



Modulært, fleksibelt system til begrænsning af forureningen fra dieseldrevne køretøjer

Project Chemist Henrik Christensen, Dinex Emission Technology A/S

Abstract

Dinex Emission Technology A/S har udviklet et integreret system til rensning af udstødningsgassen fra dieseldrevne køretøjer for partikler og kvælstofoxider. Systemet består af et dieselpartikelfilter, der fjerner over 90% af partiklerne og et SCR-system (Selective Catalytic Reduction), der fjerner 70-95% af kvælstofoxiderne.

Systemet er modulopbygget, så der kan anvendes den filtertype og den SCR-katalysator og styringsstrategi, der er bedst egnet til det enkelte formål, når alle faktorer, inklusive økonomien, tages med i betragtning.

Indledning

Der er i dag meget stor fokus på forureningen fra dieseldrevne køretøjer, som er en af de største kilder til forurening med partikler og med kvælstofoxider, især i de store byer. Bidraget med uforbrændte kulbrinter og kulilte fra dieseldrevne køretøjer er i forvejen meget begrænset, hvorfor der normalt ikke fokuseres på disse komponenter i forbindelse med eftermontering af forureningsbegrænsende udstyr.

Nye køretøjer skal overholde stadig strammere emissionskrav til udstødningen. I Europa er det EURO-normerne, hvor EURO 4 er i kraft nu, mens EURO 5 træder i kraft i oktober 2008.

For ældre køretøjer er der en lang række lokale bestemmelser, der prøver at mindske forureningen fra dieseldrevne køretøjerne. Det kan være krav til forureningsbegrænsende udstyr i forbindelse med offentlige udbud af transportopgaver, lokale miljøzoner i en række større europæiske byer, demonstrationsprojekter og andet.

Kravene i forbindelse med disse specielle tiltag kan være formuleret forskelligt: Der kan være krav om en procentvis nedsættelse af forureningen, specifikt krav om anvendelse af for eksempel et partikelfilter, overholdelse af et senere sæt af normer, også for ældre køretøjer, eller andet.

Ofte er kravene fulgt af tilskudsordninger i forbindelse med implementeringen, eller afgiftslettelser for køretøjer, der har fået monteret forureningsbegrænsende udstyr.

Fokus har i de fleste tilfælde fra starten været på at fjerne den sorte røg fra dieseludstødningen, dernæst mere specifikt at nedsætte partikelemissionen og til dels også ønsket om at fjerne den karakteristiske diesellugt.

Efterhånden som fjernelse af partikler er blevet mere rutinepræget, er der kommet mere og mere fokus på reduktion af NO_x.

Der er en lang række af teknologier, der kan anvendes til reduktion af forureningen fra køretøjer. De varierer stærkt efter den type af forurening, de kan reducere, pris, grad af indgreb i



køretøjet, levetid, effektivitet og andet. Oftest er der den sammenhæng, at jo mere effektivt et system skal være, jo dyrere og jo mere kompliceret bliver det.

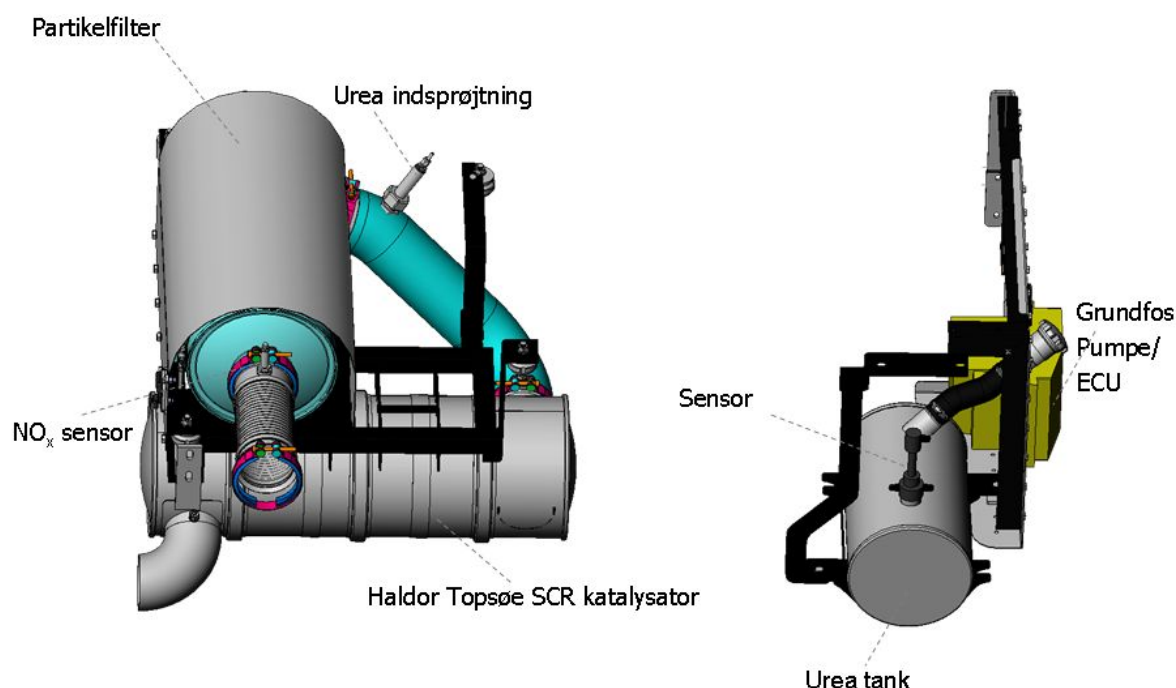
Til eftermontering er det i praksis ikke muligt at anvende motortekniske tiltag. Dette begrænser mulighederne en del. Der er dog stadig en række af muligheder:

