

Uitlaatgassen scrubber aan boord van de Mv. Deo Volente

Onderzoeksverslag



David Janse
HZ University of Applied Sciences

Onderzoeksverslag

Scriptieopdracht Maritiem Officier

Uitlaatgassen scrubber aan boord van de Mv. Deo Volente

Naam:	David Janse
Opdrachtgever:	Hartman Seatrade, De heer T. Hartman
Contactgegevens:	T. Hartman info@hartmanseatrade.nl David Janse janse.david@gmail.com
Opleiding:	Maritiem Officier
Opleidingsinstelling:	HZ University of Applied Sciences
Mentor:	Dhr. A. de Groot
Versie:	1.2
Datum:	07 juni 2017
Plaats:	Vlissingen
Omslagfoto:	David Janse

Abstract

This research has been executed on behalf of the shipping company Hartman Seatrade. This research has been done due to the new rules of the IMO (International Maritime Organisation), according the sulphur emissions of ships. In 2008 is decided that from the year 2020, sulphur emissions for ships are not allowed to exceed 0,5% worldwide. In the SECA area's this sulphur limit is unchanged at 0,1%. These new rules will have major consequences for the shipping industry. Today, many ships use the cheap fuel HFO(Heavy Fuel Oil). HFO has a sulphur content of 3.5%, which is prohibited from the year 2020. To comply with the new rules of the IMO, a change to a more expensive low-sulphur fuel (like gasoil) should be made. The second option is to clean the exhaust gasses by an exhaust gas cleaning system.

This research is done for the ship 'Mv. Deo Volente' from the shipping company Hartman Seatrade. The purpose was to find the cheapest way to transport the cargo and at the same time to comply with the new rules. To get the best results, the following main question has been asked:

Is it economical profitable to purchase and retrofit an exhaust gas scrubber on board of the 'Mv. Deo Volente' to comply with the new rules for sulphur emissions?

To find the best answers on the main question, the research is divided in 3 parts. In the first part it is investigated which scrubber type is the most suitable one for the Deo Volente. Seen on the results, an inline open-loop scrubber is the cheapest solution to comply with the new rules. This type of scrubber takes the smallest space and has the lowest purchase and maintenance costs.

The best place on board of the ship for fitting the exhaust gas scrubber is investigated in the second part of the research. The results have shown that the best position for the scrubber is on portside aft on the ship, in the funnel. With some adjustments to the funnel, it fits inside the funnel in place of the damper. The other auxiliary systems that are required for the good operation of the scrubber are the wash water pumps, some seawater filters and a hydrocyclone. This equipment can be placed portside aft in the engine room, as seen in appendix 8. There is enough space available to fit the 3 centrifugal pumps, the hydrocyclone and the other equipment. The gasoil tank 5, nowadays used as storage for gasoil, can be converted to storage tank for the chemical alkali additives and another part can be used as residence tank.

The economical profit of a scrubber is investigated in the last part of the research. With the current sailing time of 17% in a SECA area, the purchase of an exhaust gas scrubber is not profitable. The return of investment time is far above the 20 years. Nevertheless, using various calculations, the research has shown that, when the IMO will apply the new rules in 2020, the installation of an exhaust gas scrubber is the best and cheapest solution. Depending on the price difference between HFO and Gasoil and the sailing area, the payback time of a scrubber is about 3 to 8 years.

After finishing this research, it has been concluded that it is economical profitable to retrofit an exhaust gas scrubber on board of the Deo Volente. The space for fitting a scrubber is available and the return of investment time is within an acceptable time period.

Inhoudsopgave

1. Inleiding	1
1.1 Probleemstelling.....	1
1.2 Doelstelling.....	2
1.3 Onderzoeksvraag.....	2
2. Theoretisch kader	3
2.1 Regelgeving op het gebied van zwaveluitstoot.....	3
2.2 Voldoen aan de regelgeving van nu en in de toekomst	5
2.3 Scrubber systemen beschikbaar.....	6
2.4.1 Droge scrubbers	6
2.4.2 Natte scrubbers	6
2.4.3 Voor en nadelen van de beschikbare scrubbers	8
3. Onderzoeksmethode.....	9
4. Resultaten.....	12
4.1 Keuze voor een scrubber	12
4.2 Montage van een scrubber aan boord van de Mv. Deo Volente	15
4.2.1 Montage scrubber unit.....	15
4.2.2 Montage hulpsystemen.....	16
4.3 Economisch voordeel van een scrubber	18
5. Discussie.....	21
6. Conclusie	22
Figurenlijst	23
Bibliografie	24
Bijlage 1: Scheepsgegevens Mv. Deo Volente	25
Bijlage 2: Technische specificaties Wärtsilä 8L32	26
Bijlage 3: LCCA van verschillende scrubber systemen.....	27
Bijlage 4: Brandstofprijzen Rotterdam 2010-2016.....	28
Bijlage 5: Afmetingen inline scrubber installatie Wärtsilä	29
Bijlage 6: Montage scrubber unit aan boord van de Deo Volente	30
Bijlage 7: Afmetingen componenten ontluchtingstank en hydrocycloon.....	32
Bijlage 8: Overzichtstekening inline open-loop scrubbersysteem	33
Bijlage 9: Berekeningen voor het bepalen van de ROI van de scrubber	34

Afkortingenlijst

ECA	Emission Controlled Area
SECA	Sulpher Emission Controlled Area
IMO	International Maritime Organisation
MEPC	Marine Environment Protection Committee
LCCA	Life Cycle Cost Analysis
HFO	Heavy Fuel Oil
ULSHFO	Ultra Low Sulpher Heavy Fuel Oil
MGO	Marine Gas Oil
LNG	Liquid Natural Gas
NaOH	Natrium Hydroxide
CaOH	Calcium Hydroxide
pH	Potentiaal Hydrogenium, zuurtegraad van een oplossing
SCR	Selective Catalytic Reduction
CAPEX	Capital Expenditures
OPEX	Operating Expenditures
ROI	Return Of Investment

1. Inleiding

1.1 Probleemstelling

Rederij Hartman Seatrade uit Urk is een kleine rederij met 3 schepen in beheer: Mv. Deo Volente, Mv. Arctic Rock en Mv. Northern Rock. Het schip de Deo Volente heeft de mogelijkheid om op zware olie en op gasolie varen. De 2 zusterschepen Arctic Rock en Northern Rock varen alleen op gasolie.

Dit onderzoek wordt uitgevoerd voor het schip de Mv. Deo Volente (figuur 1). Het schip is eigendom van de rederij Hartman Seatrade uit Urk. Dit schip is in 2007 ontworpen en gebouwd door de werf Hartman Marine uit Urk. De hoofdmotor is een Wärtsilä 8L32 met een vermogen van 3680KW (zie bijlage 2). De scheepsgegevens zijn terug te vinden in bijlage 1. (Hartman Seatrade, 2016)



Figuur 1: Mv. Deo Volente. (Hartman Seatrade, 2016)

Sinds 1 januari 2015 is het maximale zwavelgehalte in de brandstof die gebruikt wordt in een SECA (Sulpher Emission Controlled Area) gebied, verlaagd van 1,00% naar 0,10% zwavel. Deze maatregel geldt in alle SECA gebieden zoals de Baltische zee, Noordzee en Amerikaanse kustwateren (IMO, 2016). Op 28 oktober 2016 heeft de IMO (International Maritime Organisation) op de vergadering van het MEPC (Marine Environment Protection Committee) besloten het zwavelgehalte in de brandstof terugbrengen van de huidige 3,5% tot 0,50% zwavel in 2020. (IMO, 2016).

De laatste jaren is het vaargebied van de Deo Volente voornamelijk de Middellandse zee en de Noordzee. Om aan de regels van de IMO te voldoen vaart het schip in de SECA gebieden op gasolie. Verwacht wordt dat de Middellandse zee in de toekomst ook een SECA gebied gaat worden. (Meech, 2006) Dit zal economische gevolgen hebben omdat er dan bijna het hele jaar door op gasolie gevaren moet worden. MGO is met een gemiddeld prijsverschil van ongeveer 200 \$/Mt een duurdere brandstof dan HFO met 3,8% zwavel. (Bunkerindex.com, 2017)

Dit prijsverschil zorgt voor een duurdere reis. Om ook in de toekomst zo goedkoop mogelijk te kunnen varen en toch aan de regels te voldoen moet er een oplossing gezocht worden.

Naast het varen op gasolie is er een andere manier om aan de regels te voldoen, namelijk door middel van het plaatsen van een uitlaatgassen scrubber. Voordat er een scrubber wordt aangeschaft moet er onderzocht worden of het economisch rendabel is om met een scrubber aan boord te gaan varen. Tevens zal er moeten worden onderzocht welk type scrubber het meest geschikt is, gezien op de beschikbare ruimte, aan boord van het schip de Deo Volente.

1.2 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is inzicht krijgen over opties voor het plaatsen van een scrubber op de Deo Volente en het economisch voordeel daarvan. In dit onderzoek worden de verschillende scrubbers die verkrijgbaar zijn vergeleken. Hieruit wordt een conclusie getrokken welke scrubber het meest geschikt is met het oog op de beschikbare ruimte en motor. Met behulp van tekeningen van het schip wordt onderzocht waar de scrubber het beste geplaatst kan worden. Ook wordt er een plek gezocht voor de benodigde pompen en leidingen.

Vervolgens wordt er een kostenafweging gemaakt waarin duidelijk te zien is of de aanschaf van een scrubber economisch rendabel is. Er wordt in diverse scenario's onderzocht of de brandstofkosten die bespaard worden door het varen op zware olie opwegen tegen de aanschaf en inbouw van een scrubber. Aan de hand van die kostenbesparingen wordt berekend wanneer de scrubber winstgevend gaat worden.

De uitkomst van dit onderzoek kan de rederij Hartman Seatrade helpen bij de beslissing voor het wel- of niet aanschaffen van een scrubber aan boord van de Deo Volente. Met het uiteindelijke doel: zo goedkoop mogelijk varen!.

1.3 Onderzoeksvraag

Is het economisch rendabel om een uitlaatgassenscrubber te plaatsen aan boord van de 'Mv. Deo Volente' zodat er aan de nieuwe regelgeving met betrekking tot de zwavel uitstoot wordt voldaan?

- Welk type scrubber is het meest geschikt voor aan boord van de Deo Volente?
- Hoe kan de montage van een scrubber aan boord van de Deo Volente gerealiseerd worden.
- Wegen de kosten van een scrubber op tegen de besparing die op het gebied van brandstofkosten behaald wordt?

2. Theoretisch kader

2.1 Regelgeving op het gebied van zwaveluitstoot

De Nederlandse wetgeving erkent de regels van de IMO. Dat betekent dat schepen die onder de Nederlandse vlag varen moeten voldoen aan de eisen die gesteld zijn door de IMO. De regels die gaan over het milieu zijn ondergebracht onder de MARPOL regelgeving. De MARPOL regelgeving is verdeeld in 6 hoofdstukken. In hoofdstuk 6 staan de regels die gaan over de luchtverontreiniging door schepen. In regel 14 van hoofdstuk 6 worden de regels op het gebied van de SO_x-uitstoot weergegeven.

Huidige regelgeving

De huidige regelgeving met betrekking tot de zwavel uitstoot is op de volgende manier verdeeld; Er zijn een aantal gebieden aangewezen waar veel minder zwavel mag worden uitgestoten: de SECA(Sulpher Emission Controlled Area's) gebieden, daarnaast zijn er regels voor alle gebieden daarbuiten. In deze gebieden mag meer zwavel uitgestoten worden.

In figuur 2 is de huidige regelgeving op het gebied van de uitstoot van zwavel weergegeven van de IMO uit MARPOL annex VI, regel 14.

Outside an ECA established to limit SO _x and particulate matter emissions	Inside an ECA established to limit SO _x and particulate matter emissions
4.50% m/m prior to 1 January 2012	1.50% m/m prior to 1 July 2010
3.50% m/m on and after 1 January 2012	1.00% m/m on and after 1 July 2010
0.50% m/m on and after 1 January 2020*	0.10% m/m on and after 1 January 2015

Figuur 2: Toegestane zwavelpercentages. (IMO, 2016)

De SECA gebieden waarin minder SO_x uitgestoten mag worden zijn:

1. Baltic Sea area - (SO_x only);
2. North Sea area - (SO_x only);
3. North American area - (SO_x, SO_x PM)
4. United States Caribbean Sea area - (SO_x, NO_x PM).

In figuur 3 zijn met de donkere kleur blauw de ECA gebieden in de kaart weergegeven zoals deze vandaag de dag gelden. Met de lichtere kleur blauw zijn de gebieden weergegeven die mogelijk in de toekomst een ECA gebied worden.

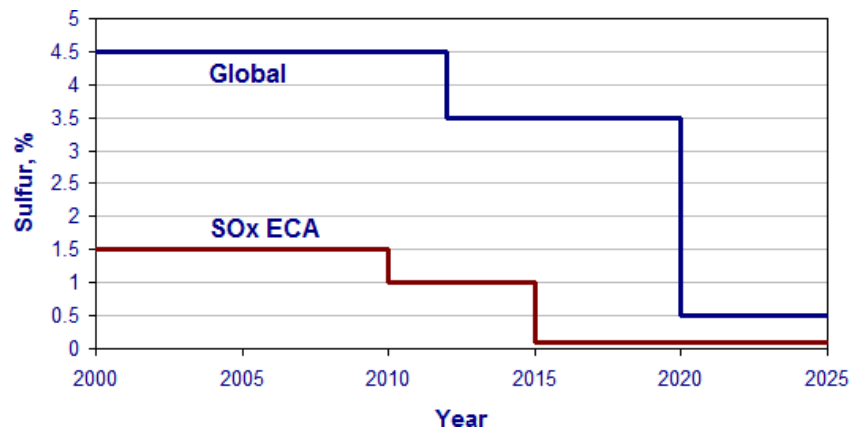


Figuur 3: SECA gebieden wereldwijd. (Gossett, 2012)

Toekomstige regelgeving

De uitstoot van schadelijke gassen wordt steeds meer beperkt. De regels met betrekking op de uitlaatgassen veranderen daarom continue. In figuur 4 is het verloop van de regelgeving op het gebied van de zwaveluitstoot weergegeven. Na het verlagen van de toegestane SO_x uitstoot van 1% naar 0,1% in januari 2015 heeft de IMO een nieuwe regel bepaald die ingaat in 2020.

Vanaf het jaar 2020 wil de IMO de maximale uitstoot van zwavel wereldwijd verlagen naar 0,5%. In 2018 komt er een onderzoek van de IMO uit waarin onderzocht wordt of er genoeg laagzwavelige brandstof beschikbaar is in 2020. Wanneer er uit dat onderzoek blijkt dat er tegen die tijd genoeg laagzwavelige brandstof aanwezig is en er genoeg reductie methoden beschikbaar zijn, zal de regelgeving in 2020 worden aangepast. Als uit het onderzoek blijkt dat dit niet het geval is wordt deze regelgeving uitgesteld tot 2025. (IMO, 2016)



Figuur 4: Toegestaan percentage zwavel. (Gossett, 2012)

Uit een onderzoek van de CEDelft wat in april 2016 uitgegeven is blijkt dat de beschikbaarheid van de laagzwavelige MGO groot genoeg is om de regel in 2020 te kunnen invoeren. Daarnaast blijkt dat, in tegenstelling tot wat verwacht werd, de brandstofprijs van MGO sneller zakt dan die van HFO. (E. den Boer, 2016)

2.2 Voldoen aan de regelgeving van nu en in de toekomst

Om aan de regels van de IMO, op het gebied van zwaveluitstoot, te voldoen zijn er 3 mogelijkheden:

- Op LNG(Liquid Natural Gas) gaan varen.
- Op MGO(Marine Gas Oil) gaan varen.
- Een uitlaatgassen scrubber aan boord monteren.

