



Miljøministeriet  
Miljøstyrelsen

# Udvikling og godkendelse af low NOx indsprøjtningssdyse til 2-takts dieselmotorer

Michael Finch Pedersen  
MAN Diesel & Turbo

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.

# Indhold

<b>FORORD</b>	<b>5</b>
<b>SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER</b>	<b>7</b>
<b>SUMMARY AND CONCLUSIONS</b>	<b>11</b>
<b>1 BAGGRUND &amp; FORMÅL</b>	<b>13</b>
1.1 HVAD DER STÅR I LOVGIVNINGEN	13
1.2 HVAD ER MAN DIESEL & TURBO LOW SPEED MOTORER	13
1.3 HVAD HAR LIGGET FØR OPGAVERNE DEFINERET I DETTE PROJEKT	14
1.4 FORMÅL MED DETTE PROJEKT	14
1.5 HVAD LIGGER EFTER OPGAVERNE DEFINERET I DETTE PROJEKT	14
1.6 MÅLSÆTNING FOR MAN DIESEL & TURBOS INVOLVERING I APPROVED METHODS	15
<b>2 PROJEKTETS DELE</b>	<b>17</b>
2.1 LOVGIVNING & RETNINGSLINJER	17
2.2 SKABELON FOR DOKUMENTATION	18
2.3 UDVIKLING AF KOMPONENTER	18
<b>2.3.1 Design af ny brændstoffdyse</b>	<b>18</b>
<b>2.3.2 Motorforsøg</b>	<b>19</b>
<b>3 KONKLUSIONER</b>	<b>23</b>



# Forord

I forbindelse med Miljøstyrelsens opslag "Eco-Innovation" under temaet Luftforurening blev der i december 2008 givet tilskud til projektet "Retrofit af brændstofventiler for reduktion af luftforurening fra skibsdieselmotorer i service".

Projektet indgår som et af initiativerne i handlingsplanen for renere skibsfart der er udarbejdet i forbindelse med Partnerskabet for Renere Skibsfart mellem Miljøstyrelsen og Danmarks Rederiforening.

Styregruppen i projektet består af deltagere fra Miljøstyrelsen, Søfartsstyrelsen og Danmark Rederiforening.

Projektet udføres af MAN Diesel & Turbo i København. Repræsentanter fra klassifikationsselskabet Germanischer Lloyd har deltaget i dele af projektet.

Projektet afsluttes 15. september 2010, og dette dokument er den endelige projektrapport.

Michael Finch Pedersen, MAN Diesel & Turbo  
København 15. september 2010



# Sammenfatning og konklusioner

## **Retrofit af brændstofventiler på skibe**

Opgradering af brændstofventiler på motorer installeret på skibe rummer et stort potentiale for reduktion af røggasemissioner. Projektet omfatter alle aspekter for introduktion af en opgradering, herefter kaldet et retrofit, fra udarbejdelsen af den nødvendige internationalt gældende lovgivning til udvikling af brændstofventilerne, samt afprøvning og dokumentation af deres effekt. Når et retrofit er udviklet og godkendt, er det obligatorisk at installere det på alle relevante motorer.

## **Baggrund og formål**

I den Internationale Maritime Organisation, IMO, udarbejdes retningslinjer og lovgivning for international skibsfart. Den seneste revision af emissionslovgivningen omfatter lovgivning til regulering af NO<sub>x</sub> emissioner på motorer, der ikke hidtil ikke har været dækket, og er installeret på skibe fra perioden 1990 til 1999. Ejeren af et skib fra denne periode er forpligtet til at opgradere sin motor, hvis der findes en godkendt metode til at reducere NO<sub>x</sub> emissionerne til samme niveau som for motorer bygget i perioden 2000 til 2010, en såkaldt Approved Method.

MAN Diesel & Turbo i København er verdens førende designer af store to-takts dieselmotorer, MAN B&W motorerne, der anvendes som hovedmotor i langt størsteparten af den internationale handelsflåde. Firmaet har derfor en interesse i både at udvikle nye motortyper, der lever op til kommende emissionsregler, samt at sikre at de eksisterende motortyper med en forventet yderligere levetid på mindst 10 til 20 år, lever op til nutidens lovmæssige krav til emissionsudledninger.

Formålet med dette projekt har været at udvikle godkendte retrofit til et større antal motorer. Desuden har en del af projektets formål været at deltage i færdiggørelsen af detaljelovgivningen, for at sikre at det også har været muligt at få godkendt retrofit. Et retrofit omfatter udskiftning af motorens brændstofventiler med nyudviklede brændstoffdyser, samt justering og certificering af motoren.

## **Undersøgelsen**

Projektet har omfattet tre hoveddele:

1. Udarbejde forslag til fremgangsmåde for dokumentation og godkendelse af retrofit til motorer. Arbejdet er foregået i samarbejde med de danske myndigheder i IMO regi.
2. Udarbejdelse af fremgangsmåde og skabelon for dokumentation for de første retrofit til MAN B&W motorer.
3. Udvikling af nye brændstoffdyser til brændstofventiler for en nærmere udvalgt gruppe af motorer, herunder motorforsøg på testplan og udarbejdelse af færdig dokumentation for effekten.

