

# HOLLAND SHIPYARDS

## CONVERSION ROTRA MARE

Container vessel to Heavy cargo



# Container vessel to Heavy cargo

---

## Onderzoeksrapport

|                     |                                                        |
|---------------------|--------------------------------------------------------|
| Auteur:             | Jan-Jaap van der Graaf                                 |
| Opleiding:          | Maritiem Officier, HBM WTK                             |
| School:             | HZ University of Applied Sciences<br>De Ruyter Academy |
| Bedrijfsbegeleider: | Jules Custers                                          |
| Schoolbegeleider:   | Arie de Groot                                          |
| Versie:             | 1.0                                                    |
| Uitgave:            | 10 april 2017, Hardinxveld-Giessendam                  |

## Abstract

Het huidige onderzoek betreft het ombouwen van voormalig container feeder de Flinter Crown, van de Rederij Flinter, naar zware lading schip de Rotra Mare. Het voormalige schip wordt uitgerust met een nieuwe boeg en een RO-RO ramp om zware lading stukken te laden en te lossen. De huidige hoofdmotor wordt in vermogen teruggenomen doormiddel van een toerentalverlaging van 500 naar 450 rpm. De reden hiervoor is om het brandstofverbruik te verminderen. De onderzoeksvraag luidt daarom als volgt:

‘Wat voor brandstofbesparing voor de Rotra Mare levert het op als het vermogen verlaagd wordt van 7999kW naar 5400kW door aanpassingen aan het toerental, tevens wat zijn de praktische toepassingen om de verlaging mogelijk te maken?’ Daarnaast was het verzoek om extra onderzoek te doen naar een uitlaatgassenreiniger om de Rotra Mare van te voorzien en de daarbij komende kostenberekening in kaart te brengen.

Doormiddel van interviews met de verschillende motorcomponenten leveranciers is er geconstateerd dat de tandwielkast, CPP en de motor zelf aangepast moesten worden om de vermogensverlaging mogelijk te maken. De tandwielkast kreeg een set nieuwe tandwielen, de CPP nieuwe schroefbladen en de motor kreeg door het verlagen van het toerental koelwater problemen. Met deze informatie werden de aanpassingen uitgevoerd. Alle aanpassingen resulteerde in een hoofdmotor dat een nieuw maximaal toerental van 450 rpm heeft. Tijdens de proefvaart na de gehele verbouwing werd het nieuwe maximale vermogen en een nieuw specifiek brandstofverbruik van de hoofdmotor bepaald. Dit resulteerde in een theoretische brandstofbesparing van rond de 6 ton/dag.

Om daarnaast informatie te verkrijgen over de uitlaatgassenreiniger, zijn er interviews gehouden met verschillende leveranciers. Met de nieuwe vaar- en motoreigenschappen van de Rotra Mare is berekend dat de goedkoopste uitlaatgassenreiniger zichzelf na zeven jaar terug zal verdienen.

## Abstract

The following research involves the conversion of former container feeder Flinter Crown, to heavy cargo ship the Rotra Mare. The former ship is equipped with a new bow and a RO-RO ramp for loading and discharging of heavy cargo. The current main engine is lowered in terms of power by means of reduction of the engine rpm from 500 to 450 rpm. The reason is to reduce fuel consumption, therefore the research question is as follows:

What kind of fuel savings does the Rotra Mare save when the main engine power is reduced from 7999 kW to 5400 kW by adjustments to the engine speed, also what are the required adjustments to make this possible? In addition, there will be an extra research on providing the Rotra Mare with an exhaust gas cleaner installation and calculating the costs of such a system.

Through interviews with the various engine component suppliers, its concluded that it is required to adjust the gearbox, CPP and the engine itself to make the engine reduction possible. The gearbox will be fitted with a new set of gears, the CPP will be fitted with new propeller blades and as a result of lowering the engine speed a cooling issue occurred. With this information the adjustments were made. All modifications resulted in a main engine having a new maximum speed of 450 rpm. During the sea trial after conversion, a new maximum power and a new specific fuel consumption of the main engine were determined. This resulted in a theoretical fuel savings of about 6 ton/day.

In order to obtain additional information on the exhaust gas cleaner, several interviews were held with different suppliers. The calculation is showed that the exhaust gas cleaner will pay itself back after seven years. This is calculated with the cheapest exhaust gas cleaner, new sailing and engine performance of the Rotra Mare.

## Inhoud

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 1. Inleiding .....                                         | 1  |
| 1.1 Onderscheid .....                                      | 2  |
| 2. Theoretisch kader .....                                 | 3  |
| 2.1 Gegevens Rotra Mare .....                              | 3  |
| 2.2 Trillingen onderzoek .....                             | 4  |
| 2.2.1 Onderzoek Intersona Rotra Vente .....                | 4  |
| 2.2.2 Trilling vereisten .....                             | 4  |
| 2.2.3 Grootste oorzaken van trillingen .....               | 4  |
| 2.2.4 Natuurlijke frequentie Rotra Vente .....             | 6  |
| 2.3 Toerental verlaging as generator .....                 | 7  |
| 2.3.1 Frequentieregelaar .....                             | 7  |
| 2.3.2 Werking .....                                        | 7  |
| 2.3.3 Hydraulische koppeling .....                         | 7  |
| 2.3.4 Werking .....                                        | 7  |
| 2.4 SOx scrubber .....                                     | 8  |
| 2.4.1 Algemeen .....                                       | 8  |
| 2.4.2 IMO MARPOL .....                                     | 8  |
| 2.4.3 EU .....                                             | 8  |
| 2.4.4 SOx scrubber .....                                   | 9  |
| 2.4.5 Soorten scrubbers .....                              | 9  |
| 2.4.6 Type scrubbers .....                                 | 10 |
| 2.4.7 Afmetingen .....                                     | 11 |
| 3. Methode .....                                           | 12 |
| 3.1 Onderzoeksmethodes .....                               | 12 |
| 4. Resultaten .....                                        | 13 |
| 4.1 Proefvaart voor toerentalverlaging .....               | 13 |
| 4.2 Interviews leveranciers voortstuwingsinstallatie ..... | 13 |
| 4.2.1 MAK Bolier .....                                     | 13 |
| 4.2.2 Siemens Flender .....                                | 13 |
| 4.2.3 Vulkan Flexibele koppelingen .....                   | 14 |
| 4.3 Alternatieven voor toerentalverlagingen .....          | 14 |
| 4.3.1 Frequentieregelaar .....                             | 14 |
| 4.3.2 Hydraulische koppeling .....                         | 14 |
| 4.4 HT Koelwater systeem .....                             | 14 |

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 4.5 Schroefblad.....                                       | 14 |
| 4.6 TVC calculatie .....                                   | 14 |
| 4.7 Proefvaart na toerentalverlaging .....                 | 15 |
| 4.8 Brandstofverbruik berekeningen .....                   | 15 |
| 4.9 Uitlaatgassenreiniger interviews.....                  | 16 |
| 4.10 Scrubber installatie.....                             | 17 |
| 4.11 Uitlaatgassenreiniger installatiekosten .....         | 17 |
| 5. Discussie .....                                         | 18 |
| 6. Conclusie.....                                          | 20 |
| 6.1 Deelvragen .....                                       | 20 |
| 6.2 Hoofdvraag.....                                        | 21 |
| Bibliografie .....                                         | 22 |
| Bijlagen .....                                             | 25 |
| Bijlage 1 IMO Regeling MSC.337(91).....                    | 25 |
| Bijlage 2 ISO 6954:2000.....                               | 25 |
| Bijlage 3 FEM Model aft ship.....                          | 25 |
| Bijlage 4 Regels en wetgeving uitlaatgassenreinigers ..... | 26 |
| Bijlage 5 Open Loop scrubber system .....                  | 28 |
| Bijlage 6 Closed Loop scrubber system .....                | 29 |
| Bijlage 7 Hybrid scrubber system .....                     | 29 |
| Bijlage 8 Uitlaatgassenreiniger componenten .....          | 30 |
| Bijlage 9 Proefvaart voor toerentalverlaging .....         | 34 |
| Bijlage 10 MAK Bolier interview .....                      | 37 |
| Bijlage 11 Siemens Flender interview .....                 | 42 |
| Bijlage 12 Vulkan interview .....                          | 46 |
| Bijlage 13 Frequentieregelaar .....                        | 47 |
| Bijlage 14 Hydraulische koppeling.....                     | 47 |
| Bijlage 15 HT Koelwater systeem .....                      | 48 |
| Bijlage 16 Nieuw schroefblad .....                         | 49 |
| Bladontwerp.....                                           | 49 |
| As uitlijning en whirling .....                            | 49 |
| Openwaterdiagram .....                                     | 50 |
| Formules openwaterdiagram .....                            | 52 |
| Bijlage 17 TVC calculatie.....                             | 53 |

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Nieuwe Torsional Vibration Calculation .....                              | 53 |
| Tabellen en grafieken .....                                               | 54 |
| Bijlage 18 Proefvaart na toerentalverlaging .....                         | 56 |
| Aangepasten componenten .....                                             | 56 |
| Schroefas vermogens meting .....                                          | 59 |
| Trilling metingen.....                                                    | 60 |
| Bijlage 19 Brandstofverbruik berekeningen .....                           | 61 |
| Oorspronkelijke specifieke brandstofverbruik .....                        | 61 |
| Brandstofverbruik voor toerentalverlading .....                           | 61 |
| Brandstofverbruik na toerentalverlaging .....                             | 63 |
| Bijlage 20 uitlaatgassenreiniger interviews.....                          | 67 |
| Alfa Laval .....                                                          | 67 |
| Wartsila .....                                                            | 68 |
| AEC Maritiem.....                                                         | 70 |
| Bijlage 21 Uitlaatgassenreiniger installatie .....                        | 72 |
| Bijlage 22 Uitlaatgassenreiniger installatiekosten .....                  | 74 |
| Installatie kosten berekening volgens Holland Shipyards .....             | 74 |
| kostenberekening staalconstructie aanbouw uitlaatgassenreiniger .....     | 75 |
| Uiteindelijke besparing na installatie van een uitlaatgassenreiniger..... | 76 |
| Break even point grafieken .....                                          | 77 |
| Bijlage 23 Bunkerbrief .....                                              | 78 |

# 1. Inleiding

## Aanleiding en context

Naar aanleiding van het ombouwen van de Rotra Mare wil Holland Shipyards dat er onderzoek wordt gedaan naar de mogelijkheden om het motorvermogen terug te nemen. Doordat het voormalige containerschip niet meer haar oude vermogen nodig zal hebben, zullen er aanpassingen aan de huidige motor worden gedaan om deze zo efficiënt mogelijk te krijgen. Hoe dit het best zou kunnen en wat voor gevolgen dit zou kunnen hebben, is een reden voor het bedrijf om hier onderzoek naar te laten doen.

## Achtergrond

De Rotra Mare is een 880TEU container schip met een motorvermogen van 7999kW. Het schip zal volledig worden omgebouwd voor het vervoeren van windmolenonderdelen. Tevens zal het hoofdmotor vermogen worden teruggehaald van 7999kW naar 5400kW. Verder zal er al gekeken worden om het schip in de toekomst uit te rusten met een uitlaatgassenreiniger.

## Probleemstelling

Om brandstof te besparen wordt het motorvermogen teruggenomen doormiddel van toerental verlaging. Probleem is de juiste afstemming van de; motor, tandwielkast en CPP om trillingen te voorkomen, aangezien deze schepen er gevoelig voor zijn. Bij de vermogensverlaging van 7999kW naar 5400kW zullen er ook consequenties ontstaan voor de aanverwante apparatuur zoals koelers en pompen, en moet er onderzocht worden dat de opbrengst het zelfde zal blijven.

## Doelstelling

Het primaire doel is om te onderzoeken wat de mogelijkheden zijn om het motorvermogen te verlagen om zo kosten besparen op het brandstofverbruik, en dat het verlagen geen verdere problemen geeft op de rest van de motorcomponenten. Het secundaire doel is alvast uitzoeken om het schip uit te voeren met een uitlaatgassenreiniger.

## Onderzoeksvraag

Wat voor brandstofbesparing voor de Rotra Mare levert het op als het vermogen verlaagd wordt van 7999kW naar 5400kW door aanpassingen aan het toerental, tevens wat zijn de praktische toepassingen om de verlaging mogelijk te maken?

## Deelvragen

- Welke aanpassingen aan de aangehangen motorcomponenten zijn er nodig om het verlagen van het vermogen mogelijk te maken?
- Hoe kunnen de trillingen worden bepaald en voorkomen als het toerental verlaagd is?
- Hoeveel brandstof bespaart de motor na toerentalverlaging?
- Hoeveel kosten besparing is er na installatie van een uitlaatgassenreiniger?

## 1.1 Onderscheid

De 2 schepen gebruikt in het onderzoeksverslag zijn zusterschepen, echter zijn deze schepen toch wel verschillend van elkaar. In dit hoofdstuk wordt het onderscheid tussen beide schepen en de huidige situatie hiervan duidelijk gemaakt.

- De Rotra Mare, ex Flinter Crown, heeft 7 jaar gevaren als containerfeeder voor de rederij Flinter. Dit bestaande schip heeft een complete machinekamer en accommodatie. De gegevens van dit schip worden later besproken.
- De Rotra Vente, dit schip kwam als casco van IDHA naar Holland-Shipyards. Holland-Shipyards heeft dit schip volledig afgebouwd. Het schip is uitgerust met een volledige voortstuwingsinstallatie van Wartsila (hoofdmotor, tandwielkast en CPP).

Het verschil tussen de Rotra Mare en Vente is behalve het hebben van verschillende voortstuwingsinstallatie, ook het vervoer van verschillende lading. De Vente wordt ingezet voor het vervoer van Nacelle (turbine gedeelte van de windmolen) en de Mare voor de windmolen bladen en kolommen. De Nacelle zijn vele male zwaarder dan de bladen en kolommen dus de Vente wordt meer verstevigd dan de Mare. Tevens krijgt de Vente ook overkappingen over het dek, om de Nacelle te beschermen tegen de zee condities, de Rotra Mare krijgt dit niet. In tabel 1 worden de hoofdmotoren van de zusterschepen weergegeven.

Tabel 1

### *Scheepsmotoren vergelijking*

| <b><i>Scheepsnaam</i></b> | <b>Rotra Mare</b> | <b>Rotra Vente</b> |
|---------------------------|-------------------|--------------------|
| <i>ex naam</i>            | Flinter Crown     | Flinter Coral      |
| <i>Hoofdmotor</i>         | MAK               | Wartsila           |
| <i>Type</i>               | 8M43C             | 8L38               |
| <i>Vermogen</i>           | 7999kW            | 5400kW             |
| <i>Toeren</i>             | 500 rpm           | 500 rpm            |

Zoals te zien in de tabel hierboven is er een grootverschil in vermogen tussen de zusterschepen, de Rotra Vente is gelijk uitgerust met een motor die al voldoet aan het juiste vermogen. De Rotra Mare heeft zoals al gezegd 7 jaar gevaren, de hoofdmotor van dit schip is bepaald voor een containerfeeder die veel vermogen nodig heeft om hard te kunnen varen, aangezien dit ook veel meer brandstof verbruikt dan uiteindelijk nodig wordt dit vermogen teruggenomen doormiddel van toerental verlaging van de motor.



## 2. Theoretisch kader

### 2.1 Gegevens Rotra Mare

In tabel 2 worden de originele algemene gegevens van de Rotra Mare weergegeven.

Tabel 2

*Rotra Mare originele gegevens*

|                                    |                   |                   |
|------------------------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Rotra Mare ex Flinter Crown</b> | <b>werfnummer</b> | <b>HS2016-035</b> |
| IMO 9365996                        |                   |                   |
| <b>Hoofdmotor</b>                  |                   |                   |
| Naam                               | MAK               |                   |
| Type                               | 8M43C             |                   |
| Serienummer                        | 66149             |                   |
| Cilinders                          | 8                 |                   |
| Vermogen                           | 7999              | kW                |
| Toerental                          | 500               | rpm               |
| Cilinder diameter                  | 430               | mm                |
| Slaglengte                         | 610               | mm                |
| Slag orde                          | 1-2-4-6-8-7-5-3   |                   |
| <b>CPP</b>                         |                   |                   |
| Naam                               | Wärtsilä LIPS     |                   |
| Type HUB                           | 5C14              |                   |
| Toerental                          | 158,23            | rpm               |
| Bladen                             | 5                 |                   |
| Blad diameter                      | 4600              | mm                |
| <b>Tandwielkast</b>                |                   |                   |
| Naam                               | Flender           |                   |
| Type nummer                        | GUCP 950          |                   |
| Serienummer                        | 4205407           |                   |
| Toerental motor -> TWK             | 500               | rpm               |
| Toerental TWK -> schroefas         | 158,23            | rpm               |
| <b>As generator</b>                |                   |                   |
| Naam                               | Leroy Somer       |                   |
| Type                               | LSA 50.2 VL10     |                   |
| Toerental                          | 1800              | rpm               |
| Vermogen                           | 1000              | kW                |
| frequentie                         | 60                | Hz                |
| <b>Turbo</b>                       |                   |                   |
| Naam                               | ABB               |                   |
| Type                               | TPL 76 C33        |                   |
| Max toeren                         | 21000             | rpm               |
| Max temperatuur                    | 650               | °C                |
| Serienummer                        | IM040802          |                   |

## 2.2 Trillingen onderzoek

Door het toerental verlaging komen er andere trillingen in het schip dan voorheen, om deze trillingen te bepalen en te voorspellen wordt er een onderzoeksbureau in gehuurd. Het onderzoek zal worden toegepast op beide schepen, hieronder volgt het verslag op de Rotra Vente. De Rotra Mare is nog niet onderzocht.

### 2.2.1 Onderzoek Intersona Rotra Vente

Op verzoek van Holland Shipyard heeft Intersona een onderzoek gedaan naar geluid en trillingen aan boord van de Rotra Vente, om te controleren of het schip na verbouwing voldoet aan de eisen van IMO Regeling MSC.337(91) (zie bijlage 1). De voortstuwing installatie is beoordeeld op gerelateerde geluid en trillingen, verder is er ook een geluidscalculatie/voorspelling gedaan.

De geluidsniveaus moeten voldoen aan de limieten van de IMO Regeling MSC.337(91) 'Code on noise levels on board ships' (zie bijlage 2). Volgens de IMO moeten de metingen gedaan worden als:

- Het schip vaart in normale vaart condities, niet minder dan 80% van het MCR
- CPP moet in normale zeevaart condities staan
- En, als het schip in de haven ligt.

(IMO, Code On Noise Levels On Board Ships, 2012).

### 2.2.2 Trilling vereisten

In IMO Regeling MSC.337(91) staan geen trilling limieten gespecificeerd betreffende het ongemak in accommodatie en werkgebieden. De internationale standaard wordt aangegeven door ISO 6954:2000. De ISO adviseert dat de volgende frequenties gewogen in RMS waarden in het frequentiegebied van 1 Hz – 80 Hz niet mag worden overschreden.

- Accommodatie: 3 mm/s (acceptabel: maximaal 6 mm/s)
- Werk gebieden: 4 mm/s (acceptabel: maximaal 8 mm/s)

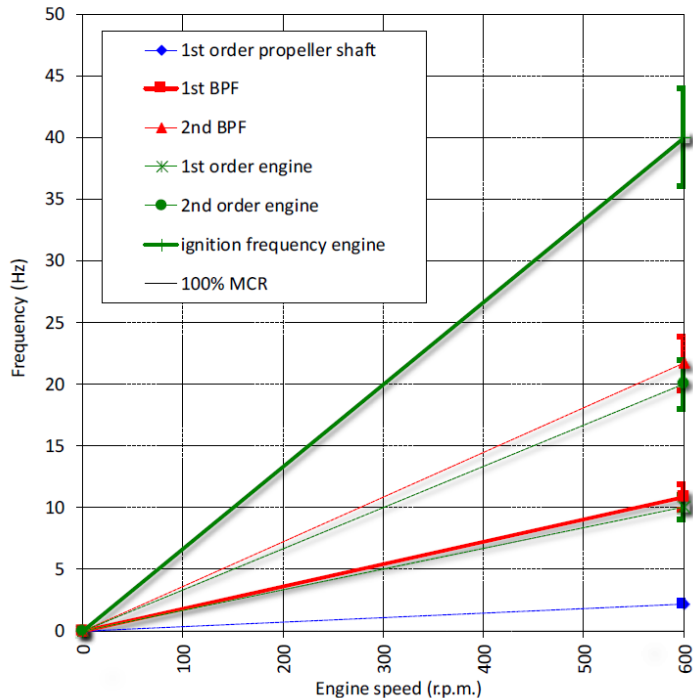
(ABS, Guidance notes on ship vibration, 2015).

### 2.2.3 Grootste oorzaken van trillingen

In het hierna volgende grafiek worden de opwekking van frequenties van het voortstuwingssysteem weergegeven. De BPF (Blade Passing Frequency, Schoep Passerende Frequentie) van de hoofdmotor zal de grootste dominerende opwekking van trillingen zijn. De overige frequentie opwekkers zoals generatoren zullen minder tot geen invloed hebben, dit komt omdat deze op rubberen voeten geplaatst zijn en in een ander frequentie gebied zitten.

### Excitation frequencies of propulsion system

|            |              |              |
|------------|--------------|--------------|
| Engine:    | Stroke :     | 4            |
|            | Nom. speed : | 600 r.p.m.   |
|            | Cylinders :  | 8 (in line)  |
| Gearbox:   | Reduction :  | 4.615 : 1    |
| Propeller: | Blades :     | 5            |
|            | Nom. speed : | 130.0 r.p.m. |



Afbeelding 1, Rotra Vente opwekking

frequenties (Intersona, Main excitation frequencies).

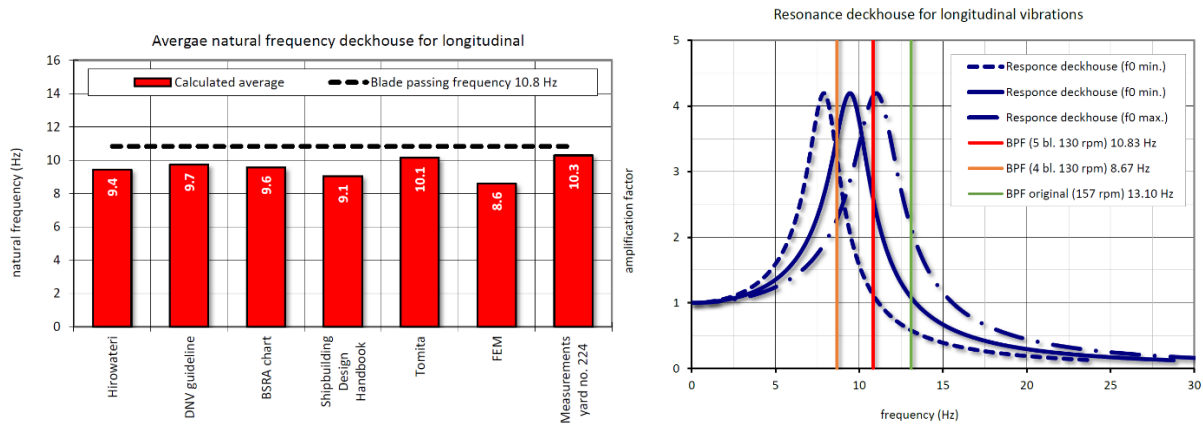
Te zien in de grafiek is dat rond de 10 Hz de eerste orde frequentie van de hoofdmotor en het eerste BPF elkaar zullen versterken. Doordat de hoofdmotor stijf is gemonteerd, zullen de motortrillingen gemakkelijk aan het schip worden overgedragen. In de accommodatie zullen er merkbare trillingen en een dreunende geluiden zijn. Als de motor op flexibele motorsteunen geplaatst zou worden, zullen deze trillingen significant verminderen (Intersona, Noise and vibration calculations & advices, 2016).

## 2.2.4 Natuurlijke frequentie Rotra Vente

De natuurlijke frequentie van een schip kan op 3 manieren bepaald worden:

- Empirische formules, meegenomen de hoofdafmetingen van de accommodatie en dergelijke
- FEM model, een 3D computer programma waarmee berekeningen op het schip kunnen worden toegepast. (zie bijlage 3, voorbeeld van een FEM model)
- Analyseren van de reactie van een impuls opwekking op de accommodatie op het brugdek niveau in langscheep richting.

De resultaten van deze 3 methodes, samen met het nieuwe propeller blad trilling opwekking, zijn weergegeven in de hieronder volgende figuren (Intersona, Judgement natural frequencies HS2015-146, 2016).



Afbeelding 2 (Intersona, Average natural frequency deckhouse for longitudinal)

Afbeelding 3 (Intersona, Resonance deckhouse for longitudinal vibrations)

## 2.3 Toerental verlaging as generator

Als het motortoerental verlaagd wordt, gaat het toerental van as generator automatisch ook omlaag. Om dit te voorkomen kunnen er aanpassingen gedaan worden aan de tandwielkast. In plaats van de tandwielkast aan te passen, zijn er echter ook andere mogelijkheden waardoor de as generator op het juiste toerental blijft draaien of de juiste frequentie levert. Met deze andere toepassingen zou de motor variabel in toerental zijn. Hierdoor kan de motor optimaler draaien in samen werking met de CPP en efficiëntere combinator mode. Dit zou een beter totaal rendement geven, omdat het motor toerental niet afhankelijk is van het as generator frequentie. Er zijn meerdere mogelijkheden om dit te doen, zoals systemen die werken met een frequentieregelaar, of met een hydraulische koppeling.

### 2.3.1 Frequentieregelaar

De as generator aan boord is mechanisch aangedreven door de hoofdmotor, hierdoor is deze afhankelijk van het motortoerental om het juiste vermogen te leveren. Na verbouwing van de motor gaat het toerental omlaag. Met een frequentieregelaar is het mogelijk om met een variërend toerental te varen. Voor een schip met een CPP is het mogelijk om de propeller pitch en de schroefassnelheid tegelijk aan te passen, om het optimale propeller efficiëntie te behalen (SAM Electronics, sd).

### 2.3.2 Werking

De as generator levert een spanning met een bepaalde frequentie, deze frequentie is niet gelijk aan het boordnet frequentie. Om dit gelijk te krijgen wordt de ingangswisselspanning gelijkgericht zodat er een gelijkspanning van  $\sqrt{2}$  \* de ingangsspanning ontstaat. Deze gelijkspanning wordt doormiddel van een wisselrichter weer omgezet in een wisselspanning die voldoet aan het boordnet frequentie. (Zwart, 2009)

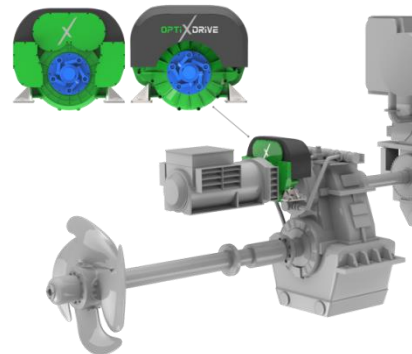
### 2.3.3 Hydraulische koppeling

OptixMarine is een fabrikant van hydraulische koppelingen, deze manier van koppelingen is nog nieuw en staat dus nog in een vroeg stadium. Hieronder volgt de werking van de hydraulische koppeling. De koppeling wordt tussen de asgenerator en de gearbox gemonteerd en vereist weinig ruimte (OptixMarine, sd).

### 2.3.4 Werking

De OptixDrive gebruikt hydraulische vermogen om het inkomende toerental van de tandwielkast om te zetten naar het gewenste uitkomende toerental naar de asgenerator. Door deze manier van overbrenging is het mogelijk om de motor op een variabel toerental te laten draaien en hierdoor wordt de kans op een black out ook verminderd. Omdat; als er op de as generator gevaren wordt en er gebeurd iets met het motor toerental (zwaar weer of vermogen terugnemen) ontstaat er een situatie waardoor er een black out kan ontstaan. Echter als er een optixdrive tussen zit neemt hij de dip of stijging in toeren over en houdt het toerental van de as generator op de continue setting. (OptixMarine, sd).

Afbeelding 4 Optixdrive (Optixmarine).



## 2.4 SOx scrubber

### 2.4.1 Algemeen

De hoofdreden achter uitlaatgassenverschuiving is de wereldwijde vraag om de uitstoot van zwaveloxiden door verbrandingsmotoren te verminderen. Een aantal grote maritieme wetgevers hebben nieuwe regels en regelementen opgelegd met betrekking tot het limiteren van de zwaveluitstoot gegenereerd door het verkeer op zee. Deze nieuwe regels beperken niet alleen het limiet van zwavel dat schepen mogen uitstoten in de atmosfeer, maar zetten ook een standaard betreffend de uitstoot van de waterkwaliteit gebruikt voor het reinigen van de uitlaatgassen. In bijlage 4 staat de volledige uitleg van het hierna volgende wetgevingsdeel en algemene uitleg van de scrubbers.

De onderstaande lijst bevat wettelijke vereisten met effect op het gebruik van uitlaatgassenreinigers:

- The International Maritime Organization (IMO)
  - o Marpol Annex VI
  - o MEPC.184(59) Guidelines for Exhaust Gas Cleaning Systems
- European Union (EU)
  - o EU Sulphur Directive 2012/33/EU

(Wärtsilä, Product Guide, 2014).

### 2.4.2 IMO MARPOL

De IMO Annex VI staat aan de basis van de wereldwijde maritieme zwavel vermindering vereisten. IMO MARPOL wetgeving limiteert het gebruik van zwavelhoudende brandstoffen als volgt:

- Wereldwijde zwavel limiet %:
  - o 3.50% vanaf 1.1.2012
  - o 0.50% vanaf 1.1.2020, mogelijk uitgesteld tot 1.1.2025.
- Emission Control Areas zwavel limiet %:
  - o 1.00% vanaf 1.7.2010
  - o 0.10% vanaf 1.1.2015

Brandstoffen zijn niet gereguleerd, waardoor er ook ruimte is voor alternatieve oplossingen zoals uitlaatgassenreinigers (MARPOL, 2009).

### 2.4.3 EU

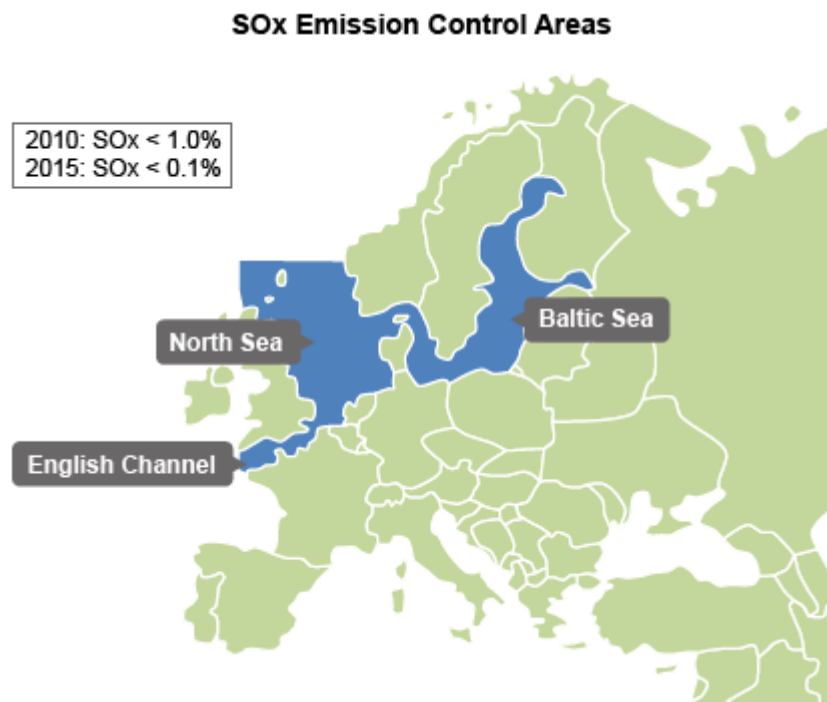
De Europese Unie heeft de zwaveluitstoot richtlijnen geïntroduceerd, dit heeft een grote impact op het lokale verkeer op zee binnen de SECA gebieden. Deze richtlijn is vooral de IMO MARPOL annex VI, met een paar aanvullende eisen.

Samenvatting van de EU zwaveluitstoot-richtlijn, van toepassing op schepen van alle vlaggen:

- Alle schepen in SOx ECA
  - o 1.00% tot 31.12.2014
  - o 0.10% vanaf 1.1.2015
- Alle schepen buiten SOx ECA
  - o 3.50% vanaf 1.1.2012
  - o 0.50% vanaf 1.1.2020
- Schepen aan de kade in de EU
  - o 0.1% vanaf 1.1.2010

(Wärtsilä, Product Guide, 2014).

De volgende afbeelding geeft het SECA gebied in Europa weer:



Afbeelding 5, (IMO, SO<sub>x</sub> Emmission Control Areas)

#### 2.4.4 SO<sub>x</sub> scrubber

Een zwavel scrubber is een apparaat in het uitlaatsysteem en behandelt de uitlaatgassen zodanig dat deze geen SO<sub>x</sub> (zwaveloxiden) meer bevatten. Het behandelen kan doormiddel van zeewater, chemisch behandeld zoetwater of droge stoffen. Nadat de gassen behandeld zijn, en vrij van SO<sub>x</sub>, worden deze uitgestoten in de atmosfeer. SO<sub>x</sub> gassen zijn water oplosbaar, wanneer opgelost vormen deze gassen sterke zuren die reageren met de natuurlijke alkaliteit van het zeewater of alkaliteit verkregen uit de toegevoegde stoffen (natriumhydroxide). Dit zijn vormen van oplosbaar natriumsulfaat zout, dat een natuurlijk zout in de zee is (Wärtsilä, Product Guide, 2014).

#### 2.4.5 Soorten scrubbers

##### Droog

Een droge scrubber maakt geen gebruik van water of een andere vloeistof voor het was proces, maar gebruikt gehydrateerde kalk korrels om de uitlaatgassen door middel van een chemische reactie te ontdoen van de SO<sub>x</sub>. Aangezien uitlaatgassen niet afgekoeld worden, kan dit systeem goed in combinatie met een SCR (NO<sub>x</sub> scrubber). Droge scrubbers worden voornamelijk toegepast op land-based installaties (ABS, Exhaust Gas Scrubber Systems, Status and Guidance, 2013).

##### Nat

Natte scrubbers zijn gebaseerd op het feit dat zwavel oxide oplost als het in contact komt met de alkaliteit van water. Dit betekent dat wanneer de uitlaatgassen besproeid worden met het water in de scrubber, de SO<sub>x</sub> zal oplossen en scheiden van de gassen. Doordat het scrubber water een basische waarde heeft zal deze de SO<sub>x</sub> emissies neutraliseren. Natte scrubbers zijn onder te verdelen in drie types: open loop, gesloten loop en hybride scrubbers (Wärtsilä, Wärtsilä Environmental Product Guide, 2015).

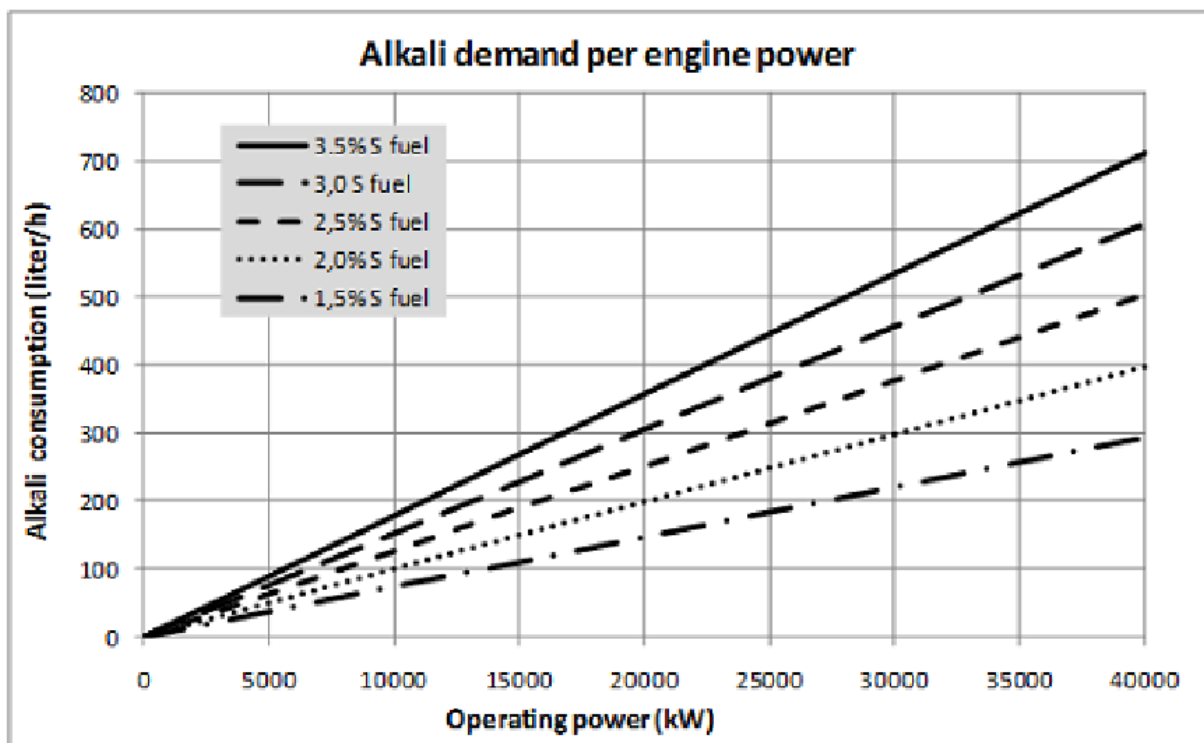
## 2.4.6 Type scrubbers

### Open loop

Dit type scrubber is ontworpen om gebruik te maken van de natuurlijke alkaliniteit van het zeewater om de zwavel oxides in de uitlaatgassen te neutraliseren. Open loop betekent dat het omringende zeewater gebruikt wordt als scrubber water. Nadat het water door de scrubber heen is gepompt bevat het delen van fijnstof en roet. Het water wordt eerst schoongemaakt voordat het afgevoerd naar zee gaat. Er is geen hergebruik van het scrubber water en er zijn geen chemicaliën nodig. Deze methode is optimaal voor schepen die varen in water met een hoog alkaliniteit gehalte (zeewater alkaliniteit  $\geq 1000 \mu\text{mol/l}$ ). Een SOx open loop scrubber bestaat uit een aantal componenten, voor een beschrijving van de componenten zie Bijlage 5 (Wärtsilä, Wärtsilä Environmental Product Guide, 2015).

