekanisk stabil – samt muliggør langt bedre temperaturstyring grundet det indgående metals varmeledningsevne, som er signifikant bedre end det magnesium-aluminium-silikat-bæremateriale, der anvendes i Argonne-katalysatoren.

Katalysatorer af den type kan principielt fremstilles i varierende diameter og længde – uden at nye værktøjer skal fremstilles.

Aktiviteter i den kommende periode:

Udvikling af porøs nikkel på ståloverflade

ZSM5 prefyldes med Cu/Ce

Metaldopet ZSM5 (CeO<sub>2</sub>/Cu-ZSM-5) inkorporeres i porøs nikkel

### 3.3 Tidsplan

Der kan arbejdes med indledende testforsøg på små arealer for at demonstrere princippet. Skal der opskaleres, kræver det mindst 7-8 mandemåneder bare for at lave én katalysator. Efterfølgende skal den testes. Skal der bygges testopstilling, vil de tage mindst seks måneder at bygge en opstilling på DTU, da det tager lang tid at skaffe stumper.

Lars Pleth Nielsen og Per Møller

## DeNOx project report

### General

NO<sub>x</sub>, which is emitted from stationary and mobile sources, has caused extremely serious environmental problems; therefore a number of various de-NO<sub>x</sub> technologies are being investigated. Selective catalytic reduction of NO<sub>x</sub> by different reducing agents is considered as promising de-NO<sub>x</sub> technique. This project investigates the possibility to use hydrogen as a reducing agent for selective catalytic reduction (H<sub>2</sub>-SCR) in diesel engines exhaust gas stream.

### Unit

A simple construction unit was assembled in order to simulate diesel engine exhaust gas for developing a NO<sub>x</sub> reducing catalyst using hydrogen as a reducing agent. To fulfill the idea to have gas properties as close as possible to actual diesel flue gas a specific set of equipment was used.

Gas composition is controlled mixing 4 different types of gases into one. Each gas line has a mass flow controller (prod. MKS) to regulate the gas flow and mixing ratios. The part of gas mixture is taken through a water container to control the humidity of the stream. The flow through the water is controlled manually using a needle valve. A stainless steel container/reactor was made for placing the honeycomb NO<sub>x</sub> catalyst into the gas stream. The container is heated using an electrical heating wire to keep the catalyst at the desired temperature. At the end of the gas line a sensor is installed to measure concentrations of NO<sub>x</sub> and O<sub>2</sub> gases. Setup is also equipped with thermocouples and a RH% meter to measure these parameters. All of the process parameters are digitally sent to computer software for real-time monitoring and logging. At the end of the gas line, output is directed straight into ventilation system to avoid slippage of toxic gases into the room.

### NO<sub>x</sub> reduction process

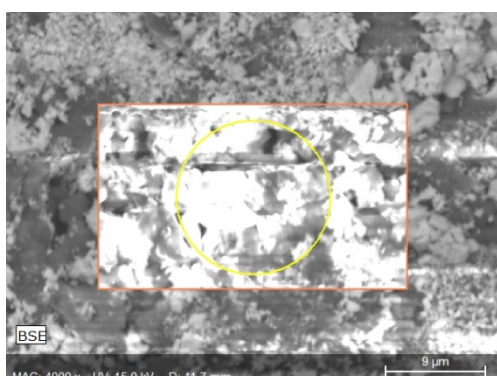
Selective catalytic reduction is a process where a reduction agent (hydrogen in our case) is added to gas stream over noble metal catalyst to reduce NO and NO<sub>2</sub> gases. Advantage of H<sub>2</sub>-SCR technique is that NO<sub>x</sub> can effectively be reduced at low temperatures (T<200°C).

Composition of gas - 100ppm NO<sub>x</sub>, 5% O<sub>2</sub>, 5% CO, 5% CO<sub>2</sub>, 85% N<sub>2</sub>, RH 35-40%. These numbers are practically possible closest values to the actual diesel engine exhaust composition. Gas flow for testing – 2 normal liters per minute, GHSC is equal 480 h<sup>-1</sup>.