## **Hovedkonklusioner**

Et udvalg af resultater opnået i løbet af projektet er listet nedenfor:

- I løbet af projektperioden har den nye IMO lovgivning fundet sin endelige form (Revised MARPOL Annex VI and NOx Technical Code 2008, Existing engine regulation)
- Tre MAN B&W motortyper er udvalgt som første prioritet for udvikling af retrofit. Motortyperne blev udvalgt på grundlag af, hvor det største NOx reduktionspotentiale foreligger.
- For hver motortype er forskellige løsningsforslag udarbejdet og testet på tre testplansmotorer i Japan. Hvert forsøg forløb over tre til fem dage.
- Forsøgsresultaterne er meget positive, og det er lykket at udpege en passende retrofitløsning til hver af de tre motortyper.
- En retrofitløsning er endeligt godkendt, og de to andre forventes snarligt godkendt.
- Undervejs er skibsbranchen blevet informeret om arbejdet og resultaterne.

Det forventes, at de tre retrofit vil føre til opgradering af mindst 800 skibe med en Approved Method over de næste fem år. Dette vil føre til en reduktion af udledt NOx på ca. 60.000 tons årligt, hvilket svarer til næsten halvdelen af Danmarks samlede årlige udledning.

Udover reduktion af NOx emissionerne forventes opgraderingen af motorerne at sænke udledningerne af andre røggasemissioner. Mindre mængder af kulmonoxid, uforbrændte kulbrinter og partikelemmissioner udledes på grund af den forbedrede brændstofindsprøjtningsteknologi, der også anvendes til mere moderne motorer. Brændstofforbruget stiger ikke og på grund af de mindre mængder partikler, vil motorens gasveje være renere, og motoren vil derved kræve mindre vedligeholdelse. Desuden vil motorens ydeevne ved lav last være forbedret og uden synlig røg.

Alt i alt er projektets formål opfyldt et stykke over det forventede.

### **Projektresultater**

I første del af projektet var IMO lovgivningen på området endnu ikke helt færdig. Selve lovtæksten var skrevet, men fortolkninger og retningslinjer for detaljerne ikke færdiggjort. I forbindelse med projektet er der udarbejdet to dokumenter som er indsendt til IMO. Dokumenterne er udarbejdet i samarbejde med Miljøstyrelsen og Søfartsstyrelsen. De uddyber og eksemplificerer hvordan dokumentationen for et retrofit for en gruppe af motorer skal udfærdiges, samt indeholder et eksempel på den såkaldte Approved Method File, som skal følge den enkelte motor. De indsendte dokumenter dannede grundlag for en del af diskussionen ved IMO, både på BLG 13 mødet i marts 2009 og ved MEPC 59 mødet i juli 2009. Resultatet af diskussionerne i IMO er tilfredsstillende, og det danner et fornuftigt grundlag for det videre arbejde i projektet.

Med udgangspunkt i de fastlagte rammer på lovgivningsområdet blev detaljerede løsninger til tre forskellige motortyper udarbejdet. Udvikling og implementering af en ny brændstoffdyse til en brændstofventil kræver afprøvning på en motor. De motortyper, som lovgivningen omfatter er ikke længere tilgængelige som testmotorer. Der er i stedet anvendt en fremgangsmåde hvor en lignende motor er indstillet som en ældre motortype, og forsøgene udført på denne ombyggede motor. Motorer af denne størrelse bygges primært hos motorbyggere i Asien på licens fra MAN Diesel & Turbo. Alle tre forsøg er udført hos MAN Diesel & Turbos ældste licenstagere for



MAN B&W low speed motorer, Mitsui Engineering & Shipbuilding i Tamano, Japan. Følgende forsøg er udført:

1. september 2009, motortype S70MC
2. december 2009, motortype S60MC
3. juni 2010, motortype S50MC

De tre motortyper repræsenterer mellemstørrelserne i MAN Diesel & Turbos low speed motorprogram. De repræsenterer cirka en tredjedel af motorer bygget i perioden 1990 til 1999. De nævnte motortyper anvendes til en meget bred vifte af skibstyper. Blandt andet alle størrelser bulkcarriers, tankskibe og skibe til biltransport samt visse typer af container skibe.

Nedenstående tabel viser eksempel på resultaterne fra forsøget på S60MC:

Konfiguration	A	B	D	E	F
brændstofforbrug [g/kWh]	172.8	170.0	171.1	171.0	<b>169.9</b>
NOx emission [g/kWh]	16.6	20.2	19.4	19.4	<b>17.0</b>
CO emission [g/kWh]	0.6	0.4	0.4	0.4	<b>0.3</b>
HC emission [g/kWh]	2.3	2.3	2.3	2.1	<b>0.2</b>

Tabel 1. Cyklusværdier for S60MC testresultater.

S60MC motorerne bygget i perioden 1990 til 1999 er designet med fire forskellige konfigurationer, A, B, D og E. Konfiguration F er den valgte løsning til Approved Method for denne motortype, og den vil kunne anvendes til motorer med eksisterende konfiguration B, D og E. Motorerne med konfiguration A er bygget som 'low NOx' motorer, før lovgivningen stillede krav om dette, og kan derfor ikke opgraderes pga. kravene i Approved Method lovgivningen. Som det kan ses af eksemplet vil kulbrinte (HC) emissionerne blive sænket betydeligt, og kulmonoxid (CO) reduceres ligeledes, og brændstofforbruget være uændret.