LNG

De brandstof LNG bevat nagenoeg geen zwavel. Ook wordt er bij de verbranding tot 85% minder NO_x uitgestoten als gevolg van de lagere temperaturen in de cilinders. Op dit moment is LNG goedkoop in aanschaf maar omdat LNG steeds meer in trek raakt is het onzeker of de prijs zo laag blijft. De ombouw naar LNG brengt veel kosten met zich mee. Het LNG vereist een speciale behandeling en dure systemen om het gas vloeibaar en weer terug in gasvorm te brengen. Voor het varen op LNG zullen dure aanpassingen aan het schip en de hoofdmotor moeten worden gedaan. De brandstof wordt als vloeibaar gas opgeslagen in speciaal ontworpen LNG-tanks, deze tanks nemen veel ruimte in beslag. (Herbert engineering corp., 2015)

Voor een zware-lading schip met project lading, zoals de Deo Volente, is hier geen ruimte voor. Omdat LNG geen realistische oplossing is om aan de regels van de IMO te voldoen wordt er in dit onderzoek alleen gekeken naar de opties om een scrubber aan te schaffen of het gaan varen op MGO.

Marine Diesel Oil

De eenvoudigste optie om aan de regels te voldoen is om over te schakelen op MGO met een zwavel gehalte van onder de 0,1%. Het schip de Deo Volente is al uitgerust met alle benodigde systemen om op twee brandstoffen (HFO en MGO) te varen. Door het overschakelen op laag zwavelige brandstof in de SECA gebieden kan tot aan de regels worden voldaan.

Na 2020, als de maximale zwavel uitstoot wereldwijd 0,5% is, zal overal op MGO of ULSHFO(0,1% zwavel) gevaren moeten worden. Om dit te realiseren zullen er aanpassingen aan het schip gedaan moeten worden. De huidige MGO tanks kunnen samen 84m³ brandstof opslaan. Er zullen extra brandstoftanks geschikt gemaakt moeten worden voor MGO om de opslagcapaciteit te vergroten. (Herbert engineering corp., 2015)

Uitlaatgassen Scrubber

Doormiddel van het aanschaffen van een scrubber systeem kan worden voldaan aan de eisen van de IMO op het gebied van de zwavel uitstoot. Een scrubber wordt geïnstalleerd in het uitlaatgassensysteem na de hoofdmotor en maakt bij het was proces van de uitlaatgassen gebruik van een droge substantie, zeewater of chemisch behandeld zoet water. De uitlaatgassen scrubbers kunnen worden verdeeld in 2 groepen: droge- en natte scrubber systemen. Beide systemen verwijderen het grootste gedeelte van de So_x en verminderen het fijnstof uit de uitlaatgassen. In hoofdstuk 2.3 worden de verschillende scrubber systemen vergeleken en hun werkingsprincipe uitgelegd. (American Bureau of Shipping, 2015) In figuur 5 worden de belangrijkste voor- en nadelen van een scrubber weergegeven.

Voordelen van een scrubber	Nadelen van een scrubber
Lagere brandstof kosten door het varen op HFO	Aanschaf kosten scrubber
Grotere brandstof beschikbaarheid van HFO	Ruimte vereist
Er kan met 1 soort brandstof aan boord worden gevaren dit vereenvoudigd het gebruik en het bunkeren	Extra vermogen vereist voor pompen enz.
Afhankelijk van het scheepstype, eenvoudig te installeren.	Onduidelijkheden bij vlagstaten en havens op het gebied van het lozen van waswater

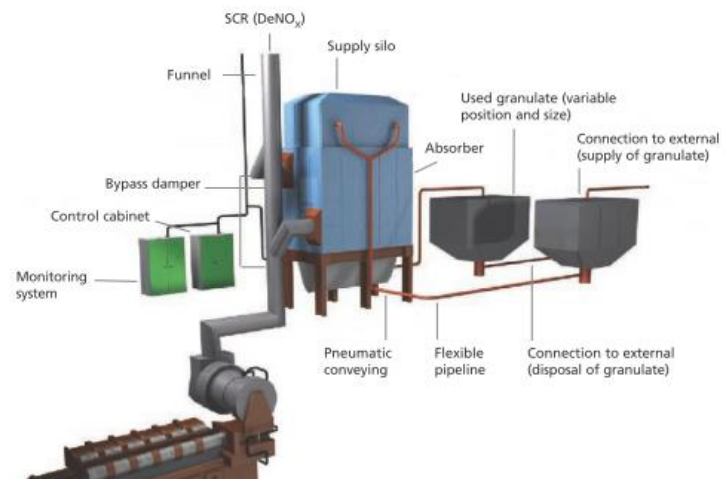
Figuur 5: Voor- en nadelen van een scrubber system. (American Bureau of Shipping, 2015)

2.3 Scrubber systemen beschikbaar

In dit hoofdstuk worden de scrubbers die vandaag de dag verkrijgbaar zijn weergegeven. Scrubbers zijn globaal te verdelen in 2 types namelijk: droge scrubbers en natte scrubbers. Er wordt kort weergegeven wat het werkingsprincipe en de eigenschappen van elk scrubber systeem zijn. Vervolgens worden op pagina 8 de scrubbers met elkaar vergeleken en de voor- en nadelen tegen elkaar opgezet.

2.4.1 Droge scrubbers

Een droge scrubber zoals weergegeven in figuur 6 maakt, in tegenstelling tot een natte scrubber, geen gebruik van water voor het was proces. De meeste droge scrubbers maken gebruik van calciumhydroxide (CaOH) korrels bij het was proces. De uitlaatgassen worden in contact gebracht met deze korrels. Deze korrels nemen het zwavel op uit de uitlaatgassen zodat de uitlaatgassen het schip schoon verlaten. Vanuit een reserve tank worden de korrels toegevoegd, na het gebruik worden de korrels opgeslagen en later aan wal afgegeven. Een voordeel van een droge scrubber is dat deze de uitlaatgassen niet afkoelt zoals een natte scrubber. Omdat de temperatuur gelijk blijft kan er eenvoudig een SCR systeem (Selective Catalytic Reduction) na het scrubber systeem geplaatst worden. Op die manier kan naast het zwavel ook de stikstof uit de uitlaatgassen verwijderd worden. (American Bureau of Shipping, 2015)

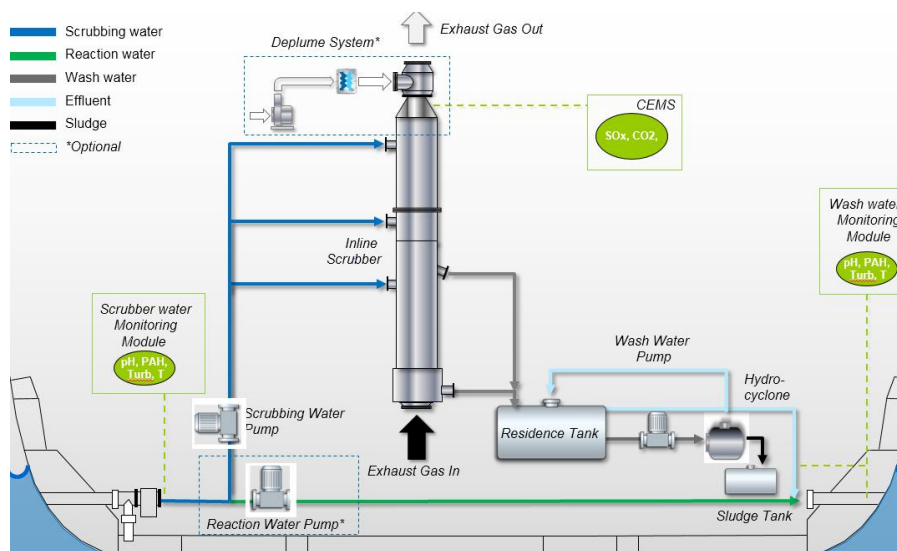


Figuur 6: Droge scrubber. (Lloyd's Register, 2012)

2.4.2 Natte scrubbers

Open-loop scrubber

Het open-loop scrubber systeem, zoals weergegeven in figuur 7, is het eenvoudigste systeem om zwavel uit de uitlaatgassen te verwijderen. Het systeem maakt gebruik van zeewater wat rechtstreeks door de scrubber gaat en het zwavel in zich opneemt. Daarna wordt het zeewater gefilterd op zware metalen en fijnstof. Als de pH op een acceptabel niveau is gaat het schoongemaakte waswater terug over boord. Er zijn geen extra sludge tanks aan boord nodig om de afvalstoffen op te slaan en te bewerken. In sommige gebieden of havens waar het water een hoger zuur gehalte heeft is het niet toegestaan om het afvalwater met zwavel in zee te lozen. (Lloyd's Register, 2012)



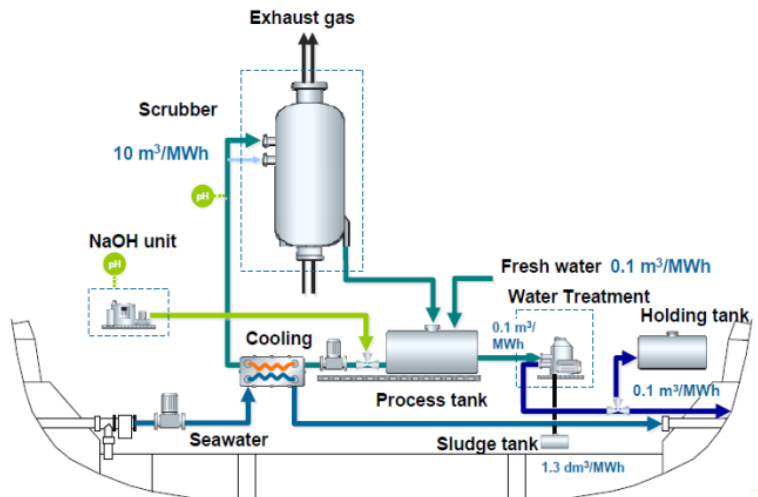
Figuur 7: Open-loop scrubber. (Wärtsilä, 2015)

Closed-loop scrubber

Een closed-loop scrubber systeem, zoals weergegeven in figuur 8, gebruikt zoet water met een chemische toevoeging om zwavel uit de uitlaatgassen te verwijderen. Omdat het zoete water wanneer het door de scrubber circuleert opwarmt wordt het gekoeld door zeewater. De chemische toevoeging die aan het water wordt toegevoegd is meestal natriumhydroxide (NaOH). Deze toevoeging zorgt ervoor dat het water basisch blijft en het zure zwavel op kan nemen. Met een closed-loop systeem kan in elk gebied of haven de scrubber gebruikt worden. Het grootste gedeelte van het afvalwater wordt aan boord opgeslagen in grote tanks en kan in de haven worden afgegeven. Een kleine hoeveelheid schoon en pH-neutraal water wordt in de zee geloosd. Het closed-loop systeem is een complexer en duurder dan een open-loop systeem.

Het closed-loop systeem is duurder doordat er in vergelijking met een open-loop systeem meer hulpsystemen vereist zijn:

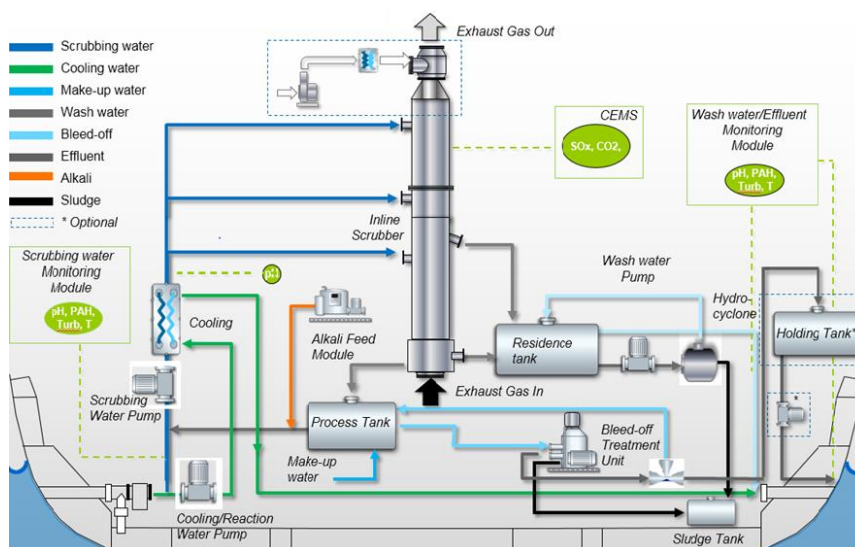
- Een natriumhydroxide unit die zorgt voor een basische toevoeging aan het koelwater.
- Een koelunit om het circulerende koelwater te koelen.
- Extra sludge tanken om de residuen op te slaan. (Lloyd's Register, 2012)



Figuur 8: Closed-loop scrubber. (CATERPILLAR & MAK, 2011)

Hybride scrubber

Een variatie op het closed-loop systeem is het hybride scrubber systeem wat weergegeven is in figuur 9. Het hybride systeem brengt het beste samen van een open-loop en een closed-loop scrubber. Wanneer er geen afval water gelost mag worden kan het systeem als closed-loop scrubber werken en het afvalwater opvangen in speciaal daarvoor ingerichte tanks. Als men in gebieden of havens vaart waar het lossen van water wat zwavel bevat geen probleem is kan er overgeschakeld worden op de open-loop scrubber zodat er geen extra kosten hoeven worden gemaakt voor het afgeven van het afvalwater. Doordat dit systeem 2 deelsystemen bevat is het nog duurder dan een closed-loop scrubber systeem. (Ship Operations Cooperative Program, 2011)



Figuur 9: Hybride scrubber. (Wärtsilä, 2015)

2.4.3 Voor en nadelen van de beschikbare scrubbers

De voor en nadelen van een droge scrubber:

Voordelen droge scrubber	Nadelen droge scrubber
Robuust en eenvoudig systeem	Grote afmetingen van een droge scrubber
Er komt geen enkele vorm van afval in het milieu terecht	Gewicht van een droge scrubber
Het afval wat afgegeven wordt kan worden hergebruikt	Beperkt aantal leveranciers beschikbaar om de zwavel absorberende korrels te leveren.
Gebruikt weinig vermogen doordat er geen pompen o.i.d. vereist zijn. (0,15-0,20% van het motorvermogen)	Extra kosten voor het aanschaffen van de zwavel absorberende korrels en voor het afgeven van het afval
Er kan eenvoudig nog een SCR (Selective Catalytic Reduction) achter geplaatst worden zodat de NO _x uitstoot verminderd wordt	Grote ruimte nodig voor opslag van de nieuwe en gebruikte korrels.

