



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Maritimt røggasrensning- og filtersystem

MUDP rapport
August 2019

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion: Peter Gludsø, CRR Denmark ApS

Fotos: CRR Denmark ApS

ISBN: 978-87-7038-090-4

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. 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

Forord	4
Konklusion og sammenfatning	5
1.1 Baggrund	5
1.2 Formål	6
1.3 Konklusion	7
2. Design, montering og implementering	8
2.1 Svovlbinding	8
2.2 Doserings- og infusionsystem	8
2.3 Filterteknologi	8
2.4 Kontrolstyresystemer	8
2.5 Systemdesign- og funktionalitet	9
2.6 Testmotor og -sted	10
3. Svovltest	13
4. Partikeltest	15
4.1 Procedure og analysemetoder	15
4.2 Resultater og diskussion	15

Forord

Miljøstyrelsen har ydet tilskud til CRR Denmark til projektet Maritimt røggasrensings- og filtersystem under Miljøstyrelsens MUDP program. Projektet har omhandlet etablering, opbygning og tests af en ny prototype løsning på et nyt maritimt filtersystem. Projektet har haft til formål at gennemføre test og afprøve effektiviteten af systemet til fjernelse af svovl og partikler i udstødningsgassen fra en skibsmotor opereret med svovlholdig olie (heavy fuel oil/HFO).

Projektet er afsluttet 30.6.2018. Nærværende rapport giver en opsummering af projekts overordnede resultater.

Forsøg, tests og etablering af testfaciliteter blev foretaget i samarbejde mellem Flensburg Universitet of Applied Sciences (FUAS) og CRR Denmark ApS (CRR).

Peter Gludsø, CRR Denmark ApS, Vejle den 29. juni 2018

Konklusion og sammenfatning

1.1 Baggrund

Der er fortsat stigende global fokus på at nedbringe de skadelige emissioner, der udledes fra skibsfart. Svovlforbindelser og partikler kan give betydelige skader på hhv. miljø, klima og folkesundhed. Derfor er der behov for at udvikle og bringe nye løsninger og metoder på markedet, for at reducere udledning af svovl, partikler og black carbon fra skibes røggas.

Målsætningen for projektet har været at dokumentere funktion og resultater af en løsning, der kan reducere udledning af svovl og partikler fra skibe. I projektet er opbygget en prototype, der er installeret på en testmotor (skibsmotor). Systemet har fungeret i ca. 250 testtimer med forskellige driftsscenarier og brændstof (heavy fuel oil) med forskelligt svovlindhold. Rensningseffekten er målt ved de forskellige driftsscenarier og kvaliteter af brændstof.

Den Internationale Maritime søfartsorganisation (IMO) har løbende gennem de senere år implementeret en række regionale lovkraav om reduktion af udledninger fra skibsfart. I forhold til svovl er der krav om at sejle på lavsvovlholdig olie (marine gas oil) eller rense udstødningsgassen for svovl.

Den 1.1 2015¹ trådte IMO regler i kraft om maksimalt svovlindhold i brændsels ved sejlads inden for de såkaldte Sulphur Emission Control Areas (SECA)². Alternativt kan skibe sejle på HFO, hvis de sikrer en rensning af røggassen, der svarer til at have sejlet på brændstof med højst 0,1 % svovl.

Den 1. januar 2020 træder globalt gældende IMO regler i kraft, hvor der uden for SECA områder kun må sejles på brændstof med max. 0,5 % svovl. Alternativt kan skibe sejle på HFO, hvis de sikrer en rensning af røggassen, der svarer til at have sejlet på brændstof med højst 0,5 % svovl.

Reglerne medfører overfor rederierne stærkt forøgede brændstofudgifter, fordi lavsvovlholdig olie også kaldt Marine Gas Oil (MGO) er væsentligt dyrere end HFO.

I IMO's lovbestemmelse om max. svovlindhold i olien, kan et rederi som nævnt vælge alternativt at sejle på det billigere HFO brændstof (svovlholdigolie), såfremt rederiet vælger at installere/ eftermontere et røggasrensesystem, som kan rense svovludledningen fra motorens udstødningsgas svarende til sejlads på svovlfattigt brændsel. Dette er beskrevet jf. grænseværdierne i svovldirektivet. Dermed vil rederiet kunne opnå en økonomisk gevinst og fortsat overholde lovgivningen.

Baggrunden for projektet har været at udvikle, teste og dokumentere en løsning til rensning af skibes røggas. Løsningen er en såkaldt tør-scrubber en løsning, der er designet som et 100 % lukket system, uden anvendelse af farlige kemikalier, og uden udledning til havmiljøet.

¹ The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL) Annex VI agreed by the International Maritime Organisation under the UN and adopted into EU legislation through the Sulphur Directive (Directive 2012/33/EU).

² The international Emission Control Areas (ECA) under MARPOL are special areas in which ships have to comply with stricter environmental requirements. There are currently two **ECA areas** in the World:

- **The Northern European ECA:** English Channel, North Sea, waters around Denmark, Baltic Sea.
- **The North American ECA:** All waters within 200 nautical miles of the North American coastline incl. Canada; all waters within 50 nautical miles of Hawaii, Puerto Rico and the US Virgin Islands.