For de afprøvede retrofit-løsninger gælder der for alle, at de opfylder lovgivningskravene:

- NOx skal reduceres til Tier I niveau: overholdes
- motoren må ikke de-rates mere end 1%: ingen de-rating vil være nødvendig
- brændstofforbrug må ikke stige med mere end 2%: der vil ikke være nogen stigning i brændstofforbrug
- motorens holdbarhed og pålidelighed må ikke påvirkes i negativ retning: der er ingen negativ påvirkning
- prisen må ikke overstige nærmere definerede grænser: prisen overholder dette krav

#### Andre kilder

- MAN Diesel & Turbos hjemmeside om Green Technology: <http://www.mandieselturbo-greentechnology.com/>
- IMO's hjemmeside: <https://www.imo.org/>
- Miljøstyrelsens hjemmeside om EcoInnovation: <http://www.ecoinnovation.dk/>
- Danmarks Rederiforenings hjemmeside om Partnerskab for renere skibsfart: <http://www.shipowners.dk/politik/miljoeogklima/miljoe/luftforurening/>

- Søfartsstyrelsen hjemmeside om Partnerskab for klimaansvar i Det Blå Danmark:  
<http://soefartsstyrelsen.dk/nyheder/sider/detblådanmarkpåengrønnerkurs.aspx>
- MAN Diesel & Turbo Service Letters SL09-520 og SL10-523 kan rekvireres hos MAN Diesel & Turbo: [mandiesel-cph@mandieselturbo.com](mailto:mandiesel-cph@mandieselturbo.com)
- CIMAC World Congress 2010 paper 85 "Two-stroke engine emission reduction technology: state-of-the-art" Michael Finch Pedersen, Anders Andreasen, Stefan Mayer, MAN Diesel & Turbo

# Summary and conclusions

## **Retrofit of fuel valves on ships**

Retrofit of fuel valves on engines installed on ships represent a large potential for reduction of exhaust gas emissions. The project covers all aspects for introduction of a retrofit. From contributing to necessary regulation to development of the fuel valves. As well as testing and documenting the effect on exhaust gas emissions. When a retrofit is developed and approved, upgrade of engines covered is mandatory.

## **Background and purpose**

In the International Maritime Organisation, IMO, regulation and guidelines for international shipping is developed. The latest revision of emission regulation also regulates NOx emissions on engines not covered by NOx regulation up till now. These engines are installed on ships build from 1990 to 1999. When an approved method for complying with the regulation is available, upgrade of the engine is mandatory. Certain conditions apply before an upgrade is approved.

MAN Diesel & Turbo in Copenhagen is the world leading designer of large two-stroke diesel engines, the MAN B&W engines. The engines are primarily installed as main propulsion engines in the international commercial ship fleet. The engines covered by the regulation are expected to be active parts of the fleet for at least another 10 to 20 years.

The purpose of this project has been to develop approved retrofit for a large number of engines. The retrofit consists of replacement of the engine fuel injection valves with newly developed fuel injection nozzles, as well as adjustments and certification of the engine.

## **The investigation**

The project has covered three main parts:

1. Prepare suggestions for procedures for approval of retrofit for engines. This work has been done in cooperation with the Danish authorities in IMO.
2. Develop procedures and templates for documentation of Approved Methods for MAN B&W engines.
3. Development of new fuel injection nozzles for a selected range of engines. This also covers engine tests and finalising documentation.

## **Main conclusions**

Some examples of results accomplished during the project are listed below:

- Three MAN B&W engine types have been selected as first priority for development of Approved Methods. They were selected based on where the biggest impact on overall emission reduction can be achieved.
- For each of the three engine types, Approved Method solutions was developed. They were tested on three different test bed engines in Japan. Each test lasted three to five days.

- For each of the three engines an appropriate retrofit solution was tested and documented.
- One Approved Method has been finally approved, and the two others are expected to be approved in the near future.
- During the project information to the shipping community has been released on the project and expected outcome.

A rough estimation of the benefit of the three Approved Methods is that approximately 800 engines will be upgraded within the next five years. This will result in reduced NOx emissions in the order of 60.000 tonnes per year. This corresponds to approximately half of the yearly Danish land based emissions of NOx.

Besides reduction of NOx emissions, it is expected that the upgrades will lower emissions of other exhaust gasses. Reduced amounts of carbon monoxide, unburned hydrocarbons and particulates due to the improved fuel injection technology can be expected.

Fuel oil consumption will not increase and due to the reduced formation of particulates, the engine combustion chamber and gas paths will be cleaner and require less maintenance. In addition, the low load behaviour of the engine will be improved and visible smoke is minimised.

# 1 Baggrund & formål

På MEPC (Marine Environmental Protection Committee) møde nummer 58 i oktober 2008 i London blev den reviderede MARPOL Annex XI og NOx Teknisk Kode 2008<sup>i</sup> endeligt vedtaget. "Regulation 13" omfatter NOx lovgivning for dieselmotorer. Udover nye lavere NOx grænser for nye motorer, inkluderedes også et afsnit dedikeret til motorer installeret på skibe i service. Regulering af NOx emissioner for motorer allerede i service er den nye ting i lovgivningen, og mange diskussioner er gået i forvejen for vedtagelsen af de nye regler.

I denne rapport vil et motorretrofit, der overholder lovgivningen blive kaldt en Approved Method.