### Gesloten loop

Het scrubber water in een gesloten loop scrubber bestaat uit een mix van water en alkali. Zoals de naam het al zegt is dit een gesloten systeem, dit betekent dat er hergebruik is van het scrubber water. Voor het water kan zoet of zout gebruikt worden. Natriumhydroxide (NaOH) wordt toegevoegd om aan de vereiste samenstelling van alkaliniteit om de SOx te neutraliseren. Dit betekent dus dat de werking van de scrubber niet afhankelijk is van de alkaliniteit in het zeewater. Alkali verbruik is afhankelijk van de concentratie van de oplossing, motor vermogen, specifieke brandstofverbruik en het zwavel gehalte van de brandstof. De alkali toevoer wordt bepaald aan de hand van deze parameters. In de grafiek hieronder kan ongeveer het verbruik van alkali bepaald worden. Deze methode van scrubben is bedoeld voor schepen die opereren in water met een laag alkaliniteit, zoals de Canadese meren en het noordelijkste puntje van de Oostzee. Een SOx gesloten loop scrubber bestaat uit een aantal componenten, voor een beschrijving van de componenten zie Bijlage 6 (Wärtsilä, Wärtsilä Environmental Product Guide, 2015).

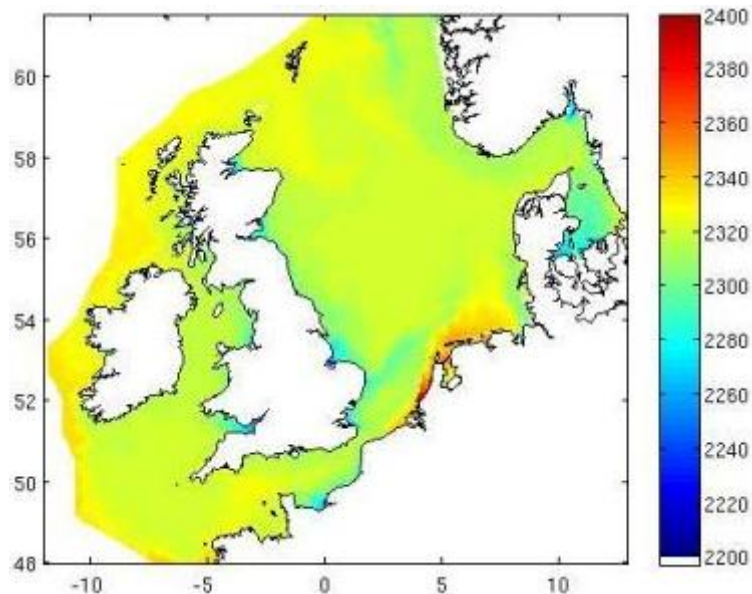


Abeelding 6, (Wärtsilä, Alkali demand per engine).



### Hybride scrubber

Een hybride scrubber is ontworpen om in zowel open als gesloten loop te werken. De hybride scrubber zal gebruik maken van de natuurlijke alkaliniteit van het zeewater in gebieden waar de alkaliniteit voldoende is (zeewater alkaliniteit  $\geq 1000 \mu\text{mol/l}$ ). Wanneer het schip in laag alkaliniteit zeewater vaart, zal de scrubber overschakelen naar gesloten om de uitlaatgassen alsnog te wassen. In gesloten loop mode (hybride mode) voegt de scrubber NaOH (natriumhydroxide) toe aan het circulerende zeewater, om de benodigde alkaliniteit te behouden. In bijlage 7 staat een afbeelding van de Hybride scrubber. De componenten zijn hetzelfde als de componenten van zowel de open als gesloten loop scrubber, deze worden ook behandeld in de bijlage 8 (Wärtsilä, Wärtsilä Environmental Product Guide, 2015).



Afbeelding 7, alkaliniteit van de Noordzee (QICS).

### 2.4.7 Afmetingen

De afmetingen van de scrubber zijn afhankelijk van het vermogen en de uitlaatgassensnelheid van de motor. Het is noodzakelijk om de gassenstroom in de scrubber te beperken tot 3 tot 3,5 m/s. Dit is de gewenste snelheid, hogere gassensnelheid zal er voor zorgen dat de waterdruppels met de gassenstroom omhoog gevoerd. De volgende criteria bepalen de afmetingen van de scrubber:

- Scrubber dimensionering criteria zijn onder meer gassenstroom, inlaat temperatuur, toegestane druk val, en een aantal andere parameters zoals water inhoud. De uiteindelijke scrubber selectie moet worden gebaseerd op het werkelijke maximale gasstroom die wordt toegevoerd aan de scrubber.
- De scrubber afmetingen zijn gebaseerd op dieselmotor uitlaatgasstroom. Een nominale scrubber heeft een druk val van 1500 Pa (150mm WC).

## 3. Methode

### Toegepaste methodes

Het onderzoeksproject is een kwalitatief onderzoek. Er wordt doormiddel van deskresearch, Excel-berekeningen en interviews resultaten verzameld. Het onderzoek bestaat uit een viertal delen. Het eerste deel bestaat uit het onderzoeken hoe het mogelijk is om het vermogen te verlagen. Het tweede deel bestaat uit de bijkomende trillingen. Het derde deel gaat over de besparing van brandstof na vermogensverlaging. En het laatste, vierde deel gaat over de kostenbesparing als er een uitlaatgassenreiniger wordt geïnstalleerd. Om de resultaten te behalen worden verschillende onderzoeksmethodes gebruikt. Deze worden in dit hoofdstuk verder toegelicht.

### 3.1 Onderzoeksmethodes

#### Onderzoeksmethode verlaging van het motorvermogen

Om een goed resultaat te geven op deze onderzoeksvraag zullen er interviews worden gehouden met de fabrikanten van de motor en de motorcomponenten. Uit de interviews met deze specialisten/experts zal een uitkomst komen die na overleg met de werf en de eigenaar ook in de praktijk zal worden toegepast. In de interviews zal worden gevraagd naar aanbevelingen en de inzichten van de geïnterviewde specialisten/experts.

#### Onderzoeksmethode trillingen

Trillingen is een lastig onderwerp; het zijn moeilijk te voorspellen situaties die er kunnen gebeuren en mogelijke theoretische berekende situaties komen niet overeen met de praktijksituaties. Doormiddel van datavergelijkingen met het zusterschip, wordt er een zo goed mogelijk antwoord gegeven op de vraag. Ook zal er contact gelegd worden met het trilling bureau die de metingen gaat uitvoeren, om met hun expertise een zo duidelijk mogelijk resultaat te schrijven.

#### Onderzoeksmethode brandstofbesparing

Doormiddel van berekeningen in een Excel model wordt er bepaald hoeveel brandstof het schip uiteindelijk gaat verbruiken. De resultaten van het Excel model worden vergeleken met de brandstof metingen die uiteindelijk gedaan worden als het schip weer in de vaart gaat. Verder wordt er ook in Excel een kostenbalans opgesteld om de uiteindelijke besparing te bepalen.

#### Onderzoeksmethode scrubber

Om een goed advies te geven over de SOx scrubber worden er met deskresearch de benodigde informatie verzameld. Om een goed en betrouwbaar advies te geven zal er ook een interview worden gehouden met een leverancier van een SOx scrubber. Verder zal er in Excel een kostenbalans worden gemaakt om de mogelijke kostenbesparen weer te geven.

#### Onderzoeksmethode kostenbesparing

Doormiddel van deskresearch wordt er onderzoek gedaan naar de mogelijke kostenbesparingen indien er een uitlaatgassenreiniger geïnstalleerd wordt. Er zal een Excel model worden gemaakt met een kostenbalans, en mogelijke terugwinning van de installatie kosten van de uitlaatgassenreiniger.

## 4. Resultaten

De resultaten zijn verkregen doormiddel van deskresearch en interviews met: MAK Bolier, Siemens Flender, Vulkan Flexibele koppelingen, Holland Ship Electric, OpixMarine, Wartsila Propulsion, Alfa Laval, AEC Maritime en Wartsila Scrubbers. Tevens is gebruik gemaakt van: proefvaart- en Torsional Vibration Calculation-verslagen. Deze resultaten worden hieronder uitgeschreven en toegelicht. Hiermee kunnen de deelvragen en uiteindelijk de onderzoeksvraag beantwoord worden.

### 4.1 Proefvaart voor toerentalverlaging

Voordat de Rotra Mare aan de verbouwing begon, van container feeder naar zware ladingsschip, is er een test proefvaart gedaan. Deze proefvaart werd gehouden onderweg van Rotterdam naar Sluiskil. In bijlage 9 staat het volledige proefvaartverslag. Deze onofficiële proefvaart was er voor bedoeld om te testen of de Rotra Mare überhaupt op een verlaagd toerental kon varen zonder dat de systemen aan boord door trillingen en dergelijke kapot zouden gaan. Tijdens deze proefvaart is er geconcludeerd dat er geen problemen waren met de trillingen als de motor op 450 toeren draait. Door dit verlaagde toerental kan de as generator echter niet genoeg vermogen opwekken om de juiste scheepsfrequentie te behalen. Daarnaast krijgt de motor door het toerental verlies te weinig koelwater flow. Verder werd besloten om de schroefbladen van de Rotra Mare te vervangen. later in dit hoofdstuk zullen deze punten behandeld worden.

### 4.2 Interviews leveranciers voortstuwingsinstallatie

Naar aanleiding van het proefvaren met een verlaagd toerental zijn er verschillende vragen bovenwater gekomen. Om deze te beantwoorden heeft Holland Shipyards de leveranciers van de verschillende voortstuwing componenten gevraagd om dit te onderzoeken. De resultaten zijn besproken in de volgende interviews met specialisten en experts in hun vakgebied. Er is gesproken met de fabrikanten van; de motor, tandwielkast en flexibele koppeling. Deze interviews zijn gehouden om een overzicht te krijgen wat er aan de bekende systemen moet worden aangepast.

#### 4.2.1 MAK Bolier

Het gehele interview staat weergegeven in bijlage 10. Tijdens dit interview is besproken wat de consequenties en mogelijke gevolgen zijn tijdens het varen op een lager toerental. Er was bekend dat de motor te weinig koelwater flow krijgt als deze op een lager toerental draait. Dit probleem is op te lossen door een tweede HT stand-by koelwaterpomp aan het bestaande koelwater systeem toe te voegen, en de aangehangen HT koelwaterpomp er af te halen. In hoofdstuk 4.4 wordt weergegeven hoe dit gedaan is.

#### 4.2.2 Siemens Flender

Tijdens de proefvaart op laag vermogen werd ook weergegeven dat het niet meer mogelijk was om met de huidige tandwielenverhouding de juiste scheepsfrequentie te behalen. Naar aanleiding hiervan is een interview gehouden met de tandwielkasten leverancier. In bijlage 11 staat het gehele interview met Siemens Flender weergegeven. Tijdens het interview is duidelijk geworden dat twee tandwielen aangepast moeten worden om bij een nieuw motor toerental van 450 rpm de as generator op de juiste scheepsfrequentie te houden. Hierdoor veranderen de overbrengingsratio's als volgt:

| Oorspronkelijk        |           | Nieuwe                |           |
|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| Motor -> As Generator | 3,642 : 1 | Motor -> As Generator | 4,038 : 1 |
| Motor -> Schroef      | 3,160 : 1 | Motor -> Schroef      | 3,160 : 1 |

#### 4.2.3 Vulkan Flexibele koppelingen

Uit het interview van Siemens Flender is de vraag ontstaan of de huidige flexibele koppeling tussen de motor en tandwielkast hetzelfde mag blijven. Dit komt doordat er andere krachten optreden bij een verlaagd toerental. Om deze vraag te beantwoorden, is een interview gehouden met Vulkan. Dit gehele interview is te zien in bijlage 12. Uit het interview bleek dat er niks aan de koppeling hoefde te veranderen. De huidige koppeling is sterk genoeg om de nieuwe krachten op te vangen.

#### 4.3 Alternatieven voor toerentalverlagingen

Tijdens het onderzoek is ook gekeken naar alternatieven om het toerental te verlagen in plaats van het aanpassen van de tandwielkast. Er is gekeken of het mogelijk is om deze toe te passen en of deze daadwerkelijk beter zijn dan de ratio van de tandwielkast aan te passen.

##### 4.3.1 Frequentieregelaar

Om te bekijken of het verstandiger is om een frequentieregelaar toe te passen in plaats van het veranderen van de tandwieloverbrenging is gesproken met een elektrische specialist van Holland Ship Electric. Dit gehele interview is te zien in bijlage 13. Uit dit interview is gebleken dat het mogelijk is om een frequentieregelaar toe te passen, maar door de ruimte en de kosten van deze installatie is het een verstandige keuze om dit niet toe te passen.

##### 4.3.2 Hydraulische koppeling

Om meer inzicht te krijgen over het toepassen van een hydraulische koppeling is gesproken met de leverancier van dit systeem. Het gehele interview is te lezen in bijlage 14. Tijdens dit interview is duidelijk geworden dat het niet mogelijk is om deze hydraulische koppeling aan boord van de Rotra Mare toe te passen. Simpelweg omdat er nog geen gemaakt is die toepasbaar is op de Rotra Mare. De bestaande modellen zijn gemaakt voor grotere installaties.

#### 4.4 HT Koelwater systeem

In bijlage 15 staat het nieuwe en oude leidingschema van het HT koelwater systeem. In het nieuwe systeem is te zien dat de aangehangen koelwaterpomp er is afgehaald, en een extra HT stand-by koelwaterpomp is aangesloten. De nieuwe stand-by pomp heeft ongeveer de zelfde specificaties, alleen het elektrisch vermogen is 3 kW meer dan de bestaande pomp.

#### 4.5 Schroefblad

Het doel van de nieuwe schroefbladen is het bereiken van de hoogst mogelijke efficiëntie bij het nieuwe motortoerental van 450 rpm en een scheepssnelheid van rond de 14 knopen. Het maximale motorvermogen wordt gelimiteerd tot 5400 kW, de tandwieloverbrenging van motor naar schroefas wordt niet aangepast en het nominale schroefas toerental zal ook verminderd worden van 158,2 rpm naar 142,4 rpm. Door deze verlaging is ook een nieuwe Whirling berekening en Computation Fluid Dynamics (CFD) simulaties gedaan om de efficiëntie van de nieuwe schroefbladen te bepalen. Met behulp van het openwaterdiagram is vast gesteld dat de nieuwe bladen 4% efficiënter zijn dan de huidige bladen bij het nieuwe verlaagde schroeftoerental. Het gehele rapport is te zien in bijlage 16.

#### 4.6 TVC calculatie

Naar aanleiding van de veranderingen in de voortstuwingslijn is besloten om een 'Torsional Vibration Calculation' te laten doen. Het gehele rapport van de TVC berekening is te zien in bijlage 17. Door middel van deze simulatie is geconcludeerd dat door het aanpassen van het toerental en de gewichtsverandering van de schroefbladen, er bij een extreme motorconditie de kans bestaat dat de flexibele koppeling kan falen. Met een extreme conditie wordt bedoeld dat als een van de

motorcilinders een misfire heeft, de koppeling de aanzienlijke onbalans in de voortstuwingslijn niet kan opvangen. Mocht dit gebeuren, dan moet onmiddellijk het vermogen van de motor teruggehaald worden en niet boven de 4000 kW komen.

#### 4.7 Proefvaart na toerentalverlaging

Tijdens de proefvaart na de toerentalverlaging zijn alle aangepaste componenten getest. Het nieuwe motor toerental werd afgesteld en begrensd tot 450 rpm. De nieuwe stand-by koelwaterpomp werd ook getest, leverde een koelwaterdruk van 4,4 bar en voldeed aan de koelwater eisen van de hoofdmotor.

De nieuwe scheepssnelheid werd eveneens bepaald aan de hand van zes snelheidspoeven. Drie op 100% pitch en drie op 85% pitch. Tijdens deze proeven werd ook het scheepsschroefasvermogen bepaald aan de hand van een externe vermogensmeter.

Tijdens het varen op 100% pitch werd een gemiddeld schroefasvermogen van 5074 kW gemeten bij een gemiddelde snelheid van 17,1 knopen. En bij 85% pitch werd een gemiddeld schroefasvermogen van 3946 kW gemeten bij een gemiddelde snelheid van 15,46 knopen.

Na de proefvaart werd de tandwielkast geopend en de nieuwe tanden gecontroleerd. Hierbij was belangrijk om te bekijken of er een egaal slijtage beeld was. Dit was er en dat betekend dat de tanden goed op elkaar aansluiten.

Verder werden tijdens de proefvaart de trillingen in de accommodatie gemeten. Deze trillingen vielen binnen de normen gesteld door IMO, Code On Noise Levels On Board Ships.

Het gehele proefvaartrapport is terug te zien in bijlage 18.

#### 4.8 Brandstofverbruik berekeningen

In bijlage 19 staat de gehele brandstof berekening, hieronder volgt een korte samenvatting. Te zien in tabel 3 hieronder zijn alle theoretisch berekende en werkelijk bepaalde brandstof verbruiken.

| Overzicht brandstofverbruik |            |                               |               |               |      |                    |                   |                    |  |
|-----------------------------|------------|-------------------------------|---------------|---------------|------|--------------------|-------------------|--------------------|--|
| datum                       | rapport nr | Theoretisch verbruik          | snelheid [kn] | rpm           | kw   | verbruik rapporten | verbruik berekend | specifiek verbruik |  |
| 20-8-2008                   | 1          | acceptance test record        | -             | 500           | 7999 | 1524 kg/h          | 36,58 t/dag       | 190,5 g/kWh        |  |
| 26-5-2016                   | 2          | cilinderdruk meet rapport     | 17,5          | 500           | 7680 | 1490 kg/h          | 35,76 t/dag       | 194,0 g/kWh        |  |
| 14-6-2016                   | 3          | test proefvaart origineel rpm | 17,5          | 500           | 6882 | 1541,3 kg/h        | 36,99 t/dag       | 224,0 g/kWh        |  |
| 14-6-2016                   | 4          | test proefvaart verlaagd rpm  | 15,40         | 450           | 4900 | 1086 kg/h          | 26,06 t/dag       | 221,6 g/kWh        |  |
| 6-3-2017                    | 5          | meetrapport eind proefvaart   | 17,14         | 450           | 5277 | 1000 kg/h          | 24,00 t/dag       | 189,50 g/kWh       |  |
| 6-3-2017                    | 6          | meetrapport eind proefvaart   | 15,46         | 450           | 4103 | 800 kg/h           | 19,20 t/dag       | 194,98 g/kWh       |  |
| <b>Werkelijk verbruik</b>   |            |                               |               |               |      |                    |                   |                    |  |
| 12-5-2016                   | 7          | dagverbruik uit oliejournaal  | -             | 500           | -    | 19,93 m3/dag       | 16,72 t/dag       | 199,43 g/kWh       |  |
| 9-3-2017                    | 8          | dagverbruik uit oliejournaal  | -             | 450           | 3510 | 14 m3/dag          | 11,75 t/dag       | 139,43 g/kWh       |  |
|                             |            | dichtheid MDO                 | 0,839 kg/l    | [bunkerbrief] |      |                    |                   |                    |  |

Tabel 3, overzicht brandstof verbruik

Theoretisch verbruik houdt in dat dit verbruik berekend is door MAK Bolier met behulp van curvebladen en hun berekeningen. Werkelijk verbruik is het verbruik dat daadwerkelijk aan boord is gemeten. Dit is aan de hand van het verbruik over 24 uur uit de brandstof dag tank te bepalen. Dit verbruik is afgelezen en bijgehouden in het olie journaal, deze waardes komen ook uit dit oliejournaal.

Te zien is dat bij theoretisch verbruik zes rapportages staan. Drie op het oude toerental van 500 en drie op het nieuwe toerental van 450. Bij het werkelijke verbruik staan er twee waardes: een van voor de ombouwing en een van na de ombouwing.

Rapportnummers vier en zes kunnen het best met elkaar vergeleken worden. Rapport vier was een proefvaartrapport voor verbouwing, maar hierbij is wel test gevaren op een verlaagd toerental (zie afbeelding 18 voor het gehele rapport). Rapport zes is het proefvaartrapport na verbouwing (zie afbeeldingen 31 en 35). Deze rapporten kunnen het best met elkaar vergeleken worden, omdat de scheepssnelheid dicht bij elkaar ligt.

Doordat er met minder vermogen dezelfde snelheid behaald wordt, kan gesteld worden dat de toerentalverlaging een brandstofbesparing oplevert van 26,62 g/kWh. Hierbij moet wel gezegd worden dat de weerscondities verschillend waren. Bij rapport vier was er namelijk een windkracht van 4 knopen en bij rapport zes was er een windsnelheid van 1,5 knopen. Daarnaast is het brandstofverbruik bepaald aan de hand van theoretische berekeningen.

#### 4.9 Uitlaatgassenreiniger interviews

Hieronder volgen de resultaten van de interviews met de volgende uitlaatgassenreinigerleveranciers: Alfa Laval, Wartsila en AEC Maritiem. De gehele interviews zijn te vinden in bijlage 20. Tijdens de interviews met de verschillende leveranciers werden er vragen gesteld over de mogelijkheid om een uitlaatgassenreiniger toe te passen aan boord van de Rotra Mare. Daarnaast werd er ook gevraagd wat de leveranciers als prijzen opgeven voor het systeem, installatie en onderhoudskosten.

AEC Maritiem heeft voor de Rotra Mare een Return On Investment bepaald: deze berekening geeft weer dat volgens AEC Maritiem de uitlaatgassenreiniger zich na drie jaar heeft terugbetaald. Hierbij is het van belang om te vermelden dat AEC Maritiem niet de juiste vaardagen, verbruik en brandstofprijzen heeft gebruikt, toepasbaar op de Rotra Mare.

De door twee van de drie leveranciers opgegeven hoogtemaat, 10 meter door Wartsila en 11 meter door AEC Maritiem, past niet aan boord van de Rotra Mare. Deze 'in-line' manier van uitlaatgassenreiniger installatie komt namelijk na het huidige uitlaatsysteem. Dit is echter niet mogelijk, omdat de huidige uitlaat nog een uitlaatgassenketel en een demper bevat. Dit zou betekenen dat na installatie de uitlaatgassenreiniger een heel stuk boven het dak van de stuurhut zou uitsteken, 7 à 8 meter. De uitlaatgassenreiniger geleverd door Alfa Laval zou wel mogelijk zijn om toe te passen, omdat deze uitgevoerd is met een venturi en dat maakt hem een stuk minder hoog. In het volgende hoofdstuk wordt de uitlaatgassenreiniger van Alfa Laval als voorbeeld gebruikt bij het installeren aan boord van de Rotra Mare.

Tabel 4 hieronder laat zien hoeveel de kosten zijn die de uitlaatgassenleveranciers rekenen voor hun systeem. Later in dit hoofdstuk wordt hier verder op ingegaan.

| scrubber leveranciers     | AEC Maritiem | Wartsila  | Alfa Laval  |
|---------------------------|--------------|-----------|-------------|
| scrubber kosten           | € 950.000    | € 675.000 | € 820.000   |
| installatie kosten        | € 1.000.000  | € 675.000 | € 1.000.000 |
| onderhoudskosten per jaar | € 30.000     | € 13.500  | € 24.600    |

Tabel 4, opgegeven kosten van de leveranciers

#### 4.10 Scrubber installatie

Rekening houdend met de Open Loop uitlaatgassenreiniger van AlfaLaval is een ontwerp en inbouwtekening gemaakt om te bepalen of deze uitlaatgassenreiniger toegepast kan worden. In bijlage 21 wordt uitgelegd hoe de inbouw gedaan zal worden en laat dit ook zien met behulp van twee tekeningen.

De afmetingen van de alfa laval zijn: 1,9 x 3,9 x 7,6 (LxBxH) en de beschikbare ruimte in de schoorsteen van de Rotra Mare is: 3,4 x 4 x 15 (LxBxH). Dit betekent dat er genoeg ruimte beschikbaar is om de uitlaatgassenreiniger toe te passen.

#### 4.11 Uitlaatgassenreiniger installatiekosten

In bijlage 22 staan de gehele installatiekosten berekend door Holland Shipyards. Als eerste wordt berekend hoeveel de inbouwkosten zijn van de uitlaatgassenreiniger. In tabel 15 is te zien hoe dit bepaald wordt. De totale inbouwkosten komen uit op een bedrag van € 324.139,-. Dit bedrag verschilt duidelijk met de opgegeven inbouwkosten bepaald door de leveranciers. In tabel 17 is weergegeven hoe de jaren tot break even berekend worden. Deze berekening is gesteld op 10 jaar en dat wil zeggen dat de uitlaatgassenreiniger zichzelf binnen 10 jaar moet terugverdienen. De snelheid van het terugverdienen hangt af van het vaarschema van het schip, het brandstofverbruik en de verschilprijs tussen HFO en MDO. Met behulp van de berekening zijn twee grafieken opgesteld die laten zien wanneer de uitlaatgassenreinigers zichzelf hebben terugverdiend. De ene grafiek rekent met de installatiekosten bepaald door de leveranciers en de andere grafiek rekent met de installatiekosten bepaald door Holland Shipyards. Hieruit blijkt dat de goedkoopste uitlaatgassenreiniger, met de installatiekosten bepaald door Holland Shipyards zichzelf na zeven jaar heeft terug verdiend. Dit verschil is eveneens aanzienlijk in vergelijking met die van de leveranciers. De Return On Investment bepaald door AEC Maritiem stelt namelijk dat de reiniger zichzelf na drie jaar zal terugverdienen.



## 5. Discussie

Het doel van dit onderzoek was om inzicht te verkrijgen in de verschillende aspecten die in overweging moeten worden genomen om het motortoerental te kunnen verlagen. Tevens is het installeren van een uitlaatgassenreiniger in het huidige onderzoek meegenomen. De insteek van dit onderzoek was om te bepalen hoeveel brandstofbesparing de toerentalverlaging oplevert en wat de hierbij mogelijke complicaties waren. Hierdoor kan, na verlaging van het toerental, de brandstofbesparing in kaart worden gebracht. Dit geldt ook voor de kostenbesparing na installatie van een uitlaatgassenreiniger.

In dit hoofdstuk wordt kritisch gekeken naar de behaalde resultaten en besproken of deze betrouwbaar zijn en in dit onderzoek gebruikt mogen worden. Dit onderzoek is gebaseerd op de praktische benadering die op een scheepswerf wordt toegepast. Een werf zit tussen de opdrachtgever en de verschillende leveranciers in. De vragen die opkwamen tijdens het toerentalverlaging besteedde de werf daarom uit aan de desbetreffende leveranciers om onderzoek te laten doen. De werf krijgt zo van elk component genoeg informatie om een compleet beeld te vormen. Hierdoor is deze scriptie ook meer gebaseerd op het in kaart brengen van de te nemen maatregelen en de consequenties. De manier waarop deze leveranciers aan hun bevindingen komen staat daarom minder centraal in dit onderzoek.

### *Brandstofbesparing*

Tijdens dit onderzoek is nooit daadwerkelijk gemeten wat het brandstofverbruik is, omdat de brandstofmeter kapot was. Ook is er nooit een externe meter op het brandstofsysteem aangesloten. Hierdoor is het exacte brandstofverbruik niet nauwkeurig bepaald. De brandstofwaardes uit dit verslag zijn theoretisch bepaald en kan hierdoor mogelijke fouten bevatten. De brandstofwaardes van de proefvaartrappen zijn bepaald door MAK, aan de hand van het curveblad en hun berekeningen. Hierdoor berusten de verbruiksgegevens volledig op de berekeningen van MAK uit de theorie. Hierdoor kunnen deze een niet accurate indicatie geven van wat er werkelijk verbruikt wordt.

Het werkelijke brandstofverbruik bepaald voor verbouwing, aan de hand van het oliejournaal, en na verbouwing, bepaald door de bemanning, kan niet beschouwd worden als nauwkeurige data. In de gegevens van het oliejournaal is niet aangegeven bij welke snelheid en motorvermogen het opgenomen verbruik is genoteerd. Het verbruik dat na verbouwing door de bemanning aan boord is doorgegeven is niet correct. Bij een vermogen van 3510 kW en een verbruik van 14 m<sup>3</sup>/dag komt er namelijk uit dat de motor een specifiek brandstofverbruik heeft van 139,43 g/kWh. Zelfs de zuinigste motor voldoet niet aan deze waarde. Het is mogelijk misgegaan bij het bepalen van het verbruik, afgelezen van het peilglas, of bij de bepaling van het vermogen. Door deze twee foute waardes blijkt uit de theoretische berekening dit onmogelijke specifieke brandstofverbruik.

De conclusie is gebaseerd op het meten van het verbruik voor en na de ombouwing, met deels berekende waarden. Dit is geen optimale manier van bepaling, omdat de scheepssituatie na verbouwing niet vergelijkbaar is met die van voor verbouwing. De weersomstandigheden waren eveneens niet hetzelfde in de twee vergelijkbare situaties te zien in proefvaartrappen nummer 4 en 6.

De uiteindelijke brandstofbesparing van 6,86 ton/dag is niet valide genoeg voor een duidelijke conclusie over dit onderzoek. Doordat er te weinig data beschikbaar is om tot een definitieve conclusie te komen, is er uiteindelijk slechts gerekend met één vergelijkbare situatie.



### *Uitlaatgassenreiniger*

Op basis van de adviezen in de interviews over het toepassen van een uitlaatgassenreiniger kan geconcludeerd worden dat deze in grote lijnen met elkaar overeenkomen. De geïnterviewde leveranciers waren het allemaal eens dat het mogelijk is om een uitlaatgassenreiniger toe te passen. De prijs tussen de leveranciers verschilde daarentegen veel van elkaar.

De interviews gaven een algemeen beeld en waren nog niet van toepassing op de Rotra Mare. De leveranciers gaven namelijk een algemeen plaatje weer en gebruikten niet de exacte gegevens van het schip. Dit is te zien in de verschillen tussen de kostenberekening van Holland Shipyards en de leveranciers.

Het grote verschil tussen de geoffreerde en de berekende return on investment in dit onderzoek komt doordat de leveranciers hun eigen interpretatie gaven aan het verbruik en vaardagen van de Rotra Mare. Zij hebben deze zo gunstig mogelijk gesteld door te zeggen dat de Rotra Mare veel zal varen en een groot brandstofverbruik zal hebben. De uitlaatgassenreiniger wordt op deze manier zo snel mogelijk terugverdient. De return on investment en kostenberekening gemaakt door Holland Shipyards geeft een realistischer en duidelijker beeld, omdat bij deze berekeningen wel rekening is gehouden met het vaarritme en brandstofverbruik van de Rotra Mare. Hierdoor zijn er grote verschillen tussen de berekeningen.

### *Trillingen*

Gedurende het onderzoek is de deelvraag over trillingen in tweeën gesplitst.

De TVC trillingen werden opnieuw bepaald omdat het gewicht van de CPP veranderde en de tandwiel ratio's. De TVC calculatie werd gedaan aan de hand van computersimulaties en metingen gedaan door MAK. De uitkomsten van deze computersimulatie kunnen als valide beschouwd worden omdat de gehele calculatie nogmaals is gecontroleerd door zowel MAK als Wartsila.

Accommodatie trillingen, de trillingen besproken in het theoretisch kader betreffende de Rotra Vente kunnen niet vergeleken worden met die van de Rotra Mare. Dit komt omdat de hoofdmotor van de Vente op een hoger toerental draait dan de Mare, hierdoor ontstaan er andere trillingen. Tijdens de proefvaart werden de accommodatie trillingen gemeten door het meet bureau Intersona. Met behulp van hun apparatuur werd er vast gesteld dat de trillingen in de accommodatie voldoen aan de waardes gesteld in IMO Regeling MSC.337(91).

## 6. Conclusie

### 6.1 Deelvragen

Welke aanpassingen aan de aangehangen motorcomponenten zijn er nodig om het verlagen van het vermogen mogelijk te maken?

Uit de resultaten van het onderzoek blijkt dat drie componenten aan de voortstuwingsinstallatie aangepast moeten worden: de CPP, tandwielkast en de aangehangen koelwaterpomp. De leveranciers van deze componenten hebben onderzocht wat er moet gebeuren om dit mogelijk te maken en de bevindingen hiervan worden hieronder weergegeven.

#### *CPP*

Op basis van de resultaten van het onderzoek gedaan door Wartsila werd zijn nieuwe schroefbladen ontworpen. De nieuwe schroefbladen zijn kleiner dan de originele schroefbladen en zijn ontworpen om het meeste rendement te behalen bij het nieuwe motortoerental en -vermogen.

#### *Tandwielkast*

Uit het interview met de tandwielkasten leverancier is gebleken dat het verlagen van het motortoerental een negatief effect heeft op de asgenerator. Door de verlaging kan de asgenerator niet genoeg frequentie leveren om het scheepsnet te voeden. Door het veranderen van de overbrengingsratio tussen de hoofdas en de PTO-as kon er met het nieuwe verlaagde motortoerental de juiste frequentie worden behaald.

#### *Aangehangen koelwaterpomp*

Tijdens de tweede proefvaart bleek dat de koelwaterflow te weinig was. Uit het interview met MAK Bolier is gebleken dat dit probleem op te lossen valt door de aangehangen koelwaterpomp te vervangen door een tweede externe elektrisch aangedreven koelwaterpomp met voldoende flow. Tijdens de laatste proefvaart is gemeten dat de koelwater druk nu 4,4 bar is (zie bijlage 17), dit voldoet aan de minimum druk van 2,5 bar (MAK, M43C Project Guide, 2008).

### Hoe kunnen de trillingen worden bepaald en voorkomen als het toerental verlaagd is?

Deze deelvraag wordt opgesplitst in twee onderwerpen die allebei te maken hebben met trillingen na toerentalverlaging.

#### *TVC*

De trillingen werden bepaald aan de hand van metingen en computersimulaties gemaakt door MAK. Door de TVC-berekening werd uitgesloten dat er na verlaging van het toerental en verbouwing van het schip kans is op torsietrillingen. Als de motor echter in extreme condities terecht komt, zoals compressieverlies of een missfire, bestaat de kans dat de flexibele koppeling kan scheuren. Mocht er een extreme conditie ontstaan, dan moet de motor gereduceerd worden tot 4000 kW.

#### *Accommodatietrillingen*

Tijdens de proefvaart werd er door Intersona metingen uitgevoerd op basis van trillingen in de accommodatie van het schip. Deze metingen concludeerde dat na toerentalverlaging geen trillingen boven de gestelde limieten uitkwamen en daarom voldoen aan de gestelde IMO eisen.