### NO<sub>x</sub> trap - catalyst

For initial testing and reference point for development a NO<sub>x</sub> catalyst sample was received from catalyst manufacturing company in USA. According to the company representative it was a 0,24% Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> for NO<sub>x</sub> reduction. It came in a cylindrical shape with a ceramic honeycomb structure for large surface are.

To be sure what is the composition of the received sample, a small part of it was cut to make SEM



Element	AN	Series	Net	norm. C	Atom. C	Error
				[wt.%]	[at.%]	[%]
Oxygen	8	K-series	2528	55.27	66.55	6.9
Carbon	6	K-series	142	9.53	15.28	2.3
Aluminium	13	K-series	1597	11.73	8.38	0.5
Silicon	14	K-series	1622	12.17	8.35	0.5
Barium	56	L-series	339	8.04	1.13	0.2
Platinum	78	M-series	263	3.26	0.32	0.1
			Total:	100.00	100.00	

and EDS analysis. Results of the analysis are given below:

Presence of both Al and Si gives a clue, that this substrate is actually not a single metal oxide, but an aluminosilicate mineral, also known as zeolite. This type of zeolite (ZSM-5) is commonly used as

substrate for catalysts (Pt, Pd and Rh) and measured to have highest activity and conversion rates (Yokota *et al.*). Honeycomb catalyst measurements - Ø80x50, volume – 251,2ml.

### Results

To test the performance of the catalyst, a measurement in a simulation gas stream was made. Recommended temperature range was given 120-180°C, setpoint 120°C. Relative humidity set to 40%. Initial measured NOx level without added hydrogen was 940ppm. Increasing the amount of Hydrogen in the gas flow resulted in reduced NOx levels. Detail measurements are given below.

1) Added H <sub>2</sub> flow	2) Measured NOx level		3) Difference
	4) Before, ppm	5) After, ppm	
6) 1,5%	7) 940	8) 635	9) -40%
10) 2%	11) 940	12) 580	13) -45%
14) 2,5%	15) 940	16) 515	17) -51%
18) 5%	19) 940	20) 405	21) -60%

Test results prove, that H<sub>2</sub> is a good NOx reducer and can reach reduction rates of up to 60% when using over 0,24% Pt honeycomb catalyst.

These results were achieved during short period of testing. To verify these values a second method of measurement should be used (e.g. gas chromatograph).