## 1.1 Hvad der står i lovgivningen

For at en motor er omfattet er lovgivningen skal følgende være opfyldt:

- skib og motor skal være omfattet af MARPOL Annex VI
- skib bygget mellem 1. januar 1990 og 31. december 1999
- motoreffekt på >5000kW
- cylinder slagvolumen på 90 liter per cylinder
- en Approved Method skal være tilgængelig for motoren

For at en Approved Method er tilgængelig, skal følgende være opfyldt:

- Godkendelse af en Approved Method der dækker ens motor og IMO notificering skal være foregået senest for et år siden
- komponenter skal være kommercielt tilgængelige

For at en Approved Method kan godkendes og IMO notificering kan ske, skal følgende være opfyldt:

- certificering af en Approved Method skal ske i henhold til NOx Teknisk Kode 2008 kapitel 7
- motorens NOx niveau er over Tier I grænseværdi
- motordesigner skal verificere at ved applicering af en Approved Method:
  - o sænkes NOx emissioner til Tier I niveau
  - o sænkes motorens maksimale effekt ikke med mere end 1.0%
  - o øges testcyklus brændstofforbruget ikke med mere end 2.0%
  - o påvirkes motorens holdbarhed og pålidelighed ikke negativt
  - o overstiger prisen ikke den maksimale tilladte pris, som beregnet i prisformlen angivet i lovgivningen

## 1.2 Hvad er MAN Diesel & Turbo Low speed motorer

MAN Diesel & Turbo er verdens førende designer af store to-takts dieselmotorer. Motortyperne betegnes under et som MAN B&W motorer. Motorerne anvendes som hovedmotor i størsteparten af den internationale handelsflåde. Store to-taktsmotorer kaldes også low speed på grund af det lave

omdrejningstal motorerne er designet til. Udvikling af disse motorer foregår i København.

MAN Diesel & Turbo designer og bygger også motorer i medium- og high-speed kategorierne, dette arbejde foregår primært på vores lokationer i Tyskland.

Low speed motorerne bygges hos mere end 20 licenstagere, der ligger i Asien og Europa.

Cirka halvdelen af den installerede hovedmotoreffekt på store skibe i 90'erne er MAN B&W motorer. Den typiske levetid for et skib er 30 til 40 år, og i den periode skiftes en hovedmotor meget sjældent. I stedet foregår en løbende udskiftning af sliddele. Det betyder at den typiske levetid for en MAN B&W motor er meget lang, hvilket også forklarer hvorfor det kan betale sig at udvikle retrofit til denne type motorer, set fra et miljømæssigt synspunkt. Motortyperne bygget i 90'erne minder om de motorer der bygges i dag. Dog opererer de nye motorer med noget højere ydelser og en del lavere emissioner. Det nuværende motorprogram dækker motorer med effekt fra 2.000 kW til 87.220 kW, de største motortyper vejer op til 2.400 tons, er 26 m lange og 13 m høje.

### 1.3 Hvad har ligget før opgaverne defineret i dette projekt

Kravene nævnt i foregående afsnit vil i de fleste tilfælde formodentlig betyde at det er designere af motorer, der vil udvikle Approved Methods. Hos MAN Diesel & Turbo Low Speed i København har vi fra starten af diskussionen om en eventuelt kommende lovgivning for eksisterende motorer, valgt at involvere os aktivt. Vi har deltaget i alle IMO møder hvor emnet er diskuteret, og haft møder med forskellige myndigheder, hvor vi har redegjort for hvad vi kan bidrage med.

Dette projekt er en naturlig fortsættelse af dette arbejde.

### 1.4 Formål med dette projekt

Som opfølgning til den forudgående involvering i udarbejdelsen af lovgivningen, har det været naturligt at definere og udføre et udviklingsprojekt som næste skridt.

Formålet med dette projekt er:

1. **Lovgivning & retningslinjer**, udarbejdelse af fremgangsmåde for udarbejdelse og godkendelse af en Approved Method. Denne del af projektet omfatter involvering i færdiggørelsen af IMO lovgivningen
2. **Skabelon for dokumentation**, udvikling af fremgangsmåde og skabelon for dokumentation af den første godkendte Approved Method
3. **Udvikling af komponenter**, udvikling af nye indsprøjtningssyser til en gruppe af motorer, samt dokumentation af resultaterne.

Hvert af disse punkter er uddybet i senere afsnit.

### 1.5 Hvad ligger efter opgaverne defineret i dette projekt

Projektet dækker første del af det samlede arbejde med at opgradere skibe i service. Efter projektets afslutning følger kommercialiseringen, hvor de nye retrofit introduceres på markedet.

Projektet dækker den del af arbejdet, der primært udføres af udviklingsafdelingen i MAN Diesel & Turbo. Ved projektets afslutning vil ansvaret for den videre opgave videregives til henholdsvis PrimeServ og vores licenstagere.

PrimeServ er MAN Diesel & Turbos egen serviceorganisation. Vores licenstagere har deres egne serviceorganisationer, der i nogle tilfælde også vil involvere sig i at levere Approved Methods på baggrund af den dokumentation, vi udarbejder.

#### 1.6 Målsætning for MAN Diesel & Turbos involvering i Approved Methods

Der er en række ting, der kan gøre det enten umuligt eller kommercielt uinteressant at udvikle en Approved Method:

1. Motoren overholder allerede Tier I NOx krav
2. Der er fremstillet et lille antal af en motortype
3. Det er ikke muligt at udvikle et retrofit, der kan sænke NOx til Tier I niveau
4. Det er ikke muligt at udvikle et retrofit, der overholder kravene i lovgivningen, fx fordi prisen er for høj

Udover målsætningerne defineret i dette projekt, er målet for det efterfølgende arbejde at 80% af de motorer, der er installeret i perioden 1990 til 1999, opgraderes over en årrække.





## 2 Projektets dele

I de følgende afsnit er projektet dele beskrevet.

### 2.1 Lovgivning & retningslinjer

I den internationale maritime organisation, IMO, udarbejdes retningslinjer og lovgivning for international skibsfart. Som tidligere nævnt omfatter den seneste revision af emissionslovgivningen regulering af hidtidig uregulerede NO<sub>x</sub> emissioner fra motorer installeret på skibe fra perioden 1990 til 1999. Med den endelige vedtagelse på MEPC 58 komite mødet i oktober 2008 lå rammerne for lovgivningen fast. Detaljerne var dog stadig ikke helt klare, hvilket er nødvendigt for endeligt at kunne afgøre om og hvordan et retrofit skal udformes og dokumenteres.