CRR Danmark vil med projektet demonstrere en skalerbar og fremtidssikret løsning, som både kan reducere svovludledning ved sejlads på tung fuel olie, samt renser for partikler med høj effektivitet. det tilstræbes at løsningen både skal kunne installeres og benyttes på små og store skibe.

Målsætningen er, at systemet kan reducere sod og partikler fra skibets røggas med op til 99 %. Sidstnævnte vil være en særdeles positiv effekt i forhold til udledning af Black Carbon (udledning af sod fra dieselmotorer uden filter), som forskere og studier indikerer, kan bidrage til klimaforandringer³.

Løsningen skal desuden kunne opsamle restaffaldet fra selve rensningsprocessen i en lukket enhed, modsat eks. en open loop våd scrubber.

1.2 Formål

Konvertering og sammensætning af systemenheder for skabelse af et modulært og skalerbart røggasrensnings- system, til maritim brug og anvendelse og til eftermontering for røggasrensning af svovl og partikler, i direkte tilknytning til udstødningssystemet fra en skibsmotor, med anvendelse til både til mindre og store skibe/motorer.

Projektet skulle dokumentere et system med en stabil og kontinuerlig operation og effekt på fjernelse af svovlemissioner fra HFO drift, med det formål at etablere en alternativ løsning til rederier med sejlads inden for SECA områderne.

Projektets formål var at overføre og videreudvikle filterteknologier og metodevalg, som i dag også anvendes på landbaserede industrier, med et specielt videreudviklet maritimt design og metode, til brug og anvendelse på skibe, som skulle løse de drifts-, sikkerheds-, og ikke mindst effektmæssige og økonomiske udfordringer i forbindelse med det maritime miljø.

Det overordnede mål er at introducere en alternativ teknologi til eksisterende løsninger på markedet, der muliggør meget stor fleksibilitet på eftermonteringer, både på mindre og større skibe/motorer, også med en høj effektivitet på fjernelse af partikler.

TABEL 1. Overordnede succeskriterier

Projektets mål	Succeskriterier
Rensning af røggas	At dokumentere at systemet kan rense svovl og partikler i røggasen fra en marine motor som opereres med HFO bunker olie med 2,5 % svovlindhold.
Målinger af svovludledning	Resultaterne måles med af et godkendt SOx emissions målesystem fra Green Instruments og Sick
Reduktion af SOx til MDO 0,1 ækvivalent	Reduktionsprocessen og den kemiske reaktionsbalance justeres til at kunne reducere en svovlholdig tungolie, 2,5 % HFO, ned til et 0,1 % ækvivalent
Reduktion af partikeludledninger herunder Black Carbon	Partiklerne i røggassen reduceres målbart med 99+ % ned til en størrelse på PM 0,5. På landbaserede installationer er der dokumenteret reduktion af PM 0,5 med op til 99,9 % adskillelse
Måling af partikeludledning	Resultaterne måles af et godkendt målesystem fra Dansk Teknologisk Institut.

³ Det Økologiske Råd. 2007. Black Carbons indflydelse på klimaet. <https://www.ecocouncil.dk/black-carbons-indflydelse-pa-klimaet>

1.3 Konklusion

Den overordnede konklusion ud fra de gennemførte tests af systemet i projektføreløbet er, at resultaterne dokumenterer løsningen effektivt kan reducere og fjerne svovlemissioner fra røggassen i tilknytning til en marinemotor opereret på HFO. Ud fra de gennemførte tests med et svovlindhold i brændstof på mellem 2,2 % til 2,5 %, er det vist at reduktionen målt i røggasudledningen efter systemet svarer til at sejle på under 0,1 % svovlholdigt brændstof. Tests er foretaget med en kontinuerlig driftsperiode på 3 døgn, og med en motorbelastning fra 60 – 80%, herunder med stresstests over en længere periode, for at simulere en marinemotor under normal driftsforhold så optimalt som muligt.

Målinger af SO₂ i røggassen før tør/filter scrubber blev målt til ml. 489-551 ppm, og gennemsnitligt 11,6 ppm efter rensningsprocessen fra systemet. Der blev foretaget test med et gennemsnitligt forbrug og infusion af 12,6 kg NaHCO₃ per time, hvilket svarer til en svovlreduktion på mere end 98 % eller under max. grænsen for ratio beregning.

Målinger er udført af Dansk Teknologisk Institut på partikelstørrelsesfordelingen baseret på SMPS-målinger af partikelantalskoncentration i størrelsesområdet 10-420 nanometer, målt før og efter scrubber.

Den gennemsnitlige partikelantalskoncentration før og efter scrubber er blevet målt til henholdsvis 78 mio. partikler/cm³ og 0,15 mio. partikler/cm³. Dette svarende til en effektivitet på 99,8 ± 0,1%.

2. Design, montering og implementering

CRR Maritime filter EGC løsningen, er udviklet og opbygget som en fuldt ud integreret lukket kreds i tilknytning til skibets udstødningssystem, og uden nogen form for udledning til havmiljøet. Der er som udgangspunkt ikke begrænsninger på skibs- og eller motorstørrelser. Løsningen er baseret på hovedkomponenterne beskrevet herunder.