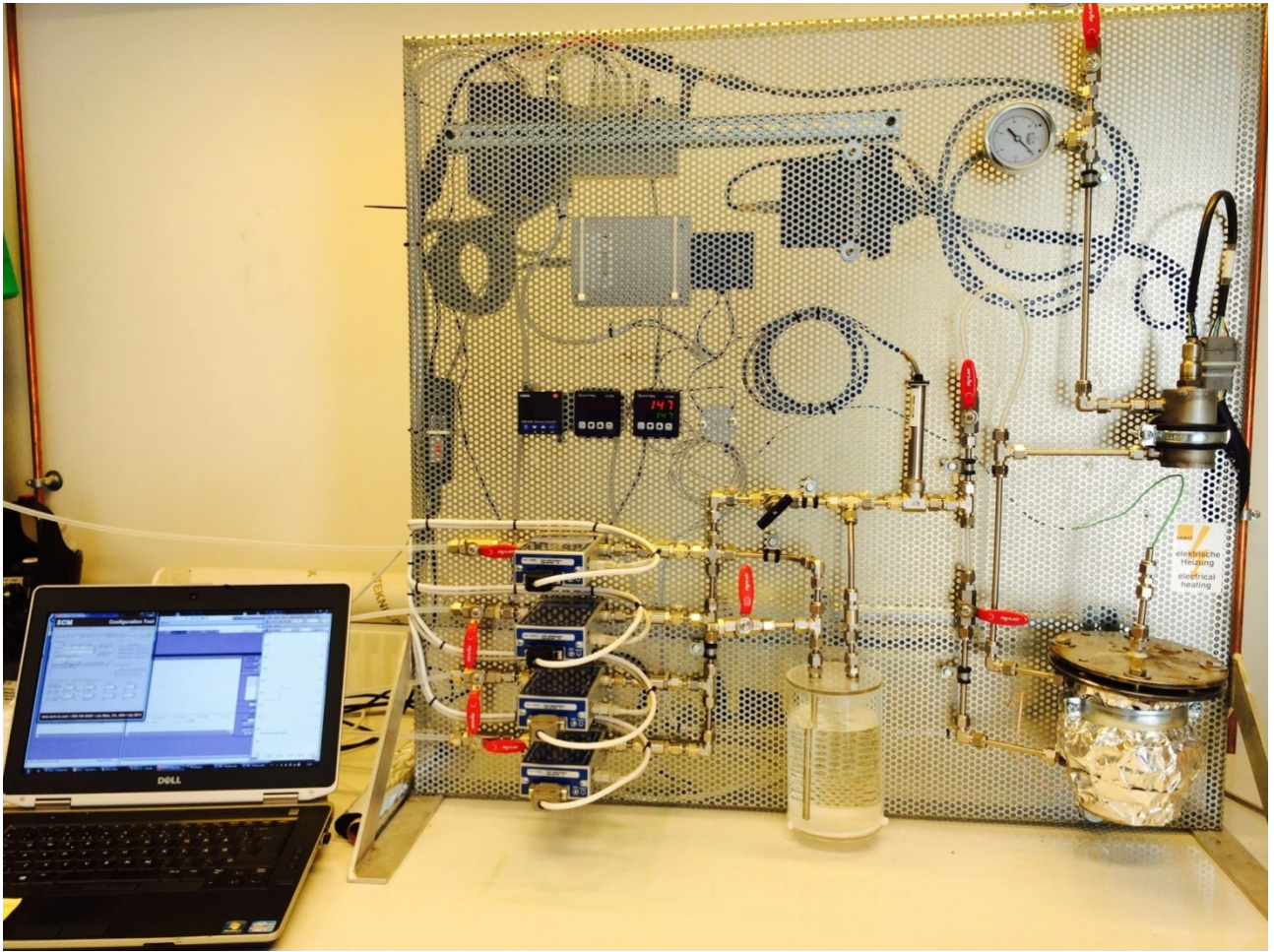
### Proposals for future research

This field of research has numerous factors that could affect the overall catalyst efficiency. For continuing the development, additional noble metals (Pd, Rh, etc.) and support bases (single metal oxides and zeolites) should be investigated to find the most effective combination for H<sub>2</sub>-SCR catalyst.

Measurement reliability is a crucial part of overall project success therefore precise measurement equipment like gas chromatograph should be used to evaluate the results.

### References

K.Yokota, M. Fukui and T.Tanaka, *Appl. Surf. Sci.*,1997, **121-122**, 273.



**Bilag 4:        Installationsvejledning for EmiFit combi DPF-SCR V3  
09042015**

Appendix: Installationsvejledning for EmiFit combi DPF-SCR V3 09042015 pdf – 61 sider.



**Bilag 5: Bilag til ES-servicevejledning. DPF-DOC-SCR for 18E 27032015**

Appendix: Bilag til ES-servicevejledning. DPF-DOC-SCR for 18E 27032015.pdf – 17 sider

### **EmiLowNox**

EmiLowNOx er et simpelt NOx-reduktionssystem, som ikke er afhængigt af AdBlue. I projektet er der etableret en enhed til test af DeNOx-katalysatorer og gennemført en række tests og kemiske analyser. Der er desuden udviklet en model til beregning af størrelser af filtre og katalysatorer.



**Miljø- og  
Fødevareministeriet**  
Miljøstyrelsen

Strandgade 29  
1401 København K  
Tlf.: (+45) 72 54 40 00

**[www.mst.dk](http://www.mst.dk)**