Figuur 10: Voor- en nadelen van een droge scrubber. (CATERPILLAR & MAK, 2011)

Een droge scrubber heeft veel ruimte aan boord nodig. In figuur 10 zijn de belangrijkste voor- en nadelen van een droge scrubber naast elkaar gezet. De droge scrubber zelf is groot en weegt veel. Daarnaast is een grote opslag van gebruikte en nieuwe zwavel absorberende korrels nodig. Een droge scrubber is wel een eenvoudig systeem wat geen afvalstoffen direct in het milieu afstoot. Droge scrubbers worden weinig gebruikt aan boord van schepen omdat ze duurder zijn en meer ruimte innemen dan een natte scrubber. (Panasiuk, 2014)

De voor en nadelen van de verschillende natte scrubbers:

	Open-loop scrubber	Closed-loop scrubber	Hybride scrubber
Chemische toevoeging vereist?	Geen toevoeging vereist	Zoetwater met toevoeging nodig. (NaOH)	Zoetwater met toevoeging nodig. (NaOH) in closed-loop mode
Overal te gebruiken?	Alleen in gebieden met basisch water	Ja	Ja
Opslag afvaltank nodig?	Nee, aanwezige sludge tank kan gebruikt worden.	Ja	Ja
Benodigd vermogen?	1-2% van het motorvermogen	0,5 -1% van het motorvermogen	0,5-2% van het motorvermogen
Flow zeewater?	+/- 45m ³ per MWh	+/- 20m ³ per MWh	In closed-loop +/- 20m ³ per MWh Open-loop +/- 45m ³ per MWh
Flow zoetwater	Geen	+/- 50L per MWh	+/- 50L per MWh in closed-loop

Figuur 11: Voor- en nadelen verschillende natte scrubbers. (Lloyd's Register, 2012) (Panasiuk, 2014)

In hierboven zijn in figuur 11 de belangrijkste eigenschappen en de voor- en nadelen van de natte scrubber systemen weergegeven. Het belangrijkste verschil tussen een closed-loop en een open-loop is dat een open-loop scrubber een eenvoudiger en daarmee ook een goedkoper is. Er zijn minder componenten vereist en een open-loop systeem heeft geen chemische toevoeging nodig. Het grootste nadeel van een open-loop scrubber is dat de zwavel samen met het zeewater weer de zee in gaat. In sommige gebieden is dit niet toegestaan. Het water is daar niet basisch genoeg en kan niet genoeg zwavel in zich opnemen. (Lloyd's Register, 2012)

In bijlage 3 is een LCCA(Life Cycle Cost Analysis) gemaakt met een overzicht te zien van een kosten waar rekening mee moet worden gehouden bij het aanschaffen van een scrubber. In dit overzicht is terug te zien dat een open-loop scrubber het goedkoopst in aanschaf is en ook in jaarlijkse uitgaven goedkoper is dan een ander type scrubber. (Ship Operations Cooperative Program, 2011)

3. Onderzoeksmethode

Om een juist en betrouwbaar antwoord op de onderzoeksvraag te krijgen is het onderzoek verdeeld in drie delen:

- **De keuze van een scrubber.** In het eerste deel van het onderzoek wordt door middel van kwantitatief deskresearch onderzocht welk scrubber systeem het meest geschikt is.
-
- **Het monteren van de scrubber.** Aan de hand van de beschikbare ruimte aan boord, wordt in het tweede deel onderzocht hoe de scrubber samen met de hulpsystemen het best aan boord geplaatst kunnen worden.
-
- **Het economische voordeel van een scrubber.** In het laatste deel van het onderzoek wordt met behulp van diverse scenario's onderzocht wanneer de ROI bereikt wordt en de scrubber winst brengt.

Keuze van een scrubber

In het theoretisch kader zijn diverse eigenschappen en de voor- en nadelen van de beschikbare scrubber systemen weergegeven. Aan de hand van die informatie en de eisen die door Hartman Seatrade gesteld zijn wordt een keuze voor een scrubber systeem gemaakt.

De belangrijkste eisen die aan de scrubber, voor aan boord van de Deo Volente, gesteld worden zijn:

- **De scrubber moet kunnen voldoen aan de eisen van de IMO.**
Dit betekent dat de uitlaatgassen na de scrubber minder dan 0,5% zwavel bevatten buiten een SECA gebied en dat het zwavelgehalte tot 0,1% gereduceerd kan worden in een SECA gebied.
- **De scrubber moet klein en compact zijn zodat deze aan boord gemonteerd kan worden.**
De scrubber moet aan boord van de Deo Volente gemonteerd kunnen worden, zonder dat er te veel ruimte wordt ingenomen.
- **De scrubber moet goedkoop in aanschaf en onderhoud zijn.**
Hoe goedkoper de scrubber in aanschaf en in onderhoud is, hoe eerder het ROI bereikt zal worden.

Wanneer de gekozen scrubber aan bovenstaande eisen voldoet, kan er gesteld worden dat er een betrouwbare keuze gemaakt is. De scrubbers van verschillende fabrikanten hebben nagenoeg dezelfde eigenschappen en afmetingen. Daarom wordt er niet voor een scrubber van een bepaalde fabrikant maar voor een algemeen scrubber systeem gekozen zoals de diverse fabrikanten het aanbieden.

Monteren van de scrubber

Na het maken van de keuze voor een scrubber zal de scrubber aan boord geïnstalleerd moeten worden. In het tweede deel van het onderzoek wordt, aan de hand van door de fabrikanten beschikbaar gestelde tabellen met afmetingen, onderzocht waar en hoe de scrubber met bijbehorende hulpsystemen het beste aan boord geplaatst kan worden. Het hangt van het gekozen scrubber systeem af welke hulpsystemen vereist zijn. Hieronder is in figuur 12 weergegeven welke hulpsystemen bij welke scrubber nodig zijn.

	Open-loop scrubber	Closed-loop scrubber	Hybride scrubber
Hoofd componenten van het scrubber systeem	-Scrubber -Waswater pompen, leidingen -Waswater behandeling -Sludge behandelingsystemen	-Scrubber -Waswater pompen, leidingen -Waswater mix tank -Waswater opslagtank -NaOH opslag tank -Waswater behandeling -Koelunit voor waswater -Sludge behandelingsystemen	-Scrubber -Waswater pompen, leidingen -Waswater mix tank -Waswater opslagtank -NaOH opslag tank -Waswater behandeling -Koelunit voor waswater -Sludge behandelingsystemen

Figuur 12: Benodigde hulpsystemen per scrubber systeem

Aan de hand van tekeningen van de machinekamer en het daadwerkelijk meten in de praktijk wordt gezocht naar de meest geschikte plaats voor de scrubber en hulpsystemen. Vervolgens worden de tijd en kosten bepaald die vereist zijn om de scrubber te monteren. De kosten van de scrubber en aanbouw delen zullen aan de hand van de, door de fabrikant verstrekte prijzen, worden bepaald. Wanneer er geen prijs bekend is zal er op basis van vergelijkbare onderdelen een schatting gemaakt worden. Deze prijs kan hoger of lager uitvallen.

Economisch voordeel van een scrubber

Ten slotte wordt er in het derde deel van het onderzoek onderzocht of het aanschaffen van een scrubber economische voordeel met zich mee brengt. De kosten die gemaakt worden door het gaan varen met een scrubber kunnen verdeeld worden in de CAPEX(Capital Expenditures) en OPEX(Operating Expenditures). Met CAPEX kosten worden de investeringskosten van de scrubber bedoeld, OPEX kosten zijn de terugkerende kosten zoals onderhoud en manuren. De keuze voor het wel- of niet aanschaffen van een scrubber hangt af van de winst die met een scrubber behaalt kan worden. Bij het berekenen van de kosten die gemaakt worden met het plaatsen en onderhouden van een scrubber worden onderstaande punten meegenomen:

- Aanschaf van de scrubber met nevensystemen zoals pompen, filters, een waterbehandelingssysteem, elektrische systemen en het leidingwerk.
- Montagekosten van de scrubber en nevensystemen.
- Stillig kosten van het schip wanneer de scrubber gemonteerd wordt.
- Onderhouds- en reparatiekosten wanneer er met de scrubber gevaren wordt.
- Manuren die in het onderhoud aan boord gestopt worden.
- Kosten die komen kijken bij een werkende scrubber: sludge afgifte, extra energie verbruik etc.

Bovenstaande kosten worden vergeleken met de extra brandstofkosten die gemaakt worden bij het blijven varen op MGO in de SECA gebieden. Uit een onderzoek waarin verschillende scenario's vergeleken worden zal blijken of er een ROI(Return On Investment) ontstaat en wanneer deze plaats vindt.

Een belangrijke factor die invloed heeft op moment van het behalen van de ROI is de brandstofprijs. In bijlage 4 is een overzicht weergegeven van de brandstofprijzen van 2010 tot 2016. Met behulp van een 'weighted moving average' van de olieprijs afgelopen jaren zal een prognose gemaakt worden voor de olie prijs in de toekomst. Deze prognose aan de hand van een 'weighted moving average' is betrouwbaar omdat er, als er gezien op de afgelopen 7 jaar, sprake is van een dalende trend in de olieprijs. Wanneer alleen naar het laatste jaar gekeken wordt is er een stijgende trend in de brandstof prijs te zien. Het prijsverschil (oranje lijn) tussen HFO en MGO is in de afgelopen 7 jaar afgenomen. (Bunkerindex.com, 2017)

De vaartijd in een SECA gebied, de achterliggende 2 jaar, is door dhr. T. Hartman op 20% van de totale vaartijd geschat. (Hartman, 2017) In het onderzoek zal dit, aan de hand van de gebunkerde brandstof nauwkeuriger vast gesteld worden. Met behulp van verschillende scenario's zal worden onderzocht wanneer de aanschaf van een scrubber economisch voordeel oplevert. Onderstaande scenario's zullen worden onderzocht met verschillende brandstofprijzen verschillen.

Onderzoek scenario's met betrekking tot het vaargebied

- Het schip vaart voor 10% in een SECA gebied
 - Het schip vaart voor 20% in een SECA gebied : Huidig scenario
 - Het schip vaart voor 35% in een SECA gebied
 - Het schip vaart voor 50% in een SECA gebied
 - Het schip vaart voor 70% in een SECA gebied
 - Het schip vaart voor 100 % in een SECA gebied of mag nergens meer dan 0,5% zwavel uitstoten. (zoals geldt met de nieuwe regel van de IMO)
-

4.Resultaten

4.1 Keuze voor een scrubber

Droge scrubber

Hoewel een droge scrubber een eenvoudig en onderhoudsarm systeem is, wordt dit type scrubber weinig gebruikt in de scheepvaart. Het grootste nadeel van een droge scrubber is de opslagcapaciteit die nodig is voor de calciumhydroxide korrels. De nieuwe en gebruikte korrels moeten aan boord worden opgeslagen en kunnen in de haven worden afgegeven. Aan boord van de Deo Volente is er niet genoeg ruimte beschikbaar voor deze extra opslagtanks. Een droge scrubber is niet haalbaar aan boord van de Deo Volente.

De keuze voor een geschikte scrubber is nog tussen de verschillende natte scrubbers: een open-loop, closed-loop of een combinatie in de vorm van een hybride scrubber. Beide systemen, open-loop en closed-loop hebben hun voor- en nadelen, in het theoretisch kader (hoofdstuk 2.4.3) zijn de belangrijkste weergegeven.

Waswaterbehandeling van natte scrubbers

Een belangrijk punt bij de keuze voor een natte scrubber is de waswater behandeling. Dit is per type scrubber verschillend. Een closed-loop systeem slaat het waswater op aan boord in een tank en lost dit vervolgens aan wal. Een open-loop scrubber mengt het waswater met het zeewater en pompt het weer overboord.

Op het moment van schrijven zijn er nog geen internationale regels op het gebied van het lozen van waswater. (Altena, 2017) Elk jaar houdt het Marine Environment Protection Committee (MEPC) van de IMO een vergadering over hoe de verontreinigingen door schepen kunnen worden beperkt en voorkomen. Het lossen van scrubber water is tot op heden nog niet besproken, naar verwachting zal dit wel op één van de volgende vergaderingen aan de orde komen.

De zuur opnemende capaciteit van het zeewater wordt de alkaliniteit genoemd. In zeewater met een lage alkaliniteit, zoals in de Baltische zee, zal het zeewater geen of weinig zwavel in zich opnemen. Wanneer op een komende MEPC vergadering besloten wordt dat een open-loop scrubber niet gebruikt mag worden in zeewater met een lage alkaliniteit kan er in die gebieden op gasolie gevaren worden, of wordt de keuze voor een closed-loop scrubber interessanter.

Elektrisch vermogen verbruik natte scrubbers

Wanneer gevaren wordt met een natte scrubber betekent zal het rendement van de voorstuwingslijn veranderen. Waar de asgenerator vandaag de dag 100KW aan het net levert zal het gevraagde vermogen met een closed-loop systeem 140 KW zijn. De 40 KW wordt in het closed-loop systeem gevraagd door 2 relatief kleine centrifugaal pompen. Één pomp voor het rondpompen van het waswater met ongeveer 40m³ per uur en 1 pomp voor het koelen van de platen koeler met zeewater. Met een open-loop systeem kan het benodigde vermogen oplopen tot wel 90 KW. Dit benodigde elektrisch vermogen is meer doordat het zeewater een flow van 200m³ door de scrubber moet hebben. De scrubberwater pompen en waswater pompen vragen zo veel vermogen dat het gevraagde vermogen aan de asgenerator op kan lopen tot 190KW. De asgenerator kan maximaal 350KW leveren dus in beide gevallen (open- en closed-loop) zal dit geen problemen geven.

De hoofdmotor levert op 100% vermogen 3680 KW aan het vliegwiel. Bij normaal zeegebruik blijft er hiervan, na de tandwielkast en asgenerator nog 3000 KW aan de schroef over. Bij het varen met een scrubber verandert dit vermogen doordat de asgenerator meer aan het net moet leveren. Dit betekent een rendementsverlies van de totale voortstuwingslijn. Bij een closed-loop is dit 1-2% en 2-3 % in geval van een open-loop scrubber. De vaart van het schip zal in geval van een open-loop systeem ook lager worden doordat er minder vermogen aan de schroef overblijft.

Closed-loop

Het grootste voordeel van een closed-loop systeem is dat het waswater wordt opgeslagen aan boord. Dit betekent dat er in havens en gebieden met water wat een laag alkanisch gehalte heeft de scrubber toch gebruikt kan worden. Dit is tegelijk ook een nadeel van een closed-loop scrubber: er is een extra tank vereist om het waswater op te slaan. Het waswater gaat met $0.1 \text{ m}^3/\text{MWh}$ naar de opslagtank. Voor een reis van 14 dagen geeft dit een totaal $14 * 24 * 3.68 * 0,1 = 123.6 \text{ m}^3$ waswater wat opgeslagen moet worden en later afgegeven wordt aan wal.

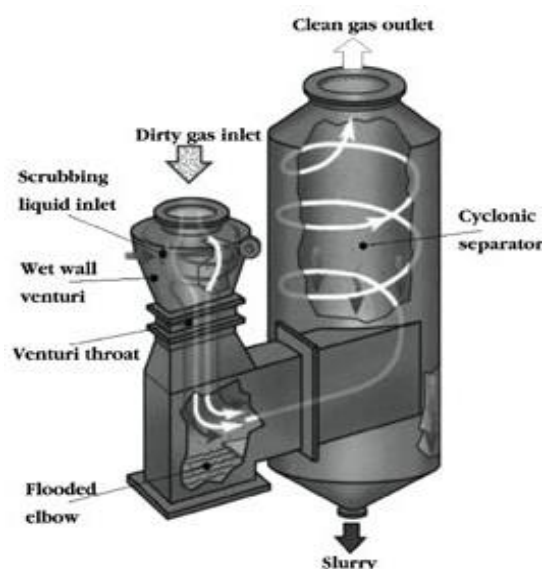
Een closed-loop scrubber verbruikt $0.1 \text{ m}^3/\text{MWh}$ zoet water. Dit betekent voor de Deo Volente een extra verbruik van 8.8 m^3 zoet water per dag. De watermaker maakt momenteel 5 m^3 zoet water per dag. Hiervan wordt ongeveer $2,5 \text{ m}^3$ dagelijks gebruikt voor bijvoorbeeld de separatoren of het soppen aan dek. Voor een closed-loop scrubber is een nieuwe watermaker met een grotere capaciteit nodig. Daarnaast verbruikt een closed-loop scrubber een chemische. Deze toevoeging, bijvoorbeeld natriumhydroxide moet ook worden opgeslagen aan boord.