2.1 Svovlbinding

NaHCO_3 (natrium bikarbonat) og eller egnede kalk produkter (lime granulater) tilføres med infusion fra en nøje beregnet positionering til selve udstyret og reguleres i en løbende proces og mængde ud fra skibets/motorens drifts- og ydelsesmønster i kombination med styringskontrol til selve CRR filterenheden, hvorefter der sker en kemisk reaktion af svovlforbindelser i udstødningsgassen, som opfanges, bindes og elimineres i en løbende cyklus.

2.2 Doserings- og infusionssystem

Metodevalg og systemer for dosering og infusion af den rette mængde og flow af materiale, designes ud fra skibets motoreffekt og røggasmængde, samt indhold af svovl fra olien, som via intelligente styringsystemer tilpasses på en automatiseret forsyningsmængde og doseres på baggrund af en række dynamiske værdier, herunder bl.a. data på SO_2/CO_2 ratio således det sikres, at ratio ikke overstiger de maksimalt tilladte mængder, jf. IMO's svovludledningsdirektiv. Doseringen kan således automatisk tilpasses, hvis svovlniveauet i brændstoffet ændres, baseret på målinger fra emissionsmålesystemet.

2.3 Filterteknologi

Filterteknologien er baseret på nøje udvalgte materialeenheder og sammensætninger, for udnyttelse af filteroverflader og dimensioner.

Røggasrensningen foregår ved at SO_2 fra afbrændingen af HFO, indeholdende svovl, reagerer med bikarbonatet (NaHCO_3) ved $>140^\circ\text{C}$.

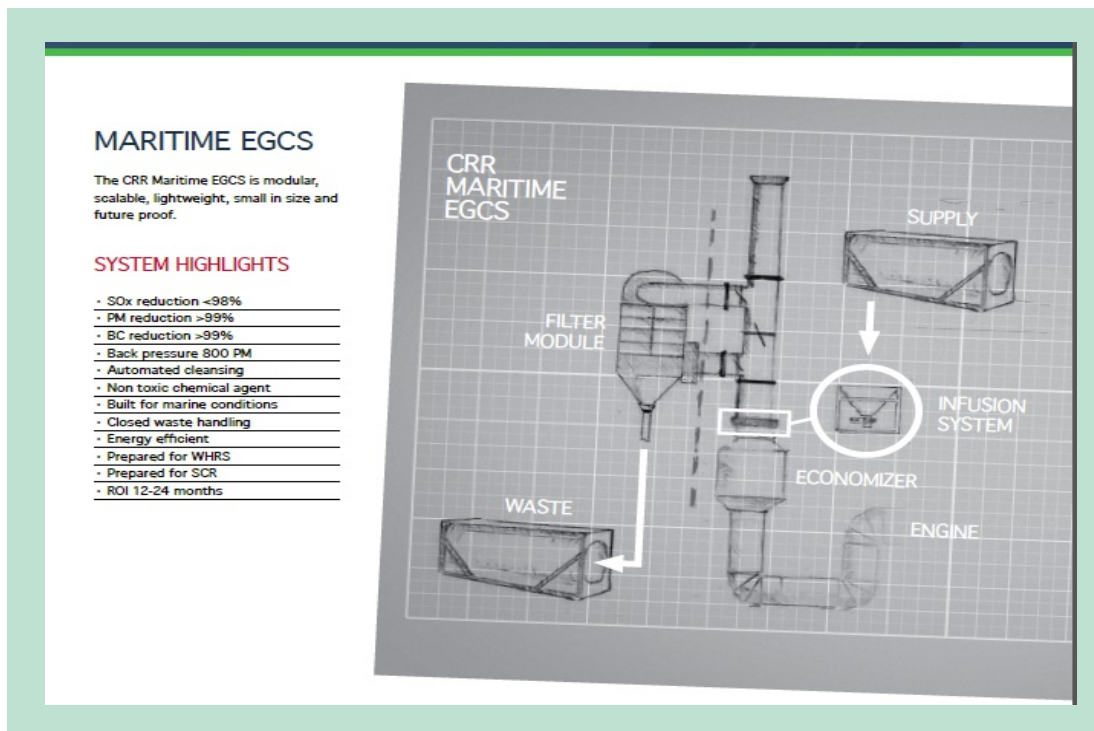
Inden røggassen ledes ud i atmosfæren, ledes den igennem et antal filterpatroner, som er specifikt designet ud fra motorens størrelse samt røggasmængder. Under denne proces, opstår der en kemisk reaktion, som binder sod, svovl, partikler og tungmetaller, der samles og opbygges som en belægning på filteroverfladerne.

Filtersystemet afrenses gennem en løbende automatiseret proces, hvilket bl.a. defineres ud fra modtrykket i systemerne. Når systemet afrenses, samles affaldet op i en silo/container eller anden egnet opsamlingsenhed. Løsningen opsamler ligeledes partikler med megen høj virkningsgrad.