### Hoeveel brandstof bespaart de motor na toerentalverlaging?

Om de brandstofbesparing te bepalen, wordt er een vergelijking gemaakt tussen proefvaartrapport nummer vier en nummer zes. Te zien in de tabel hieronder is dat bij rapporten vier en zes de snelheid van de Rotra Mare ongeveer hetzelfde is. Hieruit kan geconcludeerd worden dat er een verbetering 26,62 g/kWh is op de efficiëntie van de motor. Door het te plaatsen van een andere schroef, plus het verlagen van het motorvermogen, wordt een besparing van 6,86 ton behaald. Deze besparing is op basis van de theoretische berekende resultaten van de proefvaartrapporten, met de hierbij verschillende weersomstandigheden.

| datum     | rapport nr |                             | snelheid [kn] | rpm | kw   | verbruik rapporten | verbruik berekend | specifiek verbruik |
|-----------|------------|-----------------------------|---------------|-----|------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 14-6-2016 | 4          | voor ombouwing voortstuwing | 15,40         | 450 | 4900 | 1086 kg/h          | 26,06 t/dag       | 221,63 g/kWh       |
| 6-3-2017  | 5          | na ombouwing voortstuwing   | 17,14         | 450 | 5277 | 1000 kg/h          | 24,00 t/dag       | 189,50 g/kWh       |
| 6-3-2017  | 6          | na ombouwing voortstuwing   | 15,46         | 450 | 4103 | 800 kg/h           | 19,20 t/dag       | 194,98 g/kWh       |

### Hoeveel kostenbesparing is er na installatie van een uitlaatgassenreiniger?

Uit de resultaten van de interviews met de uitlaatgassenreiniger leveranciers en de berekening gemaakt door Holland Shipyards blijkt dat de goedkoopste uitlaatgassenreiniger zichzelf binnen 7 jaar heeft terugverdiend. Hierbij is wel vereist dat de Rotra Mare minimaal 120 volle dagen per jaar vaart en dat de installatie van de uitlaatgassenreiniger gedaan wordt door Holland-Shipyards.

## 6.2 Hoofdvraag

**Wat voor brandstofbesparing voor de Rotra Mare levert het op als het vermogen verlaagd wordt van 7999kW naar 5400kW door aanpassingen aan het toerental, tevens wat zijn de praktische toepassingen om de verlaging mogelijk te maken?**

De toerentalverlaging levert de Rotra Mare een positieve theoretisch bepaalde brandstofbesparing op van 6,86 ton per dag. De benodigde praktische toepassingen om dit mogelijk te maken zijn besproken in de bovenstaande deelvragen.

### Aanbeveling

Metingen in de praktijk van de oude situatie is niet meer mogelijk, maar de genoemde brandstofbesparing kan wel gecontroleerd worden door een vervolgonderzoek te doen. Dit kan gedaan worden door een gekalibreerde werkende flowmeter te installeren. De meetgegevens die dan bepaald worden zullen de voorgespiegelde en genoemde besparing controleren en deze mogelijk realiseren.



(Hill)

Abbeelding 8, Rotra Mare tijdens haar eerste officiële vaart

## Bibliografie

ABS. (2013, 02). *Exhaust Gas Scrubber Systems, Status and Guidance*. Retrieved from [www.eagle.org](http://www.eagle.org):  
[http://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/publications/2013/Scrubber\\_Advisory.pdf](http://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/publications/2013/Scrubber_Advisory.pdf)

ABS. (2015). *Guidance notes on ship vibration*. American bureau of shipping.

AlfaLaval. (2012, 6). *Understanding exhaust gas treatment systems*.

AlfaLaval. (n.d.). *PureSOx calculator*. Retrieved from AlfaLaval:  
<http://www.alfalaval.com/microsites/puresox-configurator/index.html>

Batrak, D. Y. (n.d.). *ShaftDesigner*. Retrieved from ShaftDesigner:  
<http://www.shaftdesigner.com/downloads/PAPER%20TORSIONAL%20VIBRATION%20CALCULATION%20ISSUES%20WITH%20PROPULSION%20SYSTEMS.pdf>

Bot, R. d. (2016). *Seatrail Report*.

Cales, T. (n.d.). Blade design perspectives. *Consultancy new study blade design*. Wartsila Propulsion System Services, Drunen.

Caterpillar. (n.d.). *Combinator curve*.

D.Milde. (2016). *Torsional Vibration Calculation*. Papendrecht: Caterpillar.

Finsrund. (n.d.). *Electric power consumption*. Wartsila, Moss, Norway.

Finsrund. (n.d.). Preliminary Scrubber Design. *Preliminary Scrubber Design*. Wartsila, Moss, Norway.

Finsrund. (n.d.). Scrubber maintenance schedule. *Scrubber maintenance schedule*. Wartsila, Moss, Norway.

Flender. (2005). *Operating instructions*. Flender Bruinhof Marine.

Flender. (2005). *Operating Instructions*. Bocholt: Flender.

Hill, P. (n.d.). *Rotra Mare*. Shipspotting, Hull, United Kingdom.

IMO. (2012). *Code On Noise Levels On Board Ships*.

IMO. (n.d.). *SOx Emmission Control Areas*. International Maritime Organisation.

Intersona. (2016). *Judgement natural frequencies HS2015-146*.

Intersona. (2016). *Noise and vibration calculations & advices*.

Intersona. (n.d.). *Average natural frequency deckhouse for longitudinal*.

Intersona. (n.d.). *Main excitation frequencies*.

Intersona. (n.d.). *Resonance deckhouse for longitudinal vibrations*.

MAK. (2008). *M43C Project Guide*. Caterpillar marine Power Systems.

MAK. (n.d.). System diagram, Cooling water system. *Project guide*. MAK, Kiel.

MARPOL. (2009). *MARPOL*.

MEPC, 1. (2009). *Guidelines for exhaust gas cleaning systems*.

Milde, D. (n.d.). Mass Elastic System, Rotra Mare. *Torsional Vibration Calculation*. Caterpillar, Papendrecht.

OptixMarine. (n.d.). *Optix Drive*. Retrieved from Optix Marine: <http://www.optixmarine.com/wp-content/uploads/2016/07/OptixDrive-One-Pager.pdf>

Optixmarine. (n.d.). *Optixdrive*. lindholmen.

QICS. (n.d.). *Surface Alkalinity*.

SAM Electronics, W. (n.d.). *Shaft generator systems with PWM frequency converter*. Retrieved from SAM-Electronics: [http://www.sam-electronics.de/fileadmin/user\\_upload/Broschueren\\_PDF\\_Dateien\\_Energie\\_\\_\\_Antriebe/DS\\_1.003.11\\_2015.pdf](http://www.sam-electronics.de/fileadmin/user_upload/Broschueren_PDF_Dateien_Energie___Antriebe/DS_1.003.11_2015.pdf)

Siemens. (n.d.). *NAVILUS GUCP*. Flender.

Siemens. (n.d.). *TVC berekening GUCP950*.

Techno Fysica BV. (n.d.). *Torsietrillingsberekeningen*. Retrieved from Technofysica: <http://www.technofysica.nl/Dutch/index.htm>

Venstra, P. (2017). *Geluidsmeting*. Intersona.

Venstra, P. (n.d.). *Geluidsmeting rapport*. Intersona.

Venstra, P. (n.d.). *Schroefas vermogens meting*. Intersona.

Vries, J. d. (n.d.). ROI Scrubber system, Rotra Mare. *ROI*. AEC Maritime, Eindhoven.

Vries, J. d. (n.d.). Size scrubber. *Quotation openloop scrubber system, Rotra Mare*. AEC Maritiem, Eindhoven.

Vulkan. (n.d.). *Rato-R*. Vulkan.

Vulkan. (n.d.). *Rato-S*. Vulkan.

Wärtsilä. (2014). *Product Guide*. Wärtsilä Moss.

Wärtsilä. (2015). *Wärtsilä Environmental Product Guide*. Vaasa: Wärtsilä.

Wärtsilä. (n.d.). *3-Way exhaust valve*.

Wärtsilä. (n.d.). *Alkali demand per engine*. Wärtsilä environmental product guide.

Wärtsilä. (n.d.). *Closed Loop Scrubber system overview*.

Wärtsilä. (n.d.). *Hybrid Scrubber system overview*.

Wärtsilä. (n.d.). *Open Loop Scrubber system overview*.

Wärtsilä. (n.d.). *Residence tank dimensions*.

Wärtsilä. (n.d.). *Scrubber hydrocyclone dimensions*.

Wärtsilä. (n.d.). *Single entry open loop system*.

Zwart, K. e. (2009). *Frequentieregelaar*. Retrieved from Engineering-online: [http://www.engineering-online.nl/?com=content&action=frequency\\_converter](http://www.engineering-online.nl/?com=content&action=frequency_converter)

## Bijlagen

### Bijlage 1 IMO Regeling MSC.337(91)

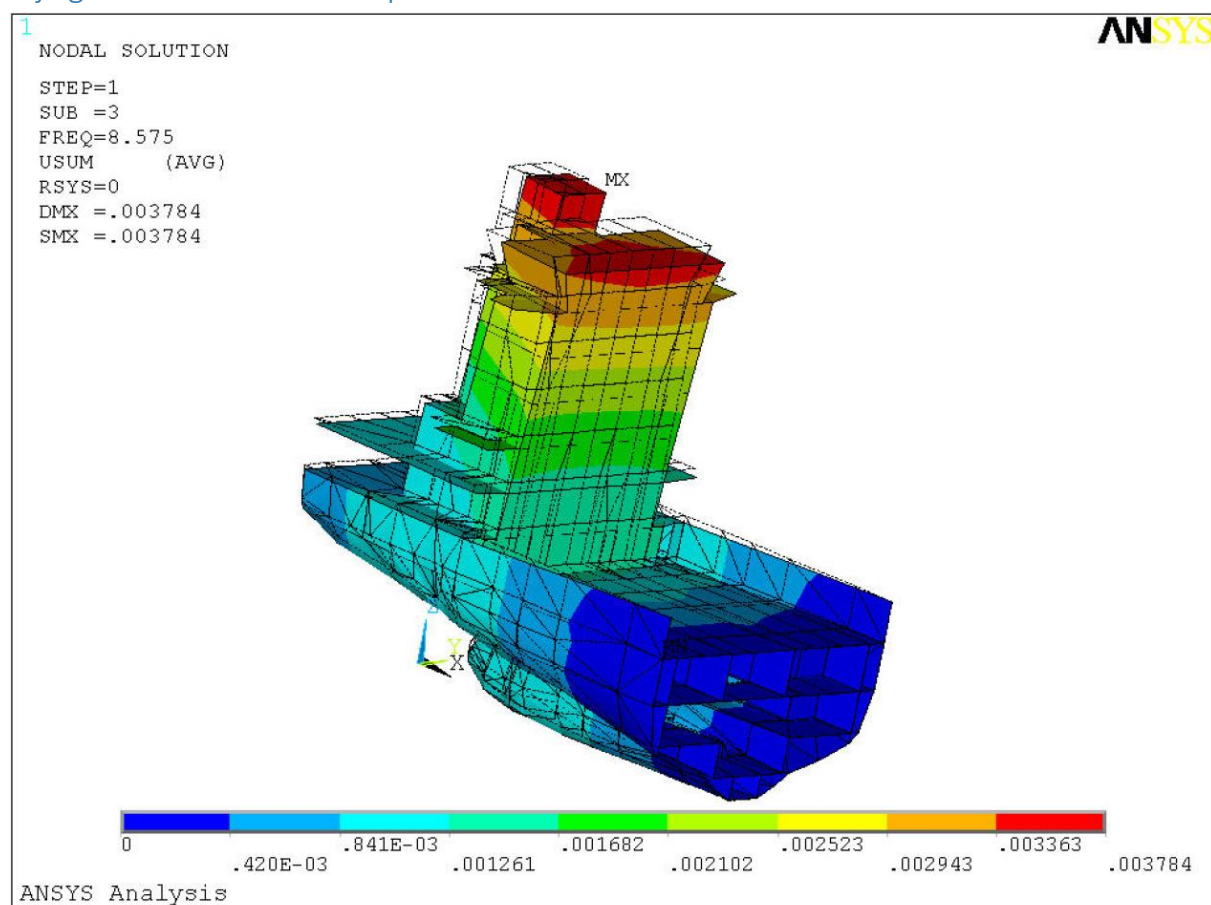
De code is bedoeld om de normen en het optreden van potentieel gevaarlijke geluidsniveaus aan boord van schepen te voorkomen voor aanvaardbare omgevingsomstandigheden te bieden voor zeevarenden. Deze standaarden zijn ontwikkeld voor passagier en vrachtschepen. Aangezien sommige maten en bepaalde dienst van schepen zijn vrijgesteld van deze vereisten, moet worden erkend dat de volledige toepassing van de code op schepen die verschillen van aard zullen voldoen aan speciale overwegingen. De Code is bedoeld als basis standaard, met inachtneming op basis van de bevredigende afronding van proefvaarten die leiden tot de afgifte van een Noise Survey Report (IMO, Code On Noise Levels On Board Ships, 2012).

### Bijlage 2 ISO 6954:2000

ISO 6954:2000 ABS Criteria for Crew Habitability and Passenger Comfort

De ABS regelgeving voor bemanning leefbaarheid en passagier comfort bieden op basis van acceptatiecriteria van evaluatie van zowel de zee als mechanische trillingen. De acceptatiecriteria worden gepresenteerd in termen van de totale frequentie-gewogen rms versnellingswaarden 0,5-80 Hz (ABS, Guidance notes on ship vibration, 2015).

### Bijlage 3 FEM Model aft ship



Afbeelding 9, FEM Model aft ship

## Bijlage 4 Regels en wetgeving uitlaatgassenreinigers

### *Regels en wetgeving*

#### *Algemeen*

De hoofdreden achter uitlaatgassen verschoning is de wereldwijde vraag om de uitstoot van zwaveloxiden door verbrandingsmotoren te verminderen. Een aantal grote maritieme wetgevers hebben reeds nieuwe regels en regelementen opgelegd met betrekking tot het limiteren van de zwavel uitstoot gegenereerd door het verkeer op zee. Deze nieuwe regels beperken niet alleen het limiet van zwavel dat schepen mogen uitstoten in de atmosfeer, maar zetten ook een standaard betreffend de uitstoot van water kwaliteit gebruikt voor het uitlaatgassen reinigen.

De hierna volgende lijst bevat wettelijke vereisten met effect op het gebruik van uitlaatgassenreinigers;

- The International Maritime Organization (IMO)
  - o Marpol Annex VI
  - o MEPC.184(59) Guidelines for Exhaust Gas Cleaning Systems
- European Union (EU)
  - o EU Sulphur Directive 2012/33/EU

(Wärtsilä, Product Guide, 2014).

#### *IMO MARPOL*

De IMO Annex VI staat aan de basis van de wereld wijde maritieme zwavel vermindering vereisten. IMO MARPOL wetgeving limiteert het gebruik van zwavel houdende brandstoffen als volgt;

- Wereldwijde zwavel limiet %:
  - o 3.50% vanaf 1.1.2012
  - o 0.50% vanaf 1.1.2020, mogelijk uitgesteld tot 1.1.2025.
- Emission Control Areas zwavel limiet %:
  - o 1.00% vanaf 1.7.2010
  - o 0.10% vanaf 1.1.2015

Brandstoffen zijn niet gereguleerd, waardoor er ook ruimte is voor alternatieve oplossingen zoals uitlaatgassenreinigers (MARPOL Annex VI voorschrift 4).

De beperkingen betreffend het lozen van het waswater zijn vastgelegd in de IMO Scrubber Guidelines MEPC.184(59). De kwaliteit van het waswater moet voldoen aan de limieten op de volgende punten;

- pH (zuurgraad)
- PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons)
- Troebelheid

(Wärtsilä, Product Guide, 2014).

#### *MARPOL documenten*

MEPC.184(59) (Marine Environment Protection Committee) lijst verschillende documenten betreffend het gebruik van schepen met een uitlaatgassenreiniger en het voldoen aan de wetgeving en emissie-eisen. Hier volgt een korte samenvatting van de documenten;

- ETM-A/B
- SECP The SOx Emissions Compliance Plan
- OMM
- EGC Record Book

(Wärtsilä, Product Guide, 2014).



### *ETM-A/B*

Onder MEPC.184 (59) zijn er twee mogelijke keuzes, keuze A of keuze B;

Keuze A; EGC System Approval, Survey and Certification using Parameter and Emission Checks.

Keuze B; EGC System Approval, Survey and Certification using Continuous Monitoring of Emissions.

De ETM - A/B is de belangrijkste technische handleiding dat beschrijft de verschillen van relevante belangrijke proces parameters van de specifieke uitlaatgassenreiniger. Wat betekent dat wanneer de uitlaatgassenreiniger wordt gebruikt, moet het binnen de perken blijven en te allen tijde worden nageleefd (Wärtsilä, Product Guide, 2014).

### *SECP The SOx Emissions Compliance Plan*

Is een document dat alle mogelijke alternatieven een specifieke schip kan gebruiken om de aan de emissievoorschriften voor zwavel uitstoot te voldoen varend in een SECA gebied. Deze alternatieven bestaan voornamelijk uit de volgende 3 verschillende scenario's;

- Gebruik van geschikte brandstoffen (<0.10% Zwavel)
- Gebruiken van verschillende brandstoffen binnen en buiten de SECA gebieden (<0.10% Zwavel binnen SECA gebieden)
- Gebruik maken van een uitlaatgassenreiniger (EGC)

(Wärtsilä, Product Guide, 2014).

### *OMM*

Onboard Monitoring Manual is een document waarin alle essentiële sensoren staan, gebruikt voor de naleving van het systeem. Deze sensoren bestaan veelal uit; uitlaatgassen sensoren, belangrijke proces parameters (zoals waswater druk en flow) sensoren, en het monitoren van kwaliteit van het overboord gepompte waswater. De OMM stelt alle service, onderhoud en kalibratie eisen voor deze essentiële sensoren (Wärtsilä, Product Guide, 2014).

### *EGC Record Book*

De EGC Record Book is een set van formulieren die moeten worden gebruikt om gebeurtenissen en reparaties te loggen. Dergelijke gebeurtenissen zijn bijvoorbeeld alle service, onderhoud en herkalibratie dat gedaan wordt aan de in de OMM genoemde sensoren. Ook wanneer er waswater geloosd wordt, en sludge afgegeven wordt aan een haveninstantie. En in het geval van een gesloten loop de levering en het verbruik van chemicaliën voor het behoud van prestaties van het systeem (Wärtsilä, Product Guide, 2014).

### *EU*

De Europese Unie heeft de zwaveluitstoot richtlijnen geïntroduceerd, dit heeft een grote impact op het lokale verkeer op zee binnen de SECA gebieden. Deze richtlijn is vooral de IMO MARPOL annex VI, meteen paar aanvullende eisen

Samenvatting van de EU zwaveluitstoot-richtlijn, van toepassing op schepen van alle vlaggen:

- Alle schepen in SOx ECA
  - o 1.00% tot 31.12.2014
  - o 0.10% van 1.1.2015
- Alle schepen buiten SOx ECA
  - o 3.50% van 1.1.2012
  - o 0.50% van 1.1.2020
- Schepen aan de kade in de EU
  - o 0.1% van 1.1.2010

(Wärtsilä, Product Guide, 2014).

### *pH*

Het overboord gaande waswater dient een pH gehalte van niet minder dan 6,5 te hebben. Gemeten bij de overboord afsluiter, met uitzondering dat tijdens het manoeuvreren en varen, het maximale verschil tussen de inlaat en uitlaat van zeewater 2 pH toegestaan is (MEPC, 2009).

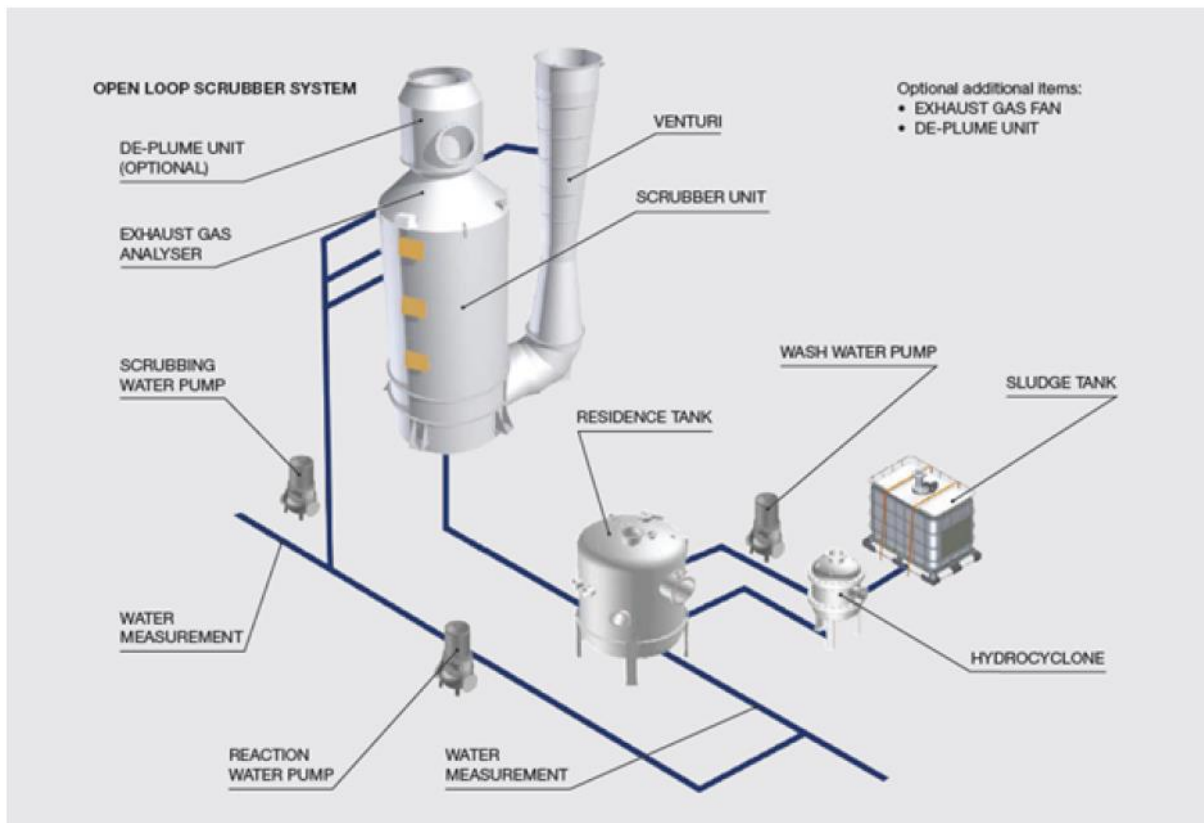
### *PAH*

De maximale continue PAH concentratie in het waswater mag niet meer dan 50 µg/L PAH<sub>phe</sub> (phenanthrene equivalence) boven het inlaat water PAH concentratie. Voor de toepassing van deze criteria moet de PAH concentratie stroomafwaarts van de waterzuiveringsinstallatie gemeten worden, maar stroomopwaarts van elke waswater verdunning (MEPC, 2009).

### *Troebelheid*

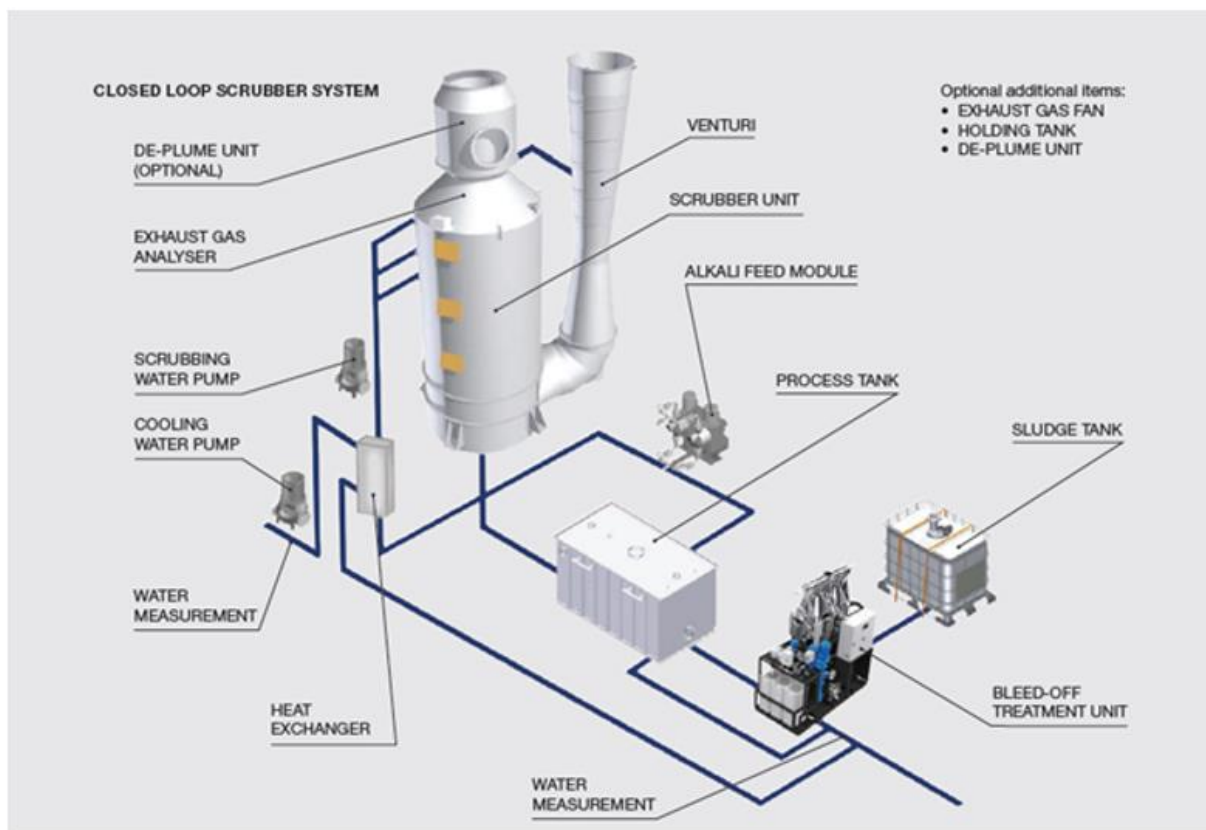
Het waswater troebelheid dient te voldoen aan de volgende eisen voldoen. De grenswaarde moet worden geregistreerd in de ETM-A of ETM-B. Het waswater behandeling systeem moet worden ontworpen om fijnstof deeltjes te minimaliseren, waaronder zware metaalsplinters en as deeltjes. De maximale continue troebeling in waswater mag niet groter zijn dan FNU (formazin nephelometric units) of 25 NTU (nephelometric turbidity units) bovenop het inlaatwater troebelheid (MEPC, 2009).

## Bijlage 5 Open Loop scrubber system



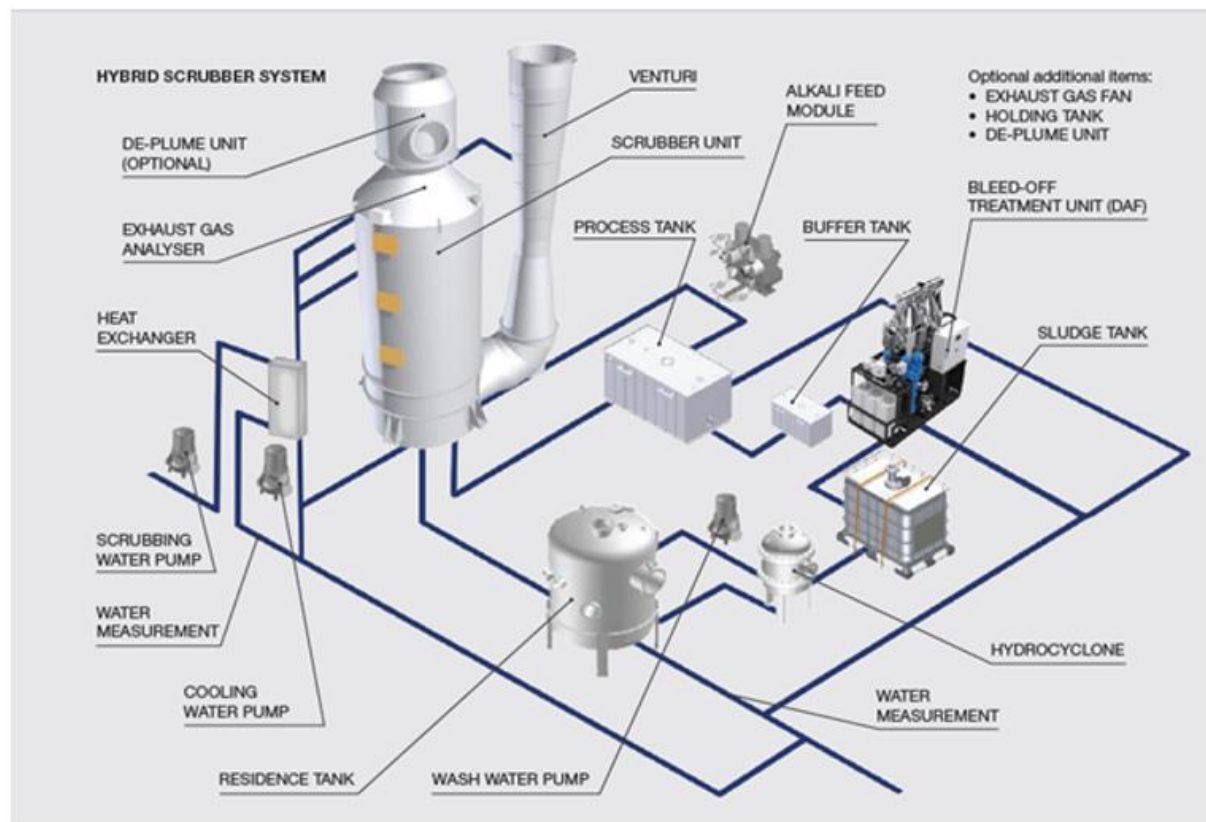
Afbeelding 10, Open Loop scrubber system (Wärtsilä, Open Loop Scrubber system overview).

## Bijlage 6 Closed Loop scrubber system



Afbeelding 11, closed loop scrubber system (Wärtsilä, Closed Loop Scrubber system overview).

## Bijlage 7 Hybrid scrubber system



Afbeelding 12, hybrid scrubber system (Wärtsilä, Hybrid Scrubber system overview).

## Bijlage 8 Uitlaatgassenreiniger componenten

### *Scrubbing unit (open en gesloten loop)*

Deze 'ketel' is gemaakt van hoogwaardig gelegeerd staal om corrosie te weerstaan. De uitlaatgassen gaan via de venturi uitlaatleiding de wasinstallatie binnen. In de venturi wordt de uitlaatgasstroom geregeld, zodat deze met een snelheid van 3 - 3,5 m/s in de wasinstallatie binnen komen. De meeste van de deeltjes wordt verwijderd in de venturi, omdat daar het uitlaatgas eerst in contact komt met het waswater. In de wasinstallatie zitten 2 ringen met sproeistukken met 2 losse bepakte 'bedden'. Deze lagen helpen de uitlaatgassen in contact te komen met het waswater (Wärtsilä, Wärtsilä Environmental Product Guide, 2015).

### *Scrubbing water pumps (open en gesloten loop)*

De scrubbing water pumps zorgen er voor dat het waswater verpompt wordt naar de wasinstallatie. In de open loop scrubber is de flow van het waswater 45 m<sup>3</sup>/MWh, voor een vermindering van SO<sub>x</sub> van 3,5% naar 0,1% zwavel (Wärtsilä, Wärtsilä Environmental Product Guide, 2015).

### *Scrubbing water monitoring module (open en gesloten loop)*

Waswater controle modules zijn zowel bij de inlaat en de uitlaat geplaatst in een open loop scrubber. Dit maakt het mogelijk om het verschil in zeewater te zien voor en na het wassen. Het systeem controleert de; pH, troebelheid en temperatuur van het water (Wärtsilä, Wärtsilä Environmental Product Guide, 2015).

### *Wash water treatment system (open loop)*

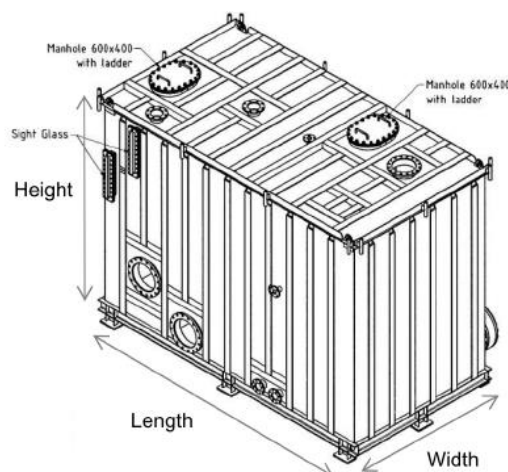
De openloop scrubber installatie bevat een waswater behandel systeem. Dit systeem bestaat uit de volgende componenten; een bezinktank, separator, waswater pompen en een slibtank (Wärtsilä, Wärtsilä Environmental Product Guide, 2015).

### *Residence tank (open loop)*

De settelingtank is aan de binnenkant gecoat om er voor te zorgen dat die niet corrodeert door het waswater. Het belangrijkste doel van deze tank is om er voor te zorgen dat de lucht / gas van het water te laten scheiden. Deze scheiding maakt het mogelijk om de deeltjes fijnstof en verontreinigingen te laten settelen.

Hierdoor zijn ze later makkelijker zijn te scheiden van het water in de hierna volgende hydrocycloon en vervolgens te worden verpompt naar de slibtank. De settelingtank is ontworpen om een er voor de zorgen dat het water zich minimaal 2 minuten in de tank bevind. (hoe groter de tank, hoe beter). De afmetingen van de tank worden bepaald aan het motorvermogen, bij een motor vermogen van 5400kW (afgerond 6000kW) wordt de tank; 3700 x 1700 x 2000 mm (lengte x breedte x hoogte). Zie afbeelding hiernaast met de maten van de settelingtank (Wärtsilä, Wärtsilä Environmental Product Guide, 2015).

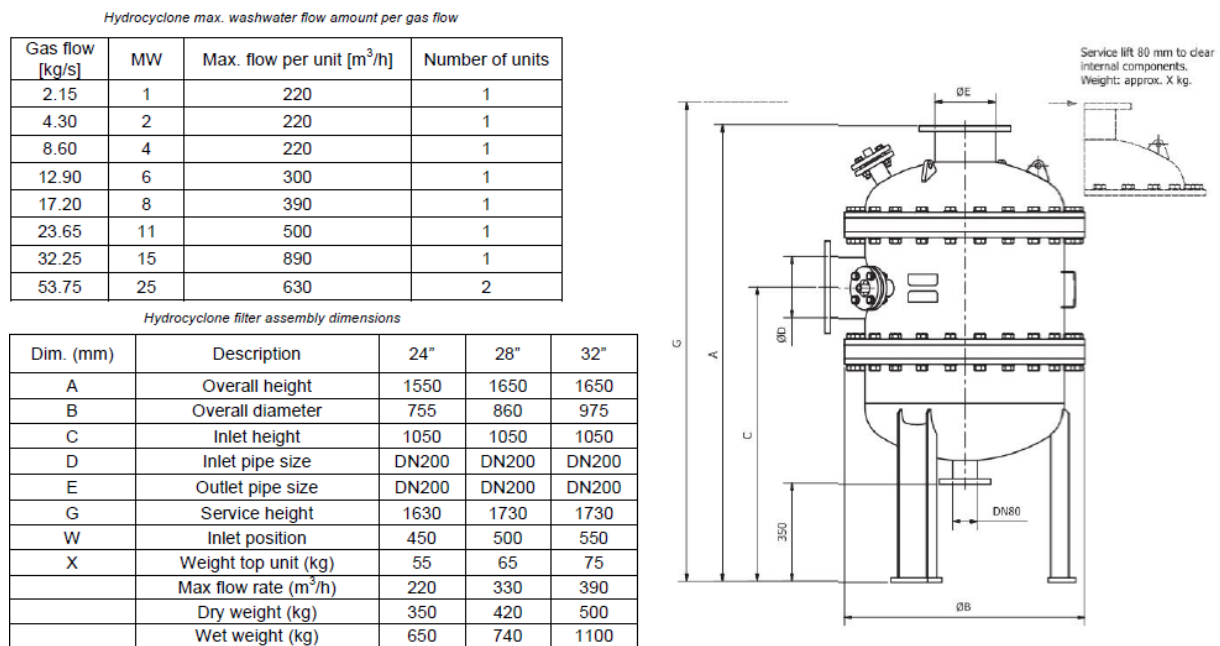
(Wärtsilä, Residence tank dimensions) Afbeelding 13, Residencetank



| Gas flow |    | Volume            | Height | Length | Width |
|----------|----|-------------------|--------|--------|-------|
| [kg/s]   | MW | [m <sup>3</sup> ] | [m]    | [m]    | [m]   |
| 2.15     | 1  | 1.9               | 1.8    | 1.4    | 0.7   |
| 4.30     | 2  | 3.8               | 1.8    | 2.0    | 1.0   |
| 8.60     | 4  | 7.5               | 2      | 2.7    | 1.4   |
| 12.90    | 6  | 11.3              | 2      | 3.4    | 1.7   |
| 17.20    | 8  | 15.0              | 2.2    | 3.7    | 1.8   |
| 23.65    | 11 | 20.6              | 2.5    | 4.1    | 2.0   |
| 32.25    | 15 | 28.1              | 2.5    | 4.7    | 2.4   |
| 53.75    | 25 | 46.9              | 2.7    | 5.9    | 2.9   |

### Hydrocyclone (open loop)

Hydrocyclonen worden gebruikt om het waswater van de scrubber schoon te maken. De verontreinigingen worden naar een slibtank gepompt en het gereinigde water kan overboord worden afgevoerd. De efficiëntie van de reiniging wordt gecontroleerd voor lozing. Om er voor te zorgen dat het waswater genoeg druk heeft om het overboord te pompen wordt er gebruik gemaakt van een waswater return pomp. De pompen in het hele systeem zijn voorzien van hoogwaardige onderdelen om de effecten van corrosie te weerstaan. Ook de afmetingen van de hydrocyclone wordt bepaald aan de hand van het motorvermogen 5400kW (afgerond 6000kW). Hierdoor komt er een maximale flow rate uit van 300 m<sup>3</sup>/hr. Aan de hand hiervan wordt de afmeting van de hydrocyclone; 1650 x 860 mm (hoogte x diameter). Zie de afbeelding hieronder met de maten van de hydrocyclone (Wärtsilä, Wärtsilä Environmental Product Guide, 2015).