Open-loop

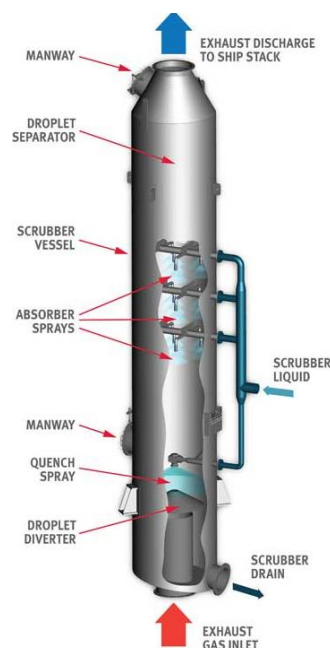
Een open-loop scrubber is de meest eenvoudige optie. Deze scrubber neemt de minste ruimte in en heeft geen extra kosten voor het afgeven van waswater aan wal. Een open-loop scrubber is ook het goedkoopst in aanschaf en montage. Een nadeel van een open-loop scrubber is dat dit systeem in vergelijking tot een closed-loop systeem een hoog energie verbruik heeft. .. KW tegen over .. KW bij een closed-loopsysteem. De oorzaak hiervan zijn de grote scrubberwater pompen die vereist zijn om het zeewater met 200 m^3 door de uitlaatgassen scrubber te pompen.

De traditionele scrubber wordt ook wel de venturi scrubber genoemd. Bij de venturi scrubber zoals in figuur 13 weergegeven komen de uitlaatgassen er bij de venturi in. Door de venturi krijgen de uitlaatgassen een versnelling en wordt het waswater wat geïnjecteerd wordt verneveld. Vervolgens gaan de uitlaatgassen door de bredere pijp (cyclonic separator), waar het zwavel samen met het waswater onderaf afgevoerd worden, daarna verlaten de uitlaatgassen schoon het schip. Wärtsilä en andere scrubber fabrikanten hebben een nieuw en meer compact type scrubber ontwikkeld. Dit type scrubber wordt ook wel de 'inline' scrubber genoemd. Bij dit type scrubber, in figuur 14 weergegeven, komen de uitlaatgassen direct van onder de scrubber in. Vervolgens wordt op verschillende niveaus water geïnjecteerd. Het water reageert met de zwavel en neemt deze mee naar de afvoer onderin de scrubber. Een inline scrubber neemt minder ruimte in beslag dan de traditionele scrubber en doet daarnaast tegelijk dienst als demper.

Een bijkomend ongemak van een inline open-loop scrubber is dat er een alkali toevoeging vereist is wanneer er op HFO met 3.5% zwavel gevaren wordt en het zwavel gehalte terug gebracht moet worden naar 0.1%. De alkali wordt voordat het zeewater de scrubber in gaat meegenomen en zorgt er voor dat het zeewater basisch genoeg is om de zwavel er uit te wassen en neutraal de scrubber te verlaten. Het verbruik van de alkali is 5 L/MWh . Dit komt neer op $0.005 * 3.86 * 24 = 0.46 \text{ m}^3$ per dag. De kosten van deze toevoeging liggen tussen de 300 en 350 euro per ton. Totaal geeft dit een extra kostenpost van ongeveer 150 euro per dag. Deze kosten treden alleen op in een SECA gebied waar een zwavel limiet van 0.1% geldt. Buiten het SECA gebied wordt de scrubber zonder Alkali gebruikt en verminderd deze het zwavelpercentage in de uitlaatgassen van 3.5% naar 0,5%.



Figuur 13: Traditionele venturi scrubber (pacific)



Figuur 14: Inline scrubber (Marin log)

Keuze

Omdat er nog geen geldende regels op het gebied van het lozen van waswater zijn wordt er in dit onderzoek de keuze gemaakt voor een inline open-loop scrubber. Dit is op dit moment, met het oog op de in de methode opgestelde eisen, de beste optie. Een open-loop scrubber neemt de minste ruimte aan boord in en is de goedkoopste scrubber om aan de regels van de IMO te voldoen. De inline open-loop scrubber wordt verder in hoofdstuk 4.2 en 4.3 van dit onderzoek gebruikt om de montage aan boord te onderzoeken en het economisch voordeel van een scrubber te bepalen.

Benodigde componenten om het open-loop scrubber systeem te laten functioneren.

- Zee inlaten inclusief grof zeewater filter

Voor de aanzuig en afvoer van het zeewater moet in de romp een zee inlaat en uitlaat gemonteerd worden. Na deze inlaten is een grof zeewaterfilter vereist om vuil in de scrubber te voorkomen.

- Alkali opslag tank

Om alle zwavel uit de uitlaatgassen te verwijderen is een extra alkali injectie nodig. De verbruikte alkali per dag is $0,46\text{m}^3$ per dag in een SECA gebied.

- Scrubber water pompen

Voor de toevoer van het zeewater aan de scrubber zijn 2 centrifugaal pompen nodig. De vereiste capaciteit van de pompen is voor de gekozen scrubber is $150\text{ m}^3/\text{hr}$ per pomp.

- Ontluchtingstank

Het waswater wat door de scrubber is gegaan wordt opgevangen in een ontluchtingstank. Het hoofddoel van deze tank is om het waswater een periode de tijd te geven zodat het de gassen zich kunnen scheiden van het water voordat het naar de hydrocycloon gaat. Het water wat door de hydrocycloon is schoongemaakt komt terug in de ontluchtingstank en wordt via de schone kant over boord geloosd.

- Waswater pomp

Voor het verpompen van het waswater uit de ontluchtingstank naar de hydrocycloon is een waswater pomp nodig. Deze pomp heeft een capaciteit van $200\text{m}^3/\text{hr}$.

- Hydrocycloon

Voor het verwijderen van fijnstof en metaaldeeltjes uit het waswater is een hydrocycloon vereist zoals weergegeven in figuur 15. De hydrocycloon verwijdert het vuil en geeft het af aan de sludgetank. Het schone waswater wordt terug de zee in gepompt.

- Sludgetank

De afvalstoffen die ontstaan bij het schoonmaken van het waswater, zoals fijnstof en metaaldeeltjes, worden afgevoerd naar een sludgetank of een aparte 1m^3 IBC.

- CEMS (Continuous Emission Monitoring System)

Een CEMS wordt gemonteerd om de SO_x en CO_2 gehalte in de brandstof te meten. Zo kan aangetoond worden dat aan de regels van de IMO voldaan wordt.

- Water monitoring module

Het scrubber systeem vereist een water monitoring module die de zuurgraad (pH waarde) van het water meet voordat het water de zee in gaat.



Figuur 15: Hydrocycloon Wärtsilä

4.2 Montage van een scrubber aan boord van de Mv. Deo Volente

4.2.1 Montage scrubber unit

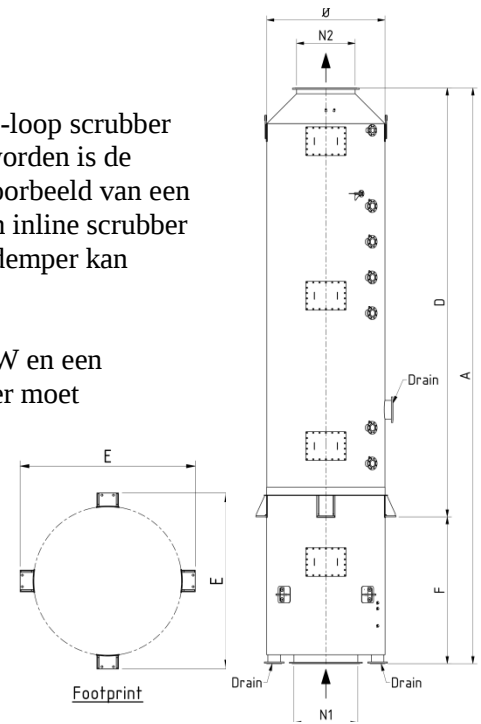
In dit hoofdstuk wordt de montage van de, in hoofdstuk 4.1 gekozen, open-loop scrubber onderzocht. De scrubber waarvan de afmetingen als voorbeeld genomen worden is de inline scrubber van de fabrikant Wärtsilä. Deze scrubber geeft een goed voorbeeld van een compacte scrubber. Vergeleken met de traditionele venturi scrubber, is een inline scrubber aanzienlijk kleiner. Met deze scrubber is geen demper vereist, de huidige demper kan verwijderd en vervangen door de scrubber worden.

De Deo Volente is uitgerust met een motor met een vermogen van 3680KW en een uitlaatgassenflow van 7.9 kg/s op 100% load (bijlage 2). Een natte scrubber moet verticaal gemonteerd worden om het was proces optimaal te houden.

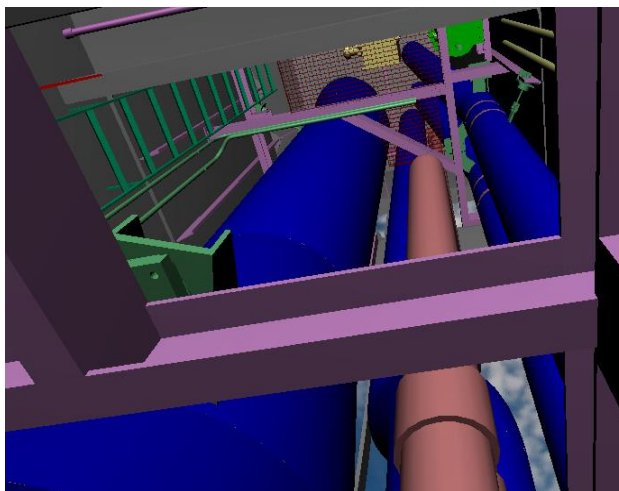
In bijlage 5 figuur 29 is een tabel weergegeven met de formaten scrubbers. Hieruit volgt dat de benodigde scrubber een hoogte 'A' van 8,80m vanaf inlaatzijde tot uitlaatzijde heeft zoals te zien is in figuur 16. De maximale lengte en breedte 'E' zijn gelijk aan elkaar en worden gesteld op 1,84m inclusief montagesteunen. Aan één kant is extra onderhoudsruimte nodig van 1,0m x 1,5m. Het gewicht van de scrubber is 3600kg.

Aan boord van de Deo Volente is de meest geschikte positie voor de scrubber: bakboord op het achterschip, op de plaats van de funnel.

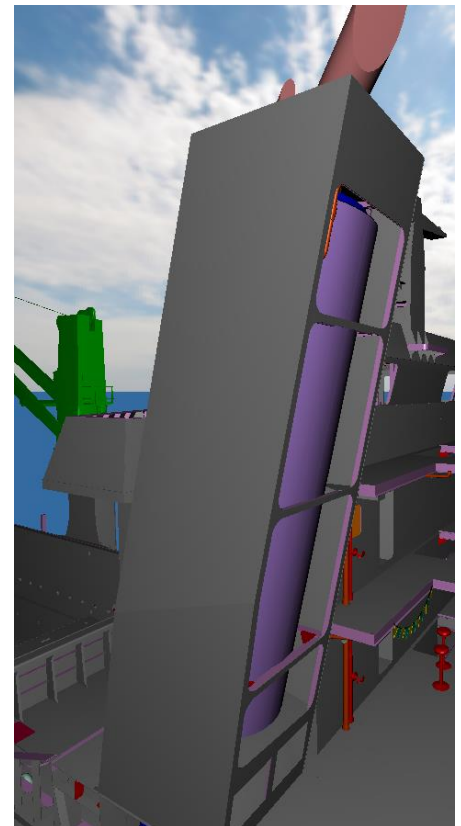
In de funnel bevinden zich de uitlaatgassenleidingen van de hoofdmotor, de twee generatoren en de thermisch water kachel (figuur 18). Omdat de scrubber gelijk dienst doet als demper kan deze in de plaats van huidige demper van de hoofdmotor komen. De funnel loopt schuin naar achteren en ook schuin naar binnen zoals in figuur 17 te zien is. In bijlage 6 is weergegeven waar de scrubber gemonteerd kan worden en worden de beschikbare afmetingen weergegeven. Langsscheeps is er binnen in de funnel niet genoeg ruimte beschikbaar. Daarom zal de funnel naar achteren verlengd moeten worden om de scrubber er in te kunnen plaatsen.



Figuur 16: Inline scrubber Wärtsilä



Figuur 18: Binnenzijde funnel met uitlaatgassenleiding hoofdmotor, generatoren en thermisch-water heater.



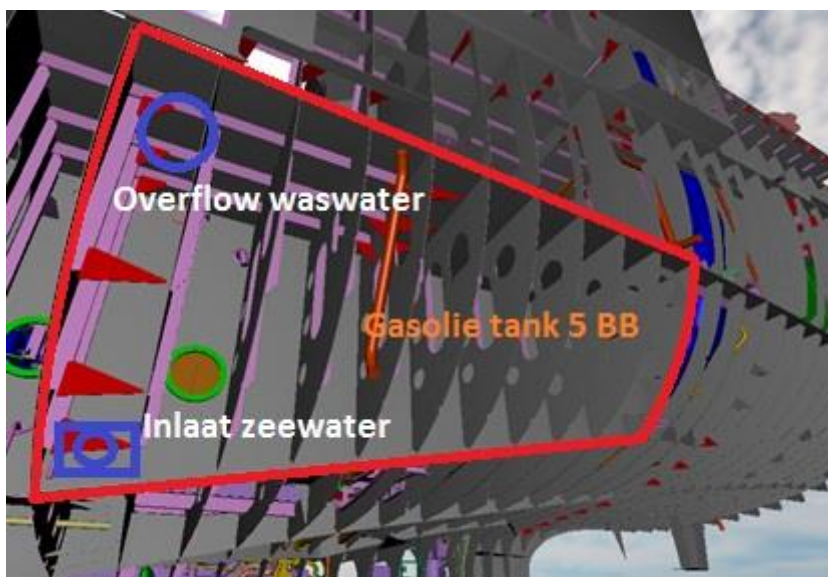
Figuur 17: Buitenzijde funnel

4.2.2 Montage hulpsystemen

Nu geconstateerd is dat de inline scrubber aan boord geplaatst kan worden kan er onderzocht worden hoe en waar de hulpsystemen gemonteerd moeten worden. In hoofdstuk 4.1 zijn de benodigde componenten weergegeven en is onderzocht wat de capaciteit van de pompen en de inhoud van de ontluchtingstank moet zijn. Hieronder wordt aan de hand van een korte beschrijving en een foto weergegeven waar de componenten geplaatst kunnen worden.

