

ONDERZOEK NAAR TOEPASSING VAN UITLAATGASSENKETELS OP DE AUDACIA

Afstudeerscriptie

Michel van der Niet
11077123

ONDERZOEK NAAR TOEPASSING VAN UITLAATGASSENKETELS OP DE AUDACIA

Afstudeerscriptie



Michel van der Niet
11077123
Allseas Engineering B.V.
Katwijk
Augustus 2015

Michel van der Niet
11077123

VOORWOORD

Dit rapport heb ik geschreven tijdens mijn afstudeerperiode bij Allseas Engineering B.V.

Tijdens het schrijven van dit verslag ben ik 4^e jaars student HBO-werktuigbouwkunde aan de Haagse Hogeschool te Delft. Met mijn afstudeeropdracht hoop ik deze studie volwaardig af te sluiten.

Het afstudeerrapport is bedoeld voor mijn begeleider bij mijn afstudeerbedrijf, Taco Straathof. Verder is het rapport ook bedoeld voor de docenten die mijn afstudeeropdracht gaan beoordelen en alle geïnteresseerden die benieuwd zijn waar mijn afstudeeropdracht over gaat.

Ten slotte wil ik mijn bedrijfsbegeleider, Taco Straathof, bedanken voor zijn hulp, kennisdeling en vooral leuke begeleiding. Verder wil ik alle mensen die betrokken zijn geweest bij mijn opdracht bedanken.

Katwijk, augustus 2015

Inhoudsopgave

SAMENVATTING	6
VERKLARENDE WOORDENLIJST	7
SYMBOLENLIJST	8
1.0 INLEIDING	9
2.0 ORIENTATIE	10
2.1 Bedrijfsachtergrond	10
2.2 Schip achtergrond	10
2.3 Opdrachtschrijving	11
2.4 Probleem-en doelstelling	11
2.4.1 Probleemstelling	11
2.4.2 Doelstelling	11
2.5 Verkenning van de opdracht	12
2.5.1 Schematische weergave	12
2.5.2 Afbakening	13
3.0 ANALYSE	14
3.1 Functieanalyse	14
3.2 Indeling schip	15
3.3 Huidige situatie	16
3.3.1 Huidig verbruik	16
3.3.2 Huidige stoominstallatie	17
3.3.3 Uitlaatgassen	18
3.4 Stabiliteit	19
3.5 Regelgeving	21
3.6 Pakket van eisen	22
4.0 ONTWERPEN	23
4.1 Ideeën ontwikkelen voor de hoofdfuncties	23
4.1.1 Aanbieding 1, Aalborg XCs.	23
4.1.2 Aanbieding 2, Saacke EME-VST	24
4.1.3 Aanbieding 3, Heatmaster HTX	25
4.2 Ideeën ontwikkelen voor de deelfuncties	26
4.2.1 Omschrijving verschillende deeloplossingen	26
4.2.2 Morfologisch Overzicht	28
4.3 Concepten oplossing	29
4.3.1 Ideeën combineren	29
4.3.2 Concepten vastleggen	30
4.4 Het voorlopig eindontwerp	32
4.4.1 Toetsing hoofdfunctie	32
4.4.2 Toetsing deelfuncties	33
4.4.3 Eindconcept	34
5.0 INVESTERINGSVOORSTEL	35
5.1 Kosten onderdelen	35
5.2 Terugverdiertijden	37
5.3 Investeringsvoorstel	39
6.0 DETAILEERING	41
6.1 Plaatsing uitlaatgassenketels	41
6.2 Plaatsing Stoomvat	43
6.2.1 Belasting	44
6.3 Invloed op stabiliteit	46
6.4 Verder onderzoek	48
7.0 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	49

BRONVERMELDING

50

BIJLAGEN

51

- I Plan van aanpak
- II General Arrangement van de Audacia
- III Plattegrond tekeningen
- IV Stoomverbruik
- V Tegendruk dieselmotoren
- VI Aanbiedingen leveranciers
- VII Competentieset

SAMENVATTING

Dit rapport beschrijft het onderzoek naar toepassingsmogelijkheden voor het gebruik van restwarmte op de Audacia. Er wordt onderzocht of het brandstofverbruik door de huidige oliegestookte stoomketels verminderd kan worden, door de energie uit rookgassen van de dieselmotoren te gebruiken voor het vormen van stoom.

Om tot een goede oplossing te komen, zijn er eerst verschillende stappen uitgevoerd. De stappen die gemaakt zijn tot het komen van de resultaten zijn:

- De oriëntatie van de opdracht, waarin er gekeken is naar het schip en de doelstellingen voor de opdracht.
- Analyses waar rekening gehouden wordt bij het uitvoeren van de opdracht; het huidige brandstofverbruik, de huidige stoominstallatie en de uitlaatgassen van de dieselmotoren. Er is begonnen met contact leggen van verschillende leveranciers van uitlaatgassenketels. Ook is er onderzoek gedaan naar de invloed van stabiliteit, eisen van de classificatiebureaus en het uiteindelijke pakket van eisen.
- Het opstellen van een voorlopig ontwerp, die gebaseerd is op de aanbiedingen van de leveranciers, samen met verschillende oplossingen die uitvoerbaar zijn op de Audacia.
- Het investeringsvoorstel, dat voor het management van Allseas bestemd is, waarin een schatting van de totale kosten opgesteld zijn samen met de terugverdientijd van de investering.
- Het detailleren van de uitlaatgassenketel; de exacte locaties van de uitlaatgassenketels, samen met de benodigde aanpassingen in het schip.

Uit het onderzoek naar de toepassing van uitlaatgassenketels komen de volgende uitkomsten:

- Er is een uitbreiding voor het huidige stoomsysteem ontworpen. Deze uitbreiding verbindt het huidige stoomsysteem met de dieselmotoren, zodat de energiewaardes uit de rookgassen van de dieselmotoren overgedragen kunnen worden aan het medium van het stoomsysteem.
- Het totale brandstofverbruik van de Audacia kan met 8% worden verminderd. De huidige oliegestookte stoomketels stoken met deze nieuwe installatie een aanzienlijke hoeveelheid brandstof minder.
- De stabiliteit wordt lichtelijk positief beïnvloedt door de uitbreiding van het stoomsysteem. Door de lage ligging van de onderdelen, zorgt het gewicht wat deze onderdelen met zich meebrengen voor een positieve invloed.
- De kosten van de uitlaatgassenketels zijn €1.159.000,- ± 10%. Onder goede omstandigheden zijn deze kosten binnen 2,5 jaar terugverdiend.
- De uitbreiding van het stoomsysteem geeft het schip meer status, waarbij het dient als visitekaartje voor de duurzaamheid waar het bedrijf aan werkt.

Als de uitlaatgassenketels meer stoom produceren dan er gevraagd wordt, dan is er sprake van een stoomoverschot. Dit overschot moet weer gecondenseerd worden, wat betekent dat er stoomproductie niet nuttig gebruikt kan worden. Deze situatie zorgt voor een langere terugverdientijd. De uitlaatgassenketels verdienen zich het snelst terug als hun stoomproductie nuttig gebruikt wordt.

VERKLARENDE WOORDENLIJST

Anchor Handlers	Op positie blijven door middel van ankers op de zeebodem. Deze manier wordt niet gebruikt door Allseas.
DP (Dynamic positioning)	Een systeem dat automatisch de positie en koers van een schip constant houdt door gebruik te maken van voortstuwing.
Drijfvermogen	De opwaartse kracht van een object in water is even groot als het gewicht van de verplaatste vloeistof. (wet van Archimedes)
General arrangement	Overzicht van het schip, waarin de afmetingen, belangrijkste ruimtes en componenten aangeduid zijn.
HFO	Heavy Fuel Oil, zware stookolie
Lay down	Een laatste fase van het pijpleggen, de pijp beheerst op de bodem laten zakken.
MGO	Marine Gas Oil
PvE	Pakket van Eisen
Risers	(Verticale) buis waardoor het te transporten medium van de onderzeese installatie naar de boorplatformen kan gaan.
SEEMP	Ship Energy Efficiency Management Plan, document waarin het schip verantwoord wat er aan energiebesparing wordt gedaan.
Start up	Begin spanningskabel waarop de pijp gespannen wordt.
Stabiliteit	De mate waarin een schip zichzelf weer in zijn originele positie kan krijgen nadat het uit evenwicht is geraakt.
Stinger	De grote vakwerk-arm op het schip waarlangs de pijp het water in zakt.

SYMBOLENLIJST

Symbol:	Betekenis:	Eenheid:
C_v	Soortelijke warmte	J/kg*K
F	Kracht	N
M	Moment	N*m
p	Druk	mmWc
p	Druk	bar
Q	Debiet	m ³ /s
Q	Energieverbruik	kWh
q	Verdeelde belasting	N/m
T	Temperatuur	K
W	Warmtestroom	J
x	Afstand	m
ρ	Dichtheid	kg/m ³

1.0 INLEIDING

Aan boord van een van de schepen van Allseas, de Audacia, wordt er veel warmte-energie weggegooid. Alle energieprocessen aan boord van de Audacia gebruiken een grote hoeveelheid brandstof. Omdat de brandstof steeds duurder wordt, is het belangrijk om zorgvuldig met het brandstofgebruik om te gaan. Naast de brandstofbesparing, geeft een manier van warmteterugwinning een status en een visitekaartje voor het bedrijf.

Het doel van deze opdracht is dan ook om een onderzoek te verrichten naar een manier om het brandstofverbruik van de Audacia te verminderen. Er wordt een onderzoek verricht naar de effecten op de technische haalbaarheid op het schip en of het wel rendabel is om een investering zoals deze op een verantwoorde manier te maken.

In het volgende hoofdstuk wordt er een oriëntatie gedaan naar de opdracht. Een korte beschrijving van het bedrijf en van het schip ligt toe voor wie en wat de opdracht uitgevoerd wordt. De opdrachtsomschrijving wordt uitgewerkt, samen met zijn probleem- en doelstellingen. Verder wordt er een verkenning gedaan naar de opdracht waarin een paar punten worden afgebakend. In hoofdstuk 3 wordt er een analyse verricht naar de opdracht uitlaatgassen ketels lijken het meest rendabel waarop er gekozen is tijdens het onderzoek hierop de focus te leggen. Verder komt er een onderzoek naar de huidige situatie aan boord van de Audacia, gericht op het huidige stoom- en brandstofverbruik, de huidige stoominstallatie en de waardes van de uitlaatgassen. De nieuwe onderdelen van het stoomsysteem brengen een hoop gewicht met zich mee, er is een analyse gedaan naar het effect op de stabiliteit. Verder worden ook de eisen van de regelgeving en het pakket van eisen meegenomen. In hoofdstuk 4 wordt er een ontwerp gemaakt voor een manier van warmteterugwinning in combinatie met een uitlaatgassenketel. De verschillende ideeën/mogelijkheden worden samengevoegd en aan elkaar getoetst. Hier komt het beste ontwerp naar boven die de warmte van de dieselmotoren kan combineren met het stoomsysteem. In hoofdstuk 5 worden de verwachte kosten van het ontwerp behandeld. Hier zijn alle bijbehorende kosten in meegenomen en geeft een indicatie voor het totaalbedrag en de terugverdientijd. In hoofdstuk 6 wordt het ontwerp verder uitgedetailleerd, de locaties en de invloed op de stabiliteit worden hierin meegenomen. Ook komen de punten die nog niet uitgezocht zijn, maar nog wel uitgezocht moeten worden meegenomen in het vervolg van de opdracht. In hoofdstuk 7 zijn de conclusies en de aanbevelingen van deze opdracht weergegeven.

2.0 ORIENTATIE

In de eerste fase van de opdracht wordt er oriënterend gekeken naar de probleemsituatie. Er wordt onderzocht wat de daadwerkelijke probleemstelling is en wat de doelstellingen zijn. Hiervoor dient er een duidelijke opdrachtschrijving opgesteld te worden, die samen met de projectgrenzen en randvoorwaarden het bereik en grootte van de opdracht vormen. Vervolgens wordt de aanpak bepaald met de op te leveren producten. Het plan van aanpak is te vinden in Bijlage I.

In dit hoofdstuk staat de oriëntatie van het bedrijf en de opdracht centraal. De achtergrond van het bedrijf en het schip, waar de opdracht voor bestemd is, worden kort omschreven zodat er een beeld gecreëerd wordt waarvoor de opdracht dient. Vervolgens wordt de opdracht bondig geformuleerd en worden de probleem- en doelstellingen hard gemaakt. Aan de hand van deze eisen kan er met de volgende fase, de analysefase, worden begonnen.

2.1 Bedrijfsachtergrond

De Allseas Group is een in Zwitserland gevestigd bedrijf, opgericht in 1985 en tegenwoordig marktleider in de offshore pijpleidinginstallatie en onderzeese constructie. Het is wereldwijd actief als ondersteuning voor klanten als conceptueel ontwerper, engineering, inkopen, installatie en inbedrijfstelling.

Afbeelding 2.1 geeft de vloot van Allseas weer. Het bedrijf heeft een veelzijdige vloot van gespecialiseerde pijpenlegger en ondersteunende schepen. De schepen Solitaire, Audacia en Lorelay zijn uitgerust met DP. Voor ondiep water operaties wordt de Tog Mor ingezet en voor onderzeese installatie de Calamity Jane.



Afbeelding 2.1, Allseas' vloot¹

Allseas is momenteel bezig met het bouwen en ontwikkelen van het grootste platformschip ter wereld: De Pioneering Spirit, welke 328m lang en 124m breed is.

Het bedrijf heeft meer dan 2.000 mensen in dienst en heeft kantoren in Zwitserland (hoofdkantoor), België (bemanning afdeling), Nederland (engineering) en projectlocatie gerelateerde kantoren in de VS, Australië, Portugal, het Verenigd Koninkrijk en India.

2.2 Schip achtergrond

Audacia is Allseas' nieuwste pijpenlegger. Operationeel sinds 2007, ze is geoptimaliseerd voor het uitvoeren van kleine tot grote diameter pijplijn projecten van iedere lengte in vele waterdiepten. De Audacia is ook geschikt voor bijbehorende werkzaamheden zoals de installatie van de risers en de bescherming van onderzeese frames.

Het concept voor de Audacia, in afbeelding 2.2 weergegeven, is volledig in-house ontwikkeld. Ze is 225 m lang en is daarmee het middelste DP pijpenlegger schip van Allseas. In termen van lengte zit ze tussen de Lorelay (183 m) en de Solitaire (300 m) in.

Door nauwkeurig te manoeuvreren op dynamic positioning (DP) kan de Audacia veilig te werk gaan in drukke gebieden en kunnen pijpleidingen tot wel twee kilometer diep worden gelegd.



Afbeelding 2.2, De Audacia²

¹ Bron: Allseas' archief

² Bron: Allseas' archief

Pipeline start-ups en lay-downs worden uitgevoerd in een zeer hoge snelheid en dat zorgt ervoor dat verstoringen van andere activiteiten in de buurt van platforms worden geminimaliseerd. De Audacia is ontworpen om wereldwijd inzetbaar te zijn. Doordat de Audacia een grote buffercapaciteit heeft en ze niet afhankelijk is van anchor handlers, is het schip minder afhankelijk van bevoorradingschepen.

Haar hoge vaarsnelheid, hoge pijpleggsnelheid en grote draagkracht maken de Audacia zeer concurrerend voor andere pijpleggers overal op de wereld.

2.3 Opdrachtschrijving

Aan boord van de Allseas schepen wordt een grote hoeveelheid brandstof verbruikt. De brandstof wordt voornamelijk gebruikt voor het op positie houden van de schepen. Daarnaast zijn er op de schepen een hoop installaties te vinden welke een relatief grote energie afname hebben. De Audacia is het enige schip van de Allseas' vloot die beschikt over een stoomsysteem, welk wordt gebruikt voor het warm houden van tanks, separators, verdampers (watermakers), drinkwaterverwarming en verwarming van ruimtes.

Op dit moment wordt al deze warmte-energie opgewekt door de oliegestookte stoomketels. En dit terwijl er mogelijk restwarmte terug te winnen valt vanuit de dieselmotoren.

Doel is het in kaart te brengen van de huidige situatie en van de mogelijkheden om de afname van energie te reduceren en daarnaast het vinden van de meest passende oplossing om energie terug te winnen. Dit alles wel met alle daarbij behorende aspecten zoals technische haalbaarheid en terugverdiëntijden.

2.4 Probleem-en doelstelling

De probleem- en doelstellingen worden in dit hoofdstuk opgesteld. De probleemstellingen komen bij de opdrachtschrijving vandaan en de doelstellingen geven aan wanneer er aan de opdracht voldaan is.

2.4.1 Probleemstelling

De probleemstelling van dit project is als volgt:

Hoe kan de restwarmte, die door de dieselmotoren van de Audacia geproduceerd worden, het beste benut worden?

De probleemstelling duidt aan, dat de geproduceerde restwarmte benut kan worden voor nuttige dingen zoals;

- Het verwarmen van het tapwater aan boord.
- De verwarmingsketels op temperatuur houden.
- Het ondersteunen van de verwarming aan boord.
- Het verwarmen van zware stookolie tanks.

Bovenstaande punten geven aan dat d.m.v. restwarmte een energie besparing kan worden behaald, die uiteindelijk leidt tot een vermindering van het brandstofgebruik van het schip.

2.4.2 Doelstelling

Het onderzoeken en aanbevelen van een systeem waarin de door de dieselmotoren geproduceerde restwarmte nuttig benut kan worden voor de Audacia.

Het onderzoeken, ontwerpen en tekenen van installaties welke restwarmte van de dieselmotoren nuttig gebruiken toegepast op de Audacia. Hiervoor wordt er een investeringsvoorstel opgesteld waarin de volgende punten staan opgesteld:

- De brandstofreductie van het schip.
- De investeringskosten (CAPEX).
- De terugverdiëntijd van de installatie.
- De technische haalbaarheid van het systeem.

Als ondersteuning van het investeringsvoorstel wordt er een presentatie, een verdediging en een eindverslag opgeleverd, waarin de weg naar het investeringsvoorstel beschreven staat.

2.5 Verkenning van de opdracht

In dit hoofdstuk wordt de opdracht globaal bekeken. In de volgende fase gaat het onderzoek dieper op de huidige situatie in. Om het inzoomen doeltreffend te houden, wordt in dit hoofdstuk de oplossingsrichting afgebakend. De huidige situatie komt hier schematisch aan bod met afbakening en randvoorwaarden.

2.5.1 Schematische weergave

In de huidige situatie worden alle warmtebehoeftheden voor de Audacia opgewekt door de twee stoomketels. In afbeelding 2.3 staat een schematische weergave van de situatie weergegeven. De stoomketels verstoken olie om het water te verwarmen en om te zetten tot stoom.

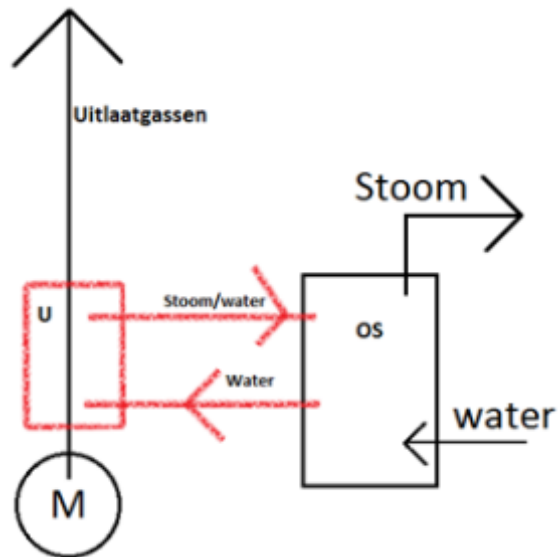
In de afbeelding betekent:

OS; (huidige) oliegestookte stoomketels

M; (huidige) dieselmotoren

U; (Toekomstige) Uitlaatgassenketel

De stoomketel en de dieselmotoren zijn niet met elkaar verbonden. Dit terwijl de rookgassen een hoeveelheid warmte-energie bevatten wat via de schoorstenen het schip verlaat. In de afbeelding staat er tussen deze twee systemen een verbinding getekend. De gekrijte verbinding stelt een uitlaatgassenketel voor. Een deel van het water dat tot stoom omgezet moet worden, gaat door deze uitlaatgassenketel heen. De rookgassen van de dieselmotor warmt het water op, zodat het zich vormt tot stoom. In plaats dat de rookgassen ongebruikt worden weggegooid, worden ze hier gebruikt om het water op te warmen. Hierdoor hoeft de stoomketel minder stoom te produceren wat leidt tot een vermindering van het brandstof gebruik.