Afbeelding 14, Hydrocyclone (Wärtsilä, Scrubber hydrocyclone dimensions)

### Sludge tank (open en gesloten loop)

Slibtanks zijn algemeen in de vorm van een standaard IBC container (1 m<sup>3</sup>). De positionering van deze tank moet zo gedaan zijn dat de tank in zijn geheel verwisseld kan worden als deze vol is. De inhoud van de tank moet worden afgegeven aan de wal en mag niet worden verbrand of overboord gepomp. MEPC259 (68) section 10.4. De tanks worden zodanig ingericht dat alle diensten worden aangeboden in de deksel van de tank, en eenvoudig vervangen wanneer vol zonder de noodzaak om extensieve handelingen voor het los en aankoppelen. Het verzamelde slib uit de hydrocyclonen (normaal Een Keer per dag) bezinkt en vervolgens het afzonderlijke water wordt dan terug in het waswater systeem gepompt om het nogmaals door de hydrocyclonen. Voordat het met het waswater overboord gepompt wordt (Wärtsilä, Wärtsilä Environmental Product Guide, 2015).

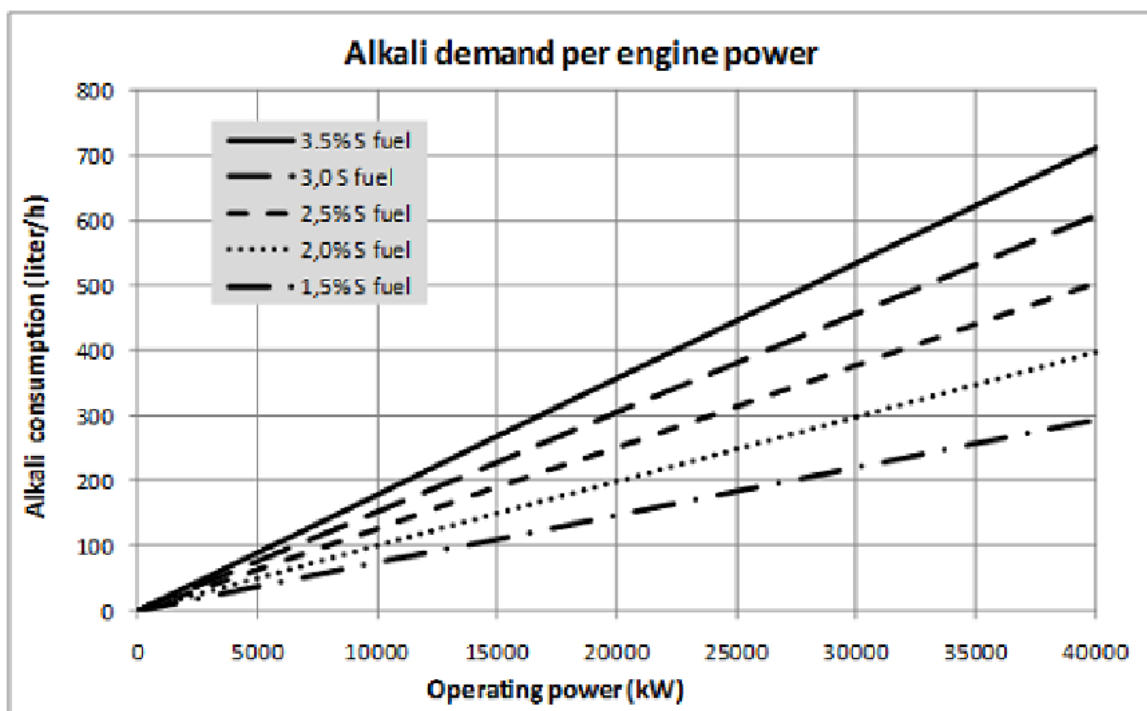


#### *Heat exchanger (gesloten loop)*

In de warmte wisselaar wordt de warmte van het waswater overgedragen aan het zeewater. Het doel van het koelen is om het water temperatuur in het scrubber systeem te houden. De koeling heeft een verwaarloosbaar effect op de verwijdering van zwavel uit de uitlaatgassen. Het systeem is ontworpen voor een maximale temperatuur van 32 °C. In koude omstandigheden wordt de minimum temperatuur van het zeewater wordt verzekerd door een thermostatische kraan en een recirculatie lijn om kristallisatie van de sulfaten in het waswater te voorkomen (Wärtsilä, Wärtsilä Environmental Product Guide, 2015).

#### *Alkali feed module (gesloten loop)*

Alkali wordt automatisch toegevoegd aan het waswater circulatie om het proces pH waarde en daarmee de SOX verwijdering efficiëntie te behouden. Typisch 50% NaOH (natriumhydroxide), ook bekend als caustische soda gebruikt als alkali. In sommige gevallen kan 20 % NaOH-oplossing worden beschouwd vanwege de lage vriespunt. Belangrijkste onderdelen in alkali systeem; alkali feed module, alkali transfer pump en de alkali storage tank. Alkali feed module bestaat uit 2 chemische doseerpompen. Een pomp staat in werking en de ander staat stand-by. Alkali verbruik is afhankelijk van de concentratie van de oplossing, motor vermogen, specifieke brandstofverbruik en het zwavel gehalte van de brandstof. De alkali toevoer wordt bepaald aan de hand van deze parameters. In de grafiek hieronder kan ongeveer het verbruik van alkali bepaald worden (Wärtsilä, Wärtsilä Environmental Product Guide, 2015).



Afbeelding 15, Alkali demand (Wärtsilä, Alkali demand per engine)

#### *Bleed-off treatment unit (gesloten loop)*

Om onzuiverheden uit de gesloten loop scrubber water te verwijderen wordt er een kleine stroom van het circulatie afgetapt (bleed-off) en door de behandel unit verwerkt. Bleed-off bevat sporen van koolwaterstoffen en verbrandingsproducten, en de pH is meestal dicht bij neutraal. In de behandeling worde de bleed-off verdeeld in afvalwater en slib. Schoon effluent overboord geloosd, of tot de effluent vuilwatertank voor een geplande en periodieke ontlading (Wärtsilä, Product Guide, 2014).

### *Venturi/bypass (open en gesloten loop)*

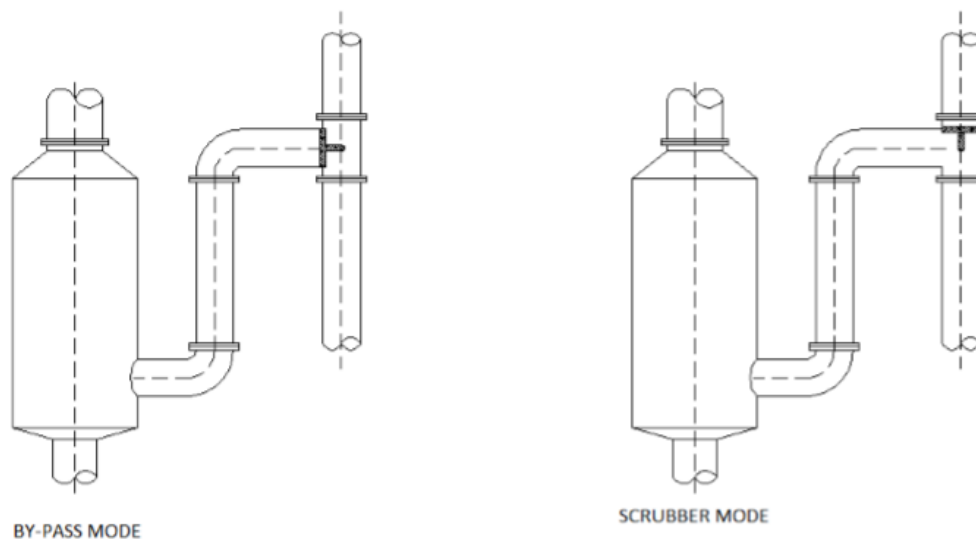
De venturi is ontwikkeld om het formaat van de scrubber te verkleinen, hierdoor wordt wel de breedte groter dan een in-line scrubber maar de lengte wordt verkleind. De uitlaatgassen gaan via de venturi uitlaatleiding de wasinstallatie binnen. In de venturi wordt de uitlaatgasstroom geregeld, zodat deze met een snelheid van 3 - 3,5 m/s in de wasinstallatie binnen komen. De meeste van de deeltjes wordt verwijderd in de venturi, omdat daar het uitlaatgas eerst in contact komt met het waswater (Wärtsilä, Product Guide, 2014).

### *Bypass*

Deze bypass is ontwikkeld als een veiligheid van de scrubber, mocht er door bepaalde omstandigheden niet met de scrubber gevaren worden dan wordt deze bypass open gezet en gaan de uitlaatgassen direct de atmosfeer in. De bypass is bestuurd door een faalveilige klep. Deze klep wordt geopend door middel van compressed air of door een ander medium, en wordt gesloten door een veer of een andere manier van sluiten, wat geen externe energie nodig heeft om te werken. De flow naar de scrubber is gesloten en de bypass geopend in de volgende senario's;

- Temperatuur in de scrubber te hoog
- Waterdruk in de scrubber te laag
- Verlies van druk in bypass klep mechanisme
- Uitlaatgassen tegendruk te hoog

De temperatuur wordt voor en na de scrubber gemeten. De bypass klep wordt geopend wanneer de temperatuur te hoog wordt. De tegendruk wordt gemeten bij de bypass klep of bij de scrubber inlaat, de bypass wordt geopend als de drukverschil te hoog wordt. Op de onderstaande afbeelding staat een voorbeeld van een bypass klep (Wärtsilä, Product Guide, 2014).



Afbeelding 16, 3-way exhaust valve (Wärtsilä, 3-Way exhaust valve)

### *Leidingwerk (open en gesloten loop)*

Het was water in de SOx Scrubbers is zeer corrosief en de scrubber onderdelen die hier mee in contact komen zullen van een gemaakt moeten worden van corrosiebestendige onderdelen. Glass reinforced epoxy (GRE) is een goed bestandsdeel tegen corrosievorming in het leidingwerk. GRE is licht van gewicht en maakt het dus makkelijker om te installeren tijdens een retrofit. De beperkte stijfheid van maakt het noodzakelijk dat de leidingen met de juiste bevestigingen zijn gemonteerd. GRE leidingwerk nabij de gaswasser moet worden beschermd tegen blootstelling aan de hoge temperaturen (AlfaLaval, Understanding exhaust gas treatment systems, 2012).

## Bijlage 9 Proefvaart voor toerentalverlaging

Proefvaart Rotra Mare: Rotterdam -> Sluiskil

Tijdens deze tweede proefvaart is er getest of de motor op een lager toerental kan draaien. Tijdens de proefvaart werd de motor op vier toerentalen getest. Bij elke toerental verlaging werd er een meetrapport opgesteld, een zogeheten seatrial rapport. Op afbeelding 17 en 18 op de volgende pagina's staan 2 seatrial rapporten weergegeven die gemaakt zijn tijdens de proefvaart:

- Afbeelding 17 staan de gegevens met het originele toerental 500 rpm
- Afbeelding 18 staan de gegevens met het verlaagd toerental 450 rpm

De andere 2 seatrial rapporten staan niet weergegeven, deze zijn niet relevant voor het onderzoek. Tijdens de vaart werd er eerst een uur op het originele toerental van 500 rpm gevaren. De volgende test was op 450 rpm, tijdens dit toerental kwamen er twee alarmen; het HT koelwater druk en de smeerolie druk op de tandwielkast. Deze twee alarmen zaten rond het kritische punt van het lage druk alarm, dit wil zeggen dat ze telkens in en uit alarm sprongen. Het was mogelijk om de proefvaart verder uit te voeren, alleen moet dit wel opgelost worden in de toekomst als het schip op een minder toerental blijft varen.

### Opmerkingen tijdens de proefvaart;

#### *HT koelwater druk*

|                         |                          |
|-------------------------|--------------------------|
| Gewenste druk:          | tussen de 2,5 en 6,0 bar |
| Gemeten druk (500 rpm): | 3,1 bar                  |
| Gemeten druk (450 rpm): | 2,2 bar                  |

(MAK, M43C Project Guide, 2008)

#### *Smeerolie druk TWK*

|                         |                          |
|-------------------------|--------------------------|
| Gewenste druk:          | tussen de 0,5 en 3,5 bar |
| Gemeten druk (500 rpm): | 2,5 bar                  |
| Gemeten druk (450 rpm): | 2,2 bar                  |

(Flender, 2005)

Te zien in de seatrial rapporten in de bijlage dat er een remark (opmerking) staat aangegeven. Deze twee remarken zullen worden behandeld in de interviews die verder in het verslag volgen. Het koelwater zal worden behandeld met MAK Bolier, en de tandwielkast met Flender.



| MAK                           |                   | Measurement                   |         |                        |        |                    |           |                                                                                     |     |         |  |                                                                                                                                                                             |  |
|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|---------|------------------------|--------|--------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|---------|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Vessel:                       | Rotra Mare        | Eng. type:                    | 8 M 43c | Engine no:             | 66149  | Date of measurem.: | 14-6-2016 |                                                                                     |     |         |  |                                                                                                                                                                             |  |
| P :                           | 8000 kW           | n :                           | 500 rpm | Hrs. of operat.:       | 37.250 | Time:              | 14:00     |                                                                                     |     |         |  |                                                                                                                                                                             |  |
| Conditions of measurements    |                   |                               |         |                        |        |                    |           |                                                                                     |     |         |  |                                                                                                                                                                             |  |
| Voyage from/to :              |                   | Rotterdam / Sluiskil          |         | Speed :                |        | 17,5 Kn.           |           | Wind force:                                                                         |     | 4       |  |                                                                                                                                                                             |  |
| Draught fore/aft :            |                   | 3,85 / 5,55                   |         | Load :                 |        | 100 % Pitch        |           | Sea :                                                                               |     | 1 M     |  |                                                                                                                                                                             |  |
| Full ahead till reversing :   |                   | sec.                          |         | Outside temp :         |        | °C 16              |           | Wind in relation to vessel                                                          |     |         |  |                                                                                                                                                                             |  |
| Full ahead till full astern : |                   | sec.                          |         | Atmospheric press :    |        | 998 mbar           |           |  |     |         |  |                                                                                                                                                                             |  |
| Cylinder                      | 1                 | 2                             | 3       | 4                      | 5      | 6                  | 7         | 8                                                                                   | 9   | Average |  |                                                                                                                                                                             |  |
| Fuel rack position            | 56                | 57                            | 56      | 57                     | 56     | 57                 | 57        | 56                                                                                  |     | 56,50   |  |                                                                                                                                                                             |  |
| Exhaust temp.                 | Engine            | 364                           | 374     | 371                    | 376    | 365                | 353       | 348                                                                                 | 356 | 363,38  |  |                                                                                                                                                                             |  |
| aft cil.                      | Remote/alarmsyst. | 373                           | 382     | 380                    | 385    | 373                | 362       | 358                                                                                 | 365 | 372,25  |  |                                                                                                                                                                             |  |
| Fresh cooling water outlet    | 87                |                               |         |                        |        |                    |           |                                                                                     |     | 87,00   |  |                                                                                                                                                                             |  |
| Combustion press.             | 194               | 189                           | 188     | 181                    | 192    | 181                | 187       | 186                                                                                 |     | 187,25  |  |                                                                                                                                                                             |  |
| Compression press.            |                   |                               |         |                        |        |                    |           |                                                                                     |     | #DIV/0! |  |                                                                                                                                                                             |  |
| Lubricating oil               |                   |                               |         | Fuel                   |        |                    |           | n Engine                                                                            |     |         |  | 500 rpm                                                                                                                                                                     |  |
| p bef. filter bar             |                   |                               |         | Type MDO               |        |                    |           | n Propeller                                                                         |     |         |  | 158 rpm                                                                                                                                                                     |  |
| p aft.filter bar 5,2          |                   |                               |         | Gravity kg/dm3         |        |                    |           | Load                                                                                |     |         |  | 6882 kW                                                                                                                                                                     |  |
| p last main bear. bar         |                   |                               |         | Sulpher %              |        |                    |           | Exhaust colour                                                                      |     |         |  |                                                                                                                                                                             |  |
| p last camsh. bear. bar       |                   |                               |         | Consumpt. kg/h 1541,3  |        |                    |           | Turbocharger                                                                        |     |         |  | 1 2                                                                                                                                                                         |  |
| t inl. eng. °C 59             |                   |                               |         | p bef. filter bar      |        |                    |           | Turbine speed rpm                                                                   |     |         |  | 19000                                                                                                                                                                       |  |
| t outl. eng. °C 67            |                   |                               |         | p aft. filter bar      |        |                    |           | t Exhaust bef.turbo °C                                                              |     |         |  | 500                                                                                                                                                                         |  |
| t inl. cool. °C 66            |                   |                               |         | p Nozzle cool. bar     |        |                    |           | t Exhaust aft.turbo °C                                                              |     |         |  | 240                                                                                                                                                                         |  |
| t outl. cool °C 51            |                   |                               |         | t Nozzle cool. °C      |        |                    |           | t Charge air bef.cool. °C                                                           |     |         |  | 202                                                                                                                                                                         |  |
| oiler adjustm.                |                   |                               |         | t Fuel service tank °C |        |                    |           | t Charge air aft.cool. °C                                                           |     |         |  | 51                                                                                                                                                                          |  |
| circuit oil                   |                   |                               |         | t Final pre heat °C    |        |                    |           | t Intake air in a distance                                                          |     |         |  |   |  |
| consumption kg/d              |                   |                               |         | t Fuel viscotherm. °C  |        |                    |           | of 10 cm to the filter °C                                                           |     |         |  | 35                                                                                                                                                                          |  |
| Cyl.lubricat. oil             |                   |                               |         | Viscosity at --        |        |                    |           | p Charge air bef. cool. bar                                                         |     |         |  | 3.13                                                                                                                                                                        |  |
| consumption kg/d              |                   |                               |         | Viscotherm mPa.s       |        |                    |           | p Charge air aft.cool. bar                                                          |     |         |  | 3.10                                                                                                                                                                        |  |
| Quality                       |                   |                               |         | t Fuel bef.eng. °C 54  |        |                    |           | p difference mmWC                                                                   |     |         |  | 0,22                                                                                                                                                                        |  |
| Treatment                     |                   |                               |         | Additives              |        |                    |           | Exhaust gas -                                                                       |     |         |  |                                                                                                                                                                             |  |
| Oil Qty. in system kg         |                   |                               |         | Treatment              |        |                    |           | back pressure mmWC                                                                  |     |         |  |                                                                                                                                                                             |  |
| Autom.Filter B & K            |                   |                               |         | Autom.filter           |        |                    |           | p diff. air screen mmWC                                                             |     |         |  |                                                                                                                                                                             |  |
| Flushings/day Constant        |                   |                               |         | Flushings/day          |        |                    |           |                                                                                     |     |         |  |                                                                                                                                                                             |  |
| Type of indicator used        |                   | Lehman & Michels              |         | Type of spring         |        | Piston size        |           | Scale                                                                               |     |         |  |                                                                                                                                                                             |  |
| Remarks :                     |                   | Gearbox oil pressure: 2.5 Bar |         |                        |        |                    |           |                                                                                     |     |         |  |                                                                                                                                                                             |  |
|                               |                   | H.T c.water pressure: 3.1 Bar |         |                        |        |                    |           |                                                                                     |     |         |  |                                                                                                                                                                             |  |
| HaBe                          |                   | 14-06-16                      |         | R. de Bot              |        | Date               |           | Signature                                                                           |     |         |  |                                                                                                                                                                             |  |

| MAK                           |                               | Measurement                 |             |
|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------|
| Vessel:                       | Rotra Mare                    | Eng. type:                  | 8 M 43c     |
| P :                           | 8000 kW                       | Engine no:                  | 66149       |
| n :                           | 500 rpm                       | Date of measurem.:          | 14-6-2016   |
| Hrs.of operat.:               | 37.250                        | Time:                       | 16:00       |
| Conditions of measurements    |                               |                             |             |
| Voyage from/to :              | Rotterdam / Sluiskil          | Speed :                     | 15,4 Kn.    |
| Draught fore/aft :            | 3,85 / 5,55                   | Wind force:                 | 4           |
| Full ahead till reversing :   | sec.                          | Load :                      | 91 % Pitch  |
| Full ahead till full astern : | sec.                          | Sea :                       | 1 M         |
| Outside temp :                | °C 16                         | Wind in relation to vessel  |             |
| Atmospheric press :           | 998 mbar                      |                             |             |
| Cylinder                      | 1                             | 2                           | 3           |
| Fuel rack position            | 46                            | 47                          | 46          |
| Exhaust temp. Engine          | 362                           | 357                         | 353         |
| aft cil. Remote/alarmsyst.    | 373                           | 365                         | 362         |
| Fresh cooling water outlet    | 87                            |                             |             |
| Combustion press.             | 155                           | 152                         | 155         |
| Compression press.            |                               |                             |             |
| Average                       | 46,50                         | 346,38                      | 354,38      |
|                               | 87,00                         | 152,25                      | #DIV/0!     |
| Lubricating oil               | Fuel                          | n Engine                    | 450 rpm     |
| p bef. filter bar             | Type MDO                      | n Propeller                 | 143 rpm     |
| p aft.filter bar 4,7          | Gravity kg/dm3                | Load                        | 4900 kW     |
| p last main bear. bar         | Sulphur %                     | Exhaust colour              |             |
| p last camsh. bear. bar       | Consumpt. kg/h 1086           |                             |             |
| t inl. eng. °C 59             | p bef. filter bar             | Turbocharger                | 1 2         |
| t outl. eng. °C 68            | p aft. filter bar             | Turbine speed rpm           | 15500       |
| t inl. cool. °C 68            | p Nozzle cool. bar            | t Exhaust bef.turbo °C      | 498         |
| t outl. cool °C 50            | t Nozzle cool. °C             | t Exhaust aft.turbo °C      | 280         |
| oiler adjustm.                | t Fuel service tank °C        | t Charge air bef.cool. °C   | 148         |
| circuit oil                   | t Final pre heat °C           | t Charge air aft.cool. °C   | 48          |
| consumption kg/d              | t Fuel viscotherm. °C         | t Intake air in a distance  |             |
| Cyl.lubricat. oil             | Viscosity at --               | of 10 cm to the filter °C   | 32          |
| consumption kg/d              | Viscotherm mPa.s              | p Charge air bef. cool. bar | 2,29        |
| Quality                       | t Fuel bef.eng. °C 55         | p Charge air aft.cool. bar  | 2,27        |
| Treatment                     | Additives                     | p difference mmWC           | 0,22        |
| Oil Qty. in system kg         | Treatment                     | Exhaust gas -               |             |
| Autom.Filter B & K            | Autom.filter                  | back pressure mmWC          |             |
| Flushings/day Constant        | Flushings/day                 | p diff. air screen mmWC     |             |
| Type of indicator used        | Lehman & Michels              | Type of spring              | Piston size |
| Scale                         |                               |                             |             |
| Remarks :                     | Gearbox oil pressure: 2.2 Bar |                             |             |
|                               | H.T c.water pressure: 2.3 Bar |                             |             |
| HaBe                          | 14-06-16                      | R. de Bot                   |             |
| Date                          |                               | Signature                   |             |

Afbeelding 18, Seatrial report 450 rpm (Bot, 2016).

## Bijlage 10 MAK Bolier interview

### Interview

Om te bepalen hoeveel en hoe het motor vermogen terug genomen wordt is er contact opgenomen met MAK Bolier. Er is gesproken met de heer Jührend, Manager Service and Operations van MAK Bolier. Het interview werd gehouden op het kantoor van Bolier in Dordrecht. Tijdens het interview waren de volgende personen aanwezig: Jules Custers, project manager van de Rotra Mare. Pieter Berghout, Superintendent newbuilding van Amasus shipping (Amasus wordt de toekomstige scheepsmanager) en Jan-Jaap van der Graaf, afstudeerder bij Holland Shipyards.

Er was bekend dat de Rotra Mare al een proefvaart gedaan had op verlaagd vermogen, dit was gedaan door MAK Bolier, uit opdracht van Concordia Shipping BV, de eigenaar van de Rotra Mare. Echter was de data van de proefvaart nog niet voor Holland Shipyards bekend gemaakt.

In het interview werden de volgende onderwerpen besproken;

- Hoe is er bepaald hoeveel vermogen er teruggehaald wordt?
- Hoe wordt het motor vermogen teruggehaald?
- Moet er wat gebeuren aan de overige motorcomponenten?
- Gevolgen van het op verlaagd vermogen varen?
- Verwachte brandstof verbruik?
- Waren er nog andere dingen die tijdens de proefvaart opvielen?

Hoe is er bepaald hoeveel vermogen er teruggehaald wordt?

In overleg tussen Concordia Shipping en MAK Bolier werd er bepaald wat het nieuwe toerental en vermogen van de hoofdmotor gaat worden. Het verzoek van Concordia was of dat het vermogen naar 5400 kW bij 425 rpm geregeld kon worden. Echter gaf MAK aan dat dit niet mogelijk was, zie de hierna volgende Combinator Curve. De Curve is opgesteld door de MAK fabriek in Duitsland, zij kwamen met de volgende 2 mogelijke opties:

4800 kW bij 425 rpm

5400 kW bij 450 rpm

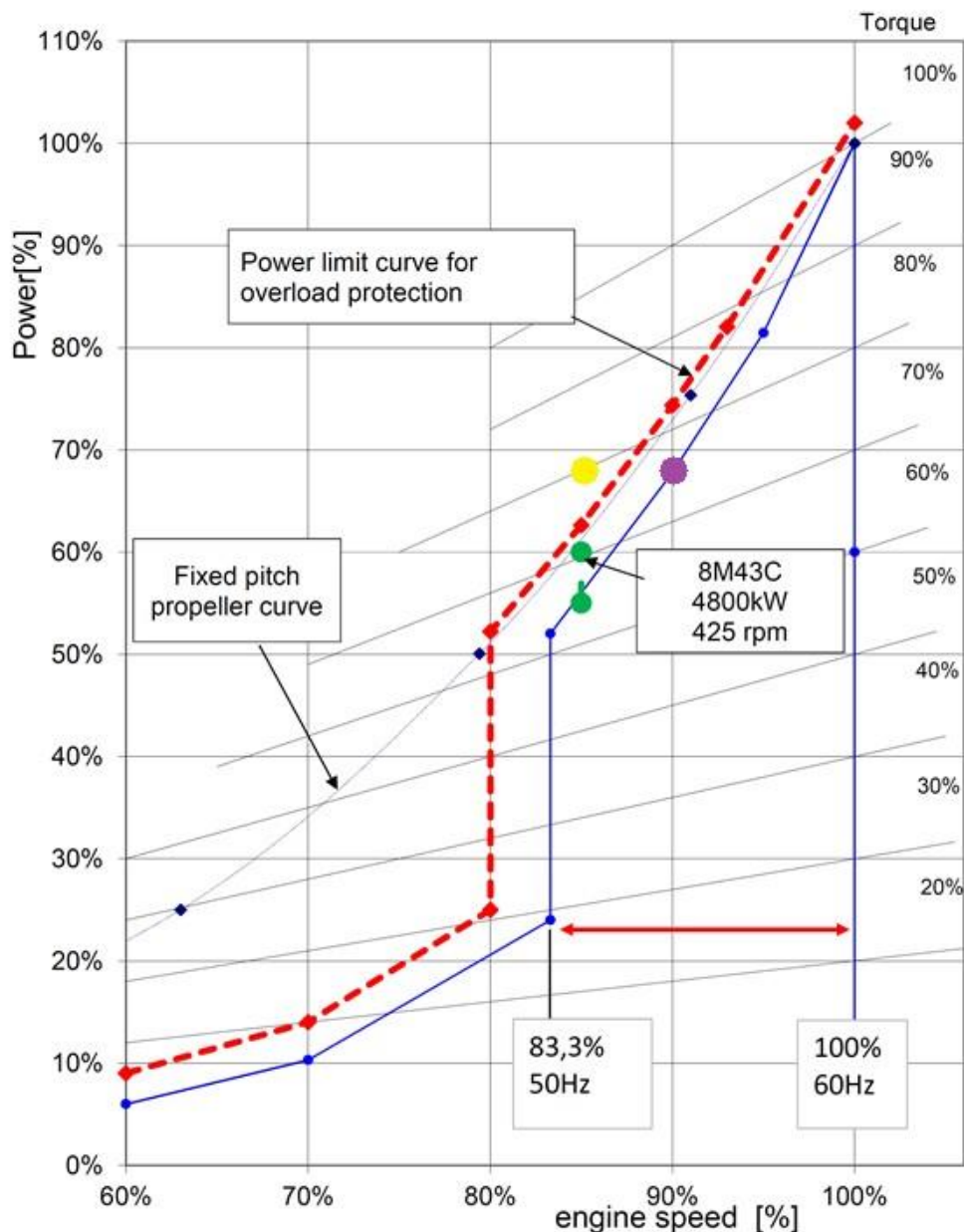
Aangegeven in de Combinator Curve de volgende 3 posities:

**Groen;** 4800 kW bij 425 rpm

**Geel;** 5400 kW bij 425 rpm

**Paars;** 5400 kW bij 450 rpm

## Power limit curve for CPP and sliding frequency 50 to 60 Hz



Afbeelding 19, Combinator curve (Caterpillar)

Te zien in de curve is dat het verzoek van concordia om op 5400 kW bij 425 rpm buiten de overload limit curve. Zoals te zien in de curve zit 5400 kW bij 450 rpm binnen de Power Limit Curve. Hierdoor is er ook besloten om op deze combinatie van toeren en vermogen toe te passen.

### Hoe wordt het motor vermogen teruggehaald?

Op de regelaar van de motor wordt er ingesteld dat de motor op 450 omwentelingen gaat draaien. De motor wordt mechanisch begrensd doormiddel van de positie van het fuel-rack vast te zetten. Hierna zal de motor fijner afgesteld worden door de klep en brandstof timing aan te passen.

### Moet er wat gebeuren aan de overige motorcomponenten?

Met de proefvaart werd er op 450 toeren gevaren. Tijdens dit werd er nauwlettend de drukken en flow van het koelwater, smeerolie en brandstof in de gaten gehouden. Alleen het HT koelwater en de smeerolie druk van de tandwielkast kwamen in alarm. De rest van de systemen gaven geen fout meldingen. De flow van het HT koelwater kwam rond het kritische punt te liggen, dit wil zeggen dat het HT koelwater net genoeg flow had om toch zijn werking te doen maar dat het wel op het randje is. Het advies van de heer Jührend is dan ook om het HT koelwatersysteem te upgraden. Het alarm van de tandwielkast zal worden besproken in het interview met de tandwielkast leverancier Flender.

### Hoe kan dat het HT koelwater te weinig flow krijgt?

Dit komt omdat het een aangehangen pomp is, zodra dat het motor toerental verminderd wordt gaat dit toerental dus ook omlaag. De heer Jührend wist niet precies met hoeveel dit gaat, hij gaf de volgende schatting: het toerental van de pomp is ongeveer 10 keer meer dan het motor toerental, dus als het motor toerental met 50 naar beneden gaat dan gaat die van de pomp met 500 rpm omlaag.

- *Hoe komt het dat de overige systemen niet aangepast moeten worden?*

De meetwaardes van de overige systemen voldeden aan de limieten. De turbo draait op het lagere toerental niet optimaal, en zou misschien de kans hebben dat deze gaat pompen (blaffen). Tijdens de proefvaart werd dit niet opgemerkt, mocht dit wel later een probleem worden dan zou er mogelijk een diffuser op de turbo gemonteerd worden.

### Gevolgen van het op verlaagd vermogen varen?

De daadwerkelijke gevolgen van het lang varen op verlaagd vermogen zijn nog niet bekend. De motor is oorspronkelijk niet gemaakt om lager dan het toerental te varen waarvoor die ontworpen is. MAK kon niet zeggen wat er precies gaat gebeuren, hier zal dus proef ondervonden achter gekomen worden. Echter kan er wel voorspeld worden dat de motor eerder gaat vervuilen, hier zou dus mee rekening gehouden worden in het onderhoudssysteem. De turbo zal bijvoorbeeld eerder gaan vervuilen en de verstuiers ook.

### Verwachte brandstof verbruik?

De motor zal beslist niet efficiënter of zuiniger worden. Het specifieke brandstof verbruik zal omhoog schieten, dit zou ongeveer rond de 200-215 g/kWh komen te liggen. In plaats van de originele 191 g/kWh (bij 100% vermogen), zie afbeelding 20 op de volgende pagina. Tijdens de proefvaart is er niet gemeten hoeveel het specifieke brandstofverbruik is. Wel is er een verbruik geschat aan de hand van standaard tabellen van Bolier (zie hoofdstuk 4,8 brandstofverbruik berekeningen). Het totale brandstofverbruik van het schip zal minder worden. Hieronder wordt een voorbeeld weergegeven om dit te verduidelijken.

|                                  | kW   | g/kWh | ton/dag |
|----------------------------------|------|-------|---------|
| origineel                        | 7999 | 191   | 36,7    |
| nieuw                            | 5400 | 210*  | 27,2    |
| * grof geschat brandstofverbruik |      |       |         |

$$\text{ton/dag} = \frac{\left(\frac{\text{g/kWh}}{1000}\right) * \text{kW}}{1000} * 24$$

Ondanks dat in de nieuwe situatie het specifieke brandstofverbruik omhoog gaat, gaat het totale verbruik naar beneden. Dit komt omdat het vermogen in de nieuwe situatie een stuk minder is. Het specifieke brandstofverbruik is grof geschat en zal verder in dit onderzoek uitgebreider behandeld worden.