- Zee inlaat en uitlaat voor zuig en pers van het waswater

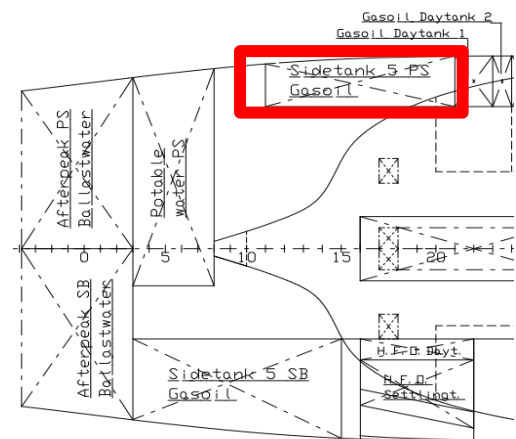
De zee in- en uitlaat van de uitlaatgassen scrubber kunnen aan bakboord in gasolie tank 5 gemonteerd worden. Deze gasolie tank zal namelijk als ontluchtingstank voor het waswater gebruikt worden. De uitlaat van het waswater is een overflow dus die wordt boven in de tank gemonteerd. De inlaat moet ten allen tijde onder water zijn dus kan het beste, zoals in figuur 19 te zien is, zover mogelijk naar voren geplaatst worden.



Figuur 19: Gasolietank 5 bakboord met positie zee-inlaat en overflow.

Alkali opslag tank

Als opslag tank voor de alkali kan de huidige gasolie tank 5 aan bakboord gebruikt worden (figuur 20). De inhoud van deze tank is 21.74m^3 . De tank zal ook worden gebruikt als ontluchtingstank voor het waswater, hiervoor is 7m^3 vereist. Er blijft nog ongeveer 14.5m^3 ruimte voor de alkali toevoeging over. Het verbruik van de alkali is 0.46m^3 per dag, dit betekent dat er $14.5/0.46 = 31.5$ dagen in een SECA gebied gevaren kan worden wanneer de tank helemaal vol is.



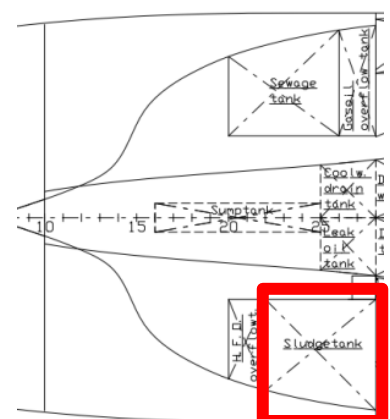
Figuur 20: Gasolie tank 5 bakboord, inhoud $21,74\text{m}^3$

- Ontluchtingstank

De afmeting van de ontluchtingstank wordt berekend aan de hand van de flow van het waswater. Het waswater moet in de tank minimaal een ontluchtingstijd van 2 minuten hebben. In bijlage 7 figuur 33 is te zien dat voor dit systeem een ontluchtingstank van 7m^3 vereist is. De huidige gasolietank 5 BB kan naast de alkali opslag ook voor een deel gebruikt worden als ontluchtingstank van 7m^3 .

- Sludge tank

Er wordt gerekend met een sludge afvoer van 0.1 liter/MWh. Dit betekent voor de gekozen scrubber een totaal van 9.6 liter sludge per dag. Deze kleine hoeveelheid kan het beste naar de bestaande sludge tank (figuur 19) aan stuurboord worden afgevoerd.



Figuur 19: Positie sludgetank

- **CEMS(Continuous emission monitoring system) en water monitoring module**

-De CEMS meetapparatuur wordt aan het einde van de scrubber in de uitlaatgassenpijp gemonteerd. Daar meet deze de hoeveelheid SO_x en CO₂ in de brandstof.

-De watermonitoring module wordt aan bij de uitlaat van het waswater gemonteerd. Daar meet deze module de temperatuur en pH waarde van het waswater wat weer naar zee wordt geloosd. Indien de pH waarde onjuist is kan er meer alkali worden toegevoegd worden.

- **Scrubberwater pompen**

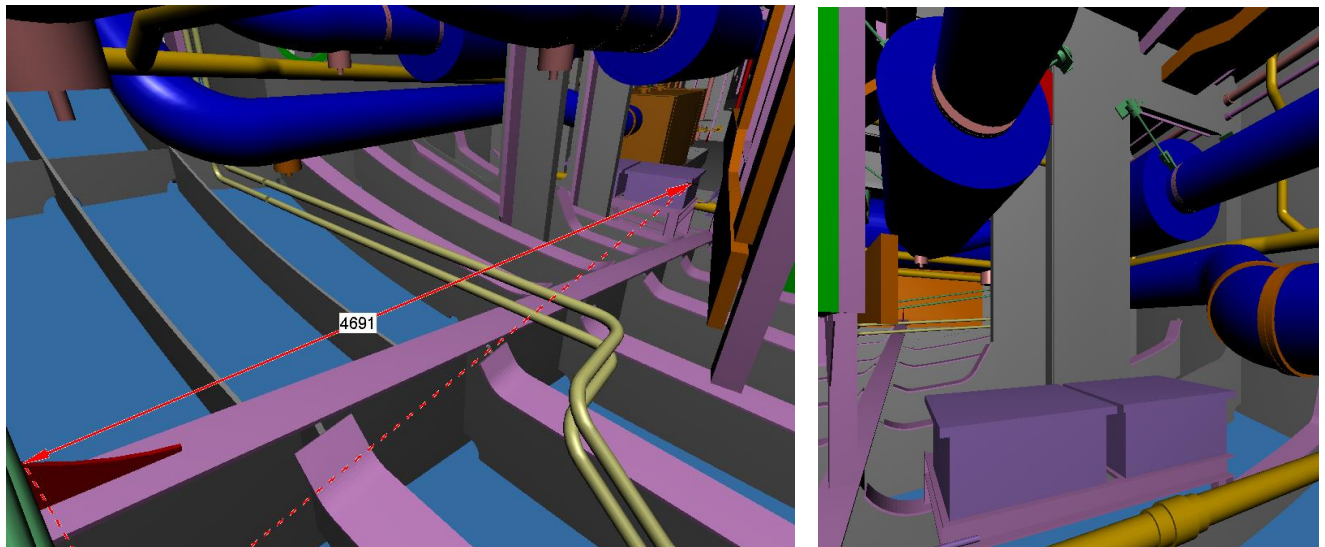
De meest geschikte plaats voor de 2 scrubber water pompen met een capaciteit van 150m³/hr is in de machinekamer achterin aan bakboord tussen de spanten. Zoals in figuur 20 te zien is. Hier is plaats voor de twee centrifugaal pompen inclusief filters. De afmetingen van de vereiste pompen worden gesteld op (LxBxH) 1300x500x500mm.

- **Waswater pomp**

De waswaterpomp verpompt het water van de ontluchtingstank naar de hydrocycloon. De waswaterpomp die vereist is heeft een capaciteit van 200m³/hr. De afmetingen die voor deze pomp genomen worden zijn (LxBxH) 1300x500x500mm. De waswaterpomp kan naast de scrubberwater pompen geplaatst worden. Dit is eveneens terug te zien in de overzichtstekening in bijlage 8

- **Hydrocycloon**

Voor het open-loop scrubber systeem is de kleinste hydrocycloon van Wärtsilä vereist. De afmetingen en specificaties zijn terug te zien in bijlage 7, figuur 34. De 24'' hydrocycloon heeft een hoogte is 1550mm en diameter 755mm. De beste positie van de hydrocycloon is eveneens aan bakboord tussen de spanten naast te scrubber water pompen en de waswaterpomp.



Figuur 20: Positie van de hydrocycloon, scrubberwater pompen en waswaterpomp

- **Diverse filters en afsluiters**

In bijlage 8 is de positie van de verschillende afsluiters, filters en overige componenten van het scrubber systeem in een overzichtstekening weergegeven. De exacte posities en afmetingen kunnen in werkelijkheid verschillen.

4.3 Economisch voordeel van een scrubber

In dit hoofdstuk wordt onderzocht of de scrubber zoals gekozen in hoofdstuk 4.1 een economisch voordeel oplevert aan boord van de Deo Volente. Verschillende factoren bepalen samen het economisch voordeel. De 2 belangrijkste worden in dit hoofdstuk besproken.

Brandstofprijs in de toekomst.

Een belangrijke factor die invloed heeft op het moment waarop het ROI bereikt wordt is het verschil in de brandstofprijs tussen HFO en MGO. Hoe groter het prijsverschil is, hoe eerder het ROI behaald wordt. In bijlage 4, is een overzicht weergegeven van de brandstof prijzen van HFO en MGO over de achterliggende periode van 7 jaar in Rotterdam. In figuur 28 in bijlage 4 is te zien dat het prijsverschil tussen HFO en MGO een dalende trendlijn is. Aan de hand van de zogenaamde voorspellingsmethode: 'weight moving average' is het prijsverschil in de toekomst bepaald. Bij deze methode wegen de laatste prijzen het zwaarst mee in het bepalen van de prijs in de toekomst. In figuur 21 zijn de voorspelde brandstof prijzen weergegeven voor het jaar 2017 tot en met 2022. De gemiddelde brandstofprijs die over deze 5 jaar voorspeld wordt is € 157,7.

De brandstofprijs is lastig te voorspellen daarom wordt in de ROI berekening naast dit voorspelde prijsverschil van € 157,7 gerekend met een groter prijsverschil van € 207,7 en een kleiner prijsverschil van € 107,7.

Prognose gemiddeld prijsverschil MGO/HFO Rotterdam per jaar

Jaar	Prijs verschil
2017	€ 218,1012738
2018	€ 199,6329846
2019	€ 171,4162481
2020	€ 139,8831367
2021	€ 117,2598715
2022	€ 100,0680738
Gemiddelde 5 jaar	€ 157,7269314

Figuur 21: Prognose prijsverschil MGO/HFO Rotterdam

Vaargebied

Een tweede factor die invloed heeft op het moment wanneer het ROI bereikt wordt is het vaargebied van de Deo Volente. Uit de bunkerstanden van 2015 en 2016 is gebleken dat de hoofdmotor van de Deo Volente afgelopen 2 jaar gemiddeld 17 % van de totale brandstof aan gasolie verbruikt. Dit betekent dat er 17 % van de vaartijd in een SECA gebied is doorgebracht. Omdat verwacht wordt dat dit vaargebied de komende jaren gelijk blijft, wordt dit percentage wordt gebruikt bij het bepalen van de ROI. In bijlage 9 is terug te zien hoe aan dit percentage gekomen is.

Wanneer de nieuwe regel van de IMO in 2020 in werking treed is de vaartijd binnen een SECA gebied van minder belang. Er zal dan overal op gasolie of met behulp van een scrubber gevaren moeten worden.

Investeringskosten

De investeringskosten worden ook wel de CAPEX(Capital Expenditures) kosten genoemd. Onder de investeringskosten van een scrubber systeem vallen:

- Aanschaf scrubber unit en hulpsystemen
- Montage kosten scrubber en hulpsystemen
- Training en certificaten
- Kosten van het schip op de werf zonder inkomen

Jaarlijkse kosten

Naast de investeringskosten die éénmalig uitgegeven moeten worden, zijn er ook jaarlijks terugkerende kosten. De jaarlijks terugkerende kosten worden ook wel de OPEX(Operating Expenditures) genoemd. Onder de jaarlijkse kosten vallen:

- Onderdelen en reparaties aan het scrubber systeem
- Werkuren machinist.
- Alkali toevoeging die vereist is in een SECA gebied
- Standaard kosten scrubber (sludge afgifte in de haven, extra brandstof verbruik)

Return on investment (ROI)

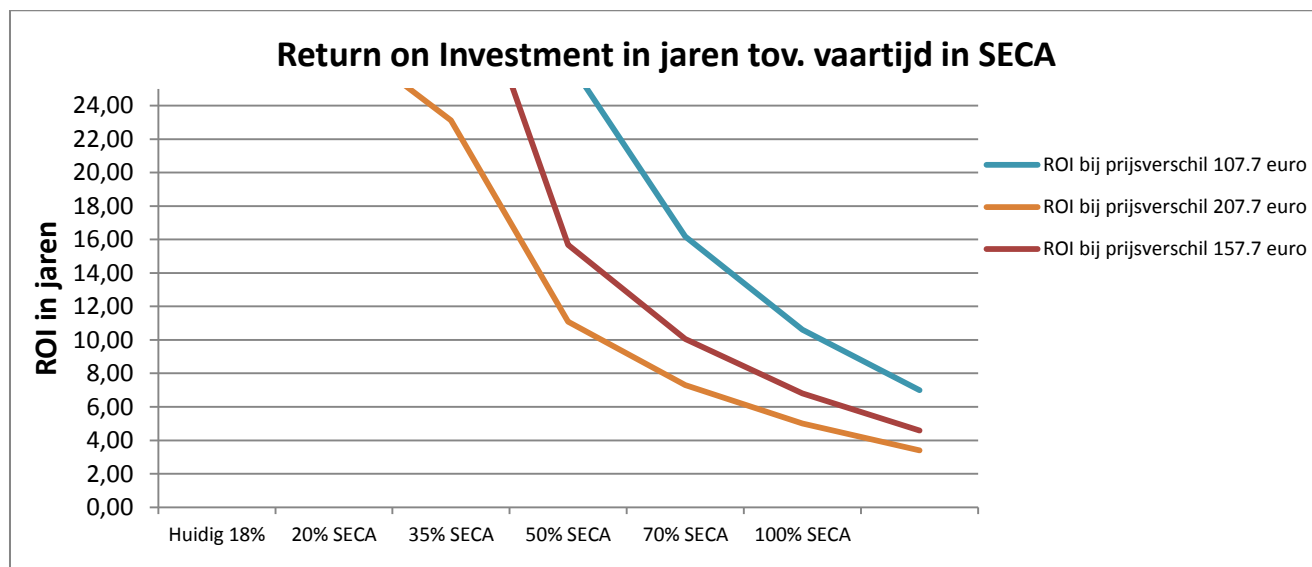
Met behulp van de prognose van het brandstof prijsverschil en het verwachte vaargebied kan een voorspelling gemaakt worden over het moment waarop de investering van een scrubber terug verdiend is. Hieronder, in figuur 22, zijn de kosten weergegeven die gemaakt worden bij de aanschaf van en het varen met een scrubber.