2.4 Kontrolstyresystemer

Alle de væsentlige elementer i CRR løsningen, er udviklet med henblik på, at alt kan styres fra et internt kontrolstyresystem. Denne centraliserede styring medfører bl.a., at vi er i stand til at optimere brugen af løsningen, ligesom vi sikrer opsamling af data, på tværs af styreenheder, hvilket optimerer processen ifm. justering af systemet i operationel drift. Desuden opsamles alle alarmer i det centrale kontrolstyresystem.

2.5 Systemdesign- og funktionalitet



FIGUR 1. Systemdesign.

Skibsmotorer som opereres med tungolie (HFO), har en skiftende (dynamisk) udgangsrog-gastemperatur, der ofte ligger mellem 320°C og 400°C, og er afhængig af motorbelastningen i forbindelse med driften. Ved brug af en typisk allerede installeret kedel/varmeveksler (economizer), reduceres røggastemperaturen og den udvundne energi genanvendes typisk på skibet i form af f.eks. damp til opvarmning af mandskabslokaler, passagerkahytter, køling og/eller elektricitet. I forbindelse med en kedel, reduceres røggastemperaturen til en jævn temperatur for optimal udnyttelsesgrad af løsningens sammensætning.

Natriumbikarbonatet eller andet egnet svovlbindingmateriale, indføres ind i røggasstrømmen og selve systemenheden. Infusionssystemet består af en doseringsenhed, slanger til infusionspunktet, røggasrør og en forsyningsbeholder/tank til svovlbindingmateriale, der anvendes til reagensstof med SO₂. Forbrug af eks. bicarbonat beregnes jf. støkiometrisk værdier sammenholdt med røggasmængder, svovlindhold mv. Den optimale reagenstemperatur ligger fra 140° C og opæfter. Erfaringer fra projekt og testanalyser beskriver affald fra denne type svovlreduktion til at bestå af følgende hovedsammensætning:

Ca. 75 % natriumsulfat

Ca. 20 % natriumkarbonat

Ca. 5 % aske

Bikarbonat såvel som det resulterende affald defineres på sigt til at kunne genanvendes til andre industrier for eksempel vejbelægning, byggematerialer og eller glasproduktion.

Røggasmassen og dennes flow, fortsætter typisk til et dobbelt t-stykke med 3 by-pass ventiler til hhv. hovedrør, udgang og tilbageførsel til og fra filterenheden. By-pass ventilerne styres af en elektronisk og eller luftstyring, der forholder sig til temperaturen før filter og automatisk åbner i tilfælde af tilstande, der kan føre til problemer med filterenheden og eller skibets drift. For at følge lovgivningens lovkrav registreres al bevægelse af ventilerne til dokumentation.

Ved indgang i filterenheden, i den første del af filtret, reduceres hastigheden af røggasen da rummet udvides, hvorefter røggassen føres mod filterpatronerne. På filterpatronerne akkumuleres partiklerne fra svovl-bikarbonat-bindingen og alle andre partikel agglomerater på filteroverfladen, hvormed der opbygges en belægning fra denne proces.

Et manometer måler modtrykket indenfor filterenheden og ved opnåelse af et prædefineret modtryksniveau sendes en besked til styresystemet, der igangsætter afrensning af de enkelte filterpatroner. Patronerne afrenses kontinuerligt med trykluft impulsstyring. Filterafrensningen sker løbende og automatisk under motorens drift uden nogen form for afbrydelser. Affaldet opsamles i affaldssystemenheder.

Den rensede røggas fortsætter nu til skibets udstødnings/afgas system, hvor emissions- grænseværdien måles fra godkendt emissions måleudstyr som sikre korrekte værdier på emissionsækvivalenten. De målte værdier samt motorbelastningsområderne koordineres løbende for input til styresystemet, der indstiller doseringen korrekt.

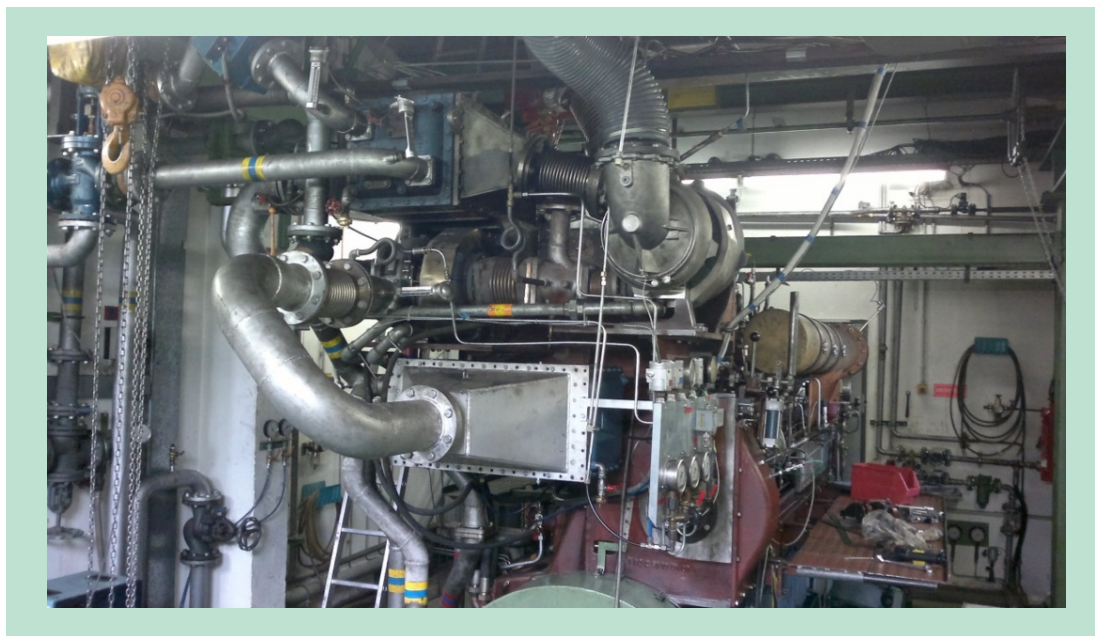
Styresystemet modtager beskeder fra de forskellige sonder og aktivitetsmålere. De enkelte niveauer indstilles ved opsætning af systemet, baseret på motorbelastning, svovlindhold i HFO, temperatur og andre relevante forhold.