Afbeelding 2.3, Opdrachtsituatie

Tijdens het varen op DP wordt het schip in positie gehouden door zeven thrusters. Deze thrusters worden aangedreven door een elektromotor, die zijn vermogen aangeleverd krijgt van de generatoren. De dieselmotoren wekken de elektriciteit op, die de generatoren leveren aan de thrusters. De situatie is weergegeven in afbeelding 2.4.

In de afbeelding staan een aantal letters:

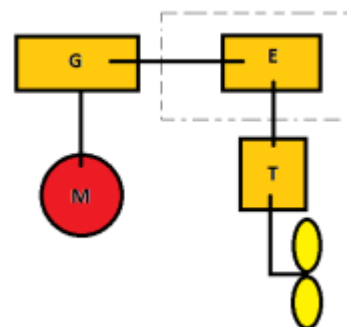
M; dieselmotoren

G; generator

E; elektromotoren

T; thrusters

Het vermogen van iedere thruster is 5 MW, oftewel 35 MW over alle 7 thrusters. Deze elektromotoren worden met zeewater gekoeld. Er is kort onderzocht of hier warmte-energie uit te halen valt voor het stoomsysteem.



Afbeelding 2.4, Thrusteraandrijving

De onderdelen van de elektromotor, die met zeewater worden gekoeld, worden niet warmer dan 60°C.⁹ Dit houdt in dat het koelwater ook niet warmer wordt dan 60°C. Omdat er warmte toegevoegd moet worden aan het koelwater om het bruikbaar te maken voor het winnen van restwarmte lijkt het dus niet rendabel om naar deze oplossingsrichting te kijken. De focus voor de oplossingsrichting blijft voorlopig bij de uitlaatgassen.

⁹ Bron: Elektrisch Inspecteur binnen Allseas.
Michel van der Niet
11077123

2.5.2 Afbakening

Om niet beknecht te raken in de opdracht, wordt de diepgang en de breedte ervan beperkt gehouden. De omvang van het project worden bepaald door de grenzen en de randvoorwaarden. De projectgrenzen bepalen hoe breed en hoe diep de opdracht gaat, de randvoorwaarden bepalen waar de opdracht aan moet voldoen.

Projectgrenzen

- De opdracht beperkt zich tot het stoomsysteem plus andere systemen die direct invloed hebben op mijn opdrachtsituatie.
- De directe gevolgen van het nieuwe (deel van het) stoomsysteem worden in de opdracht meegenomen. (Zoals brandstof besparing, invloed op stabiliteit).
- Er dient een investeringsvoorstel te worden geschreven. De tijd die hierna over is, dient te worden besteed aan het uitdetaileren van het systeem.
- Het stoomsysteem hoeft alleen voor de Audacia geschikt te zijn.
- Er is geen maximaal budget opgesteld voor deze opdracht, wel is er een eis voor de terugverdientijd.
- Het zelf ontwerpen van een onderdeel van het stoomsysteem valt buiten de opdracht.
- Aangezien de tijd beperkt is en de levering, na bestelling, van de systemen (waarschijnlijk) langer dan 5 maanden duurt, wordt het begeleiden en ondersteunen van de plaatsing niet meegenomen.

Randvoorwaarden

De opdracht dient wel aan een aantal randvoorwaarden voldoen, om hem tot een goed einde te brengen.

- Het bedrijf verstrekt de benodigde informatie (indien tot beschikking) aan de student.
- De student moet de middelen hebben om zijn opdracht goed uit te voeren.
- Een begeleider coacht de student tijdens zijn afstudeerperiode.
- De resultaten voor de opdracht moeten schikken voor de Audacia.
- De voorzieningen van de personen aan boord moeten gelijk blijven of beter worden.

3.0 ANALYSE

In dit hoofdstuk staan de analyses beschreven. Hierbij is als eerst de doelstelling in de vorm van een functieboom opgeschreven. Vervolgens is de huidige situatie van het schip behandeld op gebied van ruimte/indeling, stoomgebruik en de vrijkomende uitlaatgassen. De invloed van het gewicht op relatie tot stabiliteit. De eisen van de classificatiebureaus die relevant zijn en tot slot een pakket van eisen waaraan de concepten moeten voldoen. Al deze onderzoeken worden gedaan om goed voorbereid aan de conceptfase te beginnen.

Wanneer er concepten opgesteld worden, is het belangrijk dat er niet gestruikeld wordt over obstakels die de concepten met zich mee brengen. Deze worden van te voren, in de analysefase, behandeld. In deze fase komen de volgende stappen aan bod:

- Een analyse van een doelstelling, waarin de doelstelling in kleinere stappen uitgelegd wordt.
- De huidige situatie in kaart brengen, er wordt in kaart gebracht wat het huidige verbruik, indeling en andere aspecten van de Audacia zijn.
- Andere ontwerp punten waar op gelet moet worden zoals; stabiliteit, regelgeving en het pakket van eisen.

Deze stappen worden in de opvolgende hoofdstukken behandeld. In ieder stuk komen de belangrijkste punten naar boven die worden meegenomen in de volgende fase. Verder zorgt deze fase voor inzicht in de probleem- en doelstelling, zodat er met meer gerichte kennis aan de ontwerp fase gestart wordt.

3.1 Functieanalyse

Om de doelstelling helder te noteren, is er in figuur 3.1 een functieboom neergezet. In dit overzicht staat de doelstelling als hoofdfunctie neergezet. Voor deze doelstelling, staan drie oplossingen weergegeven die verder worden uitgewerkt.



Figuur 3.1, Functieboom doelstelling

De doelstelling van de opdracht is om het brandstofverbruik van het schip te verminderen. Voor deze opdracht wordt er gekeken naar de mogelijkheid om het gebruik van de oliegestookte stoomketels te verminderen. In bovenstaande functieboom staan drie mogelijkheden uitgewerkt om dit te realiseren:

- Energieterugwinning, het winnen van restwarmte aan boord dat nu wordt weggegooid.
- Minder energiegebruik, een vermindering van het gebruik door het personeel aan boord.
- Rendement verhogen, de efficiency van het huidige systeem verbeteren door het verlies te beperken en/of de regeling te verbeteren.

Omdat het doel van de opdracht ligt bij de energieterugwinning wordt daar de focus van de opdracht op gericht. Door gebruikmaking van een uitlaatgassenketels kan er warmte terug worden gewonnen, wat ingezet kan worden als warmtebron bij het stoomsysteem. Wanneer dit principe goed gebruikt wordt, kan het brandstof gebruik van de huidige oliegestookte stoomketel verminderd worden. Van de uitlaatgassen zijn de benodigde gegevens bekend om te berekenen hoeveel energie er per dieselmotor gewonnen kan worden. Dit wordt als volgt bepaald:

Warmtestroom uitlaatgassen

$$W = Q * C_v * (T_2 - T_1) * \rho^r$$

Waarin:

W in [J] warmte-energie uitlaatgassen

Q in 6 [m³/s] debiet uitlaatgassen

C_v in 900 [J/kg*K] soortelijke warmte uitlaatgassen

T in 320 [K] temperatuurverschil uitlaatgassen

p in 0,5 [kg/m³] dichtheid uitlaatgassen

Invullen geeft: W = 864 [kJ]

Dit betekent dat er iedere seconde 864 [kJ] te winnen valt aan de rookgassen van de motoren.

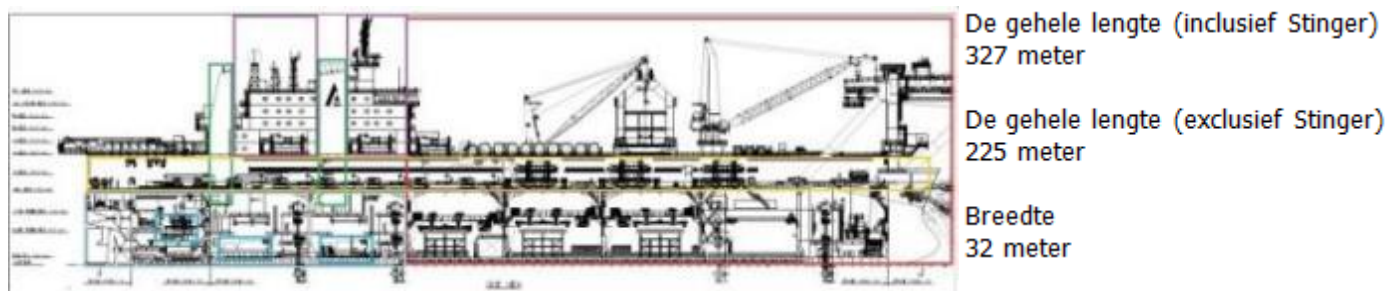
Een tweede mogelijkheid is om het gebruik per persoon aan boord aan te scherpen. Op deze wijze wordt de vraag naar stoom minder en wordt er minder stoom geproduceerd en dus ook minder brandstof verbruikt, door de oliegestookte stoomketel. Deze oplossingsrichting gaat tegen de randvoorwaarden in en is dus niet van toepassing.

Een derde mogelijkheid is besparen van energie. Dit kan gebeuren door het rendement van de huidige installatie te verhogen. Wanneer er minder verlies op treedt (warmte- of drukverlies), wordt de efficiency van het systeem hoger.

Door goed gebruik te maken van deze functieboom, kan het doel van sommige oplossingen beter begrepen worden. In de volgende paragrafen komen er verschillende analyses aan bod die ondersteuning en verduidelijking geven aan verschillende blok-onderdelen van deze boom.

3.2 Indeling schip

In afbeelding 3.1 staat het stuurboord zijaanzicht van het schip weergegeven, welke een indicatie geeft voor de indeling van het schip. Een grotere afbeelding van de general arrangement is te vinden in bijlage II. Door het bestuderen van de (beschikbare) ruimtes aan boord wordt er inzicht gegeven welke ruimtes en afmetingen er beschikbaar zijn voor de uitlaatgassenketels.



Afbeelding 3.1, Zijaanzicht Audacia³

De Audacia is verdeeld in verschillende vlakken welke grofweg de ruimtes omschrijven. Deze zijn:

- Het oranje vlak geeft de pijpleginstallatie van het schip weer. Op dit dek wordt de pijpleijn geassembleerd en richting de Stinger getransporteerd.
- Het rode vlak duidt de ondersteuning van het pijpleggen aan. Hier staan onder andere de opslagruimte, de kranen en de Stinger in weergegeven.
- De paarse ruimtes zijn toegewezen aan de accommodatie en de brug van het schip.
- De groene vlaktes geven de schoorstenen aan waar de uitlaatgassen omhoog gaan.
- Het lichtblauwe vlak geeft de machinekamer aan met daarin als donkerblauw de dieselmotoren.

Voor het bepalen van de afmetingen en de inhoud van het schip, kan er gebruik worden gemaakt van de bouwtekeningen van het schip. De tekeningen, die relevant zijn voor deze opdracht, staan weergegeven in Bijlage III.

De machinekamer is onderverdeeld in drie delen:

- Machinekamer 1 (ER1)
- Machinekamer 2 (ER2)
- Machinekamer 3 (ER3)

^r Formule uit boek toegepaste energieleer bladzijde 35

³ Bron: Allseas' s archief

Machinekamer 1&2 zijn beide 26 meter lang, 32 meter breed en hebben beide drie dieselmotoren geïnstalleerd. Deze twee kamers leiden hun uitlaatgassen aan bakboord (ER1) en stuurboord (ER2) op dezelfde lengte positie van het schip naar buiten. Machinekamer 3 bevat de voortstuwingsmotor die de hoofdschroef aandrijft. Omdat ER3 geen onderdeel uitmaakt van deze opdracht, wordt hier niet verder naar gekeken. In beide ER1&2 staan 3 generatoren, die hun elektrische energie krijgen van de dieselmotor in deze machinekamer. Deze generatoren zijn onder andere verantwoordelijk voor de voeding van de thrusters. De beschikbare hoogte in ER1&2 ligt rond de 7 meter vanaf het uitlaatpunt van de dieselmotoren.

Het is aan te raden om de uitlaatgassenketels in de machinekamer of in de schoorstenen te plaatsen. Dit omdat het in de machiekamers makkelijk in verbinding kan worden gebracht met de andere onderdelen van het stoomsysteem en omdat beide ruimtes (waarschijnlijk) hiervoor bestemd zijn. In de machinekamer is de omgeving daarvoor geschikt. Aanbevolen wordt om deze locaties als richtlijn te gebruiken en meer te kijken naar exacte locaties binnen deze ruimtes.

3.3 Huidige situatie

Om meer inzicht in de probleemstelling te krijgen, dient de reden van de opdracht tegen het licht gehouden te worden; het huidige stoomverbruik. Hiervoor wordt onderzocht hoeveel stoomverbruik er is aan boord van de Audacia. Hierom dienen de volgende vragen te worden beantwoord:

- Hoeveel stoomverbruik is er in de huidige situatie en wat is (vermoedelijk) het effect wanneer er een uitlaatgassenketel aan het schip wordt gevoegd?
- Hoeveel uitlaatgassen zijn er en waarmee kan worden gerekend?

3.3.1 Huidig verbruik

Er dient eerst een overzicht te worden opgesteld van de stroomverbruikers, waar het (huidige) stroomverbruik met zijn maximale en gemiddelde verbruik per gebruiker. Voor het gehele overzicht wordt verwezen naar Bijlage IV. In deze bijlage staan de volgende overzichten:

- Gemeten stoomverbruik.
- Berekend stoomverbruik.
- Berekening voor een mogelijke uitlaatgasketel.

Het berekende stoomverbruik komt voor uit alle individuele verbruikers. Er is gekeken naar een winter en een zomer situatie. Gemiddeld gezien is er tijdens winterse periodes meer warmtebehoefte dan in de zomer. Door de toenemende behoefte naar warmte wordt de aanvoer van stoom ook hoger.

In het totale stoomverbruik, zoals te zien in tabel 3.1, is er onderscheid gemaakt tussen een situatie wanneer er wel en geen verdamper aan staan. Deze waardes komen uit de handleidingen van de machinekamer⁴. Watermakers zijn goed voor ongeveer 50% van het totale stoomverbruik. De watermakers voorzien de bemanningsleden van schoon drinkwater. Voor ieder bemanningslid wordt 225 liter water per dag gerekend. Dit schip heeft accommodatie voor 270 personen, daarmee uitkomend op een productie van $\pm 60 \text{ m}^3$ water per dag.

Item	Total (kg/h)	Transit/DP (HFO)	DP winter (MGO) with evaporators	DP summer (MGO) with evaporators	DP winter (MGO) without evaporators	DP summer (MGO) without evaporators	Comments
Piping loss	510	119	121	88	0	0	
Total steam request (kg/hr)	17519	4070	4291	3119	2398	1442	kg/hr
Total steam request (kW/hr)	12034	2796	2948	2142	1647	991	kW
Percentage of max capacity	381	88	93	68	52	31	%

Tabel 3.1, Overzicht stoomverbruik

Naast de bemanningsleden hebben ook (technische) systemen een aandeel in het stoomverbruik. De stoom wordt zowel gebruikt voor het op temperatuur te houden van de smeerolie, brandstofaanvoer van de hoofdmotoren als voor de separators.

Het huidige stoomverbruik varieert in de winter op 4300 kg/uur en in de zomer op 3100 kg/uur. Het hoge verschil in de winter, vergeleken met de zomer, is dat het stoom ook wordt gebruikt voor de verwarming aan boord. De watermakers zijn goed voor ongeveer 1500 kg/uur stoomgebruik per uur. Aangezien de watermakers bij verre weg de meeste stoom voor hun rekening nemen, wordt er aanbevolen om het verbruik van de watermakers mee te nemen in de opdracht.

⁴ Bron: Aalborg. (2006). Allseas Audacia Steam System ER 1/2/3, AU-841/N1/2.
Michel van der Niet
11077123

Om aan te geven wat de effecten zijn van een uitlaatgassenketel, staat er in tabel 3.2 een rekenmodel opgesteld. In dit model zijn er bepaalde vlakken gemarkeerd waarin specifieke waardes, die invloed hebben op de terugverdientijd, ingevuld kunnen worden. Dit zijn het brandstofprijs/verbruik, het effectieve bereik van de uitlaatgassenketel en de investeringskosten. De uitkomst van deze ingevulde waardes geeft de terugverdientijd aan. Het volledige rekenmodel is ook terug te vinden in eerder genoemde bijlage IV.

General information:

Price fuel HFO, 3.5% sulphur, 380cSt	350	\$/ton
Price fuel MGO, 0.1% sulphur	544	\$/ton
Exchange rate dollar to euro	0.89	
Percentage sailing warm area	80	[%]
Percentage sailing cold area	20	[%]
MGO caloric value	42.3	[MJ/kg]
HFO caloric value	40.2	[MJ/kg]
HFO (LS) caloric value	40.5	[MJ/kg]
amount of engines	6	
amount of engines online	4	
avg power output	25	[%]
Average fuel consumption Audacia 2008-2012	13521	[ton]

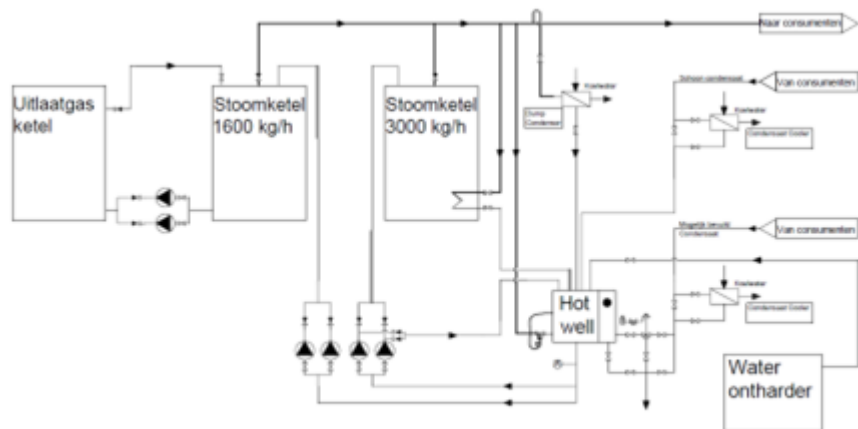
3.3.2 Huidige stoominstallatie

Om dieper op het stroomverbruik in te gaan, dient er gekeken te worden naar de huidige installatie op de Audacia. De bestaande stoominstallatie staat in afbeelding 3.2 schematisch weergegeven. De installatie gebruikt stoom om het schip van warmte-energie te voorzien.

In het schematische overzicht van de stoominstallatie staan een aantal componenten weergegeven. In onderstaande afbeelding staan onder andere de twee oliegestookte stoomketels weergegeven. Deze voorzien de verbruikers van hun stoombehoefte.

De stoomketels krijgen heet water aangevoerd vanuit de waterbron op het schip. Aan boord spreekt men van een 'Hotwell'. Deze waterbron krijgt zijn water van 3 componenten:

- De watermakers
- Het stoom/water wat retour komt van de gebruikers.
- Het water van de ontzouter (Water softener / Brine tank).



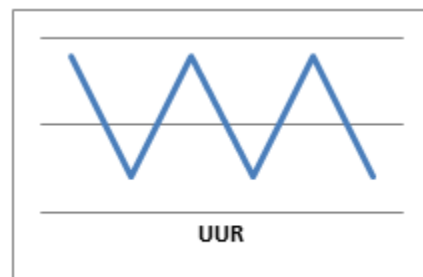
Afbeelding 3.2, Schematische voorstelling stoominstallatie.

Het is belangrijk, in verband met de veiligheid, dat het water wat in de Hotwell komt, volledig condenseert. Wanneer dit niet gebeurt, kan de instroom te warm worden en wordt de effectiviteit van de hotwell verlaagd. Om zorg te dragen dat het condensaat altijd met de juiste temperatuur wordt aangeboden aan de hotwell wordt gebruik gemaakt van het zoetwater koelsysteem. De stoomdruk in de installatie wordt geregeld door de stoomketels.

Bij een overschot aan stoom wordt gebruik gemaakt van een koeler welk zorgt dat de stoom weer als condensaat kan worden aangeboden aan de hotwell.

De verbruikers, zoals behandeld in hoofdstuk 3.2.1, gebruiken verschillende hoeveelheden stoom. Er is echter een probleem bekend met deze installatie:

Voor het ombouwen van de Audacia in 2004, had dit schip al een stoomketel (de kleine met een capaciteit van 1600 kg/uur). Bij de verbouwing is er een tweede, grotere ketel bijgeplaatst met een capaciteit van 3000 kg/uur. Er is tussen deze twee ketels een probleem bij de communicatie. De drukregeling tussen deze twee ketels loopt niet goed. Beide ketels vangen de aanvraag op, maar doen dit ongeregeld. Beide stoomketels springen constant aan en uit. (Zie grafiek 3.1). Door het vele aan en uitschakelen ontstaat vervuiling in de ketel die zorgt voor een rendement verlaging.