Investeringskosten en jaarlijkse kosten scrubber Mv. Deo Volente

Onderwerp		Prijs (€)
Capitall expense costs (Vaste, eenmalige kosten)	Aanschafprijs scrubber	1200000
	Inbouw scrubber	1200000
	Training en certificaten	24000
	Kosten schip op de werf zonder inkomen	70000
Totale investeringskosten:		2494000
Operational Expenses costs (Jaarlijks terugkerende kosten)	Onderhoud en reparatie (werk uren engineer)	20000
	Onderdelen (zoals nieuwe pakkingen, seals etc.)	10000
	Alkali injectie in SECA gebied	6320.1
	Dagelijkse kosten scrubber algemeen (sludge, extra brandstof etc.)	11956,8
	Totale jaarlijkse kosten	48202,5

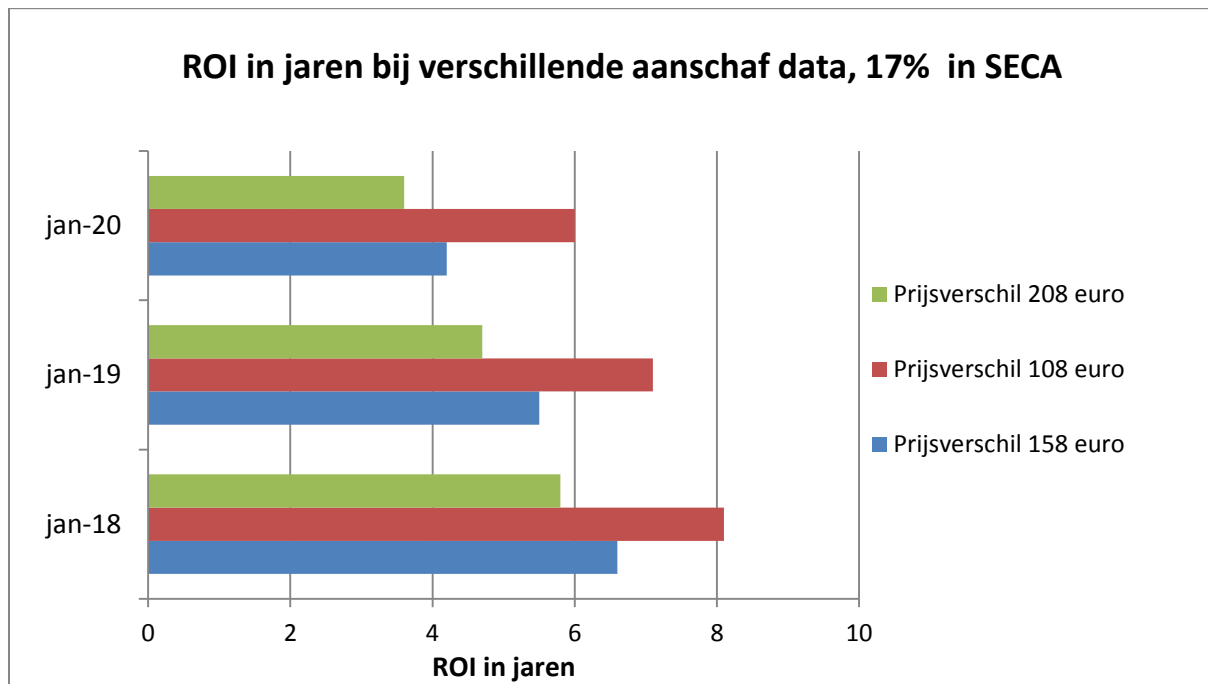
Figuur 22: Investeringskosten en jaarlijkse kosten scrubber

In figuur 23 is de ROI in jaren weergegeven ten opzichte van het vaartijd van de Deo Volente in een SECA gebied. Deze grafiek geeft duidelijk weer dat met de huidige vaartijd van 17 % in een SECA gebied de ROI pas na 20 jaar behaald worden. Als gewenst is dat de scrubber binnen 10 jaar terugverdiend wordt zal de vaartijd minimaal 60% in een SECA gebied moeten zijn.



Figuur 23: ROI scrubber in jaren tov. vaartijd in SECA gebied.

Omdat de regels van de IMO vanaf 2020 veranderen zal de ROI eerder behaald worden dan in figuur 23 wordt weergegeven. Vanaf 2020 mag er nergens meer met brandstof met een zwavelpercentage van boven de 0,5% gevaren worden. Dit betekent: varen op gasolie of met een scrubber om aan de regels te voldoen. De vaartijd met een scrubber wordt dan 100%. In figuur 24, hieronder weergegeven, is terug te zien wat de ROI van de scrubber is wanneer deze in januari 2018, januari 2019 of januari 2020 wordt aangeschaft. In de figuur is duidelijk te zien dat hoe later de scrubber aangeschaft wordt, in hoe kortere tijd de ROI bereikt wordt. In het gunstigste geval kan de scrubber binnen 3,6 jaar terug verdiend worden en in het slechtste geval is dat 8,1 jaar. De oorzaak van dit verschil is dat tot het jaar 2020 te scrubber maar langzaam wordt terug verdiend omdat er maar voor 17% van de vaartijd in een SECA gebied doorgebracht wordt.



ROI in jaren	Aanschaf datum		
Brandstofprijs verschil (€)	jan-18	jan-19	jan-20
157,7	6,6	5,5	4,2
107,7	8,1	7,1	6
207,7	5,8	4,7	3,6

Figuur 24: ROI scrubber bij aanschaf in jan 2018, 2019 of 2020

5. Discussie

Bij het opzetten van het theoretisch kader is een methode ontwikkeld waarmee goede antwoorden op de onderzoeksvraag gevonden kunnen worden. Uit de resultaten blijkt dat het economisch rendabel is om een uitlaatgassen scrubber aan boord van de Deo Volente te plaatsen. Het plaatsen van een scrubber is de goedkoopste maatregel om vanaf 2020 te voldoen aan de regels van de IMO op het gebied van zwavel uitstoot.

Bij het zoeken naar de meest geschikte scrubber is de keuze gemaakt voor een open-loop inline scrubber. De totale kosten van een open-loop scrubber zijn lager dan andere typen scrubbers. Daarnaast neemt een open-loop scrubber de minste ruimte in van de beschikbare scrubbers. Dit is erg gunstig omdat er maar weinig ruimte voor een scrubber aanwezig is. Er kunnen wel vraagtekens gezet worden bij het varen met een open-loop scrubber. De zwavel die normaal met de uitlaatgassen de lucht in gaat worden nu in het water geloosd. Dit zwavel bevattende waswater moet door het zeewater opgenomen worden. Wanneer veel schepen dit waswater in zee lozen kan dit voor problemen zorgen.

Er zijn nog geen regels op het gebied van het lozen van waswater maar deze kunnen in de toekomst wel komen. Er zal dan onderzocht moeten worden of het systeem nog voldoet aan de regels of dat er aanpassingen doorgevoerd moeten worden. Er is in dat geval een mogelijkheid om het open-loop scrubber systeem om te bouwen naar een closed loop of een hybride systeem. Er zullen dan diverse nieuwe componenten ingebouwd moeten worden zoals: Een koeler voor het circulerende zoetwater. Een proces tank waar de alkali toevoeging aan het zoetwater wordt toegevoegd. Een grote opslagtank voor de opslag van het waswater. Een tweede watermaker of een nieuwe watermaker met een grotere capaciteit. De aanschaf van deze extra componenten geven veel extra kosten en nemen meer ruimte in beslag. Op dit moment is de open-loop scrubber de beste optie.

Voordat er met het onderzoek begonnen was, werden er vraagtekens gezet over de beschikbare ruimte om een scrubber te kunnen plaatsen. Uit de resultaten, hoofdstuk 4.2, blijkt dat dat er, dankzij de keuze voor een compacte inline open-loop scrubber, genoeg ruimte beschikbaar is om de scrubber te kunnen monteren. Bij het onderzoeken of de scrubber met bijbehorende componenten aan boord geplaatst kan worden is gebruik gemaakt van de afmetingen beschikbaar gesteld door de fabrikant Wärtsilä. De exacte afmetingen van een scrubber unit of van de overige componenten kunnen verschillen per fabrikant.

Het doorslaggevende criterium voor de aanschaf van een scrubber zijn de kosten. De aanschaf van een scrubber is voor een schip zoals de Deo Volente een grote investering. Uit de resultaten, hoofdstuk 4.3, blijkt dat een open-loop scrubber een ROI (return on investment) van in het meest gunstige geval 3,6 jaar, tot 8,1 jaar in het slechtste geval heeft. Deze getallen heeft de scrubber fabrikant Wärtsilä gezien en kunnen als realistisch worden aangenomen. De belangrijkste factoren waar de ROI vanaf hangt zijn het brandstofprijverschil tussen MGO en HFO en de vaartijd in een SECA gebied. Met de vaartijd van afgelopen jaren in een SECA gebied van 17% is een scrubber niet rendabel. Bij de ROI berekening wordt er vanuit gegaan dat deze vaartijd en het daar bijbehorende brandstof verbruik gelijk blijft de komende jaren. Er is een goede band met onze huidige bevrachter en genoeg lading, de verwachting is dat dat ook zo blijft. Wanneer het brandstofverbruik of de vaartijd binnen een SECA gebied veranderd zal een nieuwe ROI berekening gemaakt moeten worden.

Met het ingaan van de nieuwe regels van de IMO op het gebied van zwaveluitstoot in 2020 kan een scrubber sneller terug verdiend worden. Dit is tegelijk een discussiepunt. De IMO geeft op de website aan dat de regel in 2020 in gaat maar er is ook nog een kleine mogelijkheid dat de invoer nog 5 jaar uitgesteld wordt tot 2025. Er zal dan opnieuw onderzocht moeten worden of de aanschaf van een scrubber nog steeds rendabel is, wanneer gezien wordt op de leeftijd van het schip en de brandstofprijzen op dat moment.

Bij het berekenen van de ROI is gebruik gemaakt van een gemiddeld brandstofprijns verschil van €157,7 voor 2017 tot 2022. Dit brandstof prijsverschil is aan de hand van de voorspellingsmethode 'weight moving average' berekend. De brandstofprijns is erg lastig te voorspellen, deze is variabel en kan onverwacht veranderen. In de berekening van de ROI is daar rekening mee gehouden door ook te rekenen met een prijsverschil groter of kleiner dan voorspeld. De investeringskosten en jaarlijks terugkerende kosten van de scrubber zijn in samenwerking met de fabrikant Wärtsilä opgesteld. Deze kosten zijn niet exact maar geven een goede indicatie van welke kosten gemaakt moeten worden en wat de hoogte hiervan is.

6. Conclusie

Het doel van dit onderzoek is om zo goedkoop mogelijk te varen en tegelijkertijd aan de nieuwe regel van de IMO te voldoen. Uit de resultaten is gebleken dat het economisch rendabel is om een uitlaatgassen scrubber te plaatsen aan boord van de Deo Volente om aan de nieuwe regels van de IMO op het gebied van zwavel te voldoen.

Van de vandaag de dag verkrijgbare scrubbers is een inline open-loop scrubber de beste optie om aan de nieuwe regels van de IMO te voldoen. De investeringskosten en jaarlijkse kosten zijn het laagst en deze scrubber neemt de minste ruimte in.

Voor montage van de scrubber unit aan boord zal de funnel aangepast moeten worden. Er kan worden gekozen om de huidige funnel aan te passen of een geheel nieuwe funnel te plaatsen die op maat gemaakt is voor een scrubber. Na de keuze voor een scrubber zal dit met de uitvoerende werf overlegd moeten worden. De inbouw van de overige componenten zoals leidingen, afsluiters en pompen kunnen uitbesteed worden maar gelet op de kosten kunnen deze beter door de bemanning zelf aan boord gemonteerd worden.

Uit de resultaten is gebleken dat met de genomen CAPEX en OPEX kosten een return on investment tijd van 3,6 tot 8,1 jaar geldt. Deze tijd is variabel en afhankelijk van de datum van aanschaf en het brandstofprijnsverschil tussen HFO en MGO. Met een voorspeld gemiddeld prijsverschil van €157,7 over de komende 5 jaar kan het beste vanaf begin 2020 met een scrubber worden gevaren. Dit betekent dat de scrubber in 2019 ingebouwd moet worden om de investeringskosten zo snel mogelijk terug te verdienen. De return on investment zal dan ongeveer 4 jaar en 3 maanden zijn.

Het is belangrijk om voorruit te denken over veranderingen in de toekomst, de invoer van nieuwe regels op het gebied van de zwaveluitstoot kan grote gevolgen hebben voor de winst die met het schip behaald wordt. De aanbeveling aan Hartman Seatrade is om nader contact te zoeken met de diverse scrubber fabrikanten om zo uit te zoeken wat de opties zijn. Er kan een offerte opgevraagd worden zodat een nauwkeurigere ROI bepaald kan worden. Aan de hand van die ROI en het voorspelde prijsverschil kan dan een keuze gemaakt worden voor het wel of niet aanschaffen van een uitlaatgassen scrubber.

Figurenlijst

Figuur 1: Mv. Deo Volente. (Hartman Seatrade, 2016)	1
Figuur 2: Toegestane zwavelpercentages. (IMO, 2016)	3
Figuur 3: SECA gebieden wereldwijd. (Gossett, 2012)	3
Figuur 4: Toegestaan percentage zwavel. (Gossett, 2012)	4
Figuur 5: Voor- en nadelen van een scrubber system. (American Bureau of Shipping, 2015)	5
Figuur 6: Droge scrubber. (Lloyd's Register, 2012)	6
Figuur 7: Open-loop scrubber. (Wärtsilä, 2015)	6
Figuur 8: Closed-loop scrubber. (CATERPILLAR & MAK, 2011)	7
Figuur 9: Hybride scrubber. (Wärtsilä, 2015)	7
Figuur 10: Voor- en nadelen van een droge scrubber. (CATERPILLAR & MAK, 2011)	8
Figuur 11: Voor- en nadelen verschillende natte scrubbers. (Lloyd's Register, 2012) (Panasiuk, 2014)	8
Figuur 12: Benodigde hulpsystemen per scrubber systeem	10
Figuur 13: Traditionele venturi scrubber (pacific)	13
Figuur 14: Inline scrubber (Marin log)	13
Figuur 15: Hydrocycloon Wärtsilä	14
Figuur 16: Inline scrubber Wärtsilä	15
Figuur 17: Buitenzijde funnel	15
Figuur 18: Binnenzijde funnel met uitlaatgassenleiding hoofdmotor, generatoren en thermisch-water heater. ...	15
Figuur 19: Positie sludgetank	16
Figuur 20: Positie van de hydrocycloon, scrubberwater pompen en waswaterpomp pomppompen	17
Figuur 21: Prognose prijsverschil MGO/HFO Rotterdam	18
Figuur 22: Investeringskosten en jaarlijkse kosten scrubber	19
Figuur 23: ROI scrubber in jaren tov. vaartijd in SECA gebied.	19
Figuur 24: ROI scrubber bij aanschaf in jan 2018, 2019 of 2020	20
Figuur 25: Scheepsgegevens Mv. Deo Volente (Hartman Seatrade, 2016)	25
Figuur 26: Technical data Wärtsilä 8L32 (Wärtsilä engine manual, 2006)	26
Figuur 27: LCCA van diverse scrubbers (Ship Operations Cooperative Program, 2011)	27
Figuur 28: Brandstof prijzen HFO en MGO Rotterdam 2010-2016 (Bunkerindex.com, 2017)	28
Figuur 29: Afmetingen scrubber installatie Wärtsilä (Wärtsilä, 2015)	29
Figuur 30: Achteraanzicht scrubber unit	30
Figuur 31: Bakboord, zij aanzicht scrubber unit.	30
Figuur 32: Afmetingen funnel	31
Figuur 33: Afmetingen ontluchtingstank, inline scrubber systeem (Wärtsilä, 2015)	32
Figuur 34: Afmetingen hydrocycloon inline, scrubber systeem (Wärtsilä, 2015)	32
Figuur 35: Overzichtstekening van de positie van verschillende componenten van het scrubber systeem	33

Bibliografie

- Altena, M. (2017, februari 22). Regelgeving op het gebied van scrubber waswater . (D. Janse, Interviewer)
- American Bureau of Shipping. (2015). *Exhaust Gas Scrubbing Systems, status and guidance*. Houston.
- Bunkerindex.com. (2017). Retrieved februari 6, 2017, from Bunkerindex.com:
- CATERPILLAR & MAK. (2011). *Study of Exhaust Gas Cleaning Systems for vessels to fullfill IMO III in 2016*.
- E. den Boer, S. A. (2016). *Impacts of 2015 SECA marine fuel sulphur limits*. Delft: CE Delft.
- Gossett, T. (2012, Maart 9). *amnautical.com*. Retrieved November 28, 2016, from amnautical.com: \
- Hartman Seatrade. (2016). Retrieved from Hartman Seatrade: www.Hartmanseatrade.com
- Hartman, T. (2017, Januari).
- Herbert engineering corp. (2015). *Analysis of fuel alternatives for commercial ships in the ECA area's*.
- IMO. (2016). *Sulphur oxides (SOx) Regulation 14*. Retrieved Oktober 21, 2016
- Lloyd's Register. (2012). *Understanding exhaust gas treatment systems*. London.
- Marin log. (n.d.). <http://www.marinelog.com/>. Retrieved April 6, 2017
- Meech, R. (2006). *Designation of the Mediterranean Sea (SECA) under MARPOL Annex VI*.
- pacific, m. a. (n.d.). <http://www.mecasiapacific.co.th/Venturi-scrubber.html>. Retrieved April 6, 2017
- Panasiuk, I. (2014). *Selection of Exhaust Scrubber: Concept for optimal solution*. Klaipėda, Lithuania.
- Ship Operations Cooperative Program. (2011). *Exhaust Gas Cleaning Systems Selection Guide*. Ellicott City.
- Wärtsilä. (2015). *A Practical guide to wartsila scrubber systems*.
- Wärtsilä engine manual. (2006). *Wärtsilä engine manual 8L32*.