# Diesel Engine Acceptance Test Record

|                                                                                                              |  |                                                                    |      |                                        |      |                                        |      |            |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------|------|----------------------------------------|------|----------------------------------------|------|------------|------|
| <b>CAT</b>                                                                                                   |  | <b>Diesel Engine<br/>Acceptance Test Record</b>                    |      |                                        |      | Sheet 1 of 2                           |      |            |      |
| Engine Type: 8 M 43 C                                                                                        |  | Order No.: 281458                                                  |      | Engine No.: 66149                      |      |                                        |      |            |      |
| Atmospheric conditions during test run:                                                                      |  |                                                                    |      |                                        |      |                                        |      |            |      |
| Relative humidity: 38 %                                                                                      |  | Altitude: 8 m                                                      |      |                                        |      |                                        |      |            |      |
| We used for the test run:                                                                                    |  |                                                                    |      |                                        |      |                                        |      |            |      |
| Heat value according to Fuel oil analysis: 42870 kJ/kg                                                       |  |                                                                    |      | Density: 0,83 kg/l                     |      | Test bed: Rostock 3                    |      |            |      |
| Luboil type: Shell PG 405                                                                                    |  |                                                                    |      | Hydraulic brake: 14U2U125AF            |      |                                        |      |            |      |
| Engine data: Four-stroke / direct injection / port engine / clockwise / rotation (viewed from the drive end) |  |                                                                    |      |                                        |      |                                        |      |            |      |
| Rated power: 7999 kW                                                                                         |  | Rated speed: 500 1/min                                             |      | Firing order: 1-2-4-6-8-7-5-3          |      |                                        |      |            |      |
| Bore: 430 mm                                                                                                 |  | Stroke: 610 mm                                                     |      |                                        |      |                                        |      |            |      |
| Charger type: ABB TPL 76 C33                                                                                 |  | Number: HT 491045                                                  |      | Specification: IMO 40802               |      |                                        |      |            |      |
| Max speed: 21000 1/min                                                                                       |  | t max: 650°C                                                       |      |                                        |      |                                        |      |            |      |
| Fuel injection pump: Woodward G 40011182                                                                     |  | Plunger diameter: 38 mm                                            |      | Idle stroke 'X': 10,5 mm               |      |                                        |      |            |      |
| Fuel injector: MaK J 4/4                                                                                     |  | Opening pressure: 570 bar                                          |      |                                        |      |                                        |      |            |      |
| Generator:                                                                                                   |  | Emissions data:                                                    |      |                                        |      |                                        |      |            |      |
| Type :                                                                                                       |  | Application : Constant Speed Main Propulsion                       |      |                                        |      |                                        |      |            |      |
| Manufacturer :                                                                                               |  | Cycle : E2                                                         |      |                                        |      |                                        |      |            |      |
|                                                                                                              |  | Test result of parent engine NOx: 12,0 g/kWh                       |      |                                        |      |                                        |      |            |      |
| Inlet valve opens before T.D.C.: 50°                                                                         |  | Inlet valve closes after B.D.C.: 15°                               |      | Exhaust valve opens before B.D.C.: 40° |      | Exhaust valve closes after T.D.C.: 50° |      |            |      |
| Flywheel diameter: 1810 mm                                                                                   |  | 1° : 15,8 mm                                                       |      |                                        |      |                                        |      |            |      |
| Commencement of injection pump Cylinder 1: 5,9 ° crank angle before T.D.C                                    |  |                                                                    |      |                                        |      |                                        |      |            |      |
| Settings:                                                                                                    |  | Cylinder                                                           |      |                                        |      |                                        |      |            |      |
|                                                                                                              |  | 1                                                                  | 2    | 3                                      | 4    | 5                                      | 6    | 7          | 8    |
| Distance from liner top edge to piston top edge in T.D.C. [mm]                                               |  | 27,3                                                               | 27,5 | 27,3                                   | 27,2 | 27,4                                   | 27,3 | 27,3       | 27,3 |
| Thickness of distance plate [mm] between injection pump and engine housing                                   |  | 5,0                                                                | 5,0  | 5,0                                    | 5,0  | 5,0                                    | 4,9  | 5,0        | 5,0  |
| Lever-drive for fuel injection, thickness of distance plate for IMO adjustment [mm]                          |  | 4,0                                                                | 4,0  | 3,2                                    | 4,0  | 4,0                                    | 3,2  | 4,0        | 3,2  |
| Fuel injection pump rack position when control handle on 'stop' [mm]                                         |  | -1                                                                 | -1   | -1                                     | -1   | -1                                     | -1   | -1         | -1   |
| Fuel injection pump rack position [mm] at rated power                                                        |  | 58                                                                 | 58   | 58                                     | 58   | 58                                     | 58   | 58         | 58   |
| Pump No.: 1 at no load blocked at 58 mm                                                                      |  | 9                                                                  | 9    | 9                                      | 9    | 9                                      | 9    | 9          | 9    |
| Governor speed setting n = 500 1/min                                                                         |  | Air consumption for starting                                       |      |                                        |      |                                        |      |            |      |
| Maximum speed no load n = 500 1/min                                                                          |  | Bottle capacity : 2,5 m³                                           |      |                                        |      |                                        |      |            |      |
| Minimum speed no load n = 300 1/min                                                                          |  | Initial pressure : 15,0 bar                                        |      |                                        |      |                                        |      |            |      |
|                                                                                                              |  | Starting last time at : 9,7 bar                                    |      |                                        |      |                                        |      |            |      |
|                                                                                                              |  | Remaining pressure in bottle : 8,7 bar                             |      |                                        |      |                                        |      |            |      |
| No. 1 cylinder on flywheel end of engine                                                                     |  |                                                                    |      |                                        |      |                                        |      |            |      |
| Bank A = left viewed from drive end                                                                          |  |                                                                    |      |                                        |      |                                        |      |            |      |
| Acceptance                                                                                                   |  | Mechanic                                                           |      | Engineer                               |      | Approved                               |      | Acceptance |      |
| Date                                                                                                         |  | 20.08.2008                                                         |      | 20.08.2008                             |      |                                        |      |            |      |
| Sign.                                                                                                        |  | Bretz                                                              |      | J. Schneider                           |      | Utesch                                 |      | Ziemer     |      |
| 28636 ROS<br>08 GL 08                                                                                        |  | Caterpillar Metering Rostock GmbH<br>Werftallee 13 • 18119 Rostock |      |                                        |      |                                        |      |            |      |
| DICARE f. Windows / Version 2.0 / 25.07.2008                                                                 |  |                                                                    |      |                                        |      |                                        |      |            |      |
| Caterpillar Confidential: green                                                                              |  |                                                                    |      |                                        |      |                                        |      |            |      |

Afbeelding 20, Diesel Engine Acceptance Test Record

# Diesel Engine Acceptance Test Record

| Run time |      | Output |      | Air   |      | Mean eff. |      | Fuel consumption |     | Lubricating oil |        | Cooling water |    | Charge air cooler |    | Exhaust gas temperature |    |    |     |    |     |     |     | Turbocharger |     |     | Speed |     |     |     |     |       |  |       |  |
|----------|------|--------|------|-------|------|-----------|------|------------------|-----|-----------------|--------|---------------|----|-------------------|----|-------------------------|----|----|-----|----|-----|-----|-----|--------------|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-------|--|-------|--|
| min.     | mm   | Speed  | Pe   | PO    | Load | press     | Temp | Quant            | Run | Consumption     | Press. | Temp.         | In | Out               | HT | LT                      | 1  | 2  | 3   | 4  | 5   | 6   | 7   | 8            | 1   | 2   | 3     | 1   | 2   | 3   | rpm | Temp. |  |       |  |
|          |      | rpm    | kW   | bar   | %    | bar       | °C   | kg               | s   | g/kWh           | bar    | °C            | °C | °C                | °C | °C                      |    |    |     |    |     |     |     |              |     |     |       |     |     |     |     |       |  |       |  |
| 30       | 23,0 | 500    | 2000 | 36,2  | 25   | 1,007     | 28   | 6,77             |     | 385,0           | 4,8    | 60            | 69 | 71                | 71 | 69                      | 33 | 35 | 64  | 33 | 280 | 237 | 292 | 301          | 292 | 320 | 282   | 299 | 301 | 367 |     |       |  | 9192  |  |
| 30       | 35,0 | 500    | 4000 | 76,4  | 50   | 1,007     | 29   | 13,55            |     | 194,5           | 4,8    | 60            | 83 | 87                | 84 | 85                      | 38 | 42 | 119 | 41 | 301 | 321 | 314 | 326          | 311 | 329 | 302   | 315 | 305 | 420 |     |       |  | 13906 |  |
| 30       | 47,0 | 500    | 5699 | 114,6 | 75   | 1,007     | 32   | 20,32            |     | 188,7           | 4,7    | 61            | 84 | 87                | 78 | 84                      | 38 | 43 | 178 | 44 | 316 | 338 | 331 | 344          | 330 | 344 | 318   | 331 | 283 | 439 |     |       |  | 17100 |  |
| 30       | 58,0 | 500    | 7999 | 152,8 | 100  | 1,008     | 34   | 27,09            |     | 190,5           | 4,7    | 60            | 82 | 86                | 69 | 82                      | 38 | 44 | 220 | 46 | 353 | 377 | 372 | 385          | 370 | 383 | 359   | 364 | 284 | 488 |     |       |  | 19413 |  |
| 30       | 58,0 | 500    | 7999 | 152,8 | 100  | 1,008     | 35   | 27,09            |     | 191,0           | 4,7    | 60            | 82 | 87                | 69 | 82                      | 38 | 44 | 224 | 47 | 353 | 378 | 375 | 390          | 372 | 385 | 360   | 368 | 285 | 490 |     |       |  | 19409 |  |
| 30       | 63,0 | 500    | 8799 | 188,0 | 110  | 1,008     | 36   | 29,80            |     | 194,1           | 4,7    | 60            | 81 | 87                | 65 | 81                      | 38 | 44 | 243 | 48 | 384 | 409 | 406 | 422          | 401 | 421 | 385   | 400 | 320 | 531 |     |       |  | 20355 |  |

| Indicator Type          |        | : LEHMANN & MICHELIS : LEMAG PREMETS LS |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 20 is basic value for crankweb deflection 1/100 mm |     | Example 18 (-) Example 23 (+) |     | Measured on test bed and coupled to hydraulic brake. |     | Measured with overhung flywheel. |     | Follow Mak Instructions for installation. |     | ISO) Calculated to ISO 3046 (e) absolute |     | Exhaust gas back pressure at full load |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------------------|--------|-----------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------------------------------------------|-----|-------------------------------|-----|------------------------------------------------------|-----|----------------------------------|-----|-------------------------------------------|-----|------------------------------------------|-----|----------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Combustion pres [ bar ] | Notes: | 1                                       | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11                                                 | 12  | 13                            | 14  | 15                                                   | 16  | 17                               | 18  | 19                                        | 20  | 21                                       | 22  | 23                                     | 24  | 25  | 26  | 27  | 28  | 29  | 30  |
| 208                     |        | 208                                     | 208 | 208 | 208 | 208 | 208 | 208 | 208 | 208 | 208 | 208                                                | 208 | 208                           | 208 | 208                                                  | 208 | 208                              | 208 | 208                                       | 208 | 208                                      | 208 | 208                                    | 208 | 208 | 208 | 208 | 208 | 208 | 208 |
|                         |        |                                         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |                                                    |     |                               |     |                                                      |     |                                  |     |                                           |     |                                          |     |                                        |     |     |     |     |     |     |     |

| Acceptance |          | Mechanic           |                           | Engineer                     |                              | Approved                     |                              |
|------------|----------|--------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 28636 ROS  | 08 GL 08 | Bretz / 20.08.2008 | J. Schneider / 20.08.2008 | Wierfalle 13 • 18119 Rostock | Wierfalle 13 • 18119 Rostock | Wierfalle 13 • 18119 Rostock | Wierfalle 13 • 18119 Rostock |

## Bijlage 11 Siemens Flender interview

Flender is de scheepstandwielkasten afdeling van Siemens en heeft meer dan 80 jaar ervaring in het ontwikkelen en produceren van de tandwielkasten. Standaard tandwielkasten zijn ontwikkeld voor toepassing op bijna elk gebied van de mechanische aandrijftechniek.

### Interview

Na het verlagen van het motor toerental zal ook het toerental van de schroefas en van de as generator verlagen. Voor de schroef en de as generator gaat dit gevolgen hebben. Als de as generator in toeren verlaagd wordt kan deze niet meer de benodigde 60 Hz scheepsfrequentie leveren. Naar aanleiding hiervan is er contact opgenomen met de heer D. Rink, Service Manager van Siemens Flender. Het interview werd gehouden op de Holland Shipyards werf, tijdens het interview waren de volgende personen aanwezig: Jules Custers, project manager van de Rotra Mare en Jan-Jaap van der Graaf, afstudeerder bij Holland Shipyards.

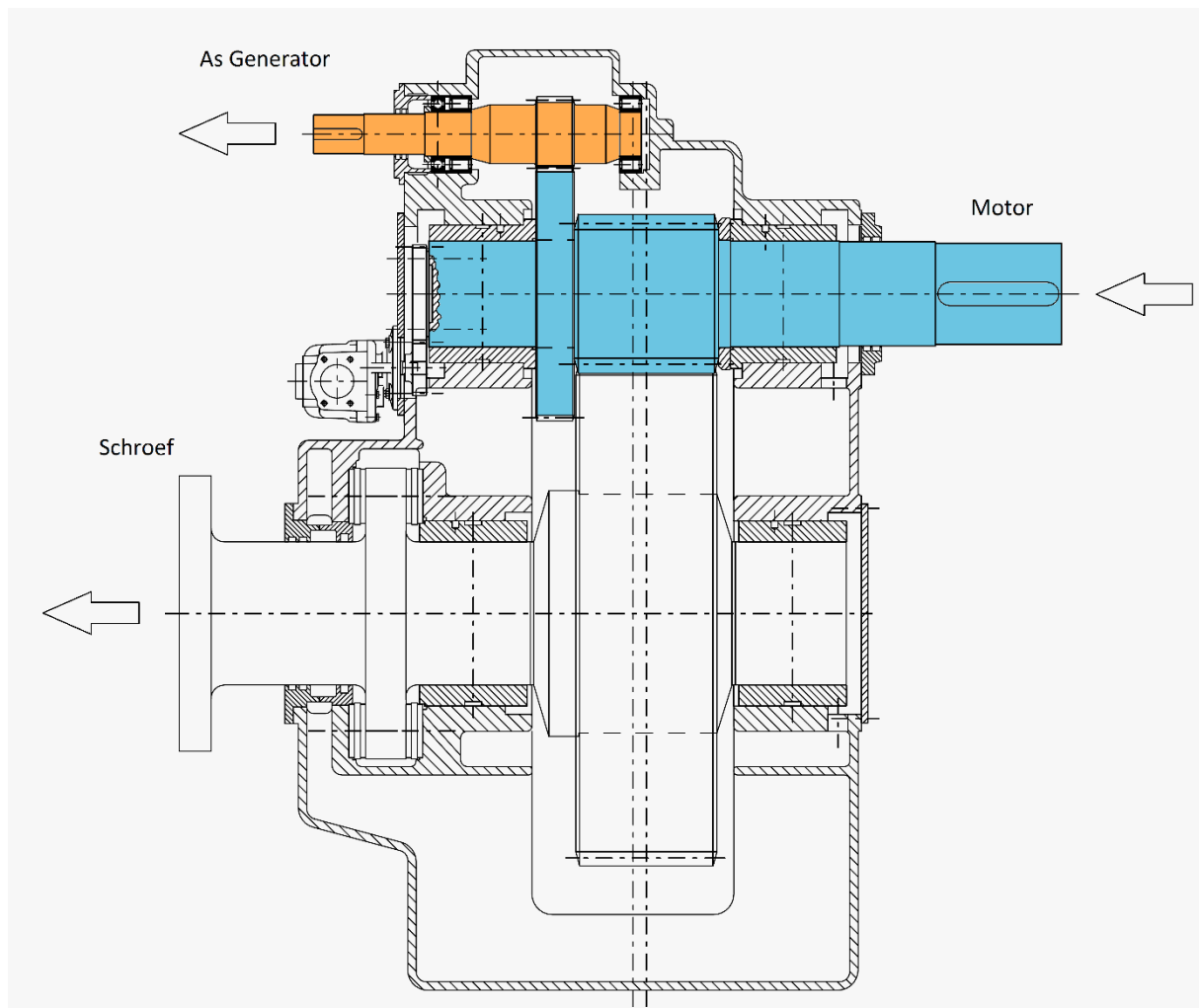
In het interview werden de volgende onderwerpen besproken:

- Wat moet er aan de tandwielkast aangepast worden?
- Hoe gaan de aanpassingen in zijn werking?
- Moet er opnieuw worden uitgelijnd?
- Hoe wordt er gerekend?
- Wat wordt de nieuwe overbrenging en wat was de oude?
- Wat zijn de tandwielkast verliezen?
- Wat waren de oorspronkelijke ratio's en wat worden de nieuwe?
- Smeerolie druk alarm tijdens proefvaart, wat kan hiermee gebeuren?
- Zijn er nog andere dingen waarmee er rekening gehouden moet worden?

### Wat moet er aan de tandwielkast aangepast worden?

Er moeten 2 tandwielassen aangepast worden, om de overbrengingsratio zo te krijgen dat de as generator weer op hetzelfde toerental draait als voorheen, zie afbeelding 21. Het gaat om de blauwe as uitkomend van de hoofdmotor en de oranje as ingaand aan de as generator. Beide assen zullen gedemonteerd worden en mee genomen naar de fabriek. De as-generator zal compleet worden vervangen. Op de hoofdmotor zal het tandwiel wat met de as-generator in verbinding staat worden aangepast zodat de juiste overbrengingsratio weer behaald wordt.





Afbeelding 21, Tandwielkast GUCP 950 (Siemens, NAVILUS GUCP).

#### Hoe worden de aanpassingen uitgevoerd aan boord van de Rotra Mare.

Als eerste gaan de olie behandeling 's componenten er af, deze zitten bovenop de tandwielkast en bestaan uit een aparte stand-by pomp, oliekoeler, en een filter. Tevens worden ook alle koelwater en olie leidingen die op de tandwielkast losgekoppeld en verwijderd. Nadat dit gedaan is, gaat de boven-deksel van de tandwielkast er af en komt de tandwielas van as-generator bloot te liggen. Nadat de naaf van de as-generator is los gemaakt kan de bovenste as worden verwijderd. De volgende stap is het verwijderen van de midden-deksel en aangehangen smeerolie pomp, zo komt de motor as tandwiel vrij te liggen. Hierna wordt de connectie met de flexibele koppeling van de motor losgekoppeld van de midden as en kan de as wordt eruit getakeld. De 2 assen worden meegenomen naar de fabriek om daar de tanden aan te passen. In de fabriek wordt de as op een draai bank gezet om het oude tandwiel er af te spanen. Het is niet mogelijk om dit met een hydraulische pers te doen omdat de krimp verbinding zo heftig is bestaat er de kans dat de complete as kan breken, tijdens het lospersen. De as wordt voorzien van een nieuw set tandwielen met behulp van opnieuw een krimpverbinding. Als de overhaalde as weer in de tandwielkast ligt, worden alle tanden nog na geslepen. Dit is omdat de krimpverbinding waarmee de tanden op de as zitten zo heftig is, dat de tanden kunnen vervormen. En omdat bij een tandwielkast de nauwkeurigheid zeer hoog ligt, zou een eventuele vervorming niet toelaatbaar zijn. Zodra de tanden zijn na geslepen kan de tandwielkast verder worden opgebouwd, voorzien van nieuwe kogellagers en gevuld met nieuwe olie, de glijlagers kunnen hergebruikt worden.

#### Moet er opnieuw worden uitgelijnd?

De motor- en generatorfundatie blijven op dezelfde fundatie staan. Dus uitlijnen is niet verplicht. Stel dat er toch iets mis gaat wordt het meteen opgemerkt, simpelweg omdat dan de as niet eens op zijn plaats komt. Echter zal er wel worden uitgelijnd, dit wordt gedaan in opdracht van Holland-Shipyards.

#### Hoe wordt er gerekend?

De berekeningen worden gedaan door het engineering bureau van Siemens in Duitsland, daar voeren ze de benodigde waardes in een computerprogramma en berekenen zo de eisen voor het nieuwe tandwiel.

##### *Wat zijn deze berekeningen?*

Deze berekeningen mogen niet vrijgegeven worden. Dit wordt geheim gehouden door het engineering bureau.

#### Wat wordt de nieuwe overbrenging en wat was de oude?

Te zien op afbeelding 22 is de tandwielkast met de daarbij behorende oude en nieuwe ratio's. Te zien is dat het toerental van de as generator een verschil heeft van 4,19 rpm. Volgens de heer Rink is dit geen probleem, het valt binnen de 2% verschilmarge dus dit heeft geen grote impact op het scheepsfrequentie.

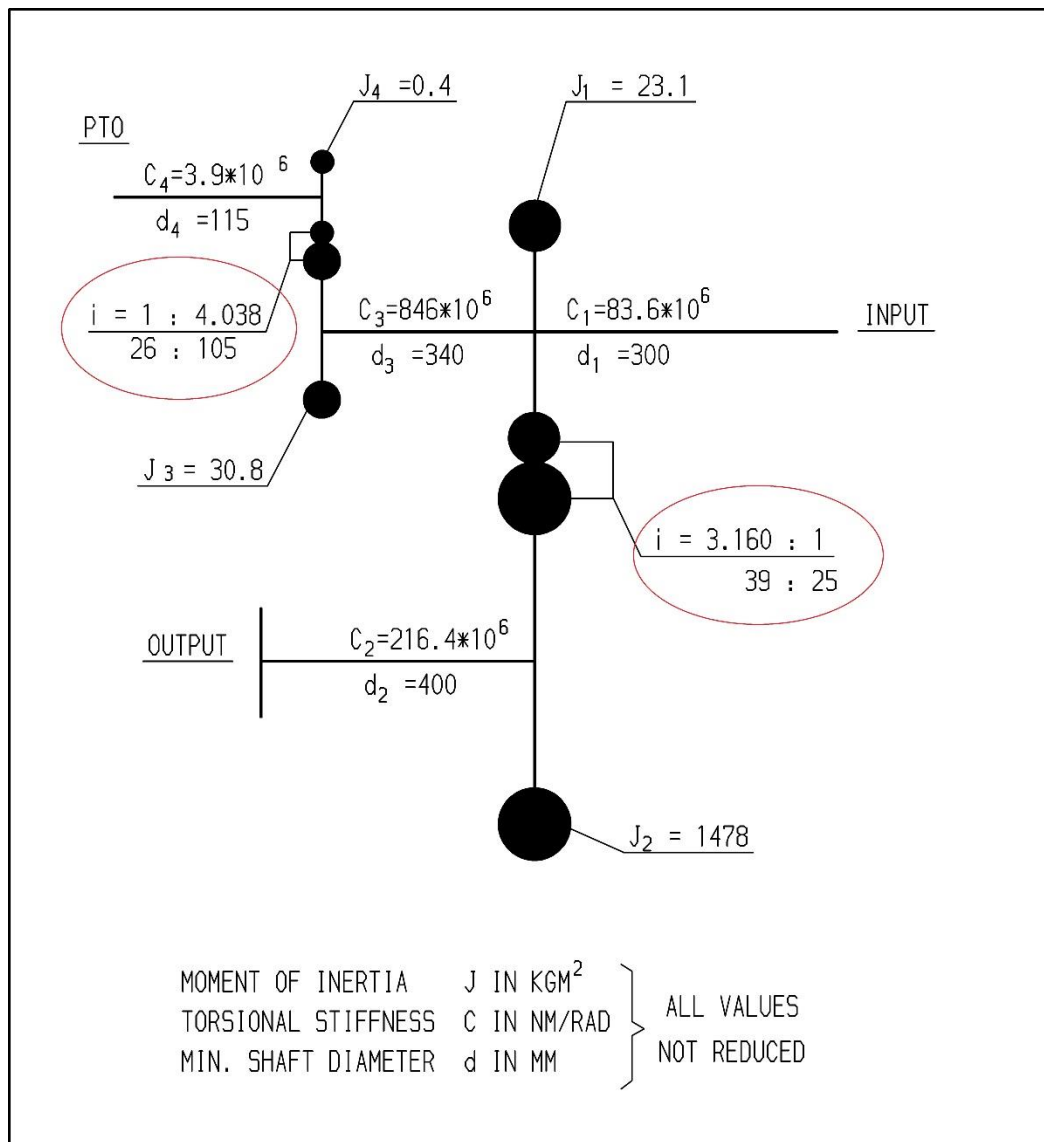
#### Wat zijn de tandwielkast verliezen?

De verliezen op de tandwielkast zullen ongeveer 4% van het vermogen zijn wat de motor levert.

#### Wat waren de oorspronkelijke ratio's en wat worden de nieuwe?

| Oorspronkelijk        |           | Nieuwe                |           |
|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| Motor -> As Generator | 3,642 : 1 | Motor -> As Generator | 4,038 : 1 |
| Motor -> Schroef      | 3,160 : 1 | Motor -> Schroef      | 3,160 : 1 |

Op afbeelding 22 staan de ratio's aangegeven in het "Torsional Vibration Calculation" (TVC) van de tandwielkast.



Afbeelding 22, TVC berekening tandwielkast met aangegeven nieuwe ratio's (Siemens, TVC berekening GUCP950)

[Smeerolie druk alarm tijdens proefvaart, wat kan hiermee gebeuren?](#)

*Tijdens de proefvaart kwam de tandwielkast bij de 2,2 bar smeerolie druk in alarm.*

Het hoort niet te kunnen dat deze in alarm terecht komt, of het alarm is verkeerd ingesteld. Want het smeerolie alarm komt pas als de druk lager wordt dan 0,6 bar, en bij 0,2 bar stopt de motor. Waarschijnlijk is er iets fout gegaan met het instellen van het alarm, als de druk rond de 2,0 a 2,5 bar zit is dit ruim voldoende (Flender, 2005).

[Zijn er nog andere dingen waarmee er rekening gehouden moet worden?](#)

Ja, het is verstandig om de Vulkan rubberen connectie tussen de motor en de tandwielkast te laten controleren. Dit onderdeel wordt vaak vergeten te onderhouden. Uit ervaring komt het vaak voor dat er problemen gaan ontstaan met de tandwielkast als deze niet onderhouden worden.

## Bijlage 12 Vulkan interview

Hieronder worden de resultaten weergegeven naar aanleiding van de bijkomende vraag van de heer Rink van Flender tandwielkasten. Om meer duidelijkheid te krijgen is er gesproken met de heer Kappen van Vulkan flexibele koppelingen, aan hem werden de vragen gesteld die bovenwater kwamen tijdens het gesprek met de heer Rink.

- Welk onderhoud aan de koppelingen is er nodig?
- Wat zouden we kunnen doen als de koppeling zo bloot komt te liggen?
- Kan de zelfde koppeling er op blijven zitten als het toerental verlaagd wordt?

De Rotra Mare heeft verschillende Vulkan koppelingen: één zit tussen de hoofdmotor en de gearbox en één tussen de gearbox en de as-generator. Als de gearbox wordt aangepast geeft dit een mooie gelegenheid om de Vulkan koppelingen te controleren. Hieronder volgen de twee types koppelingen.

Hoofdmotor -> gearbox: RATO-S  
Gearbox -> as-generator: RATO-R



Afbeelding 23, (Vulkan, Rato-S)



Afbeelding 24, (Vulkan, Rato-R)

### Welk onderhoud aan de koppelingen is er nodig?

Over het algemeen valt er niks te onderhouden aan de koppeling, het is zo gefabriceerd dat het onderhoudsvrij is. Meer dan de flexibele onderdelen opnieuw in te vetten is iets wat er kan gebeuren, maar zelfs dit is eigenlijk niet nodig.

### Wat zouden we kunnen doen als de koppeling zo bloot komt te liggen?

Je zou de koppeling kunnen inspecteren op scheuren en verdraaiing. Dit kan door de maten van de flexibele onderdelen op te meten en controleren aan de hand van standaard tabellen met afwijking marges. Zelfs als er scheurtjes in de flexibele onderdelen zitten moeten deze opgemeten worden en als deze binnen de beperkingen zitten van de afwijking marges dan is er niks aan de hand.

### Kan dezelfde koppeling er op blijven zitten als het toerental verlaagd wordt?

Ja dezelfde koppeling kan blijven zitten.

## Bijlage 13 Frequentieregelaar

Om de resultaten te bemachtigen betreffende een frequentieregelaar is er gesproken met de heer: Marco van Leeuwen van Holland Ship Electric. Het interview werd gehouden op de Holland-Shipyards werf, er is gesproken over de mogelijkheden, kosten en onderhoud van een frequentieregelaar. Hieronder worden de resultaten van het interview weergegeven.

Dit zijn de gestelde vragen aan de heer van Leeuwen:

- Is het mogelijk om een frequentieregeling toe te passen op de Rotra Mare?
- Hoeveel onderhoud vereist het systeem om het operationeel te houden?
- Wat zijn de aanschafkosten van een dergelijk systeem?

### Is het mogelijk om een frequentieregeling toe te passen op de Rotra Mare?

Ja het is mogelijk om een frequentieregeling toe te passen aan boord van de Rotra Mare. Echter is dit niet verstandig, er moet namelijk van de wisselspanning afkomend van de generator een gelijk spanning gemaakt worden, en vervolgens weer terug naar een wisselspanning omgezet worden die voldoet aan het boordfrequentie. De gehele installatie die hiervoor nodig is neemt een grote ruimte in beslag die niet beschikbaar is in de machinekamer. Verder gaat het rendement van het elektrische systeem omlaag, omdat de frequentieregeling eigen verliezen heeft, grof geschat zou je ongeveer 10% rendement verlies hebben gezien vanaf hoofdmotor tot scheepsnet.

### Hoeveel onderhoud vereist het systeem om het operationeel te houden?

Qua onderhoud valt het wel mee, het grote nadeel is alleen dat de componenten na 10 jaar aan vervanging toe zijn.

### Wat zijn de aanschafkosten van een dergelijk systeem?

De kosten zijn lastig te bepalen, het hangt af van de grootte van de generator etc. grof geschat zullen de kosten 5 tot 10 keer hoger zijn dan een nieuw tandwiel toe te passen. En nog een voordeel voor het tandwiel, is dat die als het goed is langer mee gaat dan 10 jaar.

## Bijlage 14 Hydraulische koppeling

Om duidelijkheid te krijgen over de hydraulische koppeling is er mail-contact opgenomen met OpixMarine. Er is gesproken met de heer Jens Kjellerup Co-founder en CEO. Er werd gevraagd over de mogelijkheden, kosten, onderhoud en betrouwbaarheid van de koppeling. Hieronder worden de resultaten weergegeven.

Het volgende werd gevraagd aan de heer Kjellerup:

- Is het mogelijk om een hydraulische koppeling toe te passen op de Rotra Mare?
- Hoeveel onderhoud vereist het systeem om het operationeel te houden?
- Wat zijn de aanschafkosten van een dergelijk systeem?

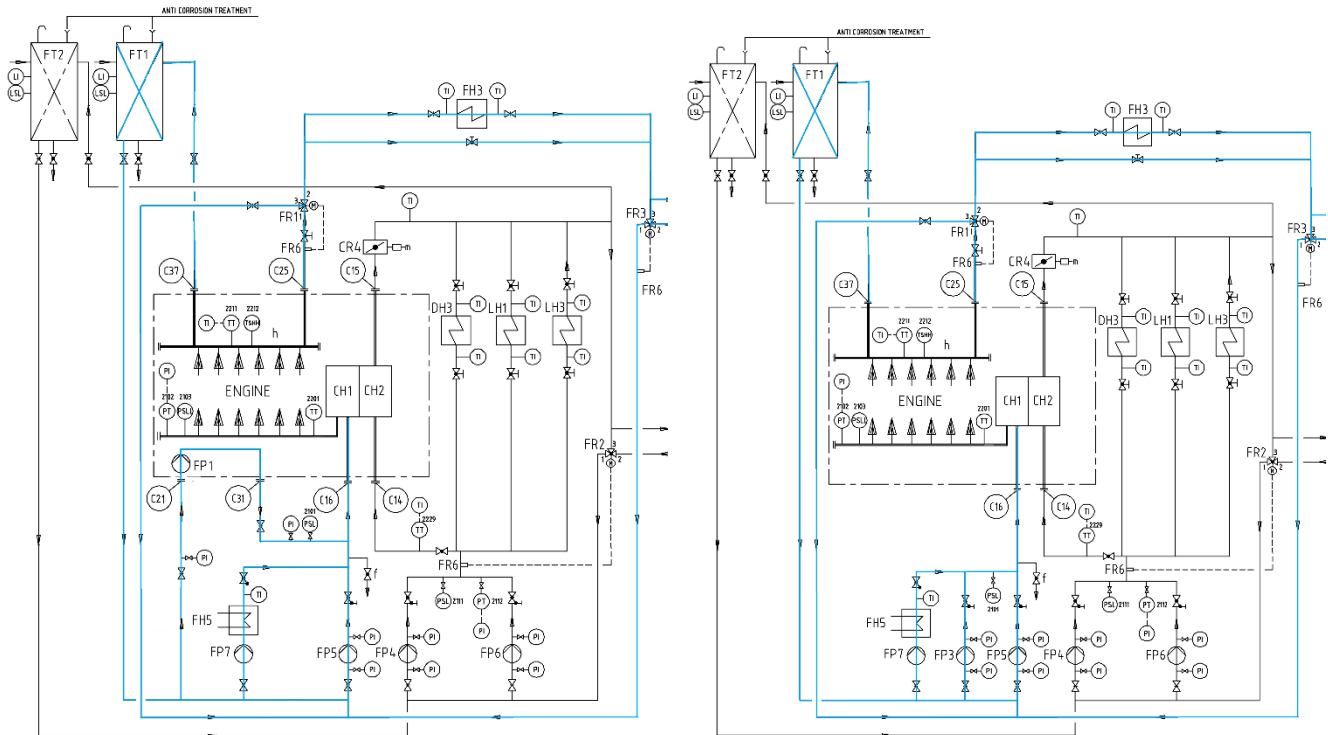
### Is het mogelijk om een hydraulische koppeling toe te passen op de Rotra Mare?

De grootte van de koppelingen is erg beperkt op dit moment, het kleinste model wat wij hebben is voor een as generator van 1,5 MW. In de toekomst staat er op de planning om kleinere modellen van koppelingen te fabriceren. Het is dus niet mogelijk om een hydraulische koppeling toe te kunnen passen in jullie situatie.

De twee overige vragen waren niet meer van kracht, omdat het niet mogelijk is om het systeem toe te passen aan boord van de Rotra Mare.

## Bijlage 15 HT Koelwater systeem

Naarmate het toerental van de motor verlaagd wordt gaan de aangehangen pompen aan de motor ook verlagen in toerental. Als gevolg hiervan levert het HT koelwater systeem te weinig flow en komt in alarm. Zoals besproken met de heer Jührend van MAK bolier is het mogelijk om op te lossen door er een extra stand-by pomp bij te zetten. In de hieronder volgende tekeningen staat aangegeven hoe de pomp er volgens de tekening wordt ingebouwd, en de aangehangen pomp er afgehaald is.



Afbeelding 25, oud (links) en nieuw (rechts) HT leidingschema (MAK, System diagram, Cooling water system)

FP1: Aangehangen HT koelwater pomp  
FP3: Nieuwe HT stand-by pomp

FP7: HT pre-heater pomp  
FP5: Originele HT stand-by pomp

### Installatie

De nieuwe pomp zal naast de bestaande HT stand-by pomp geplaatst worden. Echter om dit mogelijk te maken komen moeten er ook aanpassingen in het elektrische systeem gedaan worden. Er komt een lokale control kast hiervoor zal een nieuwe kabel getrokken worden van het schakelbord naar de pomp. En zal deze nieuwe pomp ook aangesloten worden op het noodschakelbord. Verder zal het bestaande leidingwerk aangepast worden om de pomp er tussen te bouwen.

De nieuwe HT stand-by pomp heeft dezelfde pomp specificaties als de originele, alleen de elektromotor specificaties en het formaat van de elektromotor zijn iets verschillend. De elektromotor van de nieuwe pomp heeft meer vermogen dan de bestaande. Zie de hieronder staande tabel 5.

|                                   | Originele     | Nieuwe          |
|-----------------------------------|---------------|-----------------|
| Merk pomp/motor                   | Allweiler/ABB | Allweiler/Hoyer |
| Delivery flow [m <sup>3</sup> /h] | 130           | 130             |
| Delivery Head [m]                 | 45            | 45              |
| Rated power [kW]                  | 21.1          | 24,6            |

## Bijlage 16 Nieuw schroefblad

Het doel van de nieuwe schroefbladen is het bereiken van de hoogst mogelijke efficiëntie bij het nieuwe motor toerental van 450 rpm en een scheepssnelheid van rond de 14 knopen. Het maximale motor vermogen wordt gelimiteerd tot 5400 kW, de tandwieloverbrenging van motor naar schroefas wordt niet aangepast en het nominale schroefas toerental zal ook verminderd worden van 158,2 rpm naar 142,4 rpm. Het nieuwe blad ontwerp zal de zelfde sterkte vereiste als het originele blad hebben.

### Bladontwerp

Het nieuwe voorgestelde schroefontwerp biedt een geoptimaliseerde propellerdiameter om de axiale verliezen te beperken, een verminderde bladoppervlak om wrijvingsverliezen minimaliseren en een gedetailleerde pitch, ronding, helling, curve leveren de hoogst mogelijke efficiëntie. De hieronder volgende tabel laat de verschillen in schroefbladen zien. De afbeelding geeft het verschil in ontwerp weer: blauw is het bestaande blad en oranje is het nieuwe ontwerp.



Afbeelding 26, 3D afbeeldingen van de bestaande (blauw) en nieuw (oranje) bladontwerp (Cales).