Grafiek 3.1, Weergave gedrag stoomketel

Een master/slave regeling tussen deze twee ketels zou een mogelijkheid kunnen zijn. Op deze wijze speelt de grote ketel als master en ondersteund de kleine ketel hem indien nodig. Hierbij is het wenselijk om de ketels zo constant mogelijk te laten draaien.

3.3.3 Uitlaatgassen

Om de energie-efficiency van het schip te vergroten is het slim om de energie, in de vorm van warmte, die nu wordt weggegooid te gaan benutten.

De temperatuur en het debiet van de uitlaatgassen variëren bij de verschillende belastingen van de dieselmotor. Zoals te zien in tabel 3.2, wordt de temperatuur van de uitlaatgassen hoger naarmate het debiet lager wordt. Wanneer de Audacia op DP ligt, dan is de belasting per dieselmotor onder de 50%. Normaal gesproken draait een dieselmotor tijdens DP van 10%~40%. Wanneer de dieselmotor meer vermogen moet leveren om op positie te blijven, springt er een volgende dieselmotor bij om de belasting te verdelen. Dit gebeurt tot alle 6 dieselmotoren aanstaan. Indien er een dieselmotor uitvalt, dient ieder andere dieselmotor zijn vermogen direct en probleemloos opvangen.

De Audacia gebruikt verschillende soorten brandstof. Het schip beschikt over een dieselmotor die moet draaien op verschillende soorten brandstof. De Audacia gebruikt de volgende brandstoffen:

- MGO, gedestilleerde gas olie
- HFO 380, stookolie.

Deze stookoliën worden gewonnen tijdens het kraken van (ruwe) aardolie. Hierbij komen verschillende producten vrij.

MGO, staat voor marine gas olie, wordt als brandstof van de dieselmotoren gebruikt en bevat maximaal 0,1% zwavel. Deze brandstof wordt gebruikt wanneer het schip in bepaalde gebieden vaart, waar het niet toegestaan is om meer dan 0,1% zwavel bevattende brandstof te varen.

HFO 380 (Heavy Fuel Oil) is zware stookolie. Op kamertemperaturen is de viscositeit van deze brandstof hoog (het is een stroopachtig mengsel) en kan moeilijk getransporteerd worden. Deze olie wordt dan ook in bunkertanks (opslagtanks) op temperaturen rond de 40°C gehouden zodat het meer vloeibaar blijft en beter te transporteren is. De brandstof wordt aangeboden voor de dieselmotoren op 80°C of hoger. Deze stookolie mag een maximaal zwavelpercentage van 3,5% bevatten.

Een andere belangrijke factor is de optredende tegendruk van de dieselmotoren. De totale tegendruk wordt gedefinieerd door alle obstakels die de uitlaatgassen tegen komen tot het verlaten naar de atmosfeer. Dit zijn; bochten in de uitlaat, geen gladde buisranden, kleppen, filters etc. Al deze onderdelen zorgen voor weerstand, waar de dieselmotor extra vermogen moet afgeven om die weerstand te overbruggen. Dit resulteert in een lagere effectiviteit van de dieselmotor met een hoger brandstofverbruik.

In bijlage V. is er een berekening te zien van de tegendruk en de samenstellingen van de uitlaatgassen bij verschillende belastingen.

Load	50	75	85	100	[%]
Exhaust gas flow	6.2	9.13	10.3	12	(kg/s)
Exhaust gas temperature	421	378	366	359	(°C)

Tabel 3.2, Gegevens uitlaatgassen

De energie van de uitlaatgassen dient goed gebruikt te worden. Het is binnen Allseas bekend hoe vaak de dieselmotoren op een bepaalde belasting draaien. De Audacia is in haar gebruik bijna continu bezig met pijpleggen. Dit houdt in dat de 6 dieselmotoren, die de boegschroeven aansturen, variërend draaien met de benodigde belastingen voor het DP. De uitlaatgassenketel dient dan ook op deze belastingen berekend te worden. De uitlaatgassen mogen een maximale tegendruk van 300 mmWC ondervinden tot aan de uitlaat op atmosferische druk. Deze maximale tegendruk is gegeven door de fabrikant van de motor en tot aan deze waarde gegarandeerd de fabrikant het op te leveren vermogen van de motor.

Aangezien Allseas zelf geen uitlaatgasketels ontwerpt, dient dit uitbesteed te worden bij andere bedrijven. Mogelijke kandidaten zijn:

- AlfaLaval, een Zweeds bedrijf die zich richt op energieproductie en andere procesindustrieën. De huidige stoominstallatie is door dit bedrijf geplaatst.
- Heatmaster, een Nederlands bedrijf die zich richt op warmtegebruik van ketels.
- Saacke, een Duits bedrijf die zich ook in deze werkvelden bevindt.

Met deze bedrijven dient contact opgenomen te worden om mogelijke opties te bespreken. Zo kan er op basis van de aanbiedingen van deze bedrijven een keuze worden gemaakt over het plaatsen van een uitlaatgassenketel die op de probleemstelling aansluit. Er wordt hierbij gelet op de stoomopbrengsten, technische haalbaarheid, formaat en gewicht en de kosten. Hier opvolgend worden de investeringskosten bepaald.

Er wordt aangeraden om met deze bedrijven rond de tafel te gaan zitten en ze de situatie uitleggen van de Audacia. Laat hierbij doorschemeren dat de uitlaatgassenketel ontworpen moeten worden op de belasting waar de hoofdmotoren het meest op draaien; tussen de 10~40%. Uiteindelijk komen hier de verschillende opties uit, die meegenomen worden naar de volgende fase, het bedenken van verschillende concepten.

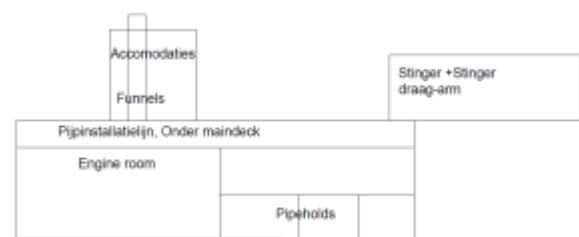
3.4 Stabiliteit

Een ander punt waar ook rekening mee gehouden wordt, is de stabiliteit van het schip. Het gewicht en de oppervlakte van het schip bepalen de stabiliteit. Aangezien er naar waarschijnlijkheid nieuwe onderdelen in het schip geplaatst gaan worden, die samen enkele tonnen kunnen wegen, is het raadzaam om de stabiliteit van het schip in de opdracht te betrekken. De vraag die bij dit hoofdstuk luidt is: Wat is bij het plaatsen van uitlaatgassenketels het effect op de stabiliteit van de Audacia?

Een schip kan blijven drijven als de zwaartekracht die het schip naar beneden trekt gecompenseerd wordt door kracht ten gevolge van de opwaartse druk van het water die op de romp van het schip speelt. De grootte van de opwaartse kracht is afhankelijk van het volume van het onderwater gelegen deel van het schip. De grootte van deze kracht wordt gedefinieerd als drijfvermogen. Als een schip drijfvermogen heeft, maar geen reservedrijfvermogen, zal het schip onder extra gewichtsbelasting gaan zinken. Het reservedrijfvermogen wordt gecreëerd door alle ladingen, accommodatie en en verdere belastingen.

Schepen worden ontworpen Om in rechtstandige positie te blijven. Afhankelijk van de stabiliteit van het schip, kan het schip wel of niet terug komen in haar originele positie. Schepen kunnen uit evenwicht raken door: golven, wind, stroming en wisselende belastingen aan boord. Aangezien de Audacia tijdens het pijpleggen op DP vaart, is het belangrijk dat de stabiliteit het op positie houden van het schip goed ondersteund.

In afbeelding 3.3 staat een versimpelde versie van de Audacia weergegeven. De Audacia heeft net als de andere pijplegschepen van Allseas een Stinger waarmee zij de pijp beheerst in het water laat zakken. Deze Stinger hangt vooraan op het Main Deck en brengt een grote hoeveelheid gewicht met zich mee. Doordat dit gewicht boven de waterlijn en niet centraal staat, heeft dit een impact op de stabiliteit van het schip.

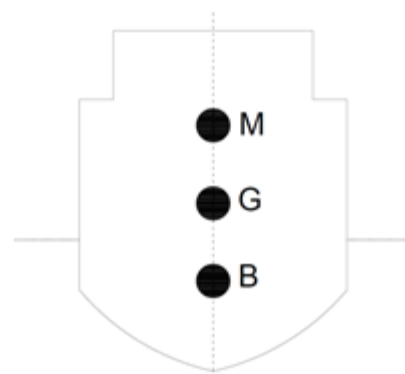


Afbeelding 3.3, Versimpelde Audacia

De volgende factoren hebben de grootste negatieve invloed op de stabiliteit van de Audacia.

- Zware ladingen boven de waterlijn; de Stinger en Stinger handling frame, de pijplegstraat.
- De kranen die zware ladingen laden/lossen.
- Het leegpompen van laaggelegen tanks.
- De breedte van de Audacia; In verhouding met zijn lengte 225 meter tegenover 32 meter breedte is zij een relatief smal schip. Dit speelt niet in het voordeel van de stabiliteit.

Onder normale omstandigheden is het schip in evenwicht. In afbeelding 3.4 is een evenwichtssituatie te zien. Als het schip in evenwicht is, blijft het op zijn positie. Wanneer er (externe)



Afbeelding 3.4, Evenwichtssituatie

krachten op het schip werken als in; golven, stromingen, windbelasting of mechanische belastingen, dan neigt het schip om uit zijn evenwichtspositie te raken. Bij vaartuigen zijn twee factoren een grote rol bij het evenwicht:

- G, het zwaartepunt van het schip. Deze wordt beïnvloed door het formaat en het totale gewicht van het schip. De plaats van G verandert niet als het schip helt.
- B, het drukingspunt van het schip. De drukingspunt is het zwaartepunt van het schip, wat zich onder water bevindt. Deze locatie verandert als het schip kantelt en wordt aangeduid met B ϕ . De positie van G ten opzichte van de verticale lijn van B ϕ bepaalt de stabiliteit van het schip.
- M, de metacenter van het schip. Dit is het resulterende punt van de opwaarts werkende krachten die het water uitoefent op het onderwaterdeel van het schip. De M wijzigt wanneer het schip helt.

De afstand tussen M en G bepaalt de aanvangsstabiliteit van het schip. Zolang M boven G blijft, is het schip stabiel en zal het niet gaan kapseizen. Als het schip uit evenwicht wordt gebracht, zal het weer in zijn oorspronkelijke positie komen. Als dit niet de situatie is, dan zal het schip instabiel worden en een nieuwe evenwichtspositie aannemen, het schip zal gaan omslaan.

De afstand tussen M en B kan berekend worden aan de hand van de volgende formule: ^F

$$MB = \frac{I}{V}$$

Waarin:

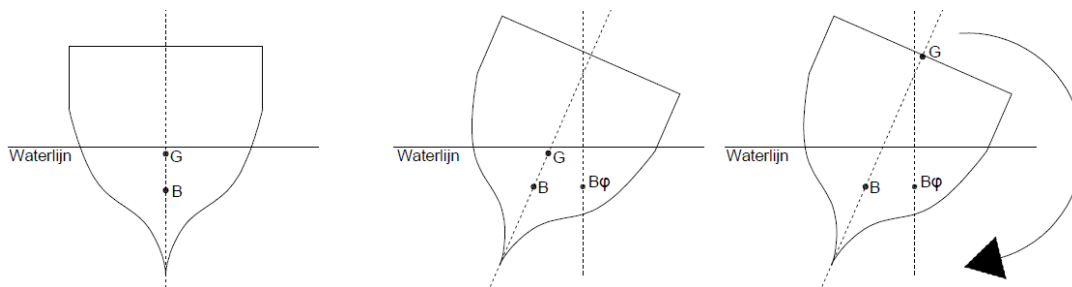
I = oppervlaktetraagheidsmoment van het onderwaterschip. (Voor een rechte balk geldt $1/12 LB^3$ [m⁴])

L = lengte onderwaterschip [m]

B = breedte onderwaterschip [m]

V = volume onderwaterschip [m]

Onder normale omstandigheden vaart een schip zoals hij ontworpen is, in de evenwichtssituatie van afbeelding 3.5. Als er veranderingen aan het krachtenevenwicht komen, kan het schip zich gaan gedragen volgens de middelste situatie. Het vaartuig zal enigszins gaan hellen, maar omdat het zwaartepunt onder de metacenter zit, zal het schip weer terugvallen naar de linker situatie. Indien het zwaartepunt G hoger ligt dan M, is het vaartuig instabiel en zal het een nieuwe stabiele positie aannemen.

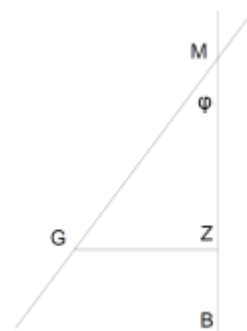


Afbeelding 3.5, Stabiliteit van een schip.

Indien een schip helt, verplaatst het drukingspunt B ϕ . De posities van punten G en B ϕ bepalen de stabiliteit. De kruising tussen deze twee lijnen is het Metacenter M. Wanneer G onder de verticale lijn van de drukingspunt blijft, is het schip stabiel en vormt het zich weer terug naar zijn originele positie. Indien het zwaarte punt boven de verticale lijn komt, dan is het schip onstabiel en neemt het een nieuwe stabiele positie aan, het schip kapseist. De mogelijkheid om terug in zijn originele positie te vallen is te bepalen met de volgende vergelijking:

$$\sin\phi = \frac{GZ}{GM}$$

De Z kan bepaald worden door B verticaal omhoog te volgen tot deze lijn G horizontaal snijdt. Als GM 0 is, dan is het schip stabiel noch instabiel. Hij blijft dan op een bepaalde helling staan. Dit betekent dat ieder mogelijke verandering



^F Bron: Formule uit boek Scheepskennis (Dokkum) bladzijde 347.
Michel van der Niet
11077123

in krachten, het schip terug kan laten zakken in zijn originele positie of het een nieuwe positie kan laten aannemen.

Doordat de stinger en zijn handling frame, als zware ladingen, boven de waterlijn van het schip zitten, brengen deze een negatieve invloed aan het schip. Als counteractie is in de ballast tank onder de waterlijn een grote hoeveelheid bariet, een vulling met een hoge dichtheid, geplaatst om onder andere het negatieve effect van de Stinger tegen te gaan. Dit is een indicatie hoe belangrijk het is om het hoofdstuk stabiliteit mee te nemen in het onderzoek. Er wordt vanuit stabiliteit aanbevolen om eventueel nieuwe onderdelen onder het zwaartepunt in te bouwen, om mogelijk een positieve bijdrage te schenken aan de stabiliteit.

3.5 Regelgeving

Het is belangrijk voor het uiteindelijke ontwerp dat deze voldoet aan alle eisen die de classificeringsbureaus en wetgeving stellen. Wanneer je niet voldoet, is het mogelijk dat je niet meer verzekerd wordt, je klanten verliest of dat je de toegang tot sommige landen geweigerd wordt. Dit leidt tot de volgende vraag: Aan welke regels en eisen van het classificeringbureau moet het nieuwe systeem voldoen?

Lloyds is een onafhankelijk classificeringsbureau (dat houdt in dat het niet aan een specifiek land of overheidsinstelling gebonden is). Dit bureau keurt de geïnstalleerde systemen en bewaakt hierbij de kwaliteit van deze systemen. Mocht er iets gebeuren met het systeem en er raakt iets beschadigd, dan kan je met een keuring van Lloyds je verzekering opeisen.

Eisen Lloyds

- De installatie (algemeen) moet getest worden bij installatie.
- Iedere uitlaatgassenketel moet voorzien zijn van twee veiligheidskleppen.
- Iedere uitlaatgassenketel moet voorzien zijn van twee pompen, die ieder het volledige debiet op zich kan dragen.
- De aangesloten pijpleidingen moet de ingestelde werkdruk aankunnen.
- De installatie mag niet in de buurt van olieapparaten staan.
- De installatie moet robuust vastgemaakt zijn.

De NMD (Norwegian Maritime Directorate) is een classificatiebureau, dat wel afhankelijk is. Deze valt onder de Noorse overheid. NMD staat erom bekend dat zij hoge eisen stellen aan hun classificatie. Allseas hanteert deze classificatie omdat ze met een goedkeuring van deze instelling, (bijna) overal voldoen aan de eisen.

Eisen NMD

- De stoomproductie moet in de machinekamer gebeuren.
- Mochten er stoomleidingen in accommodatie lopen, dan dienen deze voldoende geïsoleerd te zijn.
- Vitale leidingen van het stoomsysteem mogen niet in verbinding zijn met vitale leidingen van andere systemen.
- De uitlaatgassen mogen geen hinder geven aan de landende helikopters.
- De buitenoppervlakte van ieder onderdeel mag niet oplopen boven de 200 °C.
- Deze installatie mag niet staan in ruimtes waar gevaarlijke stoffen opgeslagen staan.
- Mensen moeten ongehinderd bij deze apparaten bij kunnen voor onderhoud of inspectie.

De regels van dit onderwerp zijn streng, maar flexibel. De eisen zijn verstuurd naar de leveranciers en op basis van deze eisen kunnen er concepten worden opgesteld.

3.6 Pakket van eisen

In dit hoofdstuk wordt het pakket van eisen opgesteld. Deze zijn afgeleid van de classificeringsinstellingen, eisen vanuit Allseas zelf en de eisen vanaf het schip. Deze worden naar iedere leverancier verstuurd en in de conceptfase meegenomen te worden, aan deze eisen moet ieder concept voldoen.

Vaste eisen

1. Het systeem moet toepasbaar zijn op de Audacia.
2. Het systeem moet in te bouwen zijn.
3. Het systeem moet aan-en uit gezet kunnen worden.
4. Het systeem moet kunnen droogdraaien.
5. Het systeem moet voldoen aan de eisen van Lloyds.
6. Het systeem moet voldoen aan de eisen van NMD.
7. De terugverdientijd is een periode binnen 3 jaar.
8. Er moet genoeg ruimte blijven rondom het systeem voor onderhoud.
9. Stabiliteit mag niet negatief beïnvloed worden.
10. In gebruik te zijn met het huidige besturingssysteem Kongsberg.

Wensen

- Er moet een brandstof besparing komen van 5%.
- Het systeem moet zo laag mogelijk ingebouwd worden i.v.m. de stabiliteit van het schip.
- De terugverdientijd zo kort mogelijk houden.

4.0 ONTWERPEN

In de ontwerpfase dient de beste oplossing van de probleemstelling te worden gekozen. Aan de hand van de functieboom en het PVE zijn er bepaalde oplossingen en eisen in kaart gebracht. Deze worden in dit hoofdstuk verder uitgewerkt en bij elkaar gevoegd als concepten. Deze concepten worden verder uitgewerkt en met elkaar vergeleken aan de hand van keuzecriteria. Hier komt een definitief ontwerp uit, die in hoofdstuk 6 verder uitgewerkt wordt. De hoofdvraag van dit hoofdstuk luidt dan ook: Wat is het beste toepasbaar om restwarmte te winnen bij de uitlaatgassen van de dieselmotoren?

De aanpak om tot de beste oplossing te komen wordt structureel uitgevoerd. De belangrijkste uitgangspunten voor het realiseren van goede oplossingen zijn; de probleemstelling, het PVE en de functieboom. Aan de hand van de volgende stappen wordt het beste ontwerp gerealiseerd:

1. Het ontwikkelen van ideeën voor de hoofdfunctie.
2. Ideeën genereren voor de deelfuncties van de functieboom.
3. De gevonden ideeën combineren en uitwerken tot (individuele) concepten.
4. De concepten onderling vergelijken en het beste ontwerp kiezen.

In de volgende paragrafen worden deze stappen verder uitgewerkt. De eerste twee stappen zijn nodig om de derde stap te kunnen maken. Uit de derde stap volgt stap vier, waarin het antwoord op de hoofdvraag van dit hoofdstuk mee wordt gegeven.