Bijlage 1: Scheepsgegevens Mv. Deo Volente

  			
			
m.v. Deo Volente heavy lift vessel	Hartman Seatrade		
Registration	Deo Volente		
Ships name	Hartman Seatrade		
Owner	P.H.F.J.		
Call sign	9391658		
IMO number	246518000		
MMSI number	Hartman Seatrade		
Owners	Urk		
Port of registry	The Netherlands		
Flagstate	Hartman Marine BV		
Shipyard	January 2007		
Date of delivery	Bureau Veritas		
Class notation	I *HULL *MACH *AUT-UMS		
	General Cargo Ship		
	Heavy Cargo (147 kN/m ²)		
	Unrestricted Navigation		
Tonnage			
Displacement	5486 tonnes		
Deadweight	3450 tdw.		
Gross tonnage	2981 GT		
Netto tonnage	1198 NT		
Ships dimensions			
Length over all	105,0 mtr.		
Length between p.p.	94,4 mtr.		
Breadth moulded	15,6 mtr.		
Summer draught	5,81 mtr.		
Depth moulded	7,40 mtr.		
Keel to top mast	26,5 mtr.		
Hold/hatches sizes			
Number of holds	1 (See note 1)		
Hold capacity	4396 cbm./ 155243 cbft.		
Upper hold length	63,6 mtr.		
Lower hold length	31,5 mtr.		
Upper hold breadth	11,5 mtr.		
Lower hold breadth	11,0 mtr.		
Hold height	8,15 mtr. (See note 2)		
Upper hold height	4,63 mtr.		
Lower hold height	3,50 mtr.		
Hold floor surface	1039 m ²		
Deck length	78,5 mtr.		
Deck breadth	15,5 mtr.		
Deck floor surface	754 m ²		
Notes:	1. Grain fitted 2. Cargo hold prepared for reels up to Ø 8,5 mtr.		
Hartman Seatrade Burg J. Schipperkade 10a 8321 EH Urk	Tel company: +31527748080 Tel Ship: +31527728114 Sat tel ship: +881631833789	Email: info@hartmanseatrade.com Email ship: deovolente@hartmanseatrade.com Website: http://www.hartmanseatrade.com	

Figuur 25: Scheepsgegevens Mv. Deo Volente (Hartman Seatrade, 2016)

Bijlage 2: Technische specificities Wärtsilä 8L32

Installation Planning Instructions 2. Main Engine

WÄRTSILÄ 32

2.2 Technical information

2.2.1 Technical specification

The Wärtsilä 8L32 is a 4-stroke, non-reversible, turbocharged and intercooled diesel engine with direct injection of fuel.

Main particulars

Type designation	Wärtsilä 8L32
Number of cylinders	8
Configuration	in-line engine
Max. continuous rating	3680 kW
Nominal speed	750 rpm
Direction of rotation	Clockwise

2.2.2 Technical data

Wärtsilä 8L32

Cylinder configuration	8 L
Engine speed	750 rpm
Engine output	3680 kW
Bore	320 mm
Stroke	400 mm
Mean effective pressure	2.29 MPa
Mean piston speed	10.0 m/s

Combustion air system

Flow of air at 100% load	7.3 kg/s
Ambient air temperature, max	45 °C
Air temperature after air cooler, min	40 °C
Air temperature after air cooler, max	60 °C
Air temperature after air cooler, alarm	75 °C

Exhaust gas system (Note 1)

Exhaust gas flow at 100% load	7.9 kg/s
Exhaust gas flow at 85% load	6.6 kg/s
Exhaust gas flow at 75% load	5.8 kg/s
Exhaust gas flow at 50% load	4.1 kg/s
Exhaust gas temperature after turbocharger at 100% load	344 °C
Exhaust gas temperature after turbocharger at 85% load	350 °C
Exhaust gas temperature after turbocharger at 75% load	360 °C
Exhaust gas temperature after turbocharger at 50% load	395 °C
Exhaust gas temperature after cylinder, alarm	500.0 °C
Exhaust gas backpressure, max	3.0 kPa
Turbocharger connection diameter	0 mm
Exhaust gas pipe diameter, min	700 mm
Calculated exhaust diameter for 35 m/s	707 mm

Figuur 26: Technical data Wärtsilä 8L32 (Wärtsilä engine manual, 2006)

Bijlage 3: LCCA van verschillende scrubber systemen

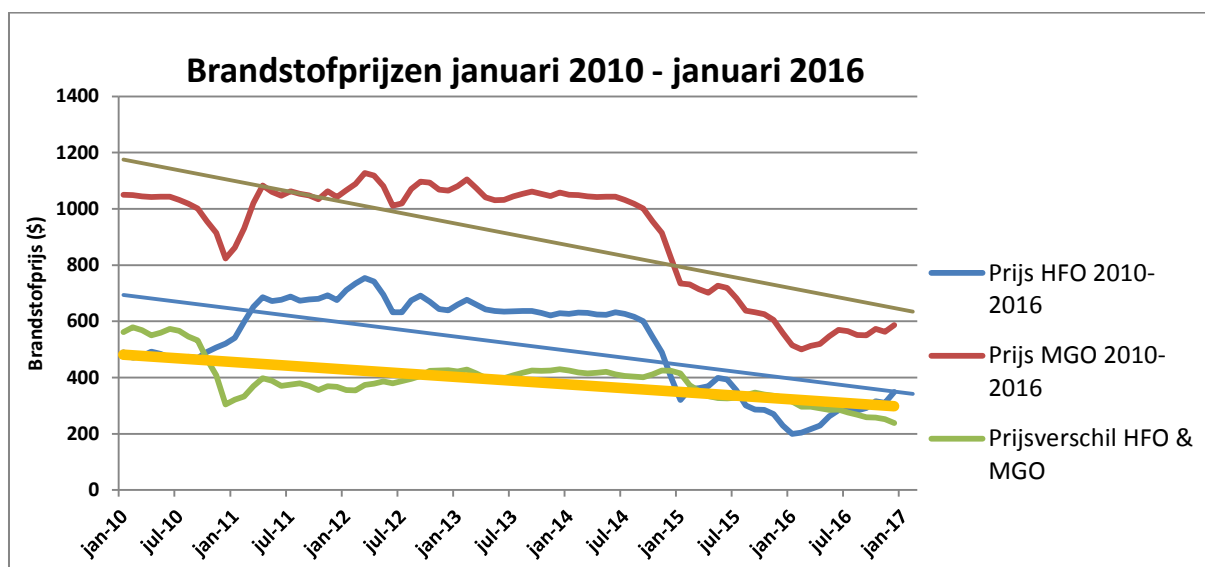
	Ship/Route Pair	Containership Alaska to Puget Sound	Containership Alaska to Puget Sound	Containership Alaska to Puget Sound	Containership Alaska to Puget Sound
	Scrubber Type	Open Loop	Closed Loop	Hybrid	Dry
Sensitivity Analysis	Scrubber Types	Open Loop	Closed Loop	Hybrid	Dry
VARIABLES - CONTROLLED					
Investment Terms					
Life Cycle	(# of Years)	10	10	10	10
Analysis Date (Today)	(Year)	2011	2011	2011	2011
Scrubber Installation Date	(Year)	2014	2014	2014	2014
Discount Rate	(%)	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%
Capital Expense for Scrubber					
Equipment (Today)	(USD/One Time)	\$5,060,000	\$6,180,000	\$5,424,000	\$5,120,000
Engineering/Design	(% Equip Cost)	7.0%	9.0%	9.0%	11.0%
Training/Documents	(% Equip Cost)	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%
Install/Commission	(% Equip Cost)	50.0%	65.0%	75.0%	85.0%
Operating Expense - Annual					
ECA Fuel Consumption	(MT/Annual)	9,636	9,636	9,636	9,636
Chemical Consumption	(% of Fuel Cost)	0.0%	3.0%	1.5%	3.0%
Scrubber Parasitic Loads	(% of Fuel Cost)	2.0%	1.0%	1.5%	1.0%
Distillate Calorie Correction	(% of Fuel Cost)	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%
HFO Process and Heating	(% of Fuel Cost)	0.8%	0.8%	0.8%	0.8%
Operating Engineer (Today)	(USD/Annual)	\$292,000	\$292,000	\$292,000	\$292,000
Operating Engineer	(% of Position)	50.0%	65.0%	65.0%	65.0%
M&R Equipment	(% Equip Cost/Annual)	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%
Variables - Uncertain					
Fuel Differential (Today)	(USD/MT)	\$255.50	\$255.50	\$255.50	\$255.50
Fuel/Chemical Escalation Rate	(% - Annual for Op Period)	8.0%	8.0%	8.0%	8.0%
Personnel Inflation Rate	(% - Annual for Op Period)	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%
Equipment Inflation Rate	(% - Annual for Op Period)	3.3%	3.3%	3.3%	3.3%
Analysis Results - Overview (Nearest \$1,000)					
Capital Cost	(USD - Year Zero Dollars)	(8,868,000)	(11,990,000)	(11,121,000)	(11,175,000)
Expenses - Year One	(USD - Year One Dollars)	(623,000)	(790,000)	(722,000)	(742,000)
Fuel Savings - Year One	(USD - Year One Dollars)	3,350,000	3,350,000	3,350,000	3,350,000
Net Present Value	(USD - Present Dollars)	14,562,000	10,185,000	11,574,000	11,336,000
Internal Rate of Return	(%)	36%	25%	28%	27%

Figuur 27: LCCA van diverse scrubbers (Ship Operations Cooperative Program, 2011)

Bijlage 4: Brandstofprijzen Rotterdam 2010-2016

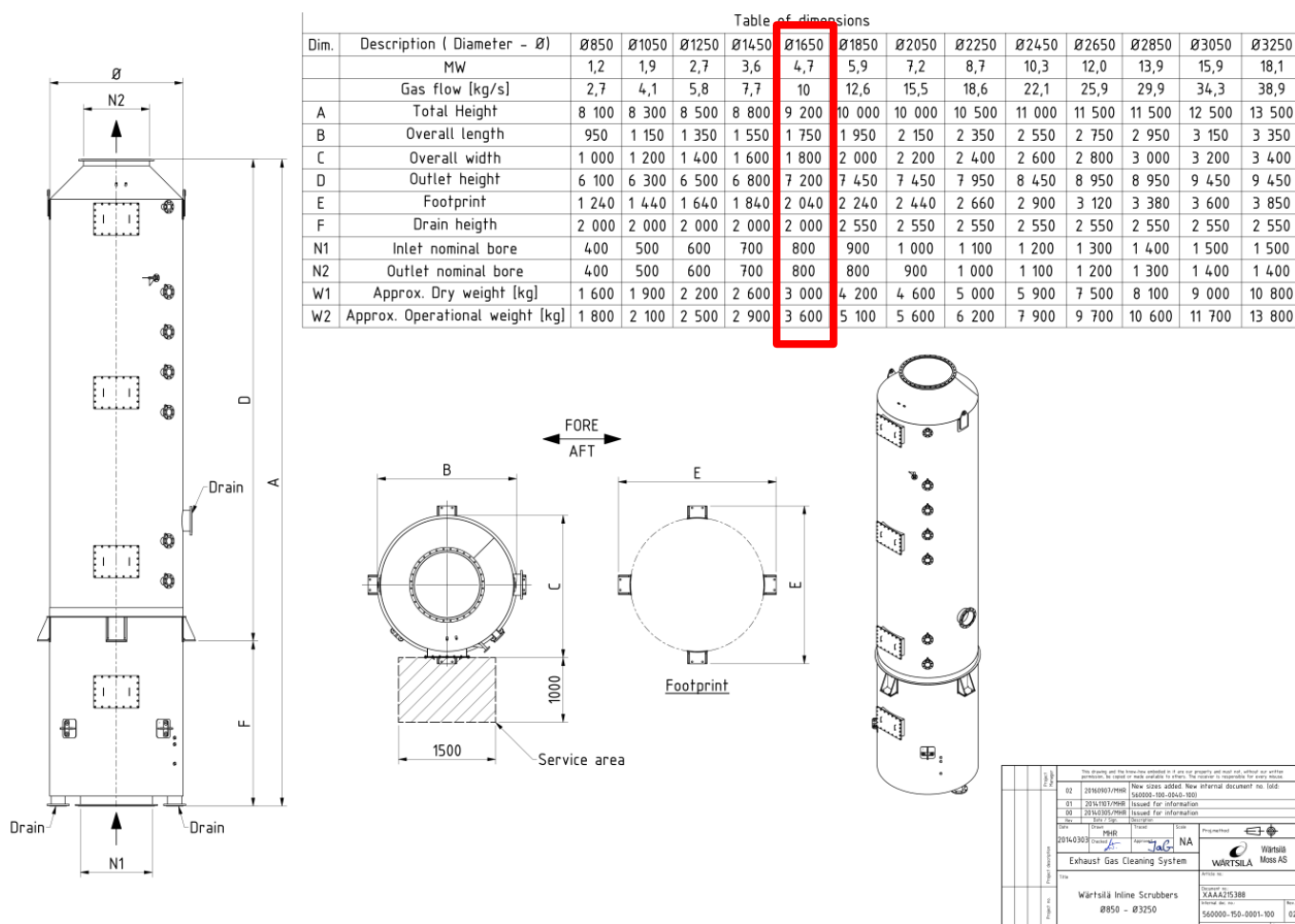
Olieprijs Rotterdam per jaar

Jaar	HFO	MDO	Prijs verschil
2016	269,3963403	545,939169	276,5428289
2015	327,1647708	672,313106	345,1483348
2014	586,9296075	1001,4535	414,5238932
2013	641,4640978	1056,57926	415,1151581
2012	684,73401	1075,52636	390,7923493
2011	659,2573031	1025,39998	366,1426756
2010	483,9371477	1001,4535	517,516353



Figuur 28: Brandstof prijzen HFO en MGO Rotterdam 2010-2016 (Bunkerindex.com, 2017)

Bijlage 5: Afmetingen inline scrubber installatie Wärtsilä



Figuur 29: Afmetingen scrubber installatie Wärtsilä (Wärtsilä, 2015)