En Approved Method, der kan anvendes på en gruppe af skibe skal godkendes af en IMO flagstat, hvorefter IMO skal notificeres om denne godkendelse. Herefter gælder godkendelsen for alle flagstater.

IMO udarbejder i nogle tilfælde retningslinjer (guidelines) til visse dele af lovgivningen. Retningslinjer er ikke er juridisk bindende, men IMO flagstaterne kan anvende dem til hjælp for hvad der kan godkendes.

Til forberedelsen af BLG 13 underkomite mødet i marts 2009, hvor der skulle udarbejdes eventuelle retningslinjer, forberedte MAN Diesel & Turbo i samarbejde med de danske myndigheder to dokumenter (submissions), der var med til at danne grundlag for diskussionerne ved mødet:

- BLG 13/13/7: Comments on certification procedures and documentation for Approved Methods
- BLG 13/13/8: Example of Approved Method documentation for certification

På mødet blev det vedtaget at anbefale MEPC komiteen at videre retningslinjer ikke er nødvendige. Nogle fortolkninger af lovgivningen, i forbindelse med formelen til beregning af maksimal pris af en Approved Method, blev nedskrevet i et oplæg til et dokument (IMO circular). Udover dette var der ingen indvendinger mod de dansk dokumenter.

På MEPC 59 mødet blev anbefalingerne fra BLG fulgt, og et dokument med fortolkninger blev udsendt (MEPC.1/Circ.678):

Følgende definitioner er inkluderet i dette dokument:

- $\Delta$ NO<sub>x</sub>: forskellen mellem motorens designede cyklusvægtede NO<sub>x</sub> værdi, og Tier I grænseværdien
- Power: motorens effekt som specificeres i ansøgningen til en Approved Method
- Cost: salgspris af komponenter plus installation udover normal vedligeholdelse

Med udgangspunkt i de danske dokumenter og fortolkningerne er der i projektet udarbejdet ansøgning til Approved Method.

## 2.2 Skabelon for dokumentation

Som nævnt i formålet er en af de tre hovedopgaver i projektet at fastlægge udformningen af dokumentationen for den første MAN B&W Approved Method.

Med udgangspunkt i den nye MARPOL Annex VI lovgivning, NOx Teknisk Kode og dokumenterne fra diskussionerne i IMO har MAN Diesel & Turbo udarbejdet en skabelon for en Approved Method ansøgning.

Forsøg på en 6S70MC motor hos vores licenstager i Japan blev udført som foreskrevet i lovgivningen. Resultaterne fra dette forsøg er bearbejdet og indført i materialet.

Herefter er materialet gennemgået af klassifikationsselskabet Germanischer Lloyd (GL).

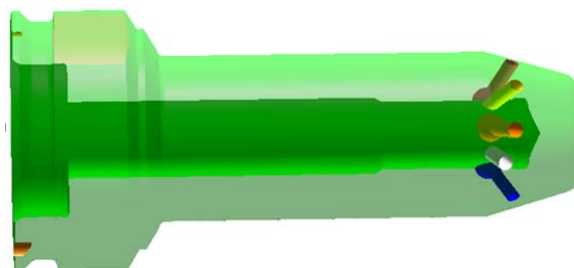
Efter mindre ændringer i dialog med GL, godkendte GL endeligt dokumentation i juli 2010. Denne udformning af dokumentationen vil fremover anvendes som skabelon for MAN Diesel & Turbo Approved Method dokumentation.

GL godkender at dokumentationen er udført som foreskrevet i lovgivningen, og indstiller at Danmark som flagstat godkender det. I Danmark varetages denne funktion af Søfartsstyrelsen.

## 2.3 Udvikling af komponenter

Udvikling af brændstofindsprøjtningssystemer foregår internt i MAN Diesel & Turbo Low Speeds udviklingsafdeling.

Gliderventilen, som er en del af opgraderingen i en Approved Method, er standard for nye motorer bygget efter 2000. Indsprøjtningssystemer til gliderventiler udvikles til alle nye motormodeller, og er et arbejdsområde der arbejdes intensivt på.



Figur 1. Gennemskåret brændstoffdyse med indsprøjtningshul ler

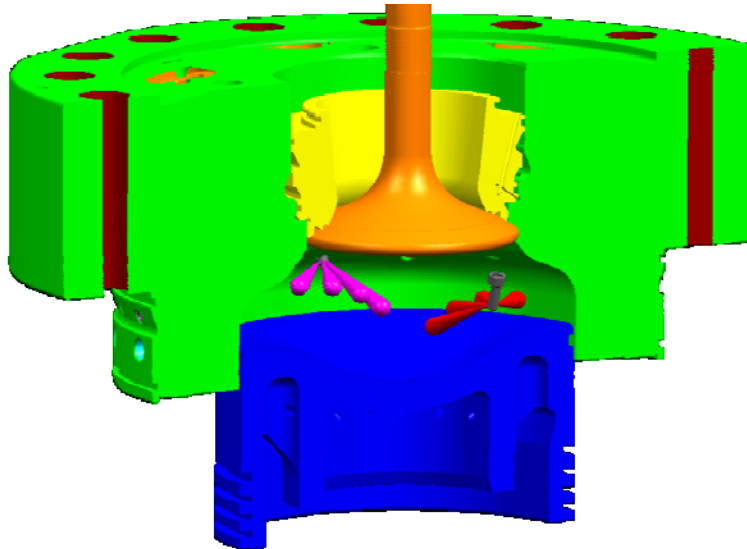
### 2.3.1 Design af ny brændstoffdyse

Til udvikling af indsprøjtningssystemer til Approved Methods er anvendt den samme fremgangsmåde, som for nye motorer: et udvalg af kandidater designes, produceres og testes på en testmotor. På grundlag af beregninger og forsøgsresultater udvælges den bedste egnede indsprøjtningssystem. I nogle tilfælde fører motortest til en ny iteration af processen.