- EGR (Exhaust Gas Recirkulation) hvor en del af udstødningsgassen føres tilbage i indsugningen. Herved nedsættes iltindholdet i forbrændingsgassen og dette nedsætter forbrændingstemperaturen i cylinderen. Dette nedsætter NO_x -indholdet i udstødningen. Teknikken har kun lille indflydelse på sodudviklingen i motoren, dog med tendens til en forøget sodudvikling, og en forøgelse af brændstofforbruget.
- DOC (Diesel Oxidation Catalyst) er en simpel katalysator, der nedsætter mængden af uforbrændte kulbrinter (CH) og kulilte i udstødningen. Herved fjernes den karakteristiske diesellugt. Især på ældre køretøjer med højt indhold af partikler i udstødningen kan en DOC nedsætte partikelmassen mærkbart. Det er dog mest fordi den del af partiklerne, der består af tunge kulbrinter adsorberet på kulstofkernen, oxideres. De enkelte partikler bliver på den måde mindre, mens antallet af partikler ikke nødvendigvis ændres væsentligt. En DOC har kun en forsvindende indflydelse på NO_x -indholdet i udstødningen.
- Partielle filtre. I disse ledes gasstrømmen delvist gennem et filtermedie, dog opbygget på en sådan måde, at gassen kan slippe udenom filtermediet, hvis dette stopper til. Afhængigt af driftforhold for motoren giver denne type filtre en partikelreduktion på 40 til 80%. Disse filtre er normalt katalytiske, hvorfor de også reducerer CH og CO. De er funktionsmæssigt et sted mellem en DOC og et egentligt filter. De har kun forsvindende indflydelse på NO_x i udstødningen.
- Dieselpartikelfiltre, hvor udstødningsgassen ledes gennem et filtermedie, der normalt fjerner mere end 90% af partikelindholdet i udstødningsgassen. Filtre kan være belagt med katalytisk materiale, der kan oxidere de opsamlede sodpartikler, og dermed regenerere filtret, så det ikke stopper til, de kan regenereres ved at der tilsættes et katalytisk additiv til brændstoffet, der så hjælper med til at regenerere filtret, eller der kan foretages en såkaldt aktiv regenerering, hvor filtret, når det er ved at tilstoppe, opvarmes kraftigt, så den opsamlede sod antændes og brænder væk.
- SCR baserer sig på, at man tilfører et reduktionsmiddel, der på en selektiv katalysator reagerer med NO_x , uden at det reagerer med ilt. Som reduktionsmiddel anvendes som regel ammoniak. I mange tilfælde lagres ammoniakken i form af et ikke flygtigt stof, der ved opvarmning let afgiver ammoniak, hyppigst en vandig opløsning af urea (urinstof). SCR kan typisk reducere NO_x -indholdet i udstødningen med 70-95%, afhængigt af driftbetingelserne for motoren. Det kritiske punkt i systemet er styringen af indsprøjtningen af reduktionsmiddel. Er mængden for lille, vil reduktionsgraden tilsvarende være lille; men er mængden for stor, vil der komme et udslip af ureageret reduktionsmiddel. Ammoniak i sig selv er giftigt og har en lav lugtgrænse (17 ppm (1)) og en hygiejnisk grænseværdi på 20 ppm (2). For at fjerne denne ulempe kan SCR-systemet forsynes med en såkaldt clean-up-cat: en oxidationskatalysator, der omdanner det overskydende reduktionsmiddel til kvælstof og vand.