2.6 Testmotor og -sted

CRR's udviklings- og demonstrationsprogram blev gennemført og udført i Tyskland, hos Flensburg University for Applied science på et maritimt forsøgscenter, i tilknytning til deres test- og forsøgsmotor en MAK 750kW, hvor alt udstyr er godkendt og designet til at opererer med Heavy Fuel Oil (HFO).

I forbindelse med godkendelse for opsætning af alt testudstyr, blev der i samme forbindelse udført en statisk analyserapport samt udarbejdet og godkendt en sikkerhedsrapport.

Projektet og selve systemopsætning (installation og setup) blev officielt godkendt af universitetet i december 2016. FUAS og CRR har i planlægningsfasen fokuseret på at sikre valide test-data ved at bygge nok kapacitet, redundans og driftssikkerhed ind i designet som beskrevet i tabel 2:



FIGUR 2. Forschungsmotor "FOMO" 4524.

TABEL 2. Sikkerhed og redundans

Målepunkter	Sikkerhed
Svovlindhold i HFO	2 laboratorier til at teste svovlindhold i HFO'en. FUAS og Rostock University
Svovlindhold i udstødningsgassen (rågassen)	2 systemer til at måle ppm koncentrationen fra rågassen (efter motoren og før filtersystemer). FUAS samt Testo.
Filtreringskapacitet og overflow	2 filter enheder. Hver filterenhed er dimensioneret til at kunne håndtere røggassen fra en 2MkW motor. FOMO 4524 er på 750kW. Vi har dobbelt kapacitet i en filterkasse og vi kan også skifte mellem de 2 filterkasser hvis nødvendigt.
Svovlindhold efter tør scrubber	2 godkendte emissionsmålingssystemer godkendt til maritimt brug til at måle svovlniveauet efter filtersystemet. Green Instrument og Sick Sensor Intelligence
Partikelmåling	1 analyseinstitut til at måle partikler: Dansk Teknologisk Institut



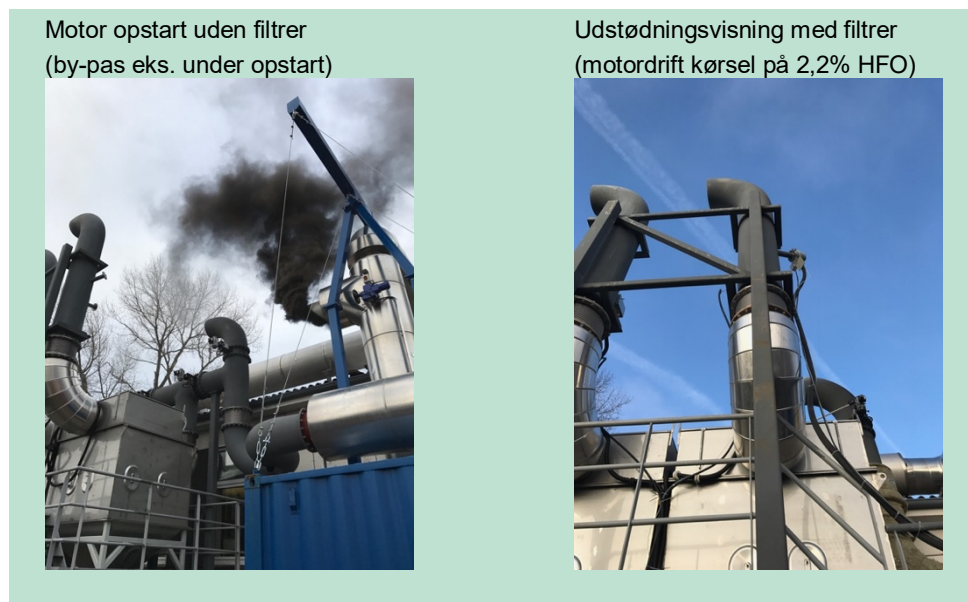
FIGUR 3. Installation af udstyr.

3. Svovltest

Tests blev planlagt til at indeholde flere forskellige typer af senarier for dagstest til indkøring og afprøvning af systemer, ud fra definerede senarier, samt en stress test på i alt 3 døgn motor-kørsel.