Ved design af den nye indsprøjtningssystem anvendes egenudviklede værktøjer til visualisering af brændstofstrålen og forstøvning. Indsprøjtningssystemets formål er at sikre at brændstoffet forstøves og blandes med luft.

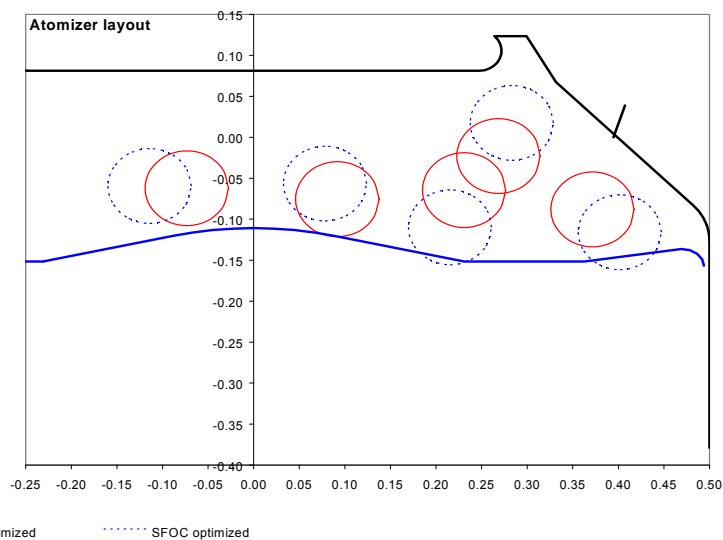
Brændstoffdysen er den komponent i brændstofindsprøjtningssystemet der har størst indflydelse på hvor godt forbrændingen foregår.

Ved vurdering af en brændstoffdyse kigges der blandt andet på emissioner, heat release og varmebelastning af motorkomponenter i forbrændingskammeret.



Figur 2. Forbrændingskammeret, her vist med stemplet i topposition, med visualisering af den kegleformede brændstoffordeling fra de to brændstoffdyser.

Det primære arbejde med at udvikle en ny brændstoffdyse, handler om at finde en optimal placering og udformning af hullerne i dysen.



Figur 1. Visualisering af brændstofkeglernes retning i forbrændingskammeret. De røde cirkler er gennem fem huller i en low-NOx brændstoffdyse. De fem blå stiplede cirkler er for en dyse med høj NOx.

Når der er udarbejdet en række forslag til brændstoffdysernes udseende, vil et sæt forsøgsdyser blive produceret på vores egen fabrik på Teglholmen i København.

Forsøgsdyserne kan nu monteres på en testmotor, for at eftervise om brændstofforbrug, emissioner og varmebelastning er som formodet.

### 2.3.2 Motorforsøg

I forbindelse med projektet er der udført tre forsøg, alle hos MAN Diesel & Turbos licenstager Mitsui Engineering & Shipbuilding i Japan.

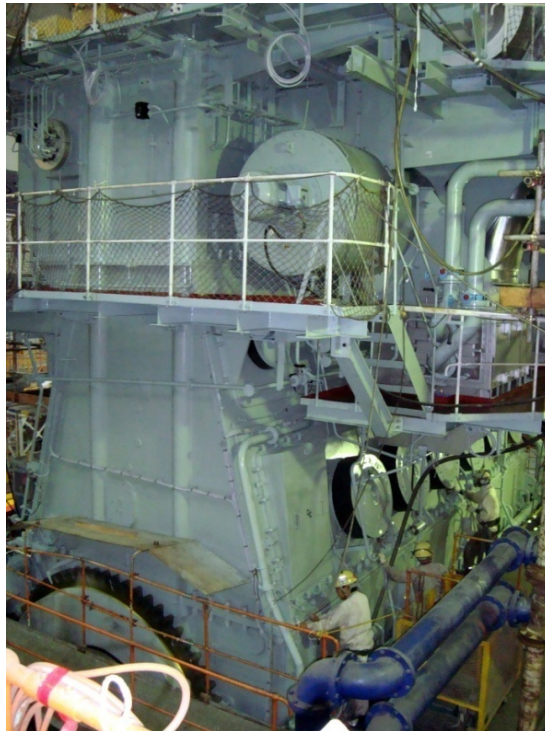
Følgende forsøg er udført:

4. september 2009, motortype S70MC
5. december 2009, motortype S60MC
6. juni 2010, motortype S50MC