DiNO_x

Dinex A/S er en af Europas to største leverandører af emissionsbegrænsende produkter til eftermarkedet.

På eftermarkedet er der stort set ikke to applikationer, der er ens. Dinex' ønske har derfor været at udvikle et system, der er modulært opbygget og fleksibelt, så det kan tilpasses kravene fra den enkelte applikation: Driftmønster og udstødningstemperatur for køretøjet, krav til reduktion af henholdsvis partikler og NO_x, samt eventuelt også CO og CH, den tilgængelige plads på køretøjet, samt ikke mindst økonomien.



Filter: Der anvendes normalt et standard wall-flow filter i keramik, enten et katalytisk coated filter i cordierit. Til andre typer af opgaver anvendes der et filter i SiC. Dette kan igen være katalytisk coated, så det kan regenerere passivt, og så de også kan fjerne CO og CH.

Alternativt kan der anvendes et katalytisk additiv (FBC, **F**uel **B**orne **C**atalyst), der blandes i brændstoffet og sænker forbrændingstemperaturen for den akkumulerede sod. Dette hjælper så med til at regenerere filtret.

Tilstanden af filtret **moniteres** løbende med en **modtrykssensor** foran filtret. Af diagnostiske årsager i forbindelse med problemer med systemet monitoreres temperaturen af udstødningstemperaturen foran filtret normalt også. Disse data lagres til eventuel senere brug.

SCR-katalysator: Der findes en del forskellige SCR-kats, der hovedsageligt adskiller sig i valget af aktivt katalytisk materiale. Den væsentligste forskel ligger i det termiske vindue, det vil sige det temperaturområde, hvor katalysatoren er aktiv, samt den maksimale temperatur katalysatoren kan tåle, uden at blive nedbrudt. Desuden kan effektiviteten være forskellig for henholdsvis NO og NO₂.

Mellem filtret og SCR-katalysatoren skal der være en **injektor** til reduktionsmidlet. For at opnå god blanding af udstødningsgas og reduktionsmiddel og dermed en bedre effektivitet af SCR-katten, skal injektoren være så langt fra SCR-katten som muligt og det er vigtigt at optimere injektoren, så den giver en jævn fordeling af reduktionsmidlet over rørtværsnittet. Der kan eventuelt indføres et diffusersystem i gasstrømmen.

Doseringen af reduktionsmidlet styres af en **doseringsenhed**. Dette er en central del af SCR-systemet og det er en ret kompliceret enhed. Den skal hele tiden justere den doserede mængde, så den svarer til NO_x -indholdet i udstødningen. Det er derfor nødvendigt med nogle styresignaler. Det bedste er i teorien, at man hele tiden måler indholdet af NO_x i udstødningsgassen, samt massestrømmen i systemet. Af praktiske årsager måles massestrømmen i form af indsugningsmassestrømmen, da det er væsentligt enklere og billigere end at måle den varme, korrosive udstødningsgas.

Målere til NO_x -indhold er først for nyligt kommet på markedet i en form, der er tilstrækkeligt robuste og med tilstrækkeligt levetid til denne type anvendelse, og de er stadig ekstremt dyre. Da de desuden stadig ikke har bevist en faktisk levetid på adskillige år i en udstødning, kan der derfor være grunde til at vælge en anden løsning.

Til kontrol af, om systemet fungerer som ønsket, kan der monteres yderligere en NO_x -sensor i udstødningsgassen efter SCR-katten.

Reduktionsmiddel: Det simpleste er at anvende gasformig ammoniak. Det opbevares på køretøjet i en trykflaske, hvor det er komprimeret til væskeform. Denne gas er let at dosere og med specielle SCR-kats, der er optimeret til lav temperatur, kan man få et system, der begynder at fungere ved så lav temperatur som 150°C . Dette kan gøre ren ammoniak attraktivt til applikationer, hvor drifttemperaturen er ekstremt lav.

Ulempen ved at anvende ammoniak er, at gassen er giftig og stærkt lugtende, så selv en lille lækage kan give ubehagelige lugtgener, og risikoen ved et flaskehavari er forholdsvis stor.

I de fleste tilfælde ønsker man derfor en anden form. Hertil benyttes en vandig opløsning af urea (urinstof). Ved opvarmning til over ca. 200°C under tilstedeværelse af vand, nedbrydes urea til ammoniak og kuldioxid. Ved lavere temperatur er der risiko for, at ureaen ikke nedbrydes fuldstændigt, men danner cyanater, isocyanater eller cyanider, der alle er giftige i forskellig grad, eller der kan ske en delvis nedbrydning og sekundær dannelse af polymerisationsprodukter.