Tabel 6, overzicht van de belangrijkste geometrische schroefbladgegevens.

| Blade design                                  | Existing                | Proposed new            |
|-----------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Diameter                                      | 4600 mm                 | 4500 mm                 |
| Number of blades                              | 5                       | 5                       |
| Expanded Blade-to-disc Area Ratio ( $BAR_E$ ) | 0.716                   | 0.550                   |
| Mean construction pitch ratio                 | 0.853                   | 0.724                   |
| Skew angle                                    | 22.6°                   | 24.8°                   |
| Blade mass                                    | 1519 kg                 | 1332 kg                 |
| Propeller mass (5 blades including hub)       | 16676 kg                | 15740 kg                |
| Moment of inertia in air                      | 12821 kg.m <sup>2</sup> | 11132 kg.m <sup>2</sup> |

### As uitlijning en whirling

De berekeningen van uitlijning en whirling zijn gedaan door Wartsila's eigen rekenprogramma "Endyn". Met het gebruik van dit programma wordt het voortstuwingeninstallatie ingevoerd en gemodelleerd, als eerst op het originele motor vermogen van 7999kW en een schroefas toerental van 158.2 rpm. Daarna de situatie met het nieuwe motor vermogen van 5400kW en een schroefas toerental van 142.4 rpm met beide de huidige en nieuwe schroefbladen. De berekeningen tonen aan dat allereerst het verschil in het kritische whirling frequentie en het schoep frequentie van de propeller kleiner wordt als gevolg van het verlagen van het nominale toerental van 500 naar 450. Het verlagen van het toerental van de motor verandert het kritische whirling frequentie niet, maar brengt het blad passerende frequentie omlaag. Ten tweede uit de analyse blijkt dat de voorgestelde nieuwe, lichtere bladen met een lagere traagheid de kritische whirling frequentie verhogen, waardoor het verschil in toeren tussen het blad passerende frequentie en de kritische whirling frequentie nog kleiner wordt. Dit is te zien in tabel 5.

Tabel 7, Bladkeuze opties



| Configuration                        | 1. Existing blades<br>@ $N_E=500$ rpm | 2. Existing blades<br>@ $N_E=450$ rpm | 3. New blades<br>@ $N_E=450$ rpm | 4. New blades<br>@ $N_E=450$ rpm +<br>EPF |
|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------|
| MCR                                  | 8000 kW                               | 5400 kW                               | 5400 kW                          | 5400 kW                                   |
| Propeller speed                      | 158.2 rpm                             | 142.4 rpm                             | 142.4 rpm                        | 142.4 rpm                                 |
| Total propeller mass                 | 16678 kg                              | 16678 kg                              | 15738 kg                         | 16368 kg                                  |
| Total inertia in water               | 17802 kgm <sup>2</sup>                | 17447 kgm <sup>2</sup>                | 13863 kgm <sup>2</sup>           | 14023 kgm <sup>2</sup>                    |
| Increase in critical<br>engine speed | N.A.                                  | -                                     | 7.5 %                            | 4.2 %                                     |
| Critical engine speed*               | 425 rpm                               | 425 rpm                               | 457 rpm                          | 443 rpm                                   |

\* based on the assumptions that (1) the vessel's vibration behaviour becomes unacceptable below an engine speed of 425 rpm with the current blades and (2) the experienced vibrations are entirely caused by the propulsion installation's whirling behaviour

Met behulp van Computation Fluid Dynamics (CFD) simulaties werd de efficiëntie van de bestaande en voorgestelde nieuw schroefontwerp uitgebreid geanalyseerd. Het doel van deze analyse was de prestaties van de schroef bepalen bij de voorgestelde 14 knopen. Doormiddel van de CDF simulatie bepaalde Wartsila dat de propeller een Thrust zal leveren van 264,5 kN. In tabel 6 worden de resultaten van de CDF van beide schroeven weergegeven.

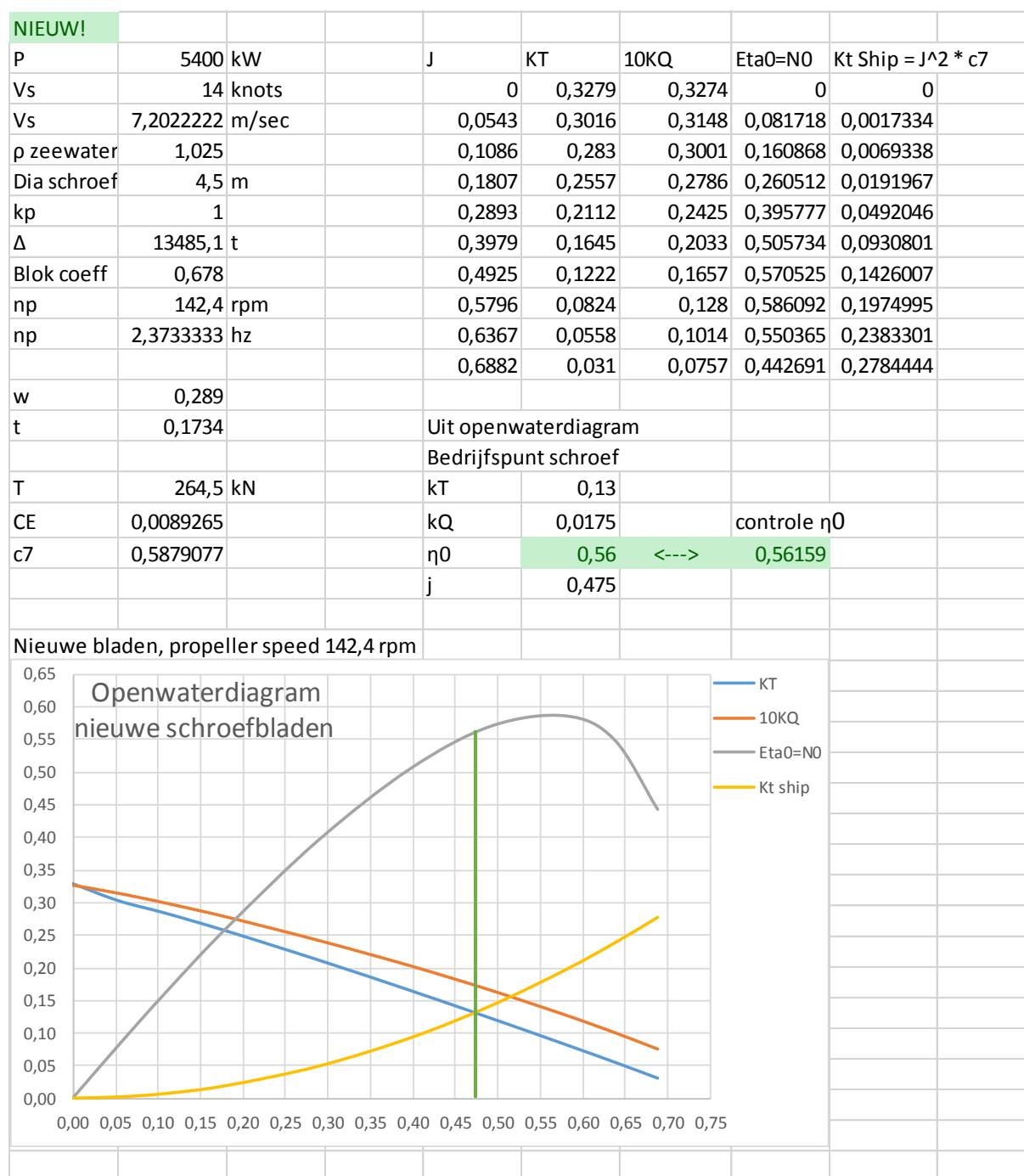
### Openwaterdiagram

Tabel 8

| Bestaande schroefbladen |         |           | Nieuwe schroefbladen |         |           |
|-------------------------|---------|-----------|----------------------|---------|-----------|
| J                       | Kt_prop | 10Kq_prop | J                    | Kt_prop | 10Kq_prop |
| 0.0000                  | 0.2818  | 0.2584    | 0.0000               | 0.3279  | 0.3274    |
| 0.0640                  | 0.2549  | 0.2456    | 0.0543               | 0.3016  | 0.3148    |
| 0.1278                  | 0.2296  | 0.2285    | 0.1086               | 0.2830  | 0.3001    |
| 0.2135                  | 0.1939  | 0.2033    | 0.1807               | 0.2557  | 0.2786    |
| 0.3413                  | 0.1388  | 0.1624    | 0.2893               | 0.2112  | 0.2425    |
| 0.4691                  | 0.0802  | 0.1157    | 0.3979               | 0.1645  | 0.2033    |
| 0.5804                  | 0.0229  | 0.0668    | 0.4925               | 0.1222  | 0.1657    |
| 0.6827                  | -0.0365 | 0.0142    | 0.5796               | 0.0824  | 0.1280    |
| 0.7503                  | -0.0793 | -0.0244   | 0.6367               | 0.0558  | 0.1014    |
| 0.8105                  | -0.1198 | -0.0614   | 0.6882               | 0.0310  | 0.0757    |

De data werd bepaald tijdens de geladen conditie, met een scheepssnelheid van 14 knopen. De oude bladen hadden een motortoerental van 500 rpm en een schroeftoerental van 158.2 rpm. En de nieuwe bladen hadden een motortoerental van 450 rpm en een schroeftoerental van 142.4 rpm.

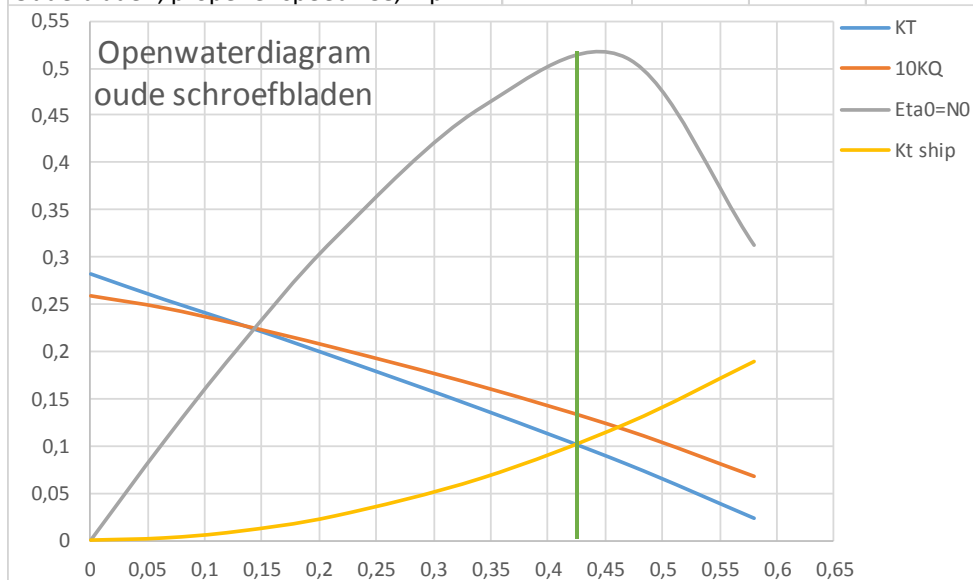
Hieronder volgende openwaterdiagrammen bij de 2 situaties.



Afbeelding 27, Nieuwe openwaterdiagram

|             |                |  |                      |         |         |             |                               |   |
|-------------|----------------|--|----------------------|---------|---------|-------------|-------------------------------|---|
| OUDE!       |                |  |                      |         |         |             |                               |   |
| P           | 7999 kW        |  | J                    | KT      | 10KQ    | Eta0=N0     | Kt Ship = J <sup>2</sup> * c7 |   |
| Vs          | 14 knots       |  |                      | 0       | 0,2818  | 0,2584      | 0                             | 0 |
| Vs          | 7,202222 m/sec |  | 0,064                | 0,2549  | 0,2456  | 0,104338    | 0,002305                      |   |
| ρ zeewater  | 1,025          |  | 0,1278               | 0,2296  | 0,2285  | 0,201714    | 0,009189                      |   |
| Dia schroef | 4,6 m          |  | 0,2135               | 0,1939  | 0,2033  | 0,319859    | 0,025646                      |   |
| kp          | 1              |  | 0,3413               | 0,1388  | 0,1624  | 0,458205    | 0,065538                      |   |
| Δ           | 13485,1 t      |  | 0,4691               | 0,0802  | 0,1157  | 0,510771    | 0,123808                      |   |
| Blok coeff  | 0,678          |  | 0,5804               | 0,0229  | 0,0668  | 0,31254     | 0,189528                      |   |
| np          | 158,2 rpm      |  | 0,6827               | -0,0365 | 0,0142  | -2,75648    | 0,262228                      |   |
| np          | 2,636667 hz    |  | 0,7503               | -0,0793 | -0,0244 | 3,830348    | 0,316729                      |   |
|             |                |  | 0,8105               | -0,1198 | -0,0614 | 2,484056    | 0,369594                      |   |
| w           | 0,289          |  |                      |         |         |             |                               |   |
| t           | 0,1734         |  | Uit openwaterdiagram |         |         |             |                               |   |
|             |                |  | Bedrijfspunt schroef |         |         |             |                               |   |
| T           | 264,5 kN       |  | kT                   | 0,1     |         |             |                               |   |
| CE          | 0,008927       |  | kQ                   | 0,013   |         | controle η0 |                               |   |
| c7          | 0,562624       |  | η0                   | 0,52    | <--->   | 0,520314    |                               |   |
|             |                |  | j                    | 0,425   |         |             |                               |   |

Oude bladen, propeller speed 158,2 rpm



Afbeelding 28, Oude openwaterdiagram

Formules openwaterdiagram

|                                                                                                |                                                                    |                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| $w = 0,05 + 0,5 * cb$                                                                          | $R = \frac{P}{V_s}$                                                | $K_t = \frac{T}{\rho * n^2 * D^4}$                                 |
| $t = 0,6 * w$                                                                                  | $CE = \frac{R}{\Delta^{\frac{2}{3}} * \rho^{\frac{1}{3}} * V_s^2}$ | $CE = \frac{R}{\Delta^{\frac{2}{3}} * \rho^{\frac{1}{3}} * V_s^2}$ |
| $P = (c1 * V_s^2) * V_s$<br>$(c1 * V_s^2) = R$                                                 | $J = \frac{V_s * (1 - w)}{n * D^2}$                                | $K_Q = \frac{Q}{\rho * n^2 * D^5}$                                 |
| $c7 = \frac{CE * \Delta^{\frac{2}{3}}}{\rho^{\frac{2}{3}} * D p^2 * (1 - t) * (1 - w)^2 * kp}$ |                                                                    | $\eta_0 = \frac{J * K_{TP}}{2 * \pi * K_Q}$                        |

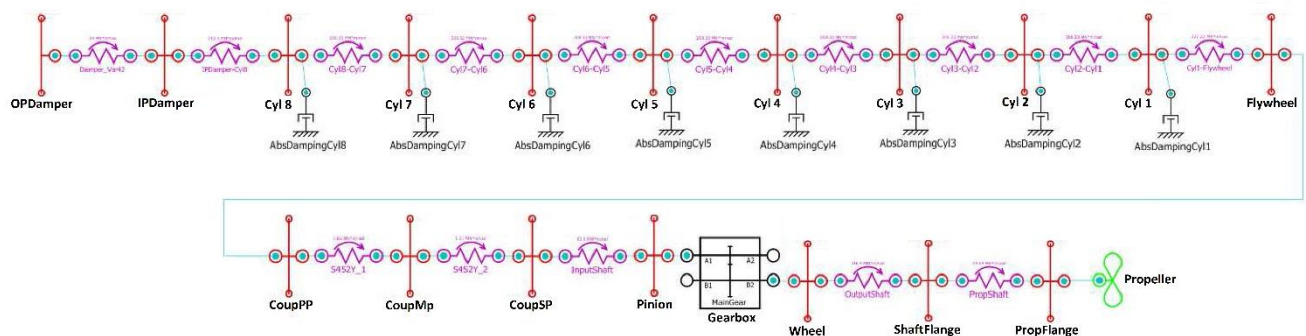
## Bijlage 17 TVC calculatie

Naar aanleiding van de veranderingen in voortstuwingslijn is er besloten om een “Torsional Vibration Calculation” laten doen. De TVC berekeningen zijn gedaan door MAK.

TVC is een calculatie van een complex systeem, meestal een voortstuwingsinstallatie, met betrekking tot de in de installatie aanwezige on-eenparigheid. Deze on-eenparigheid kan door resonantie leiden tot ernstige trillingen. De schade kan variëren van pitting op de tandwielen, scheuren van de elastische koppelingen of het breken van assen. De oorzaak van de torsie trillingen ligt in de samenstelling van de onderdelen in de installatie (Techno Fysica BV, sd).

### Nieuwe Torsional Vibration Calculation

Een voortstuwingsinstallatie kan gezien worden als een lange continue ronddraaiende as met cilindrische en conische elementen samenvoegend met de motors krukken en torsie trillingsdempers. Voor de berekening hebben de motor lagers geen grote invloed op de TVC en worden daarom genegeerd in de berekening. Het TVC model wordt weergegeven als een lijn met daarin een discreet system bestaande uit massa's verbonden door flexibele elementen. Schroefassen en tussen assen zijn lang van vorm maar in het massa elastische systeem wordt elk gaan geduid als één element. Zie de hieronder volgende massa elastische systeem (Batrak, sd).



Afbeelding 29, Mass Elastic System (Milde).

## Tabellen en grafieken

Alle componenten met hun eigen massa'straagheden in de tabel hieronder, worden ingevoerd in het calculatieprogramma van MAK. Door deze simulatie wordt er bepaald of er mogelijke torsie trillingen zullen ontstaan en/of schadelijk zullen zijn voor het systeem.

| Name        | Inertia<br>(kg-m <sup>2</sup> ) | Damper         | Damping<br>(N-m-s/rad) | Spring        | Stiffness<br>(MN-m/rad) | Damping<br>(N-m-s/rad) | Relative<br>Damping | Diameter<br>(mm) |
|-------------|---------------------------------|----------------|------------------------|---------------|-------------------------|------------------------|---------------------|------------------|
| OPDamper    | 751.0                           |                |                        | Damper_Var42  | 24.0                    | 58000.0                |                     |                  |
| IPDamper    | 96.6                            |                |                        | IPDamper-Cyl8 | 312.5                   |                        |                     | 380.0            |
| Cyl8        | 282.2                           | AbsDampingCyl8 | 540.0                  | Cyl8-Cyl7     | 208.33                  |                        |                     | 380.0            |
| Cyl7        | 207.4                           | AbsDampingCyl7 | 540.0                  | Cyl7-Cyl6     | 208.33                  |                        |                     | 380.0            |
| Cyl6        | 207.4                           | AbsDampingCyl6 | 540.0                  | Cyl6-Cyl5     | 208.33                  |                        |                     | 380.0            |
| Cyl5        | 282.2                           | AbsDampingCyl5 | 540.0                  | Cyl5-Cyl4     | 208.33                  |                        |                     | 380.0            |
| Cyl4        | 282.2                           | AbsDampingCyl4 | 540.0                  | Cyl4-Cyl3     | 208.33                  |                        |                     | 380.0            |
| Cyl3        | 207.4                           | AbsDampingCyl3 | 540.0                  | Cyl3-Cyl2     | 208.33                  |                        |                     | 380.0            |
| Cyl2        | 207.4                           | AbsDampingCyl2 | 540.0                  | Cyl2-Cyl1     | 208.33                  |                        |                     | 380.0            |
| Cyl1        | 282.2                           | AbsDampingCyl1 | 540.0                  | Cyl1-Flywheel | 222.22                  |                        |                     | 380.0            |
| Flywheel    | 1422.0                          |                |                        |               |                         |                        |                     |                  |
| CoupPP      | 128.0                           |                |                        | S452Y_1       | 1.65                    |                        | 1.13                |                  |
| CoupMp      | 274.0                           |                |                        | S452Y_2       | 1.65                    |                        | 1.13                |                  |
| CoupSP      | 287.0                           |                |                        | InputShaft    | 83.6                    |                        |                     | 300.0            |
| Pinion      | 23.1                            |                |                        |               |                         |                        |                     |                  |
| Wheel       | 1478.0                          |                |                        | OutputShaft   | 216.4                   |                        |                     | 400.0            |
| ShaftFlange | 195.5                           |                |                        | PropShaft     | 29.64                   |                        |                     | 400.0            |
| PropFlange  | 101.2                           |                |                        |               |                         |                        |                     |                  |
| Propeller   | 13863.0                         |                |                        |               |                         |                        |                     |                  |

Tabel 9, Massatraagheidsmomenten (Milde).

De simulaties worden weergegeven in verschillende grafieken. Er wordt gesimuleerd in normale condities en in extreme condities.

### Normale conditie

Een normale conditie houdt in dat de motor zich voordoet in normale omstandigheden.

### Extreme conditie

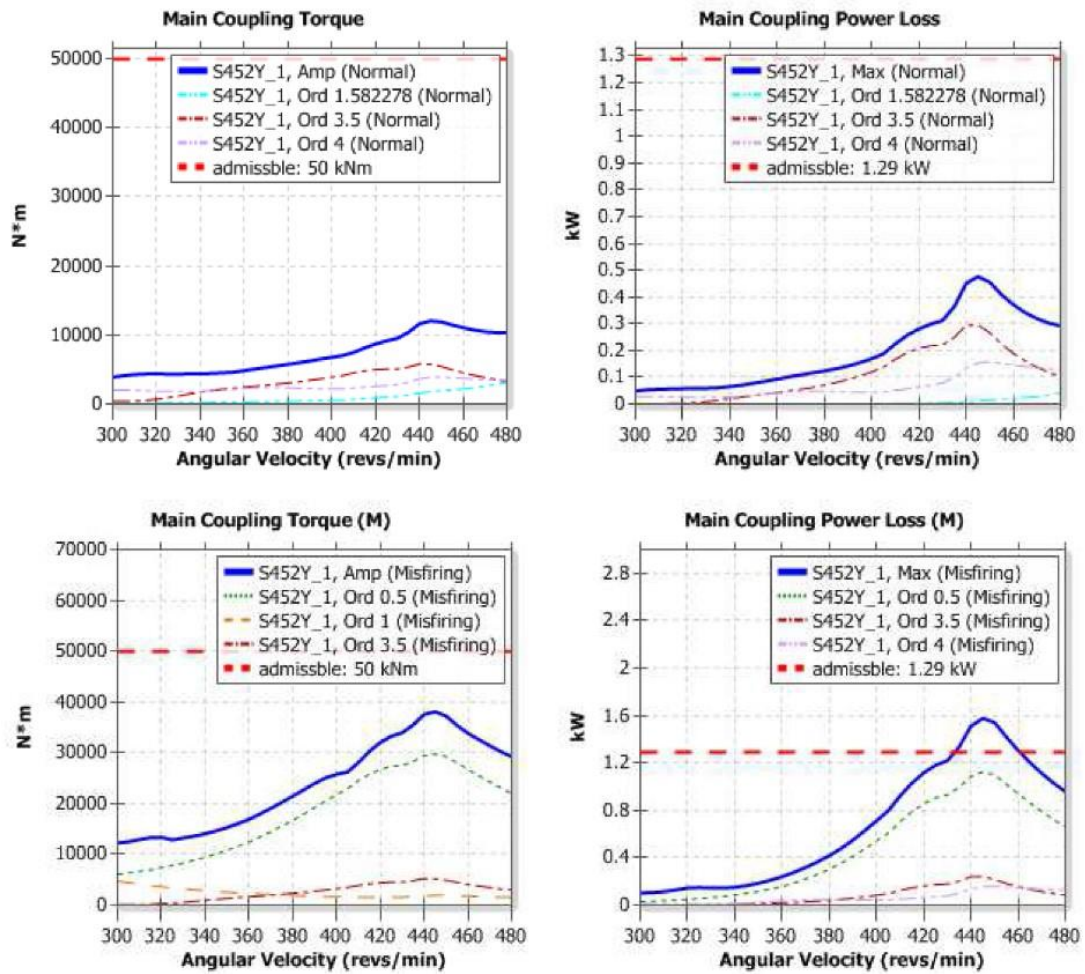
Misfire, oftewel een arbeidsloze slag, zou kunnen ontstaan als er geen verbranding plaats vind in de cilinder, denk aan geen injectie van brandstof maar dat de cilinder wel volledig comprimeert.

Als dit gebeurt levert deze cilinder geen vermogen meer en hierdoor ontstaat er onbalans in de motor waardoor de TVC drastisch vergroot.

Fuel failure, dit wil zeggen een arbeidsloze slag zonder compressie. Dit zou ook voor onbalans zorgen in de motor.

Hieronder worden vier grafieken weergegeven de bovenste twee zijn van de hoofdkoppeling in normale conditie, de onderste twee zijn ook van de hoofdkoppeling maar dan in een misfire conditie.

*“TVC report for engine 66149. According your information we revised the engine power to 5400kW / 450 rpm and consider the new mass moment of inertia of the propeller (13863kgm<sup>2</sup>). All other plant components remain as in the primary report. Please note that we have a restriction at misfiring operation. In case of misfiring the maximum engine power should not exceed 4000kW to avoid overload in the main coupling (D.Milde, 2016).”*



Afbeelding 30, Koppel toeren grafieken (Milde).

## Bijlage 18 Proefvaart na toerentalverlaging

Hieronder volgen de resultaten en opmerkingen die opgenomen zijn tijdens de proefvaart na verbouwing van de Rotra Mare. De proefvaart werd gehouden op 6 maart 2017 en vond plaats op de Noordzee ter hoogte van Scheveningen. Tijdens de proefvaart waren de volgende voortstuwing leveranciers aanwezig: MAK, Wartsila (voor de CPP) en Flender. Daarnaast was Intersona mee om een vermogensmeting uit te voeren.

### Aangepasten componenten

#### Motor

Tijdens de proefvaart werd de motor afgesteld om een nieuw maximaal toerental te hebben van 450 rpm en een minimum van 350 rpm. Om het toerental in te stellen werd de regelaar van de motor aangepast. Om te controleren of de motor op het juiste toerental draaide, werd er gemeten hoeveel de frequentie van de as generator was. Door het plaatsen van de nieuwe tandwielen moet de frequentie van de asgenerator hetzelfde zijn als voorheen. Dit klopte ook, want de frequentie van de asgenerator werd gemeten op 60,5 Hz.

#### Tandwielkast

De nieuwe tanden op de originele as waren ingesmeerd met speciale verf. Deze verf was bedoeld om te kijken of de tanden van de PTO as en de nieuwe tanden van de originele as een goed slijtage bed hebben met elkaar. Nadat de motor een paar uur op 100% draaide, werd er gecontroleerd of de verf op de tanden egaal was weg gesleten. Dit was het geval en dat betekent dat de tanden goed op elkaar aansluiten.

#### CPP

Omdat de CPP nieuwe schroefbladen heeft en het toerental van de schroefas omlaag is gegaan, werd de CPP opnieuw afgesteld. Dit werd gedaan met behulp van de vermogensmeter gemonteerd aan de schroefas. De meter gaf aan hoeveel het vermogen op de schroefas was en zo werd de pitch van de CPP hierop ingesteld. Uiteindelijk werd het optimale van de CPP bereikt en werd er een gemiddelde schroefas vermogen van 5074 kW gemeten bij een schroef toerental van 142 rpm en een motor toerental van 450 rpm.

#### HT Koelwater

De nieuwe elektrische HT koelwater stand-by pomp werd eveneens getest tijdens de proefvaart. De nieuwe pomp zit parallel aan de bestaande HT koelwater stand-by pomp. Op afbeelding 31 op de volgende pagina wordt het proefvaart protocol na toerental verlaging weergegeven. Te zien dat de druk van het koelwater tijdens de proefvaart 4,4 bar op de hoofdmotor was.



| CAT                                              |             | Measurement              |                    |                      |                                                     |                                                                                     |                       |       |       |            |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
|--------------------------------------------------|-------------|--------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------|-------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|--|--|
| Vessel:                                          | Rotramare   | Engine Type:             | 8M43C              | Engine No.:          | 66149                                               | Date of measurement                                                                 | 03-06-2107            |       |       |            |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| kW:                                              | 5400        | min <sup>-1</sup> (rpm): | 450                | Total hrs.of operat. | 37308                                               | Time:                                                                               | 12:00                 |       |       |            |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| Conditions of measurement                        |             |                          |                    |                      |                                                     |                                                                                     |                       |       |       |            |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| Voyage from/to: Rotterdam                        |             |                          |                    |                      |                                                     | Wind force: 4km/u                                                                   |                       |       |       |            |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| Draught fore/aft.: fore 6,30 aft 6,40            |             |                          |                    |                      |                                                     | Sea: calm                                                                           |                       |       |       |            |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| Speed: 16                                        |             |                          |                    |                      |                                                     | Wind and sea in relation to the vessel:                                             |                       |       |       |            |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| Load: 100%                                       |             |                          |                    |                      |                                                     |  |                       |       |       |            |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| Outside temp. 8 °C Atmospheric press.: 1001 mbar |             |                          |                    |                      |                                                     |                                                                                     |                       |       |       |            |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| Cylinder                                         |             | 1 A 1                    | 2 A 2              | 3 A 3                | 4 A 4                                               | 5 A 5                                                                               | 6 A 6                 | 7 A 7 | 8 A 8 | 9 B 1      | 10 B 2 | 11 B 3 | 12 B 4 | 13 B 5 | 14 B 6 | 15 B 7 | 16 B 8 | Average A B |  |  |
| Fuel rack position                               |             | 48                       | 48                 | 48                   | 48                                                  | 48                                                                                  | 48                    | 48    | 48    |            |        |        |        |        |        |        |        | 48,0        |  |  |
| Exhaust temp. aft. cyl.                          | Engine      | 343                      | 353                | 342                  | 353                                                 | 337                                                                                 | 308                   | 334   | 320   |            |        |        |        |        |        |        |        | 336         |  |  |
|                                                  | Exh.Monitor | 354                      | 363                | 351                  | 365                                                 | 349                                                                                 | 319                   | 347   | 333   |            |        |        |        |        |        |        |        | 348         |  |  |
| Combustion press.                                |             | 157                      | 153                | 157                  | 154                                                 | 158                                                                                 | 151                   | 155   | 152   |            |        |        |        |        |        |        |        | 155         |  |  |
| Valve rotator                                    | Outl. le.   |                          |                    |                      |                                                     |                                                                                     |                       |       |       |            |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| sec.                                             | Outl. ri.   |                          |                    |                      |                                                     |                                                                                     |                       |       |       |            |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| revolution                                       | Inl. le.    |                          |                    |                      |                                                     |                                                                                     |                       |       |       |            |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
|                                                  | Inl. ri.    |                          |                    |                      |                                                     |                                                                                     |                       |       |       |            |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| Lubricating oil                                  |             | Fuel                     |                    | n Engine             |                                                     | 450 min <sup>-1</sup>                                                               |                       |       |       |            |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| P bef. filter                                    | bar         | Type                     | Gasoil             |                      | n Propeller                                         |                                                                                     | 142 min <sup>-1</sup> |       |       |            |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| P aft. filter                                    | bar         | Gravity                  | kg/dm <sup>3</sup> |                      | Load                                                |                                                                                     | 5400 kW               |       | 100   |            |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| P last main. bear.                               | 5,14 bar    | Sulphur                  | %                  |                      | Exhaust colour                                      |                                                                                     | clear                 |       |       |            |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| t inl. eng.                                      | 57,8 °C     | Consumption              | kg/h               |                      | Turbocharger                                        |                                                                                     | I                     |       | II    |            |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| t outl. eng.                                     | 64,4 °C     | P aft. filter            | 5,2 bar            |                      | Turbine speed                                       |                                                                                     | 15800                 |       |       |            | rpm    |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| t inl. cool.                                     | 64,4 °C     | t fuel service tank      | °C                 |                      | t exhaust bef. turb.                                |                                                                                     | 473                   |       |       |            | °C     |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| t outl. cool.                                    | 51,8 °C     | t final pre-heat         | °C                 |                      | t exhaust aft. turb.                                |                                                                                     | 320                   |       |       |            | °C     |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| Total circuit oil consump.                       | kg/d        | t fuel viscotherm        | °C                 |                      | t charg. air bef. cool.                             |                                                                                     | 150                   |       |       |            | °C     |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| Brand                                            |             | Viscosity at viscotherm  | mPas               |                      | t charg. air aft. cool.                             |                                                                                     | 40,4                  |       |       |            | °C     |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| Quality                                          |             | t fuel bef. eng.         | 35,8 °C            |                      | t intaken air in a distance ( 10 cm before Filter ) |                                                                                     | 31                    |       |       |            | °C     |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| Treatment                                        |             | Additives                |                    |                      | P charg. air bef. cool.                             |                                                                                     | 2,12                  |       |       |            | bar    |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| Oil qty in system                                | kg          | Treatment                |                    |                      | P charg. air aft. cool.                             |                                                                                     | 2,10                  |       |       |            | bar    |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| Autom.-Filter                                    |             | Autom.-Filter            |                    |                      | P difference                                        |                                                                                     | 180                   |       |       |            | mm WS  |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| Flushings/d                                      |             | Flushings/d              |                    |                      | Exhaust gas back pressure                           |                                                                                     |                       |       |       |            | mm WS  |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| Type of indicator used                           |             |                          |                    |                      |                                                     |                                                                                     |                       |       |       |            |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| Remarks / overhauls: ( TC; Coolers; Injectors )  |             |                          |                    |                      |                                                     |                                                                                     |                       |       |       |            |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| Engine RPM and power reduced                     |             |                          |                    |                      |                                                     |                                                                                     |                       |       |       |            |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| Max RPM 450                                      |             |                          |                    |                      |                                                     |                                                                                     |                       |       |       |            |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| Max Power 5400KW 48 mm Fuelrack                  |             |                          |                    |                      |                                                     |                                                                                     |                       |       |       |            |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
| For cooling-water data take page 2 please        |             |                          |                    |                      |                                                     |                                                                                     |                       |       |       |            |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
|                                                  |             |                          |                    |                      |                                                     |                                                                                     |                       |       |       | 06-03-2017 |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
|                                                  |             |                          |                    |                      |                                                     |                                                                                     |                       |       |       | Date       |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |
|                                                  |             |                          |                    |                      |                                                     |                                                                                     |                       |       |       | Signature  |        |        |        |        |        |        |        |             |  |  |

Caterpillar Confidential: Green

Afbeelding 31, Seatrial report na proefvaart

| Cooling-water Systems               |      |     |                                                          |      |                                       |                                       |
|-------------------------------------|------|-----|----------------------------------------------------------|------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Single circuit cooling           |      |     | 2. Single circuit (splitted) and single circuit extended |      |                                       |                                       |
| Freshwater                          |      |     | Seawater                                                 |      | Freshwater                            |                                       |
| P <sub>stat.</sub>                  | bar  |     | p <sub>pump.</sub>                                       | bar  | p <sub>stat.</sub> bar                |                                       |
| p <sub>pump</sub>                   | bar  |     | p <sub>eng.</sub>                                        | bar  | p <sub>pump</sub> bar                 |                                       |
| p <sub>eng.</sub>                   | bar  |     | t <sub>outbords</sub>                                    | °C   | p <sub>eng.</sub> bar                 |                                       |
| t <sub>inl. charg. air cool.</sub>  | °C   |     | t <sub>inl. charg. air cool.</sub>                       | °C   | t <sub>inl. eng.</sub> °C             |                                       |
| t <sub>outl. charg. air cool.</sub> | °C   |     | t <sub>outl. charg. air cool.</sub>                      | °C   | t <sub>outl. eng.</sub> °C            |                                       |
| t <sub>inlet eng.</sub>             | °C   |     | t <sub>inlet oil cool.</sub>                             | °C   | t <sub>inl. oil cool.</sub> °C        |                                       |
| t <sub>outl. eng.</sub>             | °C   |     | t <sub>outl. oil cool.</sub>                             | °C   | t <sub>outl. oil cool.</sub> °C       |                                       |
| t <sub>inl. oil cool.</sub>         | °C   |     | t <sub>inl. fwcool.</sub>                                | °C   | t <sub>inl. ch. air cool. 1</sub> °C  |                                       |
| t <sub>outl. oil cool.</sub>        | °C   |     | t <sub>outl. fwcool.</sub>                               | °C   | t <sub>outl. ch. air cool. 1</sub> °C |                                       |
| t <sub>outl. turbine</sub>          | °C   |     |                                                          |      | t <sub>inl. ch. air cool. 2</sub> °C  |                                       |
|                                     |      |     |                                                          |      | t <sub>outl. ch. air cool. 2</sub> °C |                                       |
|                                     |      |     |                                                          |      | t <sub>inl. centr. cool.</sub> °C     |                                       |
|                                     |      |     |                                                          |      | t <sub>outl. centr. cool.</sub> °C    |                                       |
|                                     |      |     |                                                          |      | t <sub>outl. turbine</sub> °C         |                                       |
| Double circuit cooling              |      |     |                                                          |      |                                       |                                       |
| HT-Freshwater                       |      |     | LT-Freshwater                                            |      | Seawater                              |                                       |
| P <sub>stat.</sub>                  | 0,6  | bar | p <sub>stat.</sub>                                       | 0,6  | bar                                   | p <sub>pump</sub> bar                 |
| p <sub>operation</sub>              | 4,4  | bar | p <sub>operation</sub>                                   | 2,9  | bar                                   | p <sub>eng.</sub> bar                 |
| t <sub>inl. eng.</sub>              | 79,2 | °C  | t <sub>inl. ch. air cool. 2</sub>                        | 32,6 | °C                                    | t <sub>outboards</sub> °C             |
| t <sub>outl. eng.</sub>             | 84   | °C  | t <sub>outl. ch. air cool. 2</sub>                       | 39,6 | °C                                    | t <sub>inl. centr. cool. HT</sub> °C  |
| t <sub>inl. central cool.</sub>     | 83,8 | °C  | t <sub>inl. oil cool.</sub>                              | 31,8 | °C                                    | t <sub>outl. centr. cool. HT</sub> °C |
| t <sub>outl. central cool.</sub>    | 34   | °C  | t <sub>outl. oil cool.</sub>                             | 33,8 | °C                                    | t <sub>inl. centr. cool LT</sub> °C   |
| t <sub>inl. oil cool.</sub>         |      | °C  | t <sub>inl. central cool.</sub>                          | 34   | °C                                    | t <sub>outl. centr. cool. LT</sub> °C |
| t <sub>outl. oil cool.</sub>        |      | °C  | t <sub>outl. central cool.</sub>                         | 11,6 | °C                                    |                                       |
| t <sub>inl. ch. air cool. 1a</sub>  | 73,8 | °C  | Remarks:                                                 |      |                                       |                                       |
| t <sub>outl. ch. air cool. 1a</sub> | 79,2 | °C  |                                                          |      |                                       |                                       |
| t <sub>inl. ch air cool. 1b</sub>   |      | °C  |                                                          |      |                                       |                                       |
| t <sub>outl. ch. air cool. 1b</sub> |      | °C  |                                                          |      |                                       |                                       |
| t <sub>outl. turbine</sub>          |      | °C  |                                                          |      |                                       |                                       |
|                                     |      |     |                                                          |      |                                       |                                       |

Caterpillar Confidential: Green

## Schroefas vermogens meting

Hieronder volgt het rapport van de metingen gedaan door de heer Venstra van Intersona, zie afbeelding 32 hieronder. De metingen zijn uitgevoerd tijdens de snelheidsproef: hierbij voer het schip drie keer heen en weer over hetzelfde traject. De eerste keer was dit met 85% pitch en de tweede keer met 100% pitch. De gemeten vermogens werden gemiddeld genomen over het stuk traject. Bij 100% pitch kwam er gemiddeld gemeten over de drie trajecten een schroefasvermogen uit van 5074 kW. En bij 85% pitch kwam er een gemiddelde uit van 3946 kW.