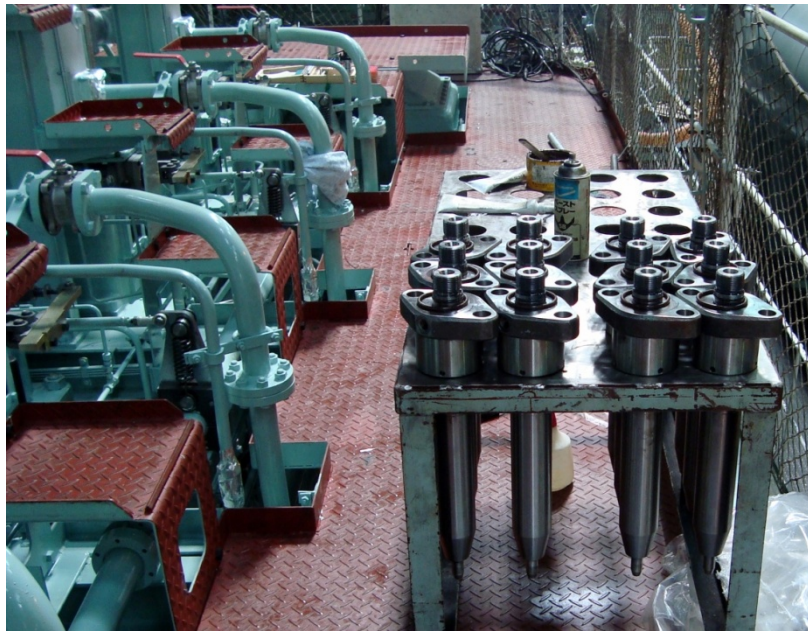
Nedenfor et afsnit med opsummering af resultater fra de tre forsøgsserier. I afsnittet omhandlende S60MC forsøgene er fremgangsmåden forklaret i lidt flere detaljer.

#### **2.3.2.1 Forsøgskørsel på S70MC motor**

Forsøgskørslerne til denne motortype foregik over tre dage, fra 14. til 16. september 2010. En sekscylinders S70MC motor fungerede som testmotor. Fire forskellige indsprøjtningssystemer og dyse konfigurationer blev afprøvet. To konfigurationer svarer til motorer i service, og to potentielle Approved Methods konfigurationer blev afprøvet. Resultaterne var gode, og en konfiguration til S70MC Approved Methods er valgt, og data kan anvendes til dokumentation.



Figur 4. Montører klargør 6S70MC testmotoren til forsøgskørsel på prøveplan i Japan.



Figur 5. På toppen af motoren: 12 sæt indsprøjtningssystemer og dyser klar til montering og test.

### **2.3.2.2 Forsøgs kørsel på S60MC motor**

4T50ME-X testmotoren i København anvendes til en stor andel af de motorforsøg, der udføres i forbindelse med udviklingen af motorerne. For komponenter der passer specifikt til individuelle motortyper, skal afprøvning foregå på en motor med det rigtige design. Indsprøjtningssystemer er en meget specialiseret komponent, der skal tilpasses de enkelte motortyper. Det er normal procedure for MAN Diesel & Turbo at udføre forsøg hos vores licenstagere, når et nyt design skal afprøves. Denne type forsøg udføres mange gange hvert år.

Motoren der anvendes til forsøget er en syvcylinders S60MC produktionsmotor, der er installeret på prøveplan i forbindelse med den afleveringsprøve alle motorer skal gennemgå som sidst trin i produktionen. I denne forbindelse reserveres motoren til testkørslerne, og ombygges med de nødvendige motordele. Efter testens afslutning føres motoren tilbage til sin oprindelige form, og den officielle afleveringsprøve afsluttes.

S60MC er i perioden 1990 til 1999 solgt i to versioner, i et Mark 3 og en Mark 5/6 design. Mark-numrene henviser til hvor høj motorens ydelse og maksimale cylinderforbrændingstryk er. For at simulere de to typer motorer, indstilles testmotoren på to forskellige måder for test af Approved Methods til hhv. Mark 3 og Mark 5/6 motorer. Resultaterne for testene skal efterfølgende anvendes til to separate dokumentationer og Approved Methods.

For Mark 3 motorerne afprøves tre forskellige brændstofventilkonfigurationer, to konfigurationer svarer til motorer i service, og en enkelt potentiel Approved Method konfiguration afprøves.

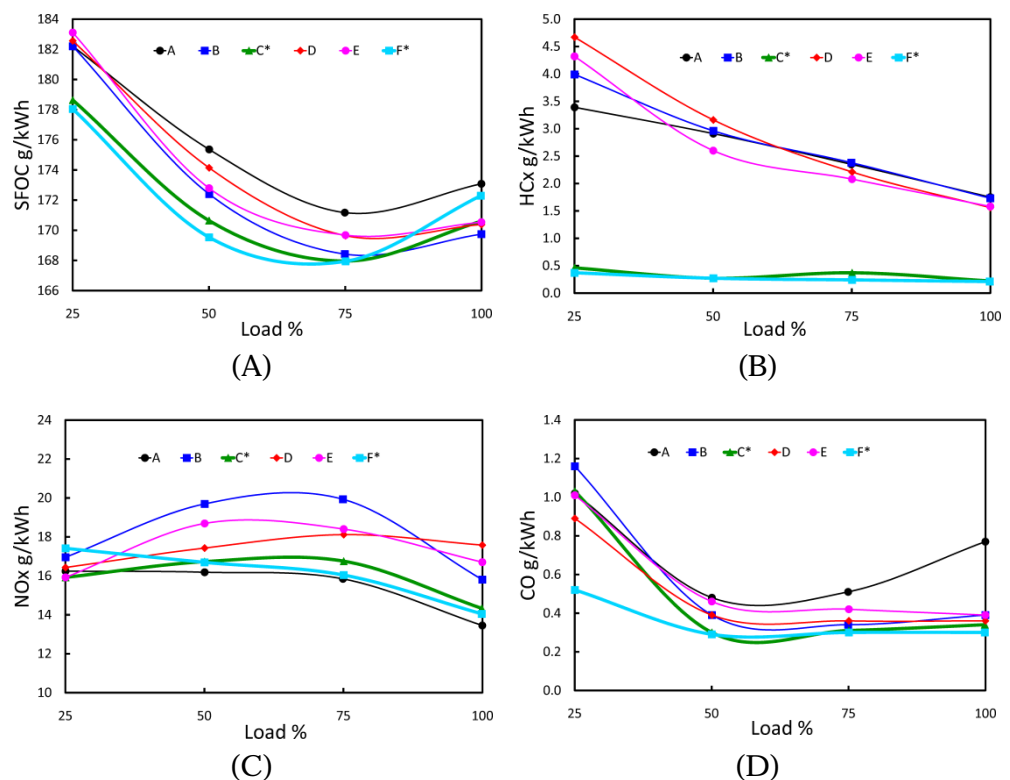
For Mark 5/6 motorerne afprøves seks forskellige brændstofventilkonfigurationer, fire konfigurationer svarer til motorer i service, og to potentielle Approved Methods konfigurationer afprøves. Nedenstående tabel opsummerer cyklusværdierne for de forskellige ventilkonfigurationer:

Konfiguration	A	B	C	D	E	F
brændstofforbrug [g/kWh]	172.8	170.0	169.6	171.1	171.0	169.9
NOx emission [g/kWh]	16.6	20.2	17.4	19.4	19.4	17.0
CO emission [g/kWh]	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3
HC emission [g/kWh]	2.3	2.3	0.3	2.3	2.1	0.2

Tabel 1. Cyklusværdier for S60MC testresultater.

A, B, D og E svarer til konfigurationer på motorer i service. C og F er potentielle Approved Methods konfigurationer. Konfiguration A er en konventionel ventilkonfiguration, optimeret til Tier I. Denne konfiguration blev leveret med visse motorer, solgt til overholdelse af Tier I NOx kraven før de blev et krav. Tier I grænseværdierne er 17.0g/kWh for store motorer. B, D og E er konventionelle konfigurationer med høj NOx. C og F er de to kandidater til Approved Method til S60MC Mark 5/6 motorer. C er fravalgt på grund af lidt høj NOx, og konfiguration F er valgt til Approved Method. Det betyder at motorer designet med konfigurationerne B, D og E kan opgraderes med den valgte Approved Method.

Nedenstående figurer viser mere detaljeret resultaterne af forsøgene. Denne gang er der ikke tale om cyklusværdier, men resultater fra de enkelte motorlaste. SFOC er specifikt brændstofforbrug.



Figur 6. Specifik brændstofforbrug (A), HC (B), NOx emissioner (C), og CO emission (D) ved de fire motor lastpunkter, med seks forskellige motorkonfigurationer.

### 2.3.2.3 Forsøgskørsel på S50MC motor

Den tredje forsøgsrække blev udført på en syvcylinders S50MC i juni 2010. Igen er forsøget udført i Japan.

Fem forskellige indsprøjtningssystemer og dyse konfigurationer blev afprøvet. To konfigurationer svarer til motorer i service, og tre potentielle Approved Methods konfigurationer er afprøvet.

Det har desværre ikke været muligt at få resultaterne af forsøget med i denne rapport, da afrapportering ikke er færdig ved projekttrappertens afslutning.

## 3 Konklusioner

MAN Diesel & Turbos involvering i Approved Methods fortsætter ud over dette projekt. Projektet har vist at Projektet omfatter tre hoveddele, som alle er opfyldt i projektforløbet.

### **Del 1: Udarbejde forslag til fremgangsmåde for dokumentation og godkendelse af retrofit til motorer.**

Lovgivningen er færdig, og emnet er færdigdiskuteret i IMO. Dokumenterne, der er udarbejdet som en del af dette projekt, har dannet grundlag for en del af diskussionerne.

### **Del 2: Udarbejdelse af fremgangsmåde og skabelon for dokumentation for de første retrofit til MAN B&W motorer.**

Fremgangsmåde og dokumentation for intern håndtering af dokumentation af en Approved Method til MAN B&W motorer er færdiggjort. Desuden er alle vores licenstagere løbende blevet informeret om vores arbejde, og har modtaget instruktioner til hvordan de kan producere og levere Approved Methods til de motorer de har produceret, på grundlag af de godkendelser vi har opnået.

Desuden er der etableret en hjemmeside ([www.mandieselturbo.com/AM](http://www.mandieselturbo.com/AM)), hvor alle der har interesse i emnet, kan finde generelle oplysninger om lovgivningen og vores motorer, samt forespørge om en konkret motor er omfattet af lovgivningen. Svaret vil i de fleste tilfælde give med det samme af systemet. I tvivlstilfælde gives instruktioner til hvem der kan kontaktes. Arbejdet er foregået i tæt kommunikation med klassifikationsselskabet Germanischer Lloyd, der også har godkendt den første MAN B&W Approved Method.

### **Del 3: Udvikling af nye brændstoffdyser til brændstofventiler for en nærmere udvalgt gruppe af motorer, herunder motorforsøg på testplan og udarbejdelse af færdig dokumentation for effekten.**

I projektperioden er der udviklet og afprøvet en række brændstoffdyse og brændstofventilkonfigurationer. Afprøvningen er foregået på prøveplan hos vores licenstagere Mitsui i Japan.

Der er udvalgt komponenter, som kan danne grundlag for Approved Method til tre motortyper (S50MC, S60MC og S70MC). S70MC dokumentationen er helt færdig og endelig godkendt af Germanischer Lloyd og fremsendt til den danske Søfartsstyrelse, som notificerer IMO. De to næste forventes at blive endelig godkendt i 2011.

---