TABEL 3. Tidsplan

Projektaktiviteter	Q3 16	Q4 16	Q1 17	Q2 17	Q3 17	Q4 17	Q1 18	Q2 18
Projekt- designforberedelser herunder undersøgelser for mulige placering og tilslutning af testudstyr med indgåelse af statiske og konstruktions beregninger	X	X						
Produktion af testudstyr med bearbejdning af nødvendige godkendelser samt indgåelse af kontrakter og aftaleforhold		X						
Opbygning af stålplatform, installation af test udstyr og komponenter. Gennemgang og godkendelses procedure på færdig opbygning af testudstyrskonstruktion		X						
Opstarts- og intervalindkøring på hhv. testmotor og på test/filterudstyr og dosering. Kalibrering af alle udstyrsenheder, med test og tilpasning af elektroniske komponenter			X					
Testkørsler – interval og stres- test (68 timer non stop) af alle systemer, målinger & kontinuerlig driftsoptimering			X	X	X			
Røggasmålinger af svovl og partikler – validering af dataindsamling			X	X	X		X	X
Systemtilpasninger generelt for optimeringer og automatiseringer					X	X	X	X

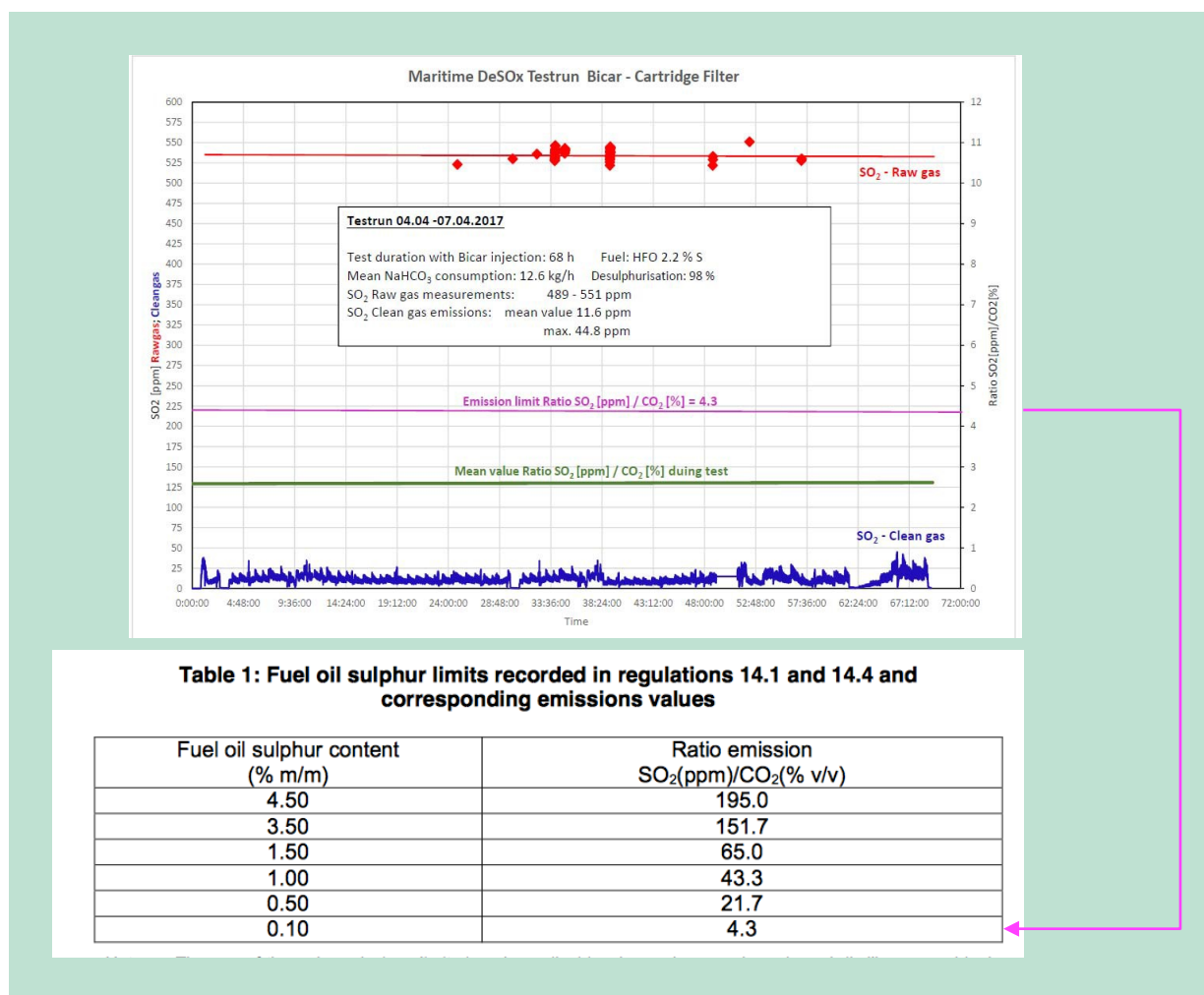


FIGUR 4. Drift med og uden filtre.