Bijlage 6: Montage scrubber unit aan boord van de Deo Volente

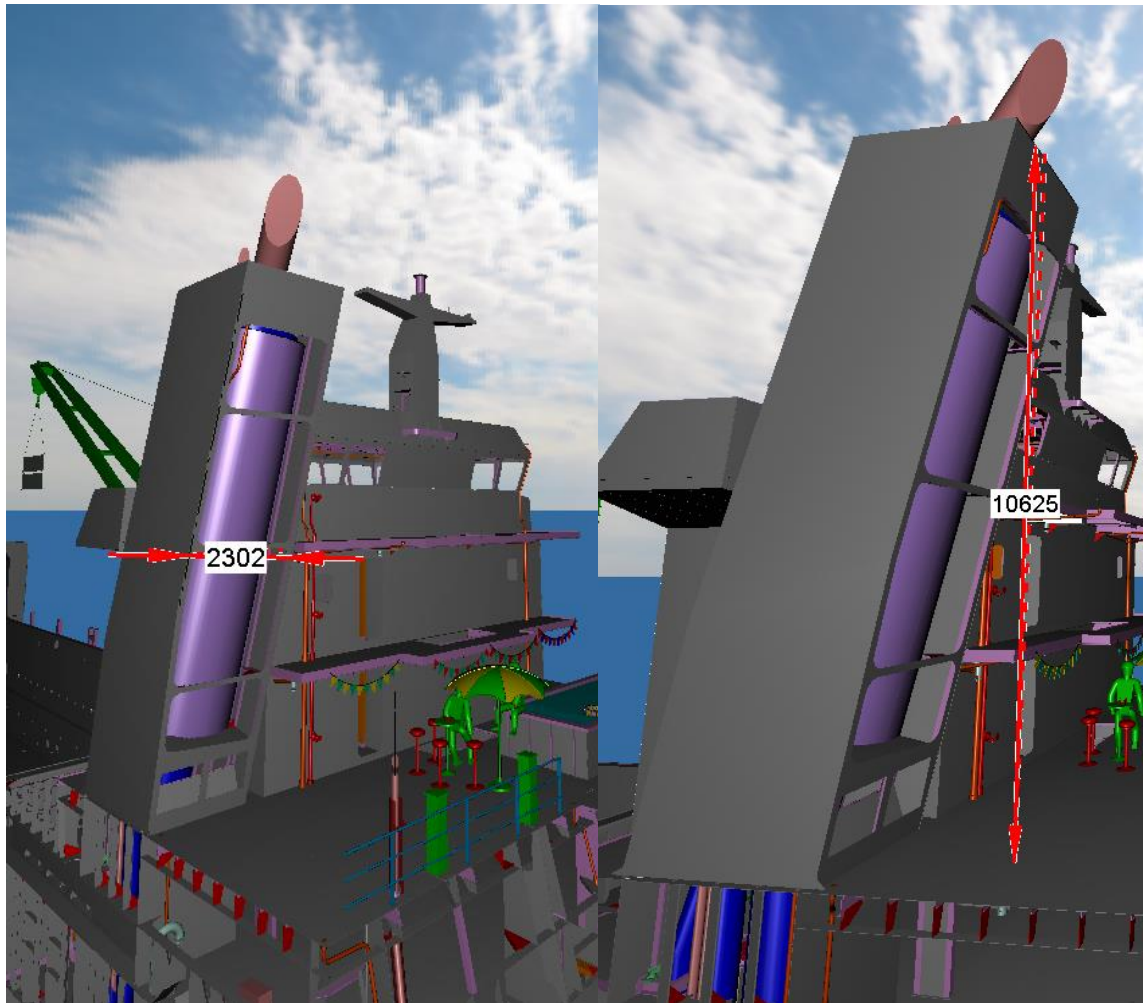


Figuur 30: Achteraanzicht scrubber unit



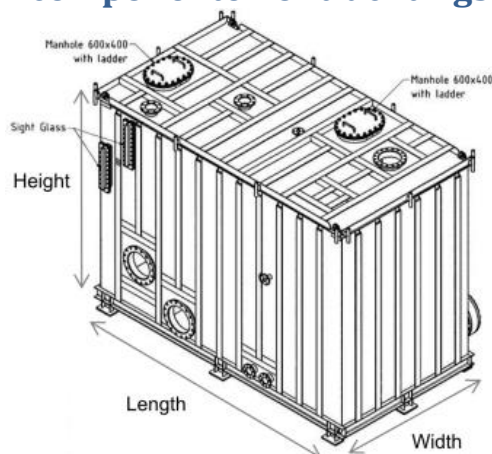
Figuur 31: Bakboord, zijaanzicht scrubber unit.

Afmetingen funnel



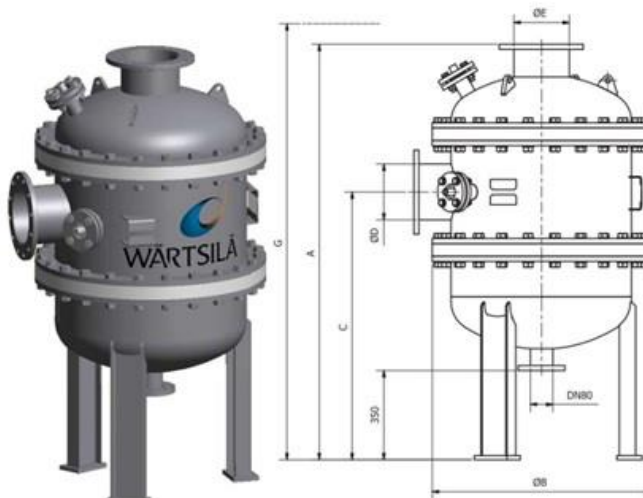
Figuur 32: Afmetingen funnel

Bijlage 7: Afmetingen componenten ontluhtingstank en hydrocycloon



Gas flow		Volume	Height	Length	Width
[kg/s]	MW	[m³]	[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

Figuur 33: Afmetingen ontluhtingstank, inline scrubber systeem (Wärtsilä, 2015)

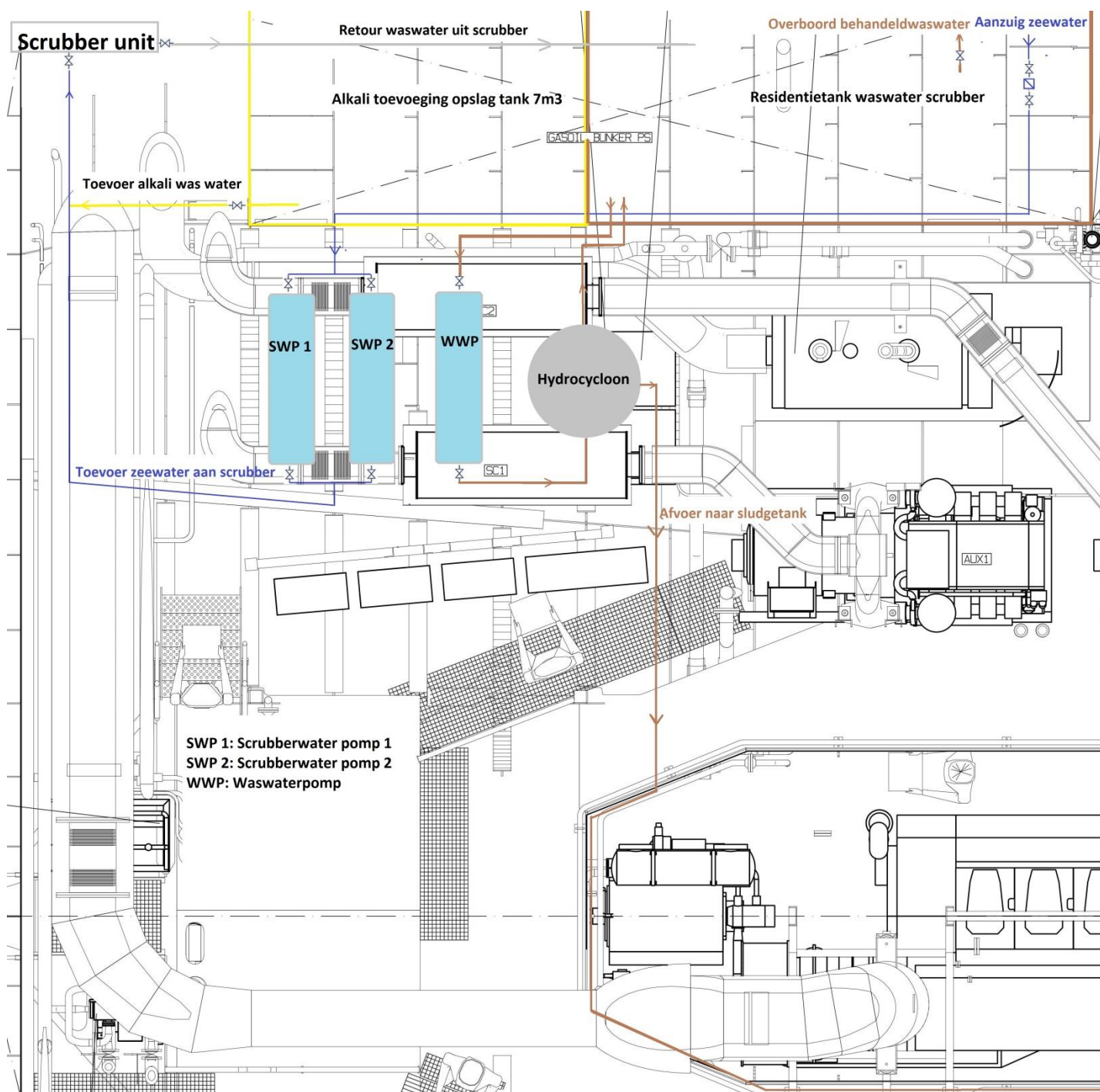


g

Dim. (mm)	Description	24"	28"	32"	36"	40"	48"
A	Overall height	1550	1650	1650	1750	1750	1800
B	Overall diameter	755	860	975	1075	1175	1405
C	Inlet height	1050	1050	1050	1150	1100	1150
D	Inlet pipe size	DN200	DN200	DN200	DN250	DN250	DN300
E	Outlet pipe size	DN200	DN200	DN200	DN250	DN250	DN300
G	Service height	1630	1730	1730	1830	1830	1880
W	Inlet position	450	500	550	650	700	900
X	Weight top unit (kg)	55	65	75	105	110	200
	Max flow rate (m³/h)	220	330	390	500	630	890
	Dry weight (kg)	350	420	500	715	590	1160
	Wet weight (kg)	650	740	1100	1360	1710	2120

Figuur 34: Afmetingen hydrocycloon inline, scrubber systeem (Wärtsilä, 2015)

Bijlage 8: Overzichtstekening inline open-loop scrubbersysteem



Figuur 35: Overzichtstekening van de positie van verschillende componenten van het scrubber systeem

Bijlage 9: Berekeningen voor het bepalen van de ROI van de scrubber

Brandstof verbruik 2015-2016	Tot. GO + HFO	GO	Verbr. gen's/heater	GO. homo	HFO Homo	Dagen buiten SECA	Dagen in SECA	Tot. Dagen	% SECA
2016	4239,3	731,3	128,3	603	3508	233,87	37,69	271,55	0,14
2015	3528	878,1	128,3	749,8	2649,9	176,66	46,86	223,52	0,21
Gem verbruik	3883,65	804,7	128,3	676,4	3078,95	205,26	42,28	247,54	0,17
Tot. Brstf. verbruik HOMO : 3755,35 m ³									

Gasolie verbruik generatoren, heater, overig gebruik per jaar.			
Generatoren 2* 2700 uur per jaar	124,2 m ³	0,023 m ³	per uur
Heater 100 uur per jaar	1,5 m ³	0,015 m ³	per uur
Overig	2,6 m ³	0,05 m ³	per week
Totaal gasolie verbruik per jaar	128,3 m ³		

	Brandstof prijsverschil	Prijs €	Jaarlijkse brst. kosten besparing in €
Vaargebied 10 % SECA	Voorspeld	157,7	59232,0
	Kleiner	107,7	40455,2
	Groter	207,7	78008,7
Huidig vaargebied 17 % SECA	Voorspeld	157,7	103193,7
	Kleiner	107,7	70480,9
	Groter	207,7	135906,4
Vaargebied 20 % SECA	Voorspeld	157,7	118464,0
	Kleiner	107,7	80910,5
	Groter	207,7	156017,5
Vaargebied 35 % SECA	Voorspeld	157,7	207311,9
	Kleiner	107,7	141593,3
	Groter	207,7	273030,6
Vaargebied 50 % SECA	Voorspeld	157,7	296159,9
	Kleiner	107,7	202276,2
	Groter	207,7	390043,7
Vaargebied 70 % SECA	Voorspeld	157,7	414623,9
	Kleiner	107,7	283186,6
	Groter	207,7	546061,1
Vaargebied, nieuwe IMO regels 2020: 100 % SECA	Voorspeld	157,7	592319,8
	Kleiner	107,7	404552,3
	Groter	207,7	780087,3

	(Voorspeld) Prijs verschil						157,73
	10% SECA	Huidig 17%	20% SECA	35% SECA	50% SECA	70% SECA	100% SECA
Totale investerings kosten scrubber systeem (eenmalig)	2494000,00	2494000,00	2494000,00	2494000,00	2494000,00	2494000,00	2494000,00
Totale jaarlijkse kosten scrubber systeem	48201,95	48201,95	48201,95	48201,95	48201,95	48201,95	48201,95
Totale jaarlijkse brandstofkosten besparing	59231,98	103193,66	118463,97	207311,94	296159,92	414623,88	592319,83
Totaal jaarlijkse besparing met varen met een scrubber	11030,03	54991,71	70262,01	159109,99	247957,96	366421,93	544117,88
Return on Investment (jaren)		226,11	45,35	35,50	15,67	10,06	6,81
							4,58
	Prijs verschil kleiner						107,73
	10% SECA	Huidig 17%	20% SECA	35% SECA	50% SECA	70% SECA	100% SECA
Totale investerings kosten scrubber systeem (eenmalig)	2494000,00	2494000,00	2494000,00	2494000,00	2494000,00	2494000,00	2494000,00
Totale jaarlijkse kosten scrubber systeem	48201,95	48201,95	48201,95	48201,95	48201,95	48201,95	48201,95
Totale jaarlijkse brandstofkosten besparing	40455,23	70480,90	80910,47	141593,32	202276,17	283186,63	404552,33
Totaal jaarlijkse besparing met varen met een scrubber	-7746,72	22278,95	32708,51	93391,36	154074,21	234984,68	356350,38
Return on Investment (jaren)		111,94	76,25	26,70	16,19	10,61	7,00
	Prijs verschil groter						207,73
	10% SECA	Huidig 17%	20% SECA	35% SECA	50% SECA	70% SECA	100% SECA
Totale investerings kosten scrubber systeem (eenmalig)	2494000,00	2494000,00	2494000,00	2494000,00	2494000,00	2494000,00	2494000,00
Totale jaarlijkse kosten scrubber systeem	48201,95	48201,95	48201,95	48201,95	48201,95	48201,95	48201,95
Totale jaarlijkse brandstofkosten besparing	78008,73	135906,42	156077,47	273030,57	390043,67	546061,13	780087,33
Totaal jaarlijkse besparing met varen met een scrubber	29806,78	87704,46	107815,51	224828,61	341841,71	497853,18	731885,38
Return on Investment (jaren)		28,44	23,13	11,09	7,30	5,01	3,41