Ønskes en meget høj reduktionsrate og anvendes der en aggressiv doseringsstrategi er det nødvendigt at indsætte en **clean-up-cat**, der kan nedbryde overskydende reduktionsmiddel. Dette er i realiteten blot en oxidationskatalysator med et forholdsvis højt platinindhold.

Anvendelseseksempler:

Arriva, København: Dette projekt skal ses som et demonstrationsprojekt af teknologien. Dinex har



leveret tre busser til Arriva for at interesserne i København kan få nogle erfaringer med teknologien.

Ud fra kørselsmønstret for busserne blev det vurderet, at et DiPex filter ville være velegnet idet udstødningstemperaturen på disse busser er tilstrækkelig høj til passiv regenerering.

SCR-delen er baseret på urea (AdBlue) med pumpe og doseringssystem fra Grundfos. AdBlue er ved at vinde indpas som accepteret teknologi idet flere lastvogns- og busfabrikanter kan levere Euro4 og Euro5 med fabriksmonteret SCR baseret på AdBlue. Da driftstemperaturerne for Arrivas busser ofte er over 200°C kan et AdBlue system give acceptable virkningsgrader.

Styringen er baseret på en NO_x-sensor anbragt foran filtret og en massestrømssensor i motorens ind sugning. SCR-katalysatoren er leveret fra Haldor Topsøe A/S og har en indbygget clean-up zone i udløbet, til at oxidere overskydende reduktionsmiddel. Filter og SCR-katalysator erstatter det oprindelige udstødningssystem.

Systemerne har været i drift siden januar 2006 og Arriva har været særdeles tilfredse med dem. HUR har også vist interesse for systemerne, så forhåbentlig ser vi snart SCR eftermonteret på alle bybusser i lighed med indførslen af partikelfiltre, som nu er standard teknologi.

London Taxi: Dette projekt er foranlediget af kommende krav til ældre taxier i London om, at de skal overholde emissionskrav svarende til Euro 3. Der blev lavet et demoprojekt, hvor forskellige udbydere havde mulighed for at dokumentere funktionen af deres system.



Dinex valgte at anvende et katalytisk SiC-filtret og samtidig tilsætte FBC til brændstoffet. Dette sikrer den lavest mulige regenereringstemperatur for filtret, og samtidig kan SiC-filtret tåle, at der sker en pludselig, kraftig temperaturforøgelse i forbindelse med afbrænding af en større mængde akkumuleret sod, når motorbelastningen pludselig bliver høj efter lang tids drift med lav belastning.

For at få en rimelig middel-reduktionsgrad blev det besluttet at anvende ammoniak fra trykflaske som reduktionsmiddel, da et sådant system kan bringes til at have aktivitet allerede ved 150-160°C. SCR-katten skal altså tunes til at være aktiv ved lav temperatur. Samtidig skal den være robust, så den ikke ældes hurtigt, og bevare mest muligt af sin aktivitet ved de høje temperaturer, der kan forekomme.

Styringen af doseringen er af prismæssige årsager baseret på temperaturmåling i udstødningen, kombineret med en delvis mapping af motoren. Dette gøres individuelt for hvert enkelt køretøj.

Kommercielt er systemet endnu ikke blevet en succes. Det skyldes den måde, kravene er lavet. Kravet til reduktion af partikler er i virkeligheden ikke særligt strengt og kan forholdsvis nemt opfyldes, for eksempel med en diesel-oxidationskatalysator og evt. et EGR-system.



Et sådant system er væsentligt billigere og dermed mere attraktivt for den enkelte taxivognmand.

Det kan så diskuteres, om en sådan løsning har den ønskede sundhedsmæssige effekt, idet antallet af især ultrafine partikler ikke nedsættes væsentligt.

Konklusion

DiNO_x systemet opbygges af gennemprøvede komponenter, der kan kombineres på forskellig vis. Dette giver en høj grad af fleksibilitet og forkorter tiden fra ide til prototype væsentligt. DiNO_x-konceptet er stadig under udvikling og opbygning. De hidtidige erfaringer fra en bred vifte af anvendelser fra taxa til bybusser har været meget positive og Dinex lancerer nu det første fuldt udviklede, kommercielt produkt til busser i samarbejde med Grundfos og Haldor Topsøe. Hermed håber Dinex at imødekomme et ønske fra en stadig større gruppe af interessenter som ønsker at reducere miljøbelastningen fra lastvogne, busser, varevogne og industrimaskiner specielt i byområder.

- 1) <http://chemfinder.cambridgesoft.com>
- 2) At-Vejledning C.0.1: Grænseværdiliste for stoffer og materialer