Project 6112-32  
On behalf of Holland Shipyard  
Object: m.s. Rotra Mare



Shaft properties  
Diameter inside 130 mm  
Diameter outside 400 mm  
Shear modulus 82400 MN/m<sup>2</sup>  
K - factor 2.1  
Cal. Factor 195.032 kNm/V  
Gear ratio 3.727 :1

|    | time     | Propeller shaft |        |       |  |  |  |
|----|----------|-----------------|--------|-------|--|--|--|
|    |          | Speed           | Torque | Power |  |  |  |
|    |          | rpm             | kNm    | kW    |  |  |  |
| 1  | 11:28:08 | 142             | 286.2  | 4258  |  |  |  |
| 2  | 11:42:08 | 142             | 259.5  | 3864  |  |  |  |
| 3  | 11:58:08 | 142             | 255.2  | 3799  |  |  |  |
| 4  | 12:19:08 | 142             | 341.4  | 5082  |  |  |  |
| 5  | 12:41:08 | 142             | 341.2  | 5079  |  |  |  |
| 6  | 13:05:08 | 142             | 339.7  | 5057  |  |  |  |
| 7  |          |                 |        |       |  |  |  |
| 8  |          |                 |        |       |  |  |  |
| 9  |          |                 |        |       |  |  |  |
| 10 |          |                 |        |       |  |  |  |
| 11 |          |                 |        |       |  |  |  |
| 12 |          |                 |        |       |  |  |  |

Afbeelding 32, Meetwaardes schroefas vermogen Intersona (Venstra, Schroefas vermogens meting)

## Trilling metingen

Intersona heeft tijdens de proefvaart ook de accommodatie gemeten op geluidsniveaus en trillingen. De resultaten van dit onderzoek staan op afbeelding 33 hieronder. Volgens de heer Venstra, specialist van Intersona, komen de gemeten waardes overeen met die van de Rotra Vente, en bij de Rotra Vente vielen deze binnen de normen van de IMO, Code On Noise Levels On Board Ships.

| Measuring positions             | Measured noise levels      |                            |
|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                                 | Condition #2               | Noise limit                |
|                                 | L <sub>p,eq</sub><br>dB(A) | L <sub>p,eq</sub><br>dB(A) |
| <b>Bridge deck</b>              |                            |                            |
| Wheelhouse PS                   | -                          | 65                         |
| Wheelhouse mid                  | 65                         | 65                         |
| Wheelhouse SB                   | -                          | 65                         |
| <b>D – deck</b>                 |                            |                            |
| Captains dayroom                | 56                         | 60                         |
| Captains bedroom                | -                          | 60                         |
| Pilot cabin                     | 56                         | 60                         |
| Captains office                 | 53                         | 65                         |
| <b>C – deck</b>                 |                            |                            |
| Dayroom chief engineer          | 57                         | 60                         |
| Bedroom chief engineer          | -                          | 60                         |
| Owner                           | 57                         | 60                         |
| Dayroom 1 <sup>st</sup> officer | 59                         | 60                         |
| Bedroom 1 <sup>st</sup> officer | -                          | 60                         |
| <b>B - deck</b>                 |                            |                            |
| Cabin 2 <sup>nd</sup> engineer  | 58                         | 60                         |
| 3rd engineer                    | 55                         | 60                         |
| Cabin crew                      | -                          | 60                         |
| Cabin 2 <sup>nd</sup> mate      | 56                         | 60                         |
| <b>A – deck</b>                 |                            |                            |
| Cabin crew PS aft               | -                          | 60                         |
| Hospital                        | 59                         | 60                         |
| Cabin crew PS mid               | -                          | 60                         |
| Cabin crew SB mid               | 56                         | 60                         |
| Cabin boatman                   | -                          | 60                         |
| Cabin crew SB aft               | 55                         | 60                         |
| <b>Poop deck</b>                |                            |                            |
| Office                          | -                          | 65                         |
| Crew mess                       | 62                         | 65                         |
| Galley, fan switched off        | -                          | 75                         |
| Galley, fan switched on         | -                          | 75                         |
| Officers mess                   | -                          | 65                         |
| <b>Main deck</b>                |                            |                            |
| Cargo office                    | 67                         | 65                         |
| Laundry                         | -                          | 85                         |
| Boiler room                     | -                          | 110                        |
| A/C room                        | -                          | 110                        |
| Steering gear room              | 80                         | 110                        |
| <b>Tween deck</b>               |                            |                            |
| Separator room                  | -                          | 110                        |
| Switch board room               | 70                         | 85                         |
| Workshop                        | -                          | 110                        |
| Deck SB aft frame 23            | 101                        | 110                        |
| Between aux. generators         | -                          | 110                        |
| <b>Tank top</b>                 |                            |                            |
| Booster room, PS frame 38       | -                          | 110                        |
| PS of main engine, frame 30     | -                          | 110                        |
| SB of main engine, frame 30     | -                          | 110                        |
| SB of main engine, frame 36     | 103                        | 110                        |

Afbeelding 33, geluidsmeting rapport (Venstra,

Geluidsmeting rapport)

Tijdens de snelheidsmetingen op 80% MCR zijn op diverse posities in de accommodatie geluidsmetingen uitgevoerd. Een overzicht van de resultaten is weergegeven in de tabel. In deze tabel zijn tevens de limieten volgens IMO A.468 XII weergegeven. De geluidsniveaus gemeten aan boord van de Rotra Mare komen goed overeen met de gemeten geluidsniveaus aan boord van de Rotra Vente. (Venstra, Geluidsmeting, 2017)

## Bijlage 19 Brandstofverbruik berekeningen

Hieronder volgen de berekeningen die gemaakt zijn van het brandstofverbruik. De waardes hiervan zijn opgenomen tijdens verschillende momenten en condities van het schip. De specifieke brandstofverbruik bepalingen zijn gedaan tijdens de maandelijkse cilinderdrukmetingen, voor verbouwing, na verbouwing en tijdens de proefvaart. Tijdens deze metingen werd er met 100% load gevaren. De overige brandstofmetingen zijn genomen tijdens normale vaart van het schip, zowel voor als na de verbouwing. Deze brandstof peilingen komen uit het oliejournaal van het schip, wat verplicht dagelijks bij gehouden wordt.

### Oorspronkelijke specifieke brandstofverbruik

Het originele specifieke verbruik van de motor is bepaald in de fabriek van MAK. Nadat de motor gefabriceerd was, werd deze op een testbank getest en gekoppeld aan een hydraulische rem om het vermogen te bepalen. Het resultaat van de test werd vastgelegd in het 'Diesel Engine Acceptance Test Record'. Tijdens deze test werd het specifieke verbruik vastgesteld tussen de 190,5 en 191,0 g/kWh, dit was bij 500 rpm en een vermogen van 7999 kW. Zie bijlage 10 voor het volledige Acceptance Test Record.

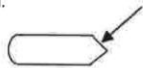
### Brandstofverbruik voor toerentalverlading

#### Oliejournaal

Tijdens het bestaan van een schip is het verplicht om een oliejournaal bij te houden. In dit journaal worden alle dagelijkse peilingen en drukken van de motor weergegeven, waaronder ook het brandstofverbruik die dag. Het volgende verbruik komt van een willekeurige reis voordat het toerental verlaagd werd. Deze reis was van Bilbao naar Rotterdam: volgens het journaal was het goed weer en werd er in 24 uur 19,93 m<sup>3</sup> brandstof verbruikt.

#### Meetrapport

Eens per maand werden aan boord de cilinderdrukken van de motor gemeten. Hierbij hoorden ook het brandstofverbruik en de overige temperaturen en drukken. Het rapport was gemaakt toen het schip nog volledig in volledige vaart was. Het volgende brandstofverbruik werd hierbij gemeten: 500 rpm, Load 7680 kW, consumption 1490,0 kg/h. Op afbeelding 34 op de volgende pagina staat het volledige rapport.

| m                                                                                   |  | Measurement                          |     |                                       |     |                                                              |     |                                         |     |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------|-----|---------------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|--|--|--|--|--|---------|
| Vessel: <b>Flintercrown</b>                                                         |  | Engine Type: <b>MAK 8M43C</b>        |     | Engine No.*: <b>66 149</b>            |     | Date of measurement: <b>26.05.2016</b>                       |     |                                         |     |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  |         |
| kW: <b>8000</b>                                                                     |  | min <sup>-1</sup>                    |     | 500                                   |     | Hrs. of operat.: <b>37 098</b>                               |     | Time: <b>14:00'</b>                     |     |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  |         |
| Conditions of measurement                                                           |  |                                      |     |                                       |     |                                                              |     |                                         |     |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  |         |
| Voyage from/to: <b>Bilbao / Tilbury</b>                                             |  |                                      |     | Load: <b>96 %</b>                     |     |                                                              |     | Wind force: <b>12 m/c</b>               |     |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  |         |
| Draught fore/aft.: <b>6.9 / 7.1 mtr</b>                                             |  |                                      |     | Outside temp.: <b>+ 15 °C</b>         |     |                                                              |     | Sea: <b>2 - Slide</b>                   |     |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  |         |
| Speed: <b>17.5 knots</b>                                                            |  |                                      |     | Atmospheric press.*: <b>1016 mbar</b> |     |                                                              |     | Wind and sea in relation to the vessel. |     |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  |         |
|  |  |                                      |     |                                       |     |                                                              |     |                                         |     |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  |         |
| Cylinder                                                                            |  | 1                                    | 2   | 3                                     | 4   | 5                                                            | 6   | 7                                       | 8   |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  | Average |
| Fuel rack position*                                                                 |  | 54                                   | 53  | 53                                    | 52  | 53                                                           | 55  | 52                                      | 54  |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  | 53.3    |
| Exhaust temp. aft. cyl.*                                                            |  | El.therm.                            |     | 365                                   | 374 | 371                                                          | 374 | 366                                     | 350 | 348                                                                                                                                                                         | 356 |  |  |  |  |  | 363     |
|                                                                                     |  | 358                                  | 367 | 363                                   | 365 | 357                                                          | 342 | 339                                     | 348 |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  | 355     |
| Combustion pressure max max                                                         |  | 188                                  | 182 | 184                                   | 182 | 186                                                          | 178 | 182                                     | 182 |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  | 183     |
| Combustion pressure max mean                                                        |  | 186                                  | 179 | 182                                   | 180 | 185                                                          | 176 | 180                                     | 180 |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  | 181     |
| Valve rotator sec 1 rev.                                                            |  | Outl. le.                            |     | 5                                     | 4   | 4                                                            | 4   | 9                                       | 10  | 16                                                                                                                                                                          | 5   |  |  |  |  |  |         |
|                                                                                     |  | Outl. ri.                            |     | 3                                     | 4   | 26                                                           | 5   | 4                                       | 6   | 3                                                                                                                                                                           | 25  |  |  |  |  |  |         |
|                                                                                     |  | Inl. le.                             |     | 17                                    | 19  | 22                                                           | 22  | 28                                      | 19  | 19                                                                                                                                                                          | 19  |  |  |  |  |  |         |
|                                                                                     |  | Inl. ri.                             |     | 21                                    | 19  | 28                                                           | 18  | 21                                      | 16  | 18                                                                                                                                                                          | 20  |  |  |  |  |  |         |
| Lubricating oil                                                                     |  | Fuel                                 |     |                                       |     | n <sub>Engine</sub> min <sup>-1</sup> 500                    |     |                                         |     |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  |         |
| p <sub>bef. filter</sub> bar 5.8                                                    |  | Type* <b>MDO ULS</b>                 |     |                                       |     | n <sub>Propeller</sub> min <sup>-1</sup> 158                 |     |                                         |     |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  |         |
| p <sub>aft. filter</sub> bar 4.9                                                    |  | Gravity* kg/m <sup>3</sup> 886.0     |     |                                       |     | Load 7 680 kW                                                |     |                                         |     |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  |         |
| Plast main. bear.* bar                                                              |  | Sulphur % 0.09                       |     |                                       |     | Exhaust colour Clear                                         |     |                                         |     |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  |         |
| Plast cash. bear bar                                                                |  | Consumption kg/h 1 490               |     |                                       |     | Turbocharger                                                 |     |                                         |     | I II                                                                                                                                                                        |     |  |  |  |  |  |         |
| t <sub>inl. eng.*</sub> °C 55.8                                                     |  | p <sub>bef. filter</sub> bar 5.9     |     |                                       |     | Turbine speed min <sup>-1</sup> 18 500                       |     |                                         |     |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  |         |
| t <sub>outl. eng.</sub> °C 73.5                                                     |  | p <sub>aft. filter</sub> bar 4.8     |     |                                       |     | t <sub>exhaust bef. turb.</sub> °C 487                       |     |                                         |     |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  |         |
| t <sub>inl. cool.</sub> °C 73.2                                                     |  | t <sub>fuel service tank</sub> °C 38 |     |                                       |     | t <sub>exhaust aft. turb.*</sub> °C 338                      |     |                                         |     |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  |         |
| t <sub>outl. cool.</sub> °C 53.2                                                    |  | t <sub>final pre-heat</sub> °C 60    |     |                                       |     | t <sub>charg. air bef. cool.*</sub> °C 179                   |     |                                         |     |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  |         |
| circuit oil consump. 106.6 kg/d                                                     |  | t <sub>fuel Viscotherm*</sub> °C 60  |     |                                       |     | t <sub>charg. air aft. cool.*</sub> °C 53                    |     |                                         |     |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  |         |
| Quality Shell Argina X40                                                            |  | Viscosity at Viscotherm* 3.3 mPas    |     |                                       |     | t <sub>intaken air in a distance*</sub> °C (10 cm v. Filter) |     |                                         |     |   |     |  |  |  |  |  |         |
| Treatment                                                                           |  | t <sub>fuel bef. eng.*</sub> °C 59   |     |                                       |     | p <sub>charg. air aft. cool.*</sub> bar 2.9 / 3.2            |     |                                         |     |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  |         |
| Oil qty in system ltr 8000                                                          |  | Additives                            |     |                                       |     | p <sub>difference</sub> mm WS                                |     |                                         |     |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  |         |
| Autom.-Filter                                                                       |  | Treatment                            |     |                                       |     | Exhaust gas back pressure mm WS                              |     |                                         |     |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  |         |
| Flushings/d                                                                         |  | Autom.-Filter                        |     |                                       |     |                                                              |     |                                         |     |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  |         |
|                                                                                     |  | Flushings/d                          |     |                                       |     |                                                              |     |                                         |     |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  |         |
| Type of indicator used: LEMAG LS220                                                 |  | Type of spring piston size           |     |                                       |     | Spring scale                                                 |     |                                         |     |                                                                                                                                                                             |     |  |  |  |  |  |         |
| Remarks:                                                                            |  |                                      |     |                                       |     |                                                              |     |                                         |     | C/E: Sergey Galtsov<br>Date: 26.05.2016 Signature:                                                                                                                          |     |  |  |  |  |  |         |

\* important values of measurement for Diagnosis

Afbeelding 34, Meet gegevens hoofdmotor 26-05-2016

## Testproefvaart

Voor overname van het schip werd er een onofficiële proefvaart gedaan. Tijdens deze proefvaart werd ook bepaald of er complicaties zouden optreden als het schip op een verlaagd toerental voer. De test werd gehouden op 14 juni 2016 en het rapport is uitgevoerd door MAK Bolier. Op afbeelding 17 en 18 staan de proefvaart rapporten. Hierin staat aangegeven wat het brandstof verbruik is tijdens de verschillende situaties, namelijk:

450 rpm, Load 4900 kW, consumption 1086,0 kg/h

500 rpm, Load 6882 kW, consumption 1541,3 kg/h

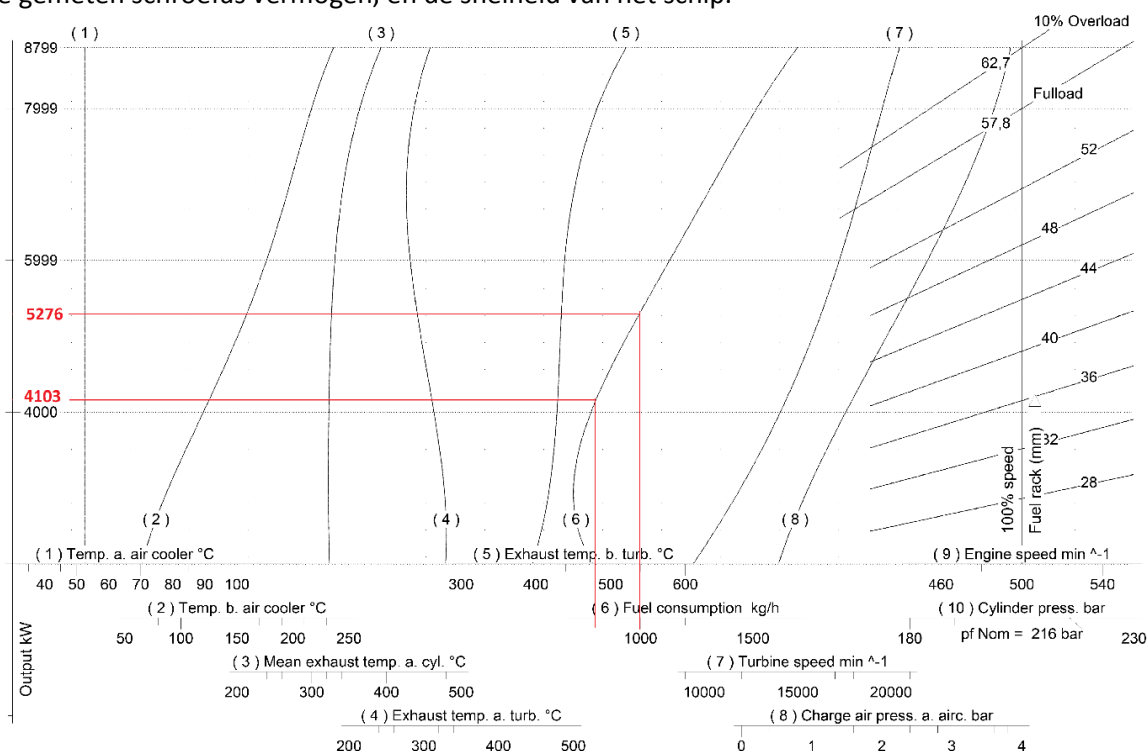
De waarden van deze proefvaart zijn bepaald door Bolier. Zij hebben de waarden voor het brandstofverbruik bepaald aan de hand van tabellen en standaard invoerwaardes in hun curveblad.

## Brandstofverbruik na toerentalverlaging

Hieronder volgen de resultaten die opgenomen zijn tijdens de proefvaart na verbouwing van de Rotra Mare. Met behulp van deze resultaten zal het brandstofverbruik vergeleken worden met het originele verbruik van de motor, en bepaald of deze minder verbruikt dan voorheen.

## Proefvaart

Tijdens de proefvaart is bepaald wat het specifieke brandstof verbruik is. Dit is bepaald met behulp van een motorcurveblad van Bolier. Dit curveblad geeft het theoretische verbruik van de motor aan. Op afbeelding 35 hieronder is het curveblad te zien. Aangegeven op het curveblad zijn de twee test situaties tijdens de proefvaart. De bovenste lijn is bij 100% pitch en de onderste lijn is bij 85% pitch, bijkomend bij het vermogen bepaald door Belkoned komt nog het verlies op de tandwielkast van 4% bepaald door Flender. Dit resulteert in een motorvermogen van 5276 kW bij 100% pitch en 4103 kW bij 85% pitch. Op de volgende twee pagina's staan de rapporten gemaakt door Belkoned met daarin de gemeten schroefas vermogen, en de snelheid van het schip.



|                                                                                                                          |                                                                                                                |                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| <br>Caterpillar<br>Confidential Green | Constant speed plant                                                                                           | DICARE Basic curves       |
|                                                                                                                          |                                                                                                                | Engine 8 M 43 C Nr. 66149 |
|                                                                                                                          | Basic data from: 20.08.2008 ref. to: P0 = 1,000 bar T0 = 27 °C TLnLLK = 53 °C PAnT = 0,029 bar MDO 0,83 kg / l |                           |

Afbeelding 35, Curveblad MAK 8M43C





## RESUME

|                            |      |       |       |       |  |  |  |
|----------------------------|------|-------|-------|-------|--|--|--|
| Run number                 |      | 4     | 5     | 6     |  |  |  |
| Time (local)               | hrs. | 12:19 | 12:41 | 13:05 |  |  |  |
| Heading                    | deg. | 30    | 210   | 30    |  |  |  |
| Course made good           | deg. | 31    | 212   | 26    |  |  |  |
| Time for measured distance | sec. | 360   | 360   | 360   |  |  |  |

|                |      |   |   |   |  |  |  |
|----------------|------|---|---|---|--|--|--|
| RUDDER         |      |   |   |   |  |  |  |
| mean amplitude | deg. | 2 | 2 | 3 |  |  |  |
| mean period    | sec. | - | - | - |  |  |  |

|                     |     |       |       |       |  |  |  |
|---------------------|-----|-------|-------|-------|--|--|--|
| Ground speed        |     |       |       |       |  |  |  |
| measured single run | kn. | 16.27 | 15.81 | 16.24 |  |  |  |
| Apparent influence  |     |       |       |       |  |  |  |
| current & weather   | kn. |       | -0.23 | 0.21  |  |  |  |
| Means of means      | kn. |       | 16.03 |       |  |  |  |
| Mean water depth    | m.  | 16    | 16    | 16    |  |  |  |
| Shallow water corr. | %   | 6.78  | 6.52  | 6.76  |  |  |  |
| Gnd. speed corr.    | kn. | 17.37 | 16.84 | 17.34 |  |  |  |
| First mean          |     |       | 17.11 | 17.09 |  |  |  |
| Corr. gnd. speed    |     |       |       |       |  |  |  |
| means of means      | kn. |       | 17.10 |       |  |  |  |

|                   |     |      |      |      |  |  |  |
|-------------------|-----|------|------|------|--|--|--|
| Pitch setting     | %   | 100  | 100  | 100  |  |  |  |
| Shaft rotation ** | rpm | 142  | 142  | 142  |  |  |  |
| Shaft power **    | kW  | 5082 | 5079 | 5057 |  |  |  |
| First mean        | kW  |      | 5081 | 5068 |  |  |  |
| Means of means    | kW  |      | 5074 |      |  |  |  |
| Shaft generator   | kW  | -    | -    | -    |  |  |  |

|                             |           |      |      |      |      |  |  |
|-----------------------------|-----------|------|------|------|------|--|--|
| WIND                        | speed     | m/s  | 8.7  | 8.6  | 8.9  |  |  |
| (rel.)                      | direction | deg. | 17   | 18   | 17   |  |  |
| Swell                       | high      | m    | 0.6  | 0.6  | 0.6  |  |  |
| (abs.)                      | direction | deg. | 250  | 250  | 250  |  |  |
| Air temperature             |           | ° C  | 7    | 7    | 7    |  |  |
| Weather correction          | %         |      | -0.5 | -1.6 | -0.8 |  |  |
| Weather correction          | kW        |      | -28  | -81  | -38  |  |  |
| Power corrected for weather | kW        |      | 5054 | 4998 | 5019 |  |  |
| First mean                  | kW        |      |      | 5026 | 5008 |  |  |
| Corrected power             | kW        |      |      | 5017 |      |  |  |

\*\* Remark: Shaft-power and shaft-rpm measured by Intersona b.v on propeller-shaft.

Afbeelding 36, snelheid en vermogens meetrapport 100% pitch



## RESUME

|                            |      |       |       |       |  |  |  |
|----------------------------|------|-------|-------|-------|--|--|--|
| Run number                 |      | 1     | 2     | 3     |  |  |  |
| Time (local)               | hrs. | 11:28 | 11:42 | 11:58 |  |  |  |
| Heading                    | deg. | 210   | 30    | 210   |  |  |  |
| Course made good           | deg. | 212   | 30    | 211   |  |  |  |
| Time for measured distance | sec. | 360   | 360   | 360   |  |  |  |

|                |      |   |   |   |  |  |  |
|----------------|------|---|---|---|--|--|--|
| RUDDER         |      |   |   |   |  |  |  |
| mean amplitude | deg. | 2 | 1 | 3 |  |  |  |
| mean period    | sec. | - | - | - |  |  |  |

|                                      |     |             |       |       |  |  |  |
|--------------------------------------|-----|-------------|-------|-------|--|--|--|
| Ground speed measured single run     | kn. | 13.81       | 15.25 | 13.98 |  |  |  |
| Apparent influence current & weather | kn. | 0.72 -0.63  |       |       |  |  |  |
| Means of means                       | kn. | 14.57       |       |       |  |  |  |
| Mean water depth                     | m.  | 16          | 16    | 16    |  |  |  |
| Shallow water corr.                  | %   | 5.85        | 6.26  | 5.88  |  |  |  |
| Gnd. speed corr.                     | kn. | 14.62       | 16.21 | 14.81 |  |  |  |
| First mean                           |     | 15.41 15.51 |       |       |  |  |  |
| Corr. gnd. speed means of means      | kn. | 15.46       |       |       |  |  |  |

|                   |     |           |      |      |  |  |  |
|-------------------|-----|-----------|------|------|--|--|--|
| Pitch setting     | %   | 86        | 86   | 86   |  |  |  |
| Shaft rotation ** | rpm | 142       | 142  | 142  |  |  |  |
| Shaft power **    | kW  | 4258      | 3864 | 3799 |  |  |  |
| First mean        | kW  | 4061 3832 |      |      |  |  |  |
| Means of means    | kW  | 3946      |      |      |  |  |  |
| Shaft generator   | kW  | -         | -    | -    |  |  |  |

|                             |      |           |      |      |  |  |  |
|-----------------------------|------|-----------|------|------|--|--|--|
| WIND speed                  | m/s  | 7.6       | 8.3  | 7.7  |  |  |  |
| (rel.) direction            | deg. | 20        | 18   | 20   |  |  |  |
| Swell high                  | m    | 0.6       | 0.6  | 0.6  |  |  |  |
| (abs.) direction            | deg. | 250       | 250  | 250  |  |  |  |
| Air temperature             | ° C  | 7         | 7    | 7    |  |  |  |
| Weather correction          | %    | -0.2      | -0.1 | -0.2 |  |  |  |
| Weather correction          | kW   | -7        | -3   | -7   |  |  |  |
| Power corrected for weather | kW   | 4251      | 3861 | 3792 |  |  |  |
| First mean                  | kW   | 4056 3827 |      |      |  |  |  |
| Corrected power             | kW   | 3942      |      |      |  |  |  |

\*\* Remark: Shaft-power and shaft-rpm measured by Intersona b.v on propeller-shaft.

Afbeelding 37, snelheid en vermogens meetrapport 85% pitch

## Na proefvaart

Na de proefvaart ging de Rotra Mare naar Esbjerg, Denemarken, voor haar eerste reis. Onderweg is door de bemanning het brandstofverbruik gemeten. Dit is gemeten door de brandstof te peilen voor vertrek en bij aankomst. Er werd gemeten dat in 24 uur varen ongeveer 14 m<sup>3</sup> aan brandstof is verbruikt, bij een economische load van 65%. Deze meting werd gedaan door: Pieter Berghout, Superintendent newbuilding van Amasus shipping.

## Overzicht brandstofverbruik

In de hieronder weergegeven tabel wordt alles nog eens op een rijtje gezet. In de tabel wordt onderscheid gemaakt tussen het verbruik bepaald aan de hand van de curves en berekeningen en de brandstofwaardes bepaald aan de hand van peilingen aan boord. Kortom: het theoretische bepaalde brandstofverbruik en het werkelijk bepaalde brandstofverbruik.

In het eerste vak met theoretisch verbruik wordt weergegeven wat er gemeten is aan de motor op de verschillende datums en de hierbij verschillende uitkomsten. In het tweede vak wordt het werkelijke verbruik weer gegeven. Met werkelijk verbruik wordt bedoeld wat het verbruik is dat bepaald is aan de hand van peilingen van de tanks aan boord van de Rotra Mare.

| Overzicht brandstofverbruik |                               |            |               |                    |                       |                    |           |
|-----------------------------|-------------------------------|------------|---------------|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------|
| datum                       | Theoretisch verbruik          | rpm        | kw            | verbruik rapporten | verbruik berekeningen | specifiek verbruik | bijlage   |
| 20-8-2008                   | acceptance test record        | 500        | 7999          | 1524 kg/h          | 36,58 t/dag           | 190,5 g/kWh        | 14        |
| 26-5-2016                   | cilinderdruk meet rapport     | 500        | 7680          | 1490 kg/h          | 35,76 t/dag           | 194,0 g/kWh        | 9         |
| 14-6-2016                   | test proefvaart origineel rpm | 500        | 6882          | 1541,3 kg/h        | 36,99 t/dag           | 224,0 g/kWh        | 10        |
| 14-6-2016                   | test proefvaart verlaagd rpm  | 450        | 4900          | 1086 kg/h          | 26,06 t/dag           | 221,6 g/kWh        | 11        |
| 6-3-2017                    | meetrapport eind proefvaart   | 450        | 5277          | 1000 kg/h          | 24,00 t/dag           | 189,50 g/kWh       | curveblad |
| 6-3-2017                    | meetrapport eind proefvaart   | 450        | 4104          | 800 kg/h           | 19,20 t/dag           | 194,94 g/kWh       | curveblad |
|                             |                               |            |               |                    |                       |                    |           |
|                             |                               |            |               |                    |                       |                    |           |
| <b>Werkelijk verbruik</b>   |                               |            |               |                    |                       |                    | bijlage   |
| 12-5-2016                   | dagverbruik uit oliejournaal  | 500        | -             | 19,93 m3/dag       | 16,72 t/dag           |                    |           |
| 9-3-2017                    | dagverbruik uit oliejournaal  | 450        | 3510          | 14 m3/dag          | 11,75 t/dag           |                    |           |
|                             |                               |            |               |                    |                       |                    |           |
| dichtheid MDO               |                               | 0,839 kg/l | [bunkerbrief] |                    |                       |                    | 17        |

Tabel 10, Overzicht brandstofverbruik

## Bijlage 20 uitlaatgassenreiniger interviews

Hieronder volgen de interviews met de volgende uitlaatgassenreinigerleveranciers: Alfa Laval, Wartsila en AEC Maritiem. Deze leveranciers zijn experts op het gebied van uitlaatgassenreiniging en veel van hun installaties worden al toegepast op schepen. Deze interviews zijn gehouden doormiddel van email en telefonisch contact. De opgevraagde informatie is gebaseerd op de beschikbare gegevens van de Rotra Mare.

### Alfa Laval

Hieronder worden de resultaten van het onderzoek weergegeven. Deze resultaten zijn verkregen doormiddel van een interview met de heer Meilof, Sales Manager Exhaust Gas Cleaning. De volgende kenmerken zijn met de heer Meilof besproken: onderhoud, kosten en afmetingen. Via e-mail en telefonisch contact zijn de volgende vragen gesteld:

#### Wat zijn de afmetingen van de scrubber passend bij de Rotra Mare?

De afmetingen van de scrubber worden;

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| Hoogte:                  | 7,6 m   |
| Breedte:                 | 3,9 m   |
| Diameter scrubber body:  | 1,9 m   |
| Gewicht exclusief water: | 4,1 ton |
| Gewicht inclusief water: | 5,0 ton |

Deze afmetingen zijn bepaald aan de hand van de parameters van de hoofdmotor.

#### Hoeveel gepland onderhoud is er nodig om het systeem operationeel te houden?

De scrubber vereist weinig onderhoud van de bemanning. Het systeem is volledig geautomatiseerd, wat betekent dat het opstarten van het systeem vanzelf gedaan wordt. Onderhoud aan het systeem is minimaal, dit komt omdat er weinig beweegbare onderdelen zijn in de uitlaatgassenreiniger. Er zal wel dagelijks visueel gecontroleerd moeten worden, en verder zal er in het zeewater systeem de pomp en filters geïnspecteerd moeten worden.

#### Wat zijn de aanschaf kosten van een dergelijk systeem?

Het scrubber systeem dat geleverd wordt door Alfa Laval kost 820.000,-

Dit zijn de kosten inclusief 10 dagen installatie ondersteuning en 20 dagen voor het in bedrijfstellen van de scrubber.

#### Wat worden de inbouw kosten?

Deze kosten worden door de werf bepaald. De werf is verantwoordelijk voor het aanleveren, ontwerpen en installeren van het bijkomende staalwerk, leidingwerk, isolatiewerk en alle elektrische bekabeling van de componenten.

#### Wat zijn de onderhoudskosten van een dergelijk systeem?

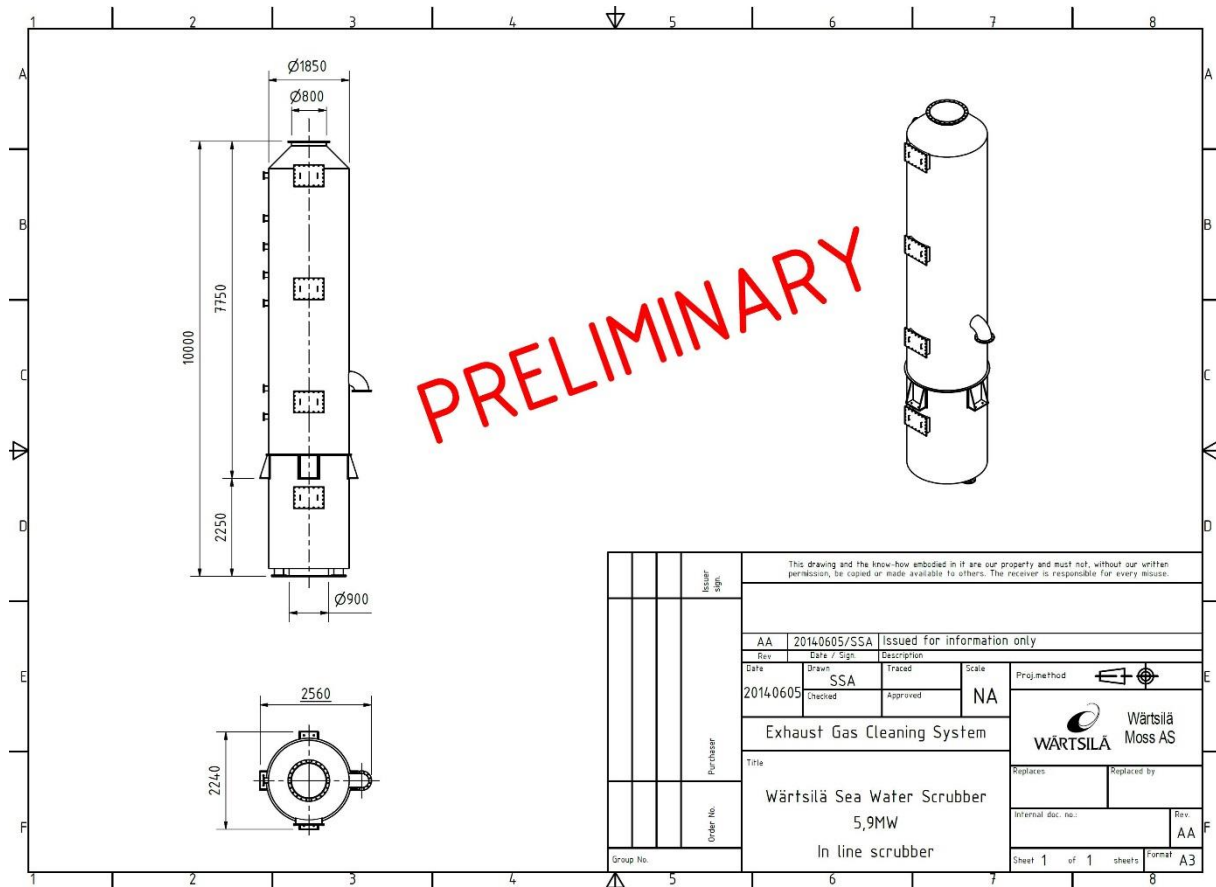
Volgens de heer Meilof moet 3% per jaar als richting aangehouden worden.