Efter de første par operationelle dagskørsler med indkøring af dosering, kalibrering af måleudstyr og test af svovlniveauer, var svovlniveauet i røggasserne efter systemenheden stadig for højt. Årsagen var bl.a. et for højt temperaturfald i udstødningssystemerne. I mellem de infusionspunkter havde vi installeret en køler for at simulere en varmeveksler og for kontrollerende

røggastemperatur efter køleren. Infusionspunktet blev flyttet til før køleren, for at opnå mere optimal temperatur og reaktionsmønster. Efter denne ændring kørte systemet stabilt og med ønsket resultat.

De efterfølgende dagstests blev brugt på at finde balancen mellem forbrug af bikarbonat og IMO's emissionsrate på 4,3 (SO₂ (PPM) / CO₂ (% v/v)) svarende til under 0,1 % svovlindhold i brændstoffet. Systemet kan gå meget tæt på nul, men bruger så forholdsvis mere forsyningsmateriale. Da plads på et skib også er en faktor, er det vigtigt at begrænse forbruget på forsyning og restaffald ud fra det optimale forbrugsmønster. I forbindelse med den planlagte langtidstest fandt vi den korrekte gennemsnitlige forsyningsmængde på 12,6 kg/time, svarende til en ratio på omkring 2,5 for at modvirke eventuelle udsving i forbindelse med afrensning af filtre og eller ændringer af load på motor. Det viste sig ikke at være nødvendigt og vi kunne derfor have brugt mindre bikarbonat.



FIGUR 5. Resultat af 68 timers langtidstest.

4. Partikeltest

Det er almindelig viden, at forbrændingen af HFO udleder sod og partikler, men der er endnu ikke nogle klare regler for partikeludledning, og en af udfordringerne er, at få en præcis måling af partikler ombord på et skib, under sejlads.

Teknologien udvikles konstant og sammen med opmærksomheden omkring partikler og relaterede følgesygdomme, er det sandsynligt at lovgivningen også vil omfatte partikeludledning i fremtiden.

CRR Denmark har rekvireret Teknologisk Institut til at udføre måling af partikelstørrelsesfordeling og partikelantal før og efter en tør-scrubber med henblik på at vurdere dens effektivitet over for partikler.

Målingerne blev udført den 5. april 2017 på CRR Danmarks testfacilitet i Flensborg.

4.1 Procedure og analysemetoder

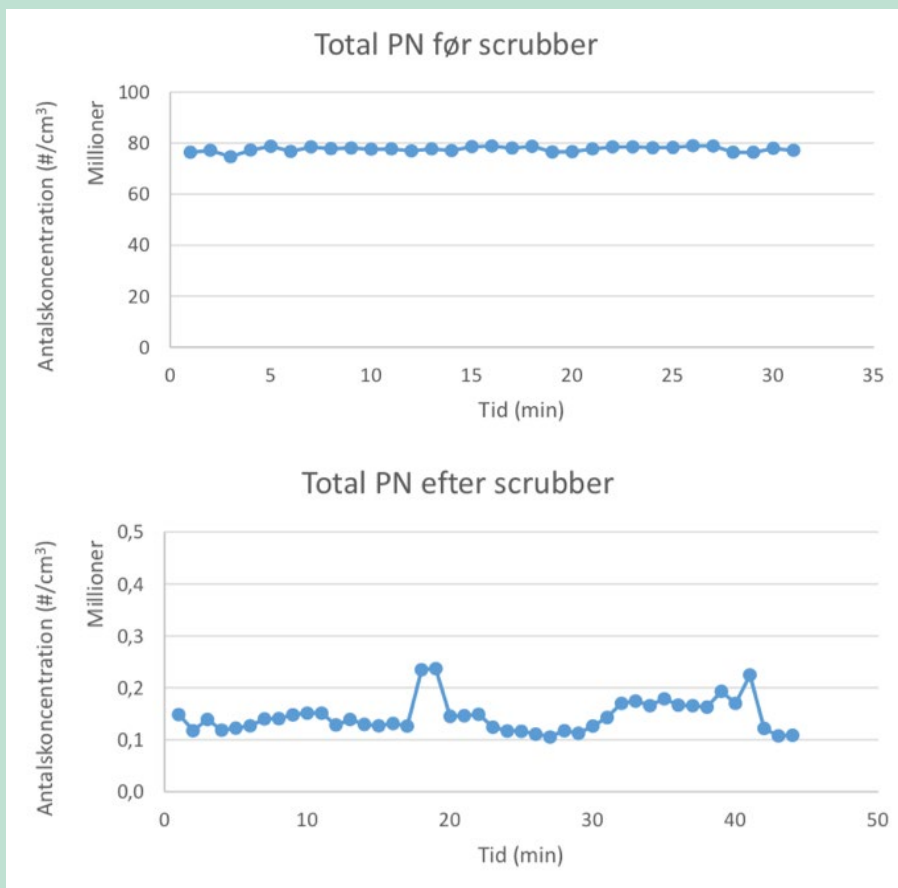
Målingen efter scrubber blev udført fra kl. 11:48 til kl. 12:31, og målingen før scrubber blev udført fra kl. 12:59 til kl. 13:31.

Med NanoScan SMPS (TSI) måles partikelstørrelsesfordeling og partikelantal i størrelsesområdet 10-420 nanometer i 13 størrelsesfraktioner.