4.1 Ideeën ontwikkelen voor de hoofdfuncties

De eerste stap is het bedenken van ideeën die oplossingen bieden aan de hoofdfunctie van de probleemstelling. Het hoofddoel is om het brandstofverbruik die de oliegestookte stoomketels voor hun rekening hebben te verminderen. De drie oplossingen hiervoor zijn: Energie besparen, minder energie verbruiken en het toepassen van restwarmte. Het energieverbruik verminderen komt hier niet ter sprake, omdat de voorzieningen aan boord hier niet onder moeten lijden. De hoofdoplossingen komen als aanbiedingen aan van de bedrijven die genoemd waren in hoofdstuk 3.3.3. De bedrijven hebben de eisen en benodigde informatie voor de uitlaatgassenketels ontvangen. Deze aanbiedingen worden later in dit hoofdstuk met elkaar vergeleken. Voor de volledige aanbieding van de leveranciers, zie Bijlage VI

4.1.1 Aanbieding 1, Aalborg XCs.

Een eerste aanbieding is gedaan door het Zweedse bedrijf AlfaLaval. Het bedrijf biedt een uitlaatgassenketel aan die de restwarmte van de dieselmotoren omzet naar bruikbare warmte-energie. Deze warmteterugwinner bevat een verticale buiswarmtewisselaar met geforceerde circulatie, aangedreven door twee pompen. Dit apparaat is ontworpen voor samenwerking met de bestaande oliegestookte stoomketels, het water dat in de warmtewisselaar verwarmd wordt kan zich expanderen in de stoomketel.

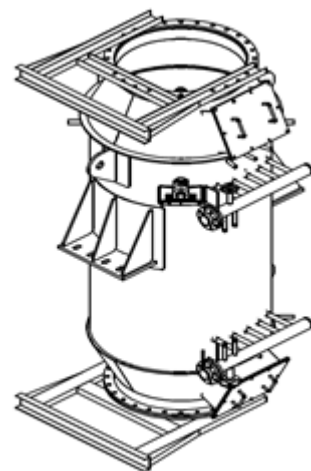
De XCs is ontworpen om het beste te presteren bij een motorbelasting van 30%. Indien deze belasting hoger wordt, worden de uitlaatgassen via een by-pass omgeleid naar de schoorsteen.

Technische data Aalborg XCs

Motorbelasting	25 %
Hoeveelheid uitlaatgas	12320 kg/h
Inlaat temperatuur	359 °C
Tegendruk	115 mm WC
Stoomproductie	700 kg/h

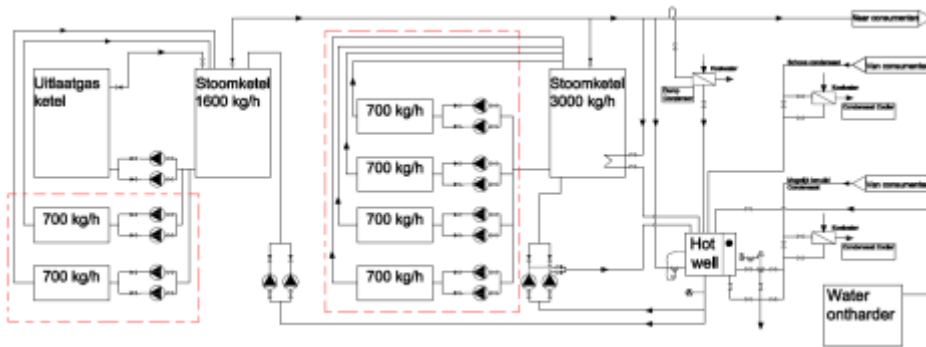
Algemene data

Nominale werkdruk	8 bar
Maximale toelaatbare werkdruk	13 bar
Voedingswater temperatuur	80 °C
Diameter excl. isolatie	1252 mm
Hoogte	3100 mm
Drooggewicht	3,9 ton
Gewicht in gebruik	4,5 ton



Afbeelding 4.1, Aalborg XCs

Wanneer de nieuwe uitlaatgassenketels geplaatst worden, dienen deze geïntegreerd te worden in het huidige systeem. Een mogelijke installatie is te zien in afbeelding 4.2. In dit schema staan de nieuwe uitlaatgassenketels aangegeven in het doorbroken kader. In de nieuwe situatie komen in deze optie zes uitlaatgassenketels, ieder voor één dieselmotor.



Afbeelding 4.2, Mogelijke situatie Aalborg XCs

Indien er verder wordt gegaan met deze optie, dient aan de volgende punten verder aandacht te worden besteed:

- Aansluiting op de oliegestookte stoomketel, de nieuwe uitlaatgassenketels zijn ontworpen om op het huidige systeem aan te sluiten. Er moet worden gekeken naar de aansluiting op de huidige oliegestookte stoomketels.
- Hoeveel uitlaatgassenketels er op een stoomketel geplaatst worden, of er op de kleine stoomketel twee en op de grote stoomketel vier geplaatst worden, of op beide drie.
- De locaties en invloed op de stabiliteit.
- Een mogelijkheid om meerdere uitlaatgassenketels op dezelfde pomp te laten draaien.

In het vervolg van dit hoofdstuk worden deze (en andere) knelpunten behandeld. Deze dienen in dit hoofdstuk (gedeeltelijk) te worden opgelost om een goed beeld te krijgen in hoeverre dit systeem aan de succescriteria voldoet.

4.1.2 Aanbieding 2, Saacke EME-VST

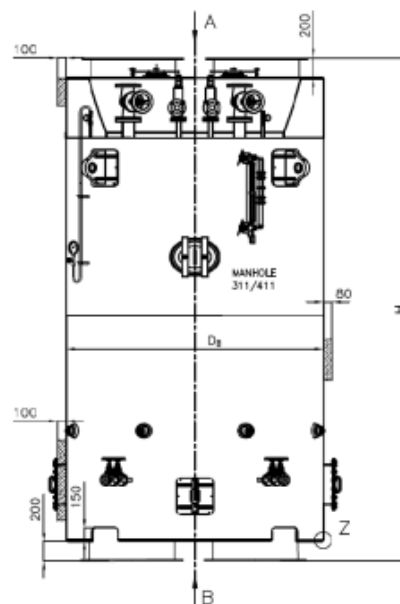
Het Duitse bedrijf Saacke biedt een uitlaatgassenketel aan, zie afbeelding 4.3, die in de schoorstenen geplaatst kan worden. Het ontwerp bestaat uit een uitlaatgassenketel, die d.m.v. kleppen de uitlaatgassenroute regelt. Het systeem heeft capaciteit voor twee dieselmotoren. Indien er een derde dieselmotor aangaat, gaan deze uitlaatgassen via een omleiding naar de schoorsteen. Doordat de uitlaatgassenketel in de schoorsteen geplaatst kan worden, kan hier een hoop ruimte mee worden gewonnen.

Technische data Saacke EME-VST

Motorbelasting	50 %
Hoeveelheid uitlaatgas	12960 kg/h
Inlaat temperatuur	323 °C
Tegendruk	115 mm WC
Stoomproductie	2*534 kg/h

Algemene data

Nominale werkdruk	8 bar
Maximale toelaatbare werkdruk	10 bar
Voedingswater temperatuur	80 °C
Diameter excl. isolatie	1252 mm
Hoogte	3100 mm
Drooggewicht	5,5 ton
Gewicht in gebruik	8,1 ton

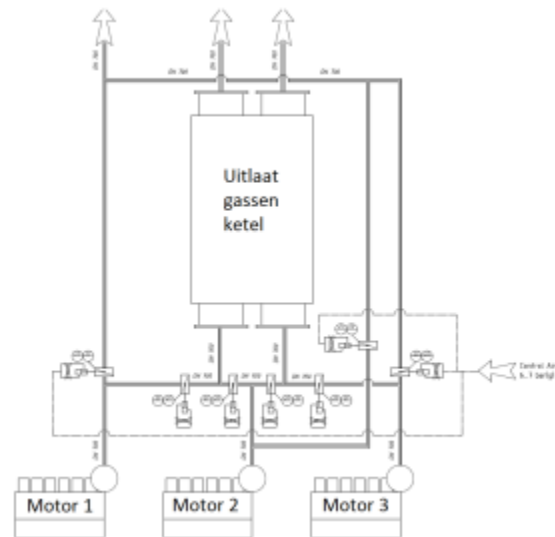


Afbeelding 4.3, Saacke EME-VST

Het model in afbeelding 4.4 weergegeven, maakt het mogelijk om meerdere dieselmotoren, met een gescheiden gassysteem, op een uitlaatgassenketel te plaatsen. Het systeem regelt de stroming van de uitlaatgassen. De uitlaten hebben de mogelijkheid om hun gassen door de warmtewisselaar in de ketel te sturen of direct naar de schoorsteen. Voor het nieuwe systeem zijn er slechts twee uitlaatgassenketels nodig, die ieder drie dieselmotoren voor hun rekening nemen.

Voor deze oplossingsrichting, dient er op de volgende punten verder aandacht gegeven te worden.

- De aansluiting op het huidige systeem.
- De locaties en invloed op de stabiliteit.
- Of de opbrengsten ook bij een draailast van 25% gunstig zijn.



Afbeelding 4.4, Systeem Saacke

In hoofdstuk 4.4 wordt dit concept zover uitgebreid, dat hij gewogen kan worden aan de succescriteria.

4.1.3 Aanbieding 3, Heatmaster HTX

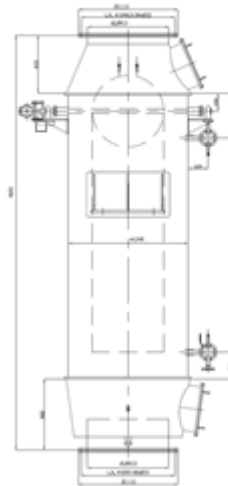
De volgende aanbieding komt van het Nederlandse bedrijf Heatmaster. Er wordt een voorstel gemaakt om een systeem in te bouwen, die niet direct in contact staat met de huidige oliegestookte stoomketels. Het bedrijf biedt zes uitlaatgassenketels aan, voor iedere dieselmotor één, die aangesloten worden op hun eigen stoomvat. Dit vat krijgt zijn water direct vanaf de Hotwell en in het stoomvat dient het verwarmde water, wat vanaf de uitlaatgassenketels komt, zich te expanderen naar stoom. De geproduceerde stroom gaat dan naar de hoofdstoomleiding.

Technische data Heatmaster HTX

Motorbelasting	25 %
Hoeveelheid uitlaatgas	11.160 kg/h
Inlaat temperatuur	359 °C
Tegendruk	50 mm WC
Stoomproductie	750 kg/h

Algemene data

Nominale werkdruk	8 bar
Maximale toelaatbare werkdruk	10 bar
Voedingswater temperatuur	90 °C
Diameter excl. isolatie	1345 mm
Hoogte	4100 mm
Drooggewicht	3,5 ton
Gewicht in gebruik	4,1 ton

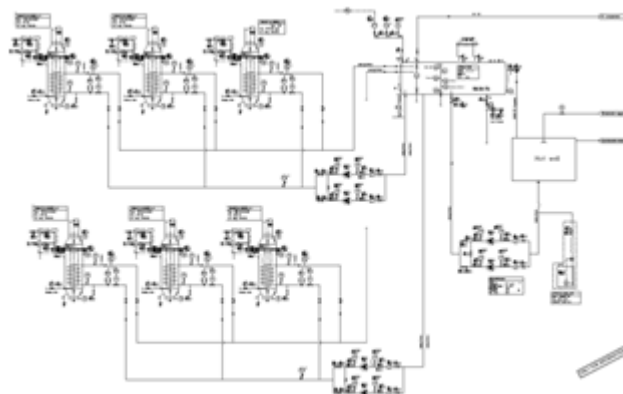


Afbeelding 4.5, Heatmaster HTX

In afbeelding 4.6 staat het nieuwe systeem dat aangesloten wordt op de bestaande Hotwell. Op iedere dieselmotor wordt een uitlaatgassenketel aangesloten, deze zes uitlaatgassenketels zetten stoom om in hun eigen stoomvat. De stoom wordt dan doorgestuurd naar de hoofdstoomleiding.

Wanneer er gekozen wordt om voor deze optie te gaan, dient er op de volgende punten gelet te worden:

- De communicatie tussen de huidige ketels en het nieuwe systeem, omdat deze niet direct met elkaar in verbinding staan.
- De locatie waar alle componenten geplaatst worden.



Afbeelding 4.6, Stoomsysteem Heatmaster

In hoofdstuk 4.4 wordt dit systeem verder behandeld en wordt het met de andere oplossingen vergeleken.

4.2 Ideeën ontwikkelen voor de deelfuncties

In hoofdstuk 4.1 zijn er oplossingen bedacht voor het hoofdprobleem, in dit hoofdstuk worden er deeloplossingen bedacht die de hoofdoplossingen (mogelijk) ondersteunen. Ook deze paragraaf is deels gebaseerd op de functieboom uit hoofdstuk 3.1. De deeloplossingen dienen ook uitgewerkt te worden, deze worden dan in een morfologisch overzicht uitgezet en worden toegepast met de hoofdoplossingen. Van deze combinaties worden voorlopige ontwerpen opgezet, die in hoofdstuk 4.3 met elkaar vergeleken worden.

4.2.1 Omschrijving verschillende deeloplossingen

Het tweede deel voor het opleveren van concepten is het bedenken van deeloplossingen. Deze oplossingen zijn gericht op de sub-problemen van de functieboom uit hoofdstuk 3.1. Voor iedere functie zijn een aantal mogelijkheden gegeven, die een aantal voor- en nadelen met zich meebrengen.

Besturing:

- Kongsberg, het aansturingssysteem voor DP. Dit systeem regelt het op positie houden van het schip terwijl het in operatie is. Als het stoomsysteem hierop gekoppeld wordt, kan er informatie overdracht plaatsvinden.
 - + Een koppeling met het systeem, zorgt ervoor dat (een deel van) het stoomsysteem geregeld kan worden vanuit een centraal punt.
 - + Met dit systeem is het mogelijk om de ins en outs te monitoren.
 - Het is een relatief duur systeem.
- Een eigen PLC ontwerpen, er kan een besturing op de ketel worden gebruikt met een logische lus. De aansturing wordt hiermee naar wens gemaakt.
 - + Relatief eenvoudig ontwerp, waarmee met een aantal variabelen het gehele systeem geregeld kan worden.
 - + De software kan in-huis geprogrammeerd worden.
 - Met een PLC ben je beperkt in zijn functies.
- Besturingssysteem van de leverancier, bij levering wordt er een eigen besturingspaneel geleverd. Deze zorgt voor een geïsoleerd systeem, waar de regeling op wordt gemaakt.
 - + Het systeem zit bij de aanbesteding inbegrepen.
 - Communicatie met andere systemen is niet mogelijk.
- Handmatig, er wordt niet gewerkt met een automatisch systeem, maar de regeling wordt met de hand gedaan.
 - + Er hoeft niet geïnvesteerd te worden in een (duur) besturingssysteem.
 - Het regelen met de hand is niet praktisch.

Werkvlak

- De uitlaatgassenketel wordt berekend op de meest voorkomende belastingen van de dieselmotor en bij belastingen die hierbuiten vallen worden de rookgassen via een omleiding naar de schoorsteen geleidt. Dit
 - + Een systeem dat het efficiënts werkt bij de meest voorkomende draailasten.
 - Bij belastingen die hier buiten vallen, wordt de warmte-energie (deels) niet gebruikt.
- De uitlaatgassenketels worden berekend zodat ze operationeel altijd gebruikt kunnen worden. Ze zijn niet afhankelijk van de meest voorkomende draaiuren van de dieselmotoren.
 - + Het systeem kan altijd gebruikt worden.
 - Het rendement op de meest voorkomende draaivlak wordt minder.
- Er wordt berekend op de meest voorkomende belasting, indien er teveel gas vrijkomt, wordt deze opgevangen in een ketel en bewaard voor later.
 - + Het systeem wordt ontworpen op de meest voorkomende draaiuren.
 - + Er kan meer warmte worden gewonnen door het gas te laten bufferen.
 - Aanbesteding van een extra buffervat.
 - Een buffervat heeft een maximale capaciteit

- Een gasturbine toepassen, die de warmtegassen, die in overvloed zijn, omzet naar elektrische energie.
 - + De gassen worden op deze wijze altijd gebruikt, evenals door de uitlaatgassenketels als door een gasturbine.
 - Er moet plaats worden gemaakt voor een gasturbine en alle bijkomende onderdelen.
 - Aan boord is geen sprake van een tekort aan elektriciteit, het is geen oplossing met prioriteit.

Locatie

- Direct op de dieselmotor, het plaatsen van de uitlaatgassenketel direct op de dieselmotor, zorgt voor het minste warmteverlies op de dieselmotor.
 - + Het warmteverlies wordt hiermee beperkt.
 - + Mogelijk een positieve bijdrage op de stabiliteit.
 - Er kan enige ruimtebeperking zijn.
 - Lekkages van de uitlaatgassenketels kunnen hinderlijk zijn.
- Op enige afstand van de dieselmotor.
 - + Meer flexibel met je inbouwmogelijkheden.
 - + Mogelijk een positieve inbreng van de stabiliteit.
 - Hoe verder de plaatsing van de hoofdmotor weg is, hoe meer warmte er verloren gaat voor gebruik.
- Plaatsen in schoorsteen
 - + Het twee keer gebruiken van een ruimte.
 - + De kosten voor het plaatsen liggen lager dan het plaatsen in de machinekamer.
 - Mogelijk een negatieve bijdrage aan de stabiliteit.
 - Hoe verder van de dieselmotor af, hoe meer warmte er verloren gaat.

Wateraanvoer

- Iedere uitlaatgassenketel krijgt een aparte aanvoer van de oliegestookte stoomketel.
 - + Ieder systeem kan zijn toevoer in- en uitschakelen.
 - Veel aansluitingen/leidingwerk.
 - Afhankelijk van de oliegestookte stoomketel.
- Een hoofd aanvoerleiding, die zich splitst in aftakkingen.
 - + De aansluitingen en het leidingwerk worden beperkt.
 - Afhankelijk van de aanvoer van het T-stuk.
- De aanvoer van het water komt direct van de Hotwell.
 - + Het nieuwe systeem wordt geïsoleerd van de stoomketels.
 - De communicatie tussen deze twee aparte systemen moet wel aandacht krijgen.
- Aparte aanvoer op een zoetwater tank.
 - + De aanvoer komt van een aparte locatie, zo is er meer flexibiliteit voor aanvoer.
 - De watertemperatuur is (waarschijnlijk) lager dan van een Hotwell, zo kan er minder water met dezelfde warmte-energie omgezet worden tot stoom.
 - Het warm houden van de tank kost veel energie.
 - Kans op corrosievorming.

Afvoer

- Elke uitlaatgassenketel is vast op een oliegestookte ketel gekoppeld waardoor elke uitlaatgassenketel afhankelijk is van een bepaalde ketel. Welke uitlaatgassenketel bij welke oliegestookte stoomketel hoort, wordt bij de installatie van het systeem vastgesteld.
 - + Goede regeling mogelijk tussen beide ketels.
 - Als de stoomketel uitvalt, kan de uitlaatgassenketel ook niet meer operationeel zijn.
 - Capaciteit in de kleine ketel kan een beperking zijn.
- Iedere uitlaatgassenketel kan op beide stoomketels worden gekoppeld.
 - + De uitlaatgassen kunnen zo altijd worden benut.
 - De regeling wordt ingewikkelder.
 - Het leidingwerk wordt zo uitgebreider/complexer.

- Ieder onderdeel wordt op een (eigen) stoomvat gezet.
 - + Zo heeft iedere uitlaatgassenketel genoeg capaciteit om zijn stoom te leveren.
 - Er dient een extra stoomvat te worden geplaatst.

Stoomvorming

- De stoom wordt gevormd in de oliegestookte stoomketel, het verwarmde water expandeert in de ketel. Zo worden er stoombelletjes gevormd, die in de stoomleiding gaan.
 - + Geen extra onderdelen nodig om stoom te vormen.
 - + Goede regeling van de ketel mogelijk.
 - Afhankelijk van de huidige capaciteit van de stoomketel.
- Een apart stoomvat wordt toegepast waar het verwarmde water zich tot stoom kan vormen.
 - + Een stoomvat kan op een gewenste plek geplaatst worden, die berekend is op het op te leveren stoom.
 - + Je bent minder afhankelijk van de oliegestookte stoomketels.
 - Mocht het stoomvat buiten gebruik zijn, vervalt de stoomproductie van de uitlaatgassenketels.
- De stoomvorming vindt plaats in de uitlaatgassenketel zelf.
 - + Geen extra onderdelen nodig.
 - Moet beheerst gebeuren.
 - Jaarlijkse controle vereist.
 - Toename gewicht van de ketel.

De beschreven functies, met hun onderdelen, worden in hoofdstuk 4.2.2 tegen elkaar gezet in de vorm van een morfologisch overzicht.

4.2.2 Morfologisch Overzicht

In tabel 4.1 staat een overzicht van de verschillende onderdelen die in hoofdstuk 4.2.1 zijn beschreven. De verschillende oplossingen zijn in de tabel aangeduid met kernwoorden en met een illustratie ter verduidelijking van de omschrijving van de functies genoemd in het vorig verwezen hoofdstuk.

Functie	1	2	3	4
Besturing	Kongsberg	PLC	Eigen OS	Handmatig
Werkvlak	Berekend op optimaal % draaivlak	Altijd in gebruik	Berekend op optimaal / buffervat	Combinatie met gasturbine.
Locatie	Direct op de motor	Op afstand van de motor	In de schoorsteen	
Wateraanvoer	Direct op de ketel	Aftakking van de ketel	Op de Hotwell	Aparte zoetwater tank
(Stoom)afvoer	Vaste partner	Variabel	Eigen stoomvat	
Stoomvorming	In de stoomketel	In het stoomvat	In de uitlaatgassenketel	

Tabel 4.1, Morfologisch overzicht

Door het morfologisch overzicht lopen een aantal pijlen. Deze gaan door verschillende functie oplossingen en duiden verschillende onderdelen van totaalconcepten aan. In het morfologisch overzicht zijn deze deeloplossingen naast elkaar gelegd per functiegroep. Door deze functieniveaus lopen verschillende pijlen. Deze pijlen duiden conceptgroepen aan uit verschillende ontwerpvisies. De uitleg per verschillende groep is te vinden in tabel 4.2. In hoofdstuk 4.3 worden deze combinaties tot concepten gevormd en gedeeltelijk uitgewerkt, zodat er een keuze kan worden gemaakt welk concept het meest aan de eisen voldoet. Het wegen aan de eisen gebeurt aan de hand van de keuzecriteria.

Pijl:	Ontworpen uit Visie / oogpunt	Naam concept
	Het meest goedkoop in te laten bouwen.	Financieel aantrekkelijk
	Technisch gezien het meest aantrekkelijk.	Technisch haalbaar
	Energetisch gezien het meeste rendement uit te halen.	Energetische opbrengst
	Inzicht te krijgen wat het minst toepasbaar is op de Audacia.	Turn-off

Tabel 4.2, Benaming concepten

4.3 Concepten oplossing

In hoofdstuk 4.1 en 4.2 zijn verschillende oplossingen bedacht voor het gehele probleem en voor de deeloplossingen. Deze bevindingen worden in dit hoofdstuk gecombineerd en uitgewerkt, zodat met tekeningen/schetsen en beschrijvingen de werking van de concepten duidelijk wordt. Alle concepten worden zover uitgewerkt, dat ze in hoofdstuk 4.4 getoetst kunnen worden aan de ontwerpcriteria van het pakket van eisen.

4.3.1 Ideeën combineren

De combinaties die gekomen zijn uit de ontwerpvisies zijn in dit hoofdstuk verder toegelicht. De koppelingen van verschillende functies voor de oplossingen worden beschreven als aanleg voor een concept, die in combinatie van verschillende deelfuncties met de hoofdfuncties een oplossingscombinatie vormt.

Financieel concept

Het concept wat gebaseerd is op het financiële oogpunt, is vooral bedoeld om de inbouw en aankoop kosten zo laag mogelijk te houden. Met een tweede prioriteit om de terugverdiendtijd zo laag mogelijk te houden. Hiervoor wordt als besturing een PLC-programma gekozen. Deze kan in-house worden ontworpen, wat de kosten gering houdt. De uitlaatgassenketel wordt berekend op een optimaal werkvlak.

De grootste kostenbespaarder is de plaatsing van de uitlaatgassenketels. Aangezien er in dit concept wordt gekozen om deze in de schoorstenen te plaatsen, scheelt dat een enorme hoeveelheid geld voor het plaatsen. Verder wordt de uitlaatgassenketel apart op de aan- en afvoer gesloten, zodat de kosten voor het leidingwerk gering blijft. De stoomvorming vindt plaats in de oliegestookte stoomketel, hiervoor is dus geen extra component nodig.

Technisch concept

Het technische concept is gebaseerd uit de visie om het concept zo technisch mogelijk haalbaar te maken. Hiervoor is met name gekeken naar de huidige situatie van het schip, of het uit dit oogpunt wel mogelijk is. Hier wordt natuurlijk ook gekeken naar een aantrekkelijke terugverdiendtijd. Als besturingssysteem wordt er gekozen voor een PLC. Omdat deze naar wens geprogrammeerd kan worden. De uitlaatgassenketel is berekend op de optimale werkgebied, met een plaatsing direct op de dieselmotor. Zo blijven de beide onderdelen dicht bij elkaar en het thermisch rendement hoger.

Wat op technisch vlak het meest gunstig is, is de aan- en afvoer van het water/stoom. Deze wordt namelijk op een apart stoomvat geplaatst, die zijn water van de hotwell krijgt. Omdat dit systeem zelfstandiger kan werken, kan het stoomvat hier beter voor berekend worden.

Thermisch concept

Uit de ontwerpvisie om zoveel mogelijk thermische energie uit de rookgassen te halen, wordt het thermisch concept gevormd. Het idee is om een zo hoog mogelijk thermisch rendement te behalen. Hier wordt echter weinig rekening gehouden met de inbouwkosten. De rookgassen kunnen in deze situatie altijd gebruikt worden. Er wordt hier een combinatie gemaakt van een optimaal berekende uitlaatgassenketel samen met een gasturbine. De rookgassen gaan door de gasturbine, naar de uitlaatgassenketel. Zo wordt de warmte-energie uit de rookgassen twee keer gebruikt. De plaatsing van beide componenten vindt zo dicht mogelijk op de dieselmotor plaats, om warmteverlies te beperken. Verder wordt het te verwarmen water direct van de Hotwell gehaald en behandeld in een apart stoomvat. Dit zorgt voor een gesloten systeem. Om leidingwerk te besparen en dus warmteverlies zo goed mogelijk tegen te gaan, vindt de stoomvorming plaats in de uitlaatgassenketel. Dit zorgt voor minder onderdelen en leidingwerk waar het stoom zijn warmte aan kan verliezen.

Turn-off concept

De vorige drie concepten, kwamen uit verschillende ontwerpvisies waar ze op dat vlak het meeste baat bij hebben. Om meer inzicht te krijgen in wat het minst gunstig is voor de Audacia, is er een keuze gemaakt tussen de verschillende functies welke het minst zou werken bij de situatie van het schip.

Om de kosten te besparen voor het regelsysteem, wordt er gekozen om alle kleppen handmatig te regelen. Hierbij wordt er een buffervat neergezet voor de vrijkomende rookgassen. De plaatsing van de uitlaatgassenketels komt in de schoorstenen. Omdat de schoorstenen hoog in het schip bevinden, geeft dit een negatieve impact op de stabiliteit. De uitlaatgassenketels krijgen hun wateraanvoer van een aparte zoetwatertank. Dit zorgt voor een meer zelfstandige operationeel profiel, maar zorgt ook dat het aanvoerwater van lagere temperatuur is, omdat de aparte tanks geen voorverwarmd water hebben. Dit zorgt voor een lagere stoomopbrengst. Verder heeft iedere uitlaatgassenketel de mogelijkheid om naar elke stoomketel te stromen dat voor een hoop leidingwerk zorgt. De stoomvorming vindt plaats in de oliegestookte stoomketels, dat er toch nog voor zorgt dat de uitlaatgasketels afhankelijk worden van het huidig systeem.

4.3.2 Concepten vastleggen

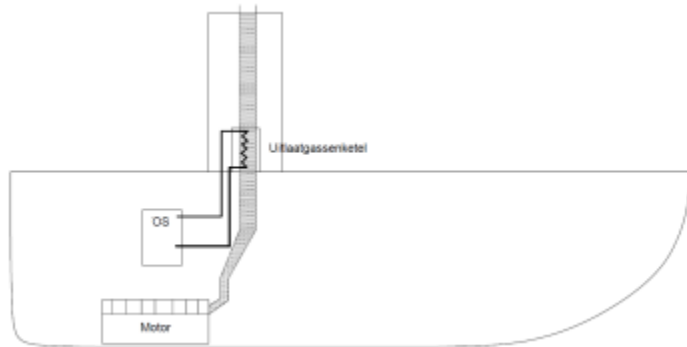
De concepten die in hoofdstuk 4.3.1 zijn gevormd, worden in dit hoofdstuk vastgelegd. Ieder concept wordt hier voorzien van een visualisatie, overzicht van de belangrijkste kenmerken en werking.

Concept kosten

Het eerste concept is gebaseerd om de (inbouw)kosten zo laag mogelijk te houden. Dit kan gerealiseerd te worden door zo min mogelijk nieuwe onderdelen te gebruiken en door de locatie van de nieuwe module zo gunstig mogelijk te plaatsen.

Dit concept onderscheidt zich door de volgende punten:

- Inbouwkosten zo laag mogelijk houden.
- Veel gebruik maken van huidige onderdelen, weinig aanpassingen huidig systeem.
- De uitlaatgassenketel komt in de schoorstenen te staan.
- Het water dat verwarmd wordt door de uitlaatgassenketel komt en gaat naar de oliegestookte stoomketel.



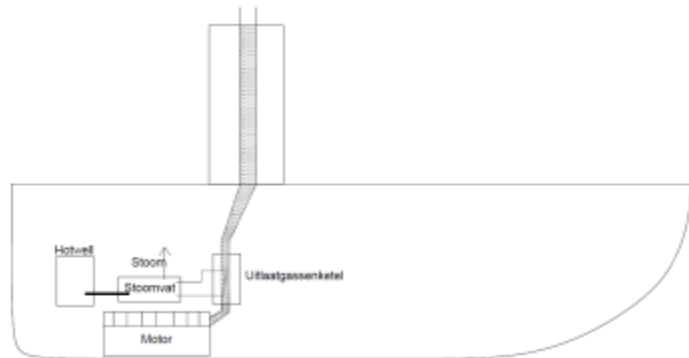
De uitlaatgassen van de dieselmotoren gaan door de schoorsteen richting de atmosfeer. Indien dit concept wordt toegepast, vindt de warmteoverdracht van de uitlaatgassen plaats in de schoorsteen. Het water dat hierdoor opgewarmd wordt komt van een van de oliegestookte stoomketels vandaan.

Concept technisch

Het technische concept heeft de achterliggende gedachte om het nieuwe stoomsysteem technisch haalbaar te krijgen. Hierbij is vooral gekeken naar de huidige situatie, goed gebruik te maken van het nieuwe systeem en om de opbrengst goed te houden.

Dit concept onderscheidt zich door de volgende punten:

- Om het op technisch vlak aantrekkelijk te maken.
- Een eigen stoomvat, om de uitlaatgassenketels onafhankelijk te houden van de huidige stoomproductie.
- De plaatsing van de uitlaatgassenketel direct op de hoofdmotor.
- Qua regeling, zou deze oplossingsrichting altijd goed moeten presteren.



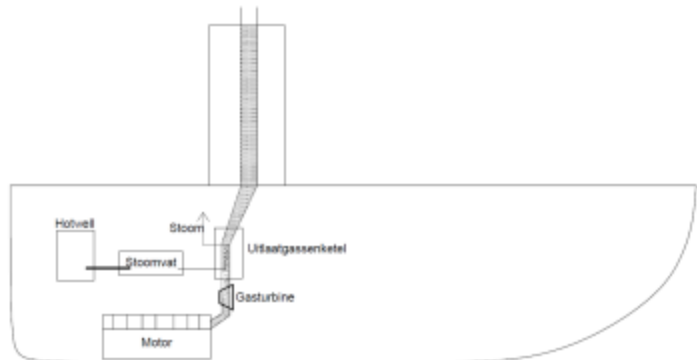
De Hotwell gaat nu ook water aan een apart stoomvat leveren. Dit stoomvat dient als bron voor de uitlaatgassenketels. Het water wat door de uitlaatgassenketel stroomt, komt weer terug in het stoomvat. Indien het water warm genoeg is, vormt het zich tot stoom. De stoom wordt vervolgens aangeleverd aan de hoofdstoomleiding.

Concept energetisch

Met het derde concept kan er energetisch gezien een zo hoog mogelijk rendement gehaald worden. Hier wordt minder aandacht aan de praktijksituatie van de Audacia, maar wordt de focus gelegd om theoretisch gezien een zo hoog mogelijk thermisch rendement te behalen met een nieuw stoomsysteem.

Dit concept onderscheidt zich door de volgende punten:

- Naast warmteterugwinning, worden de uitlaatgassen ook gebruikt om elektrische energie op te wekken d.m.v. een gasturbine.
- Om warmteverlies tegen te gaan, worden beide rookgassegebruikers zo dicht mogelijk op de ketel geplaatst.
- De uitlaatgassenketel beschikt over een eigen stoomvat.
- De stoomvorming vindt plaats in de uitlaatgassenketel, zo kan de stoom direct naar de stoomleiding gaan.



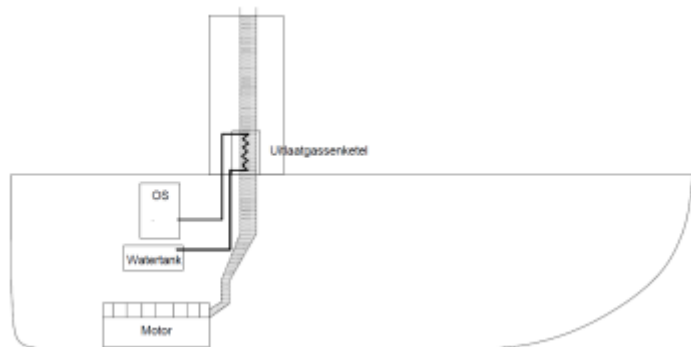
De rookgassen gaan door een gasturbine en de uitlaatgassenketel. Hierbij staat het zijn warmte twee keer af. De rookgassen zorgen naast warmteoverdracht ook voor opwekking van elektrische energie. Het water wat door de uitlaatgassenketel wordt opgewarmd vormt zich daarin tot stoom. Hierbij vermijdt het andere componenten van het systeem en dus minder warmteoverdracht en verlies.

Turn-off concept

Het laatste concept is de situatie die er het minst graag gezien wordt op de Audacia. Dit heeft voornamelijk met de besturing en de regeling van het nieuwe deel van het stoomsysteem.

Dit concept onderscheidt zich op de volgende punten:

- Het systeem (niet te zien op de tekening) heeft geen besturingsprogramma. Alle kleppen moeten met de hand worden geregeld.
- De plaatsing van de uitlaatgassenketel is in de schoorsteen. In termen van gewicht en stabiliteit is dit niet wenselijk.
- Het water dat door de uitlaatgassenketel gaat, komt bij een aparte watertank vandaan. Deze is niet voorverwarmd en zorgt er voor dat de stoomproductie benadeeld wordt.
- De water\stoom afvoer kan naar elke willekeurige oliegestookte stoomketel gaan. Dit zorgt voor een hoop leidingwerk.
- De stoomvorming vindt plaats in de huidige stoomketel.



De concepten worden in hoofdstuk 4.4 aan elkaar getoetst door middel van ontwerpcriteria. In deze toetsing worden ze beoordeeld op verschillende functies. Deze functies hebben verschillende weegfactoren, afhankelijk van hoe zwaar deze factor meetelt, is de factor belangrijk voor dit project. De ontwerpcriteria zijn afgeleid van het Pakket van eisen uit hoofdstuk 3.6.

4.4 Het voorlopig eindontwerp

Het eindconcept komt voort uit de beste oplossing van de hoofd- en deelfuncties. De oplossing voor de hoofdfunctie komen bij de leveranciers vandaan. Deze worden getoetst op basis van de gestelde eisen en de meetbare punten: kosten, terugverdiertijden en op punten die moeilijk op papier uit te drukken zijn; geschiedenis tussen de bedrijven, gevoel van betrouwbaarheid en servicegerichtheid. De deelfuncties worden aan elkaar gemeten d.m.v. een aantal keuzecriteria. In de loop van dit hoofdstuk worden beide groepen samengevoegd tot een totaalconcept.

4.4.1 Toetsing hoofdfunctie

De verschillende oplossingen voor de hoofdfunctie worden in dit hoofdstuk met elkaar vergeleken. Ze worden beoordeeld op hun kosten en de terugverdiertijden.

Voor de drie aanbiedingen van de hoofdfunctie, is er een schatting gedaan wat de investeringskosten zullen zijn. Als vuistregel wordt genomen dat de totale kosten 2,5*de aankoopkosten zijn. Deze factor komt van de ervaring van de bedrijfsmentor en betreft voornamelijk de inbouwkosten, transport en werknemersloon. Een eindplaatje van de kosten is te zien in tabel 4.3.

Estimated investment Aalborg	1000000	[€]
Estimated investment Heatmaster	1200000	[€]
Estimated investment Saacke	800000	[€]

Tabel 4.3, Overzicht investeringskosten

De terugverdiertijd is afhankelijk van de investeringskosten en de brandstofbesparing. De hoeveelheid brandstofbesparing komt van de volgende factoren:

- De brandstofkosten
- De vermindering in brandstofverbruik van de oliegestookte stoomketels.
- Motorbelasting
- Stoomproductie

Brandstofbesparing van de oliegestookte stoomketels kan plaats vinden als de nieuwe uitlaatgassenketels stoom produceren. Hoe meer stoom deze produceren, hoe meer brandstofbesparing en hoe korter de terugverdiertijden. De stoomproductie is afhankelijk van de eigenschappen van de uitlaatgassenketel, de hoeveelheid warmte-energie van de rookgassen die het water opneemt en de efficiency van het nieuwe systeem. In tabel 4.4 staat een overzicht van de terugverdiertijden. Hier is onder ander te zien dat de Aalborgmodule zichzelf het snelst terugverdient, maar dat Heatmaster het meeste geld terugverdient per tijdseenheid.

<u>Fuel oil reduction per year</u>	<u>[€/year]</u>	<u>[%]</u>	<u>Payback time</u>
Worst case using boiler Aalborg	304581	7.6	3.3
Best case using boiler Aalborg	487512	8.0	2.1
Worst case using boiler Heatmaster	326337	8.1	3.7
Best case using boiler Heatmaster	522334	8.6	2.3
Worst case using boiler Saacke	174047	4.3	4.6
Best case using boiler Saacke	278578	4.6	2.9

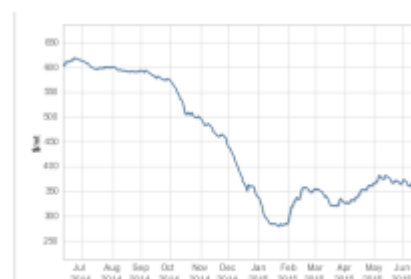
Tabel 4.4, Overzicht terugverdiertijden

Qua terugverdiertijden valt het systeem van Saacke naast de boot. Bovendien zorgt het systeem van Saacke voor een negatieve stabiliteit, dus dit concept voldoet niet. De andere twee concepten worden getoetst op de eisen van het PVE. In tabel 4.5 staat deze toetsing weergegeven.

Eisnummer	Trefwoord	Grenswaarde	Aalborg	Heatmaster
1	Toepasbaar	Ja/nee	Ja	Ja
2	Toepasbaar	Ja/nee	Ja	Ja
7	Kosten	<3 jaar	>2,1 ...<3,3 jaar	>2,3 ...<3,7 jaar
9	Stabiliteit	Ja/nee	Ja	Ja

Tabel 4.5, Toetsing hoofdfunctie

De modules van Aalborg en Heatmaster voldoen aan het pakket van eisen maar, bij de terugverdiertijd is er nog een vraagteken. De periodes liggen bij beide systemen binnen en buiten de uiterste grenswaarde. Een externe invloed op deze periodes zijn de brandstofkosten. Hogere kosten betekent een snellere terugverdiertijd. In grafiek 4.1 is de prijsindex van het afgelopen jaar te zien van de brandstof HFO. Het afgelopen jaar



Grafiek 4.1, Prijzen HFO⁴

⁵ Bron: bunkerworld.nl

is deze prijs erg gezakt. Naar verwachting wordt deze prijs langzaam weer hoger, wat de terugverdiendtijd korter maakt.

Aalborg en Heatmaster zijn qua terugverdiendtijden gewaagd een elkaar. Heatmaster brengt een ander voordeel met zich mee: betrouwbaarheid. Met het huidige stoomsysteem wordt al het stoom geproduceerd in machinekamer 2. De oplossing van Heatmaster kan onafhankelijk stoom produceren van het huidige stoomsysteem en kan dit over twee machinekamers. Wanneer er 1 machinekamer (gedeeltelijk) wegvalt, kan er nog steeds stoom geproduceerd worden. Het systeem van Aalborg wordt gekoppeld op de huidige oliegestookte stoomketels en heeft dit voordeel dus niet.

Omdat het systeem van Saacke de terugverdiendtijd van 3 jaar niet haalt, voldoet deze niet. De systemen van Aalborg en Heatmaster kunnen deze terugverdiendtijd wel halen. Omdat het systeem van Heatmaster een hogere stoom opbrengst heeft, de stoomvorming bij een extra locatie kan gebeuren en een grotere betrouwbaarheid creëert van het totale stoomsysteem, valt de keuze op dit systeem.

4.4.2 Toetsing deelfuncties

De concepten die gevormd zijn in hoofdstuk 4.3 worden naast elkaar gelegd. Deze worden beoordeeld op verschillende punten met een bepaalde weegfactor. Omdat de kosten en de opbrengsten de terugverdiendtijd bepalen, wat het belangrijkste eindresultaat is, worden aan deze twee factoren de zwaarste weegfactoren (4) gegeven. Waar de modules geplaatst worden kan van invloed zijn op de stabiliteit van de Audacia. Als de nieuwe onderdelen hoog in het schip worden geplaatst, dus negatief voor de stabiliteit, is het gunstig als deze zo licht mogelijk zijn, om de huidige stabiliteit niet te benadelen. Hierdoor krijgt deze criteria de factor (3). Ruimtegebrek is niet het grootste probleem op de Audacia. De schoorstenen van de dieselmotoren lopen in de machinekamer 7 meter verticaal omhoog, wat een geschikte maakt voor de plaatsing van de uitlaatgassenketels. Indien nodig, worden er enige aanpassingen gemaakt, zodat ze geplaatst kunnen worden. Deze criteria krijgen een factor (2). Omdat onderhoud niet te vermijden is, maar het wenselijk is om zo min mogelijk aan onderhoud te hoeven doen, kan dit bepaald worden door zo min mogelijk (nieuwe) onderdelen te plaatsen, of van zoveel mogelijk standaard onderdelen te plaatsen. Hierbij komt ook (het meenemen van) reserve onderdelen bij kijken.

Het overzicht is te zien in tabel 4.6. Hier zijn de concepten naast de succescriteria gezet en is er bepaald hoe de concepten hieraan vermoedelijk zullen presteren. De

Succescriteria	Weegfactor	Concept kosten	Concept technisch	Concept energetisch	Concept Turn-off
Lage kosten	4	(8) 32	(7) 28	(6) 24	(8) 32
Hoge opbrengsten	4	(4) 16	(7) 28	(8) 32	(4) 12
Laag gewicht	3	(8) 24	(7) 21	(6) 18	(7) 21
Invloed op positieve stabiliteit	3	(0) 0	(7) 21	(7) 21	(0) 0
Formaat module	2	(5) 10	(6) 12	(5) 10	(6) 12
Inpasbaarheid in de Audacia	2	(3) 6	(6) 12	(2) 4	(3) 6
Benodigd onderhoud	1	(5) 5	(8) 8	(6) 6	(4) 4
Totaal	190	93	130	115	87

Tabel 4.6, Succescriteria

Uit de succescriteria komt het technisch concept het beste naar voren. Het concept is in tabel 4.7 vergeleken met het pakket van eisen. Mocht het concept niet voldoen aan het eisenpakket, dan dient er opnieuw gekeken te worden naar het concept, waar hij op aangepast kan worden.

Eisnummer	Trefwoord	Grenswaarde	Technisch concept
1	Toepasbaar	Ja/nee	Ja
2	Toepasbaar	Ja/nee	Ja
9	Stabiliteit	Ja/nee	Ja
10	Regeling	Ja/nee	Ja

Tabel 4.7, Toetsing pakket van eisen

Het technische concept voldoet aan het pakket van eisen. Omdat dit concept het beste uit de keuzecriteria komt en voldoet aan het eisenpakket, is dit concept bestempeld met het beste concept. Het verdere ontwerp wordt op dit ontwerp gebaseerd.

4.4.3 Eindconcept

Het eindconcept is de beste oplossing voor het totaalprobleem. Dit volgt uit de gevonden resultaten van de vorige twee stappen. Er is gekozen voor het systeem van Heatmaster met als deeloplossingen het technisch concept. Dit concept voldoet aan de eisen, heeft voldoende stoomopbrengst en sluit aan op de huidige situatie van de Audacia.

Naast de twee oliegestookte stoomketels, komt er nu een hiervan onafhankelijk systeem bij, die een groot deel van de totale stoomlasten op zich kan nemen. Dit verhoogt de betrouwbaarheid van het stoomsysteem, omdat er nu met twee individuele stoomopbrengsten gewerkt wordt. Het nieuwe stoomsysteem kan voor een totale brandstofbesparing van 8% per jaar zorgen. Naast de brandstofbesparing, zal dit stoomsysteem vermoedelijk een positieve invloed op de stabiliteit van de Audacia hebben, omdat er bij plaatsing zware lasten in termen van gewicht in de machinekamer worden geplaatst. Verder wordt in de toekomst de groenheid van een schip steeds belangrijker. De uitlaatgassenketels maken gebruik van restwarmte, wat uiteindelijk de totale CO₂ uitstoot van het schip zal verlagen.

In de volgende fasen zal er een investeringsvoorstel worden geschreven met de uitdetaillering van dit systeem. Er is een begin ontwerp opgesteld, maar de volgende dingen moeten nog uitgezocht worden:

- Exacte locaties van het stoomsysteem.
- Daadwerkelijke invloed op de stabiliteit.
- Het leidingwerk
- De modules brengen een gewicht met zich mee, hierop moet de deksterkte van de Audacia gecontroleerd worden.
- De invloed op het SEEMP.

In hoofdstuk 5 wordt het investeringsvoorstel behandeld en in hoofdstuk 6 komt de uitdetaillering van het systeem aan bod.

5.0 INVESTERINGSVOORSTEL

Nu het ontwerp bepaald is, kan het investeringsvoorstel opgesteld worden. De investering is afhankelijk van de kosten en de terugverdientijden. Deze worden in dit hoofdstuk zo goed mogelijk ingeschat. Als de cijfers bekend zijn, worden deze in een voorstel opgesteld dat bestemd is voor het management.

Om een goede inschatting te kunnen maken voor het investeringsvoorstel dient er een overzicht opgesteld te worden van de verwachte kosten en verdiensten. Door de volgende stappen te nemen worden deze bepaald:

- Een inschatting maken van de totale kosten; hier wordt o.a. in meegenomen: de kosten voor het product die de leverancier vraagt, het transport, inbouw en installatiekosten. Omdat het lastig is om deze kosten goed in te schatten wordt hiervoor een ruime schatting gemaakt.
- De terugverdientijden bepalen. Deze zijn afhankelijk van de brandstofprijzen en van de besparing die het huidige stoomsysteem krijgt door deze nieuwe toevoegingen.
- Wanneer de benodigde informatie beschikbaar is wordt het investeringsvoorstel opgesteld.

Het investeringsvoorstel is voor het management bestemd. Wanneer zij het voorstel goedkeuren, is de knoop doorgehakt en kan er begonnen worden met het uitdetailleren van de nieuwe onderdelen.

5.1 Kosten onderdelen

De totale kosten voor het project bestaan uit de volgende onderdelen:

- De kosten voor de producten die ingekocht worden.
- De benodigde kosten om het ingebouwd en operationeel te krijgen.

Het eerste deel van de kosten komt bij de leverancier vandaan. De prijs die Heatmaster vraagt is **€ 370.000,-** bij deze prijs zitten de uitlaatgassenketels, stoomvat, circulatie pompen en verschillende onderdelen voor het regelsysteem. Wat niet bij deze prijs zit, zijn het leveren en het installeren van de onderdelen.

Het is lastig om de totale kosten te bepalen, daarom zijn er een aantal aannames gedaan. Deze komen uit ervaringen van eerdere (verbouw) projecten van de Audacia. Omdat het uiteindelijke investering in het Engels op wordt gesteld worden de prijzen van onderdelen in het Engels genoteerd.

Douane (custom clearance)

Als de uitlaatgassenketels bijvoorbeeld in China gemaakt worden en naar Rotterdam moeten omdat het schip hier verbouwd wordt, moet er belasting over de onderdelen betaald worden. Op basis van eerdere bestellingen, worden deze kosten op **€ 5,000.-** geschat.

Transport naar het schip (shipping to the vessel)

De bestelde producten moeten naar het schip gebracht worden. Als de onderdelen in Rotterdam gemaakt worden en ze in Rotterdam geïnstalleerd moeten worden, dan is deze prijs van de lage kant. Als de onderdelen in China gemaakt worden, en de installatie in Brazilië gedaan moet worden, ligt deze prijs waarschijnlijk hoger. Gemiddeld worden deze kosten op **€ 20,000.-** geschat.

Verwijderen van onderdelen (removals)

Omdat de nieuwe onderdelen niet door de voordeur passen, dient er een alternatieve manier gevonden te worden om ze de machinekamer in te krijgen. Voor het (tijdelijk) verwijderen van de leidingwerken en verplaatsen van andere componenten gaat **€ 25,000.-** kosten.

Staalwerk (steel works)

Om de nieuwe onderdelen in het schip te krijgen dient er een gat gemaakt te worden in de romp van het schip. De dekwerken in de machinekamer moeten aangepast te worden, de stalenbalken ter ondersteuning, framework etc. komt hier ook bij kijken. Hier wordt **€ 100,000.-** voor geschat.

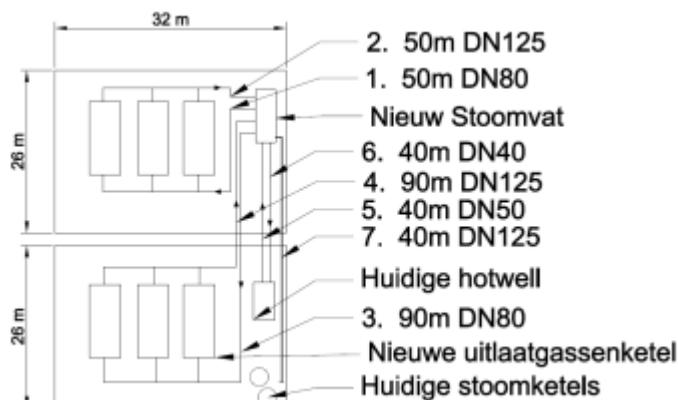
Installeren van de onderdelen (Installation of the exhaust gas boilers + drum)

Voor het installeren van zes uitlaatgassenketel + stoomvat wordt **€ 80,000.-** geschat. Dit is plaatsing, vastlassen en het proefdraaien voor het gehele systeem.

Dump koeler De huidige koeler is vermoedelijk te klein, daarom wordt ingeschat dat een nieuwe moet worden geplaatst. **€ 35,000.-** Voor dit onderdeel.

Leidingwerk(adjustment piping)

De kosten van het leidingwerk kan grofweg worden ingeschat. Als het nieuwe stoomvat in machinekamer 1 wordt geplaatst, dan kan de situatie eruit zien als in afbeelding 5.1. De diameters van de leidingen zijn overgenomen van de aanbiedingen van de leverancier. Het overzicht van het leidingwerk staat in tabel 6.1. De kosten zijn als vuistregel bepaald voor 200 euro per duim*meter. De kosten voor het leidingwerk van het water en het stoom gedeelte zijn hier neergezet.



Afbeelding 5.1,

schets leidingwerk

Leiding	Lengte (m)	Maat (mm)	Duims"	Prijs per duim * meter	Prijs
1 Aanvoer uitlaatgassenketel Machinekamer 1	50	DN80	3	200	€30,000.00
2 Afvoer uitlaatgassenketel Machinekamer 1	50	DN125	5	200	€50,000.00
3 Aanvoer uitlaatgassenketel Machinekamer 2	90	DN80	3	200	€54,000.00
4 Afvoer uitlaatgassenketel Machinekamer 2	90	DN125	5	200	€90,000.00
5 Leiding tussen Hotwell en stoomvat heen	40	DN50	2	200	€16,000.00
6 Leiding tussen Hotwell en stoomvat terug	40	DN40	1.5	200	€12,000.00
7 Aftakking naar stoomleiding	40	DN125	5	200	€40,000.00
					€292,000.00

Tabel 5.1, kosten leidingwerk

Er wordt **€ 292,000.-** geschat voor het leidingwerk van het water + stoomgedeelte van de uitlaatgassenketels. Hier ontbreekt nog de aansluiting op de schoorsteen van de uitlaatgassen. Hier wordt **€ 30,000.-** voor geschat.

Isolatie(insulation)

De nieuwe onderdelen moeten ook geïsoleerd worden. Hiervoor wordt **€ 40,000.-** besteedt.

Installatie pompen

In totaal dienen er 8 pompen geplaatst te worden. In totaal wordt hiervoor **€ 10,000.-** gereserveerd.

Installatie bedieningspaneel

Het bedieningspaneel wordt geleverd door Heatmaster. Deze dient echter wel zelf geplaatst en aangesloten te worden. Hiervoor wordt **€ 10,000.-** aan besteed.

Elektriciteitwerk

De uitlaatgassenketels en het stoomvat worden niet elektrisch aangesloten. Wat wel aangesloten wordt zijn de regelingen, sensoren, pompen, kleppen en het bedieningspaneel. Hiernaast moeten misschien ook nog bestaande kabels verlengd worden. Dit gaat **€ 70,000.-** kosten.

Kongsberg

Het besturingssysteem koppelen aan het huidige Kongsberg systeem. Hiervoor dienen twee specialisten te worden ingehuurd. Deze vragen € 2000 per persoon per dag, er komt een bedrag van **€ 50,000.-** voor hun vrij.

Steigerwerk (scaffolding)

Mensen moeten bij de veranderingen in de machinekamer er goed bij kunnen. Hiervoor wordt extra steiger werk op- en afgebouwd voor **€ 10,000.-**

Verven (painting)

Als alles geplaatst is en het gat in de romp weer dicht is, moet deze nog geschilderd worden. Het schilderen gebeurt met een speciale siliconen coating wat beschermt tegen zeewater en het hechten van zeediertjes aan het schip. Dit zorgt voor een verprijs van **€ 30,000.-**

Al deze kosten worden overzichtelijk neergezet in de investeringskosten. Er komt een totaalbedrag uit van **€ 1,159,000.-**, met een marge van ± 10%.

5.2 Terugverdientijden

Om de terugverdientijd te bepalen moet er bekend zijn wat het nieuwe uitlaatgassenketelsysteem per tijdseenheid oplevert. De stroomproductie waar de uitlaatgassenketels voor zorgen, wordt van de huidige oliegestookte ketels afgetrokken. Dit verschil van brandstof resulteert in de terugverdientijden van de uitlaatgassenketels. De terugverdientijd wordt door de volgende stappen bepaald:

1. Bereken de stoom opbrengsten van de nieuwe uitlaatgassenketels bij de gewenste motorlast. De meest voorkomende motorlast is 25%. Op dit percentage worden de gegevens van de uitlaatgassen meegegeven. Hier zijn de temperatuur en de hoeveelheid rookgassen van belang. Met een motorbelasting van 25% komen er per uur 12.000 kg aan rookgassen vrij met een temperatuur van ± 359 °C. De leverancier kan dit omzetten tot 750 kg/h stoom.
2. Het bepalen hoeveel stoom de oliegestookte stoomketels minder hoeven te produceren. De hoeveelheid stoom die de uitlaatgassenketels produceren per jaar kan als volgt bepaald worden: De opbrengst stoom per uur * de draaiuren van de dieselmotoren * het aantal motoren
De dieselmotoren draaien gemiddeld 3358 uur per jaar, met een beschikking van 6 motoren, kunnen de uitlaatgassenketels: 750 kg/h * 3358 h * 6 = 15,111,000 kg stoom per jaar produceren. Momenteel produceren de oliegestookte stoomketels 35,649,657 kg stoom per jaar. Dit betekent dat er nog steeds 20,538,657 kg stoom per jaar geproduceerd moet worden. Per dag is dit 56270 kg.
3. Vervolgens wordt er bepaald hoeveel warmte Q er nodig is om de stoom op te wekken. Hiervoor nodig zijn de stoomproductie per dag en de hoeveelheid energie er nodig is om 1 kg stoom te maken.

$$Q [kWh] = \frac{kg/dag}{3600} * \frac{kJ/kg}{24}$$

Waarin:

Q: Benodigde warmte energie (1672 kWh)

Het nog te produceren stoom (56270 kg/dag)

De energiewaarde van stoom (2567 kJ/kg)

Met een rendement van 0.85 geeft dit: een Q waarde van 1967 kWh.

4. Er is nu dus bekend hoeveel energie er benodigd is per uur. De energie kan geleverd worden door brandstof, HFO of MGO te stoken. Waarmee de energiewaarde bekend is per uur. Voor beide brandstoffen wordt deze bepaald als brandstofverbruik per dag. Bekend zijn de energiewaarden voor de brandstoffen per kilogram en de hoeveelheid energie dat er per uur gestookt moet worden.

Brandstof besparing

	Stookwaarde brandstof [MJ/kg]	Brandstofverbruik [ton/dag]	Totale brandstof gebruik [ton/dag]	Brandstof besparing [ton/dag]
HFO	40.2	4.23	7.34	3.11
MGO	42.3	4.02	6.97	2.95

MegaJoule/kg -> ton/dag

5. Nu er bekend is hoeveel brandstof de nieuwe installatie kan besparen, kan er berekend worden hoeveel geld dit per jaar bespaard.

$$\text{Brandstofverbruik per jaar} * \text{brandstofkosten} = \text{kosten brandstof}$$

$$\left(\frac{ton}{dag} * 365 \text{ dagen} \right) * \left(\frac{\$}{ton} * \frac{€}{\$} \right) = \frac{€}{jaar}$$

Geld besparing

⁶ Formule uit eigen bron

	Brandstofverbruik [ton/dag]	Kosten brandstof [€/jaar]	Kosten totale brandstof [€/jaar]	Kosten besparing [€/jaar]
HFO	4.23	480630	834246	353616
MGO	4.02	1022335	1299351	277016

Er kan dus per jaar tussen de 270.000 en €440.000 bespaard worden. Dit is afhankelijk of het schip HFO of MGO als brandstof verbruikt.

Dit zijn echter de cijfers die op moment van schrijven geldig zijn. In 2018 maakt de Europese Commissie een beslissing over de brandstofuitstoot van schepen waarin staat beschreven:

- Schepen moeten hun CO₂ uitstoot verminderen.
- Schepen moeten hun uitstoot bijhouden.
- Schepen moeten aangeven wat ze doen aan energie efficiency.

Deze beslissingen kunnen gevolgen hebben voor het investeringsvoorstel van de uitlaatgassenketels. Als er besloten wordt dat de uitlaatwaardes verlaagd moeten worden door het verbieden van het stoken van de goedkopere, maar meer zwavel bevattende brandstof (HFO), dan dient het schip te varen op de duurder MGO. Deze duurder brandstof resulteert wel in een snellere terugverdientijd, maar het brengt wel een nadeel met zich mee: Deze brandstof hoeft niet (voor)verwarmd te worden met stoom. Dit houdt in dat het stoom niet nodig is. Er kan ook een situatie ontstaan dat Audacia in warme wateren opereert, er ook geen stoom voor de verwarming van de accommodaties benodigd is.

Als een dergelijke situatie ontstaat, dan produceren de uitlaatgassenketels een overschot aan stoom. Het schip heeft dan maar behoefte aan ±1.200 kg/h aan stoom. Als er 4 dieselmotoren draaien, dan produceren de uitlaatgassenketels een hoeveelheid stoom van minstens 2800 kg/h. Oftewel, een overschot van 1600 kg/h. Dit overschot resulteert niet mee in de terugverdientijd, maar introduceert juist in een langere terugverdientijd omdat de uitlaatgassenketels niet volledig benut kunnen worden.

Het stoomoverschot kan wel benut worden voor andere doeleinden. Aan boord van de Audacia staan watermakers, die een overschot aan stoom om kunnen zetten naar drinkwater. In 2011 is er een RO (Reversed Osmose) installatie geplaatst op de Audacia. De RO-plant kan zout water omzetten naar schoon drinkwater d.m.v. geforceerde filtering met elektrische energie. Dit is een zeer goedkope manier van water maken⁷. Er is in het verleden een onderzoek gedaan binnen Allseas betreft de Reversed Osmose op de Audacia. Hier kwam onder andere uit dat het maken van drinkwater met een watermaker vele malen duurder is dan het maken van water door een RO-plant. (2500 euro per dag voor de watermaker tegenover 50 euro per dag voor de RO-plant.)

Als stoomoverschot zich voordoet, kan de stoom gebruikt worden om water te maken. Ze hoeft de RO-plant niet in gebruik te worden genomen. Al resulteert dit (bijna) niet in een verkortere terugverdientijd omdat de besparing van 50 euro per dag voor een bedrag van een miljoen euro niet merkbaar is.

Dus, het is niet met zekerheid te zeggen of de uitlaatgassenketels de terugverdientijd van 3 jaar halen. Als de Europese Commissie beslist dat er in bepaalde wateren met maximaal 0.1% zwavel bevattende brandstoffen gevaren moet worden, dan wordt de Audacia geforceerd om op MGO te opereren. Omdat deze brandstof niet warm gehouden hoeft te worden, kan de brandstof niet bijdragen aan de terugverdientijd van de uitlaatgassenketels. Als het schip ook nog in warme gebieden opereert, dan hoeft het schip ook geen warmte te produceren. Als deze scenario's optreden, dan is het economisch niet rendabel om een uitlaatgassenketel te investeren. Het zou nog wel mogelijk zijn om scrubbers (zwavelfilters) te installeren op de Audacia, deze filters filteren de schadelijke stoffen uit de rookgassen, waardoor het mogelijk zou kunnen zijn om op de goedkopere brandstof HFO te gaan varen. Deze brandstof moet wel verwarmd worden, waardoor het stoomsysteem de brandstoffen warm moet houden en dus van de uitlaatgassenketels gebruik kan maken.

⁷ Bron: ME-AU841-redundancysteamsystem, eerder onderzoek binnen Allseas

5.3 Investeringsvoorstel

Background

The Audacia is equipped with two oil fired steam boilers which provide the entire heat requirement for the equipment on the Audacia. These boilers have a steam capacity of 3,000 kg/h and 1,600 kg/h.

As calculated, the Audacia has different average steam consumption in winter and summer period. Table 1 shows these numbers with and without the use of the evaporators; they are the biggest individual consumers.

Steam consumption	Evaporator on	Evaporator off
Winter	4,300 [kg/h]	2,400 [kg/h]
Summer	3,200 [kg/h]	1,400 [kg/h]
Actual measured	3,700 [kg/h]	3,000 [kg/h]

Table 1, Steam consumption Audacia

The current oil fired steam boilers meet this steam request, resulting in fuel consumption up to 7 tonnes per day.

To counter this amount of fuel consuming, an exhaust gas boiler could be installed. This unit can be placed on the diesel engines, using the exhaust gasses of these engines and their caloric values as a heat source for the steam system. The exhaust gas boilers use the operating profile of the Audacia as a starting point.

Investment

The exhaust gas economisers are being designed to comply with the current running hours of the diesel engines. They are calculated to not interfere the diesel engines and to give the best performance with an engine load of ~25% (as is the most common DP load.)

Exhaust gas steam boilers: Total of 6	6 Exhaust gas steam boilers	
	One water control set for each boiler	
	One set of safety devices	
	One internal by-pass valve	
	One control set for by-pass valve	
	One set of fittings for each steam boiler	
	Four circulating pumps	
	One set of fittings each pump set.	
	Assembly each two set of pumps to one unit.	
	One steam drum for all steam boilers	
	Insulation for steam drum	
	Two feed water pumps	
	One set of fittings feed water pumps.	
	Assembly of feed water pumps to one unit.	
	Two control boxes	
	One dumping condenser with control set	€ 370,000.-
Additional costs:	Custom clearance	€ 5,000.-
	Shipping to the vessel	€ 20,000.-
	Removals	€ 25,000.-
	Steel works	€ 100,000.-
	Installation of the exhaust gas boilers + drum	€ 80,000.-
	Adjustment steam piping	€ 40,000.-
	Adjustment exhaust piping	€ 30,000.-
	Feed water piping	€ 252,000.-
	Insulation	€ 40,000.-
	Installation feed water pumps	€ 10,000.-
	Installation control panel	€ 10,000.-
	Electrical works	€ 70,000.-
	Kongsberg	€ 50,000.-

	Scaffolding	€ 10,000.-
	Painting after completion	€ 30,000.-
	Total	€ 772,000.-
Dump cooler	Estimated price dump cooler	€ 15,000.-
	Steel work	€ 4,000.-
	Piping	€ 13,000.-
	Valves	€ 3,000.-
	Total	€ 35,000.-
Total of the investment costs		€ 1,159,000.-

Table 2, Investment costs

Return of investment

As said, the current steam boilers use a huge amount of fuel. With the use of the exhaust gas boilers, the current oil fired steam boilers will decrease their fuel requirements. These amounts of fuel savings are resulting in the return of investment.

In overview 1, the amount of fuel savings can be found. The ship is being able to save more than 3 tonnes of fuel a day. The return of investment displayed as a worst and best case scenario, based on HFO or MGO operation.

	HFO with Evaporators calculated	MGO with Evaporators calculated	
<u>Calculation fuel consumption</u>			
Price diff solution [€/year]	256274	522334	
Fuel reduction solution [ton/day]	3.11	2.96	
<u>Fuel oil reduction per year</u>	[€/year]	[%]	Payback time
Worst case using exhaust gas boiler (	256274	7.5	4.4
Best case using exhaust gas boiler	522334	8.6	2.2

Overview 1, Return of investment

With the new equipment, the Audacia could save up to **€ 500,000/year**. Resulting in a payback time of 2.2 to 3.2 years with a saving of 8% of her total fuel consumption. However, if the vessel sails in warmer areas the exhaust gas boilers cannot perform at their best. This results in a longer payback time between 4 to 5 years.

Additional benefits

Should the new steam installation be installed, additional benefits are occurring. These positive changes bring an overall improvement on the Audacia:

- The new equipment is to be installed in the engine rooms. These new units have a shared weight of about 40 tonnes. Regarding the location of installation and the weight of these units, they should improve the stability of the Audacia.
- The total steam system becomes more reliable. With the new exhaust gas boilers being placed, the Audacia has 3 units being able to produce steam over two engine rooms, instead of the two current boilers in only one engine room.
- With the use of the economisers, less fuel has to be burned, resulting in a drop of greenhouse gasses.
- The use of economizing units should be taken up in the SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan). This gives the ship a better overall status.

Advice

Install the exhaust gas boilers if the opportunity occurs to utilize its effectiveness. The output is determined regarding the operational conditions of the Audacia. The use of the units makes the vessel more environment friendly and will give the ship a better status regarding the understanding of energy efficiency maintenance.

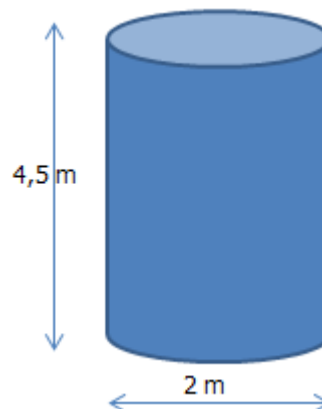
6.0 DETAILERING

In deze fase komt de detaillering van het nieuwe systeem aan bod. In de vorige fase is er grofweg bepaald hoe het nieuwe deel van het stoomsysteem eruit komt te zien. In dit hoofdstuk wordt de werkvoorbereiding voor het plaatsen van het nieuwe deel behandeld aan de hand van de volgende stappen:

- Door de afmetingen van de nieuwe onderdelen te vergelijken met de beschikbare ruimte aan boord, worden de locaties van de onderdelen bepaald.
- Nadat de locaties voor de onderdelen zijn bepaald, worden de locaties op sterkte berekend en indien noodzakelijk, wordt het dek versterkt. Vervolgens wordt de beste manier bepaald om de nieuwe onderdelen op de gewenste locatie te krijgen, hiervan wordt een plan opgesteld. Na het plaatsen, wordt het schip berekend op zijn nieuwe stabiliteit.
- Wanneer de nieuwe onderdelen staan, dienen deze aangesloten te worden op het huidige systeem. De volgende delen moeten aangesloten worden: De leidingen, aansluitingen op de Hotwell, dump condensor, (elektrische) bekabeling, besturingsschema en de technische tekeningen moeten aangepast worden.
- Bij het bestellen van de onderdelen dient er goed op de volgende punten gelet te worden: De locatie van levering, wat wordt er meegeleverd en wat zijn de leveringsvoorwaarden.
- Nadat het systeem geïnstalleerd is, dient deze ook onderhouden te worden. Hier moet het onderhoudsschema en de reserveonderdelen voor meegenomen worden.

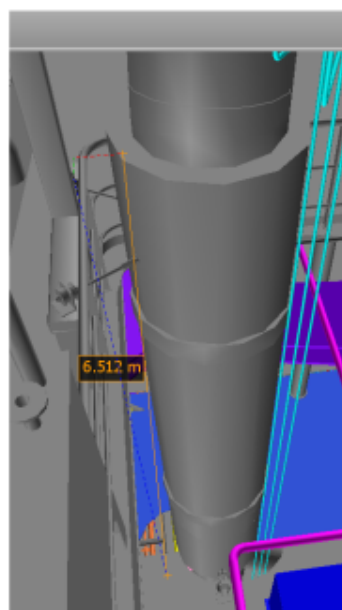
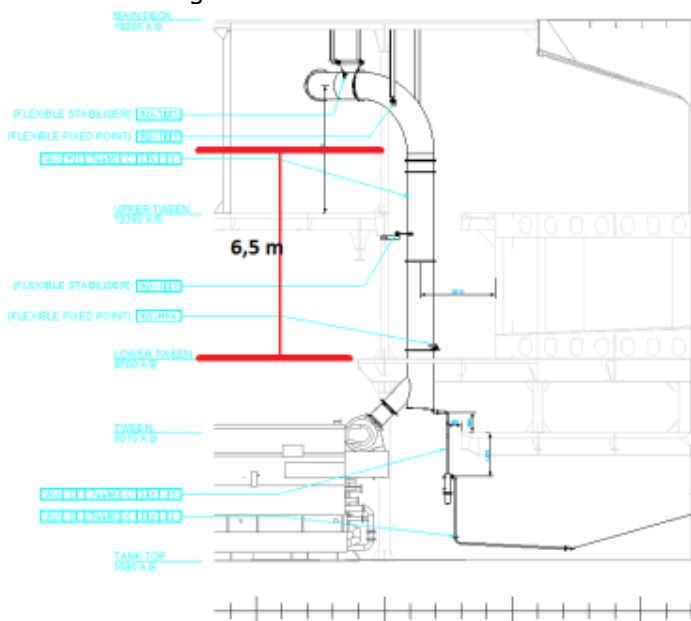
6.1 Plaatsing uitlaatgassenketels

De nieuwe uitlaatgassenketels worden aangesloten op de schoorstenen van de dieselmotoren. De plaatsing moet in de machinekamer gebeuren. Er wordt een geschikte locatie hiervoor bepaald. Als visualisatie wordt er een cilinder gebruikt met een diameter van 2 meter en een hoogte van 4,5 meter, wat overeenkomt met de afmetingen van de 'echte' uitlaatgassenketel.



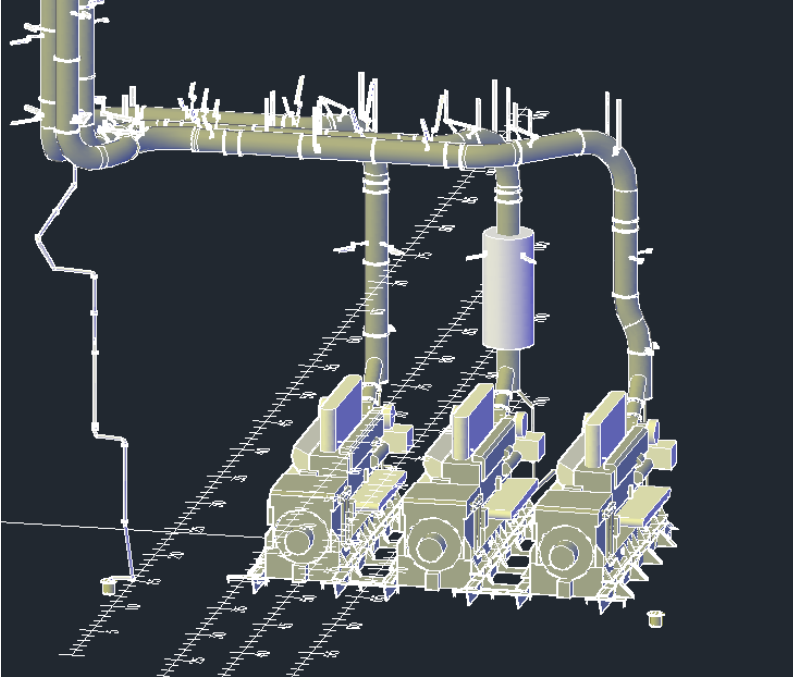
Alle schoorstenen van de dieselmotoren lopen een groot deel in de machinekamer recht omhoog. Als de mogelijkheid er is om de uitlaatgassenketels in het bestaande rechte stuk te plaatsen, zou dat qua uitvoering gunstig uitkomen, er hoeft dan weinig veranderd te worden in de huidige installatie.

De lower tween deck is in afbeelding 6.2 aangegeven als het laagste grenslijn van de 6,5 meter ruimte die er is voor de uitlaatgassenketel. De bovenste grenslijn geeft het begin van een bocht aan en daar kan beter onder gebleven worden.



Afbeelding 6.1, plaatsing uitlaatgassenketels

Om ruimte te behouden voor de fundatie waar de uitlaatgassenketels op komen te staan wordt er vanaf het dek 0,5 meter ruimte over gehouden.



Afbeelding 6.2, Aanduiding locatie uitlaatgassenketel

In afbeelding 6.2 staat de uitlaatgassenketel om de middelste schoorsteen getekend. In deze afbeelding is de rest van het schip achterwegen gelaten. De uitlaatgassenketels worden geplaatst in het verticale stuk, tussen de dieselmotoren en het stuk naar de atmosfeer, het horizontale gedeelte.

De uitlaatgassenketel wordt geplaatst op het lower tweeen deck. De ketel wordt via een frame verbonden aan het dek. Hiernaast is het ook mogelijk om de ketels aan de wand van de machinekamer te bevestigen, zodat hij robuust in het schip staat. Hier moet nog bepaald worden hoe de uitlaatgassenketels vastgemaakt wordt.

Verder dient er voor de uitlaatgassenketels de volgende dingen nog uitgezocht te worden:

- Er moet een frame ontworpen te worden waar de uitlaatgassenketels op komen te staan.
- Er moet bepaald worden of de wanden en dek waar de uitlaatgassenketel aan bevestigd wordt wel sterk genoeg zijn.
- De uitlaatgassenketels moeten voldoende ruimte hebben voor inspectie en aansluitingen van: water aan/afvoer veiligheidsleiding en ontluchting.

6.2 Plaatsing Stoomvat

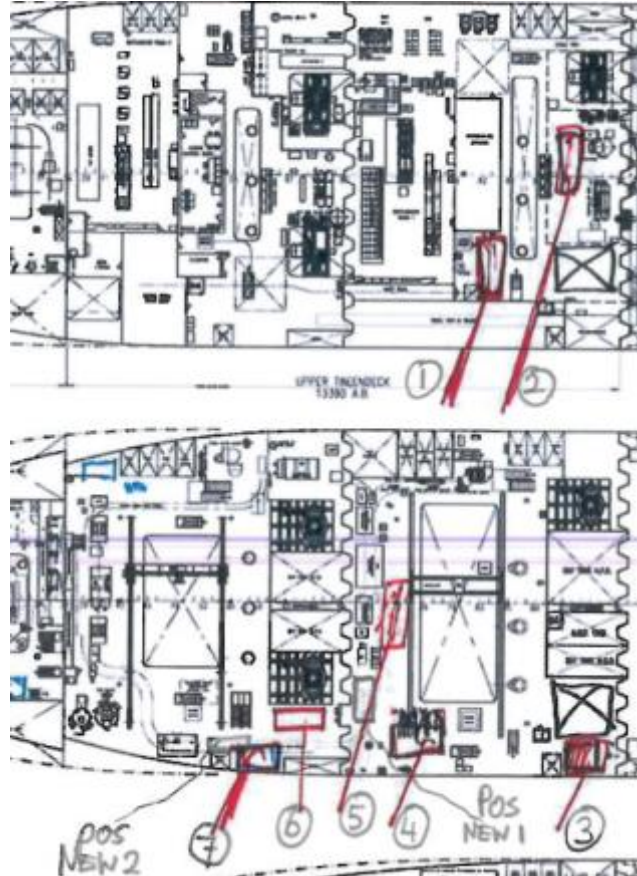
In het stoomvat kan het water, dat van de uitlaatgassenketels komt, zich omzetten tot stoom. De gevormde stoom gaat vervolgens naar de (hoofd)stoomleiding. Op aangeving van de leverancier krijgen de uitlaatgassenketel een capaciteit van 750 kg/h en krijgt het stoomvat een capaciteit van 5000 liter, hier zit een marge van $\pm 10\%$ op. De afmetingen van het stoomvat worden geschat op 3 meter lang en een diameter van 2 meter, deze afmetingen zijn overgenomen van de Hotwell, die ook een capaciteit van 5000 liter heeft.

Nu de afmetingen van de stoomvat bekend zijn, wordt de locatie op het schip bepaald. Aan de hand van beschikbare bouwtekeningen worden suggesties gedaan voor mogelijke locaties (zie afbeelding 6.3). In het overzicht staan er twee dekken van machinekamer 1&2 weergegeven waarin de stoomvat geplaatst kan worden.

Er is aan boord voor elke locatie gekeken en gemeten of hij daar past en kan staan. Hier zijn de inpasbaarheid, hinder met andere systemen en de toegankelijkheid in meegenomen. Het overzicht van deze locaties is te zien in tabel 6.1.



Afbeelding 6.4, Locatie 1



Afbeelding 6.3, suggesties locatie stoomvat.

Locatie	Mogelijk	Omdat
1	Niet mogelijk	Deze locatie is direct op de luiken van de machinekamer. Zie afbeelding 6.4
2	Liever niet	Deze locatie is op de looproute naar een boegschroef.
3	Liever niet	Deze locatie wordt momenteel gebruikt als een schoonmaakberging. Maar, wanneer in de toekomst er een extra boegschroef bij komt (hiernaast) dan wordt het bijna onmogelijk om goed bij het stoomvat te komen.
4	Mogelijk	Hier staat het stoomvat niet in de weg.
5	Liever niet	Deze locatie wordt momenteel gebruikt als een looproute en hier staan een hoop schakelkasten waar men goed bij moet komen.
6	Mogelijk	De locatie is nu bedoeld voor opslag van reserveonderdelen. Maar deze kunnen eenvoudig verplaatst worden.
7	Niet mogelijk	Deze locatie is momenteel bedoeld voor ontluchting van de smeerolie en is tevens een locatie waar zeewater overboord gaat.
8 (new 1)	Mogelijk	Op deze locatie staat het stoomvat niet in de weg. En op deze locatie is voldoende hoogte beschikbaar.
9 (new 2)	Mogelijk	Momenteel in gebruik voor opslag. Hier staat het stoomvat vlak bij andere hoofdonderdelen van het stoomsysteem; de oliegestookte stoomketels en de Hotwell.

Tabel 6.1, Overzicht locaties

Vier van deze locaties zijn mogelijk geschikt voor het stoomvat. Omdat locatie 9 het stoomvat naast andere grote onderdelen van het stoomsysteem zet, is deze locatie een goede oplossing. Zo worden de onderdelen van het stoomsysteem dichtbij elkaar gehouden en dat is goed voor het onderhoud. In afbeelding 6.3 staat een afbeelding van locatie 9. De horizontale pijl wijst de hotwell aan en de verticale pijl wijst de locatie van het stoomvat aan.



Afbeelding 6.3, Locatie 9

Op deze locatie is de afstand tussen de Hotwell en het stoomvat relatief klein. Om deze twee met leidingen aan elkaar te verbinden wordt hierdoor eenvoudiger.

6.2.1 Belasting

Met een capaciteit van 5000 liter zal het stoomvat niet lichter zijn dan 5000 kg. Omdat het vat zelf ook gewicht met zich meebrengt, wordt er op 6000 kg gerekend. Er moet berekend worden hoeveel zwaartegewicht het stoomvat met zich meebrengt. Dit wordt bepaald door de formule:

$$F = m * a$$

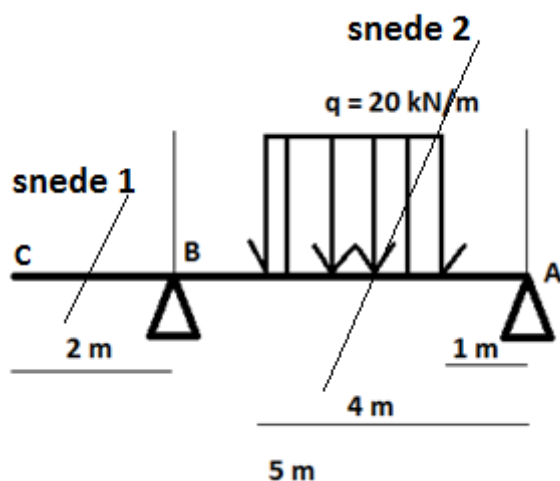
Waarin:

F = kracht (N)

m = massa (kg) 6.000

a = valversnelling (m/s²) 9,81 10

Er komt een extra gewicht van 60.000 N bij. Over 3 meter verspreidt is dit 20kN/m er wordt aangenomen dat het gewicht van de stoomketel een verdeelde belasting is. Hiernaast wordt er een schematisch zijaanzicht gegeven van de locatie waar het stoomvat komt te staan. Er wordt aangenomen dat het stoomvat rechts op 1 meter van de wand en inklemming (punt A) komt te staan en dat punt B een steunligger is.



Berekening interne krachten:

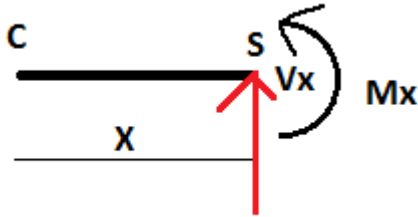
Hieruit volgt $B_v = 30 \text{ kN}$

Snede 1:

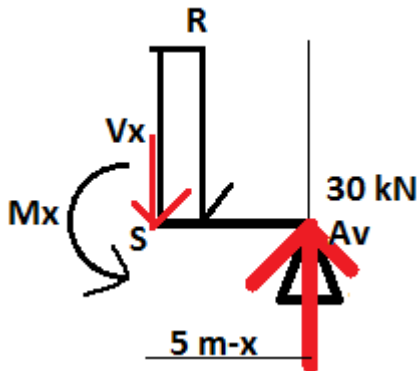
Horizontaal evenwicht geeft
 $N_x = 0$

Verticaal evenwicht geeft:
 $V_x = R = 5 * x$
 $R=0 \rightarrow q=0$

$$M_x = 0$$



Snede 2:



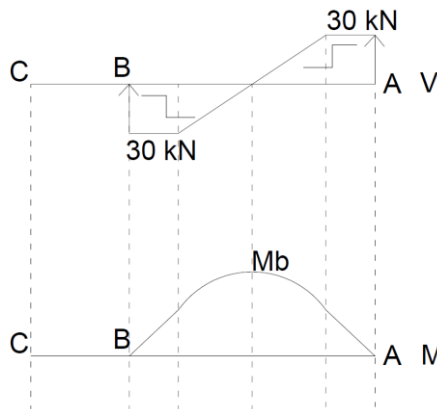
$$R = q(5 - x)$$

$$R = (100 - 20x)$$

$$30 * (5 - x) - (100 - 20x) * \left(\frac{5 - x}{2}\right) + M_x = 0$$

$$150 - 30x - 250 + 10x + 50x - 10x^2 = -M_b$$

$$10x^2 - 30x + 100 = M_b$$



Het maximale moment zit in het midden van punt A en B. op 2,5 meter. Dit invullend geeft:

$$10(2,5)^2 - 30(2,5) + 100 = M_b$$

$$M_b = 87,5 \text{ kNm}$$

Vanwege tijdsgebrek wordt er niet verder gekeken naar de deksterkte. Omdat het investeringsvoorstel (nog niet) goed gekeurd is door het management wordt er geen tijd vrijgemaakt door personeelsleden die verantwoordelijk zijn voor het doorrekenen van deze gegevens. Indien het voorstel goedgekeurd wordt en het dek getoetst wordt op zijn sterkte, moet er op de volgende punten gelet worden:

- Controleren of het dek de belasting aan kan.
- Nagaan of er steun of draagbalken moeten komen die het gewicht moeten opvangen.
- Het frame ontwerpen die het stoomvat met het dek verbindt.

6.3 Invloed op stabiliteit

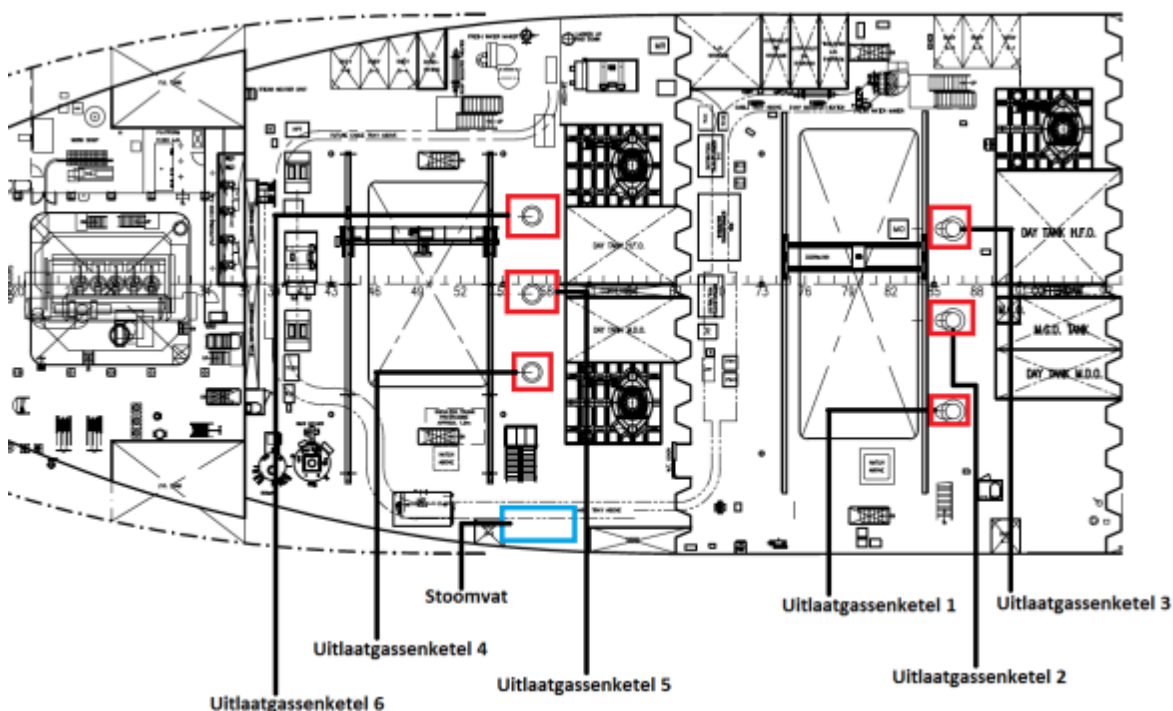
Nu de locaties van de onderdelen bekend zijn, kan er gerekend worden aan de stabiliteit. Het bepalen van de verandering van de stabiliteit komt door de locaties en het gewicht van de nieuwe onderdelen. Deze factoren zijn te vinden in tabel 6.2. De positie is bepaald door de volgende factoren:

- De longitude lengte, gemeten vanaf de achterkant naar de voorkant van het schip.
- De transversale lengte, gemeten vanaf de centerlijn van het schip. (positief voor stuurboord, negatief voor bakboord).
- Hoogte, gemeten vanaf de boeg van het schip.

	Longitude lengte (m)	Transversale lengte (m)	Hoogte (m)	Gewicht (t)
Uitlaatgassenketel 1	72	8	11	4,2
Uitlaatgassenketel 2	72	2	11	4,2
Uitlaatgassenketel 3	72	-4	11	4,2
Uitlaatgassenketel 4	47	6	11	4,2
Uitlaatgassenketel 5	47	0	11	4,2
Uitlaatgassenketel 6	47	-6	11	4,2
Stoomvat	47	10	10	6,0

Tabel 6.2, Locatiegegevens voor nieuwe onderdelen.

Voor een stabiliteitscontrole worden de 7 grootste en zwaarste onderdelen meegenomen. De pompen, leidingen en andere accessoires worden hier dus niet in meegenomen. De uitlaatgassenketels en het stoomvat worden op ongeveer dezelfde hoogte geplaatst, dus op het zelfde dek. De locatie van plaatsing is te zien in afbeelding 6.4.



Afbeelding 6.4, Locatie nieuwe onderdelen.

Met een software programma van Allseas, LocoPias, kan de stabiliteit van de Audacia bepaald worden. In het programma kunnen meerdere vaarsituaties ingevoerd worden, variabel zijn: het weer en de bevoorrading. Voor deze opdracht is het weer ingesteld als een tropische storm (windsnelheden met 170 km/h) en de meest gangbare bevoorrading, van 50%. De invloed van de stabiel ligging van de Audacia is bepaald voor en na het inbouwen van de nieuwe onderdelen. In tabel 6.3 staan de voor- en na situaties van het schip. Meegenomen zijn het gewicht, het verticale zwaartepunt, het horizontale zwaartepunt en in welke hellingshoek het schip neigt de drijven om de lengteas. Deze resultaten zijn de gemiddelde voor het gehele schip. Vanwege gebrek aan tijd wordt voor deze opdracht niet gekeken naar de deelresultaten.

Situatie	Gewicht (ton)	Verticaal zwaartepunt (m)	Horizontaal zwaartepunt (m)	Hellingshoek (graden)
Voor aanpassing	56444,8	12,363	113,720	0,025 (Bakboord)
Na aanpassing	56476,0	12,362	113,688	0,039 (Stuurboord)

Tabel 6.3, stabiliteit.

Oftewel, het schip wordt met 32,2 ton meer belast. Het verticale zwaartepunt wordt verlaagd met 1 mm, het horizontale zwaartepunt wordt met 32 mm verschoven naar de achterzijde van het schip. en het schip krijgt een andere hellingshoek.

Zijn deze wijzigingen gunstig? In basis geldt:

- Hoe lager het verticale zwaartepunt zit, hoe minder snel het schip onstabiel wordt en zal kapseizen.
- Het horizontale zwaartepunt schuift naar meer naar het midden van het schip (op 112,5 meter) wat positief is.
- De hellingshoek verandert naar lichtelijk stuurboord. Dit heeft geen voor- of nadelen.

Dit is slechts een aanduiding om aan te tonen hoe de stabiliteit wordt beïnvloedt door de uitbreiding van het stoomsysteem. Er is aangetoond dat de stabiliteit niet negatief beïnvloedt wordt, maar wel een (minimale) positieve bijdrage levert. Voor het vervolg van de opdracht wordt er aangeraden om het volledige stoomsysteem bij meerdere ladingssituaties te bepalen, samen met de verschillende externe invloeden.

6.4 Verder onderzoek

Vanwege tijdsgebrek is er besloten om een streep te trekken voor dit onderwerp; Het verder uitwerken van de opdracht wordt hier gestopt. Wel wordt er nog bepaald wat er in het vervolg uitgewerkt dient te worden om het nieuwe stoomsysteem succesvol te installeren.

Naast de aanbevelingen die al gedaan zijn voor de uitlaatgassenketels, het stoomvat en de stabiliteit, dient er nog meer werk verricht te worden. Wanneer bij goedkeuring van de opdracht door het management de eerste stappen genomen mogen worden, wordt er begonnen met de werkvoorbereiding. Er wordt contact gelegd met de leveranciers om hun totaalpakketten definitief te maken en de onderdelen te bestellen. Ook de financiële zaken worden in orde gemaakt.

Nadat de onderdelen besteld zijn moeten deze geleverd worden naar de juiste locatie. Aangezien de leveringstijd enkele maanden kan duren, is het belangrijk om dit goed te plannen. Ook moet er bekend zijn welke partij verantwoordelijk is voor het transporteren en leveren van de onderdelen.

Als de specificaties van de uitlaatgassenketels, stoomvat, pompen etc. bekend zijn, kunnen de exacte locaties bepaald worden. Hiermee wordt het dek getoetst op zijn sterkte. Indien nodig wordt er ondersteuning voor het dek ontworpen. De locaties waar de nieuwe onderdelen komen te staan worden gecontroleerd op hun toegankelijkheid, dus of de onderdelen naar de locaties gebracht kunnen worden. Waarschijnlijk passen de nieuwe onderdelen niet door de voordeur van het schip, er moet een andere manier bedacht worden om ze naar de gewenste locaties te brengen. Een hijs/werkplan wordt er hiervoor opgesteld. Een hijs/werkplan is een getekend stappenplan die iedere stap/handeling als een tekening weergeeft en aangeeft wat er gebeurt. Er wordt als het ware een soort stripboek getekend.

De onderdelen worden waarschijnlijk via de romp van het schip naar binnen gebracht. Om dit mogelijk te maken wordt er in de romp van het schip een gat gesneden waar de onderdelen naar binnen kunnen. Tussen de gewenste locatie van het onderdeel en het gat in zitten nog meerdere versperringen, leidingen en andere wanden. Deze worden ook (tijdelijk) weg gehaald. Nadat alle werkzaamheden zijn verricht worden de aanpassingen weer volledig hersteld.

Alle nieuwe onderdelen moeten geïntegreerd worden in het schip. Ze moeten aangesloten worden op de bestaande (water)leidingen, op het elektrisch netwerk en op het besturings- en monitoringsysteem van de Audacia. Het stoomvat moet aangesloten worden op de Hotwell, alle nieuwe onderdelen moeten robuust vast gemaakt worden aan het schip.

Alle veranderingen in en aan het schip moeten ook aangepast worden op de (technische) tekeningen, de lijsten waar de uitrusting van het schip op staat en de aanpassingen dienen een eigen onderhoudsplan te krijgen. Bij het onderhoud komt er een planningsschema en een overzicht van alle spare parts. Er komt een selectie voor de spare parts die aan boord meegaan, dit bedraagt wat leidingen, flenzen en pompen. Indien er een onderdeel kapot gaat die het schip niet bij zich heeft, kan deze eenvoudig aangevraagd worden bij de leverancier.

7.0 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Voor deze opdracht is er een onderzoek gedaan naar mogelijkheid voor toepassing van restwarmte gebruik op de Audacia. Er is daarbij begonnen met het oriënteren naar verschillende mogelijkheden voor restwarmte terugwinning. Al snel bleek dat het toepassen van uitlaatgassenketels op de dieselmotoren een goede manier was. De energie van de rookgassen, geproduceerd door de dieselmotoren, worden door de uitlaatgassenketels in combinatie gebracht met het stoomsysteem, zodat de huidige oliegestookte stoomketels, waarmee nu het stoom opgewekt wordt, minder brandstof verstoken. De besparing aan brandstof resulteert in een terugverdientijd. Uit het onderzoek zijn de volgende conclusies gerold:

- Er is een uitbreiding voor het huidige stoomsysteem ontworpen. Deze uitbreiding verbindt het huidige stoomsysteem met de dieselmotoren, zodat de energiewaardes uit de rookgassen van de motoren overgedragen kunnen worden aan het medium van het stoomsysteem.
- Het totale brandstofverbruik van de Audacia kan met 8% verminderd worden. De huidige oliegestookte stoomketels stoken met deze nieuwe installatie een aanzienlijke hoeveelheid minder.
- De kosten voor de uitbreiding van het stoomsysteem zijn €1.159.000,- ± 10%.
- De terugverdientijd van de uitlaatgassenketels is afhankelijk van de stoombenodigdheden van de Audacia. Als de Audacia een grotere of gelijke stoomvraag heeft als wat de uitlaatgassenketels maximaal kunnen aanbieden, dan is de terugverdientijd 2,5 jaar. Als het stoomaanbod van de uitlaatgassenketels groter is dan de vraag, dan moet het stoom weer ongebruikt omgezet worden naar water. Dit kan oplopen naar een langere terugverdientijd van 4,5 jaar.
- De stabiliteit wordt (minimaal) positief beïnvloedt. De verticale zwaartepunt zakt met 1 millimeter, wat dus een positieve bijdrage levert aan de stabiliteit.
- De uitbreiding van het stoomsysteem geeft een status aan het schip met een visitekaartje dat het schip en Allseas aan duurzaamheid doen.

Naast deze conclusies zijn er een aantal punten die nog moeten worden uitgezocht. Deze punten vallen buiten de huidige kenniskring, tijdsbestek en gebrek aan mankracht. Er worden wel aanbevelingen gedaan naar het vervolg van dit project, zodat er weet wat er nog uitgezocht moet worden. deze aanbevelingen zijn:

- Voor de plaatsing van de uitlaatgassenketels moet er een frame ontworpen worden waar hij op kan staan. Er moet gekeken worden hoe ze vastgemaakt worden aan het schip, met voldoende ruimte voor onderhoud en inspectie.
- Het stoomvat moet een frame krijgen waar hij op kan staan. De deksterkte moet getoetst worden op zijn toegestane belasting. Waarschijnlijk moet er ondersteuning komen onder het dek.
- Wanneer er groen licht is van het management, begin met het bestellen van de definitieve onderdelen met de leverancier want de leveringstijd kan een paar maanden later zijn. Plan de levering samen met de periode wanneer er een mogelijkheid is om de aanpassingen aan het schip te doen. Maak bekend wie er verantwoordelijk is voor het transport voor de onderdelen.
- Bepaal hoe de onderdelen op de gewenste locaties komen. Maak een hijsplan om de stappen hiervoor overzichtelijk weer te geven.
- Als de uitbreiding van het stoomsysteem robuust op zijn gewenste plek staat, integreer deze dan in het schip. Sluit het aan op de (water) leidingen, het elektrisch netwerk en de andere systemen.
- Pas de aanpassingen op het schip ook aan op de tekeningen en op de data van de Audacia.
- Voor onderhoud is het belangrijk dat er een overzicht gemaakt wordt van de nieuwe onderdelen. Als de onderdelen aan boord kapot gaan, kunnen deze snel weer besteld worden.

Er wordt aanbevolen om de punten die nog open liggen in een later stadium uit te zoeken. Als het investeringsvoorstel voor de Audacia goedgekeurd wordt, is het raadzaam om de aanbevelingen goed op te volgen. Deze punten zijn voor het vervolg van de opdracht goed te gebruiken als richtlijnen.

BRONVERMELDING

Literatuur:

- Cool, J.C. (2006). Werktuigbouwkundige systemen (3^e druk). Delft: VSSD. (pagina 21)
- Dokkum, K. van. (2003). Scheepskennis (1^e druk). Enkhuizen: Dokmar (pagina 21 & 47)
- Hoogland, W., Brand, I. & Dik, R. (2010). Rapport over rapporteren (6^e druk). Groningen: Noordhoff. (layout gehele rapport)
- Oskam, I., Cowan, K., Hoiting, I. & Souren P. (2012). Ontwerpen van technische innovaties (1^e druk). Groningen: Noordhoff.
- Taal, A.C. (2005). Toegepaste Energieleer (1^e druk). Den Haag: Sdu. (pagina 16)

Handleidingen:

- Aalborg. (2006). Allseas Audacia Steam System ER 1/2, AU-841/N1. (pagina 16)
- Aalborg. (2006). Allseas Audacia Steam System ER 3, AU-841/N2. (pagina 16)
- Allseas: ME-AU841-redundancysteamsystem (pagina 39)

Internet:

- | | |
|---|--|
| http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/control-hardware-sa-actuation/self-acting-temperature-controls.aspx | Informatie voor temperatuur gevoelige regelkleppen. (pagina 17) |
| http://archive.hnsa.org/doc/merchant/engineering/index.htm#pg11 | Algemene informatie over stoomsystemen. |
| http://www.chevronmarineproducts.com/docs/everythingaboutfuels_v0108_lo.pdf | Informatie over verschillende brandstoffen voor schepen. |
| http://www.allseas.com | Bezoeksite van mijn afstudeerbedrijf. |
| http://www.saacke.com | Leverancier van verschillende producten voor deze opdracht. |
| http://www.heatmaster.nl | Leverancier van verschillende producten voor deze opdracht. |
| http://www.alfalaval.com | Leverancier van verschillende producten voor deze opdracht. |
| http://www.marinediesels.info | Algemene informatie over dieselmotoren. |
| http://www.steamesteam.com/?boilers/sunrod-boilers | Algemene informatie over oliegestookte stoomketels. |
| http://europa.eu/rapid/press-release_IP-13-622_en.htm | Rapport over emissiecontrole voor verschillende wateren. (pagina 38) |

BIJLAGEN

- I Plan van aanpak**
- II General Arrangement van de Audacia**
- III Plattegrond tekeningen**
- IV Stoomverbruik**
- V Tegendruk dieselmotoren**
- VI Aanbiedingen leveranciers**
- VII Competentieset**