## Wartsila

Hieronder worden de resultaten van het onderzoek weergegeven. Deze resultaten zijn verkregen doormiddel van een interview met de heer Ståle Finsrud, Senior Sales Manager van Wartsila Scrubbers Noorwegen. De volgende kenmerken zijn met de heer Finsrud besproken: onderhoud, kosten en afmetingen. Via e-mail en telefonisch contact zijn de volgende vragen gesteld:

### Wat zijn de afmetingen van de scrubber passend bij de Rotra Mare?

Zie afbeelding 38 hieronder. De scrubber zal ongeveer 10 meter hoog worden en een diameter van 1,85 hebben.



Afbeelding 38, Preliminary Scrubber Design (Finsrud, Preliminary Scrubber Design).

### Hoeveel gepland onderhoud is er nodig om het systeem operationeel te houden?

Het systeem is zeer betrouwbaar en vereist weinig onderhoud, het enige wat moet is het dagelijks controleren doormiddel van visueel inspecteren. En verder zal het zeewater systeem wat onderhoud vereisen, denk hierbij aan pomp en filter inspecties.

### Wat zijn de aanschaf kosten van een dergelijk systeem?

De budget kosten voor een open-loop systeem scrubber zullen grof geschat rond de 1.350.000,-.

### Wat worden de inbouw kosten?

Grof geschat worden de kosten verdeeld door 45% onderdelen, 5% ontwerp en 50% installatie.

### Wat zijn de procedures voor het opstarten van de scrubber?

Volledig geautomatiseerd.

Wat zijn de onderhoudskosten van een dergelijk systeem?

Ongeveer 1 a 2% jaarlijks, in tabel 11 hieronder wordt een grof onderhoudsschema weergegeven.

| Maintenance schedule          | Bi-annually | Annually                            | Monthly                        | Weekly                | Daily             | Comments                                         |
|-------------------------------|-------------|-------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------------------------|
| Handled by ships crew         |             | Scrubber system                     | Check for leakages/ vibrations | Visual inspection     | Daily inspections |                                                  |
|                               |             | Water treatment plant               |                                | Refill chemicals      |                   | Dependent on how often system run in closed loop |
| Handled by external companies |             |                                     |                                | Emptying holding tank |                   |                                                  |
|                               |             |                                     | Emptying sludge tank           |                       |                   |                                                  |
| Handled by service engineers  | Pumps       | Calibration of monitoring equipment |                                |                       |                   |                                                  |
|                               | Fans        |                                     |                                |                       |                   |                                                  |

Tabel 11, Maintenance schedule, (Finsrund, Scrubber maintenance schedule)

Wat is het elektrisch verbruik van de scrubber?

Zie tabel 12 hieronder.

| Unit                       | Power consumption                    | Unit                         | Power consumption |
|----------------------------|--------------------------------------|------------------------------|-------------------|
| Scrubbing water pumps (kW) | Depending on pump size and pump head | Make-up water pump (kW)      | 1 x 6.3           |
| Wash water pumps (kW)      | Depending on pump size               | Main control panel (kW)      | 1.3               |
| Cooling water pumps (kW)   | Depending on pump size               | Gas analyser panel (kW)      | 5.5               |
| Settling water pump (kW)   | 1.0                                  | Sealing air fans (kW)        | 0.75 / fan        |
| BOTU (kW)                  | 1 x 3                                | Water monitoring module (kW) | 2 x 0.75          |
| Alkali feed module (kW)    | 1 x 0.1                              |                              |                   |

Tabel 12, Electric power consumption (Finsrund, Electric power consumption)

Moeten er componenten van de scrubber aan het noodschakelbord gekoppeld worden?

Nee.

## AEC Maritiem

Hier volgend worden de resultaten weergegeven van het interview met de heer: Jurriën de Vries van AEC Maritiem. Er is gesproken over onderhoud, kosten, en een "return on investment" (ROI). Tijdens de gesprekken over de mail en via de telefoon zijn de volgende vragen gesteld en deze resultaten behaald:

### Wat is het formaat van de scrubber?

|                      |                               |
|----------------------|-------------------------------|
| Material             | Special alloy 1.4529 ( 6 MO ) |
| Diameter (cm.)       | <b>230</b> cm                 |
| Height (cm.)         | <b>1.100</b> cm               |
| Weight empty (kg.)   | <b>6.100</b> kg               |
| Weight running (kg.) | <b>6.750</b> kg               |

Tabel 13, scrubber formaat (Vries, Size scrubber).

### Wat is de benodigde vereiste ruimte voor de scrubber?

Een scrubber wordt altijd op maat gemaakt. Volgens de tekeningen is er te zien dat er genoeg ruimte voor een scrubber en de bijbehorende apparatuur is. Echter om dit definitief te bepalen is het noodzakelijk om een stap verder te gaan, en een team van AEC Maritiem naar het schip te sturen om metingen uit te voeren.

### Hoeveel onderhoud vereist de scrubber?

Een scrubber op zich vereist nagenoeg geen onderhoud. De equipment eromheen, zoals pompen, meet en regeltechniek e.d. vereisen uiteraard wel regulier onderhoud.

### Wat zijn de procedures voor het opstarten van de scrubber?

Het opstarten van onze scrubbers is geautomatiseerd. Dat wil zeggen dat het systeem eenvoudig vanuit de controlekamer kan worden gestart en gestopt.

### Wat is de aanschafprijs van de scrubber?

#### Input data OPEN loop

|                                                                                                     |                                     |                    |                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|---------------------------------|
| Name                                                                                                |                                     |                    |                                 |
| Engine Power Rating [kW]                                                                            | 5400                                |                    |                                 |
| Average Load                                                                                        | 85%                                 |                    |                                 |
| Number of main engines                                                                              | 1                                   |                    |                                 |
| Total running [hrs/year]                                                                            | 5200                                |                    |                                 |
| Amount of time in Seca                                                                              | 100%                                |                    |                                 |
| \$->€                                                                                               | 0,9                                 |                    |                                 |
| Sulphur allowance non-seca (assuming law enters force in 4 years from now)                          |                                     |                    |                                 |
|                                                                                                     | 0,50%                               |                    |                                 |
| Power Usage of Scrubber                                                                             | 1,00%                               |                    |                                 |
| Sulphur percentage IFO                                                                              | 2,80%                               |                    |                                 |
| Depreciation time [years]                                                                           | 1                                   |                    |                                 |
| Interest Rate [interest paid over installation and equipment costs per year, worst case considered] | 0%                                  |                    |                                 |
| Equipment and Installation Costs [€]                                                                | € 1.950.000,00                      |                    |                                 |
| Sludge Disposal Costs [€/ton]                                                                       | € -                                 |                    |                                 |
| NaOH 50% Solution Costs [€/ton]                                                                     | € -                                 |                    |                                 |
| AMOUNT of sludge created (% kg/kg of fuel)                                                          | 0%                                  |                    |                                 |
| Maintenance/operations [€/yr]                                                                       | € 30.000,00                         |                    |                                 |
| Fuel Properties                                                                                     |                                     |                    |                                 |
| Fuel                                                                                                | Marine Diesel Oil or ULS-HFO (0.1%) | IFO 380 (max 3.5%) | Low Sulphur Fuel Oil (max 0.5%) |
| mass needed [gr/kW/hr]                                                                              | 180,00                              | 180,00             | 180,00                          |
| Price [\$/ton]                                                                                      | \$ 423,00                           | \$ 249,00          | \$ 300,00                       |

Tabel 14, scrubber kosten (Vries, ROI Scrubber system, Rotra Mare).



#### Hoeveel verwacht u voor de inbouw kosten?

In dit stadium is dat heel erg lastig te schatten, maar gebaseerd op de inbouw ervaring zou ik voorlopig met EUR 1.000.000,- rekening houden.

Dit getal heb ik ook in de ROI verwerkt

#### Wat zullen de onderhoudskosten zijn van de scrubber?

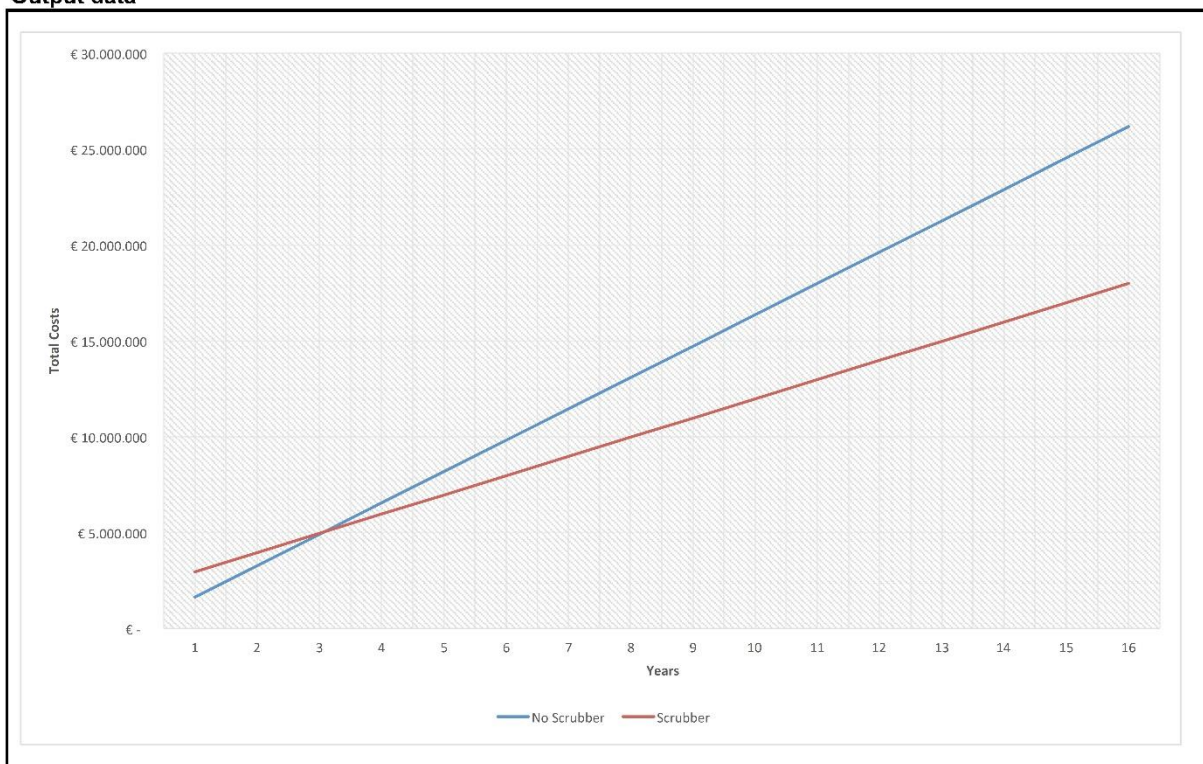
Ook hier kunnen we eigenlijk pas goed antwoord op geven in een gedetailleerde offerte.

Ik heb nu rekening gehouden met EUR 30.000,- per jaar voor onderhoud en operationele kosten zoals E-load.

#### Wat wordt de Return On Investment?

Te zien in afbeelding 39 hieronder zou de Rotra Mare volgens de heer de Vries. Na drie jaar varen met een uitlaatgassenwasser quitte komen te staan met investeringskosten.

#### Output data

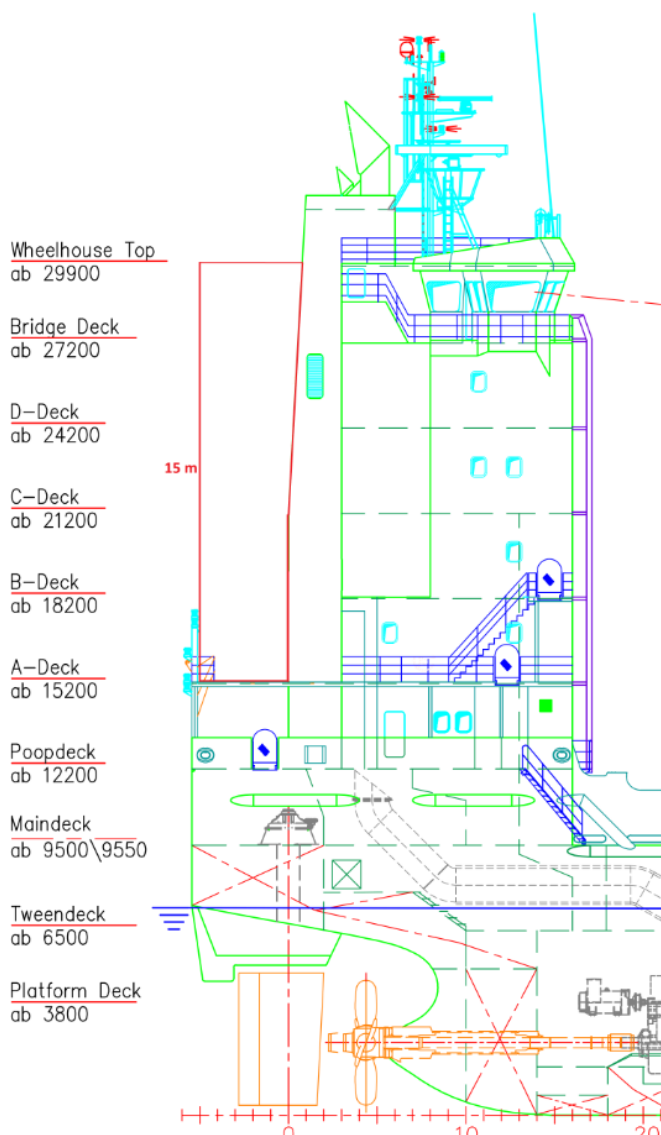


Afbeelding 39, ROI scrubber (Vries, ROI Scrubber system, Rotra Mare).

## Bijlage 21 Uitlaatgassenreiniger installatie

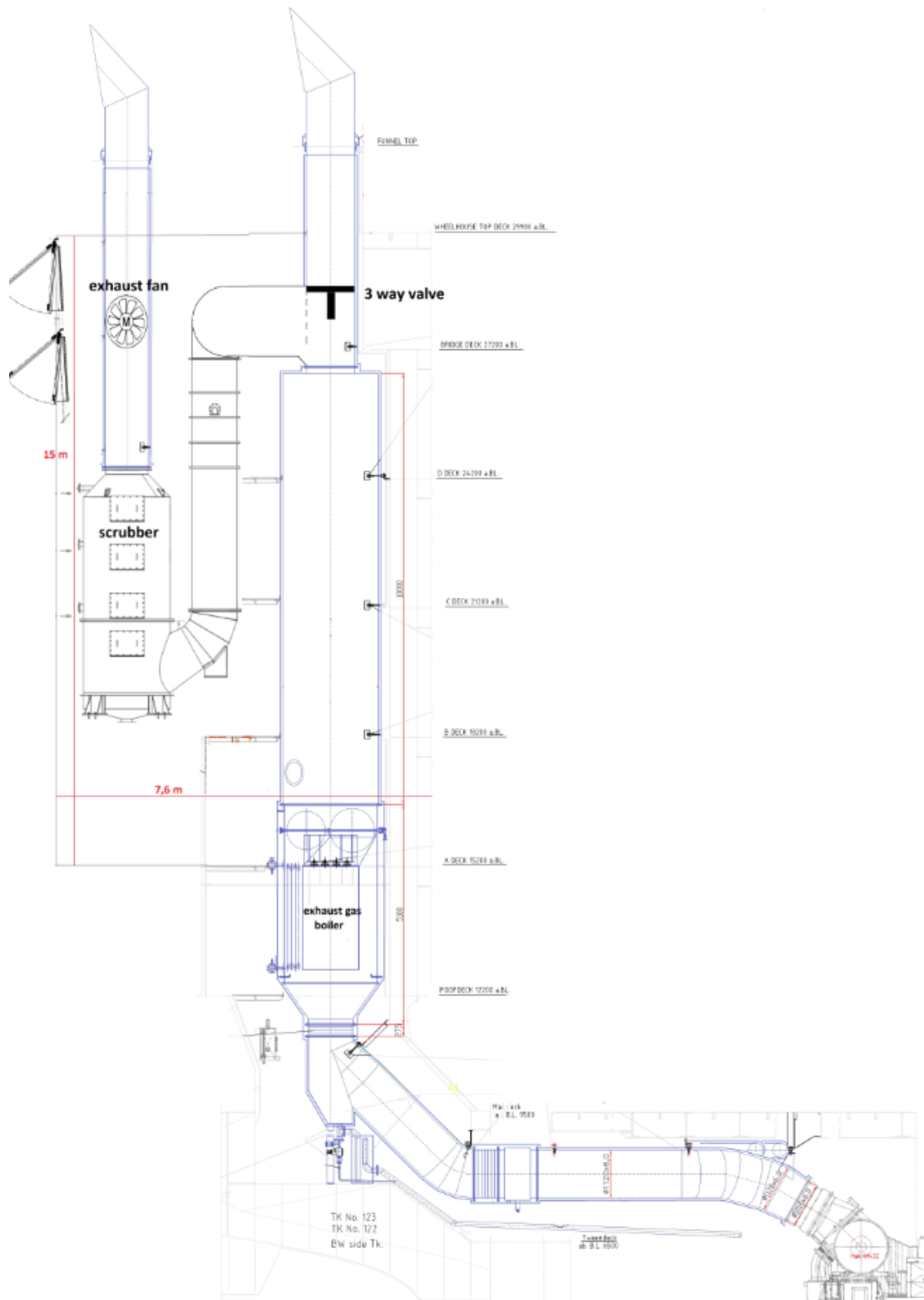
Mocht er besloten worden om een uitlaatgassenreiniger te installeren dan komt deze tegen de achterkant van de huidige schoorsteen, vanaf het A-Dek tot het Brug Dek. Te zien in de afbeeldingen hiernaast is dat de beschikbare nieuwe ruimte 3,4 x 4 x 15 (LxBxH) meter wordt. Deze ruimte is net iets te smal, want de uitlaatgassenreiniger van AlfaLaval heeft een ruimte van 1,9 x 3,9 x 7,6 (LxBxH) meter nodig. Dit probleem kan worden opgelost door de tussenwand op sommige plaatsen er tussen uit te halen. Na de installatie van de scrubber wordt er nog een uitlaatgassenventilator geplaatst om de tegendruk op te heffen.

De scrubber wordt pas vanaf het B-dek gemonteerd, hierdoor blijft de ruimte onder de scrubber op het A-dek leeg. Dit is om de overige scrubber apparatuur daar te kunnen plaatsen en om de bakboord en stuurboord kant van het A-dek met elkaar te verbinden, doormiddel van een gang met twee deuren.



Afbeelding 40, beschikbare ruimte uitlaatgassenreiniger

Hieronder volgt een concept tekening van de uitlaat met ingebouwde uitlaatgasreiniger aanboord van de Rotra Mare. De uitlaatgasreiniger in het voorbeeld is afgeleid van de reiniger van Alfa Laval. In de tekening is te zien dat de uitlaatgasreiniger past, maar met benodigde aanpassingen aan de staalconstructie van de bestaande schoorsteen.



Afbeelding 41, concept tekening uitlaatgasreiniger ingebouwd

## Bijlage 22 Uitlaatgassenreiniger installatiekosten

### Installatie kosten berekening volgens Holland Shipyards

Hieronder volgen de kosten berekeningen gemaakt door Holland Shipyards. De berekeningen zijn om de installatieprijzen van de uitlaatgassenreiniger leveranciers te controleren.

| Kosten berekening uitlaatgassenreiniger installatie |                     |          |                     |                    |
|-----------------------------------------------------|---------------------|----------|---------------------|--------------------|
| materialen                                          | aantal              |          | kosten              | totaal             |
| zeewater pompen                                     | 2 stuks             |          | 10000 €/stuk        | € 20.000           |
| waswaterpomp                                        | 1 stuks             |          | 3500 €/stuk         | € 3.500            |
| kleppen en appendages                               | ± 12 stuks          |          | 15000 €             | € 15.000           |
| uitlaatgassen ventilator                            | 1 stuks             |          | 20000 €/stuk        | € 20.000           |
| GRE leidingen                                       | 150 m               |          | 150 €/meter         | € 22.500           |
| elektra kabels                                      | 400 m               |          | 10 €/meter          | € 4.000            |
| roosters                                            | 54,4 m <sup>2</sup> |          | 50 €/m <sup>2</sup> | € 2.720            |
| verf en conserveren                                 |                     |          |                     | € 10.000           |
| staalwerk nieuwe schoorsteen                        |                     |          |                     | € 13.212           |
| engineering                                         |                     |          |                     | € 1.500            |
|                                                     |                     |          |                     | +                  |
| <b>totaal materialen</b>                            |                     |          |                     | <b>€ 112.432</b>   |
| uren                                                | aantal              |          | kosten              | totaal             |
| maken nieuwe schoorsteen                            | 500 uur             |          | 30 €/uur            | € 15.000           |
| uitbouwen oude schoorsteen                          | 400 uur             |          | 30 €/uur            | € 12.000           |
| inbouwen nieuwe schoorsteen                         | 600 uur             |          | 30 €/uur            | € 18.000           |
| installatie overige apparatuur                      | 500 uur             |          | 100 €/uur           | € 50.000           |
| in bedrijf stellen scrubber                         | 300 uur             |          | 75 €/uur            | € 22.500           |
| leidingwerk                                         | 420 uur             |          | 50 €/uur            | € 21.000           |
| elektra                                             | 300 uur             |          | 60 €/uur            | € 18.000           |
| verf en concervering                                | 200 uur             |          | 40 €/uur            | € 8.000            |
| mobiele kraan                                       | 8 uur               |          | 200 €/uur           | € 1.600            |
|                                                     |                     |          |                     | +                  |
| <b>totaal uren</b>                                  | <b>3228 uur</b>     |          |                     | <b>€ 166.100</b>   |
|                                                     |                     |          |                     |                    |
| <b>TOTAAL €</b>                                     | <b>materialen</b>   | <b>+</b> | <b>uren</b>         | <b>= € 278.532</b> |
|                                                     |                     |          |                     |                    |
| <b>toeslag extra materiaal</b>                      |                     |          | 5 €/uur             | € 16.140 +         |
|                                                     |                     |          |                     | <b>€ 294.672</b>   |
|                                                     |                     |          |                     |                    |
| <b>algemene kosten</b>                              |                     |          | 10 %                | € 29.467 +         |
| <b>TOTALE INBOUWKOSTEN</b>                          |                     |          |                     | <b>€ 324.139</b>   |

Tabel 15, Totale inbouwkosten berekening

Onderaan de streep komen nog wat extra kosten voor benodigde materialen, zoals: laselektrodes, slijpschijven en veiligheidskleding. Daarna worden er nog eens een extra 10% algemene kosten bijgerekend. Dit zijn de kosten tijdens het gehele project, zoals: het gebruik van het kantoor, magazijn, heftruck, hijskranen enzovoorts.

Het uurtarief per verschillende tak van werkzaamheden is bepaald aan de hand van de standaard uurtarieven richtlijnen van Holland Shipyards. Op de volgende pagina staat tabel 16 dit is de berekening voor het staalwerk van de uitlaatgassenreiniger.

[illegible]

De hier bovenstaande berekening is voor de staalconstructie die nodig is om de uitlaatgasreiniger te beschermen van de elementen en te ondersteunen in stevigheid. De staalconstructie is afgeleid van de huidige schoorsteen. Deze heeft bijna dezelfde afmetingen als de nieuwe aanbouw. De staalprijs gebruikt in de berekening is dezelfde prijs die Holland Shipyards gebruikt bij andere kosten calculaties.

## Uiteindelijke besparing na installatie van een uitlaatgassenreiniger.

De besparing wordt bepaald door de brandstofkosten te vergelijken als het schip op dieselolie (MDO) of op zware olie (HFO) vaart. Het verschil in kosten is wat er op het lange termijn gewonnen wordt als er een uitlaatgassenreiniger geïnstalleerd is. De kosten van een uitlaatgassenreiniger en installatie zijn erg hoog. Hierdoor duurt het een paar jaar voordat het zichzelf heeft terugverdiend. Het moment wanneer een uitlaatgassenreiniger zichzelf terugverdiend, hangt af van een aantal factoren, zoals: vaardagen per jaar, verschilprijs tussen MDO en HFO, het verbruik van de motor per dag en het vaarschema van het schip. Het vaarschema is van groot belang, omdat als een schip vaker en langer vaart, de uitlaatgassenreiniger de kosten eerder terug heeft verdiend dan als een lang schip stil ligt. In de berekening wordt rekening gehouden met deze factoren. In de berekening wordt er rekening gehouden met tien jaar om de uitlaatgassenreiniger terug te verdienen, dit is gedaan in overleg met Holland Shipyards.

| Jaren tot break even berekening     |                |                     |                 |                   |                     |                     |                 |                   |       |
|-------------------------------------|----------------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------------|---------------------|-----------------|-------------------|-------|
| bunkerprijzen                       |                |                     |                 |                   |                     |                     |                 |                   |       |
| MDO te Rotterdam                    | 21-3-2017      | € 453,00            | ton             |                   |                     |                     |                 |                   |       |
| HFO te Rotterdam                    | 21-3-2017      | € 277,50            | ton             |                   |                     |                     |                 |                   |       |
| verschilprijs MDO-HFO               |                | € 175,50            | ton             |                   |                     |                     |                 |                   |       |
| dichtheid MDO                       | [bunkerbrief]  | 0,839               | kg/ltr          |                   |                     |                     |                 |                   |       |
| verbruik per dag                    | [m3]           | 14                  | m3              |                   |                     |                     |                 |                   |       |
| verbruik per dag                    | [ton]          | 11,75               | ton             |                   |                     |                     |                 |                   |       |
| scrubber leveranciers               |                | <b>AEC Maritiem</b> | <b>Wartsila</b> | <b>Alfa Laval</b> |                     | <b>AEC Maritiem</b> | <b>Wartsila</b> | <b>Alfa Laval</b> |       |
| scrubber kosten                     |                | € 950.000           | € 675.000       | € 820.000         |                     | € 950.000           | € 675.000       | € 820.000         |       |
| installatie kosten                  | [leveranciers] | € 1.000.000         | € 675.000       | € 1.000.000 +     | [Holland Shipyards] | € 324.139           | € 324.139       | € 324.139 +       |       |
| scrubber + installatie kosten       |                | € 1.950.000         | € 1.350.000     | € 1.820.000       |                     | € 1.274.139         | € 999.139       | € 1.144.139       |       |
| rente over 10 jaar                  | 6%             | € 1.170.000         | € 810.000       | € 1.092.000       |                     | € 764.483           | € 599.483       | € 686.483         |       |
| onderhoudskosten over 10 jaar       |                | € 300.000           | € 135.000       | € 246.000 +       |                     | € 300.000           | € 135.000       | € 246.000 +       |       |
| totale scrubber kosten over 10 jaar |                | € 3.420.000         | € 2.295.000     | € 3.158.000       |                     | € 2.338.622         | € 1.733.622     | € 2.076.622       |       |
| kosten per jaar op basis 10 jaar    |                | € 342.000           | € 229.500       | € 315.800         |                     | € 233.862           | € 173.362       | € 207.662         |       |
| minimaal brandstofverbruik per jaar |                | 1949                | 1308            | 1799              | ton                 | 1333                | 988             | 1183              | ton   |
| minimaal aantal vaardagen per jaar  |                | 166                 | 111             | 153               | dagen               | 113                 | 84              | 101               | dagen |

Tabel 17, Jaren tot break even berekening

Er is berekend hoeveel dagen het schip minimaal per jaar moet varen om de uitlaatgassenreiniger binnen 10 jaar terug te verdienen. Om een schatting te geven hoeveel dagen het schip per jaar zou gaan varen, is gekeken naar het zusterschip de Rotra Vente. Dit schip vaart ongeveer 10 volle dagen per maand; dit zijn 120 dagen per jaar. Deze waarde wordt aangehouden als 'break even point': het punt waar de uitlaatgassenreiniger geld gaat verdienen.

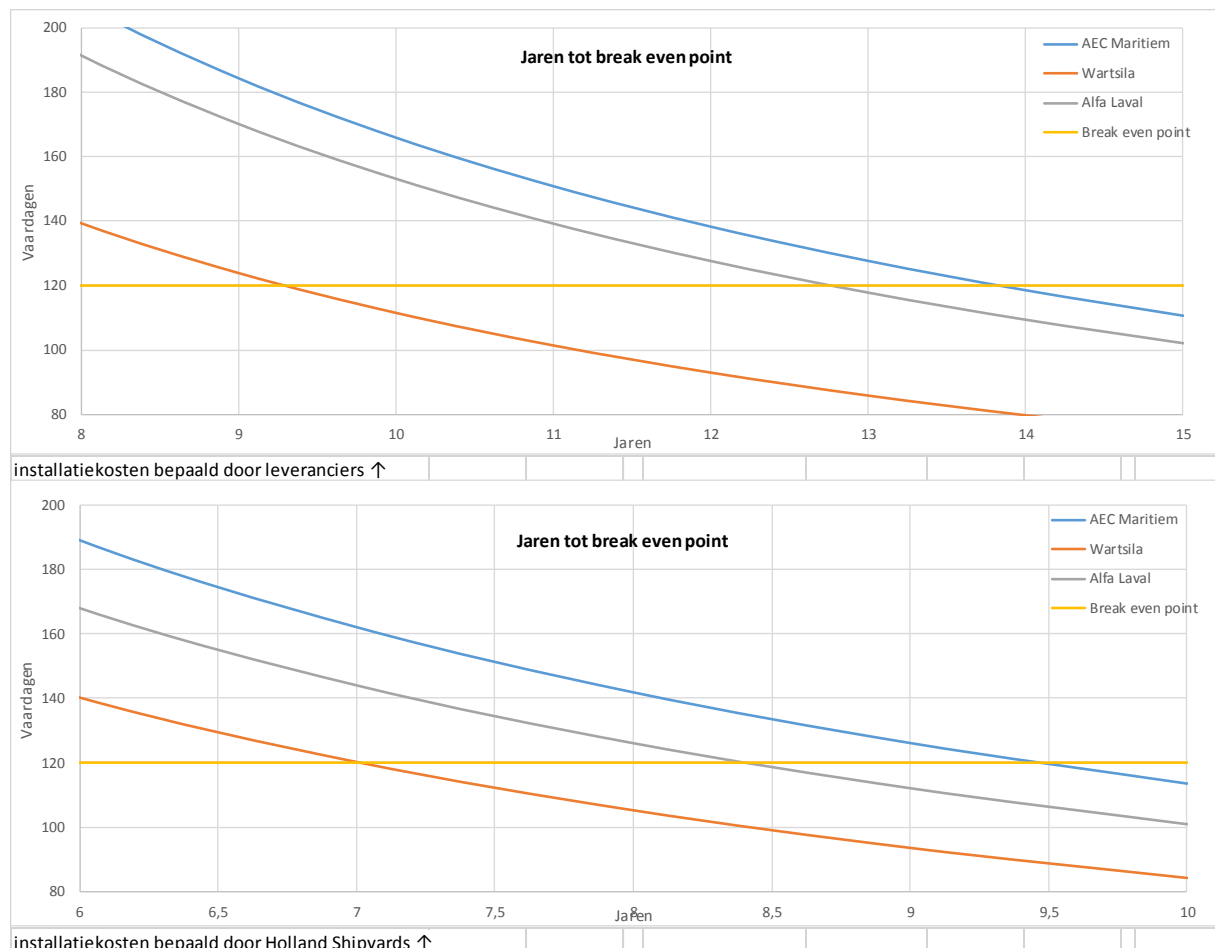
## Uitleg berekeningen

Allereerst wordt er bepaald hoeveel een ton MDO en een ton HFO kost. Het prijsverschil hiertussen is namelijk van belang voor de kosten terugwinning. Vervolgens wordt door het specifieke brandstofverbruik samen met het hoofdmotorvermogen het verbruik in ton per dag berekend. In tabel 17 is te zien dat alle drie de kosten van de verschillende uitlaatgassenreiniger leveranciers worden vergeleken, elk met zijn eigen aanschafkosten en onderhoudskosten per jaar. In de kolommen daarnaast wordt dezelfde berekening gedaan, maar dan met de installatiekosten bepaald door Holland Shipyards.

Verder wordt er rekening gehouden met rente. Deze rente is bepaald op basis van de lening die de aanschafkosten en installatie moet vergoeden, berekend over tien jaar lenen. Vervolgens worden de onderhoudskosten eraan toegevoegd. Deze kosten zijn berekend over tien jaar gebruik van de uitlaatgassenreiniger. Dit alles bij elkaar levert de totale kosten van een de uitlaatgassenreiniger op tien jaar. Om deze kosten binnen tien jaar te kunnen dekken wordt er berekend hoeveel er elk jaar bespaard moet worden. Zoals al eerder gemeld, hangt deze besparing af van het verschil in brandstofkosten en het vaarschema van de Rotra Mare. Het minimale brandstofverbruik, zie tabel 17, wil zeggen dat als de uitlaatgassenreiniger binnen tien jaar terugverdiend moet zijn, het schip deze hoeveelheid brandstof per jaar moet verbruiken. Aan de hand van het verbruik van het schip wordt er gerekend tot hoeveel vaardagen dit leidt. Als dit meer dan 120 per jaar zijn, lukt het niet om de uitlaatgassenreiniger binnen tien jaar terug te verdienen (zie de oranje gekleurde cellen).

### Break even point grafieken

De twee afgebeelde grafieken hieronder laten zien wanneer de verschillende uitlaatgassenreinigers zichzelf hebben terugverdiend. De gele lijn stelt het 'break even point' voor. Wanneer de uitlaatgassenleveranciers deze lijn passeren, heeft de uitlaatgassenreiniger zichzelf en de installatiekosten terug verdiend. De bovenste grafiek gebruikt de installatiekosten van de leveranciers en de onderste gebruikt de installatiekosten van Holland Shipyards.



Afbeelding 42, jaren tot break even grafiek



## Bijlage 23 Bunkerbrief



Bunkerbarge : adjo

Vessel : FLINTER CROWN / POTRA MORE

Product : DMA/ISO 8217:2010 Gasoil

Specification : Density ...0,839 KG/Ltr  
(typ. 0,840/15oC)  
Sulphur 750mg/kg  
Flashpoint.....75,6.....oC  
Cetane index min 40  
Visc. (Kinematic at 40oC):  
min 2,0/max 6,0 cst  
MCR on 10% max 0,30  
Lubricity max 520

Litres 15oC :40000.....  
Metric tons 15oC :.....  
Date :10-06-2016.....  
Port ROTTERDAM

The fuel oil is hereby certified to be supplied in conformity with regulation 14 (1) of Marpol 73/78 annex VI.

For the purpose of this regulation one (1) sample will be provided.

One (1) another sample will be retained onboard the bunker charge.

Sample Seal no. (imo) vessel (receiver) : 4815921

Sample seal no. (imo) vessel (receiver) : 4815922

Sample seal no. (imo) barge (supplier) : 4815923

Samples taken continuously throughout whole bunkering no

Vessel's IMO no.

Signature  
Supplier's representative/  
Barge Captain

Signature  
Vessel's representative/  
Master

Afbeelding 43, bunkerbrief