Dette måleområde dækker oftest partikelstørrelser fra udstødningsprocesser. Data logges én gang per minut. Ved brug af catalytic stripper (Catalytic Instruments GmbH) sikres, at det udelukkende er den faste partikelfraktion, der måles. Den rå udstødning fortyndes ved brug af rotating disc diluter (Testo), så partikelkoncentrationen kan tilpasses måleinstrumentet både før og efter tørscrubberen.

4.2 Resultater og diskussion

Den totale partikelantalskoncentration (PN) som funktion af tid, målt før og efter filtersystemet.



Det bemærkes, at efter 18 minutter blev scrubberen afrenset med trykluft, hvor der blev målt en kortvarig stigning i PN til ca. 0,24 mio. Partikler/cm³. Efter 41 minutter blev scrubberen igen afrenset med trykluft, hvilket medførte en kortvarig stigning i PN til ca. 0,22 mio. Partikler/cm³.

FIGUR 6. Total partikelantalskoncentration (PN) før og efter scrubber

Middelværdi og tilhørende standardafvigelser fremgår af tabel 4.

TABEL 4. Partikelantalskoncentration: Middelværdi og tilhørende standardafvigelser fremgår

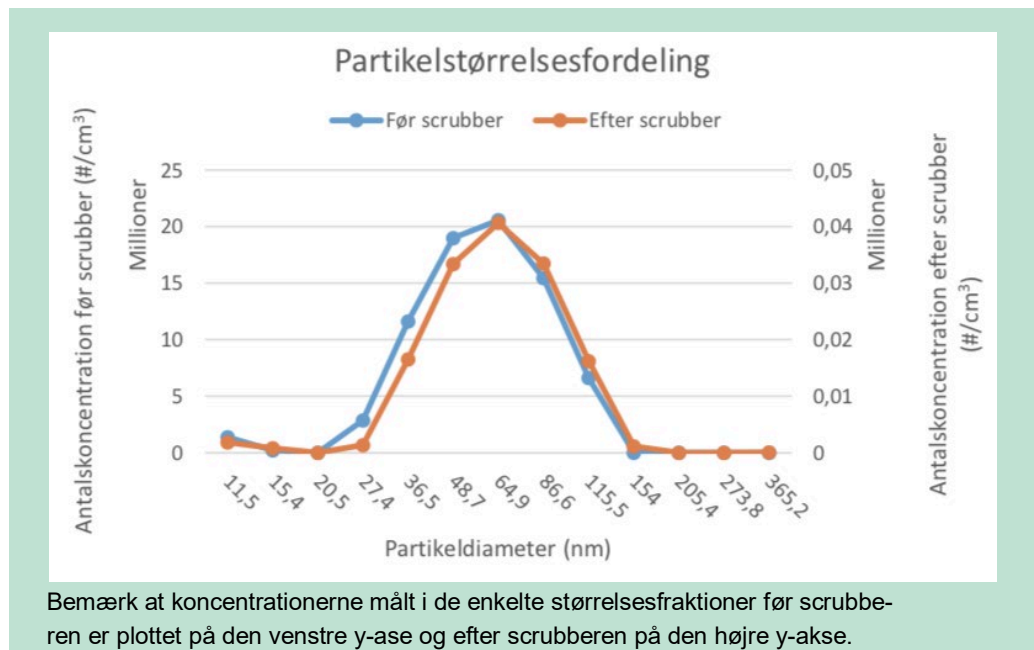
	Partikelantalskoncentration (#/cm ³)		Partikeldiameter (nm)	
	Middelværdi	Standardafvigelse	Middelværdi	Standardafvigelse
Før scrubber	78 mio.	1 mio.	63,5	0,3
Efter scrubber	0,15 mio.	0,03 mio.	68,4	3.2

Baseret på ovenstående middelværdier og standardafvigelser, er scrubberens effektivitet over for partikelantal beregnet til 99,8±0,1 %.

Effektiviteten er udregnet efter nedenstående ligning:

$$Effectivitet\ i\ \% = \frac{PN_{før} - PN_{efter}}{PN_{før}} \times 100\ \%$$

Partikelstørrelsesfordelingen efter scrubberen er marginalt forskudt mod en højere middelpartikeldiameter sammenlignet med partikelstørrelsesfordelingen målt før scrubberen, hvilket også ses i Figur 7. Dette kan f.eks. skyldes, at scrubberen mere effektivt fjerner de mindre partikler eller at de mindre partikler agglomererer til større partikler i scrubberen.



Bemærk at koncentrationerne målt i de enkelte størrelsesfraktioner før scrubberen er plottet på den venstre y-akse og efter scrubberen på den højre y-akse.

FIGUR 7. Partikelstørrelsesfordeling målt før og efter scrubber

Maritimt røggasrensnings- og filtersystem

En prototype af et nyudviklet maritimt EGC tørfilter system, blev etableret, udviklet og testet med direkte tilslutning til røggasset fra en 750 KW MAK marinemotor.

Projektets målsætninger blev indfriet og viste at systemet fjerner svovl og partikler fra røggassen med en meget høj effektivitet fra motordrift med HFO (Heavy Fuel Oil).



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk