

## MASTER

### Een beoordelingsmethode voor AIP technologieen Walrusklasse-onderzeeboten

van der Zee, F.

*Award date:*  
2002

[Link to publication](#)

#### **Disclaimer**

This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

#### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain

ARW  
2001  
BDK

3876

## Een beoordelingsmethode voor AIP technologieën

### Walrusklasse-onderzeeboten

**NIET  
UITLEENBAAR**

Afstudeerrapport TU/e  
Faculteit Technologie Management  
Vakgroep Logistieke Beheersingsystemen

F. van der Zee

# Een beoordelingsmethode voor AIP technologieën

## Walrusklasse-onderzeeboten

Afstudeerrapport F. van der Zee (id. nr. 432093)

Technische Universiteit Eindhoven  
Faculteit Technologie Management  
Vakgroep Logistieke Beheersingssystemen

Den Helder, december 2001

### Begeleiders TUE

Ir. J.Ph.C. Wubben

Dr. Ir. H.H. van Mal

Dr. Ir. G.J. van Houtum

Eerste begeleider

Tweede begeleider

Derde beoordelaar

### Bedrijfsbegeleiders

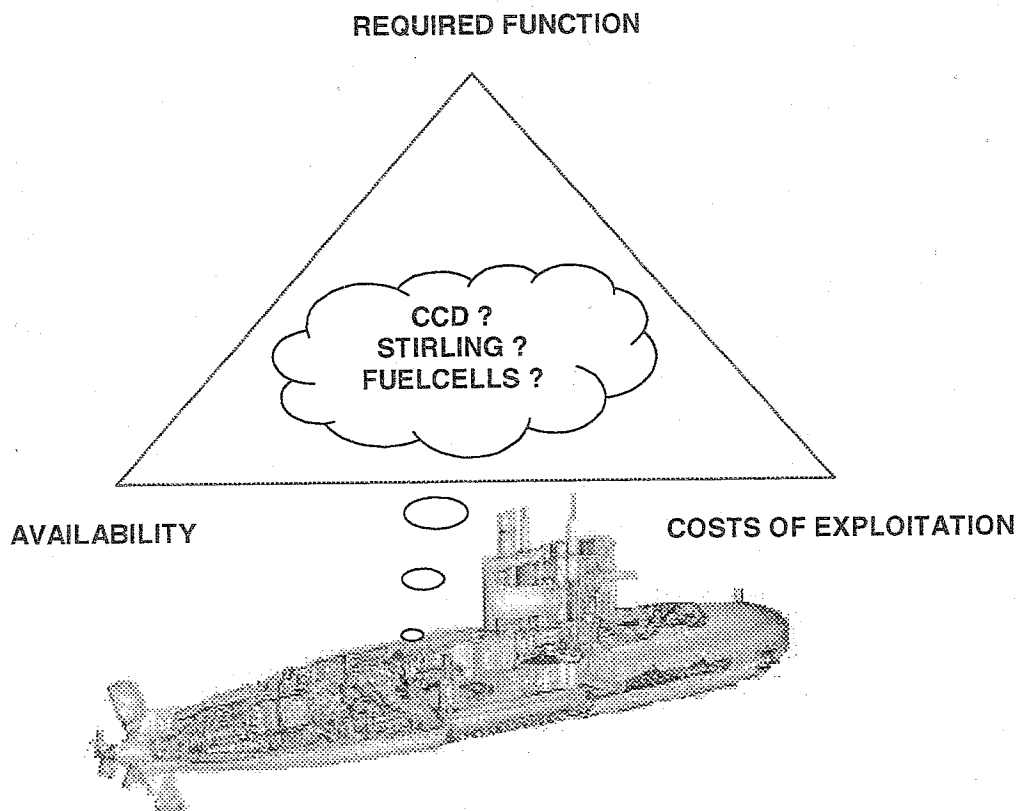
LTZT 1 O. van Kampen

Ir. I.P. Barendregt

**NIET  
UITLEENBAAR**

## Abstract

In order to keep the 'Walrus'-class submarines of the Royal Dutch Navy technical 'up to date' to complete her missions with succes, an Air Independent Propulsion (AIP) system may be implemented in the submarine. A first study reduced the list of possible AIP systems to four. This report discribes a method to evaluate these AIP systems with which it is possible to compare them. The evaluation concentrates on required function, availability and costs of exploitation.





## Voorwoord

Het rapport dat voor U ligt is voor mij de afsluiting van de opleiding Technische Bedrijfskunde aan de Technische Universiteit Eindhoven. Het rapport behandelt een onderzoek dat uitgevoerd is bij Directeur Materieel Koninklijke Marine afdeling Maritieme Techniek. Daarnaast heeft de Onderzeedienst deel uitgemaakt van het onderzoek daar waar het specifieke onderzeeboot expertise betrof.

Het onderzoek heeft betrekking op een aantal facetten van het materieelverwerving- en instandhoudingstraject enerzijds en (toekomstige) voortstuwingssystemen anderzijds, waarbij de operationele praktijk een rol heeft speelt. Dit heeft ertoe geleid dat ik gebruik heb gemaakt van kennis en ondersteuning van een aantal afdelingen en personen bij het tot stand komen van dit rapport, waarvoor mijn dank. In het bijzonder bedank ik:

Dhr. ir. I.P. Barendregt die het AIP project voor de Walrusklasse-onderzeeboot leidt en vanuit die positie deze afstudeeropdracht heeft opgezet. Bij de analyse van de diverse AIP systemen heeft zijn technische kennis mij meer inzicht gegeven in de problematiek van AIP systemen in relatie met onderzeeboten. Daarnaast heeft hij de nodige eerste contacten kunnen leggen met bedrijven en instanties buiten de Koninklijke Marine.

LTZT1 O. van Kampen die, ondanks de drukte op de afdeling, mijn vragen over zijn vakgebied direct heeft beantwoord en voor de interne begeleiding bij DMKM heeft gezorgd.

Dhr. ing. R.R. Klompenhouwer die in het beginstadium, n.a.v. de wensen van de projectleider AIP systemen Walrusklasse-onderzeeboten, de richting heeft aangegeven voor het afstudeerproject.

Afdeling bureau engineering van de Onderzeedienst voor de overdracht van een deel van de jarenlange ervaring op het gebied van onderhoud van de Walrusklasse-onderzeeboten.

Afdeling economie en organisatie van de Onderzeedienst die inzicht hebben gegeven in de financiële wereld van de Koninklijke Marine en hebben bijgedragen aan de lay-out van dit rapport.

Mijn afstudeerbegeleiders ir. J.Ph.C. Wubben en dr.ir. H.H. van Mal voor de waardevolle kritiek en aanwijzingen die ik gedurende het onderzoek heb gekregen.

Ik hoop dat het resultaat van het afstudeerproject een wezenlijke bijdrage heeft geleverd en vooral gaat leveren in het AIP project voor de Walrusklasse-onderzeeboot en in projecten in de toekomst waarbij de beoordelingsmethode van pas kan komen.

Den Helder, december 2001

F. van der Zee



## Summary

An Air Independent Propulsion (AIP) system contributes to an extended underwater period for a conventional submarine without the necessity to obtain air from above the watersurface. In the present situation outside air is needed for the dieselgenerators to charge the main battery in order to generate enough battery capacity for electrical propulsion. The proces discribed is called 'snorting' and increases the chances of detection, as a result of exposure to visual and electromagnetic detecion, which makes the conventional submarine vulnerable.

In order to keep the operational capabilities of the conventional 'Walrus'-class submarines at the required level the *Defensienota* has stated that the possibilities of AIP sytems for these submarines should be studied.

This study has been done by the *Directeur Materieel Konklijke Marine* department *Maritieme Techniek* and resulted in a list of four possible AIP systems which could be implemented in the 'Walrus'-class submarine. These systems met the required functionality stated at that moment.

These AIP systems all fulfil the same function: generate air independent propulsion. However the applied technology by these AIP systems all differ. Therefore it is not possible to compare them from a technical point of view.

Besides the difference in technology also the developmentstages of the AIP system differ to a great extent. Some are still being designed whilst others are already available for some years. The difference in developmentstages make it even more difficult to compare the systems because the availability and reliability of the required information depends on the developmentstage.

The main reason for this study was to finda systematic method to compare thes systems and resulted in the formulation of the following assignment:

1. determine the required functionality of an AIP system,
2. analyse the AIP systems,
3. develop a method to evaluate AIP systems,
4. develop a strategy to obtain the required data,
5. evaluate the method by a casestudy.

One of the most important limiting conditions for this study is that the study has to comply with the stategy of the Royal Dutch Navy to aquire and maintain her equipment. The basis for this strategy is formed by the concept of Integrated Logistic Support (ILS) and has been given a concrete form by a handbook ILS KM.

After the presentation of the theoretical scope of the research, the required functionality for an AIP system will be highlighted, followed by an analysis of the AIP systems. The analysis is based upon the information presently available and will focus on system construction, analysis of dangerous substances and developmentstage. Most important conclusion from this analysis for the development of the evaluation method is a general functional decomposition of all AIP systems can be made.

The study now presents an evaluation method which makes it possible to compare AIP systems, based on the general functional decomposition. The method evaluates a system by deterring it's delivered quality for the customer (e.g. Royal Dutch Navy). Quality of a product is determined by functionality, availability and costs. An AIP system will be evaluated upon delivered availability versus costs of exploitation whilst complying with required functionality.

Availability depends on reliability and maintainability. Availability calculation will be conducted by a bottum up approach. In the first stage system reliability will be calculated followed by calculation of maintainability. Together system reliability and maintainability will lead to a delivered availability. Costs of exploitation are those costs to be generated when the system is in use. The Activity Based Costing (ABC) method will be used to identify the costs of exploitation. This methods identifies all activities carried out to deliver products and services. Activities use resources which generate costs and is called resource consumption.

The evaluation itself uses two ratio's which are indicators for system availability and costs of exploitation. In the evaluationproces these ratio's are compared with an internal standard of the Royal Dutch Navy (*stafeis*) and an external standard (the 'best' AIP system) followed by rejection or



selection. When more than one system is selected a second evaluation round can be executed at a lower level of aggregation.

In order to evaluate the method to compare the different AIP systems, reliable data is required. Data collection depends on developmentstage, willingness of the producer to deliver the required data and the availability of appropriate databanks. The method presents a strategy to collect the required data and to judge the reliability of the data.

The evaluationmethod will be verified by a casestudy. The aim of the casestudy on the one side is to determine shortcomings of the method and on the other hand to create a guide-line for future users. The casestudy introduces a fictitious AIP system functioning in an fictitious environment which is similar to the 'real' environment for an AIP system once implemented on a 'Walrus'-class submarine.

In persuance of this study the main conclusions are the following:

- the next step of the AIP project will depend on the formulation of required functionality given a concrete form by a *stafeis* from the *Admiraliteitsraad*,
- implementation of the evaluationmethod ensures that the AIP project is on the ILS track at an early stage,
- in view of this early stage ILS approach data can be registered at an early stage by which a clear view of life cycle costs and maintainability of an AIP system is guaranteed,
- implementation of the evaluationmethod is relatively simple and can be applied in a short period of time depending on the level of aggregation,
- the evaluationmethode makes it possible to compare AIP systems although they use different technologies,
- the presented evaluationmethod is specifically developed to compare AIP systems. However, it can be used for other situations as well once certain conditions have been met.

Before the method can be implemented it is of eminent importance that a *stafeis* is formulated. This is the basis for the rest of the AIP project. Without a *stafeis* a lot of uncertainties will remain, leading to too many assumptions

Once the *stafeis* is formulated it is advised to make a study of all four AIP systems and examine if they comply with the *stafeis*. Special attention should be given to safety issues and developmentstage at that moment. The AIP system which are complying with the *stafeis* are possible systems to be implemented in the 'Walrus'-class submarine and are subject for the evaluationmethod as presented in this study.

To implement the method an adequate multidisciplinary team should be formed. Member of this team should be representatives from the department propulsion and energy (BVE) for technical knowhow and representatives from the department ILS (BILS) to implement the method and to evaluate and register the results. Besides this minimal formation a member from the financial department can participate in the team as well.

In the future the Royal Dutch Navy will acquire more 'off the shelf' products. The final choice of a product will depend on a balance of technology and costs, as a result of decreasing defence budgets while having to comply with the required functionality. The presented method can be used by management to evaluate different systems which are all complying with the required functionality in order to select the best system on the market.

## Samenvatting

Buitenluchtonafhankelijke voortstuwing draagt bij aan een verlengde onderwaterperiode van een conventionele onderzeeboot zonder de noodzaak om buitenlucht aan te zuigen. In de huidige situatie is deze buitenlucht nodig om de hoofdbatterij via dieselgeneratoren op te laden waardoor er voldoende batterijcapaciteit aanwezig is om middels een elektromotor de onderzeeboot voort te stuwten. Dit proces wordt 'snuiveren' genoemd en leidt tot een verhoogde kans op detectie waardoor de onderzeeboot kwetsbaar wordt.

Om de operationele capaciteit van de conventionele Walrusklasse-onderzeeboten op het vereiste peil te houden geeft de Defensienota aan dat onderzocht moet worden of het mogelijk is de onderzeeboten uit te rusten met buitenluchtonafhankelijke voortstuwing, ook wel *air independent propulsion* (AIP) genoemd.

De Directeur Materieel Koninklijke Marine, afdeling Maritieme Techniek heeft daarom een studie verricht naar de mogelijkheden van buitenluchtonafhankelijke voortstuwing. Daaruit is gebleken dat een viertal systemen, functioneel gezien, geschikt zijn voor implementatie in de Walrusklasse-onderzeeboot.

Deze vier systemen vervullen allen één en dezelfde functie: leveren van buitenluchtonafhankelijke voortstuwing. De technologie die in de vier systemen wordt toegepast, om deze functie te kunnen vervullen, verschilt echter in grote mate. Hierdoor is een onderling vergelijk moeilijk en leidt al snel tot 'appels met peren vergelijken'.

Naast het verschil in toegepaste technologie is het ontwikkelingsstadium waarin de vier systemen zich bevinden sterk afwijkend. Van ontwerpfase tot enige jaren op de markt verkrijgbaar. Dit verschil bemoeilijkt een vergelijking onderling nog meer omdat de betrouwbaarheid en beschikbaarheid van informatie over een systeem afhankelijk is van het ontwikkelingsstadium.

De wens om op een verantwoorde wijze 'appels met peren' te gaan vergelijken is de directe aanleiding van dit onderzoek geweest en heeft tot de volgende opdrachtformulering geleid:

1. bepaal de vereiste functionaliteit voor een AIP systeem,
2. analyseer de AIP systemen,
3. ontwikkel een beoordelingsmethode,
4. ontwikkel een strategie om de juiste gegevens te verkrijgen,
5. evalueer de beoordelingsmethode d.m.v. een casestudy.

Een van de belangrijkste randvoorwaarden is dat het onderzoek plaatsvindt binnen de instandhoudings- en verwervingsstrategie van de Koninklijke Marine. Het raamwerk voor deze strategie wordt gevormd door het zogenaamde *Integrated Logistic Support* (ILS) concept dat binnen de Koninklijke Marine is geconcretiseerd in een gelijknamig handboek.

Nadat het theoretische kader voor het onderzoek is geschetst, wordt de vereiste functionaliteit voor een AIP systeem bepaald en worden de AIP systemen geanalyseerd. De analyse gaat uit van de tot nu toe beschikbare informatie over de AIP systemen en richt zich op de systeemopbouw, analyse van de gevaarlijke stoffen en het ontwikkelingsstadium. Voor de ontwikkeling van een beoordelingsmethode is de belangrijkste conclusie van deze analyse dat de functionele opbouw van de systemen uniform is.

De studie presenteert vervolgens een beoordelingsmethode die een vergelijk mogelijk maakt, uitgaande van een uniforme functionele decompositie.

De methode beoordeelt een systeem op basis van geleverde kwaliteit voor de klant (de Koninklijke Marine). De kwaliteit van een product wordt bepaald door de kenmerken functionaliteit, beschikbaarheid en gebruikskosten. Een AIP systeem wordt beoordeeld op beschikbaarheid versus gebruikskosten bij een door de klant vereiste functionaliteit. Beschikbaarheid is afhankelijk van betrouwbaarheid en onderhoudbaarheid. De beoordelingsmethode bepaalt de beschikbaarheid van een systeem via een *bottom up approach*. Aan de basis staat betrouwbaarheid van een systeem, vervolgens is de betrouwbaarheid aanleiding voor het vaststellen van de onderhoudbaarheid en samen leveren deze gegevens de beschikbaarheid van een systeem op.

Gebruikskosten zijn die kosten die door een systeem gemaakt worden gedurende de exploitatiefase. Om de gebruikskosten te kunnen bepalen wordt gebruikt gemaakt van *activity based costing* methode.

Deze benadering gaat uit van de activiteiten die uitgevoerd worden om producten of diensten te leveren. Activiteiten maken gebruik van productiemiddelen, ook wel *resource consumption* waaraan kosten verbonden zijn.

De beoordeling geschiedt op basis van twee ratio's die indicatoren zijn voor beschikbaarheid en gebruikskosten. Het beoordelingsproces toetst de ratio's aan een interne norm (stafeis) en een externe norm (het 'beste' AIP systeem) waarna selectie of afwijzing volgt. Indien er meerdere AIP systemen geselecteerd worden, kan een tweede ronde op een lager aggregatieniveau uitkomst bieden.

De beoordelingsmethode heeft gegevens nodig om uiteindelijk tot een beoordeling en onderling vergelijk van de systemen te komen. De gegevensverzameling zal afhankelijk zijn van het ontwikkelingsstadium van een systeem, de bereidheid van een leverancier om de gegevens te verstrekken en de beschikbaarheid van geschikte databanken. De methode voorziet in een werkwijze om de gegevens te verzamelen en de betrouwbaarheid van de gegevens te toetsen.

Door middel van een casestudy is de beoordelingsmethode geëvalueerd. Doelstelling van de casestudy is enerzijds tekortkomingen van de beoordelingsmethode boven water te krijgen, anderzijds als leidraad te dienen voor het gebruik van de beoordelingsmethode. In de casestudy is een fictief AIP systeem geïntroduceerd die in een fictieve omgeving gaat functioneren overeenkomstig de omgeving waarin een 'echt' AIP systeem gaat functioneren.

Naar aanleiding van het onderzoek en de ontwikkelde beoordelingsmethode zijn de belangrijkste conclusies als volgt:

- het vervolg van het AIP project is afhankelijk van het vaststellen van de vereiste functionaliteit geconcretiseerd in een stafeis van de Admiraliteitsraad,
- de implementatie van de beoordelingsmethode waarborgt dat het AIP project in een vroeg stadium wordt benaderd vanuit de ILS filosofie zoals de KM deze hanteert,
- in het kader van deze ILS benadering in een vroeg stadium gegevens worden geregistreerd en inzicht in de levensduurkosten en onderhoudbaarheid van de AIP systemen ontstaat,
- de implementatie van de beoordelingsmethode relatief eenvoudig is en afhankelijk van het gehanteerde aggregatieniveau binnen afzienbare tijd toegepast kan worden,
- de beoordelingsmethode maakt het mogelijk om 'appels met peren' te vergelijken vanuit een technisch bedrijfskundig perspectief,
- de gepresenteerde beoordelingsmethode specifiek voor het AIP project ontworpen is maar dat de methode eenvoudig voor andere systemen is aan te passen wanneer er aan een aantal randvoorwaarden is voldaan.

Voordat de beoordelingsmethode kan worden geïmplementeerd, is het dus van belang dat er een goedgekeurde stafeis komt. Dit zal de basis moeten vormen het AIP project. Zonder deze stafeis zijn er teveel onzekerheden in het AIP project wat tot te veel aannames leidt. Naar aanleiding van de stafeis wordt aanbevolen om de vier mogelijke AIP te onderwerpen aan een onderzoek waarin naast energetisch vermogen ( $E/m^3$ ) ook uitgebreide aandacht is voor veiligheidsaspecten en het ontwikkelingsstadium op dat moment. De systemen die dan nog in aanmerking komen voor implementatie in de Walrusklasse-onderzeeboot kunnen door middel van de ontwikkelde methode beoordeeld worden om uiteindelijk het juiste AIP systeem voor de Walrusklasse-onderzeeboot en de Koninklijke Marine te selecteren.

Voor een adequate toepassing van de beoordelingsmethode is de vorming van een multidisciplinair team van belang. Hierin zijn in ieder geval vertegenwoordigers van bureau voortstuwing en energie (BVE) t.b.v. de technische knowhow en vertegenwoordigers van bureau ILS (BILS) voor de juiste implementatie van de beoordelingsmethode en juiste interpretatie en registratie van de resultaten. Naast deze minimale bezetting kunnen financiële experts deelnemen om het proces vanuit de financiële kant te ondersteunen.

In de toekomst zal de Koninklijke Marine steeds meer afhankelijk zijn van 'off the shelf' producten. De uiteindelijke keus zal daarbij, door afnemende budgetten, niet meer geschieden op basis van technologie of kosten alleen, maar op beiden bij een gegeven functionaliteit. De hier gepresenteerde beoordelingsmethode kan in de toekomst gebruikt worden om een afweging te maken tussen diverse, op de markt verkrijgbare systemen, die aan de geëiste functionaliteit voldoen.

# Inhoudsopgave

|  |     |
|--|-----|
| <u>Abstract</u> .....  | i   |
| <u>Voorwoord</u> .....   | iii |
| <u>Summary</u> .....   | v   |
| <u>Samenvatting</u> .....  | vii |
| <u>Inhoudsopgave</u> .....   | ix  |
| <br>   |     |
| <b><u>Hoofdstuk 1: Inleiding</u></b>                                       |     |
| 1.1 Inleiding.....   | 1   |
| 1.2 De Koninklijke Marine.....   | 1   |
| 1.3 De Walrusklasse-onderzeeboot en haar toekomst.....                     | 1   |
| 1.4 Buitenluchtonafhankelijke voortstuwing.....                            | 2   |
| <br>   |     |
| <b><u>Hoofdstuk 2: Opdrachtformulering</u></b>                             |     |
| 2.1 Aanleiding tot onderzoek.....  | 5   |
| 2.2 Doelstelling en probleemstelling.....                                  | 5   |
| 2.3 Opdrachtformulering en onderzoeksopzet.....                            | 5   |
| 2.4 Afbakening van het onderzoek.....                                      | 6   |
| <br>   |     |
| <b><u>Hoofdstuk 3: Theoretische achtergrond</u></b>                        |     |
| 3.1 Inleiding.....   | 9   |
| 3.2 Integrated Logistic Support.....                                       | 9   |
| 3.3 Functionaliteit.....   | 11  |
| 3.4 Betrouwbaarheid.....   | 11  |
| 3.5 Onderhoud.....   | 14  |
| 3.6 Beschikbaarheid.....   | 16  |
| 3.7 Kosten.....  | 17  |
| <br>   |     |
| <b><u>Hoofdstuk 4: AIP systemen voor de Walrusklasse-onderzeeboot</u></b>  |     |
| 4.1 Inleiding.....   | 19  |
| 4.2 Vereiste functionaliteit.....  | 19  |
| 4.3 Analyse Closed Cycle Diesel installatie.....                           | 21  |
| 4.4 Analyse Stirlingmotor installatie.....                                 | 22  |
| 4.5 Analyse brandstofcel metaalhybride.....                                | 22  |
| 4.6 Analyse brandstofcel methanol.....                                     | 23  |
| 4.7 Conclusies functionaliteit- en systeemanalyses.....                    | 24  |
| <br>   |     |
| <b><u>Hoofdstuk 5: Beoordelingsmethode</u></b>                             |     |
| 5.1 Inleiding.....   | 27  |
| 5.2 Kwaliteitsmodel.....   | 27  |
| 5.3 Beoordelingsmethode.....   | 28  |
| <br>   |     |
| <b><u>Hoofdstuk 6: Gegevens</u></b>  |     |
| 6.1 Inleiding.....   | 35  |
| 6.2 Probleemgebieden.....  | 35  |
| 6.3 Gegevensverzameling ten behoeve van vaststellen 'beschikbaarheid'..... | 36  |
| 6.4 Gegevensverzameling ten behoeve van vaststellen 'gebruikskosten'.....  | 38  |
| <br>   |     |
| <b><u>Hoofdstuk 7: Evaluatie beoordelingsmethode</u></b>                   |     |
| 7.1 Inleiding.....   | 41  |
| 7.2 Casestudy: 'De BOVI'.....  | 41  |
| 7.3 Implementatie beoordelingsmethode.....                                 | 42  |
| 7.4 Conclusies implementatie beoordelingsmethode.....                      | 45  |
| <br>   |     |
| <b><u>Hoofdstuk 8: Conclusies en aanbevelingen</u></b>                     |     |
| 8.1 Inleiding.....   | 47  |
| 8.2 Conclusies.....  | 47  |
| 8.3 Aanbevelingen.....   | 49  |

|  |     |
|--|-----|
| <u>Literatuur</u> .....  | 51  |
| <u>Lijst van afkortingen</u> .....   | 53  |
| <br>   |     |
| <u>Bijlagen</u>  |     |
| A: Organogram KM.....  | A-1 |
| B: Beoordelingsmethode: beschikbaarheid.....   | B-1 |
| C: Levensduurkosten.....   | C-1 |
| D: Kwantificering van betrouwbaarheid, onderhoudbaarheid, beschikbaarheid en levensduurkosten..... | D-1 |
| E: Beslissingsmethode classificeren onderhoud.....   | E-1 |
| F: Beoordelingsmethode: gebruikskosten.....  | F-1 |
| G: Walrusklasse-onderzeeboot: dieselelektrische voortstuwing.....                                  | G-1 |
| H: Closed Cycle Diesel.....  | H-1 |
| I: Stirlingmotor.....  | I-1 |
| J: Brandstofcel metaalhybride.....   | J-1 |
| K: Brandstofcel methanol.....  | K-1 |
| L: Casestudy: 'De BOVI'.....   | L-1 |
| M: Ondersteuning 'RELEX' software programma.....   | M-1 |

# 1 Inleiding

## 1.1 Inleiding

Dit hoofdstuk zal aangeven hoe de organisatie van de Koninklijke Marine (KM) is opgebouwd. De voor dit rapport relevante afdelingen zullen worden toegelicht waarbij tevens de relatie met het onderzoek wordt aangegeven. Vervolgens zal de taak van de onderzeedienst worden belicht en wordt ingegaan op de Walrusklasse-onderzeeboot zoals die heden operationeel is en op haar toekomst. Afsluitend zal de zogenaamde buitenluchtonafhankelijke voortstuwing aan bod komen.

## 1.2 De Koninklijke Marine

De KM heeft als opdracht 'het leveren van gevechtskracht vanuit zee'. Om aan deze opdracht te voldoen bestaat de KM uit een vloot van diverse schepen, het Korps Mariniers en een walorganisatie. De Bevelhebber der Zeestrijdkrachten (BDZ) voert het bevel over de Koninklijke Marine. Hij staat aan het hoofd van de marinestaf met daaraan gekoppeld een drietal directies en een aantal regionale commandanten. De drie directies zijn Directeur Personeel Koninklijk Marine (DPKM), Directeur Economisch Beheer Koninklijke Marine (DEBKM) en Directeur Materieel Koninklijke Marine (DMKM). Een van de regionale commandanten is de Commandant Zeemacht Nederland (CZMNED). De Commandant Onderzeedienst valt onder de directe verantwoordelijkheid van CZMNED (zie [bijlage A](#)) [1].

De marinestaf (MARSTAF) bestaat uit twee onderafdelingen, te weten Sous Chef Plannen (SCP) en Sous Chef Operaties. De SCP heeft als belangrijkste taak het ontwikkelen van toekomstvisie voor de KM. Een van de onderdelen die zich hierop richt is Operationele Behoeftes Stelling (OBS). Vanuit deze afdeling is er een behoefte gesteld tot nader onderzoek naar de mogelijkheden van Air Independent Propulsion (AIP) voor de Walrusklasse-onderzeeboot. Het onderzoek wordt uitgevoerd door DMKM/Martech.

DMKM is verantwoordelijk voor het voorzien in, instandhouden en afvoeren van materieel. Een van de onderafdelingen van DMKM is de Sous Chef Technische Afdelingen waaronder de afdeling Maritieme Techniek (Martech) valt. Het onderzoek zoals aangedragen door OBS wordt uitgevoerd door Martech, in het bijzonder Bureau Voortstuwing en Energie (BVE) voor de technische ondersteuning en daarnaast Bureau Integrated Logistic Support (BILS) ten behoeve van de integrale benadering bij verwerving en instandhouding van nieuw materieel.

De onderzeedienst (OZD) bestaat naast de vier onderzeeboten van de Walrusklasse uit een torpedowerkschip en een ondersteunende waleenheid.

De taak van de Commandant Onderzeedienst (COZD) bestaat uit het opwerken en instandhouden van personeel en platformen. De operationele inzet wordt door CZMNED gedaan. De OZD is in dit kader van belang omdat zij de expertise in huis heeft over de operationele inzet van onderzeeboten en de instandhouding daarvan.

## 1.3 De Walrusklasse-onderzeeboot en haar toekomst

Onderzeeboten kunnen zelfstandig en onopgemerkt opereren. Zowel op het terrein van verkenning als bij de bestrijding van bovenwaterschepen en onderzeeboten spelen zij een belangrijke rol. Zij kunnen betrekkelijk veilig opereren in gebieden waar de tegenpartij een luchtoverwicht heeft. Haar onzichtbaarheid stelt de onderzeeboot in staat te opereren in gebieden waar oppervlakteschepen kwetsbaar zijn voor een verrassingsaanval of waar de aanwezigheid van eenheden escalierend kan werken. Onderzeeboten zijn ook inzetbaar voor speciale operaties, kustverkenning voor een amfibische landing, het in kaart brengen van (militaire) activiteiten en het leggen van mijnen. Alleen al de mogelijke aanwezigheid van een onderzeeboot heeft een afschrikkende werking en belemmert een tegenstander in zijn optreden [2].

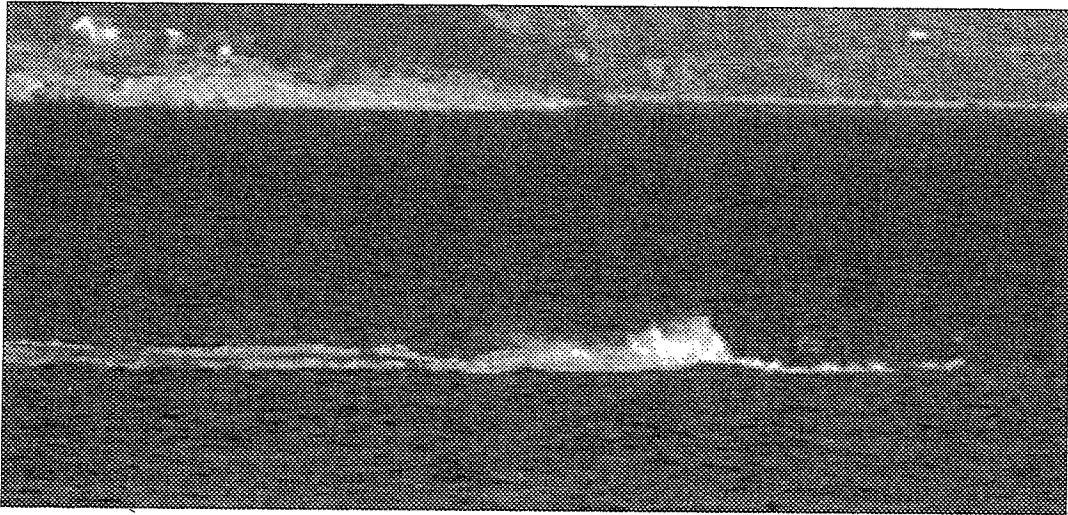
Sinds 1990 zijn de Walrusklasse-onderzeeboten in de vaart en zij behoren dan ook tot de modernste versie conventionele onderzeeboten.

De Walrusklasse-onderzeeboot is een Dieselelektrische (DE) onderzeeboot van circa 2800 ton (onderwaterverplaatsing), ook wel conventionele onderzeeboot genoemd. Naast de conventionele onderzeeboot bestaan er nucleaire onderzeeboten. In tegenstelling tot de nucleaire onderzeeboot moet de conventionele onderzeeboot regelmatig met zijn masten aan de oppervlakte komen om de batterijen op te laden en om de lucht te zuiveren. Dit proces wordt snuiveren genoemd, zie figuur 1-1.

De huidige voortstuwingsconfiguratie van de Walrusklasse bestaat uit drie dieselgeneratoren, twee hoofdbatterijen, een gelijkstroommotor met dubbel anker (HEM), twee choppers en een enkele vaste schroef (zie ook [bijlage G](#)).

Om de operationele capaciteit van de Walrusklasse-onderzeeboten op het vereiste peil te houden, zullen de boten omstreeks 2009 worden gemoderniseerd; onderzocht zal worden of het mogelijk is de boten uit te rusten met buitenluchtonafhankelijke voortstuwing [2].

De Capability Upkeep Program (CUP) van de Walrusklasse-onderzeeboot moet leiden tot een platform dat tot het einde (circa 2025) van de resterende levensduur, operationeel en technisch voor haar taak berekend blijft. Verwacht wordt dat de Walrusklasse-onderzeeboot steeds meer in de ondiepere wateren voor de kust zal gaan opereren [7].



**figuur 1- 1: Walrusklasse-onderzeeboot snuiverend dicht onder de kust, verhoogde kans op counterdetectie!**

Toelichting figuur 1-1: van links naar rechts, 'snuiverberg' als gevolg van uitlaatgassen, snuivermast, radarmast, EOv-mast, navigatieperiscoop.

#### **1.4 Buitenluchtonafhankelijke voortstuwing [3]**

Een belangrijke eis en tevens de kracht van een onderzeeboot is het ongedetecteerd kunnen opereren. Doordat de sensoren voor onderzeebootdetectie steeds effectiever worden en in aantal toenemen is het van belang om de kans op counterdetectie zo klein mogelijk te houden. Counterdetectie betekent in dit geval dat de tegenstander de onderzeeboot detecteert. Vanwege het karakter van de conventionele onderzeeboot dient zij regelmatig aan de oppervlakte te komen om te snuiveren. Hierdoor ontstaat een grote kans op counterdetectie doordat masten worden opgestoken en omdat de akoestische intensiteit wordt verhoogd (zie figuur 1-1). Door de noodzaak tot snuiveren te verminderen zal de counterdetectiekans drastisch verkleinen.

Om langduriger onderwater te kunnen opereren zijn in principe, bij gelijkblijvende energiebehoefte, twee mogelijkheden (of een combinatie van beiden):

1. Het vergroten van de batterijcapaciteit door het gebruik van batterijen met hogere energiedichtheid;
2. Het uitbreiden met een installatie voor buitenluchtonafhankelijke energieopwekking, beter bekend als Air Independent Propulsion (AIP).

De toename van onderwatertijd is bij gebruik van geavanceerde batterijen relatief gering t.o.v. AIP, op basis van de huidige verwachtingen. Vanwege de grote operationele voordelen wordt wereldwijd grote aandacht besteed aan de ontwikkeling van AIP systemen voor onderzeeboten.

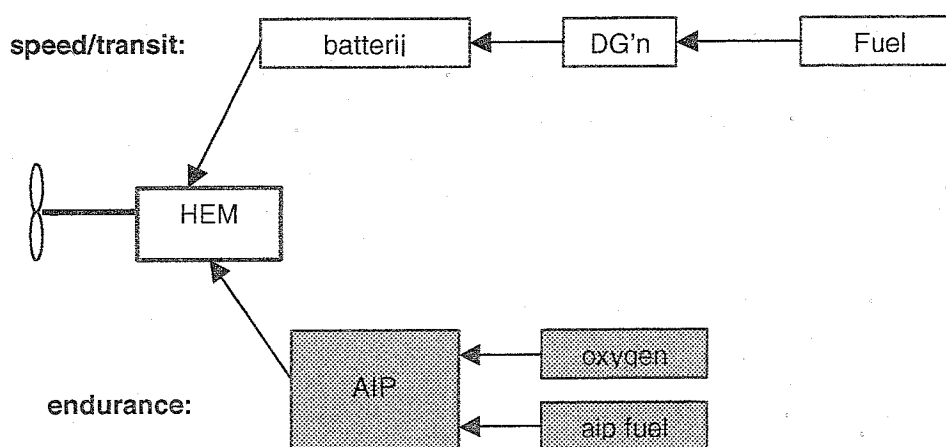
Op dit moment komt een aantal technologieën in aanmerking om als AIP systeem aan boord van de Walrusklasse onderzeeboot geïmplementeerd te worden:

1. Closed Cycle Diesel installatie, ontwikkeld door de RDM en draait als proefopstelling;
2. Stirlingmotorinstallatie, ontwikkeld door Kockums voor de Zweedse marine en operationeel op diverse klassen onderzeeboten;

3. Brandstofcellen met methanol, in ontwikkeling bij HDW/Siemens en bevindt zich in de ontwerpfase;
4. Brandstofcellen met waterstof in metaalhydride, ontwikkeld door HDW/Siemens voor de Duitse marine en wordt momenteel geïmplementeerd in de U-212.

De implementatie kan op een aantal manieren plaatsvinden. Allereerst is er een onderscheid in de zogenaamde hybride en mono vorm. Bij de hybride vorm (zie figuur 1-2) is de AIP technologie een aanvulling op de bestaande dieselelektrische configuratie, terwijl bij de mono optie alleen de AIP techniek voor de voortstuwing zorgt. De mono vorm is met de huidige stand van de techniek geen optie. De filosofie achter de hybride vorm is ondermeer dat de sprint en transit capaciteit door de dieselelektrische configuratie wordt geleverd en dat de AIP technologie de 'endurance' in het operatiegebied verhoogt.

De hybride vorm is in twee vormen te implementeren. In de bestaande romp van de onderzeeboot, of in een aparte AIP sectie die in de romp wordt bijgeplaatst. Bij de laatste neemt de lengte van de onderzeeboot toe, echter met behoud van de volledige dieselelektrische-voortstuwingscapaciteit. Bij de niet-verlengde optie zal een deel van de aanwezige dieselelektrische-voortstuwingscapaciteit worden ingeleverd t.b.v. het AIP systeem. Een keuze hieromtrent is nog niet gemaakt, studies naar beide mogelijkheden lopen nog.



DG'n: Dieselgeneratoren  
HEM: Hoofd Elektro Motor

figuur 1- 2: blokschematische weergave van de hybride vorm voor een AIP technologie





## 2 Opdrachtformulering

### 2.1 Aanleiding tot onderzoek

In de defensienota staat aangegeven dat de Walrusklasse-onderzeeboten rond 2009 gemoderniseerd worden om de operationele capaciteit op het vereiste peil te houden [2]. Een van de modernisering kan de implementatie van een AIP systeem zijn om een toename van de onderwatertijd te creëren.

Er is een voorstudie [3] verricht (eerste selectie) naar de technische performance van mogelijke AIP systemen aan boord van een Walrusklasse-onderzeeboot. Deze voorstudie geeft aan dat, met de huidige stand van de techniek, een viertal AIP systemen in aanmerking komt om geïmplementeerd te kunnen worden in de Walrusklasse onderzeeboot. De technologie die in de vier AIP systemen wordt toegepast om de onderwatertijd te kunnen verlengen, verschilt sterk van elkaar. Hierdoor leidt een onderling vergelijk op basis van technologie tot 'appels met peren vergelijken'. Daarnaast is er een groot verschil in het ontwikkelingsstadium van de AIP systemen, waardoor een vergelijk nog meer wordt bemoeilijkt.

De keus voor een AIP systeem zal niet alleen afhankelijk zijn van de technische performance, zoals onderzocht in de voorstudie, maar ook van betrouwbaarheid, levensduurkosten, benodigd onderhoud, milieu eisen, ontwikkelingsstadium en veiligheid. Uitgangspunt moet zijn dat de klant (KM) bepaalt aan welke minimale eisen een AIP systeem moet voldoen om in aanmerking te komen voor de Walrusklasse-onderzeeboot. Het systeem dat aan de minimale eisen (functievervulling, gebruikseisen en beschikbaarheidseis [4]) voldoet tegen de laagste levensduurkosten zal de voorkeur verdienen voor implementatie in de Walrusklasse-onderzeeboot. Politieke overwegingen worden hierbij buiten beschouwing gelaten.

### 2.2 Doelstelling en probleemstelling

Doelstelling van dit onderzoek is een methode te ontwikkelen waarmee de mogelijke AIP systemen onderling vergeleken kunnen worden. Hieruit wordt de volgende probleemstelling afgeleid:

***Hoe kunnen de mogelijke AIP systemen vergeleken worden, uitgaande van een vereiste functionaliteit?***

Een objectief vergelijk dient alle alternatieven op een zelfde manier te benaderen en onder dezelfde omstandigheden te toetsen. Om de AIP systemen op een eenduidige manier te benaderen is een beoordelingsmethode nodig.

De volgende vragen zijn hierbij van belang:

1. Wat is de vereiste functionaliteit van een AIP systeem voor de Walrusklasse-onderzeeboot?
2. Hoe zijn de AIP systemen opgebouwd en wat is de toegepaste techniek?
3. Wat is het ontwikkelingsstadium van de AIP systemen?
4. Welke risico's brengen de AIP systemen met zich mee?
5. Hoe kunnen de systemen beoordeeld worden?
6. Hoe kunnen de verwachtbare beschikbaarheid en levensduurkosten bepaald worden?
7. Welke gegevens zijn benodigd?
8. Hoe kunnen de benodigde gegevens verkregen worden?

### 2.3 Opdrachtformulering en onderzoeksopzet

Om de probleemstelling te uit te werken worden de volgende deelopdrachten opgesteld. Deze deelopdrachten en de volgorde ervan geven tevens de onderzoeksopzet weer.

#### 1. Bepaal de vereiste functionaliteit voor een AIP systeem

Alvorens een vergelijk te kunnen maken moet vastgesteld worden welke functie een AIP systeem moet vervullen, wat de minimale beschikbaarheid moet zijn en aan welke eigenschappen het moet voldoen.

#### 2. Analyseer de AIP systemen

De analyse zal een systeemomschrijving geven waardoor het werkingsprincipe en de opbouw van het systeem duidelijk wordt. Daarnaast zal er, per systeem, bepaald worden welke risico's

elk systeem met zich meebrengt en wat het ontwikkelingsstadium is.

### 3. Ontwikkel een beoordelingsmethode

De beoordelingsmethode gaat uit van de vereiste functionaliteit en de analyse van de AIP systemen. Bij de ontwikkeling zal vastgesteld moeten worden hoe beschikbaarheid wordt bepaald en hoe de kosten omschreven worden.

### 4. Ontwikkel een werkwijze om de juiste gegevens te verkrijgen

Om de beoordelingsmethode te kunnen implementeren zijn gegevens nodig die bruikbaar, beschikbaar en betrouwbaar zijn. De werkwijze geeft aan hoe gegevens te selecteren op basis van deze criteria.

### 5. Evalueer de beoordelingsmethode d.m.v. een casestudy

In deze laatste fase van het onderzoek zal de beoordelingsmethode en de daarbij horende werkwijze voor het verzamelen van de juiste gegevens, geëvalueerd worden. De evaluatie zal plaatsvinden middels een casestudy. Doelstelling van de casestudy is enerzijds de werking van de methode te verifiëren, anderzijds om als leidraad voor implementatie te dienen.

## 2.4 Afbakening van het onderzoek

Door middel van randvoorwaarden aan de methode te stellen wordt er een afbakening van het onderzoek vastgelegd. De randvoorwaarden betreffen een aantal keuzes die gemaakt worden waardoor er een afbakening van het onderzoek en van de ontwikkeling van de beoordelingsmethode ontstaat.

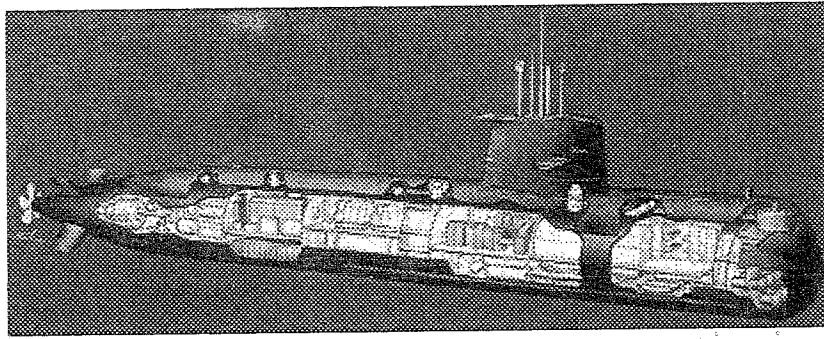
De randvoorwaarden die de afbakening bepalen zullen worden toegelicht.

### De mogelijke AIP systemen worden beschouwd in de zogenaamde hybride 'verlengdeboot' optie.

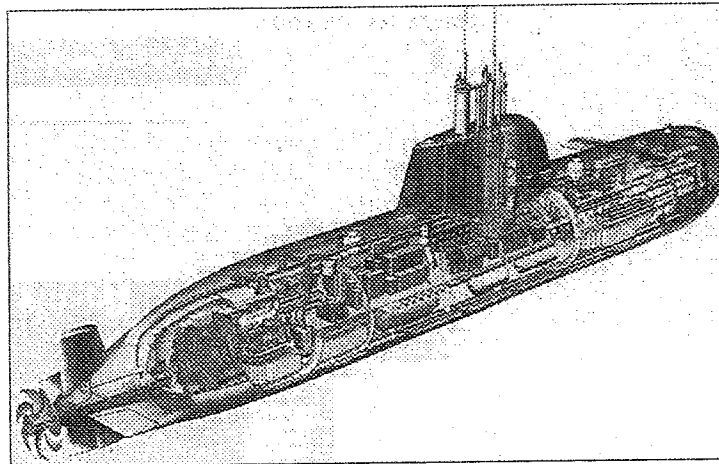
In hoofdstuk 1 zijn de twee opties (hybride en mono) voor een AIP systeem belicht. In deze studie wordt de hybride verlengde boot optie beschouwd. Uit de eerste voorstudie van de mogelijke AIP systemen [3] komt naar voren dat bij deze optie, met de huidige stand van de techniek, niet bij voorbaat al configuraties afvallen op grond van de huidige prestaties (volume AIP installatie versus opgewekte energie). Aangezien het CUP Walrusklasse project nog een zeer lange weg te gaan heeft, is het zeer goed mogelijk dat de te beschouwen AIP systemen verder ontwikkelen. De meeste systemen zijn op dit moment in prototype of als eerste werkzame versie op de markt. Indien gekozen wordt voor de niet verlengde boot optie, dan zal een aantal systemen niet realistisch meer zijn op grond van energetisch vermogen (opgewekte energie versus het volume dat wordt ingenomen door het systeem:  $E/m^3$ ). In de verlengde boot optie is het energetisch vermogen van het voortstuwingssysteem hoger doordat de volledige dieselgeneratoren capaciteit gehandhaafd kan blijven, terwijl bij de niet verlengde boot optie de dieselgeneratoren capaciteit afneemt omdat er een dieselgenerator wordt ingeruild voor een AIP systeem. Daarnaast zal een deel van de batterijcapaciteit eveneens opgegeven moeten worden, dit in tegenstelling tot de verlengde optie waar deze ruimte voor de batterijen gehandhaafd kan blijven. De verwachting [3] is dat in de toekomst het te behalen rendement van de mogelijke AIP systemen zal verbeteren.

Daarnaast dient opgemerkt te worden dat de keuze voor de verlengde boot optie op dit moment een theoretische is, waarnaar nog geen diepgaande studie aangaande de constructieve gevolgen van een extra sectie is verricht. Eén van de mogelijke gevolgen zou kunnen zijn dat er aanpassing van de trimcapaciteit plaats moeten vinden. Indien er een extra sectie wordt geplaatst zal de trimpolygoon (de trim is de zwevende toestand van de onderzeeboot onderwater en de polygoon geeft hierbij de relatie tussen het soortelijk gewicht van het zeewater en het gewichtszwaartepunt van de onderzeeboot weer) veranderen. De trimcapaciteit (pompen en trimtanks) is hiervan afhankelijk en de vraag rijst of de trimtanks en de trimpompen voldoende capaciteit houden. In het geval van de trimpompen zouden zwaardere pompen geplaatst moeten worden maar verandering van het tankenplan is een zeer ingrijpende zaak in het basisontwerp van de onderzeeboot.

In andere landen met conventionele onderzeeboten (o.a. Zweden) wordt dit concept met succes (Gotland klasse) toegepast voor het inbouwen van een AIP systeem (zie figuren 2-1 en 2-2).



figuur 2- 1: Gotland-klasse onderzeeboot(Zwaden) met AIP sectie.



figuur 2- 2: U212-klasse onderzeeboot (Duitsland) met een AIP sectie. Wordt als exportmodel aangeboden met of zonder AIP sectie.

De volgende systemen worden beschouwd:

1. Closed Cycled Diesel;
2. Stirling;
3. Brandstofcel metaalhybride;
4. Brandstofcel methanol.

De keuze voor deze vier mogelijke AIP systemen is gemaakt op basis van de reeds genoemde voorstudie. Hierin wordt geconcludeerd dat deze vier mogelijkheden constructief in de Walrusklasse-onderzeeboot te verwerken zijn met een aanvaardbaar rendement (opgewekte energie t.o.v. het ingeleverde volume van het geplaatste AIP systeem). In paragraaf 1.4 zijn de vier systemen kort toegelicht en in hoofdstuk 4, met de bijbehorende bijlagen, is een diepgaandere systeembeschrijving opgenomen.

**Decompositie van de systemen blijft beperkt tot de belangrijkste (mechanische) componenten van een systeem.**

De belangrijkste componenten zijn die componenten die van direct belang zijn voor de werking van het systeem. Indien een belangrijke component stopt heeft dit direct consequenties voor de werking van het systeem. In de analyse van de AIP systemen zal bepaald worden wat de belangrijkste componenten zijn.

**De kostenanalyse blijft beperkt tot de exploitatiefase (gebruikskosten).**

Uit een eerste kostenraming [3] blijkt dat de investeringsuitgaven voor alle vier mogelijke AIP systemen, zonder AIP sectie, nagenoeg dezelfde zijn ( $\pm 20$  mln gulden). Deze investeringsuitgaven hebben in dit geval geen invloed meer op de beoordeling en worden derhalve niet meegenomen in de kostenanalyse. Te meer niet omdat de uitgaven voor een extra sectie eveneens nog niet bekend zijn en dit afhankelijk is van de verdere consequenties voor het platform. Aangenomen wordt dat de uitgaven voor een extra sectie voor alle vier AIP

systemen in dezelfde orde van grootte zullen vallen. De afstotingsfase zal eveneens niet worden meegenomen omdat er nog geen gegevens bekend zijn. De kostenanalyse zal zich dus richten op de exploitatie fase (gebruikskosten).

**De exploitatiefase heeft een duur van 15 jaar.**

De modernisering van de Walrusklasse is gepland rond 2010 en zal de Walrusklasse onderzeeboten dusdanig verbeteren om tot 2025 (einde levensduur) inzetbaar te zijn en blijven voor haar taken.

**Uitgangspunt is een vredessituatie en de huidige onderhoudstrategie met vier onderzeeboten.**

Ter ondersteuning van het instandhoudingproces maakt de KM sinds 1998 gebruik van de zogenaamde Integrated Logistic Support (ILS) filosofie, zie ook paragraaf 3.2. De KM heeft deze filosofie geconcretiseerd door de vorming van een bureau ILS (BILS) en de uitgave van een handboek ILS KM dat het raamwerk vormt voor de verwerving en instandhouding [4]. De instandhouding van de Walrusklasse-onderzeeboten en dus van een AIP systeem, zal conform dit raamwerk gaan geschieden. Het is dus van belang dat de beoordelingsmethode past in het raamwerk zoals de KM die hanteert voor de verwerving en instandhouding van haar materieel. De vredessituatie wordt genomen als uitgangspunt voor de logistieke ondersteuning en het uit te voeren onderhoud. In een vredessituatie is er sprake van een vaste onderhoudscyclus en is er voldoende logistieke ondersteuning. Crisissituaties (een tussenvorm van vrede en totale oorlog) vallen in dit geval onder vredessituaties. Zodra er sprake is van een oorlogssituatie zal het vaste onderhoudscyclus aan de kant geschoven worden en wordt onderhoud uitgevoerd zodra het nodig is. De onderhoudscapaciteit wordt daar ingezet waar de nood het hoogst is. Deze situatie is zo onvoorspelbaar dat hierover geen uitspraken gedaan kunnen worden en een vredessituatie het uitgangspunt wordt. Ook de ILS benadering gaat uit van deze situatie.

### 3 Theoretische achtergrond

#### 3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zal, naar aanleiding van een literatuuronderzoek, een aantal onderwerpen en theorieën besproken worden die het onderzoek omvatten. Allereerst wordt besproken hoe de Koninklijke Marine haar materieel verwerft en instandhoudt. De Koninklijke Marine gaat hierbij uit van een begeleiding van 'wieg tot graf' waarbij de gehele logistieke keten voor verwerving en exploitatie wordt meegenomen. Binnen de KM wordt hiervoor de term Integrated Logistic Support (ILS) gehanteerd. In paragraaf 3.2 wordt deze filosofie verder toegelicht om inzicht te geven in het materieellogistieke proces van de KM. Deze studie valt in de beginfase (voorstudies) van dit proces. Een systeem heeft toegevoegde waarde als het de gewenste functie vervult en daarmee een probleem oplost. Een duidelijke omschrijving van de gewenste functionaliteit is van belang om een uitspraak te doen over beschikbaarheid en daaraan gerelateerde kosten. Duidelijk moet zijn welke functie vervuld moet worden om van 'beschikbaar' te kunnen spreken. Deze problematiek komt in paragraaf 3.3 aan de orde. In de paragrafen 3.4 t/m 3.6 worden de begrippen betrouwbaarheid, onderhoud(baarheid) en beschikbaarheid belicht. Deze drie begrippen zijn nauw aan elkaar verbonden. Betrouwbaarheid en onderhoudbaarheid zijn samen verantwoordelijk voor de gerealiseerde beschikbaarheid. De keus voor een product zal, door lagere budgetten, steeds meer afhankelijk worden van de kosten t.o.v. de gerealiseerde beschikbaarheid. In paragraaf 3.7 zal het onderwerp kosten worden uitgediept.

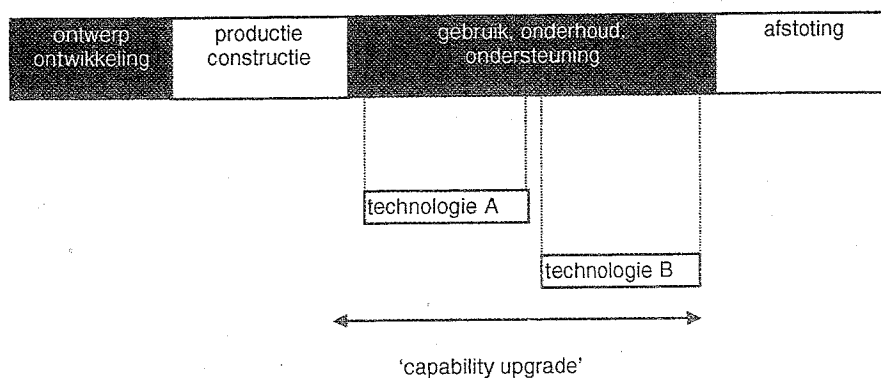
#### 3.2 Integrated Logistic Support

##### Algemeen

Een systeem bestaat, naast een installatie die een bepaalde functie vervult, eveneens uit reserveonderdelen, software, data, services, faciliteiten en personeel. Elk systeem functioneert in een bepaalde omgeving en heeft een daarvan afhankelijke levenscyclus.

Als reeds in het begin van de levenscyclus (ontwerpfase) wordt nagedacht over de onderhoudbaarheid van de installatie dan kan een hoge beschikbaarheid worden gerealiseerd tegen zo laag mogelijke kosten. Naast het fysiek ontwerp van een systeem zijn de initiële distributie, ondersteuning en onderhoud van het systeem factoren die ook worden beschouwd omdat zij eveneens van belang zijn voor de beschikbaarheid en de levensduurkosten.

De technische levenscyclus<sup>1</sup> van een systeem kan in een aantal karakteristieke fasen worden onderscheiden: ontwerp en ontwikkeling; productie/constructie; gebruik, onderhoud en ondersteuning; afstoting (zie figuur 3-1)[11].



**figuur 3-1: technische levenscyclus van een systeem met technologische verbetering [11].**

De noodzaak om in de eerste fase (ontwerp/ontwikkeling) reeds met de exploitatie rekening te houden blijkt uit het feit dat de meeste kosten gemaakt worden tijdens de exploitatie (60%) en dat de impact

<sup>1</sup> Naast een technische levensduur is er sprake van een economische levensduur die aangeeft hoe lang het product/systeem winstgevend is. Binnen de KM is de economische levensduur niet van toepassing, zie ook paragraaf 3.7

van beslissingen in de beginfase zwaar meewegen (80% vastgelegd) in de totale levensduurkosten (zie bijlage C).

De belangrijkste doelstelling van ILS is dan ook om die subsystemen die cruciaal zijn voor de missie zodanig te ontwerpen dat zij goed onderhouden kunnen worden en dat infrastructuur vóór onderhoud van deze subsystemen wordt geoptimaliseerd.

Het belangrijkste middel bij ILS is Logistic Support Analysis (LSA). LSA is een pakket gestandaardiseerde taken met van te voren bepaalde doelstellingen. Het doel van LSA op zich is:

- beïnvloeden van het ontwerpproces;
- vroegtijdig identificeren van potentiële instandhoudingsproblemen, z.g.n. 'availability killers'<sup>ii</sup> en 'cost drivers'<sup>iii</sup>;
- benoemen van alle benodigde eindprodukten voor de exploitatie;
- vastleggen van instandhoudings- en gebruiksgegevens [4].

### ILS bij de KM

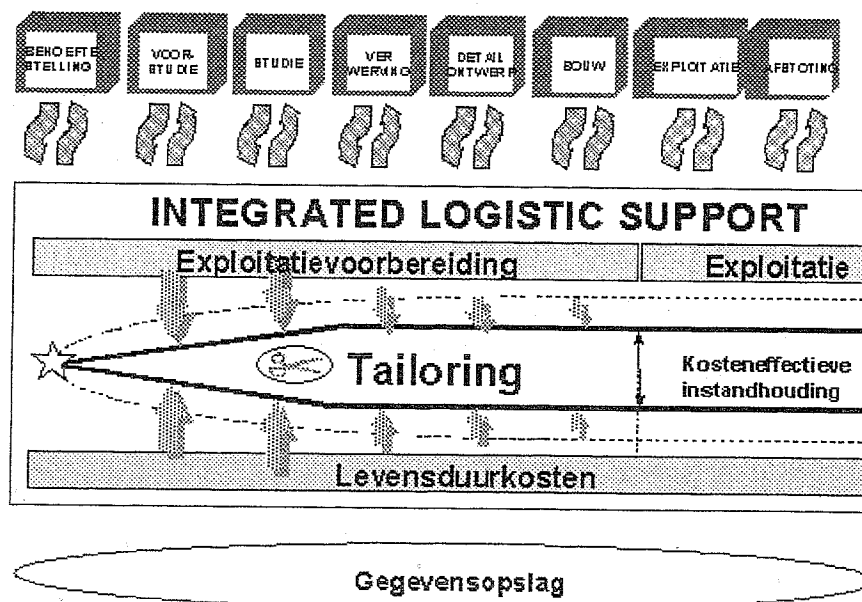
Het doel van ILS bij de KM is het reduceren van de levensduurkosten van KM materieel waarbij wordt voldaan aan gestelde eisen-gedurende de gehele levensduur (zie bijlage C). Die eisen zijn de volgende:

1. Functies die het materieel moet kunnen vervullen;
2. Gebruikseisen;
3. Beschikbaarheidseis.

De basisgedachte is hier om in een zo vroeg mogelijk stadium aandacht te schenken aan exploitatievoorbereiding en de registratie van gegevens betreffende de status van het systeem.

De KM hanteert bij materieelverwerving acht fasen. In figuur 3-2 worden deze fasen in relatie gebracht met ILS. In dezelfde figuur wordt 'tailoring' aangehaald. Hiermee wordt een keuzeproces bedoeld waarbij de ILS inspanning wordt afgewogen tegen het te behalen resultaat. Dit betekent dat voor sommige deelinstallaties bepaalde LSA taken niet worden toegepast.

Een van de activiteiten die de KM hanteert om aan de gestelde eisen te voldoen tegen minimale kosten is de RAM (reliability, availability en maintainability) analyse.



figuur 3-2: relatie materieel logistiek proces met ILS proces, inclusief tailoring[4]

<sup>ii</sup> Availability killer is een structurele verstoorder van de beschikbaarheid en inzetbaarheid van een installatie[4].

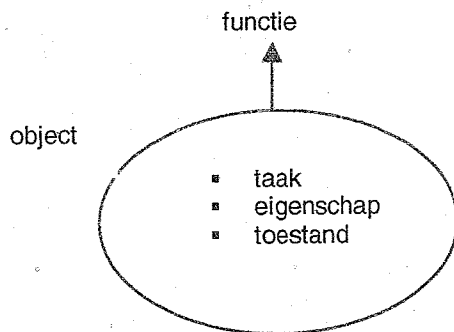
<sup>iii</sup> Een cost driver is materieel dat bij voorgeschreven gebruik onder normale omstandigheden slechts door substantieel hogere kosten dan in het instandhoudingsconcept was berekend, in exploitatie kan worden gehouden [4].

### 3.3 Functionaliteit

#### Functie [12]

Producten worden ontworpen om een probleem op te lossen. Een probleem wordt opgelost door een element dat een functie vervult waarmee het probleem uit de wereld geholpen wordt.

Een functie van een element (object of subject) is gedefinieerd als datgene wat door dat element wordt teweeggebracht, waaraan het grotere geheel behoefte heeft. Kortweg: de gewenste bijdrage van een deel aan een groter geheel waarvan het deel uitmaakt. Het object dat de functie gaat vervullen, is te omschrijven doormiddel van uit te voeren taken, eigenschappen en de fysieke toestand van het object (zie figuur 3-3).



figuur 3-3: functie en object dat de functie gaat vervullen [12]

De taak, meestal taken, houdt datgene in wat gedaan moet worden, opdat deze bijdrage tot stand komt, zodat de functie vervuld wordt. Het is de beschrijving van de vervulling van de functie in technische en meetbare grootheden. Om een taak goed uit te kunnen voeren is het van belang dat het object de juiste eigenschappen bezit.

Een eigenschap van object kan omschreven worden als een abstract onderscheidend kenmerk dat onafscheidelijk aan het object verbonden is. Het is niet direct meetbaar en moet dus afgeleid worden uit metingen van andere kenmerken.

Binnen de techniek is er een directe relatie tussen de eigenschappen van een object en de fysieke toestand ervan. De fysieke toestand bepaalt de eigenschappen die een object uiteindelijk bezit. Drie componenten bepalen samen de fysieke toestand van een object:

- samenstelling en structuur van de materialen waaruit een product is opgebouwd, de grootte en oppervlaktegesteldheid,
- specifieke vormelementen,
- specifieke (door)verbindingselementen.

#### Functionaliteit

De functionaliteit van een systeem dient door de gebruiker (KM) goed gedefinieerd te zijn. In de eerste plaats is een nauwkeurige omschrijving van de te vervullen functie van belang. Een te ruime omschrijving kan leiden tot een gedeeltelijke oplossing. Ten tweede moet de omschreven functionaliteit duidelijk zijn omtrent de gebruikseisen. De gebruikseisen geven een aantal technische specificaties waaraan een systeem minimaal moet voldoen (bijvoorbeeld veiligheid van systemen, geluidsproductie, volume, gewicht, vermogen, enz.) Als laatste zal de functionaliteit een minimale beschikbaarheid moeten aangeven die het systeem moet kunnen realiseren [4].

### 3.4 Betrouwbaarheid

In de literatuur zijn vele definities van betrouwbaarheid te vinden. De strekking van de definities is globaal dezelfde, de volgende kenmerken komen echter altijd terug: kans op functioneren (zonder storing), gedurende bepaalde tijd, bepaalde omstandigheden. In deze studie wordt de volgende definitie gebruikt [13]:

*Reliability is defined as the probability that a system will perform its intended function for a specified period of time under a given set of conditions.*

Om eenduidigheid te creëren zullen de kenmerkende onderdelen van de definitie worden toegelicht. Een systeem functioneert niet als (1) het systeem stuk is, of (2) het niet meer functioneert binnen de vastgestelde norm. Bij betrouwbaarheid is het van belang de kans op storing vast te leggen, of wel de storingsgraad [14].

De manier waarop 'gedurende een bepaalde tijd' wordt gedefinieerd is eveneens van belang en hangt af van het systeem.

Wordt het systeem continu in een bepaalde periode gebruikt (dieselgenerator bij het snuiveren) dan kunnen draaiuren als maat worden gebruikt. Wordt het systeem echter intermitterend gebruikt



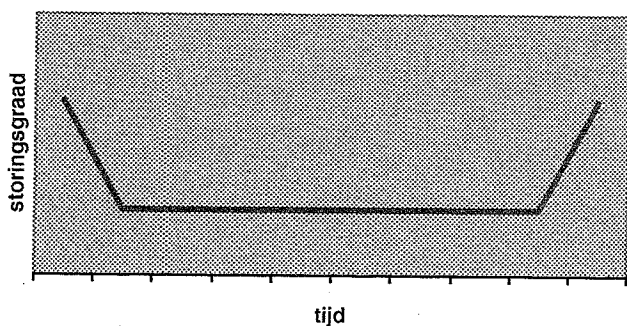
(periscoop) dan zal het aantal keren van gebruik een maat zijn.

Als laatste zijn 'de omstandigheden' van belang voor de storingsgraad. In bepaalde omstandigheden zullen bepaalde systemen of delen daarvan immers zwaarder worden belast dan in andere omstandigheden, waardoor de kans op storing toeneemt. Het is van belang van te voren vast te leggen wat de omstandigheden zijn waaronder het systeem moet functioneren. Hierbij valt te denken aan het operationele scenario (veel of weinig snuiveren, veel of weinig masten gebruik), maar ook aan de omgevingscondities (windkracht 1 of windkracht 10).

Elk systeem bestaat uit meerdere deelsystemen die op hun beurt uit componenten bestaan. Bepalend voor de betrouwbaarheid van een systeem is naast de betrouwbaarheid van de componenten ook de mate van complexiteit. Hoe meer componenten des te complexer het systeem. De betrouwbaarheid van een systeem is op twee manieren te vergroten, verhogen van de betrouwbaarheid van afzonderlijke componenten of door redundantie. De mate waarin beide worden geoptimaliseerd, wordt bepaald door kosten en fysieke mogelijkheden. Daarnaast zijn er neveneffecten bij redundantie, waarover later meer. De betrouwbaarheid van componenten en van systemen zal worden toegelicht.

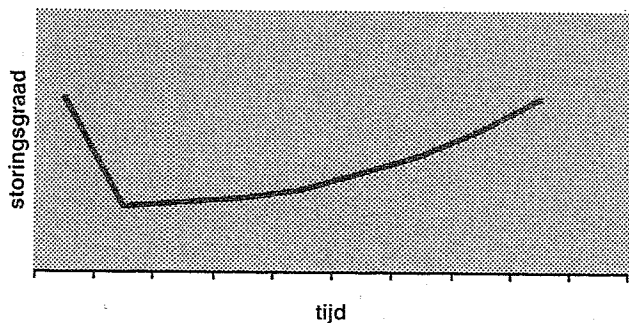
Betrouwbaarheid wordt aangegeven met R, afgeleid van reliability. Naast R als functie van de tijd wordt de storingsgraad  $\lambda$  of de MTTF (mean time to failure) gebruikt als maat voor de betrouwbaarheid (zie [bijlage D](#) voor kwantificering). In het algemeen is er op component niveau een indeling in soorten storing te maken, gebaseerd op de zogenaamde 'badkuip curve' (figuur 3-4) [13] te weten: infant mortality, random failures end aging.

In de operationele fase van de levensduur (middelste deel in figuur 3-4) is het van belang de constante storingsgraad omlaag te brengen. Dit kan door de componenten voortdurend te verbeteren of door de belasting aan te passen. Over het algemeen is het zo dat bij afnemende belasting de storingsgraad ook zal afnemen [13]. Figuur 3-4 geeft het algemene beeld voor storingsgraad, in de praktijk blijkt echter dat de storingsgraad van specifieke componenten of systemen een eigen dominante fase in de curve hebben, figuur 3-5 illustreert dit voor mechanische onderdelen/systemen zoals kleppen, pompen, motoren e.d.



figuur 3-4: badkuipcurve

Aan de linkerkant neemt de storingsgraad in korte tijd snel af, de 'kinderziektes' worden verholpen (infant mortality). In het middelste deel is de component/systeem in gebruik. De storingen die nu optreden zijn 'random failures' en worden gekenmerkt door een constante storingsgraad. Aan de rechterkant is een klein gebied met een snelle toename van de storingsgraad. Het einde van de levensduur is bereikt, vervanging is noodzakelijk



figuur 3-5: storingsgraad voor mechanische systemen/componenten

Voor mechanische componenten en systemen is de monotone toename van de storingsgraad kenmerkend. Voor deze systemen is een goede onderhoudsstrategie nodig voor langere levensduur.

In het algemeen worden twee soorten storingen onderscheiden en ook op verschillende wijze gemodelleerd. De eerste is de reeds genoemde constante storingsgraad, de andere de tijd afhankelijke storingsgraad.

Toevallige storingen (random failures) zijn die storingen die ontstaan indien we te maken hebben met een constante storingsgraad en is een van de meest gebruikte voor het omschrijven van betrouwbaarheid. Het model is goed bruikbaar voor systemen die continu ingezet worden. Indien componenten die falen direct worden vervangen, kan er een lage constante storingsgraad worden behaald. De exponentiele verdeling wordt gebruikt voor de constante storingsgraad indien er continu wordt ingezet. Wordt er met intervallen gewerkt, een serie, dan wordt het *demand failure* model gebruikt. Voorwaarden hiervoor zijn dat de series te tellen zijn en dat de faalkans onafhankelijk is van de vorige series (zie [bijlage D](#) voor toelichting).

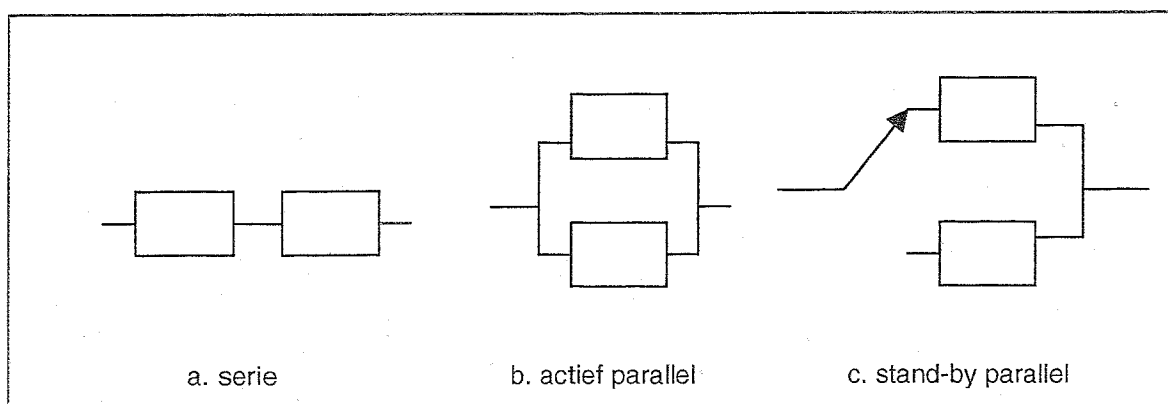
In een aantal gevallen hebben we te maken met tijd afhankelijke storingen, bijvoorbeeld de linkerkant- en de rechterkant van de badkuipcurve. Ook de toenemende storingsgraad in figuur 3.5 is hiervan een voorbeeld. Naast de normale- en logaritmische verdeling is de Weibull verdeling de meest gebruikte, dit vooral vanwege de flexibiliteit van deze verdeling. Er kunnen twee tot drie parameters worden geïntroduceerd [14]. Ook gevallen van constante storingsgraad kunnen met deze verdeling worden beschreven (zie [bijlage D](#) voor toelichting).

Zoals gezegd bestaat een systeem uit deelsystemen die weer uit componenten bestaan. Om de betrouwbaarheid van een systeem te bepalen is het van belang te weten of de componenten onafhankelijk van elkaar zijn. Is dit het geval, dan is de storingsgraad van een systeem eenvoudig de som van de afzonderlijke storingsgraden. Zijn de componenten niet onafhankelijk van elkaar dan is aanvullende analyse noodzakelijk, de Markov analyse [13].

Complexe systemen zijn meer betrouwbaar te maken door middel van redundantie. Redundantie is het toepassen van meer dan één stuks van een benodigde component in een object, met het doel de betrouwbaarheid te verhogen, doordat de functie van een component bij storing wordt overgenomen [15]. Er worden drie situaties besproken die d.m.v. een reliability block diagram (RBD) in figuur 3.6 worden geïllustreerd.

In figuur 3.6 geven 3.6 (b) en (c) de basisvormen van redundantie aan. Het verschil tussen beiden is dat bij de actieve variant beide componenten in gebruik zijn, waarbij de aanname dat zij onafhankelijk van elkaar zijn, en dat bij de stand-by variant de redundante component ingezet wordt als de andere component faalt.

Er is voor beide vormen een aantal neveneffecten aan te wijzen. Bij gebruik van actieve parallel vormen voor redundantie kan men te maken krijgen met *common mode failures* en problemen met de belasting van de component. Common mode failures zijn storingen die afhankelijk zijn waardoor storingen gelijktijdig ontstaan. Een voorbeeld hiervan zijn omgevingscondities (vibraties van het platform) die negatief werken op de betrouwbaarheid van de componenten. Bij de stand-by variant zijn storingen bij het omschakelen mogelijk en kan het stand-by systeem niet beschikbaar zijn [13].



figuur 3-6 RBD: a. geen redundantie, b en c redundantie: actief en stand-by

Er zijn echter ook ruimtelijke beperkingen om redundantie toe te passen, bijvoorbeeld aan boord van een onderzeeboot. Het is dan van belang er voor te zorgen dat de belangrijkste componenten voor het functioneren redundant zijn uitgevoerd. Een andere optie is de betrouwbaarheid van die componenten te verhogen, indien dat mogelijk is.

### 3.5 Onderhoud

In de literatuur komen we de volgende definitie van onderhoud tegen [16]:

*Onderhoud is het geheel van activiteiten dat ten doel heeft de technische systemen, in gebruik in een bedrijf, in de toestand te houden of terug te brengen, die nodig wordt geacht voor de vervulling van de productiefunctie.*

Hierin wordt onder een technisch systeem verstaan: een verzameling fysieke elementen met een specificeerbare functie. In de volgende paragrafen wordt deze definitie uitgewerkt, eerst in het algemeen, vervolgens voor de KM en afsluitend voor de Walrusklasse-onderzeeboot.

#### Classificatie en beheersing van onderhoud

Onderhoud valt in twee categorieën te verdelen. Als men in bovenstaande definitie het heeft over 'in de toestand te houden' dan valt dit onder preventief onderhoud. Gaat het echter om 'terugbrengen' in de gewenste toestand dan valt het onder de categorie correctief onderhoud. Bij preventief onderhoud valt te denken aan het vervangen van onderdelen, smeren of aanpassingen in het systeem waarbij dit plaatsvindt voordat storing optreedt. Doelstelling van preventief onderhoud is dat de betrouwbaarheid van het systeem over langere termijn wordt gewaarborgd of verbeterd, waardoor de beschikbaarheid van het systeem gegarandeerd wordt. Correctief onderhoud daarentegen vindt plaats na storing met als doel het systeem zo snel mogelijk weer beschikbaar te hebben.

Naast deze twee categorieën onderhoud komt in de literatuur een verdere verdeling voor gebaseerd op de initiëring van onderhoud. Correctief onderhoud wordt ook wel omschreven als storingsafhankelijk onderhoud (SAO) waarbij initiëring van onderhoud plaatsvindt door het optreden van een storing. SAO is dan ook altijd potentieel effectief. Preventief onderhoud kan worden geïnitieerd naar aanleiding van twee categorieën, te weten gebruiksduurafhankelijk onderhoud (GAO) en toestandsafhankelijk onderhoud (TAO). GAO schrijft initiëring van onderhoud voor na het verstrijken van een bepaalde tijdsduur en is gebaseerd op een statistisch model voor het voorspellen van het storingsgedrag. GAO heet potentieel effectief te zijn indien de ingreep resulteert in een lagere storingsgraad, wat dus alleen verbetering oplevert als men te maken heeft met een stijgende storingsgraad (rechterkant figuur 3-4). TAO daarentegen schrijft onderhoud voor als een bepaalde toestand is bereikt op basis van een mechanistisch model voor het voorspellen van storingen. In dit geval dient er een voorspellende grootheid te zijn die aangeeft dat er een bepaalde storing binnenkort gaat optreden. TAO is potentieel effectief als er een storingsvoorspellende grootheid is vast te stellen. In bijlage E wordt een beslissingsmethode voor de classificatie van onderhoud [16] gepresenteerd, waarin bovenstaande theorie wordt toegepast.

De vraag of men kiest voor preventief dan wel correctief onderhoud van systemen is afhankelijk van [13]:

1. de kosten van preventief onderhoud t.o.v. de kostenbesparing a.g.v. een daling van storingen. De kosten van een storing bestaan uit herstel maar ook uit de kosten van geleden schade door toedoen van de storing.
2. de 'criticality' van een onderdeel/systeem; is storing van een specifiek onderdeel dusdanig kritiek dat de missie (productie) in gevaar komt of dat de veiligheid in het geding is.

Keuzes als bovenstaande vallen onder onderhoudsbeheersing. Onderhoudsbeheersing omvat alle beslissingen die betrekking hebben op het op tijd afstemmen van onderhoudsmiddelen en onderhoudswerkzaamheden. De basis van onderhoudsbeheersing is de voorspelling van de vraag naar onderhoud. De vraag naar onderhoud is enerzijds afhankelijk van de inzet (vaarschema's), anderzijds afhankelijk van het onderhoudsconcept. Een onderhoudsconcept kan worden omschreven als een stelsel regels dat voorschrijft hoe een systeem wordt onderhouden. De doelstelling van onderhoudsbeheersing is tweeledig [17]:

1. minimale totale onderhoudskosten;
2. voldoen aan de voorwaarden door de gebruiker gesteld, d.w.z. op het juiste tijdstip en binnen bepaalde tijd (tijdigheid) en dusdanig dat het systeem in de juiste staat wordt teruggebracht (kwaliteit).

#### Onderhoud KM en Walrusklasse onderzeeboot

Uitgangspunt voor onderhoud bij de KM staat omschreven in de instandhoudingsfilosofie, hetgeen inhoudt: *"een platform, gedurende een door de bevelhebber bepaalde tijd (zowel in vredes- als in oorlogstijd), zodanig kan opereren dat actie-schade of storingen die de operationele inzetbaarheid ongunstig beïnvloeden door de bemanning met de aanwezige middelen zoveel mogelijk hersteld"*

kunnen worden om zo de materiele gereedheid te kunnen waarborgen. Daarnaast dient de gewenste materiele gereedheid van de operationele platformen tegen minimale totale onderhoudskosten te worden gehandhaafd [4].

Binnen de KM worden drie niveau's van onderhoud onderscheiden:

1. organiek onderhoud, routinematig onderhoud aan boord van platform door bemanning, zowel preventief als correctief;
2. middelbaar onderhoud, onderhoud in opdracht van gebruiker, zowel preventief als correctief;
3. hoger onderhoud, onderhoud aan z.g.n. 'repairables' (wisseldelen) door onderhoudsbedrijven.

Middelbaar onderhoud bestaat uit twee soorten, meerjarig onderhoud (MJO) en incidenteel onderhoud. MJO bestaat uit zowel preventief- als correctief onderhoud. Naast preventieve werkzaamheden worden ook wijzigingen in installaties (modificaties) uitgevoerd. Naast MJO bestaat tussentijds onderhoud (TTO) dat ook een meerjarig onderhoud is, alleen is het een kortere periode, over het algemeen tussen twee MJO's in. Incidenteel onderhoud is van correctieve aard en wordt door de Marine onderhoudsbedrijven aan boord uitgevoerd, om het platform op korte termijn weer inzetbaar te krijgen [17].

Bij het ontwerp van de Walrusklasse onderzeeboot is uitgegaan van een zogenaamd 'onderhoudsarm concept', waarbij de onderhoudsduur geminimaliseerd wordt en de beschikbaarheid van systemen vergroot wordt.

Ten aanzien van het preventief onderhoud betekent dit dat onder varende omstandigheden met name conditiebewaking plaatsvindt. Het onderhoud (zowel correctief als preventief) zou dan tijdens een tweejaarlijks onderhoud moeten plaatsvinden. De praktijk heeft inmiddels uitgewezen dat er meer onderhoud aan boord moet plaatsvinden dan oorspronkelijk gepland. Voor diverse systemen was geen of geen correcte onderhoudsstrategie en een aantal systemen voldeed niet aan de specificaties m.b.t. de onderhoudbaarheid. Het hoogst noodzakelijke onderhoud buiten deze tweejaarlijkse cyclus, moet in de binnenligperiodes plaatsvinden.

Voor het correctieve onderhoud houdt het onderhoudsarme concept in dat defecte delen worden vervangen door een reserve deel, 'repair by replacement'. Hierbij hoeven zo min mogelijk demontagewerkzaamheden uitgevoerd en moet dit binnen 48 uur kunnen geschieden.

Omdat de tweejaarlijkse cyclus van preventief onderhoud niet haalbaar bleek (praktijkervaring) is het Planmatig Onderhoud ingevoerd (PO). PO kan hier worden omschreven als GAO aangevuld met TAO en wordt aan boord onder varende omstandigheden uitgevoerd en staat omschreven in PO-taken.

Naast tweejaarlijks preventief onderhoud, vindt er om de 6 jaar een MJO ( $\pm$  9 maanden) plaats en om de 3 jaar een TTO (4 maanden), beiden een dokperiode [18]

### Onderhoudbaarheid

Onderhoudbaarheid (Engels: maintainability) is voor een groot deel afhankelijk van het ontwerp van een systeem, immers dat bepaalt of onderhoud, snel, nauwkeurig, veilig en goedkoop kan worden gedaan. Naast deze primaire afhankelijkheid is de onderhoudbaarheid tevens afhankelijk van de logistieke ondersteuning en menselijke factoren. De reserve onderdelen en onderhoudsmiddelen moeten aanwezig of binnen afzienbare tijd beschikbaar zijn (logistiek). Het personeel dat belast is met het onderhoud heeft de juiste opleiding en ervaring nodig om het onderhoud tot een succes te maken en moet dan ook aanwezig zijn om het onderhoud uit te kunnen voeren.

De literatuur geeft vele definities van onderhoudbaarheid, waarvan de meest complete als volgt is [11]. *Onderhoudbaarheid kan worden omschreven als een combinatie van onderstaande factoren: een ontwerpkenmerk uitgedrukt in de kans dat een systeem is gerepareerd tot het gewenste niveau in een bepaalde tijdsduur, indien onderhoud is uitgevoerd conform het onderhoudsconcept; een ontwerpkenmerk uitgedrukt in de kans dat onderhoud niet meer dan X keer in een bepaalde tijd hoeft plaats te vinden, als het systeem functioneert onder voorgeschreven omstandigheden. Dit komt in feite overeen met de betrouwbaarheid als deze wordt uitgedrukt als de onderhoudsfrequentie; een ontwerpkenmerk uitgedrukt in de kans dat de kosten voor onderhoud niet Y gulden zal overschrijden in een bepaalde periode, indien het systeem functioneert onder voorgeschreven omstandigheden.*

Bovenstaande kan worden gekwantificeerd, de meest voorkomende parameters zijn: Mean corrective maintenance (Mct), Mean time to repair (MTTR), Mean preventive maintenance (Mpt),

Maintenance down time (MDT), Mean time between maintenance (MTBM), Mean time between replacement (MTBR). In bijlage D worden deze begrippen toegelicht

### 3.6 Beschikbaarheid

Een systeem heeft pas waarde voor een gebruiker als het kan worden gebruikt waarvoor de gebruiker het systeem heeft aangeschaft. Het systeem dient dan beschikbaar te zijn voor gewenste functievervulling. De mate van beschikbaar zijn wordt beschikbaarheid genoemd (Engels: availability) en wordt uitgedrukt in een combinatie van tijd dat het systeem beschikbaar is voor operationeel gebruik en de tijd dat het systeem hiervoor niet beschikbaar is.

De beschikbaarheidseis van een systeem is een van de eisen die in een stafeis<sup>iv</sup> omschreven staat. Over het algemeen gaat men bij het vaststellen van de beschikbaarheidseis uit van het 'worst case scenario'. In dit scenario moet het systeem een zeer hoge beschikbaarheid hebben (vaak 95-99%). Dit heeft tot gevolg dat het systeem hoge investeringsuitgaven met zich meebrengt doordat er veel redundante onderdelen worden ingebracht. Daarnaast zullen er hoge voorraadkosten zijn van reserveonderdelen om aan de beschikbaarheidseis te kunnen voldoen.

Of een systeem in de praktijk beschikbaar moet zijn hangt af van de missie<sup>v</sup> die wordt uitgevoerd. Bij het vaststellen van een beschikbaarheidseis zal men zich af moeten vragen of het systeem bij alle uit te voeren missies beschikbaar moet zijn.

In de literatuur komen een drietal basisvormen voor beschikbaarheid voor, te weten: Inherent availability ( $A_i$ ), Achieved availability ( $A_a$ ) en Operational availability ( $A_o$ ) (zie bijlage D voor toelichting en tabel 3-1 voor overzicht in de verschillen) [11][19].

Inherent availability ( $A_i$ ) is een theoretische beschikbaarheid waarbij wordt uitgegaan van de ideale situatie. In deze situatie gaat men ervan uit dat zodra het systeem faalt er te allen tijde een dusdanige onderhoudsondersteuning is dat de storing direct kan worden verholpen. Alleen correctief onderhoud wordt in beschouwing genomen. Deze uitdrukking voor beschikbaarheid is goed bruikbaar in een vroeg stadium indien er nog geen of weinig gegevens van het systeem bekend zijn, en als startpunt kan dienen. Nadeel is uiteraard de veronderstelling van de ideale situatie. In praktijk blijkt dat de  $A_i$  vaak de 100% nadert, wat echter een vertekend beeld geeft. Er worden hierna enige nuances aangebracht in de uitdrukking voor beschikbaarheid.

Achieved availability ( $A_a$ ) gaat een stapje verder dan de  $A_i$ . In deze vorm van beschikbaarheid wordt ook de preventieve onderhoudstaak meegenomen. De situatie is verder wel ideaal zoals bij  $A_i$ . Alle benodigde onderhoudsmiddelen zijn altijd aanwezig. Ook deze uitdrukking kan worden toegepast in een vroeg stadium van ontwikkeling van een systeem.

Operational availability ( $A_o$ ) is de vorm die de werkelijkheid benadert indien het systeem wordt gebruikt onder werkelijke omstandigheden. In deze uitdrukking wordt de vertraging van onderhoud meegenomen, overeenkomstig de werkelijkheid. In de praktijk is er vaak vertraging tussen moment van optreden van een storing en het verhelpen daarvan. Dat kan optreden door tekort aan onderdelen, tekort aan capaciteit van het Marine onderhoudsbedrijf, uitbesteding is nodig of het gebeurt midden op zee en er dient in een buitenlandse haven gerepareerd te worden, met alle gevolgen van dien. Deze uitdrukking wordt door militaire instanties gebruikt, zo ook door de KM [4].

|             | correctief onderhoud | preventief onderhoud | logistieke vertraging |
|-------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| inherent    | X                    |                      |                       |
| achieved    | X                    | X                    |                       |
| operational | X                    | X                    | X                     |

tabel 3- 1: overzicht verschillen vormen van beschikbaarheid

<sup>iv</sup> Een stafeis is het referentiepunt voor de volgende fasen in het materieelsverwervingsproces. Het is een gedetailleerd overzicht dat het doel, de functionaliteiten, de capaciteiten en de karakteristieken van het nieuwe systeem beschrijft [4].

<sup>v</sup> Een missie is een samenhangend geheel van militaire taken (zie confidentiële bijlagen), als onderdeel van een scala aan politieke, diplomatieke, economische, humanitaire en andere activiteiten die tijdens een (potentiële) crisis- of oorlogssituatie worden uitgevoerd om gezamenlijk een duidelijk omschreven politiek- of militair-strategische doel te dienen [5].

### 3.7 Kosten

#### Algemeen

In het algemeen zal een economische beoordeling van een investeringsproject uitgaan van de zogenaamde operationele geldstroom van een investeringsproject. De operationele geldstroom bestaat uit investeringsuitgaven, exploitatie uitgaven en inkomsten, die tijdens de economische levensduur van een investeringsproject optreden.

Een economische beoordeling zal voor iedere periode (nader te definiëren) bepalen hoe groot de Netto Contante Waarde (NCW) van het investeringsproject is. De NCW bestaat uit de som van de opbrengsten minus de som van de investeringen en uitgaven.

Bij aanschaf van nieuw materieel bij de KM is het niet mogelijk om een dergelijke economische beoordeling te maken gezien het feit dat er geen opbrengsten door het aan te schaffen materieel gegenereerd worden [10].

Om een beoordeling te kunnen doen zullen de investeringen en uitgaven getoetst moeten worden aan de geleverde waarde voor de KM: functionaliteit en beschikbaarheid.

#### Gebruikskosten

De levensduurkosten zijn in paragraaf 3.2 aan de orde geweest. Hierin is naar voren gekomen dat de gebruikskosten (exploitatie kosten) een groot deel van de levensduurkosten bepalen. Een zeer groot deel van de gebruikskosten wordt beïnvloed door het productconcept [12] zoals dat in de ontwerpfase wordt vastgesteld.

Gebruikskosten kunnen over een aantal kostenposten worden verdeeld. In de literatuur komen verschillende verdelingen voor. Van Herel, Theeuwes en Vosselman verstaan onder exploitatie-uitgaven [10]:

- direct materiaal,
- directe arbeid,
- procesenergie,
- overige energie,
- onderhoud (arbeid + materieel),
- kwaliteit (controle + preventie),
- productieplanning en -beheersing,
- management (supervisie + planning),
- administratieve en personeelszaken,
- overige uitgaven.

Van Mal verdeelt de gebruikskosten in [12]:

- aanschafprijs (rente en afschrijvingen),
- ruimtegebruik,
- energiegebruik,
- bedieningskosten,
- onderhoud en reparatie,
- milieukosten,
- ontmantelingskosten,
- recyclingskosten,
- belastingen.

Ook binnen de KM zijn diverse indelingen in omgang. Een veel voorkomende in deze context is de zogenaamde 'Quickscan MFF'<sup>vi</sup> en spreekt over 'in service costs' als het gaat over de kosten in de exploitatiefase. De exploitatiefase is verdeeld in twee delen, operationele periodes en MJO/TTO-periodes. Voor beide delen geldt de volgende verdeling van kosten:

#### kosten inzet:

- kosten boordpersoneel (onderverdeeld in: correctief-, periodiek- en middelbaar onderhoud),
- consumables (gebruikt door boordpersoneel).

#### ondersteuningskosten:

- onderhoudspersoneel (onderverdeeld in: correctief-, periodiek- en middelbaar onderhoud),
- onderdelen (gebruikt door onderhoudspersoneel),

<sup>vi</sup> Quick Scan MFF is een binnen de KM ontwikkelde methode om de levensduurkosten van de M-fregatten in te schatten waarbij grote nadruk is gelegd op de exploitatiefase.

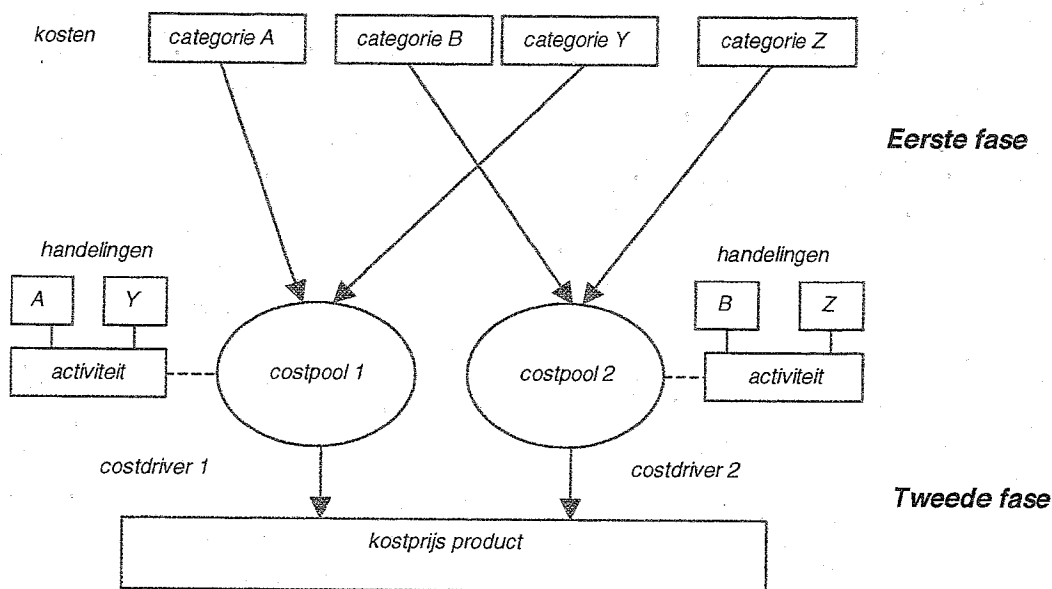
- uitbestedingen onderhoudsbedrijf.

Gebruikskosten zijn op diverse manieren te interpreteren. Voor de beoordelingsmethode zal een duidelijke omschrijving van gebruikskosten van belang zijn.

### Activity Based Costing

Om de diverse kostenposten te identificeren kan gebruik gemaakt worden de zogenaamde 'activity based costing' (ABC) methode [10]. De methode gaat uit van de activiteiten die uitgevoerd worden om producten of diensten te leveren. Activiteiten maken gebruik van productiemiddelen, ook wel *resource consumption* genoemd. De ABC methode is geschikt om inzicht te krijgen in de *resource consumption*.

De toewijzing van kosten volgens de ABC methode verloopt in twee fasen (zie figuur 3-7). In de eerste fase worden alle handelingen gegroepeerd tot activiteiten. Een activiteit is dus een verzameling samenhangende handelingen. Vervolgens worden per activiteit alle daaraan verbonden kosten (materiaal, energie, loon, afschrijving, enz.) gesommeerd tot een zogenaamde *costpool*. De eerste fase resulteert hiermee in een verdeling van de totale kosten over de verschillende activiteiten.



figuur 3- 7: conceptueel model ABC methode voor identificatie van kostprijs [10]

In de tweede fase worden de *costpools* doorberekend naar het product aan de hand van *costdrivers* (niet te verwarren met de 'costdrivers' in voetnoot ii). Bij de ABC methode heeft iedere activiteit een bijbehorende *costdriver* die het verband weergeeft tussen product en het gebruik van die activiteit. Afhankelijk van de activiteit worden *costpools* doorberekend aan het product.

## 4 AIP systemen voor de Walrusklasse-onderzeeboot

### 4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zullen de AIP systemen, die een optie zijn voor de toekomstige Walrusklasse-onderzeeboot, geanalyseerd worden. Voordat de diverse systemen aan bod komen wordt in paragraaf 4.2 de vereiste functionaliteit vastgelegd voor een AIP systeem van de Walrusklasse-onderzeeboot. De vier systeemanalyses (paragraaf 4.3 t/m 4.6) bevatten de onderdelen: systeemomschrijving, analyse van de aanwezige gevaarlijke stoffen en ontwikkelingsstadium van de AIP systemen. De systeemomschrijvingen zoals in dit hoofdstuk opgenomen geven de grote lijnen aan en zijn bedoeld om de principewerking van de verschillende AIP systemen duidelijk te maken. Een uitgebreidere systeemomschrijving vindt men in de aangegeven bijlage. Het ontwikkelingsstadium is meegenomen omdat dit van belang is voor de gegevensverzameling en mogelijkheid voor implementatie. Een systeem dat al enige tijd in de praktijk wordt toegepast zal meer en betrouwbaardere gegevens kunnen leveren dan een systeem dat zich nog in de ontwerpfase bevindt. De analyse van de aanwezige gevaarlijke stoffen, zoals die per systeem wordt uitgevoerd, behelst een inventarisatie van de gevaarlijke stoffen en een waardering van het potentiële gevaar van die gevaarlijke stoffen. De aanwezigheid van gevaarlijke stoffen is van groot belang voor het veilig functioneren van een onderzeeboot. Een onderzeeboot is immers een volledig gesloten 'sigaar' die zich over het algemeen onder water bevindt. De belangrijkheid van dit aspect wordt nog eens onderstreept door het zinken van de Russische kernonderzeeër 'Koersk' (augustus 2000), als gevolg van een interne explosie. De analyse van de aanwezige gevaarlijke stoffen is een eerste ruwe indicatie van de veiligheidsaspecten die, in een later stadium, per systeem bekeken moeten worden. De potentiële gevaren van iedere aanwezige gevaarlijke stof zullen d.m.v. een schaalverdeling een weegfactor krijgen. Tabel 4-1 geeft de schaalverdeling aan:

| gevaar     | waardering |
|------------|------------|
| zeer groot | 4          |
| groot      | 3          |
| matig      | 2          |
| klein      | 1          |
| niet       | 0          |

tabel 4- 1: schaalverdeling gevaarlijke stoffen

Naar aanleiding van de systeemanalyses wordt in de laatste paragraaf aangegeven wat de overeenkomsten en verschillen van de systemen zijn. Ook wordt per systeem aangegeven wat de invloed van het ontwikkelingsstadium is (zorgt voor onzekerheid en onvoorspelbaarheid) en hoe groot het totale potentiële gevaar is.

### 4.2 Vereiste functionaliteit

Alvorens over te gaan tot aanschaf van nieuw materieel moet duidelijk omschreven zijn wat het nieuwe systeem precies moet gaan doen, onder welke omstandigheden, en aan welke eisen het systeem minimaal moet voldoen om in een militair maritieme omgeving te functioneren. Deze eisen worden vastgelegd in de stafeis (zie paragraaf 3.6), die door MARSTAF worden bepaald. Zoals reeds aangegeven is er nog geen stafeis geformuleerd voor een AIP systeem van de Walrusklasse-onderzeeboot. In deze paragraaf zal een omschrijving van de functionaliteit worden gepresenteerd die als basis kan dienen voor de stafeis.

De volgende onderwerpen komen aan bod [4]:

- functie,
- gebruikseisen,
- beschikbaarheidseis.

#### Functie AIP systeem

In paragraaf 3.3 is een functie van een element (object of subject) omschreven als datgene wat door dat element wordt teweeggebracht, waaraan een groter deel behoefte heeft. In dit geval heeft het groter geheel, de Walrusklasse-onderzeeboot, behoefte aan *buitenluchtonafhankelijke elektrische energie* en een AIP systeem zal deze moeten *leveren*. Kortweg: een AIP systeem zal de volgende functie moeten gaan vervullen:

*Het leveren van buitenluchtonafhankelijke elektrische energie.*



## Gebruikseisen AIP systeem

In de studie van DMKM/Martech [3] is een aantal eisen opgenomen waaraan een AIP systeem voor de Walrusklasse-onderzeeboten moet voldoen. De relevante eisen worden in dit onderzoek overgenomen. In deze paragraaf wordt een algemene omschrijving gegeven van de diverse eisen.

### voortstuwings- en uithoudingsvermogen:

- minimale snelheid, bepaald door het minimale astoerental,
- maximale snelheid c.f. stafeis Walrusklasse-onderzeeboot,
- nominaal elektrisch vermogen om een continue vaart van 6 knopen te kunnen lopen inclusief huishoudelijk verbruik.

### veiligheid:

- voor een te implementeren AIP systeem en bijbehorende opslagtanks gelden dezelfde schokeisen zoals die op de rest van het platform van toepassing zijn,
- goede veiligheidsmaatregelen ter voorkoming van gaslekkages en explosies waarbij de explosievastheid van belang is,
- het systeem moet geschikt zijn voor gebruik tot maximale duikdiepte.

### geluidsproductie:

- een AIP systeem mag tijdens de bedrijfsvoering niet meer geluid produceren dan de apparatuur die bijstaat bij normale patrouillevaart<sup>ii</sup> en mag de geluidskarakteristiek<sup>iii</sup> van de onderzeeboot niet nadelig beïnvloeden.

Hiermee zijn de gebruikseisen omschreven. De door DMKM uitgevoerde studie [3] heeft zich geconcentreerd op het nominaal geleverde elektrisch vermogen om een continue vaart van 6 knopen te kunnen lopen. De overige gebruikseisen zullen verder onderzocht moeten worden. Een eerste indicatie omtrent de veiligheid van de AIP systemen wordt in dit hoofdstuk gegeven.

## Beschikbaarheidseis AIP systeem

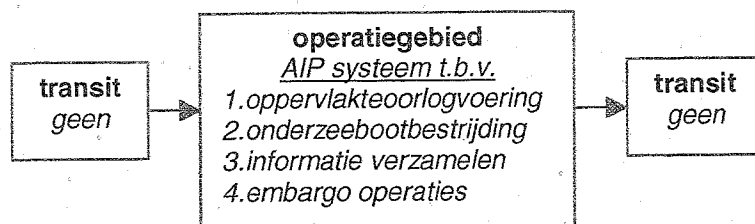
De beschikbaarheidseis geeft aan wat de minimale beschikbaarheid voor de te vervullen functie moet zijn, om die missies uit te kunnen voeren waarbij de functieervulling benodigd is. Een stafeis gaat over het algemeen uit van het 'worst case scenario' waarbij een zeer hoge beschikbaarheidseis wordt gesteld. Hierdoor worden de investeringen onnodig hoog (redundante onderdelen) en zijn de voorraadkosten hoog (reserveonderdelen). Voor sommige systemen geldt echter dat zij niet bij iedere missie benodigd zijn. Een AIP systeem is zo'n systeem en bij het opstellen van een beschikbaarheidseis zou men hier rekening mee moeten houden. Hierdoor wordt een systeem niet onnodig duur en zullen de voorraadkosten van reserveonderdelen lager zijn. In de confidentiële bijlagen (bijlagen A,B en C) wordt een beschikbaarheidseis conform deze benadering afgeleid.

Bij de afleiding van de beschikbaarheidseis is het rapport 'CUP Walrus scenarioanalyse' [5], uitgevoerd door TNO/FEL, gebruikt. In dit rapport is o.a. gerapporteerd welke taken de Walrusklasse-onderzeeboot in de toekomst zou moeten kunnen uitvoeren. In dit rapport wordt de wenselijkheid van een AIP systeem bij een aantal van deze taken genoemd. Om aan te geven in welke situatie de functie 'leveren van buitenluchtonafhankelijke elektrische energie' vervuld moet worden door een AIP systeem, volgt in figuur 4-1 een globale omschrijving van het takenpakket. Voor een gedetailleerde omschrijving wordt verwezen naar de confidentiële bijlagen A en B.

<sup>i</sup> Het huishoudelijk verbruik is de hoeveelheid elektrische energie die wordt verbruikt van de batterijcapaciteit om de interne systemen te kunnen voeden, m.u.v. de voortstuwings.

<sup>ii</sup> normale patrouillevaart is een lage vaart die langdurig kan worden gelopen en waarbij alle apparatuur bijstaat en daarmee een bepaalde mate van akoestische intensiteit in de omringende waterkolom creëert.

<sup>iii</sup> de geluidskarakteristiek is een aanduiding voor het vermogen om geluid van externe bronnen te ontvangen waarbij dit wordt verstoord door het eigen uitgestraalde geluid.



Een AIP systeem moet gezien worden als een aanvulling op de bestaande voortstuwingsconfiguratie (bijlage G), en zal in het operatiegebied een verlengde onderwaterperiode opleveren, teneinde de aangegeven operaties beter uit te kunnen voeren. Gedurende de transit en bij andere taken in het operatiegebied is een AIP systeem niet benodigd.

figuur 4- 1: globale indeling van operaties waarbij een AIP systeem benodigd is

### 4.3 Analyse Closed Cycle Diesel (CCD)installatie

De Closed Cycle Diesel installatie is ontworpen door RDM Submarines. RDM Submarines heeft een prototype ontwikkeld in een landopstelling met een vermogen van 300kWe (verder in ontwikkeling naar 400kWe). Daarnaast is er een beproeving op zee uitgevoerd (installatie met een elektrisch vermogen van 250 kWe) in 1993 met een Duitse U-1 onderzeeboot, in samenwerking met TNSW.

#### Systeemomschrijving

De kern van de CCD installatie wordt gevormd door een dieselgenerator. Iedere dieselgenerator kan in principe, met enige aanpassingen (o.a. drukvulstelsel, brandstofinspuiting en minimaliseren uitgestraald geruis), geïmplementeerd worden. De dieselgenerator wekt elektrische energie op die in de hoofdbatterij van de onderzeeboot wordt opgeslagen. De dieselgenerator maakt gebruik van conventionele dieselolie (F76) en gebruikt een brandstofsysteem dat aangesloten kan worden op het bestaande brandstofsysteem van de Walrusklasse-onderzeeboot. Het systeem dankt de naam aan het principe van de gesloten gassencyclus. De gesloten gassencyclus reguleert de aanvoer van synthetische lucht (stikstof, kooldioxide, argon en zuurstof) naar de dieselgenerator en de afvoer van kooldioxide, die grotendeels middels een absorber uit de gesloten gassencyclus wordt gehaald. Om de kooldioxide op grotere diepte buitenboord te brengen wordt gebruik gemaakt van een zogenaamd watermanagementsysteem. De CCD installatie maakt gebruik van zuurstof dat in vloeibare vorm wordt opgeslagen. In de bijlage H is een uitgebreide systeembeschrijving opgenomen en worden de belangrijkste componenten vastgelegd.

#### Analyse gevaarlijke stoffen

Voor de analyse is een inventarisatie gemaakt van de 'gevaarlijke stoffen' die in het systeem gebruikt worden. Vervolgens is er middels 'Chemiekaarten'® [22] onderzocht wat de directe gevaren zijn en worden middels tabel 4-1 ingeschaald.

In tabel 4-2 een overzicht van de risicogebieden met omschrijving van het gevaar en een waardering van het risico.

| risicogebied             | gevaar  | waardering |
|--------------------------|---|------------|
| vloeibaar zuurstof       | brand en explosie indien contact met andere stoffen | 4          |
| kooldioxide              | verstikking (verdringt zuurstof)                    | 2          |
| argon                    | bewusteloosheid                                     | 2          |
| dieselolie               | brand   | 3          |
| <i>totaal waardering</i> |   | 11         |

tabel 4- 2: analyse gevaarlijke stoffen CCD installatie

#### Ontwikkelingsstadium

De CCD installatie is volledig uitontwikkeld en een prototype landopstelling is gereed waarmee proef gedraaid is. De installatie is initieel ontworpen voor implementatie in de Morayklasse-onderzeeboot. De Morayklasse is een export onderzeeboot van RDM Submarines en het ontwerp is afgeleid van de

Walrusklasse-onderzeeboot. De CCD installatie kan eenvoudig aan boord van de Walrusklasse-onderzeeboot worden geplaatst.

#### 4.4 Analyse Stirlingmotor installatie

Het principe van de stirlingmotor wordt toegepast, zowel in de civiele als in de militaire industrie. Als een stirlingmotor aan boord van een onderzeeboot wordt geplaatst om te fungeren als AIP systeem is er een aantal complicaties (zie systeemomschrijving). Om die complicaties het hoofd te kunnen bieden functioneert een stirlingmotor in een omgeving met andere hulpsystemen. Een AIP systeem met een stirlingmotor wordt al enige jaren geproduceerd door het Zweedse bedrijf Kockums. Zij hebben een aantal van dit soort systemen geleverd aan de Zweedse marine die een aantal van haar onderzeeboten met een dergelijk AIP systeem heeft uitgerust. Ook de Australische marine gebruikt een AIP systeem van dit bedrijf. Kockums heeft bewezen (Gotlandklasse onderzeeboten) een AIP systeem met een stirlingmotor te kunnen leveren in een sectie waardoor de onderzeeboot verlengd wordt. Er zijn een aantal AIP systemen beschikbaar van dit bedrijf, het type V4-275 voldoet op dit moment aan de vereiste functionaliteit [3]. Er zullen dan 5 stirlingmotoren van dit type geplaatst moeten worden om het gewenste vermogen te kunnen genereren.

#### Systeemomschrijving [3]

Evenals bij de CCD installatie wordt de kern van de installatie gevormd door een verbrandingsmotor, in dit geval een stirlingmotor. Het werkingsprincipe van een stirlingmotor is gebaseerd op het feit dat een bepaald gas (arbeidsmedium) bij verwarming uitzet en bij afkoeling in volume afneemt. Een veel gebruikt arbeidsmedium is helium. Ook de stirlingmotor drijft een generator aan die elektrische energie opwekt. De stirlingmotor maakt gebruik van zwavelarme dieselolie. De dieselmotoren die aan boord staan kunnen hier ook gebruik van maken. Bij de verbranding komen kooldioxide gassen vrij die buitenboord gebracht moeten worden. Aangezien de verbranding onder hoge druk plaatsvindt is er geen extra systeem benodigd om de gassen van overdruk te voorzien om ook op grotere diepte de gassen buitenboord te brengen. In [bijlage 1](#) vindt men een uitgebreide systeemomschrijving en worden de belangrijkste componenten vastgelegd.

#### Analyse gevaarlijke stoffen

Zie voor toelichting analyse gevaarlijke stoffen CCD-installatie.

| risicogebied             | gevaar  | waardering |
|--------------------------|---|------------|
| vloeibare zuurstof       | brand en explosie indien contact met andere stoffen | 4          |
| helium                   | bewusteloosheid                                     | 2          |
| zwavelarme dieselolie    | brand   | 3          |
| stikstof                 | bewusteloosheid                                     | 2          |
| kooldioxide              | verstikking (verdringt zuurstof)                    | 2          |
| <i>totaal waardering</i> |   | 13         |

tabel 4- 3: analyse gevaarlijke stoffen stirlingmotor installatie

#### Ontwikkelingsstadium

De stirlingmotor type V4-275 is op dit moment verkrijgbaar op de markt en direct te implementeren aan boord van de Walrusklasse-onderzeeboot.

#### 4.5 Analyse Brandstofcel metaalhydride

In een brandstofcel wordt elektrische energie opgewekt door een chemische reactie tussen waterstof en zuurstof waarbij water het enige restproduct is. Deze brandstofcellen worden polymeerbrandstofcellen genoemd. Dit type brandstofcellen kenmerkt zich door een lage bedrijfstemperatuur, hoge rendement en schok- en trilbestendigheid. Om waterstof vrij te maken zijn twee opslagmethoden mogelijk, in metaalhydride vorm (deze paragraaf) of in de vorm van methanol (paragraaf 4.6). Voor meer details over de polymeerbrandstofcel wordt verwezen naar [bijlage J](#). De brandstofcel metaalhydride zal met 9 'stacks' aan boord geplaatst moeten worden om het gewenste elektrische vermogen te kunnen genereren.

#### Systeemomschrijving [3]

Het principe van dit systeem met een polymeerbrandstofcel berust op het feit dat waterstof vrijgemaakt wordt uit een metaalhydride verbinding met behulp van de toevoeging van warmte. De

brandstofcel wordt als een zogenaamd 'dead end' bedreven waardoor in principe alle vrijgemaakte waterstof verbruikt wordt. De opslag van waterstof in metaalhydride vorm wordt over meerdere druktanks opgeslagen. De druktanks bevinden zich buitenboord, tussen de drukhuid en de buitenhuid (stroomlijn). De benodigde warmte om de waterstof vrij te maken wordt onttrokken uit de warmte die vrijkomt bij de chemische reactie in de brandstofcel. De benodigde zuurstof wordt in vloeibare vorm meegenomen en opgeslagen in drukvaste tanks buitenboord, tussen de drukhuid en de buitenhuid. In [bijlage J](#) vindt men een uitgebreide systeemomschrijving en worden de belangrijkste componenten vastgelegd.

#### Analyse gevaarlijke stoffen

Voor toelichting zie analyse gevaarlijke stoffen CCD-installatie.

| risicogebied             | gevaar  | waardering |
|--------------------------|---|------------|
| vloeibaar zuurstof       | brand en explosie indien contact met andere stoffen | 4          |
| stikstof                 | bewusteloosheid                                     | 2          |
| zuivere waterstof        | brand en explosief met lucht                        | 4          |
| <i>totaal waardering</i> |   | 10         |

tabel 4- 4: analyse gevaarlijke stoffen brandstofcel metaalhydride

#### Ontwikkelingsstadium

Na een aantal prototypes, die op zee zijn beproefd aan boord van een Duitse U-1 onderzeeboot, worden de nieuwe Duitse U-212 onderzeeboten met een brandstofcel metaalhybride uitgerust. Deze onderzeeboten worden op dit moment gebouwd. Het systeem is dus volledig uitontwikkeld en op korte termijn te verkrijgen.

#### 4.6 Analyse Brandstofcel methanol

De brandstofcel methanol wordt, evenals de brandstofcel metaalhydride, door HDW ontwikkeld. Het systeem is qua opwekking van energie en zuurstofvoorziening hetzelfde als de brandstofcel metaalhydride. Derhalve wordt er voor dit deel van het systeem verwezen naar paragraaf 4.5. In de systeemomschrijving wordt ingegaan op de distributie van waterstof en de afhandeling van CO<sub>2</sub>.

#### Systeemomschrijving

Bij deze brandstofcel wordt waterstof vrijgemaakt uit methanol door middel van een methanolreformer. In de reformer vindt een aantal chemische reactie plaats waarbij grote hoeveelheden waterstof vrijkomen. Voor het opwekken van de reactie in de reformer is warmte nodig die door een boiler wordt geleverd. In de boiler vindt verbranding van methanol plaats om de warmte te leveren, er wordt water omgezet in stoom dat naar de reformer leidt. Het benodigde water is afkomstig van het productwater dat vrijkomt bij de reactie in de brandstofcel. Zowel bij de reacties in de reformer als bij de verbranding van methanol komen kooldioxide gassen vrij die buitenboord gebracht moeten worden. Middels een condensor worden deze gassen in vloeibare vorm buitenboord gebracht. Omdat de verbranding onder hoge druk plaatsvindt is er geen watermanagementsysteem nodig. In [bijlage K](#) vindt men een uitgebreide systeemomschrijving en worden de belangrijkste componenten vastgelegd.

#### Analysegevaarlijke stoffen

Voor toelichting zie analyse gevaarlijke stoffen CCD-installatie.

| risicogebied             | gevaar  | waardering |
|--------------------------|---|------------|
| vloeibare zuurstof       | brand en explosie indien contact met andere stoffen | 4          |
| methanol                 | brand en explosief met lucht                        | 4          |
| zuivere waterstof        | brand en explosief met lucht                        | 4          |
| kooldioxide              | verstikking (verdringt zuurstof)                    | 2          |
| stikstof                 | bewusteloosheid                                     | 2          |
| <i>totaal waardering</i> |   | 16         |

tabel 4- 5: analyse gevaarlijke stoffen brandstofcel methanol

### Ontwikkelingsstadium

Dit systeem is nog volop in ontwikkeling en op korte termijn nog niet verkrijgbaar. Voor zover bekend zijn er nog geen prototypes gebouwd of beproevingen uitgevoerd.

## 4.7 Conclusies functionaliteit- en systeemanalyses

### Overeenkomsten in opbouw

Om de functie 'leveren van buitenluchtonafhankelijke elektrische energie' te kunnen vervullen maken de geanalyseerde AIP systemen gebruik van verschillende technologieën. Er is echter een aantal overeenkomsten in de opbouw van de systemen.

In de eerste plaats maakt ieder systeem gebruik van een soort brandstof ((zwavelarme) dieselolie, waterstof) die op de één of andere manier vrijgemaakt wordt zodat het systeem er gebruik van kan maken. Kortom: alle systemen maken gebruik van een deelfunctie 'voorzien in brandstof'.

Ten tweede is voor alle vier systemen kenmerkend dat er gebruik wordt gemaakt van zuurstof (in een enkel geval in combinatie met argon t.b.v. thermisch rendement, CCD) dat opgeslagen en gedistribueerd wordt. De deelfunctie 'voorzien in zuurstof' is hiermee vastgelegd.

Als derde overeenkomst in opbouw van de systemen is de deelfunctie 'opwekken van elektrische energie' te identificeren. In ieder systeem vormt dit de kern omdat het direct verantwoordelijk is voor 'leveren van buitenluchtonafhankelijke elektrische energie'.

Bij de opwekking van elektrische energie produceert ieder AIP systeem, in meer of minder mate, restproducten die voor een deel hergebruikt kunnen worden en voor een deel niet. Deze restproducten (vooral kooldioxide en warmte) moeten buitenboord gebracht worden in verband met een tekort aan opslagcapaciteit en veiligheidsoverwegingen. Er is sprake van een deelfunctie 'afhandelen restproduct'.

In onderstaande tabel (tabel 4-6) een overzicht van de systemen met een verdeling van de belangrijkste componenten en/of deelsystemen over de deelfuncties. De verschillende deelsystemen en componenten worden behandeld in de bijbehorende bijlagen (H t/m K).

|  | CCD                      | stirlingmotor   | brandstofcel<br>metaalhydride                        | brandstofcel<br>methanol   |
|--|--------------------------|---|--|--|
| <b>voorzien in brandstof</b>                     | fuel system CCD          | brandstoftank   | metaalh. tanks<br>stikstof opslag                    | meth. opslag<br>reformer<br>boiler   |
| <b>voorzien in zuurstof</b>                      | gesloten<br>gassencyclus | LOX tank<br>evaporator  | LOX tank<br>evaporator                               | LOX tank<br>evaporator   |
| <b>opwekking van<br/>elektrische energie</b>     | dieselgenerator          | stirlingmotor<br>generator<br>helium opslag                               | polymere<br>brandstofcel                             | polymere<br>brandstofcel   |
| <b>afhandeling<br/>restproduct</b>               | seawatersysteem          | condensor<br>CO <sub>2</sub> mixer<br>koelwatersysteem<br>stikstof opslag | naverbrander<br>koelwatersysteem<br>reactiewatertank | CO <sub>2</sub> condensor<br>naverbrander<br>koelwatersyst.<br>reactiewatertnk |
| <b>totaal waardering<br/>gevaarlijke stoffen</b> | 11                       | 13  | 10   | 16   |
| <b>ontwikkelingsstadium</b>                      | prototype                | productie   | productie  | ontwerp  |

tabel 4- 6: deelfuncties versus deelsystemen/componenten met risico-inventarisatie en ontwikkelingsstadium

### Gevaarlijke stoffen en ontwikkelingsstadium

Aangezien alle systemen specifiek ontworpen zijn voor onderzeeboten zijn er veiligheidsmaatregelen getroffen om de risico's (kans \* gevolg) te verkleinen. Op dit moment is er nog te weinig inzicht in alle systemen om hierover een uitspraak te doen. Dit is o.a. afhankelijk van het ontwikkelingsstadium en daarin is een groot onderling verschil te constateren. Op een later moment zal een uitgebreide

risicoanalyse uitgevoerd moeten worden waarbij de veiligheidsmaatregelen ook worden meegenomen.

Uit tabel 4-6 komt naar voren dat de brandstofcel methanol bij de totale waardering gevaarlijke stoffen ver boven de overige systemen uitsteekt. Dit wordt vooral veroorzaakt door aanwezigheid van methanol (4) in combinatie met vloeibare zuurstof (4) en zuivere waterstof (4). Deze combinatie komt ook in andere systemen voor. Het grote nadeel van dit type brandstofcel t.o.v. de brandstofcel metaalhydride is dat er kooldioxide vrijkomt (2).

De brandstofcel metaalhydride scoort het laagst, ondanks de aanwezigheid van vloeibare zuurstof (4) en zuivere waterstof (4), door het ontbreken van andere 'gevaarlijke stoffen' die bij de overige systemen wel voorkomen.

Gezien het ontwikkelingsstadium van de stirlingmotorinstallatie en de brandstofcel metaalhydride zou het verkrijgen van betrouwbare gegevens geen probleem moeten zijn, mits de leverancier bereid is mee te werken. Vooral betrouwbaarheidsgegevens ontstaan en zijn betrouwbaar als een systeem in de praktijk wordt ingezet.

De CCD-installatie bevindt zich in een prototype fase. Ondanks dat het systeem niet in de praktijk is getoetst, zijn de opbouw van het systeem en de componenten die worden toegepast bekend. Hierdoor kunnen gegevens van gelijksoortige componenten worden geselecteerd, waardoor een benadering van de werkelijkheid kan ontstaan.

Bij de brandstofcel methanol zijn de grootste problemen te verwachten bij de gegevensverzameling. Dit systeem bevindt zich in de ontwerpfase. Positief in dit kader is dat een deel van het systeem (zelfde leverancier) ook in de brandstofcel metaalhydride wordt toegepast waardoor aannames omtrent het resterende deel (reformen van methanol) gedaan moeten worden.

## Conclusies

- Voor het vervullen van de functie *'leveren van buitenluchtonafhankelijke elektrische energie'* maken alle systemen gebruik van dezelfde deelsystemen: *'voorzien in brandstof'*, *'voorzien in zuurstof'*, *'opwekken van elektrische energie'* en *'afhandelen restproduct'*.
- Ten aanzien van de vereiste functionaliteit is aanvullend onderzoek nodig. Vooral de gebruikseisen zijn nog onderbelicht. Dat wil zeggen dat de gebruikseisen in grote lijnen bekend zijn maar dat er nog te weinig inzicht is in de mate waaraan de verschillende AIP systemen hieraan voldoen. In de studie van DMKM [3] is een belangrijk aspect van de gebruikseisen grondig geanalyseerd, de overige onderwerpen zijn niet of nauwelijks ingevuld. In de analyse van de aanwezige gevaarlijke stoffen is een eerste aanzet gegeven voor verder onderzoek. Op dit moment ontbreken in deze studie de gewenste gegevens (ontwikkelingsstadium) en de tijd om dit onderwerp uit te diepen. Ook de minimale beschikbaarheidseis is door de KM nog niet vastgesteld, ook hiervoor is een eerste aanzet gegeven in dit hoofdstuk.
- Alle systemen maken gebruik van 'gevaarlijke stoffen' waarbij er een aanzienlijk verschil in totaal waardering per systeem is. De getroffen veiligheidsmaatregelen zijn op dit moment niet te beoordelen door het ontbreken van informatie a.g.v. een verschil in ontwikkelingsstadium.
- Het verschil in ontwikkelingsstadium is groot en heeft gevolgen voor de gegevensverzameling die voor de beoordeling uitgevoerd zal moeten worden. De werkwijze voor gegevensverzameling moet hierop aangepast worden.



## 5 Beoordelingsmethode

### 5.1 Inleiding

De probleemstelling heeft aanleiding gegeven om, via een aantal stappen, een beoordelingsmethode te ontwikkelen. Het voorgaande hoofdstuk en de theoretische onderbouwing in hoofdstuk 3 zullen de basis vormen waaruit de beoordelingsmethode wordt ontwikkeld. Een methode wordt omschreven als *een vaste, weldoordachte manier van handelen om een bepaald doel te bereiken* en als *de wijze van handelen bij een wetenschappelijk onderzoek* [23].

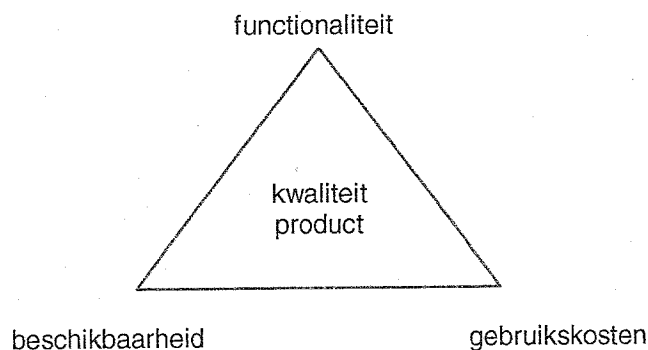
Om op een vaste, weldoordachte manier van handelen een beoordeling uit te kunnen voeren, wordt er gebruik gemaakt van een kwaliteitsmodel dat het uitgangspunt vormt voor de beoordelingsmethode. Dit model gaat uit van een product dat beoordeeld moet worden op grond van geleverde kwaliteit voor de gebruiker. In paragraaf 5.2 zal het model worden toegelicht, waarna in paragraaf 5.3 de beoordelingsmethode aan bod komt.

### 5.2 Kwaliteitsmodel

De kwaliteit van een product wordt door de klant bepaald. De vraag is echter hoe kwaliteit omschreven kan worden. Een eenduidige definitie van kwaliteit is niet te vinden, wel is een aantal contouren van het begrip kwaliteit bepaald. Kwaliteit is een abstract, subjectgebonden, contextafhankelijk en relatief begrip. Op grond van deze contouren van het begrip kwaliteit is een theoretische definitie af te leiden. *De term kwaliteit is van toepassing, indien er sprake is van een optimale verhouding van het gerealiseerde ten opzichte van verwachtingen, met betrekking tot een bepaald kenmerk van een object* [24].

Om van een *product* te kunnen zeggen of het aan de juiste kwaliteit voldoet, zullen kenmerken vastgelegd moet worden waarop beoordeeld wordt. Ten aanzien van producten kan men kwaliteit toetsen aan de kenmerken functionaliteit, beschikbaarheid en gebruikskosten, ofwel: *de kwaliteit als functionaliteit, de beschikbaarheid en de kosten om het product te kunnen bezitten en te onderhouden*. Het kan gezien worden als een meting van de prestatie van een product [12].

Wanneer men bovenstaande toepast op het probleem van dit onderzoek dan kan de Koninklijke Marine als klant worden gezien en een AIP systeem als het te verwerven nieuwe product. De prestatie van een AIP systeem kan dan ook beoordeeld worden op de drie genoemde kenmerken: functionaliteit, beschikbaarheid en gebruikskosten. In figuur 5-1 wordt dit in een model weergegeven



figuur 5- 1: kwaliteitsmodel [12]

De kenmerken functionaliteit, beschikbaarheid en gebruikskosten, hebben invloed op elkaar. Als bijvoorbeeld, door een te hoge storingsgraad de beschikbaarheid van een product lager wordt, betekent dit dat enerzijds de functionaliteit wordt aangetast. Het product is immers te vaak niet in staat de functie te vervullen. Anderzijds zal een lagere beschikbaarheid direct gevolgen hebben voor de gebruikskosten. Het product zal meer onderhoud nodig hebben dan gepland waardoor de gebruikskosten stijgen. Kortom, zodra er aan één van de elementen van kwaliteit iets veranderd heeft, dat direct gevolgen voor de overige elementen en dus voor de kwaliteit van het product.



De kwaliteit van een AIP systeem zal beoordeeld worden op zowel beschikbaarheid als gebruikskosten bij een vereiste functionaliteit, die door de gebruiker vastgesteld is (zie paragraaf 4.2). Bovenstaande theorie en model vormen het kader voor de beoordelingsmethode.

### 5.3 Beoordelingsmethode

Voorgaande hoofdstukken en paragrafen hebben een kader geschetst voor een beoordelingsmethode van AIP systemen, die onderling verschillend zijn in toegepaste technologie, maar dezelfde functie kunnen vervullen.

Het kader van de beoordelingsmethode wordt gevormd door:

1. kwaliteitsmodel (paragraaf 5.2),
2. geïdentificeerde deelfuncties (paragraaf 4.7),
3. vereiste functionaliteit (paragraaf 4.2),
4. theoretische achtergrond (hoofdstuk 3).

Zoals aangegeven gaat een methode uit van een vaste, weldoordachte manier van handelen om een bepaald doel te bereiken.

Het doel van de beoordelingsmethode is om uiteindelijk vier AIP systemen onderling te kunnen vergelijken ondanks verschil in toegepaste technologie.

De vaste en weldoordachte manier om dit doel te bereiken wordt bereikt door het kwaliteitsmodel stapsgewijs uit te werken. De stappen worden als volgt genomen:

1. analyse van de functionaliteit,
2. analyse van de beschikbaarheid,
3. analyse van de gebruikskosten,
4. beoordeling kenmerken m.b.v ratio's

De stappen worden één voor één doorlopen.

#### Functionaliteit van een AIP systeem

De vereiste functionaliteit van een AIP systeem heeft drie componenten: functie, gebruikseisen en beschikbaarheidseis. Alle componenten zijn reeds besproken, echter de te vervullen functie is van direct belang voor de beoordelingsmethode en wordt derhalve hier nog een keer genoemd. De te vervullen functie van een AIP systeem is:

#### het leveren van buitenluchtonafhankelijke elektrische energie

Deze functie vormt het uitgangspunt van de beoordelingsmethode omdat het een 'bekende' (eis van de gebruiker) is en omdat gebleken is dat alle vier AIP systemen te decomponeren zijn in dezelfde deelfuncties.

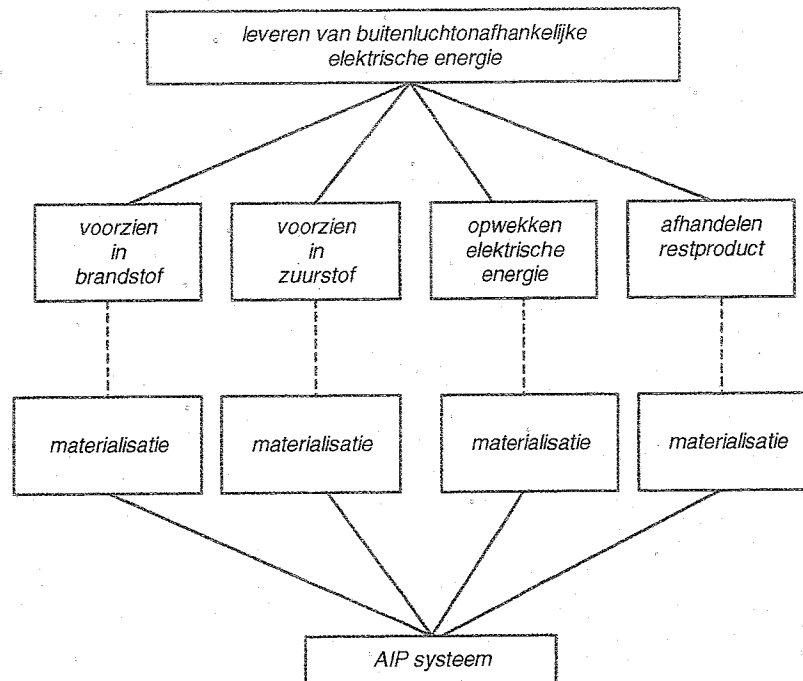
Een bekende methode bij het ontwerpen van producten is 'fasering op basis van inhoudelijke aspecten'. Een dergelijke methode wordt omschreven in de VDI 2222<sup>1</sup> waarin het denkproces van de ontwerper wordt gevolgd. Kortom, decompositie van functies en compositie van materialisaties van benodigde taken om de functies te kunnen vervullen [12].

Dit proces kan gebruikt worden bij het beoordelen van AIP systemen om ze onderling te kunnen vergelijken op basis van geleverde kwaliteit. Door uit te gaan van de functionele decompositie kunnen deelfuncties afzonderlijk beoordeeld en dus vergeleken worden. Maar ook een systeem als geheel (dus het totaal van de deelsystemen) kan beoordeeld worden. Dit wordt toegelicht a.d.h.v. figuur 5.2. In deze figuur worden de afzonderlijke deelfuncties door een zogenaamde materialisatie verwezenlijkt. De materialisatie is dus de technische invulling waarmee de deelfunctie vervuld wordt. De AIP systemen vullen de materialisatie verschillend in zoals in tabel 4-6 wordt weergegeven. De *materialisatie van de deelfunctie* kan beoordeeld worden op *beschikbaarheid* en *gebruikskosten*. De beoordeling van de materialisaties van de vier deelfuncties samen leveren een beoordeling van de gehele functie.

Door beoordeling van de deelfuncties is het mogelijk een goed inzicht te krijgen in de sterke en zwakke punten van een AIP systeem. Zo kunnen, bijvoorbeeld, de gebruikskosten van de voorziening

<sup>1</sup> VDI is de Verein Deutsche Ingenieure en nummer 2222 behelst een methode voor het ontwerpen van producten.

van brandstof onderling vergeleken worden maar kan deze ook afgezet worden tegen de gebruikskosten voor de opwekking van elektrische energie.



figuur 5- 2: functionele decompositie en compositie van materialisatie van een AIP systeem conform VDI 2222

### Beschikbaarheid van een AIP systeem

Uit de theorie komt naar voren dat beschikbaarheid of *availability* in een drietal basisvormen uitgedrukt kan worden: *inherent availability*, *achieved availability* en *operational availability*. Alle drie basisvormen gaan uit van betrouwbaarheid en onderhoudbaarheid van een systeem. De benadering van de betrouwbaarheid is dezelfde, het verschil zit in de benadering van onderhoud en onderhoudbaarheid. De eerste genoemde vorm neemt alleen correctief onderhoud in beschouwing. De tweede vorm gaat verder en neemt ook preventief onderhoud mee in de benadering. De laatste vorm, *operational availability*, neemt beide soorten onderhoud mee maar ook de vertragingstijden dat dit onderhoud veroorzaakt. De vertragingstijd is in een militair maritieme omgeving van groot belang voor de beschikbaarheid van een systeem. De onderhoudscapaciteit aan boord (en zeker op een onderzeeboot op zee) is immers beperkt, dit geldt voor zowel middelen als personeel. Is er te weinig capaciteit aan boord dan zal onderhoud aan de wal plaats moeten vinden. Er treedt dan een aanzienlijke vertraging van het vereiste onderhoud op om het systeem weer volledig beschikbaar te krijgen.

Alhoewel de *operational availability*<sup>ii</sup> de meest complexe van de drie is, zal deze vorm het meest geschikt zijn voor beoordeling van de beschikbaarheid van een systeem in een militair maritieme omgeving. De *operational availability* (zie [bijlage D](#)) kan gezien worden als een **ratio voor de beschikbaarheid** van een AIP systeem.

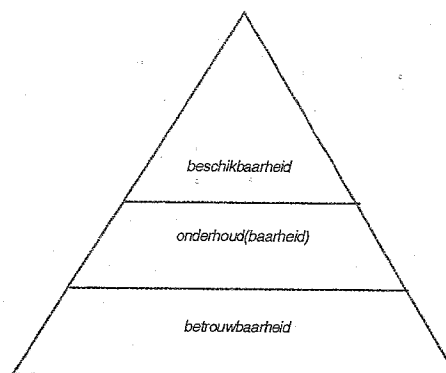
Nu vastgesteld is welke vorm van beschikbaarheid beoordeeld wordt, volgt de vraag hoe de beschikbaarheid van een systeem bepaald gaat worden?

Bij de analyse van de functionaliteit is naar voren gekomen dat de materialisatie van de deelfuncties beoordeeld wordt op beschikbaarheid en gebruikskosten. De deelfunctie met de laagste beschikbaarheid zal de beschikbaarheid van het gehele systeem bepalen, ofwel de zwakste schakel bepaalt de beschikbaarheid van het geheel.

<sup>ii</sup> De KM definieert de term *operational availability* als: *de beschikbaarheid, rekening houdend met het feit dat de tijd, die verstrijkt voordat een installatie weer beschikbaar is niet alleen bepaald wordt door de reparatietijd, maar ook door andere logistieke tijden zoals aanvoertijd van onderdelen naar een buitenlandse haven....[4]*.

Om de beschikbaarheid van de deelfuncties te bepalen wordt eerst teruggegaan naar de theorie. Beschikbaarheid van een systeem is afhankelijk van zowel de betrouwbaarheid als onderhoud(baarheid). Is de betrouwbaarheid van een systeem hoog, dus weinig storingen, dan zal een hoge beschikbaarheid het gevolg zijn. De onderhoudbaarheid hoeft in dit geval niet bijzonder hoog te zijn vanwege de hoge betrouwbaarheid. Wil men eenzelfde beschikbaarheid hebben als er sprake is van een lagere betrouwbaarheid, dan zal de onderhoudbaarheid omhoog moeten om toch aan dezelfde beschikbaarheid te kunnen voldoen.

Uit bovenstaande blijkt dat het startpunt voor de bepaling van beschikbaarheid vaak de betrouwbaarheid is. De betrouwbaarheid geeft aan hoe hoog de storingsgraad is en dus hoeveel onderhoud gepleegd moet worden om beschikbaarheid te garanderen. Deze 'bottum up approach' wordt in figuur 5-3 weergegeven.



figuur 5- 3: bottum up approach

De betrouwbaarheid van een systeem is in paragraaf 3.4 uitgebreid besproken. Een bepalende graadmeter voor betrouwbaarheid is de storingsgraad (of MTBF). Vaak is sprake van een scala aan mogelijke storingen die kunnen optreden, echter niet alle storingen hebben directe invloed op de beschikbaarheid van een systeem. De storingen die wel direct de beschikbaarheid van een systeem beïnvloeden zijn de zogenaamde 'availability killers'.

Voor de beoordeling van de beschikbaarheid zal worden uitgegaan van deze 'availability killers' om te voorkomen dat er een eindeloze lijst aan storingen geanalyseerd moet worden, die geen invloed hebben op de directe beschikbaarheid. Gezien de 'bottum up approach' betekent dit dat alleen de storingen in de categorie 'availability killers' de analyse van onderhoudbaarheid halen. Bij de behandeling van *operational availability* is aangegeven dat er bij deze vorm van beschikbaarheid zowel correctief- als preventief onderhoud wordt meegenomen en dat de logistieke- en reparatietijd een onderdeel van deze vorm van beschikbaarheid zijn. De analyse van onderhoudbaarheid zal deze kenmerken in beschouwing moeten nemen.

Bijlage B geeft aan hoe bovenstaande theorie van de beoordelingsmethode geconcretiseerd wordt, hierbij wordt gebruik gemaakt van methoden die bij de KM bekend zijn.

### Gebruikskosten van een AIP systeem

Dat de beoordelingsmethode zich richt op de exploitatiefase, en dus gebruikskosten, is vastgelegd bij de afbakening van het onderzoek. Daarnaast is in de theorie naar voren gekomen dat gebruikskosten een groot deel van de levensduurkosten bepalen (zie ook bijlage C). Eveneens is in de theorie naar voren gekomen dat er vele interpretaties zijn van kostenposten die onder de gebruikskosten vallen. De conclusie die hieruit volgt is dat er voor de beoordelingsmethode gebruikskosten nauwkeurig gedefinieerd moeten worden. Hierin zal naar voren moeten komen over welke periode de gebruikskosten berekend worden. De gebruikskosten zullen een duidelijke onderverdeling naar kostenposten moeten hebben.

#### Exploitatiefase

Wanneer de exploitatiefase begint en eindigt is niet bekend. Het start- en eindpunt zijn afhankelijk van het tijdstip van implementatie van een AIP systeem. Een AIP systeem wordt eventueel geïmplementeerd gedurende de 'upgrade' van de Walrusklasse-onderzeeboot. De 'upgrade' zou rond 2010 plaats moeten vinden en de Walrusklasse-onderzeeboot voor haar taken inzetbaar moeten houden tot ongeveer 2025. Voor de beoordelingsmethode wordt derhalve uitgegaan van een **exploitatiefase van 15 jaar** onafhankelijk van het tijdstip van implementatie (zie ook afbakening van het onderzoek).

#### Identificatie kostenbronnen d.m.v. de ABC methode en vaststellen gebruikskosten

Voor het identificeren van de kostenposten die samen de gebruikskosten van een AIP systeem vormen wordt gebruik gemaakt van de 'Activity Based Costing' (ABC) methode. De theorie van deze methode is in paragraaf 3.7 behandeld, hier wordt de ABC methode toegepast om de gebruikskosten van een AIP systeem te identificeren. De ABC methode gaat uit van twee fasen:

1. handelingen groeperen tot activiteiten en de aan de activiteiten verbonden kosten sommeren in een costpool,
2. costpool doorberekenen naar producten aan de hand van costdrivers.

De twee fasen worden één voor één behandeld.

De **eerste fase** start met het vaststellen van een set activiteiten, welke representatief zijn voor alle handelingen die t.b.v. een AIP systeem worden uitgevoerd. Het kiezen van het juiste aggregatieniveau is hierbij van belang. Een te gedetailleerd niveau zal snel leiden tot een te complex systeem waarbij het verzamelen van informatie veel tijd vergt. Het dient een compromis te zijn tussen de mate van detail enerzijds en de inzichtelijkheid anderzijds [10].

Een activiteit wordt omschreven als een groep samenhangende handelingen. Een taak wordt omschreven als datgene dat gedaan moet worden, opdat een bijdrage tot stand komt zodat, een functie vervuld kan worden (zie paragraaf 3.3). Taken ten behoeve van een functievervulling kunnen gezien worden als een groep samenhangende handelingen, waarmee een activiteit overeenkomt met een te vervullen functie. Hiermee is een keuze van de set activiteiten eenvoudig en is het aggregatieniveau vastgelegd. De *set activiteiten* is overeenkomstig met de deelfuncties:

- voorzien in brandstof,
- voorzien in zuurstof,
- opwekking elektrische energie,
- afhandelen restproduct.

Het aggregatieniveau is de juiste gezien de overeenkomst met de deelfuncties waarmee de kostenverdeling goed inzichtelijk is. De mate van detail zal voldoende zijn omdat de beoordelingsmethode uitgaat van de gebruikskosten van de materialisatie van een deelfunctie. Per activiteit worden de kosten nu samengebracht in een *costpool*. In eerste instantie worden hier kosten in opgenomen die direct door die activiteit gebruikt worden (loonkosten, materiaalkosten, energiekosten, enz). Vervolgens worden de *costpools* van de ondersteunende activiteiten doorberekend naar die activiteiten waarvoor ze worden uitgevoerd. Deze ondersteunende activiteiten worden doorberekend m.b.v. een verdeelsleutel. De verdeelsleutel zal situatie afhankelijk zijn, maar zij dienen een reële afspiegeling te zijn van de factoren die de kosten bepalen. De verdeelsleutel zal in principe op rationele basis geschieden. Is dit niet mogelijk dan zal een arbitraire verdeling nodig zijn [10] (zie bijlage F voor uitwerking van de *costpools*).

In de **tweede fase** worden *costdrivers* geselecteerd. De *costdrivers* worden zo gekozen dat ze de kosten bepalende factoren representeren en zullen dus per activiteit een ander karakter hebben. Bij het kiezen van de *costdriver* wordt als referentie eenheid kWh gebruikt. Een AIP systeem zal primair elektrische energie (uitgedrukt in kWh) leveren. Er blijkt een gemeenschappelijke *costdriver* voor alle afzonderlijke activiteiten te zijn: draaiuren per kWh (zie bijlage F).

Middels een *costdriver* kan per kWh opgewekte elektrische energie de gebruikskosten van een deelfunctie bepaald worden. Kortom, de **ratio** voor de beoordeling van gebruikskosten per deelfunctie zijn de **gebruikskosten per kWh**.

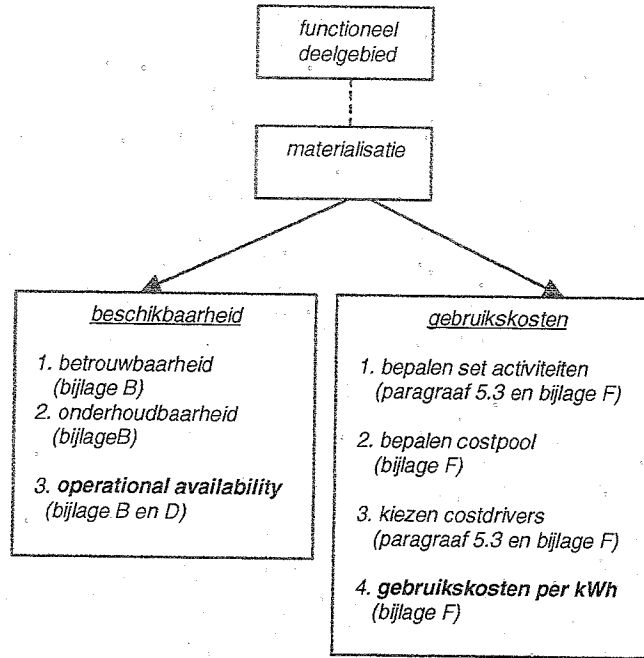
### Beoordeling van een AIP systeem

De laatste fase van de beoordelingsmethode is het beoordelen van de materialisatie van de functionele deelgebieden op beschikbaarheid en gebruikskosten. De volgende ratio's zijn bepaald, waarmee de beoordeling kan plaatsvinden:

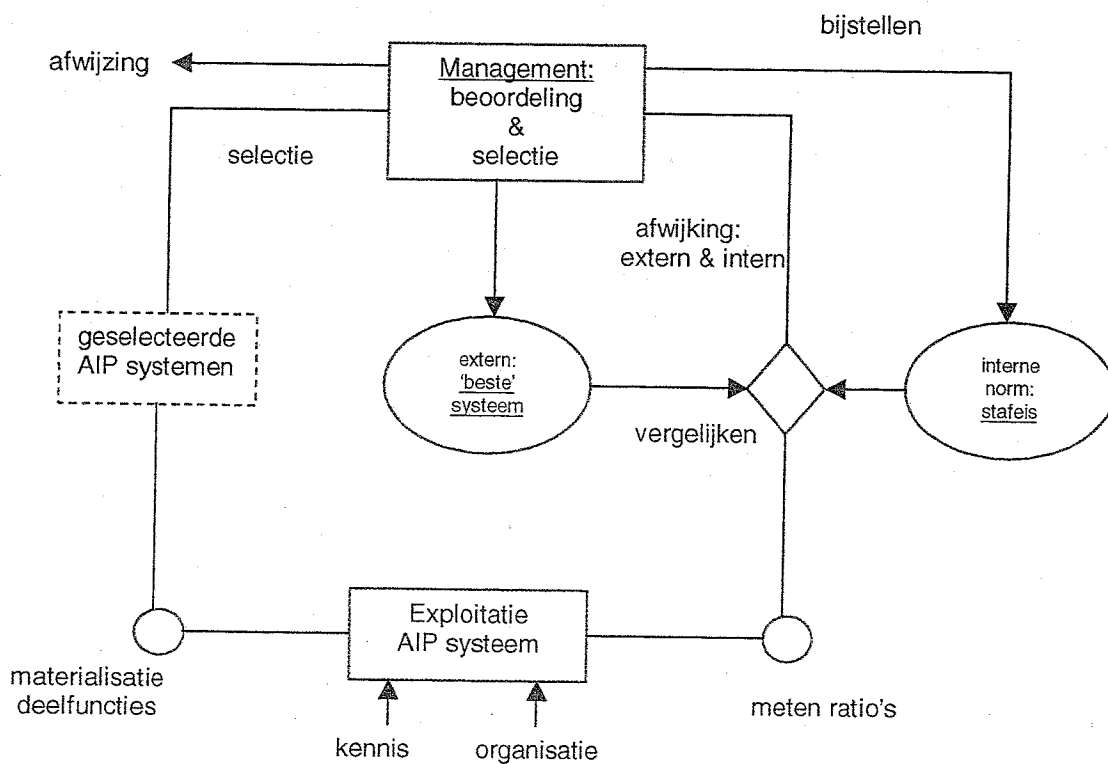
- beschikbaarheid – *operational availability*,
- gebruikskosten – *kosten per kWh*.

Indicatoren (ratio's) kunnen worden gebruikt voor het vaststellen van de geleverde waarde (kwaliteit) van een product voor de organisatie door ze zowel intern te vergelijken (norm) als extern te vergelijken (andere producten). Vervolgens kan op grond van de geconstateerde afwijkingen beslissingen genomen worden en /of bijgestuurd worden. In een productie omgeving spreekt men dan van een regelkring voor een onderneming, zowel op strategisch, tactisch als executie niveau [12].

Voor de beoordeling van AIP systemen zal een dergelijke regelkring worden toegepast waarbij sturing plaatsvindt op grond van de gemeten ratio's. Figuur 5-3 geeft stapsgewijs aan hoe de ratio's te meten en in figuur 5-4 wordt het beoordelingsproces gepresenteerd. Aan de hand van figuur 5-4 wordt dit proces besproken.



figuur 5- 3: meten ratio's: beschikbaarheid en gebruikskosten



figuur 5- 4: beoordelingproces AIP systemen

Uitgangspunt van de regelkring zijn de geselecteerde AIP systemen die aan een deel van vereiste functionaliteit voldoen, namelijk functie en gebruikseisen. Of het systeem aan de beschikbaarheidseis voldoet is een van de vragen die gedurende het beoordelingsproces beantwoord wordt.

Doormiddel van de regelkring zullen deze systemen beoordeeld worden aan de hand van de ratio's uit figuur 5-3. Deze ratio's zijn het resultaat van analyse van een systeem als ware het in exploitatie, waarbij het systeem wordt beïnvloed door de organisatie (bijvoorbeeld inzet en onderhoud) en door de aanwezige kennis in de organisatie.

Gedurende de 'exploitatie' worden de ratio's gemeten en vergeleken met een interne norm, de stafeis, en een externe norm die bepaald wordt door het tot dan toe beste systeem waarvan de ratio's gemeten zijn. Het kan voorkomen dat de interne norm in het slechtste geval te hoog is (geen van de systemen kan aan de stafeis voldoen) en in een gunstig geval te laag (alle systemen voldoen aan de interne norm). In dat geval kan het management besluiten de interne norm bij te stellen.

Uit figuur 5-4 komt naar voren dat alleen de 'beste' AIP systemen de regelkring doorkomen en weer in de pool geselecteerde AIP systemen terecht komen. In het geval er meerdere systemen geselecteerd worden kan een tweede ronde worden doorlopen waarbij de beoordelingsmethode meer uitgewerkt wordt, d.w.z. op een lager aggregatieniveau wordt beoordeeld. De cyclus kan een aantal keer herhaald worden waarbij iedere keer op een lager aggregatieniveau beoordeeld wordt.

Het resultaat van de regelkring van het beoordelingsproces is dat het management kan beoordelen en selecteren op grond van de ratio's *operational availability* en *gebruikskosten per kWh*. Hierbij wordt opgemerkt dat de *operational availability* typisch een ratio is die aan de stafeis (beschikbaarheidseis) kan worden getoetst en dat de daarbijbehorende *gebruikskosten per kWh* typisch een ratio is die met externe gegevens getoetst kan worden.



## 6 Gegevens

### 6.1 Inleiding

Bij de behandeling van de opdrachtformulering komt de vraag naar voren hoe de gewenste gegevens voor implementatie van de beoordelingsmethode te vergaren. Om een juiste beoordeling te kunnen doen zijn betrouwbare gegevens noodzakelijk die dan ook beschikbaar moeten zijn. Over het algemeen vergt het veel tijd om aan de juiste gegevens te komen, zeker als het om gegevens van relatief nieuwe producten gaat zoals een AIP systeem. In dit hoofdstuk zal een werkwijze worden voorgesteld waarmee de gewenste gegevens eenvoudig en snel verzameld kunnen worden. Er is een aantal probleemgebieden te identificeren, die in paragraaf 6.2 worden behandeld. Vervolgens worden afzonderlijk de werkwijze voor de gegevensverzameling ten behoeve van het vaststellen van beschikbaarheid en gebruikskosten in de respectievelijke paragrafen 6.3 en 6.4 behandeld. Afsluitend worden in de laatste paragraaf enkele aanbeveling gedaan in het kader van de gegevensverzameling in de praktijk.

### 6.2 Probleemgebieden

Alvorens een werkwijze voor gegevensverzameling te kunnen ontwikkelen is het van belang vast te stellen welke probleemgebieden zich kunnen voordoen bij het verzamelen van gegevens. Voor de beoordeling van een AIP systeem, middels de ontwikkelde methode, worden twee verschillende kenmerken gekwantificeerd: beschikbaarheid en gebruikskosten. De achterliggende theorie en de benodigde gegevens zijn zo afwijkend van elkaar dat zij afzonderlijk worden besproken. Dit geldt ook voor de probleemgebieden. Eerst zullen de probleemgebieden voor gegevens t.b.v. het bepalen van de beschikbaarheid (en dus betrouwbaar- en onderhoudbaarheid) worden behandeld. Daarna komen die van de gegevensverzameling t.b.v. de gebruikskosten aan bod.

#### Betrouwbaarheid en onderhoudbaarheid

De beschikbaarheid en betrouwbaarheid van benodigde gegevens is grotendeels afhankelijk van het ontwikkelingsstadium waarin desbetreffend AIP systeem zich bevindt. Met name gegevens omtrent de betrouwbaarheid van componenten ontstaan gedurende het daadwerkelijk in gebruik zijn van een systeem. Eén van de conclusies uit hoofdstuk 4 is dat er een groot verschil is in het ontwikkelingsstadium van de AIP systemen die beoordeeld moeten worden. Dit grote verschil kan een probleem geven daar waar het gaat om de zelfde mate van beschikbaarheid van gegevens en daaraan gekoppeld de betrouwbaarheid van die gegevens. De objectiviteit van de beoordeling kan hierdoor aangetast worden, aangezien er bij gebrek aan direct van het systeem verkregen gegevens, gebruik gemaakt moet worden van secundaire databronnen. Hierdoor worden aannames gedaan, gebaseerd op de secundaire databronnen. Hoe meer van dit soort aannames gedaan worden, des te meer de objectiviteit wordt aangetast.

Indien een systeem al geruime tijd op de markt verkrijgbaar is dan zullen er voldoende gegevens aanwezig zijn, vooral bij de leverancier. Het is echter nog maar de vraag of de leverancier de gegevens wel wil leveren ondanks dat er een mogelijke verkoop mee gemoeid is. Het gaat om betrouwbaarheid en onderhoudbaarheid gegevens die al gauw tot bedrijfsgeheim worden gerekend. Daarbij bestaat de kans dat als een leverancier gegevens wil leveren deze een te rooskleurige situatie wil voordoen komen, ofwel de betrouwbaarheid van de geleverde gegevens kan in het geding zijn.

Een van de laatste mogelijke struikelblokken m.b.t. gegevensverzameling op dit gebied is dat de AIP systemen over het algemeen 'state of the art' producten zijn waar vaak nieuwe componenten of technologieën worden toegepast. In dat geval ontbreken zowel de primaire als secundaire databronnen.

#### Gebruikskosten

In voorgaand hoofdstuk zijn de *costpools* geïdentificeerd en is bepaald dat 'draaiuren per kWh' als *costdriver* fungeert voor alle activiteiten. Voor het vaststellen van de gebruikskosten is een eerste vereiste dat de hoogte van iedere kostenpost in de *costpool* ingeschat wordt. De inschatting zal gebaseerd moeten zijn op de te verwachten kosten gedurende de exploitatieperiode van 15 jaar. Het grootste probleem is hiermee direct naar voren gekomen. Er zal in de toekomst 'gekeken' moeten worden om de gebruikskosten vast te stellen.



Een tweede vereiste is dat het aantal te genereren kWh gedurende de exploitatiefase van een AIP systeem ingeschat moet worden. Evenals bij het vorige probleemgebied zal er in de toekomst 'gekeken' moeten worden.

### 6.3 Gegevensverzameling ten behoeve van vaststellen 'beschikbaarheid'

Om de gegevens zo eenvoudig en snel mogelijk te kunnen verzamelen, rekening houdend met de geïdentificeerde probleemgebieden, zal een stappenplan uitgewerkt worden. Uitgangspunt van de stappen is beschikbaarheid en kwaliteit van de geleverde gegevens.

De weg van de minste weerstand is om gebruik te maken van de leverancier (primaire databron), waarbij de betrouwbaarheid gewaarborgd dient te worden. Tweede stap is het gebruik van een secundaire databron waarbij de objectiviteit een belangrijk punt van aandacht is. Laatste mogelijkheid betreft het gebruik van expertise binnen en buiten de KM. De laatste vorm is het meest riskant omdat de kwaliteit moeilijk te garanderen is, het gaat immers vaak om ervaringen van anderen die vaak niet door wetenschap zijn onderbouwd. Daarnaast is het een tijdrovende zaak omdat de deskundige eerst moet worden ingewijd in de problematiek en daarna een oordeel moet vormen.

In bovenstaande is aangegeven dat bij de gegevensverzameling gebruik gemaakt wordt van de volgende gegevensbronnen:

1. Leverancier;
2. Databanken;
3. Expertise.

De gegevensbronnen worden meer in detail beschreven waarna een algemene werkwijze in figuur 6-1 wordt weergegeven.

#### Leverancier

In voorgaande paragraaf zijn mogelijke probleemgebieden m.b.t. gegevens van leveranciers beschreven. De kwaliteit van gegevens van leveranciers wordt duidelijk zodra deze ontvangen en verwerkt zijn en zullen getoetst moeten worden aan secundaire databronnen. Er kunnen derhalve in dit stadium nog geen uitspraken over gedaan worden. Hier wordt volstaan met een opsomming (tabel 6-1) van de diverse leveranciers van de desbetreffende AIP systemen.

| AIP systeem                         | Leverancier                                  |
|-------------------------------------|--|
| Closed Cycle Diesel                 | Rotterdamse Droogdok Maatschappij (RDM)      |
| Stirlingmotor                       | Kockums (Zweden)                             |
| Polymere brandstofcel metaalhybride | Howaldtswerke Deutsche Werf (HDW, Duitsland) |
| Polymere brandstofcel methanol      | Howaldtswerke Deutsche Werf (HDW, Duitsland) |

tabel 6- 1: AIP systemen versus leverancier

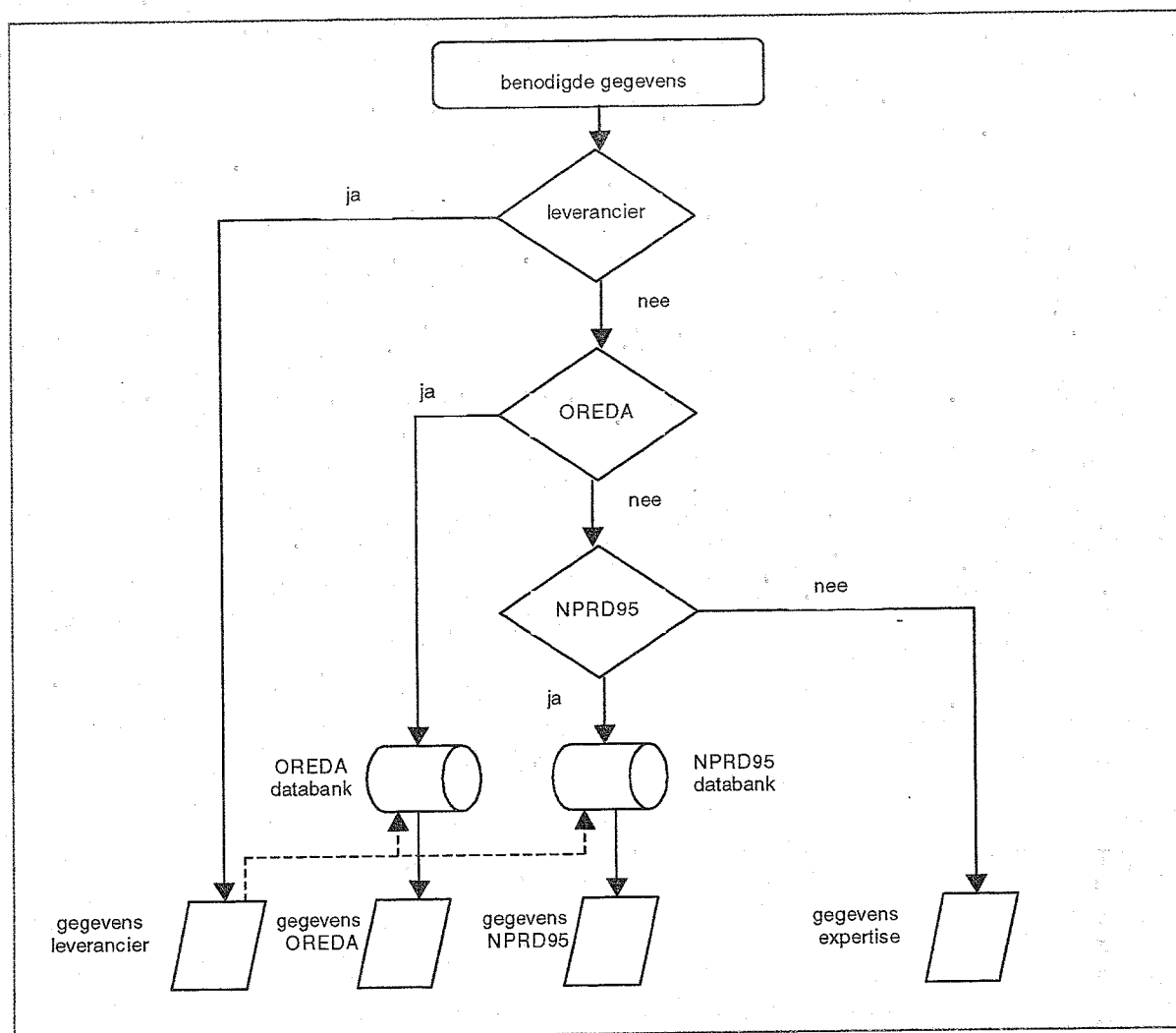
#### Databanken

Om toch de benodigde gegevens te verzamelen wanneer de leverancier niet kan of wil voorzien in informatie, wordt gebruik gemaakt van twee databanken:

1. OREDA: Offshore Reliability Data
2. NPRD95: Nonelectronic Parts Reliability Data

Beide databanken worden kort toegelicht waarna de plaatsing in het flowschema (figuur 6-1) wordt toegelicht.

De ORDEA databank is ontstaan uit een samenwerkingsverband in de offshore industrie waarin diverse grote offshore ondernemingen deelnemen. De laatste verkrijgbare databank (handboek) is uit de zogenaamde derde fase en is in 1997 uitgegeven. De informatie uit de ORDEA databank is in dit onderzoek te gebruiken omdat reliability data eveneens failuremodes, failure descriptors en maintainability data worden verstrekt van 7600 installaties/componenten. De failuremode en descriptors zijn van direct belang voor de FMECA en RCM analyse, terwijl de maintainability data voorzien in informatie voor de MTA. De reliability data zijn per failuremode aangegeven met een



**figuur 6- 1: flowschema gegevensverzameling betrouwbaarheid en onderhoudbaarheid**

verspreiding van de gegevens over de 'normale verdeling' in de kolommen: lower, mean, upper, standaarddeviatie en schatting voor een homogene groep (totaal aantal failures/time in service). De laatste wordt gebruikt tenzij anders aangegeven. Ook kan een keuze gemaakt worden omtrent de periode van waarnemen: absolute kalendertijd of de tijd dat het systeem daadwerkelijk functioneert. De eerste tijd wordt in dit onderzoek gebruikt omdat een AIP systeem niet altijd ingezet hoeft te worden en in de gehele tijd aan een bepaalde minimale beschikbaarheid zal moeten voldoen. Naast de soort informatie die OREDA levert, is de databank geschikt omdat de maritieme omgeving van de offshore veel gelijkenis vertoont met de omgeving waarin de Walrusklasse-onderzeeboot functioneert of gaat functioneren.

De NPRD95 is een databank afkomstig van het Reliability Analysis Center (RAC) en richt zich specifiek op niet-elektronische componenten. De betrouwbaarheidsgegevens in deze databank zijn, net als in de OREDA databank, afkomstig van 'real live' gegevens van (militaire) componenten en houdt rekening met een kwaliteitsniveau en omgevingscondities. Hierin zijn ook maritieme en militair maritieme omgevingscondities opgenomen. Deze databank is toegankelijk via het softwareprogramma 'Relex 7.1' (in gebruik bij KM).

Uit het flowschema in figuur 6-1 blijkt dat, na de leverancier, de OREDA databank als eerste wordt geraadpleegd of de benodigde componenten van een specifieke component aanwezig zijn. De OREDA databank geniet de voorkeur boven de NPRD95 wegens de meer gedetailleerde reliability data en de extra informatie benodigd voor de FMECA, RCM en MTA die direct geleverd wordt.

### Expertise

Wanneer de benodigde gegevens omtrent betrouwbaarheid en onderhoudbaarheid niet via de voorgaande stappen verkregen zijn, dan zal een beroep gedaan worden op expertise zowel binnen als

buiten de KM. Binnen de KM is op dit vlak ondermeer expertise aanwezig bij Marinebedrijf (MB), afdeling engineering van de Onderzeedienst en DMKM/Martech. Buiten de KM valt te denken aan het ECN en TNO, waar het informatie betreft over polymere brandstofcellen. Evenals bij de leveranciers kan in dit stadium nog geen uitspraak gedaan worden over de kwaliteit en betrouwbaarheid van de via deze wegen vergaarde gegevens.

### **Toelichting flowschema**

In figuur 6-1 wordt een flowschema weergegeven waarmee de gewenste gegevens t.b.v. het vaststellen van 'beschikbaarheid' op een zo eenvoudig en snel mogelijke manier verzameld kunnen worden. De volgende opmerkingen worden geplaatst bij het flowschema:

- de door leverancier geleverde data zal steekproefsgewijs gecontroleerd moeten worden middels een vergelijk met de twee aangegeven databanken. Bij twijfel over de betrouwbaarheid van geleverde gegevens kunnen de databanken gehanteerd worden.
- Bij verschillen tussen de twee databanken zal de OREDA databank bepalend zijn vanwege de meer gedetailleerde en onderbouwde informatie.

## **6.4 Gegevensverzameling ten behoeve van vaststellen 'gebruikskosten'**

Uitgangspunt voor de gegevensverzameling ten behoeve van het vaststellen van de gebruikskosten is de *costpool* zoals vastgesteld in bijlage F. Een groot deel van de kostenposten in de *costpool* wordt gevormd door onderhoudskosten. De gevraagde onderhoudscapaciteit is dus een bepalende factor. De gevraagde onderhoudscapaciteit is echter één van de uitkomsten uit de analyse van de beschikbaarheid. Voordat deze fase kan worden uitgevoerd is het van belang dat de analyse van de beschikbaarheid is afgerond. Naast deze onderhoudsgegevens zijn gegevens over grondstoffen van belang. Net als de gevraagde onderhoudscapaciteit, is deze factor afhankelijk van het aantal draaiuren dat gedurende de exploitatiefase gemaakt wordt. Deze draaiuren zijn op hun beurt afhankelijk van de hoeveelheid opgewekte elektrische energie. De bepalende factor is dus de hoeveelheid benodigde draaiuren om één kWh op te wekken. Om de gegevens ten behoeve van het vaststellen van de gebruikskosten te bepalen worden de volgende stappen uitgevoerd:

1. bepaal de hoeveelheid op te wekken kWh elektrische energie gedurende de exploitatie,
2. bepaal hoeveel draaiuren voor de opwekking van één kWh nodig zijn,
3. bepaal hoeveelheid gevraagde onderhoudscapaciteit, onderverdeeld naar soort,
4. bepaal hoeveelheid verbruikte grondstoffen,
5. bepaal de hoogte van de kostenposten in de *costpool*,
6. bepaal het 'tarief' voor de *costdriver*.

De stappen worden uitgewerkt waarbij tevens de gegevensbron wordt behandeld.

### **1. Bepaal hoeveelheid op te wekken kWh elektrische energie gedurende de exploitatie**

Zoals aangegeven bij de behandeling van mogelijke probleemgebieden is dit een bepalende factor voor het vaststellen van de gebruikskosten waarbij een inschatting moet worden gemaakt naar de hoeveelheid op te wekken kWh elektrische energie. Een inschatting brengt per definitie een grote mate van onzekerheid met zich mee.

De hoeveelheid op te wekken kWh elektrische energie gedurende de exploitatiefase wordt bepaald het takenpakket en de frequentie waarmee de taken worden uitgevoerd. Een analyse van deze gegevens is vastgelegd in de confidentiële bijlagen. Ook in deze bijlagen is een minimale beschikbaarheid (beschikbaarheidseis) gepresenteerd als basis voor de te ontwikkelen stafeis. De beschikbaarheidseis, zoals afgeleid, geeft in feite weer hoeveel procent van de exploitatieperiode een AIP systeem wordt ingezet. Op basis van deze beschikbaarheidseis en het minimale nominale elektrische vermogen (vereiste functionaliteit) leveren samen een goede indicatie op van de hoeveelheid op te wekken elektrische energie gedurende de exploitatieperiode van 15 jaar. In de confidentiële bijlage D wordt deze berekening uitgevoerd.

### **2. Bepaal hoeveel draaiuren voor de opwekking van één kWh nodig zijn**

Deze gegevens zijn systeemafhankelijk. Het nominaal elektrisch vermogen is immers een kenmerk van een specifiek AIP systeem. Daarbij moet in ogenschouw worden genomen dat voor een aantal systemen meerdere eenheden nodig zijn om het gewenste nominale elektrische vermogen te kunnen leveren, zie hiervoor ook de systemanalyses in hoofdstuk 4.

### **3. Bepaal hoeveelheid gevraagde onderhoudscapaciteit, onderverdeeld naar soort**

De gevraagde onderhoudscapaciteit van een systeem om aan de gewenste minimale beschikbaarheid te voldoen, wordt vastgelegd in de analyse van de beschikbaarheid van een AIP systeem. De

onderverdeling naar soort is van belang om ze naar kostensoort in te kunnen delen t.b.v. de ABC methode. Onder onderhoudscapaciteit vallen: manuren boordpersoneel, manuren personeel MB, aantal reservedelen en hoeveelheid uitbesteding door MB.

#### 4. Bepaal hoeveelheid verbruikte grondstoffen

De hoeveelheid grondstoffen die verbruikt worden gedurende de exploitatieperiode is afhankelijk van het aantal draaiuren (confidentiële bijlage D) en van het desbetreffende AIP systeem. De hoeveelheid grondstoffen die per draaiuur verbruikt wordt, zal door desbetreffende leverancier geleverd moeten worden.

#### 5. Bepaal de hoogte van de kostenposten in de costpool

De hoogte van de kostenposten in de *costpool* is te bepalen met gegevens die in de voorgaande stappen zijn verzameld en met een aantal tarieven voor de diverse elementen. In de navolgende tabel staat vermeld wat de gegevensbronnen voor de diverse tarieven zijn.

| kostensoort                    | 'tarief'                     | bron       |
|--------------------------------|------------------------------|------------|
| boordpersoneel (CO,PO,MJO/TTO) | kosten manuur                | CZMNED     |
| personeel MB (CO,PO,MJO/TTO)   | kosten manuur                | MB         |
| reservedelen                   | kosten per eenheid           | MB         |
| grondstofkosten                | kosten per eenheid grondstof | CZMNED     |
| uitbestedingen                 | contract                     | contractor |

tabel 6- 2: kostensoort, tarieven en gegevensbronnen

#### 6. Bepaal het 'tarief' voor de costdriver

In hoofdstuk 5 en bijlage F is de costdriver voor alle activiteiten vastgesteld als 'draaiuren per kW'. Het tarief geeft in feite aan hoeveel een draaiuur kost en samen met de vastgestelde 'draaiuren per kW' (stap 2) zijn de gebruikskosten per kWe te bepalen.

Het tarief van een costdriver wordt berekend door alle kosten van de *costpool* te sommeren en deze te delen door het aantal draaiuren gedurende de exploitatieperiode.



## 7 Evaluatie beoordelingsmethode

### 7.1 Inleiding

Nu de beoordelingsmethode is ontwikkeld met daarbij een werkwijze om de gewenste gegevens te verzamelen, is de vraag of de methode naar behoren functioneert. Om deze vraag te beantwoorden wordt de werking van de beoordelingsmethode in dit hoofdstuk geverifieerd middels een casestudy van een fictief AIP systeem. Doelstelling van de casestudy is enerzijds de werking van de beoordelingsmethode te evalueren en anderzijds als leidraad te dienen voor toepassing van de beoordelingsmethode. Er is gekozen voor een casestudy, met eenvoudig AIP systeem in plaats van één van de AIP systemen, om de evaluatie inzichtelijk en uitvoerbaar te houden. Beoordeling van een 'echt' AIP systeem leidt al snel tot te veel diepgang en vergt dan te veel tijd en komt de inzichtelijkheid niet ten goede. De casestudy zal alle aspecten van de beoordelingsmethode en werkwijze voor gegevensverzameling belichten.

De opbouw van dit hoofdstuk is als volgt. Allereerst zal de case worden gepresenteerd, daarna wordt de beoordelingsmethode geïmplementeerd voor de case waarin de methode wordt toegepast en een beoordeling volgt. In de laatste paragraaf zullen de conclusies van de evaluatie gepresenteerd worden.

### 7.2 Casestudy: 'De BOVI'

De casestudy zal een fictief AIP systeem presenteren onder de naam 'BOVI' (Buitenlucht Onafhankelijke Voortstuwing Installatie).

De regering van Blueland, lid van de NAVO, heeft besloten haar onderzeeboten (Orcaklasse) uit te rusten met een buitenluchtonafhankelijk voortstuwingssysteem voor de (rest)levensduur van 15 jaar. De marine van Blueland heeft daarop onderzoek gedaan naar de toepasbaarheid van de op de markt beschikbare systemen. De resultaten van dit technische georiënteerd onderzoek logen er niet om. De BOVI en de BRACE (BRAndstof Cel) bleken de enige systemen te zijn die aan de functionaliteits-eisen van Blueland voldeden. De BOVI is ontwikkeld door het bedrijf 'SUBFACT' en is gevestigd in Greenland, een NAVO partner. De BRACE is ontwikkeld door de firma 'BATCAP' en is eveneens gevestigd in Greenland. Aangezien de Koude Oorlog met Redland al meer dan een decennia achter de rug is, is ook het defensiebudget van Blueland drastisch gekrompen. Om te onderzoeken of de BOVI of de BRACE technisch bedrijfskundig gezien de juiste keuze is, zal het bureau Integrated Logistic Support de kwaliteit van beide systemen gaan beoordelen. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een beoordelingsmethode en werkwijze voor gegevensverzameling, ontwikkeld door een student technische bedrijfskunde.

De BRACE heeft het beoordelingsproces doorlopen en de resultaten daarvan komen terug in de beoordeling van beide systemen. Hierna zal de BOVI het proces in zijn geheel doorlopen.

#### Algemeen

De BOVI is een AIP systeem dat als een complete sectie in de bestaande romp van de Orcaklasse-onderzeeboot wordt geplaatst. De leverancier 'SUBFACT' heeft ruime ervaring in het plaatsen van dit soort secties in soortgelijke onderzeeboten, waarbij problemen voor de rest van de boot (leidingen, bekabeling, trimcapaciteit enz.) worden opgelost. De BOVI zal een toevoeging zijn op de bestaande diezelelektrische voortstuwingsconfiguratie, de zogenaamde hybride vorm.

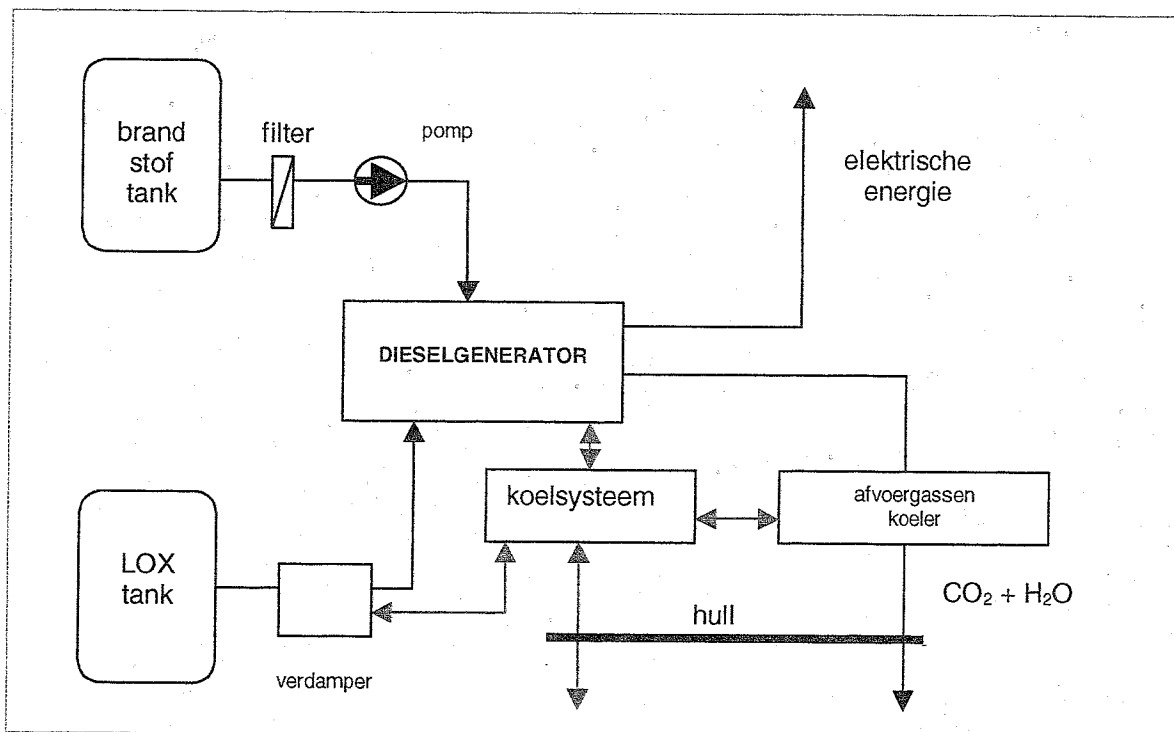
De BOVI is het nieuwste 'state of the art' product van 'SUBFACT' op het gebied van buitenluchtonafhankelijke voortstuwingssystemen. Een aantal componenten is in het verleden toegepast op andere AIP systemen van 'SUBFACT' en een deel is nieuw en specifiek voor dit product ontworpen.

#### Systeemomschrijving BOVI

(De BOVI is een eenvoudig systeem om de evaluatie eenvoudig en inzichtelijk te houden. Aspecten aangaande de veiligheid en operationele inzet zijn daarom buiten beschouwing gebleven.)

De kern van de BOVI wordt gevormd door een dieselgenerator installatie. Als brandstof wordt 'gewone' F76 dieselolie gebruikt en de zuurstof wordt in vloeibare vorm (LOX) meegenomen in een goed geïsoleerde tank. De restproducten (afvoergassen) worden door koeling gecondenseerd en daarna buitenboord gebracht. Een watermanagementsysteem is niet nodig aangezien er verbranding onder zeer hoge druk plaatsvindt. In figuur 7-1 is de BOVI schematisch weergegeven.

Zoals aangegeven is de BOVI een nieuw product van 'SUBFACT' waarin een aantal bestaande componenten is opgenomen en een aantal specifiek voor dit systeem ontworpen componenten. Onder bestaande componenten vallen: brandstofsysteem, koelsysteem en afvoergassenkoeler. De dieselgenerator is wel voor dit systeem ontworpen maar kan niet als een nieuwe technologie worden gezien. Er zijn vele soortgelijke systemen op de wereld. Het zelfde geldt voor de pompen, verdamper en filters. Wel kan de opslag, distributie van vloeibare zuurstof als een nieuwe technologie worden gezien wanneer toegepast in een onderzeeboot.



figuur 7- 1: schematische voorstelling van de BOVI

### Organisatie Blue NAVY en Onderhoudsbedrijf

De algemene organisatie van de Blue Navy is typisch NAVO georiënteerd. Aan het hoofd staat de bevelhebber die verantwoordelijkheid aflegt aan de minister. Onder de bevelhebber staan de regionale commandanten en een aantal directies. De directie die verantwoordelijk is voor de verwerving en instandhouding van materieel is de Directeur Materieel Blue Navy (DMBN).

In tegenstelling tot vele andere NAVO lidstaten kan de Blue Navy gebruik maken van het eigen Navy Bedrijf, afgekort tot NB. Voor de instandhouding van haar onderzeeboten van de Orcaklasse stellen het NB en de regionale bevelhebber een convenant op waarin het beschikbare budget t.b.v. onderhoud, in iedere vorm, wordt vastgelegd. In bijlage L zijn organogrammen opgenomen en wordt een toelichting gegeven op samenwerking tussen de Blue Navy en het NB.

### 7.3 Implementatie beoordelingsmethode

De case is bekend en de beoordelingsmethode kan nu toegepast worden. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de theorie uit hoofdstuk 5 en 6.

De beoordelingsmethode gaat uit van het kwaliteitsmodel (figuur 5-1). Het uitgangspunt van dit model is dat de kwaliteit van een product bepaald wordt door de kenmerken: functionaliteit, beschikbaarheid en gebruikskosten. Deze kenmerken worden één voor één geanalyseerd conform het stappenplan van de beoordelingsmethode:

1. analyse van de functionaliteit,
2. analyse van de beschikbaarheid,
3. analyse van de gebruikskosten,
4. beoordeling van de kenmerken m.b.v. ratio's.

Bij iedere stap zal worden aangegeven hoe deze is uitgevoerd. Daartoe wordt per stap opzet en gegevensverzameling behandeld. De concrete uitwerking vindt u in bijlage L. In paragraaf 7.4 kunt u de conclusies per stap terug vinden.

### 1. Analyse van de functionaliteit

#### opzet:

Aan de basis voor de analyse van de functionaliteit van de BOVI ligt de stafeis zoals die door Blue Land is opgesteld. In de stafeis is een algemene functieomschrijving bepaald: *het leveren van buitenlucht onafhankelijke elektrische energie* overeenkomstig de beoordelingsmethode. Naast de functieomschrijving zijn er gebruikseisen opgesteld waaraan de BOVI voldoet. De BOVI wordt dus beoordeeld op de kenmerken *beschikbaarheid* en *gebruikskosten* bij een vereiste *functionaliteit*.

Volgende stap in de analyse betreft de uitwerking van de functionele decompositie, zoals aangegeven in figuur 5-2. Dit betekent dat er een concrete technische invulling gegeven gaat worden aan de verschillende functionele deelgebieden, kortom een inventarisatie van de materialisatie van de functionele deelgebieden (tabel L-1). Daarna wordt per component per functioneel deelgebied bepaald welke functie die component vervult en wat de relatie is met de overige componenten (tabel L-2). Laatste stap in deze analyse betreft een omschrijving van de component specificatie waarbij tevens wordt vastgelegd of het een nieuwe technologie betreft, een reeds door de fabrikant gebruikte technologie of dat het een technologie is die vaker is toegepast in de markt (tabel L-3). Deze classificatie is van belang voor de gegevensverzameling middels het flowschema in figuur 6-1.

#### gegevensverzameling:

Om de functionele decompositie te kunnen uitwerken is het noodzakelijk dat de fabrikant ten minste de volgende informatie levert: opbouw systeem, toegepaste hoofdcomponenten en een functieomschrijving van de hoofdcomponenten.

De laatste fase van gegevensverzameling t.b.v. deze analyse is het selecteren van geschikte databronnen en kan gezien worden als een voorbereidende fase voor de volgende analyse. Hierbij kan gebruik gemaakt worden van figuur 6-1, ondersteund door de theorie uit hoofdstuk 6. In tabel L-3 staan de geselecteerde bronnen vermeld.

#### uitwerking:

In bijlage L wordt de materialisatie uitgewerkt en wordt de componentspecificaties gegeven.

### 2. Analyse van de beschikbaarheid

#### opzet:

De theorie van de beoordelingsmethode gaat bij het vaststellen van beschikbaarheid uit van de 'bottum up approach', zie figuur 5-3, waarbij eerst de betrouwbaarheid wordt bepaald, vervolgens onderhoudbaarheid en uiteindelijk beschikbaarheid. In bijlage B worden de 'bottum up' approach in drie stappen uitgewerkt d.m.v. een aantal methoden (tabel B-1). Deze methodiek wordt toegepast op de BOVI (tabel L-4 en L-5) waarbij uiteindelijk alle gegevens van de drie stappen, per functioneel deelgebied, samengevoegd worden in een database (EXEL datasheets, einde bijlage L). Resultaat hiervan is dat uiteindelijk de 'availability killers' geïdentificeerd worden (tabel L-6). Hiermee wordt voor ieder functioneel deelgebied de *operational availability* bepaald (tabel L-6) door de gegevens te verwerken in de 'formule' {D.16}. Om deze berekening te verduidelijken zal de *operational availability* van de deelfunctie 'voorzien in brandstof' worden uitgewerkt. De 'formule' voor de berekening van *operational availability* is als volgt:

$$A_o = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MLDT} * \frac{MTBSM}{MTBSM + MSMT}$$

De EXEL datasheet voor de deelfunctie 'voorzien in brandstof' laat twee 'availability killers' zien, namelijk storing nummer 12 en 14 (zie ook tabel L-6). Uit deze datasheet zijn de volgende gegevens te selecteren:

| storing | MTBF  | MTTR      | MLDT | MTBSM | MSMT    |
|---------|-------|-----------|------|-------|---------|
| 12      | 0.001 | 0.0000015 | 0    |       |         |
| 24      |       |           |      | 0.013 | 0.00005 |

**tabel 7- 1: gegevens 'availability killers' 12 en 24 van 'voorzien in brandstof'**

Invullen in de formule geeft een  $A_o$  van 0.98 (zie ook tabel L-6).



*gegevensverzameling*

De basis van de gegevensverzameling is het eindproduct van de gegevensverzameling van de vorige stap, analyse van de functionaliteit. In deze fase worden de geselecteerde databronnen geraadpleegd en worden de verzamelde gegevens verwerkt conform de methodiek uit bijlage B in de EXEL datasheets.

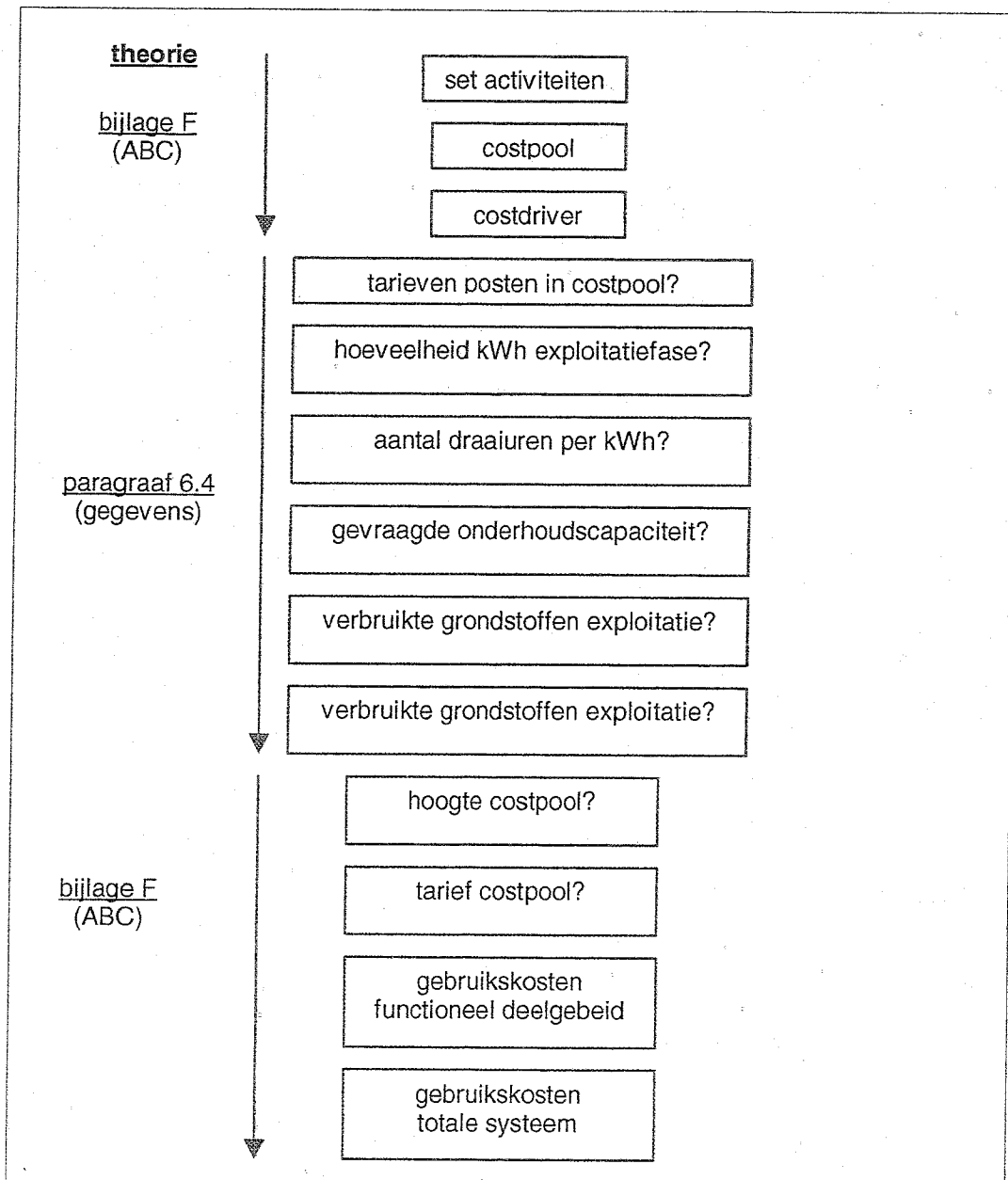
*uitwerking*

In bijlage L wordt de werkwijze van bijlage B toegepast op de BOVI.

**3. Analyse van de gebruikskosten**

*opzet*

De beoordelingsmethode maakt gebruik van de ABC kostenmethode om de gebruikskosten te bepalen. In bijlage F is de ABC kostenmethode uitgewerkt in een aantal stappen waarmee de gebruikskosten per functioneel deelgebied bepaald kunnen worden (voor deze case worden nagenoeg dezelfde 'tabellen' gebruikt als in bijlage F, omdat de case zo omschreven is dat het de werkelijkheid bij de Koninklijke Marine zo goed mogelijk benadert. De toelichting op de samenstelling van de tabellen is dan ook in bijlage F te vinden). Deze methodiek wordt gevolgd bij de analyse van de gebruikskosten van de BOVI. Gezien de complexiteit van deze fase wordt in figuur 7-2 de gehele analyse schematisch vastgelegd voor zowel opzet als gegevensverzameling.



**figuur 7- 2: schematisch overzicht analyse gebruikskosten**

In bijlage L is het schema zoals hierboven gepresenteerd uitgewerkt. Dit resulteert in een set activiteiten (tabel L-7), een costpool directe kosten (tabel L-8) en een costpool ondersteunende kosten met bijbehorende verdeelsleutels (tabel L-9). De volgende stap is het bepalen van de 'costdrivers' (tabel L-10) waarna de gebruikskosten per functioneel deelgebied berekend kunnen worden.

#### *gegevensverzameling en verwerking*

In de eerste fase van de gegevensverzameling wordt vastgelegd welke tarieven gelden voor de posten in de costpool. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van diverse bronnen binnen de Blue Navy (overeenkomstig de situatie bij de KM). In tabel L-11 wordt hiervan een overzicht gegeven. Na tabel L-11 worden in bijlage L de volgende fasen (t/m verbruikte hoeveelheid grondstoffen) uitvoerig beschreven. De gegevens die hier worden gebruikt zijn afkomstig uit de stafeis, leverancier en analyse van de beschikbaarheid (EXEL datasheets).

Als bovenstaande fasen zijn uitgewerkt, zijn alle gegevens voor handen om de hoogte van de costpool samen te stellen. Hiertoe wordt eerst een voorlopige costpool bepaald (zoals de methode uit bijlage F voorschrijft). De voorlopige costpool heeft als resultaat de hoogte van de directe kosten. Daarna worden hier de gegevens voor de indirecte kosten aan toegevoegd en verwerkt. Deze gegevens zijn verwerkt in de EXEL datasheets en in tabel L-13. Als laatste fase kan het tarief van de costdriver bepaald worden door de definitieve costpool te delen door op te wekken hoeveelheid kWh gedurende de exploitatiefase (tabel L-14).

#### *uitwerking*

In bijlage L worden de gebruikskosten afgeleid voor de BOVI.

### **4. Beoordeling BOVI**

#### *opzet*

Om de beoordeling van de BOVI uit te voeren zal het beoordelingsproces (figuur 5-4) doorlopen worden. In de voorgaande analyses (beschikbaarheid en gebruikskosten) zijn de ratio's (*operational availability* en *gebruikskosten per kWh*) gemeten gedurende exploitatie. Volgende punt in het beoordelingsproces is een toetsing van beide ratio's aan enerzijds de stafeis en anderzijds een externe norm (het beste AIP systeem tot dan toe beoordeeld). In deze case wordt ervan uitgegaan dat er aan de interne norm, de stafeis, wordt voldaan. Om de ratio's aan de externe norm te kunnen toetsen is in deze case de zogenaamde BRACE geïntroduceerd waarvan wordt gesteld dat dit systeem eerder is beoordeeld en tot nu toe het 'beste' AIP systeem is. De resultaten van de BRACE zijn opgenomen in tabel L-15. De resultaten van de BOVI zoals bepaald in voorafgaande analyses staan opgenomen in tabel L-16. Op grond van deze gegevens zal het management een keuze moeten maken of de BOVI 'beter' is dan de BRACE of dat er geen betere is aan te wijzen. In het eerste geval zal de BRACE afgewezen worden en de BOVI geselecteerd. In het tweede geval zullen beide geselecteerd worden en in een volgende ronde aan de beoordelingsmethode onderworpen worden. In deze volgende ronde kan men vanuit een meer gedetailleerde functionele decompositie op een lager aggregatieniveau een beoordeling uitvoeren.

#### *gegevensverzameling*

Alle gegevens zijn afkomstig uit de voorgaande analyses.

#### *uitwerking*

Zie bijlage L.

## **7.4 Conclusies implementatie beoordelingsmethode**

In voorgaande paragraaf is aangegeven hoe de beoordelingsmethode te implementeren. Deze paragraaf zal voor iedere stap afzonderlijk conclusies geven. Aan het eind van de paragraaf volgt een samenvatting van de deelconclusies.

### 1. Analyse van de functionaliteit

In deze case is aangenomen dat er een stafeis is en dat de BOVI v.w.b. de gebruikseisen hieraan voldoet. Alleen in dat geval kan gesteld worden dat er een beoordeling plaatsvindt van beschikbaarheid en gebruikskosten bij een vereiste functionaliteit. Pas als dit vaststaat is implementatie van de beoordelingsmethode gerechtvaardigd. Wat is immers het nut van een beoordeling wanneer niet vast staat of het systeem überhaupt aan de gebruikseisen voldoet?

De uitwerking van de functionele decompositie in concrete materialisatie van de deelfuncties levert weinig problemen op. Voorwaarde is wel dat de beschikbare informatie voldoende gedetailleerd is.

Minimaal benodigd zijn systeemopbouw in hoofdcomponenten, functieomschrijving van de componenten en de onderlinge relaties. Is een van deze elementen niet beschikbaar of niet volledig beschikbaar dan is een verdere beoordeling niet mogelijk.

Om de databronnen te selecteren is gebruik gemaakt van het flowschema uit figuur 6-1. Gebleken is dat dit schema niet blindelings gevolgd kan worden. In sommige gevallen zijn databronnen gecombineerd. Wanneer bijvoorbeeld het flowschema uiteindelijk op de NPRD95 database uitkomt zullen de failuremodes en storingsvoorspellende grootheden uit expertise of middels OREDA verkregen moeten worden.

Daarnaast is gebleken dat leveranciers niet erg enthousiast reageren op het verstrekken van betrouwbaarheids- en onderhoud(baarheid)sgegevens. In de BOVI case is daarom de deelfunctie 'voorzien in zuurstof' niet uitgewerkt. In dit specifieke geval waren gegevens opgevraagd van Kockums, leverancier van de Stirlinginstallatie. Bij het ter perse gaan van dit rapport waren de gewenste gegevens niet verstrekt. Of dit een structureel probleem is, kan op dit moment niet vastgesteld worden maar bij implementatie dient er rekening mee gehouden te worden.

Uitgaande van de BOVI case kan gesteld worden dat de analyse van de functionaliteit 16 manuren vergt.

## 2. Analyse van de beschikbaarheid

De gebruikte methode (bijlage B) om de beschikbaarheid vast te stellen, werkt naar behoren. Uitgaande van de BOVI case is vastgesteld dat voor deze analyse ongeveer 16 uur benodigd is waarbij de opzet van de datasheets buiten beschouwing is gelaten.

## 3. Analyse van de gebruikskosten

De methode om de gebruikskosten te bepalen, zoals gepresenteerd in bijlage F, werkt naar behoren. Wel dient opgemerkt te worden dat dit een complexe analyse is en dat het vergaren van de benodigde gegevens veel tijd vergt. Voor een juiste toepassing van deze analyse is kennis van de ABC kostenmethode een vereiste. In dat geval kan gesteld worden dat voor de BOVI case ongeveer 30 manuren zijn gebruikt om de analyse van de gebruikskosten uit te voeren.

## 4. Beoordeling BOVI

In vergelijking met bovenstaande analyse is deze analyse betrekkelijk eenvoudig uit te voeren omdat alle benodigde gegevens door voorgaande analyses worden geleverd. Door dat beoordeling per functioneel deelgebied plaatsvindt, zijn de deelgebieden ook onderling te vergelijken binnen een systeem op beschikbaarheid en gebruikskosten. Hierdoor is het mogelijk om systemen onderling op deze punten te vergelijken, maar ook om de zwakke en sterke punten van een specifiek systeem inzichtelijk te krijgen, zie tabel L-16 en figuren L-4 en L-5.

Deze analyse vergde voor de BOVI case ongeveer 4 manuren.

## Samenvatting

Zonder stafeis heeft implementatie van de beoordelingsmethode geen nut. Het flowschema van figuur 6-1 is als leidraad te gebruiken en geen vaste procedure. Analyse van de gebruikskosten is complex en vergt inzicht in de ABC kostenmethode.

Een belangrijk aspect voor de evaluatie, vanuit een bedrijfskundig oogpunt, zijn de kosten die gepaard gaan met de implementatie van de beoordelingsmethode. De costdriver die hier bepalend is, is het aantal manuren dat benodigd is geweest om de beoordelingsmethode en strategie voor gegevensverzameling te implementeren.

Een analyse van de manuren leidt tot het volgende resultaat, zie tabel 7-2.

| fase                    | # manuren |
|-------------------------|-----------|
| analyse functionaliteit | 16        |
| analyse beschikbaarheid | 16        |
| analyse gebruikskosten  | 30        |
| beoordeling             | 4         |
| <i>totaal</i>           | <i>66</i> |

**tabel 7- 2: overzicht manuren implementatie, gegevensverzameling en beoordeling van de BOVI case**

## 8 Conclusies en aanbevelingen

### 8.1 Inleiding

Dit laatste hoofdstuk behandelt de conclusies en aanbevelingen van het uitgevoerde onderzoek. Ondanks het conceptuele karakter van het onderzoek zijn er concrete conclusies en aanbevelingen te geven.

In paragraaf 8.2 zullen de conclusies worden uitgewerkt waarbij allereerst getoetst wordt of er aan de opdrachtformulering is voldaan. Daarna zullen conclusies m.b.t. de stand van zaken aangaande het AIP project in het algemeen worden geformuleerd. Als laatste volgen conclusies m.b.t. de beoordelingsmethode en de implementatie daarvan.

De laatste paragraaf gaat in op de aanbevelingen die naar aanleiding van dit onderzoek gedaan kunnen worden. De aanbevelingen worden onderverdeeld in het AIP project in het algemeen, de beoordelingsmethode en de implementatie.

### 8.2 Conclusies

#### Opdrachtformulering

De aanleiding tot het onderzoek heeft geleid tot de volgende probleemstelling: *hoe kunnen de mogelijke AIP systemen vergeleken worden uitgaande van een vereiste functionaliteit?* De doelstelling is omschreven als het ontwikkelen van een methode waarmee de AIP systemen vergeleken kunnen worden. De probleemstelling is uitgewerkt middels een stappenplan en wordt hier gebruikt om de opdrachtformulering te toetsen.

#### 1. Bepaal de vereiste functionaliteit voor een AIP systeem

De vereiste functionaliteit voor een te verwerven systeem zal vastgelegd worden in een stafeis die het uitgangspunt is voor verder onderzoek. Voor een AIP systeem is nog geen stafeis geformuleerd waardoor de vereiste functionaliteit niet vast ligt. Voor alle elementen (functie, gebruikseisen en minimale beschikbaarheid) van de vereiste functionaliteit is een invulling gevonden of een aanzet daartoe gegeven, die als basis kunnen dienen voor de formulering van een stafeis.

#### 2. Analyseer de AIP systemen

De analyse heeft zich gericht op de opbouw van de systemen, de aanwezigheid van gevaarlijke stoffen en het ontwikkelingsstadium van de AIP systemen. Met de op dit moment verkrijgbare informatie zijn de drie onderdelen van de analyse uitgevoerd waarbij het volgende is vastgesteld:

- Er zijn algemene functionele deelgebieden te identificeren die samen de functie *leveren van buitenluchtonafhankelijke elektrische energie* vervullen.
- De AIP systemen maken gebruik van diverse gevaarlijke stoffen die potentiële risicogebieden vormen. De risico's (kans \* gevolg) zullen nader onderzocht moeten worden t.b.v. de veiligheid dat een onderdeel vormt van de gebruikseisen zoals opgenomen in de vereiste functionaliteit.
- Er is een groot verschil in het ontwikkelingsstadium van de AIP systemen. Dit heeft enerzijds gevolgen voor de gegevensverzameling en anderzijds voor het moment van implementatie van een specifiek systeem.

#### 3. Ontwikkel een beoordelingsmethode

Op basis van de theoretische achtergrond en de conclusies van de functionaliteit- en systeemanalyse is een beoordelingsmethode ontwikkeld waarbij een kwaliteitsmodel als uitgangspunt heeft gediend. De geleverde kwaliteit van een AIP systeem wordt bepaald door de KM. Kwaliteit van een product wordt hier omschreven als de functionaliteit, beschikbaarheid en kosten om een product te kunnen bezitten en te onderhouden. De beoordelingsmethode heeft geresulteerd in een stappenplan:

1. analyse van de functionaliteit,
2. analyse van de beschikbaarheid,
3. analyse van de gebruikskosten,
4. beoordeling m.b.v. ratio's.

Uitwerken van bovenstaande stappen heeft geresulteerd in:

- een functionele decompositie en compositie van materialisatie van de deelfuncties,
- een 'bottom up approach' voor het vaststellen van de beschikbaarheid,
- het vaststellen van de beschikbaarheid middels bij de KM bekende methoden,
- het bepalen van de gebruikskosten middels de ABC kostenmethode,
- beoordeling van een AIP systeem door middel van de ratio's *operational availability* en *kosten per kWh*.

#### 4. Ontwikkel een werkwijze om de juiste gegevens te verkrijgen

Er is een werkwijze voor de gegevensverzameling ontwikkeld waarbij er onderscheid gemaakt is tussen gegevens t.b.v. beschikbaarheid en t.b.v. gebruikskosten. Beide onderdelen zijn uitgewerkt waarmee de werkwijze ontwikkeld is.

#### 5. Evalueer de beoordelingsmethode d.m.v. een casestudy

Om de beoordelingsmethode te verifiëren en om een leidraad voor implementatie te bieden is de fictieve BOVI case genomen. Middels de BOVI case is de beoordelingsmethode inclusief gegevensverzameling doorlopen. Hiermee zijn enkele tekortkomingen boven water gekomen en de uitwerking van de methode geeft houvast voor implementatie in de toekomst voor de gebruiker van de beoordelingsmethode.

Uit bovenstaande kan geconcludeerd worden dat de AIP systemen vergeleken kunnen worden middels de gepresenteerde beoordelingsmethode, echter de vereiste functionaliteit is nog niet volledig te bepalen.

### **AIP project in het algemeen**

Het AIP project voor de Walrusklasse-onderzeeboten kenmerkt zich nog door een groot aantal onzekerheden, met name voor wat betreft de vereiste functionaliteit. Dit wordt vooral veroorzaakt door het ontbreken van een stafeis. Een stafeis is het uitgangsdokument voor het verwerven van materieel. De beoordelingsmethode richt zich op functionaliteit, beschikbaarheid en gebruikskosten. Deze kenmerken zijn van groot belang in materieellogistieke proces van de KM binnen de ILS filosofie (zie paragraaf 3.2). De beoordelingsmethode voor AIP technologieën zal een goed uitgangspunt zijn om een te verwerven AIP systeem in een zo'n vroeg mogelijk stadium in het ILS traject van de KM te krijgen. Hiermee wordt gewaarborgd dat een te verwerven AIP systeem van 'wieg tot graf' wordt begeleid waardoor de levensduurkosten inzichtelijk en onder controle blijven.

### **Beoordelingsmethode en implementatie**

De methode zoals ontwikkeld in dit onderzoek is primair gericht op de mogelijke AIP systemen voor de Walrusklasse-onderzeeboot. De beoordelingsmethode kan echter op eenvoudige wijze voor een ander systeem worden aangepast. De basis van de beoordelingsmethode blijft het geschetste kwaliteitsmodel en de uitwerking daarvan. Om de methode op andere systemen toe te kunnen passen zijn de volgende randvoorwaarden nodig:

- een vereiste functionaliteit vastgelegd in de stafeis,
- systemen zijn getoetst aan de stafeis en voldoen hieraan,
- de te vervullen functie is te decomponeren in een algemeen geldende functionele decompositie,
- er moeten voldoende betrouwbare gegevensbronnen aanwezig zijn.

Is aan bovenstaande randvoorwaarden voldaan dan kan het kwaliteitsmodel conform de in dit onderzoek gepresenteerde beoordelingsmethode, uitgewerkt worden. De strategie voor gegevensverzameling is een gebied dat voor iedere toepassing afzonderlijk opnieuw ontworpen moet worden afhankelijk van de aanwezige gegevensbronnen.

Uit de evaluatie van de beoordelingsmethode middels de 'BOVI'-case is gebleken dat implementatie voor een specifieke situatie eenvoudig te realiseren is. Het is van belang dat de beoordelingsmethode zorgvuldig wordt uitgewerkt en toegepast op een specifiek systeem alvorens gegevens te verzamelen. Door een zorgvuldige benadering kan bepaald worden welke gegevens nodig zijn en leidt dus tot een eenvoudige en snelle gegevensverzameling. Met name de gegevensverzameling en -verwerking zal een tijdrovende zaak zijn, zeker wanneer het een 'echt' systeem betreft i.p.v. een case zoals de 'BOVI'.

In de conclusies van de evaluatie (hoofdstuk 7) komt naar voren dat voor de BOVI case ongeveer 1,6 werkweek (66 manuren) benodigd is geweest om de beoordelingsmethode te implementeren, gegevens te verzamelen en te beoordelen. De mate van complexiteit en de leercurve moeten worden meegenomen om een inschatting te kunnen maken voor het benodigd aantal manuren bij de behandeling van een 'echt' AIP systeem. Het aantal componenten is een indicatie voor de mate van complexiteit. Om het benodigd aantal manuren voor een 'echt' AIP systeem te bepalen wordt in tabel 8-1 een overzicht gegeven van het aantal componenten van de vier 'echte' AIP systemen, het gemiddelde aantal componenten en aantal componenten van de BOVI.

Uit deze tabel komt naar voren dat de echte AIP systemen, op het gehanteerde aggregatieniveau slechts een factor 1.2 (gemiddeld) meer componenten bevatten. Dit resulteert in 1.2 keer meer manuren en komt overeen met ongeveer 80 manuren. Wordt een leercurve meegenomen en gaat

men uit van vier AIP systemen dan is een gemiddelde van 70 manuren per AIP systeem te realiseren. Hierbij dient opgemerkt te worden dat bij de analyse van de AIP systemen een zeker aggregatieniveau is aangehouden. Wordt een meer gedetailleerde analyse geëist dan zal de complexiteit toenemen en dus ook het aantal benodigde manuren voor de analyse.

| stelsel                    | aantal componenten | gemiddeld |
|----------------------------|--------------------|-----------|
| Closed Cycle Diesel        | 14                 | 10.5      |
| Stirlingmotor installatie  | 10                 |           |
| Brandstofcel metaalhydride | 8                  |           |
| Brandstofcel methanol      | 10                 |           |
| BOVI                       | 9                  | 9         |

tabel-8 1: overzicht aantal componenten echte AIP systemen versus de BOVI

### 8.3 Aanbevelingen

#### AIP project in het algemeen

De belangrijkste aanbeveling betreft het formuleren en goedkeuren van een stafeis. Hiermee wordt een aantal onzekerheden gereduceerd. Dan is immers precies bekend wat de vereiste functionaliteit van een AIP systeem dient te zijn.

Aansluitend op een goedgekeurde stafeis zullen de vier mogelijke AIP systemen getoetst moeten worden aan de stafeis. Dit is een voorwaarde om de beoordelingsmethode te gebruiken waarmee AIP systemen te vergelijken zijn.

#### Beoordelingsmethode

Voor het vervolgtraject, na de formulering en goedkeuring van de stafeis, zal een projectgroep samengesteld moeten worden van technisch georiënteerde personen van de afdeling BVE en ILS georiënteerde personen van de afdeling ILS. Door deze multidisciplinaire samenstelling kan de beoordelingsmethode op een juiste wijze worden toegepast en is het AIP project de weg van de ILS filosofie ingeslagen op een vroeg tijdstip waar de meeste winst te behalen valt. In een vroeg stadium wordt dan immers een keuze gemaakt gebaseerd op de geleverde kwaliteit van het systeem bepaald door beschikbaarheid enerzijds en gebruikskosten anderzijds.

Het software programma 'RELEX' kan als ondersteuning van de beoordelingsmethode dienen maar dan is inzicht in de berekeningen noodzakelijk en is een uitbreiding van het aanwezige pakket wenselijk. In bijlage M zijn 'RELEX' berekeningen en schema's opgenomen maar is niet direct meegenomen in evaluatie van de beoordelingsmethode.

Inzicht is van belang voor de berekeningen. Op dit moment valt niet te achterhalen op welke wijze berekeningen worden uitgevoerd. De uitbreiding zal gericht moeten zijn op de FMECA en MTA pakketten, hierdoor is het totale software pakket krachtiger en kunnen de meer 'advanced' berekeningen als een operational availability uitgevoerd worden. Gezien de omvang van het AIP project is een dergelijke investering te verantwoorden.

Wanneer de gepresenteerde beoordelingsmethode gebruikt wordt voor een ander systeem dan een AIP systeem zal voor de beschikbaarheid opnieuw vastgesteld moeten worden welke vorm (inherent, achieved of operational) het beste voor de situatie is, e.e.a. afhankelijk van de aanwezige gegevens en diepgang van de beoordeling.



## Literatuur

- [1] KM, 1 VVKM 4, augustus 1994
- [2] <http://www.mindef.nl/defensienota/index.html>, 2001
- [3] DMKM/Martech, 'Een studie naar de mogelijkheden van buitenluchtonafhankelijke voortstuwing voor onderzeeboten van de Walrusklasse', september 2000 (Stg. Confidentieel)
- [4] DMKM, 'handboek Integrated Logistic Support', versie 1.2 – januari 2000
- [5] TNO FEL, 'CUP Walrus scenario analyse', TNO rapport FEL-00-A113, juli 2000 (Stg. Confidentieel)
- [6] ANTAC, RITA deel 1 'algemeen: tactische beginselen en plannen', maart 1999, (Stg. Confidentieel)
- [7] H.K. Stapel, 'De onderzeedienst in de 21ste eeuw', Marineblad, jaargang 1997 nr 6
- [8] NATO, ATP 18 (D) 'Allied manual of submarine operations', april 1994 t/m change 3, (NATO Confidential)
- [9] ANTAC, RITA deel 7, 'Onderzeebootzoek- en naderingsmethodes', (GEHEIM)
- [10] G.L.H. van Herel, J.A.M. Theeuwes en E.G.J. Vosselman, syllabus 'Economische besturing', Technische Universiteit Eindhoven, 1997
- [11] B.S. Blanchard, 'Logistics Engineering and Management', Prentice Hall, fifth edition, 1998
- [12] H.H. van Mal, M.A.M. Splinter, syllabus 'Levenscyclus van een product en productiesysteem', Technische Universiteit Eindhoven
- [13] E.E. Lewis, 'Introduction into reliability engineering', Wiley, 1996, second edition
- [14] J.H.J. Geurts, 'Beginselen betrouwbaarheidstheorie', syllabus 'Beginselen van onderhoud en onderhoudsbeheersing', Technische Universiteit Eindhoven, 1997
- [15] W.M.J. Geraerds, 'Onderhoudstermen', syllabus 'Beginselen van onderhoud en onderhoudsbeheersing', Technische Universiteit Eindhoven, 1997
- [16] C.W. Gits, 'Het ontwerpen van een onderhoudsconcept; een kader', syllabus 'Beginselen van onderhoud en onderhoudsbeheersing', Technische Universiteit Eindhoven, 1997
- [17] S.J. Clausing, "Pompmoedel" voor het Sewaco bedrijf in de 'gesloten onderhoudsketen", afstudeerrapport TUE, 1996
- [18] C.J.A.M. van Dongen, 'Afstemming boordreservedelen Walrusklasse onderzeeboten op het noodzakelijk onderhoud', afstudeerrapport Technische Universiteit Eindhoven, 1996
- [19] J.V. Jones, 'Integrated Logistic Support handbook', McGraw-Hill Inc, second edition 1995
- [20] TNO FEL, 'Life cycle management, introductie van een instrument voor de bedrijfsvoering van Defensie', TNO-rapport FEL-96-A148, 1997
- [21] KM afd. Marstaf, 'Herziene staf Eisen vervangers Dolfinjnkklasse onderzeeboten', Marstaf, 1989 (GEHEIM).
- [22] TNO Arbeid, VNCl, 'Chemiekaarten<sup>®</sup>, gegevens voor veilig werken met chemicaliën', zestiende editie 2001
- [23] 'Van Dale, groot woordenboek der Nederlandse taal', Van Dale lexicografie, twaalfde herziene druk.
- [24] P.P.M. Harteloh, A.F. Casparie, 'Wat is kwaliteit?', syllabus 'Inleiding kwaliteitsmanagement', Technische Universiteit Eindhoven, 1991.
- [25] L. Monhemius, 'Technieken voor ontwerp van een beheerst proces', syllabus 'Inleiding kwaliteitsmanagement', Technische Universiteit Eindhoven, 1994
- [26] RDM Submarines, 'Contract Design Specification Moray 1400 pFH/H', doc. no. MB-E0500-002/012, 1996





## Lijst van afkortingen

|          |   |
|----------|---|
| ABC      | Activity Based Costing                              |
| AIP      | Air Independent Propulsion                          |
| BDZ      | Bevelhebber der Zeestrijdkrachten                   |
| BENOPS   | Belgisch Nederlands Operationeel Schema             |
| BILS     | Bureau Integrated Logistic Support                  |
| BLOZD    | Blue Navy Onderzeedienst                            |
| BOVI     | Buitenlucht Onafhankelijke Voortstuwingsinstallatie |
| BRACE    | Brandstofcel (fictief AIP systeem in Case)          |
| BSMI     | Basis Standaard Materieels Indicatie                |
| BVE      | Bureau Voortstuwings en Energie                     |
| C.R.     | Criticality Rating                                  |
| CCD      | Closed Cycle Diesel                                 |
| CKMARNIS | Commandant Korps Mariniers                          |
| CO       | Correctief Onderhoud                                |
| COZD     | Commandant Onderzeedienst                           |
| CUP      | Capability Up Grade                                 |
| CZMCARIB | Commandant Caribisch gebied                         |
| CZMNED   | Commandant Zeemacht Nederland                       |
| DE       | Diesel Elektrisch                                   |
| DEBKM    | Directeur Economisch Beheer Koninklijke Marine      |
| DG       | Dieselgenerator                                     |
| DM       | Dieselmotor   |
| DMKM     | Directeur Materieel Koninklijke Marine              |
| DPKM     | Directeur Personeel Koninklijke Marine              |
| DSP      | Defensie Strategisch Plan                           |
| ECN      | Energie Centrum Nederland                           |
| EOV      | Elektronische Oorlogsvoering                        |
| FMECA    | Failure Mode Effect and Criticality Analysis        |
| GAO      | Gebruiksduur Afhangelijk Onderhoud                  |
| HDW      | Howaldtswerke Deutsche Werf                         |
| HEM      | Hoofd Elektro Motor                                 |
| HVU      | High Value Unit                                     |
| ILS      | Integrated Logistic Support                         |
| KM       | Koninklijke Marine                                  |
| LIN      | Lucht Inlaatinstallatie                             |
| LOX      | Liquid Oxygen                                       |
| LSA      | Logistic Support Analysis                           |
| MARSTAF  | Marine Staf   |
| Martech  | Maritieme Technologie                               |
| MB       | Marine Bedrijf                                      |
| Mct      | Mean corrective maintenance time                    |
| MDT      | Mean Delay Time                                     |
| MFF      | M- fregat   |
| MILSPEC  | Military Specification                              |
| MJO      | Meerjarig Onderhoud                                 |
| MLDT     | Mean Logistic Delay Time                            |
| MNTF     | Multi National Task Force                           |
| Mpt      | Mean preventive maintenance time                    |
| MSMT     | Mean Scheduled Maintenance Time                     |
| MTA      | Maintenance Task Analysis                           |
| MTBF     | Mean Time Between Failure                           |
| MTBM     | Mean Time Between Maintenance                       |
| MTBSM    | Mean Time Between Scheduled Maintenance             |
| MTTF     | Mean Time To Failure                                |
| MTRR     | Mean Time To Repair                                 |
| NAVO     | Noord Atlantische Verdragsorganisatie               |
| NB       | Navy Bedrijf  |
| NCW      | Netto Contante Waarde                               |

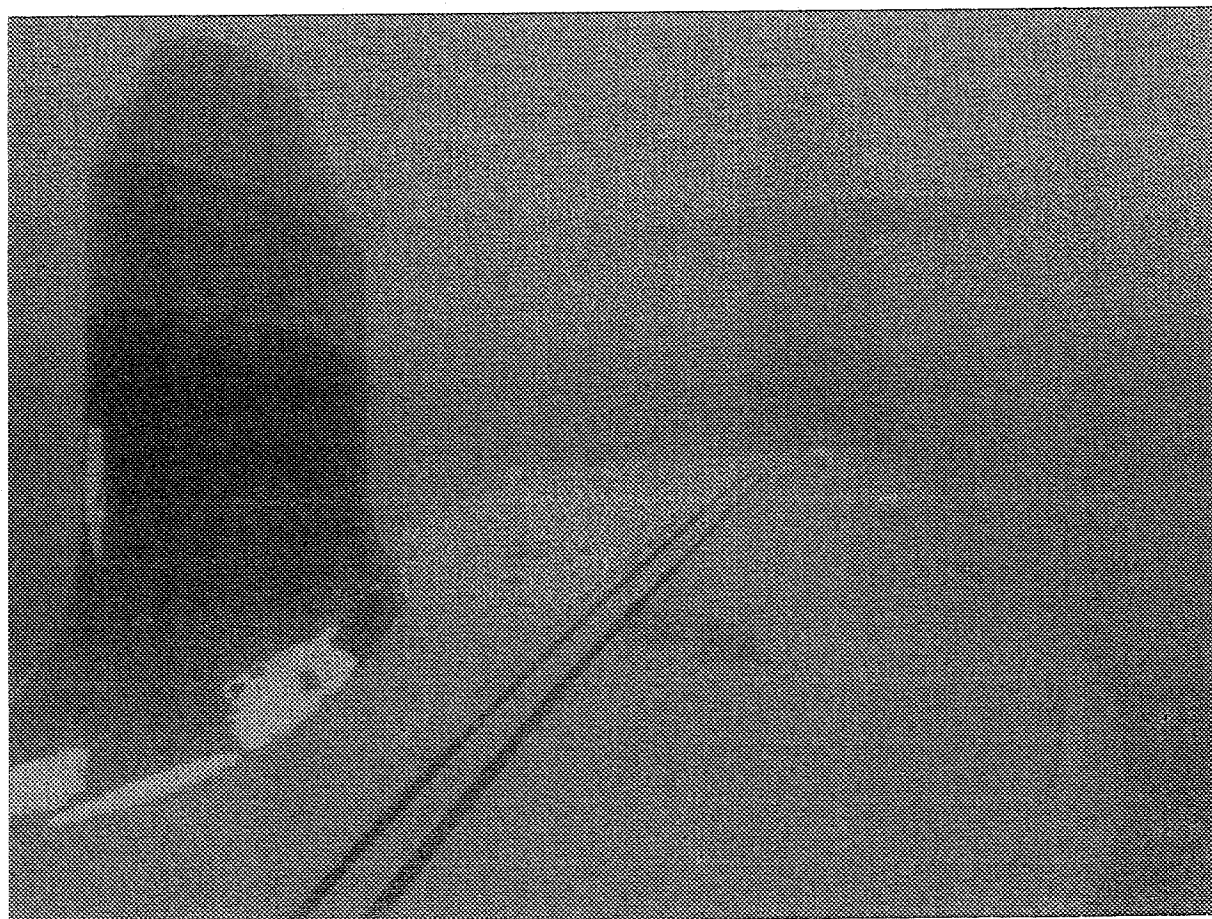
|            |   |
|------------|---|
| NPRD95     | Nonelectronic Parts Reliability Data 1995     |
| OBS        | Operationele Behoeftte Stelling               |
| OCKM       | Operationeel Concept Koninklijke Marine       |
| OREDA      | Off Shore Reliability Data                    |
| OZD        | Onderzeedienst                                |
| PEFC       | Polymer Elctrolite Fuel Cell                  |
| PO         | Periodiek Onderhoud                           |
| RAC        | Reliability Analysis Center                   |
| RAM        | Reliability, Availability and Maintainability |
| RBD        | Reliability Block Diagram                     |
| RCM        | Reliability Centered Maintenance              |
| RDM        | Rotterdamse Droogdok Maatschappij             |
| ROE        | Rules Of Engagement                           |
| SAO        | Storing Afhankelijk Onderhoud                 |
| SCP        | Sous Chef Plannen                             |
| SEWACO     | Sensoren, Wapen en Commandosystemen           |
| SLOC       | Sea Lines Of Communication                    |
| SSG        | Stijgende Storingsgraad                       |
| SVG        | Storing Voorspellende Grootheid               |
| TAO        | Toestand Afhankelijk Onderhoud                |
| TNSW       | Thyssen Nordseewerke                          |
| TTO        | Tussen Tijds Onderhoud                        |
| V&O schema | Vaar & Oefen Schema                           |
| VDI        | Verein Deutsche Ingenieure                    |
| VST        | Voortstuwing                                  |
| WMS        | Water Management System                       |

# BIJLAGEN

---

|                  |  |
|------------------|--|
| <u>biilage A</u> | Organogram KM                            |
| <u>biilage B</u> | Beoordelingsmethode: beschikbaarheid     |
| <u>biilage C</u> | Levensduurkosten                         |
| <u>biilage D</u> | Kwantificering.....                      |
| <u>biilage E</u> | Classificatie onderhoud                  |
| <u>biilage F</u> | Beoordelingsmethode: gebruikskosten      |
| <u>biilage G</u> | DE VST walrusklasse                      |
| <u>biilage H</u> | Closed Cycle Diesel                      |
| <u>biilage I</u> | Stirling                                 |
| <u>biilage J</u> | Brandstofcel metaalhydride               |
| <u>biilage K</u> | Brandstofcel methanol                    |
| <u>biilage L</u> | Casestudy: de BOVI                       |
| <u>biilage M</u> | Ondersteuning 'RELEX' software programma |

---

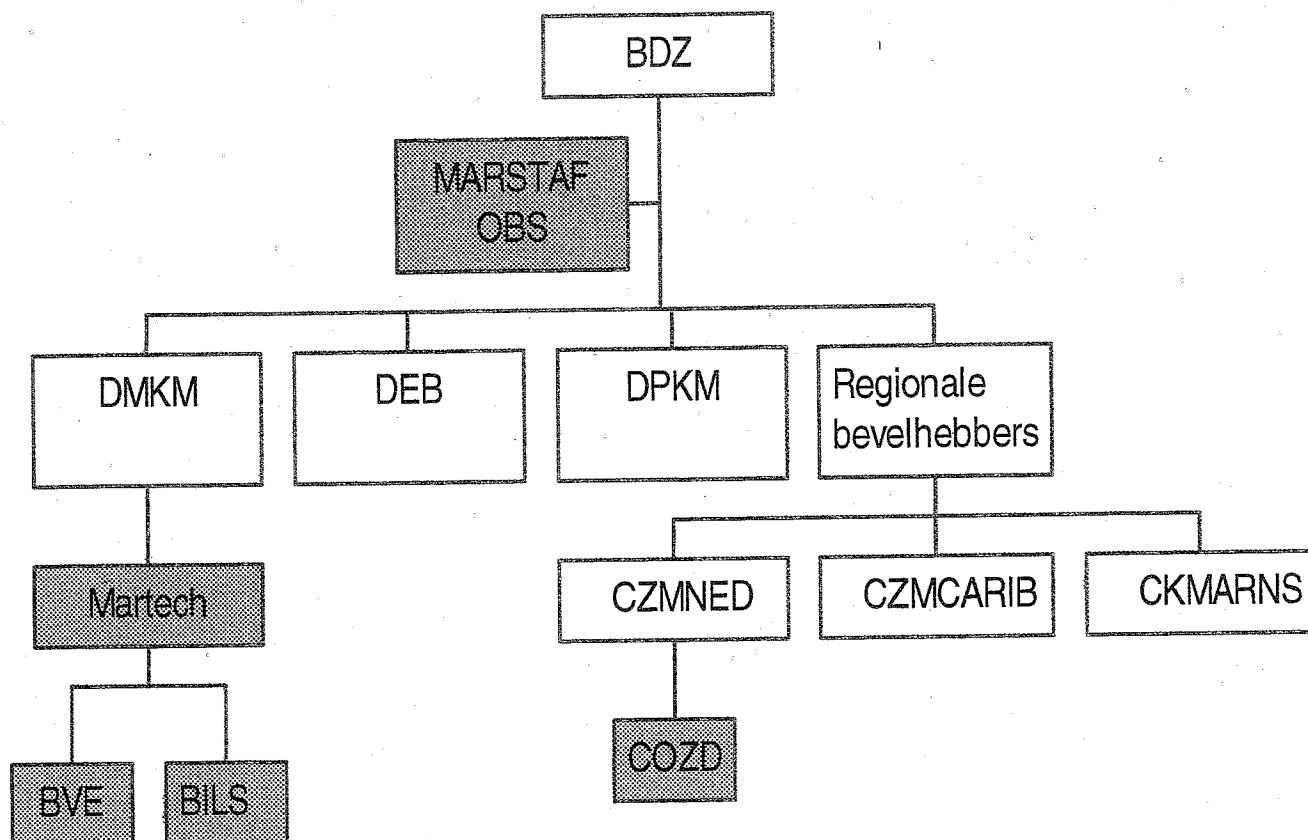


Walrusklasse-onderzeeboot op periscoopdiepte.....



## Bijlage A

## Organogram KM [1]

**Legenda:**

|           |   |
|-----------|---|
| BDZ:      | Bevelhebber der zeestrijdkrachten                               |
| MARSTAF:  | Marinestaf  |
| OBS:      | Operationele behoeftestelling                                   |
| DMKM:     | Directeur Materieel KM  |
| DEB:      | Directeur Economisch Beheer                                     |
| DPKM:     | Directeur Personeel KM  |
| CZMNED:   | Commandant Zeemacht Nederland                                   |
| CZMCARIB: | Commandant Zeemacht Caraïbisch gebied                           |
| CKMARNIS: | Commandant Korps Mariniers                                      |
| COZD:     | Commandant Onderzeedienst                                       |
| Martech:  | Maritieme Techniek  |
| BVE:      | Bureau voortstuwing en energie (interne begeleiding auteur)     |
| BILS:     | Bureau Integrated Logistic Support (interne begeleiding auteur) |



## Bijlage B

### Beoordelingsmethode: beschikbaarheid

#### Inleiding

In hoofdstuk 5 is de beoordelingsmethode behandeld waarin in grote lijnen de stappen staan vermeld en de achterliggende theorie wordt toegelicht. Deze bijlage is bedoeld om de beoordelingsmethode voor de gebruiker te concretiseren. Uitgangspunt is, zoals aangegeven in hoofdstuk 5, dat de materialisatie van een functioneel deelgebied beoordeeld wordt op beschikbaarheid en gebruikskosten. Beschikbaarheid wordt bepaald door betrouwbaarheid en onderhoudbaarheid. Tabel B-1 geeft aan hoe eerst betrouwbaarheid en vervolgens onderhoudbaarheid vastgesteld worden. De genoemde analyse methoden worden in deze bijlage één voor één doorlopen.

| stap | input                                 | analyse methode | output  |
|------|---------------------------------------|-----------------|---|
| 1    | materialisatie functioneel deelgebied | FMECA           | storingen: 'availability killers'<br>MTBF   |
| 2    | storingen: 'availability killers'     | RCM             | geclassificeerde storingen  |
| 3    | geclassificeerde storingen            | MTA             | onderhoudsomschrijving<br>onderhoudsniveau<br>MTTR, MLDT<br>MSMT, MTBSM<br>reservedelen |

tabel B- 1: analyse betrouwbaarheid en onderhoud(baarheid)

#### 1. Failure Mode Effect and Criticality Analysis (FMECA)

Een FMECA signaleert in eerste instantie aanwijsbare oorzaken en gevolgen, voordat ze zijn opgetreden, door een schatting te maken van de kansdichtheid [25]. De combinatie kans en gevolg bepalen samen het risico (criticality) van een bepaalde storing. Afhankelijk van de doelstelling komen in de praktijk twee soorten FMECA voor:

- Product gerichte FMECA, voor het identificeren van risico's, die door het product veroorzaakt worden. Deze techniek wordt zowel tijdens het ontwerpproces, als na afloop toegepast. In het laatste geval wordt de analyse gebruikt als controle.
- Proces gerichte FMECA, voor het identificeren van risico's door (gebrek aan) procesbeheersing bij de productie van een product [25].

Bij de beoordeling van de kwaliteit van een product, wordt een productgerichte FMECA uitgevoerd. De doelstelling van de FMECA in dit onderzoek is het identificeren van de zogenaamde 'availability killers' en het vaststellen van de storingsgraad (MTBF).

De FMECA wordt in een aantal stappen uitgevoerd [25].

1. Vaststellen van alle mogelijke afwijkingen (*failure modes*) van een product.  
De vraag die hierbij beantwoord moet worden is op welke wijze het product buiten specificatie kan zijn. Een afwijking hoeft niet per definitie direct een niet beschikbaar systeem tot gevolg te hebben. Als het systeem door een storing niet meer aan de specificaties van de klant voldoet, bijvoorbeeld een pomp met een te lage persdruk, is er sprake van een afwijking.
2. Vaststellen van alle mogelijke gevolgen (*effects*) van een afwijking.  
Het bepalen van de gevolgen van een afwijking is een complex proces waarbij een goed inzicht in de werking van het systeem van belang is. Een bepaalde afwijking kan immers gevolgen hebben in het gehele systeem.

<sup>1</sup> In het artikel [25] wordt het in kaart brengen van potentiële oorzaken als een van de uit te voeren stappen genoemd. Deze stap is interessant voor de ontwerper/producent maar niet voor de klant. De ontwerper/producent kan op basis van deze gegevens bijsturen om de kwaliteit te verbeteren. Derhalve wordt deze stap overgeslagen bij de beoordeling van een AIP systeem door de KM.



3. Het kwantificeren van risico's (*criticality*).

De twee voorgaande stappen waren van kwalitatieve aard. De laatste stap zal de risico's kwantificeren om prioriteiten (selecteren van availability killers) te kunnen stellen. Voor het inschatten van het totale risico worden twee factoren afzonderlijk geschat en daarna gecombineerd. De eerste factor is de kans dat een bepaalde afwijking (failure mode) optreedt. De tweede factor is het gevolg (effect) van de storing. Combinatie van de twee factoren geeft een zogenaamde *criticality rating (C.R.)* [4] en wordt als volgt gedefinieerd.

$$\text{Criticality Rating (C.R.)} = \text{kans} * \text{gevolg}$$

Om de factoren kans en gevolg te kunnen kwantificeren wordt gebruik gemaakt van een schaalverdeling, zie tabel B-2. Het kwantificeren van de factoren zal aan de hand van steekwoorden geschieden. De steekwoorden worden middels concrete voorbeelden toegelicht.

| waardering | kans <sup>1</sup> | gevolg <sup>2</sup> |
|------------|-------------------|---------------------|
| 1          | nihil             | gering              |
| 2          | klein             | klein               |
| 3          | aanwezig          | groot               |
| 4          | groot             | ernstig             |

**tabel B- 2: tabel criticality rating [4]**

- De steekwoorden m.b.t. 'kans' worden als volgt geconcretiseerd [25]:
  - Nihil:  $MTBF > 0.1 * 10^6$  uur
  - Klein:  $0.05 * 10^6$  uur  $< MTBF < 0.1 * 10^6$  uur
  - Aanwezig:  $0.01 * 10^6$  uur  $< MTBF < 0.05 * 10^6$  uur
  - Groot:  $MTBF < 0.01 * 10^6$  uur
- De steekwoorden m.b.t. 'gevolg' worden als volgt geconcretiseerd [13]:
  - Gering: er zijn geen merkbare gevolgen voor het functioneren van het systeem.
  - Klein: de betrouwbaarheid van het gehele systeem zal afnemen maar het systeem is nog wel beschikbaar, bijvoorbeeld het uitvallen van een redundant uitgevoerde pomp.
  - Groot: het functioneren van het systeem wordt dusdanig gedegradeerd dat het systeem niet meer beschikbaar is.
  - Ernstig: naast dat het systeem niet meer beschikbaar is zijn de gevolgen van dien aard dat de directe veiligheid in het geding is, bijvoorbeeld een waterstoflekkage

Door middel van kwantificering van de risico's kunnen prioriteiten gesteld worden, waardoor 'availability killers' geselecteerd kunnen worden.

Een 'availability killer' wordt omschreven als een structurele verstoorder van de beschikbaarheid en inzetbaarheid van een installatie [4]. In dit onderzoek wordt een storing tot de categorie 'availability killer' gerekend indien de kans aanwezig of groot is (structureel) en het gevolg groot of ernstig (systeem niet beschikbaar) te noemen valt. Concreet betekent dit dat er sprake is van een 'availability killer' indien de **C.R.  $\geq 9$** .

## 2. Reliability Centered Maintenance (RCM)

Reliability Centered Maintenance (RCM) is een analyse techniek die als doelstelling heeft het optimaliseren van onderhoudsactiviteiten. Bij de optimalisatie wordt rekening gehouden met betrouwbaarheid, veiligheid en kosten [4]. RCM concentreert zich op het instandhouden van de te vervullen functie en niet op de installatie zelf.

Een volledige RCM analyse is een omvangrijke en complexe analyse die veel tijd vergt om goed uit te voeren.

De doelstelling van de RCM analyse in het kader van dit onderzoek is om de storingen uit de categorie 'availability killers' te analyseren om het optimale soort onderhoud (correctief of preventief) voor de storing vast te stellen.

In bijlage E is de beslissingsmethode voor het classificeren van onderhoud opgenomen. Deze beslissingsmethode geeft een stroomschema weer waarin drie beslispunten liggen:

1. consequentie van de storing groot of klein ?
2. is er sprake van een stijgende storingsgraad, ja of nee ?
3. is er een storing voorspellende grootheid, ja of nee?

Omdat alleen storingen uit de categorie 'availability killers' de RCM analyse bereiken is het antwoord op de eerste vraag altijd 'groot'.

Deze vereenvoudigde RCM versie levert voor de beoordelingsmethode de benodigde informatie op: naar optimaal onderhoud geclassificeerde storingen uit de categorie 'availability killers'.

### 3. Maintenance Task Analysis [4] [11]

In deze laatste fase van het bepalen van de beschikbaarheid wordt op basis van de voorgaande stappen de gewenste gegevens verzameld om de beschikbaarheid te kunnen kwantificeren. Als ratio voor beschikbaarheid is de zogenaamde *operational availability* gekozen (zie paragraaf 5.3). In bijlage D wordt de uitdrukking gegeven waarmee de *operational availability* te kwantificeren is en die is als volgt:

$$A_o = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MLDT} * \frac{MTBSM}{MTBSM + MSMT} \quad (\text{zie (D.16)})$$

Tabel B-1 geeft aan dat de MTBF in de eerste stap, FMECA, wordt bepaald. De overige elementen zullen voor de geclassificeerde storingen bepaald moeten worden. De storingen die de classificatie 'correctief onderhoud' hebben gekregen zullen zich op de eerste term richten (MTBF, MTTR en MLDT), terwijl de groep storing met de classificatie 'preventief onderhoud' zich op de laatste term (MTBSM, MSMT) richten.

Alhoewel met deze gegevens de *operational availability* bekend is, worden ook de onderhoudsomschrijving, onderhoudsniveau en reservedelen meegenomen. Het onderhoudsniveau wordt uitgedrukt in termen die gangbaar zijn bij de KM [4]:

- |                   |   |
|-------------------|---|
| ▪ Organisational: | door normale onderhoudspersoneel <u>in</u> het systeem, |
| ▪ Intermediate:   | aan boord door gespecialiseerd personeel,               |
| ▪ Depot:          | aan de wal door sterk gespecialiseerd personeel,        |
| ▪ Contracter:     | bij de leverancier,                                     |
| ▪ Discard:        | geen reparatie, het object wordt vervangen.             |

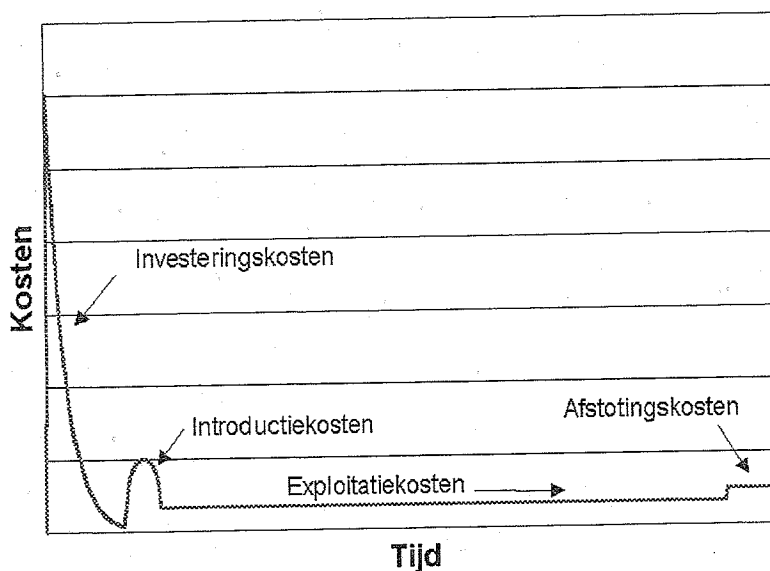
Deze drie elementen zijn van belang voor de gebruikskosten en worden derhalve vastgesteld.



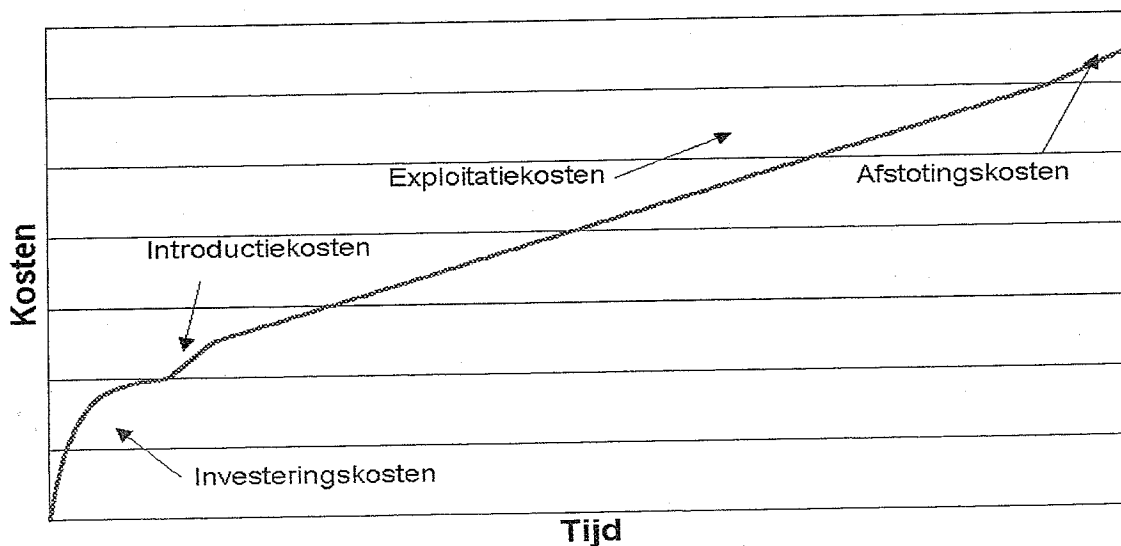
## Bijlage C

### Levensduurkosten

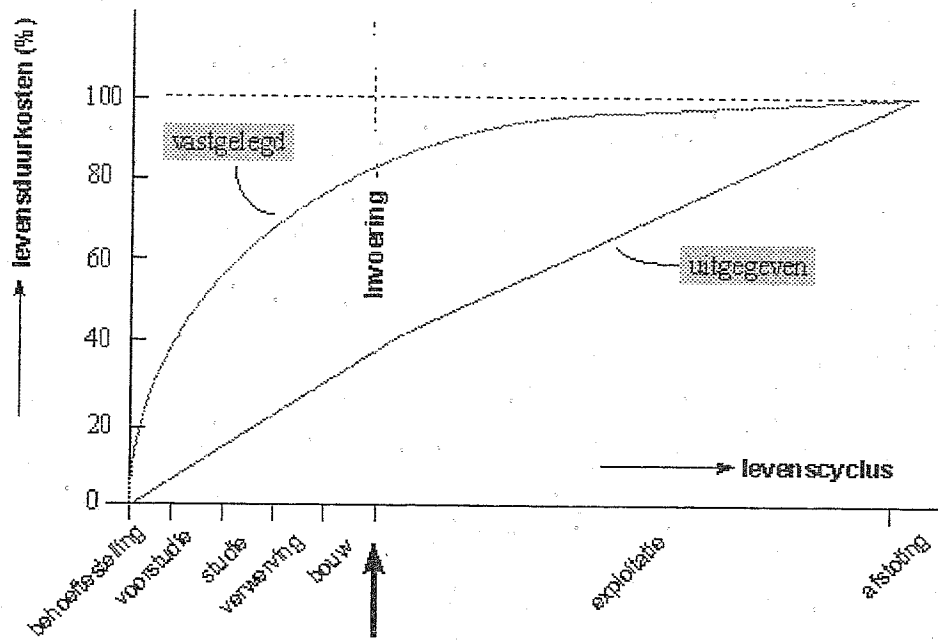
In deze bijlage worden de levensduurkosten op een aantal manieren gepresenteerd. In de eerste drie figuren de levensduurkosten als functie van de tijd, echter figuur C-1 geeft het kostenniveau per tijdseenheid aan. In figuur C-2 is dit cumulatief over de tijd en in figuur C-3 wordt aangegeven wanneer de uitgaven vastliggen en wanneer ze daadwerkelijk worden uitgegeven.



figuur C-1: kostenniveau gedurende de levensduur [4]



figuur C-2: cumulatieve kosten gedurende de levensduur [4]



figuur C-3: levensduurkosten (%) versus technische levenscyclus [4]

De bovenstaande figuur geeft met name goed aan dat de beïnvloeding van de levensduurkosten afneemt naarmate het project voortschrijdt in de tijd. Bij de invoering van een systeem zijn doorgaans 80% van de levensduurkosten vastgelegd en ongeveer 40% uitgegeven. Hieruit volgt dat de exploitatiekosten ongeveer 60% van de totale levensduur bedragen. De winst valt hier te halen door reeds bij ontwerp integraal te denken aan onderhoudbaarheid.

## Bijlage D

### ***Kwantificering van betrouwbaarheid, onderhoudbaarheid, beschikbaarheid en levensduurkosten***

#### Betrouwbaarheid [13]

Definitie van betrouwbaarheid (reliability):

$$R(t) = 1 - F(t) \quad \{D.1\}$$

waarin  $F(t)$  de faalkans aanduidt.

Definitie van storingsgraad  $\lambda$ :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad \{D.2\}$$

waarin,

$$f(t) = -\frac{d}{dt}R(t) \quad \{D.3\}$$

Definitie van Mean time to Failure:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad \{D.4\}$$

Constante storingsgraad en de exponentiële verdeling:

Indien we te maken hebben met een continu bedrijf met constante storingsgraad gelden de volgende definities:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad \{D.5\}$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad \{D.6\}$$

Constante storingsgraad en *demand failure* model:

Indien we te maken hebben met een serie van operaties en deze te tellen zijn en de faalkans onafhankelijk is van de voorgaande operaties dan geldt het volgende:

$$\lambda = \gamma * \rho \quad \{D.7\}$$

waarin  $\gamma$  aantal aanvragen en  $\rho$  de faalkans van iedere aanvraag

Tijdafhankelijke storingen en de Weibull verdeling:

Indien er sprake is van tijd afhankelijke storingen is de Weibull verdeling de meest gebruikte om de betrouwbaarheid begrippen vast te leggen:

$$\lambda(t) = \frac{m}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right) \quad \text{D.8}$$

waarin  $m$  een maat voor failure rate aangeeft en  $\theta$  de tijd beschrijft.  
 Indien  $m < 1$  dan is er sprake van afnemende storingsgraad,  
 Indien  $m > 1$  dan is er sprake van toenemende storingsgraad en  
 Indien  $m = 1$  dan is er sprake van constante storingsgraad.

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^m\right] \quad \text{D.9}$$

### Onderhoudbaarheid[11]

#### Mean corrective maintenance time (Mct)

Mct is gelijk aan de Mean time to repair (MTTR).

Onderstaand de vergelijking voor de Mct (MTTR) van een systeem bestaand uit  $i$ -deelsystemen ieder met een faalkans  $\lambda_i$ .

$$Mct = \frac{\sum (\lambda_i) \cdot (Mct_i)}{\sum \lambda_i} \quad \text{D.10}$$

#### Mean preventive maintenance time (Mpt)

In onderstaande vergelijking de Mpt van een systeem met  $i$ -deelsystemen, ieder met een frequentie van onderhoud  $fpt_i$ .

$$Mpt = \frac{\sum (fpt_i) \cdot (Mpt_i)}{\sum fpt_i} \quad \text{D.11}$$

#### Mean time between maintenance (MTBM)

MTBM geeft de gemiddelde tijd tussen alle onderhoudsacties aan, zowel preventief als correctief.

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_u} + \frac{1}{MTBM_s}} \quad \text{D.12}$$

waarin  $MTBM_u$  de 'unscheduled' (correctief) onderhoud is en  $MTBM_s$  'scheduled' (preventief) onderhoud is. Verder geldt  $MTBM_u \approx MTBF$  indien men uitgaat van zowel afhankelijke als onafhankelijke storingen.

### Beschikbaarheid[19]

Voor het uitdrukken van beschikbaarheid zijn drie basisvormen te onderscheiden: Inherent availability, Achieved availability en Operational availability.

#### Inherent Availability ( $A_i$ )

Bij storing van een systeem kan men direct de storing verhelpen. Alleen correctief onderhoud wordt meegenomen.

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad \text{D.13}$$

Achieved availability ( $A_a$ )

Bij de  $A_a$  is de uitgangssituatie dezelfde als bij  $A_i$ , met dien verstande dat hier preventief onderhoud ook wordt meegenomen. Men gaat dan ook uit van een MTBM i.p.v. een MTTR.

$$A_a = \frac{MTBM}{MTBM + M_{ct} + M_{pt}} \quad \{D.14\}$$

Operational Availability

In deze uitdrukking voor beschikbaarheid wordt naast bovenstaand ook de logistieke vertragingstijd (MDT) meegenomen.

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} \quad \{D.15\}$$

Deze uitdrukking is te scheiden in een correctief deel (MTBF) en een preventief deel (MTBSM) [20]

$$A_o = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MLDT} * \frac{MTBSM}{MTBSM + MSMT} \quad \{D.16\}$$

waarin:

MLDT = Mean logistic delay time

MTBSM = Mean time between scheduled maintenance

**Levensduurkosten [11]**

Levensduurkosten worden als volgt gedefinieerd:

$$C_{total} = C_R + C_P + C_O + C_D \quad \{D.17\}$$

waarin:

$C_R$  = Kosten voor onderzoek (research en development)

$C_P$  = Kosten voor productie

$C_O$  = Kosten voor exploitatie (operation&maintenance)

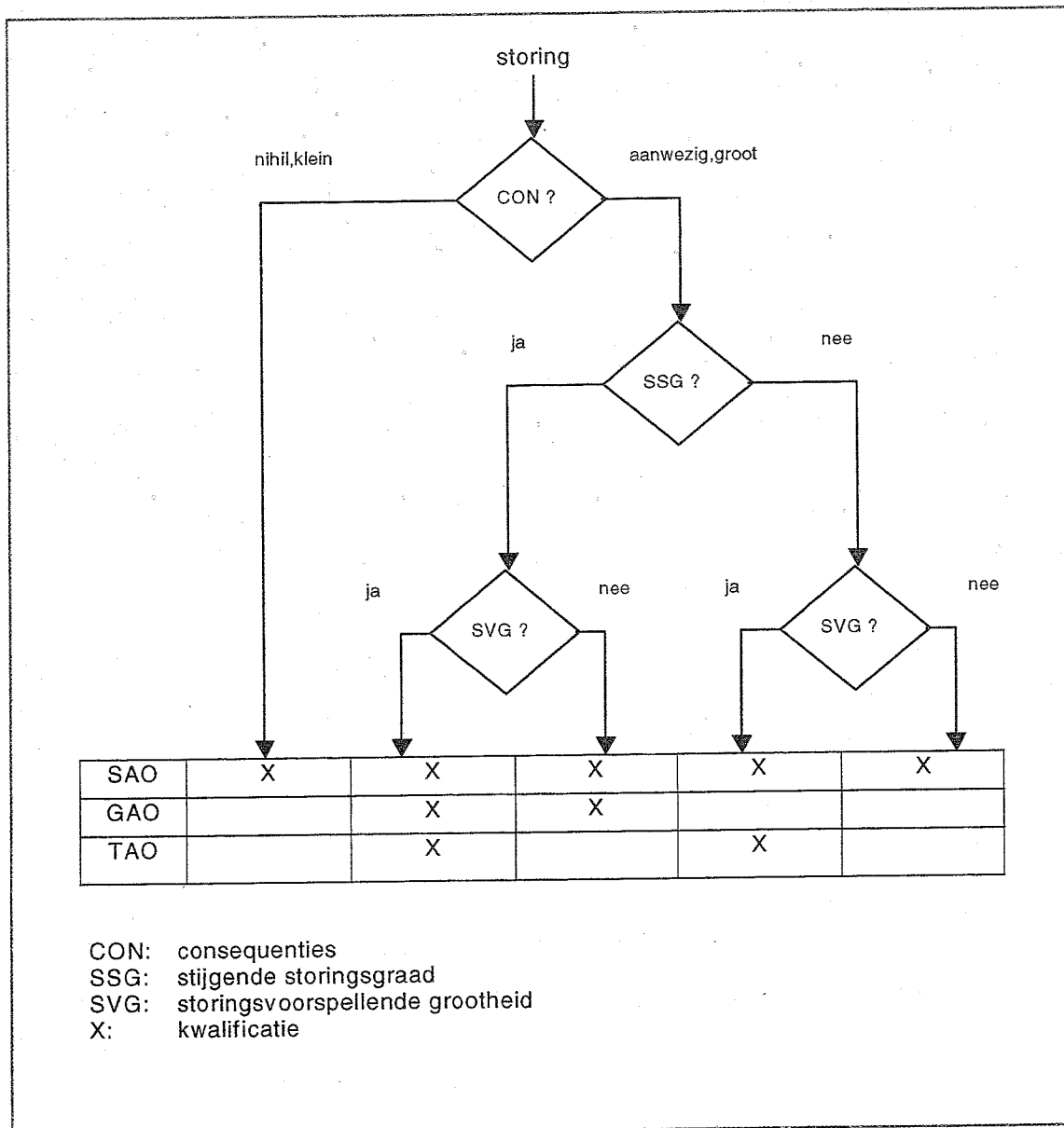
$C_D$  = Kosten voor afstoting (disposal)



## Bijlage E

### Beslissingsmethode classificeren onderhoud

(uit [16] figuur 11: 'Het kwalificeren van mogelijke categorieën van onderhoudsinitiatie')



**Toelichting classificatieproces (zie ook theorie paragraaf 3.5):**

Teneinde de onderhoudsinspanning te concentreren op de belangrijke storingen (veiligheid en missie) wordt aan storingen met geringe consequenties SAO (correctief onderhoud) gekoppeld. Voor de storingen aanzienlijke consequenties wordt bepaald of er een stijgende storingsgraad en/of een storingsvoorspellende grootte aanwezig is. Stijgende storingsgraad resulteert in GAO. Is er sprake van een storingsvoorspellende grootte dan kan TAO worden toegepast. Voor zowel GAO als TAO geldt dat ze beiden potentieel effectief zijn als het om preventief onderhoud gaat, echter beiden kunnen in correctief onderhoud resulteren v.w.b. storingen die anders nog kunnen optreden. Is voor de storingen met aanzienlijke consequenties geen GAO of TAO mogelijk dan vallen de storingen automatisch onder SAO. Zijn er meerdere mogelijkheden dan hebben GAO en TAO prioriteit boven SAO. Afweging tussen GAO en TAO is een combinatie van de factoren: veiligheid, missie en kosten. Een eenduidige oplossing is hiervoor niet te geven en wordt per geval onderbouwd.

## Bijlage F

### Beoordelingsmethode: gebruikskosten

#### Inleiding

In hoofdstuk 5 is de beoordelingsmethode behandeld waarin in grote lijnen de stappen staan vermeld en de achterliggende theorie wordt toegelicht. Deze bijlage is bedoeld om de beoordelingsmethode voor de gebruiker te concretiseren. Uitgangspunt is, zoals aangegeven in hoofdstuk 5, dat de materialisatie van een functioneel deelgebied beoordeeld wordt op beschikbaarheid en gebruikskosten. In bijlage B is de beschikbaarheid aan bod gekomen en in deze bijlage worden de gebruikskosten behandeld. De gebruikskosten worden bepaald m.b.v. de zogenaamde **ABC methode**. De theorie achter deze methode is behandeld in paragraaf 3.7 en de toepassing van de theorie voor het bepalen van de gebruikskosten in paragraaf 5.3. Hier zal de invulling van de toepassing verder worden uitgewerkt voor de gebruiker van de beoordelingsmethode. In onderstaande tabel worden de stappen op een rijtje gezet.

| stap | input   | proces   | output   |
|------|---|--|--|
| 1    | alle handelingen t.b.v. van 'leveren van buitenluchtonafhankelijke elektrische energie' | selecteren van handelingen die samen een representatieve activiteit zijn | set activiteiten                                 |
| 2    | set activiteiten  | identificeren kosten per activiteit                                      | costpool   |
| 3    | costpool  | kiezen kostenbepalende factoren  | costdriver                                       |
| 4    | costpool  | bepalen kosten in costpool   | gebruikskosten per costpool                      |
| 5    | gebruikskosten per costpool en costdrivers  | doorberekenen  | 'tarief' gebruikskosten per eenheid (kWh)        |
| 6    | 'tarief' gebruikskosten per eenheid (kWh)   | inschatten opgewekte kWh in exploitatiefase                              | gebruikskosten voor vervullen van gehele functie |

**tabel F- 1: stappen bepalen gebruikskosten m.b.v. ABC methode**

De stappen worden één voor één uitgewerkt. Voor de duidelijkheid wordt de exploitatiefase kort belicht.

#### Exploitatiefase

De exploitatiefase komt overeen met een periode van 15 jaar (zie paragraaf 2.4 voor toelichting).

#### 1. Set activiteiten

Paragraaf 5.3 heeft de overeenkomst tussen de begrippen 'handelingen' en 'taken' aangegeven en daarmee de overeenkomst tussen het begrip 'functie' en 'activiteit in de ABC methode'. De functionele deelgebieden blijken als activiteit te kunnen fungeren. Het juiste aggregatieniveau voor de beoordelingsmethode is hiermee bepaald. In onderstaande tabel een overzicht van de set activiteiten.

| <b>geselecteerde activiteiten</b> |
|-----------------------------------|
| voorzien in brandstof             |
| voorzien in zuurstof              |
| opwekken elektrische energie      |
| afhandelen restproduct            |

**tabel F- 2: set activiteiten**

## 2. Costpools

Bij het vaststellen van de costpool worden in eerste instantie alle kosten opgenomen die direct door de activiteit worden gebruikt. Daarna worden de ondersteunende activiteiten middels een verdeelsleutel doorberekend. Voordat directe en ondersteunende kosten per activiteit worden bepaald, worden alle mogelijke categorieën kosten vastgesteld. In tabel F-2 hiervan een overzicht

| categorie kosten                                      |
|---|
| kosten boordpersoneel correctief onderhoud            |
| kosten boordpersoneel preventief onderhoud            |
| kosten personeel MB <sup>i</sup> correctief onderhoud |
| kosten personeel MB preventief onderhoud              |
| kosten personeel MB MJO/TTO                           |
| kosten reservedelen                                   |
| kosten uitbesteding door MB                           |
| grondstofkosten                                       |

tabel F- 3: overzicht categorieën kosten

### Directe kosten

Directe kosten worden veroorzaakt door handelingen die direct zijn toe te schrijven aan een activiteit. Tabel F-4 geeft voor alle activiteiten aan welke categorie kosten onder de directe kosten van de activiteit vallen.

| costpool                    |
|-----------------------------|
| grondstofkosten             |
| kosten boordpersoneel CO    |
| kosten boordpersoneel PO    |
| kosten uitbesteding door MB |
| kosten reservedelen         |

tabel F- 4: costpool directe kosten voor alle activiteiten

### Ondersteunende kosten

Ondersteunende kosten worden niet direct veroorzaakt door handelingen m.b.t. de activiteit, maar hebben betrekking op alle handelingen die indirect toe te schrijven zijn aan de activiteit. Om de ondersteunende kosten door te kunnen berekenen aan een activiteit en bijbehorende costpool wordt gebruik gemaakt van verdeelsleutels. Deze verdeelsleutels geven weer door welke factoren de ondersteunende activiteit wordt veroorzaakt. Voor het vaststellen van verdeelsleutels zijn geen eenduidige regels en zal situatie afhankelijk zijn. In principe zal de verdeelsleutel rationeel worden vastgesteld, echter als dit niet te doen is zal een min of meer arbitraire wijze uitkomst moeten bieden.

Het budget voor het onderhoud van de Walrusklasse-onderzeeboten door MB is vastgelegd in een convenant met de CZMNED. In principe wordt al het onderhoud dat niet door de 'onderzeeboot' wordt uitgevoerd door het MB gedaan. Het budget geldt voor alle onderzeeboten bij elkaar waarbij een onderscheid gemaakt wordt in SEWACO<sup>ii</sup> en Platform<sup>iii</sup>.

Het onderhoud (correctief, preventief, MJO/TTO) van een AIP systeem zal onderdeel uitmaken van het budget Platform. De verdeelsleutel zal hierop gebaseerd moeten zijn.

Opslag en distributie van reservedelen vindt plaats in het opslag- en distributie centrum. De kosten van opslag- en distributie van reservedelen en grondstoffen zal via een verdeelsleutel van het budget 'opslag en distributie' doorberekend moeten worden aan de costpool.

Tabel F-5 geeft een overzicht van de ondersteunende kosten en een verdeelsleutel.

<sup>i</sup> MB: Marinebedrijf

<sup>ii</sup> SEWACO: sensor, wapen en commando systemen

<sup>iii</sup> Platform: omschrijving van alle installaties en casco dat niet onder SEWACO valt.

| ondersteunende kosten                     | verdeelsleutel                     |
|---|------------------------------------|
| kosten personeel MOB CO                   | aantal manuren CO voor deelfunctie |
| kosten personeel MOB PO                   | aantal manuren PO voor deelfunctie |
| kosten opslag en distributie reservedelen | percentage gebruikt vloeroppervlak |

**tabel F- 5: ondersteunende kosten en verdeelsleutels**

Tabel F-4 en F-5 geven de samenstelling van een costpool van een deelfunctie weer, waarbij de ondersteunende kosten middels een verdeelsleutel worden doorberekend.

### 3. Costdrivers

De *costdrivers* worden zo gekozen dat ze de kosten bepalende factoren representeren en zullen dus per activiteit een ander karakter hebben.

In onderstaande tabel wordt per activiteit (deelfunctie) een omschrijving van de activiteit en de bijbehorende *costdriver* geïdentificeerd. Bij het kiezen van de *costdriver* wordt als referentie eenheid kWh gebruikt. Een AIP systeem zal primair elektrische energie (uitgedrukt in kWh) leveren.

| activiteit   | omschrijving   | costdriver        |
|--|--|-------------------|
| voorzien in brandstof, voorzien in zuurstof, opwekking elektrische energie, afhandelen restproduct | de kosten worden vooral bepaald door het aantal draaiuren van het gehele systeem | draaiuren per kWh |

**tabel F- 6: costdrivers per activiteit**

Zoals uit tabel F-6 naar voren komt is voor alle activiteiten dezelfde costdriver gekozen. Dit is te verklaren uit het feit dat voor het functioneren van een AIP systeem alle deelfuncties vervuld moeten worden en dus dezelfde draaiuren per kWh maken. Het aantal draaiuren is bepalend voor de kosten van alle activiteiten. Toewijzing van onderhoudscapaciteit gebeurt grotendeels op basis van draaiuren, maar ook de grondstofkosten zijn hiervan afhankelijk.

### 4. Gebruikskosten functioneel deelgebied

De directe en ondersteunende kosten zijn ondergebracht in een costpool die aan een activiteit gekoppeld is. De costdriver 'draaiuren per kWh' is voor alle activiteiten dezelfde allen is er een verschil in de hoogte van de kosten in de costpool waardoor er per costpool (of activiteit) een ander 'tarief' ontstaat voor de doorberekening. Een inschatting van de gebruikskosten van een functioneel deelgebied (is dus de hoogte van de bijbehorende costpool) is nu van belang.

### 5. Gebruikskosten 'leveren buitenluchtonafhankelijke elektrische energie'

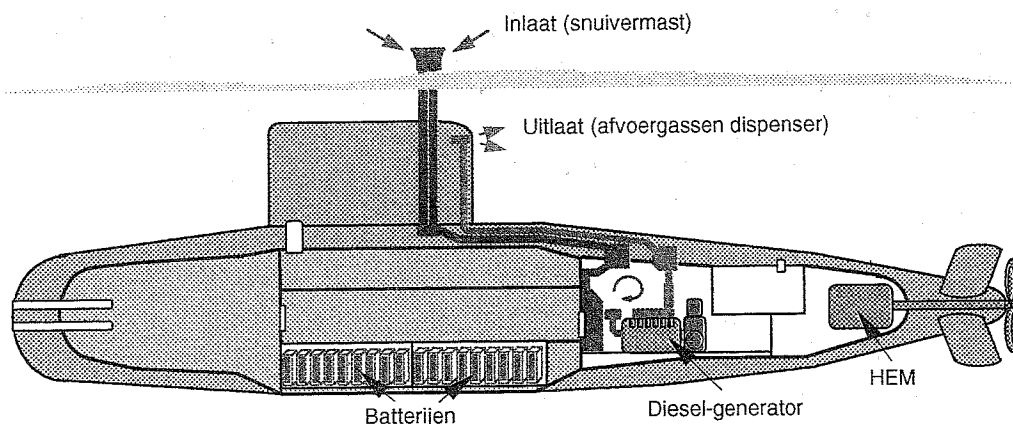
De costdriver geeft een 'tarief' aan voor de doorberekening van de gebruikskosten per kWh per activiteit. Een inschatting van de hoeveelheid opgewekte elektrische energie gedurende de exploitatiefase is nodig om de gebruikskosten voor het vervullen van de functie 'leveren van buitenluchtonafhankelijke elektrische energie'

## Bijlage G

### Walrusklasse-onderzeeboot: Dieselelektrische voortstuwing

#### Algemeen

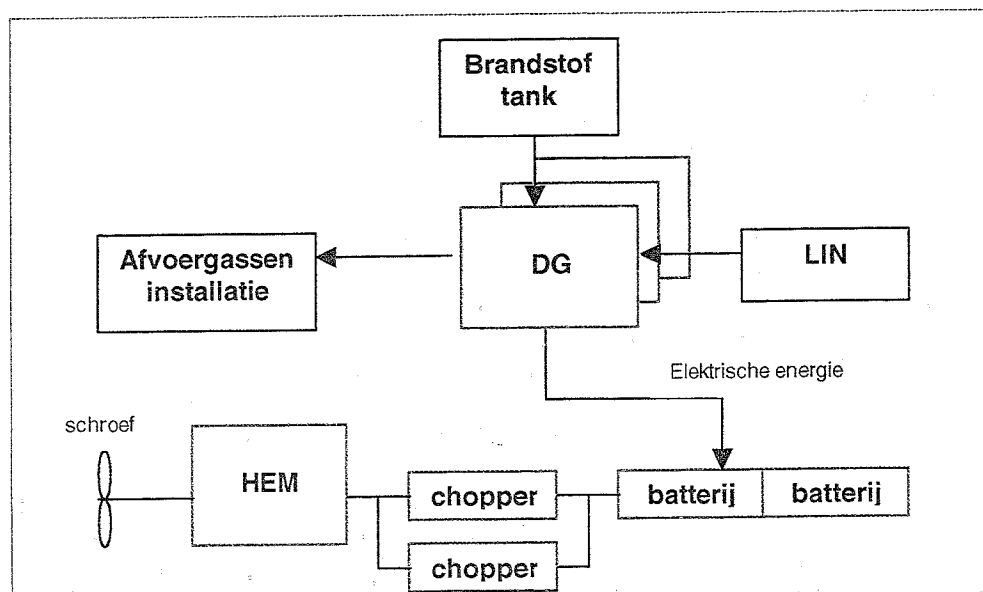
In deze bijlage wordt de zogenaamde dieselelektrische (DE) voortstuwing van de Walrusklasse-onderzeeboot beschreven zoals die is geïmplementeerd bij de bouw van de onderzeeboot. Door middel van deze bijlage wordt getracht de principewerking van een dieselelektrisch voortgestuwde onderzeeboot te verduidelijken. In deze bijlage worden geen tactische onderwerpen behandeld m.b.t. de inzet van het systeem. De beschrijving van het systeem is in de 'onderwatertoestand', zie figuur G-1.



figuur G-1: dieselelektrische onderzeeboot 'snuiverend' in onderwatertoestand

#### Systeembeschrijving [25]

Het voortstuwingssysteem bestaat uit drie dieselgeneratoren (DG'en), twee hoofdbatterijen, een Hoofd Elektro Motor (HEM), twee choppers en een enkele vaste schroef. Om dit systeem aan boord van een onderzeeboot te laten functioneren zijn meer systemen benodigd, te weten: luchtinlaat installatie (LIN) en afvoergassen installatie. Naast deze 'grote systemen' zijn er diverse kleinere systemen die wel een relatie hebben met de voortstuwingsinstallatie, maar niet van belang zijn voor de begripsvorming. Deze worden hier buiten beschouwing gelaten.



figuur G-1: blokschematische voorstelling DE voortstuwing Walrusklasse onderzeeboot

De onderlinge relatie en de werking van de voortstuwingsconfiguratie is als volgt (zie figuur G-1 en G-2):

Het uitgangspunt in de beschrijving is dat de schroef wordt aangedreven door de HEM, die wordt gevoed door elektrische energie vanuit de twee hoofdbatterijen, door tussenkomst van de choppers. De choppers hebben als taak te zorgen voor een gelijkmatige spanningstoevoer aan de HEM. De hoogte van de totale spanning in de twee hoofdbatterijen is bepalend voor de voortstuwingscapaciteit van de onderzeeboot. Zodra deze spanning niet meer voldoet aan de eisen die door de gebruiker worden gesteld, wordt de batterij geladen. De laadspanning wordt geleverd door de DG'en. De benodigde brandstof wordt, indirect, uit de diverse brandstoftanks onttrokken. Aangezien de onderzeeboot zich onderwater bevindt zal er lucht van buiten onttrokken moeten worden, om de DG'en te kunnen starten. Dit gebeurt middels de LIN en wordt 'snuiveren' genoemd. De onderzeeboot gaat dan naar zogenaamde 'periscoopdiepte' (diepte waarbij masten boven het wateroppervlakte uitsteken als ze opgestoken worden) en doormiddel van de snuivermast (in feite een grote snorkel) wordt buitenlucht naar binnen gezogen en kunnen de dieselgeneratoren opgestart worden. De afvoergasseninstallatie draagt er zorg voor dat de afvoergassen van de DG'en buiten de onderzeeboot terecht komen.

## Bijlage H

### Closed Cycle Diesel

#### Algemeen

Het concept van de closed cycle diesel (CCD) wordt zowel onderzocht op bruikbaarheid voor militaire als civiele industrie. In de militaire industrie is de toepassing van een CCD installatie in onderzeeboten uitvoerig onderzocht en zijn diverse prototypen gebouwd. RDM Submarines heeft een prototype als landopstelling (300kWe en verder in ontwikkeling tot 400kWe) en is één van de mogelijke AIP systemen voor de Walrusklasse-onderzeeboot.

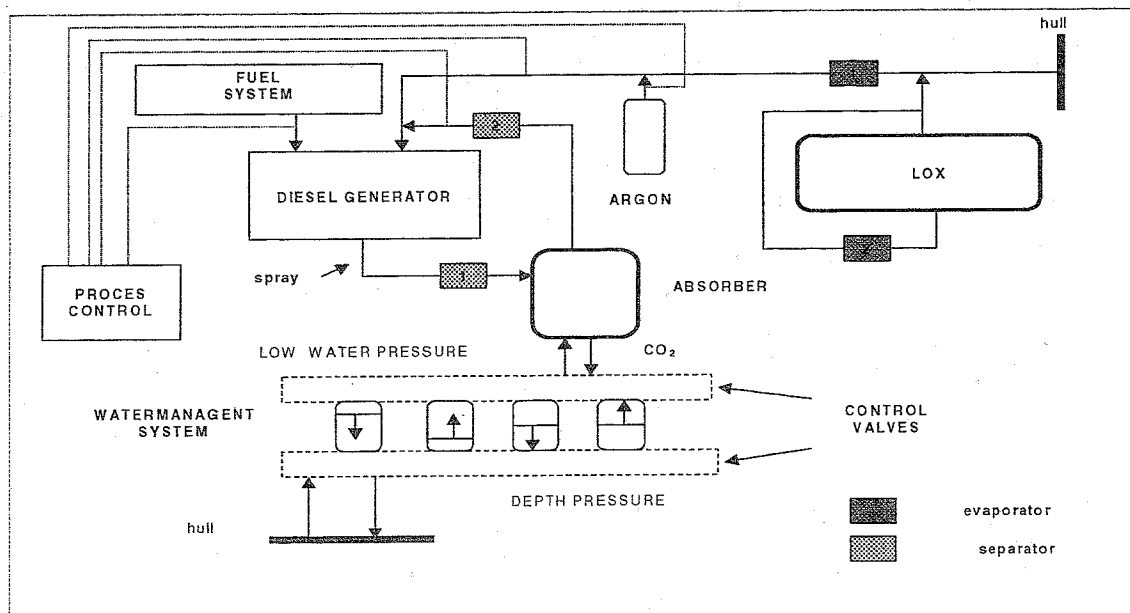
In deze bijlage worden de volgende onderwerpen m.b.t. een CCD installatie behandeld :

- systeembeschrijving;
- materialisatie functionele deelgebieden

#### Systeembeschrijving [3]

De kern van een CCD installatie (figuur H-1) wordt, evenals bij de huidige conventionele DE configuratie (zie [bijlage G](#)), gevormd door een dieselgenerator. Iedere dieselmotor kan in theorie, met een groot aantal aanpassingen, functioneren in een CCD installatie. Een CCD installatie heeft een gesloten gascyclus, voorzien van een absorber om de bij verbranding vrijkomende restproducten af te scheiden uit de gasstroom en in zeewater op te lossen. Om de restproducten op grotere diepte buitenboord te brengen wordt er gebruik gemaakt van een watermanagementsysteem.

De CCD installatie van de RDM maakt gebruik van synthetische lucht: stikstof, kooldioxide, argon en zuurstof. Toevoeging van argon geeft een hoger rendement. De stikstof die normaal in de lucht aanwezig is, zit bij het opstarten in de cyclus en komt in evenwicht met de stikstof die in zeewater opgelost is.



figuur H-1: schematische voorstelling CCD installatie

Een CCD installatie is grofweg als volgt op te delen:

- dieselgenerator;
- gesloten gascyclus met zuurstof- en argon voorziening;
- fuel systeem;
- zeewatersysteem met:
  1. absorber;
  2. watermanagementsysteem.

De verschillende delen worden verder omschreven.

### Dieselgenerator

Zoals opgemerkt kan in principe iedere dieselmotor en generator worden geïmplementeerd in een CCD installatie. Een groot aantal aanpassingen zijn dan wel nodig, bijvoorbeeld een verhoogde inlaatdruk en maatregelen om uitgestraald geruis te minimaliseren. Ontwikkelingen binnen RDM geven aan dat een compacte dieselmotor met generator volledig aangepast voor een CCD installatie te vervaardigen is. Een dieselmotor in een CCD installatie maakt gebruik van conventionele dieselolie (F76).

### Fuel system

Aangezien de dieselmotor gebruik maakt van conventionele dieselolie kan de bestaande (in huidige platform) brandstofverbruikstank in het systeem worden opgenomen. Een opvoerpomp en koeler zorgen voor distributie van dieselolie op de juiste temperatuur naar de dieselmotor.

### Gesloten gassencyclus en zeewatersysteem

In de beschreven CCD installatie wordt uitgegaan van zogenaamde cryogene opslag van zuurstof (Liquid-Oxygen, LOX) in een goed geïsoleerde tank. Voor het gebruik van zuurstof in deze vorm moet het eerst verdampen (evaporator) om in de gassenstroom van de CCD installatie opgenomen te worden. De warmte die hiervoor benodigd is kan gehaald worden uit het koelingcircuit van de dieselgenerator of uit warmtelekverliezen van de LOX tank.

In voorgaande is reeds opgemerkt dat toevoeging van argon in de gassenstroom het thermisch rendement verhoogd. De reden waarom het rendement verhoogd wordt valt buiten de scope van dit onderzoek en wordt als gegeven beschouwd. Het op peil houden van de hoeveelheid argon vindt gelijktijdig plaats met het toevoeren van zuurstof.

Om de CO<sub>2</sub> uit de gassenstroom te verwijderen, wordt gebruik gemaakt van een absorber. Het uitlaatgas wordt gekoeld (spray) en door een absorber geleid, waar CO<sub>2</sub> oplost in zeewater en het bij verbranding ontstane water condenseert. Niet alle CO<sub>2</sub> wordt door de absorber verwijderd, dit is afhankelijk van de systeemdruk, partiële druk van CO<sub>2</sub> in de uitlaatgassen en de zeewatertemperatuur. De overige gassen in de gassenstroom lossen nagenoeg niet op in het zeewater. Bij verbranding van koolwaterstoffen komt water vrij die uit de gesloten kring gehaald moet worden. Dit gebeurt door de vrijgekomen afvoergassen af te koelen (spray) en de gecondenseerde waterdamp uit het systeem te halen (separator).

Het watermanagementsysteem is een essentieel onderdeel van de CCD installatie om de concentratie CO<sub>2</sub> in de CCD installatie te verminderen. Een WMS bestaat in theorie uit twee vaten en kleppen, de verversing van water is batchgewijs. Om een continueflow te creëren wordt het systeem drievoudig uitgevoerd (niet in figuur H-1) waardoor het een driefasen systeem wordt.

Het benodigde zeewater wordt door de omgevingsdruk binnenboord geperst, door de absorber geleid en weer buitenboord gebracht. Door gebruik te maken van het drukverschil binnen- en buitenboord hoeft alleen het drukverlies t.g.v. stromingsweerstand overwonnen te worden. Hierdoor zijn kleine pompen te gebruiken in het WMS.

De systeembeschrijving van de CCD installatie is hiermee voltooid.

### **Materialisatie functionele deelgebieden**

Eén van de belangrijkste conclusies uit hoofdstuk 4 is dat er overeenkomstige functionele deelgebieden zijn. Een invulling daarvan door technologie wordt materialisatie genoemd waardoor taken uitgevoerd kunnen worden en de functies vervuld. In tabel H-1 een overzicht hiervan. In tabel H-2 wordt de verdeling verder uitgewerkt en worden functies en onderlinge relaties gegeven.

Opmerkingen bij tabel H-1:

1. Een CCD installatie maakt gebruik van een conventionele dieselgenerator (met aanpassingen) die op 'gewone' dieselolie (F76) draait. De brandstofverbruikstank van het huidige platform kan in het systeem worden opgenomen en is onderdeel van de brandstof opvoer- en reinigingsinstallatie met Basis Standaard Materieels Indicatie (BSMI) 1251.
2. De argon voorziening wordt opgenomen in het functionele deelgebied 'zuurstofvoorziening'. Het wordt gelijktijdig toegevoerd met zuurstof en kan als een supplement van zuurstof worden beschouwd om een hoger thermisch rendement te krijgen.
3. Onder het seawatersysteem vallen zowel reduceren van de concentratie CO<sub>2</sub> (uit het systeem en buitenboord brengen) in een CCD installatie (dus inclusief WMS) als het verwijderen van water dat vrijkomt bij de verbranding van koolwaterstoffen en afvoeren van warmte uit het gehele systeem middels een koelingcircuit.



| functioneel deelgebied       | deelsysteem                        | componenten   |
|------------------------------|------------------------------------|---|
| voorzien in brandstof        | fuel system CCD                    | fuel circulation pump<br>fuel koeler<br>brandstofverbruikstank (BSMI 1251 <sup>1</sup> )                    |
| voorzien in zuurstof         | gesloten gassencyclus <sup>2</sup> | LOX installatie<br>argon installatie<br>gasrecycle installatie  |
| opwekken elektrische energie | dieselgenerator                    | dieselmotor(DM)<br>smeerolie installatie DM<br>generator installatie<br>air-conditioning dieselgeneratorset |
| afhandelen restproduct       | seawatersystem <sup>3</sup>        | absorbercircuit<br>spraycircuit<br>koelingscircuit  |

tabel H-1: indeling van een CCD installatie in deelsystemen en bijbehorende componenten [26]

|                              | component  | functie  | relatie met component  |
|------------------------------|--|--|--|
|                              | <i>fuel system CCD</i>                           |  |  |
| voorzien in brandstof        | fuel circulation pump                            | opvoeren van brandstof voor dieselmotor                    | dieselmotor  |
|                              | fuel koeler                                      | koelen van overtollig brandstof van de dieselmotor         | dieselmotor, koelingscircuit   |
|                              | brandstofverbruikstank (BSMI 1251 <sup>1</sup> ) | opslag van gereinigde brandstof                            | fuel circulation pump  |
|                              | <i>gesloten gassencyclus</i>                     |  |  |
| voorzien in zuurstof         | LOX installatie                                  | opslag van vloeibare zuurstof in een geïsoleerde tank      | gasrecycle installatie, koelingscircuit  |
|                              | argon installatie                                | opslag en toevoegen van argon t.b.v. thermische rendement  | gasrecycle installatie   |
|                              | gasrecycle installatie                           | distributie van gerecycled gas t.b.v. DM                   | dieselmotor, argon installatie, LOX installatie, absorbercircuit, spraycircuit                           |
|                              | <i>dieselgenerator</i>                           |  |  |
| opwekken elektrische energie | dieselmotor(DM)                                  | aandrijven generator                                       | gasrecycle installatie, fuel circulation pump, olie koeler, koelingscircuit, absorbercircuit             |
|                              | smeerolie installatie DM                         | DM voorzien van smeerolie op juiste temperatuur            | dieselmotor(DM)  |
|                              | generator installatie                            | opwekken van elektrische energie                           | dieselmotor(DM), koelingscircuit, energieopslag  |
|                              | air-conditioning dieselgeneratorset              | ruimte van dieselgenerator op de juiste temperatuur houden | koelingscircuit  |
|                              | <i>seawatersystem</i>                            |  |  |
| afhandelen restproduct       | absorbercircuit                                  | reduceren concentratie CO <sub>2</sub>                     | gasrecycle installatie   |
|                              | spraycircuit                                     | koelen afvoergassen  | gasrecycle installatie   |
|                              | koelingscircuit                                  | afvoeren en voorzien van warmte in het CCD systeem         | generator installatie, dieselmotor(DM, air-conditioning dieselgeneratorset, LOX installatie, fuel koeler |

tabel H-2: materialisatie van de CCD installatie (RDM) [26]

## Bijlage I

### Stirlingmotor

#### Algemeen

Voor grotere vermogens is de verkrijgbaarheid van stirlingmotoren gering. De voor AIP meest interessante motor wordt geproduceerd door Kockums waarvan een aantal nodig is om het benodigde vermogen te verkrijgen. Dit bedrijf levert al enige jaren stirlinginstallaties voor onderzeeboten van de Zweedse Marine. Ook op het internationale vlak worden de stirlinginstallaties van dit bedrijf steeds meer toegepast. Bij deze systemen vindt de verbranding plaats onder hoge druk, waardoor geen watermanagementsysteem benodigd is om CO<sub>2</sub> buitenboord te brengen. De installatie van Kockums die in aanmerking komt voor implementatie aan boord van de Walrusklasse-onderzeeboot is het type V4-275. Hiervan zullen dan een vijftal geplaatst moeten worden om het vereiste vermogen te verkrijgen

In deze bijlage worden de volgende onderwerpen m.b.t. een stirlinginstallatie behandeld:

- systeembeschrijving;
- materialisatie functionele deelgebieden

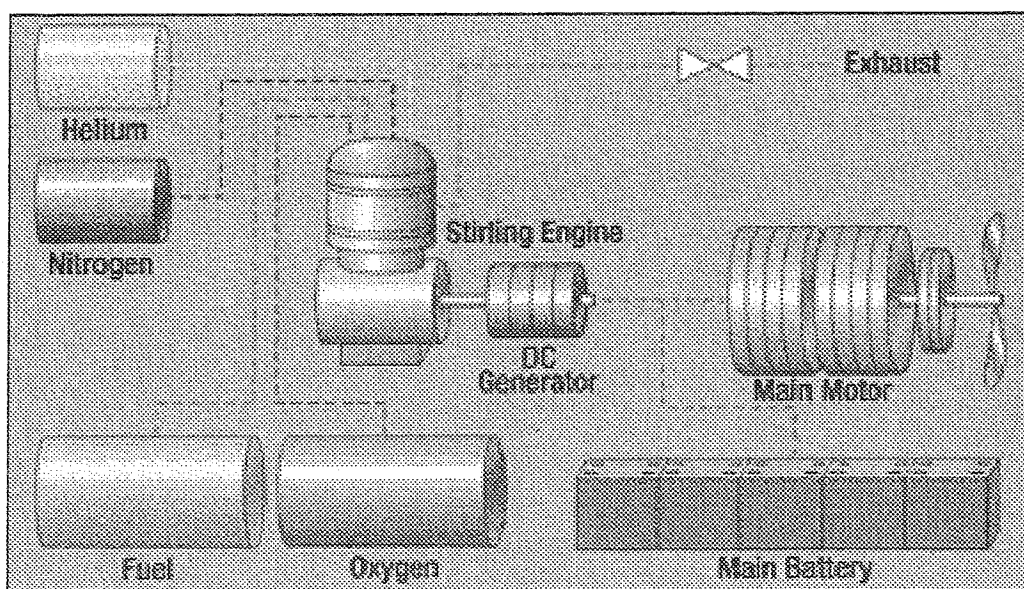
#### Systeembeschrijving [3]

Evenals bij het systeem van de CCD vormt de stirlingmotor het hart van het systeem, zie figuur I-1. Er zijn diverse deelsystemen nodig om een stirlingmotor te kunnen laten functioneren. Allereerst zal het werkingsprincipe van een stirlingmotor worden toegelicht en vervolgens worden de deelsystemen beschreven.

#### Energieopwekking

De stirlingmotor werkt dankzij het feit dat een gas (arbeidsmedium) bij verwarming uitzet en bij afkoeling in volume afneemt. De warmtetoevoer en -afvoer vindt plaats aan de buitenzijde van de cilinder via warmtewisselaars. Een veel gebruikt arbeidsmedium is helium, maar ook waterstof of lucht zijn te gebruiken.

Uiteindelijk drijft de stirlingmotor een generator aan waardoor er elektrische energie wordt opgewekt.



figuur I-1: eenvoudige weergave van een AIP systeem met een stirlingmotor

### Brandstof

Voor de verbranding maakt een stirlingmotor gebruik van zwavelarme dieselolie om corrosie te voorkomen. De dieselolie wordt opgeslagen in een brandstoftank.

### Zuurstof

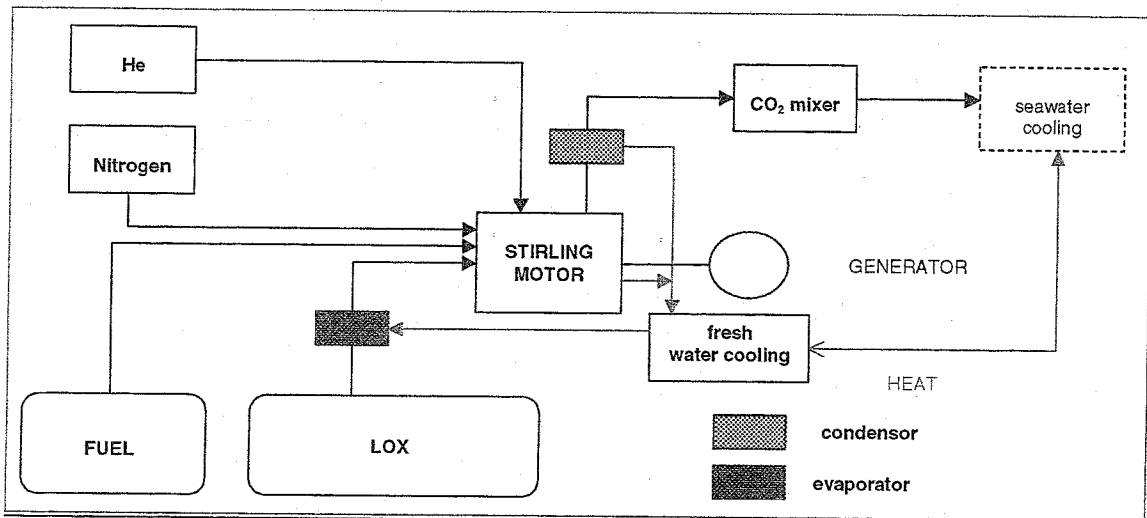
Het stirlingproces maakt gebruik van zuivere zuurstof die in vloeibare vorm opgeslagen wordt in een LOX tank. Alvorens de zuivere zuurstof aan de stirlingmotor wordt aangeboden voor de verbranding zal de zuivere zuurstof worden verdampt middels een verdamer. De benodigde warmte wordt onttrokken uit het koelwatersysteem voor de stirlingmotor en condensator (zie ook figuur I-2).

### Afhandeling restproduct

Als belangrijkste restproduct kan CO<sub>2</sub> worden aangewezen. Dit bevindt zich in de uitlaatgassen die vrijkomen bij het verbrandingsproces. De uitlaatgassen worden via een condensor geleid waar de gassen worden afgekoeld en waterdamp condenseert. De afvoergassen worden vervolgens via een CO<sub>2</sub> mixer geleid waar de CO<sub>2</sub> wordt opgelost in zeewater en in het zoutkoelwatersysteem (is nu al aan boord) opgenomen. Aangezien de verbranding in de stirlingmotor onder hoge druk (groter dan de buitenboord druk) plaatsvindt is er geen watermanagementsysteem nodig om de CO<sub>2</sub> buitenboord te brengen.

Een ander restproduct betreft warmte die vrijkomt bij het verbrandingsproces en bij het condenseren van de uitlaatgassen. Een deel van deze warmte wordt middels een koelwatersysteem naar de verdamer voor de LOX geleid en de rest wordt afgevoerd via het zoutkoelwatersysteem.

Als laatste wordt de toevoeging van stikstof (nitrogen) genoemd om de verbrandingskamer, voor en na de start, vrij te maken van restgassen.



figuur I-2: schematische weergave AIP systeem Kockums met V4-275R MkII stirlingmotor

### Materialisatie functionele deelgebieden

Eén van de belangrijkste conclusies uit hoofdstuk 4 is dat er overeenkomstige functionele deelgebieden zijn. Een invulling daarvan door technologie wordt materialisatie genoemd waardoor taken uitgevoerd kunnen worden en de functies vervuld. In tabel I-1 een overzicht hiervan. In tabel I-2 wordt de verdeling verder uitgewerkt en worden functies en onderlinge relaties gegeven.

Opmerkingen bij tabel I-1:

1. Het functionele deelsysteem voor energieopwekking wordt fysiek ingevuld door een stirlingmotor met daaraan gekoppeld een generator en helium toevoer als arbeidsmedium. Deze componenten vormen samen het deelsysteem 'stirlinggenerator'.
2. Om de restproducten te verwerken wordt gebruik gemaakt van een aantal componenten die niet eenduidig in een deelsysteem onder te brengen zijn. De term 'hulpsysteem' is hier een verzameling componenten die de restproducten verwerken. De uitlaatgassen worden verwerkt middels een condensor en een CO<sub>2</sub> mixer. De warmte die vrijkomt wordt verwerkt door het zoutkoelwatersysteem. Stikstof (nitrogen) wordt als spoelgas gebruikt om de verbrandingskamer voor en na de start schoon te spoelen.

| functioneel deelgebied       | deelsysteem                    | componenten   |
|------------------------------|--------------------------------|---|
| voorzien in brandstof        | brandstofsysteem               | brandstoftank   |
| voorzien in zuurstof         | zuurstofsysteem                | LOX tank<br>evaporator  |
| opwekken elektrische energie | stirlinggenerator <sup>1</sup> | stirlingmotor<br>generator<br>helium opslagtank                                   |
| afhandelen restproduct       | hulpsysteem <sup>2</sup>       | condensor<br>CO <sub>2</sub> mixer<br>zoetkoelwatersysteem<br>nitrogen opslagtank |

**tabel I-1: indeling van een AIP systeem met een stirlingmotor (Kockums) in deelsystemen en bijbehorende componenten**

|                              | component                                     | functie   | relatie met component  |
|------------------------------|---|---|--|
| voorzien in brandstof        | <i>brandstofsysteem</i>                       |   |  |
|                              | brandstoftank                                 | stirlingmotor voorzien van zwavelvrije dieselolie   | stirlingmotor  |
| voorzien in zuurstof         | <i>zuurstofsysteem</i>                        |   |  |
|                              | LOX tank<br>evaporator                        | opslag en distributie van vloeibare zuurstof<br>verdampen van vloeibare zuurstof t.b.v. stirlingmotor | evaporator<br>stirlingmotor<br>zoetkoelwatersysteem  |
| opwekken elektrische energie | <i>stirlinggenerator</i>                      |   |  |
|                              | stirlingmotor                                 | aandrijven van generator  | evaporator<br>brandstoftank<br>nitrogen opslagtank<br>helium opslagtank<br>zoetkoelwatersysteem<br>condensor |
|                              | generator<br>helium opslagtank                | opwekken van elektrische energie<br>stirlingmotor voorzien van arbeidsmedium                          | energieopslag<br>stirlingmotor<br>stirlingmotor  |
| afhandelen restproduct       | <i>hulpsysteem</i>                            |   |  |
|                              | condensor                                     | condenseren van de afvoergassen   | zoetkoelwatersysteem<br>stirlingmotor<br>CO <sub>2</sub> mixer<br>condensor                                  |
|                              | CO <sub>2</sub> mixer<br>zoetkoelwatersysteem | oplossen van CO <sub>2</sub> in zeewater<br>afvoeren en distribueren van warmte                       | zoetkoelwatersysteem<br>stirlingmotor<br>condensor<br>evaporator<br>zoetkoelwatersysteem                     |
|                              | nitrogen opslagtank                           | opslaan en distribueren van spoelgas  | stirlingmotor  |

**tabel I-2: materialisatie van een AIP systeem met een stirlingmotor (Kockums)**

## Bijlage J

### Brandstofcel metaalhydride [3]

#### Algemeen

In een brandstofcel wordt elektrische energie opgewekt door een chemische reactie tussen waterstof en zuurstof waarbij water het enige restproduct is. Dit soort brandstofcellen worden polymeer brandstofcellen genoemd. Dit type brandstofcel is interessant als AIP systeem vanwege de lage bedrijfstemperatuur, hoog rendement en schok- en trilbestendigheid. Er zijn twee typen polymere brandstofcellen als AIP systeem mogelijk, te weten: brandstofcel metaalhydride (deze bijlage) en brandstofcel methanol (zie [bijlage K](#)). In deze bijlage wordt de principe werking van een polymere brandstofcel behandeld.

Bij de brandstofcel metaalhydride wordt zuivere waterstof aan boord meegenomen, opgeslagen in metaalhydride tanks (zie systeembeschrijving). Dit systeem is ontwikkeld door Howaldtswerke-Deutsche Werf (HDW), Thyssen Nordseewerke (TNSW) en Siemens. De technologie wordt toegepast in de nieuwe Duitse onderzeeboot U-212 en tevens geëxporteerd.

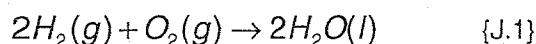
In deze bijlage worden de volgende onderwerpen m.b.t. de brandstofcel metaalhydride behandeld :

- polymeer brandstofcel
- systeembeschrijving;
- materialisatie functionele deelgebieden.

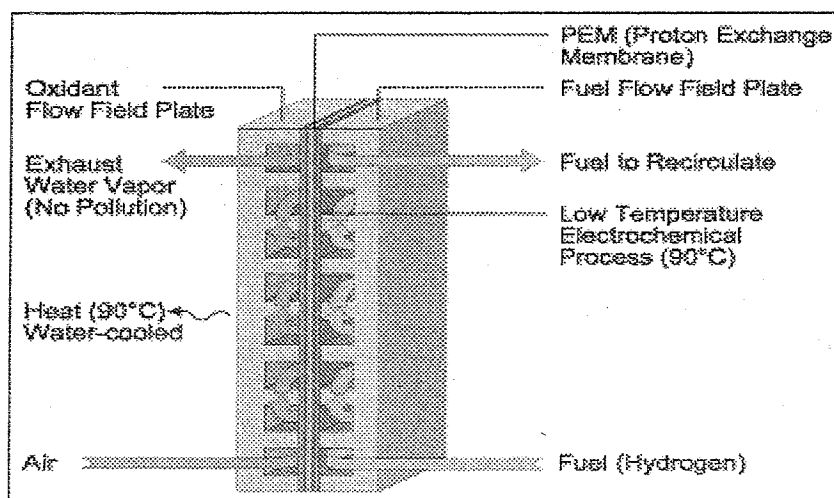
#### Polymeer brandstofcel (PEFC: Polymer Electrolyte Fuel Cell)

Zoals opgemerkt gaat het principe van een polymeer brandstofcel uit van een chemische reactie van waterstof en zuurstof, waarbij elektrische energie vrijkomt en water het enige restproduct is. Het hoge rendement is het belangrijkste voordeel t.o.v. andere technologieën (rendement > 70%). Het rendement van het systeem neemt af door randapparatuur als compressoren en pompen.

Een brandstofcel heeft twee elektroden, een zuurstofzijde (kathode) en een brandstofzijde (anode). Als brandstof maakt de PEFC gebruik van waterstof. Als katalysator wordt vaak platina gebruikt. Anode en kathode zijn gescheiden door een elektrolyt waardoor ionen transport plaatsvindt. De overall reactie is als volgt:

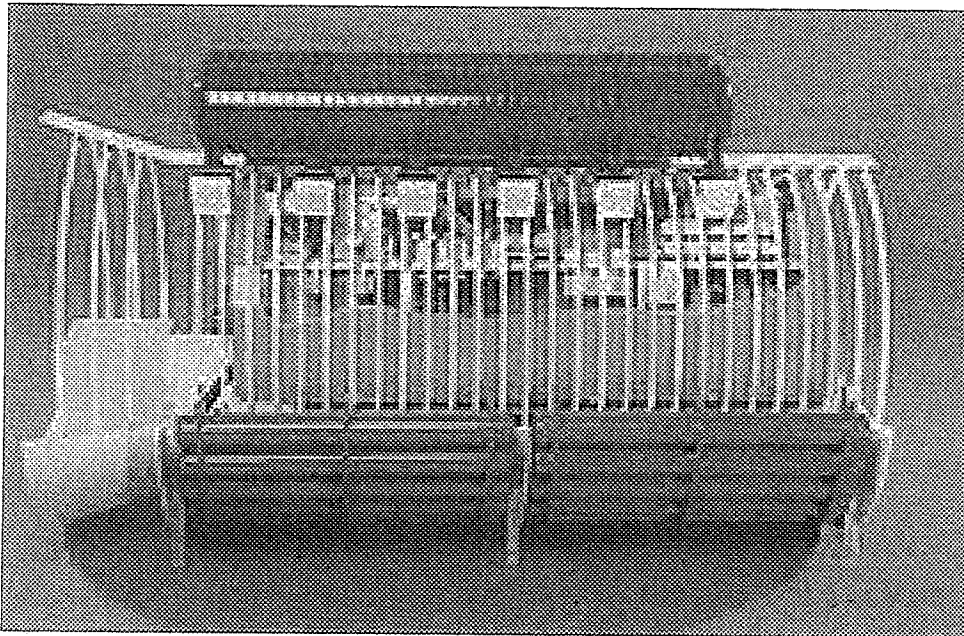


Deze reactie veroorzaakt een transport van elektrische lading en dus elektrische stroom, die nuttig vermogen kan leveren aan uitwendige belasting. Door een serieschakeling ('stack') kan de gewenste spanning verkregen worden. In figuur J-1 wordt het principe verduidelijkt.



figuur J-1: principe polymere brandstofcel

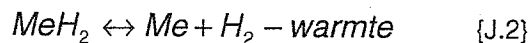
Opslag van waterstof kan praktisch gezien op drie manieren: gasvormig, vloeibaar en in metaalhydriden.



figuur J-2: brandstofcel met zuivere methanol opgeslagen in metaalhydride (rode) tanks

### Systeembeschrijving

De werking van de brandstofcel metaalhydride berust op bovenstaande principe met waterstof opgeslagen in (conform de benaming) in metaalhydride tanks. Figuur J-2 laat het systeem zien met onderin (rood) de metaalhydride tanks. De reactie die tot het vrijkomen van waterstof leidt, is als volgt.



Uit de formule {J.2} blijkt dat voor het vrijmaken van waterstof uit metaalhydride, warmte nodig is. Waterstof dat niet direct benodigd is, zal opgeslagen blijven in de chemische verbinding waardoor de opslagvorm veiliger is dan onder druk of in vloeibare vorm.

Aan de hand van figuur J-3 zal het gehele systeem worden besproken.

### Brandstofcel

Het systeem gaat uit van een hybride situatie (zie paragraaf 1.4, figuur 4.1) waarbij de AIP installatie parallel geschakeld is aan een dieselgenerator en batterijen. Om voldoende spanning te creëren zijn 9 'stacks' benodigd. Eén stack is als redundantie (serie geschakeld) opgenomen terwijl 8 stacks voldoende elektrisch vermogen leveren om de batterij op te laden.

Het reactieproduct wordt geschikt gemaakt voor consumptie en wordt niet geloosd om het totale gewicht constant te houden (i.v.m. de trim van de onderzeeboot). De brandstofcel wordt in principe als 'dead end' bedreven, waarmee bedoeld wordt dat de afvoer van de waterstofkant van de brandstofcel gesloten is. Alle toegevoerde waterstof wordt in principe verwerkt.

### Waterstof

De opslag van waterstof in metaalhydride tanks geschiedt over meerdere druktanks. De druktanks bevinden zich buitenboord tussen de drukhuid (binnenhuid) en de buitenhuid (stroomlijn) van de onderzeeboot. Er bevinden zich meerdere tanken van andere systemen tussen de binnen- en buitenhuid van een onderzeeboot.

Om het systeem te vullen wordt m.b.v. driewegkleppen via een vulleiding het systeem eerst schoongeblazen met N<sub>2</sub> en daarna aangesloten op een H<sub>2</sub> vulinstallatie. De waterstof in het systeem moet zeer zuiver zijn (minimaal 99,999%).

De benodigde warmte om de waterstof vrij te maken uit de chemische verbinding van de metaalhydride tank (zie formule {J.2}) wordt uit het productwater vrijgemaakt. Hiertoe wordt de ruimte tussen de binnen- en buitenhuid doorvloed. Uit veiligheidsoverwegingen worden de wanden van de waterstofleidingen dubbel uitgevoerd waarbij het buitenste leidingdeel met stikstof gevuld is en onder druk gehouden wordt.

Zuurstof

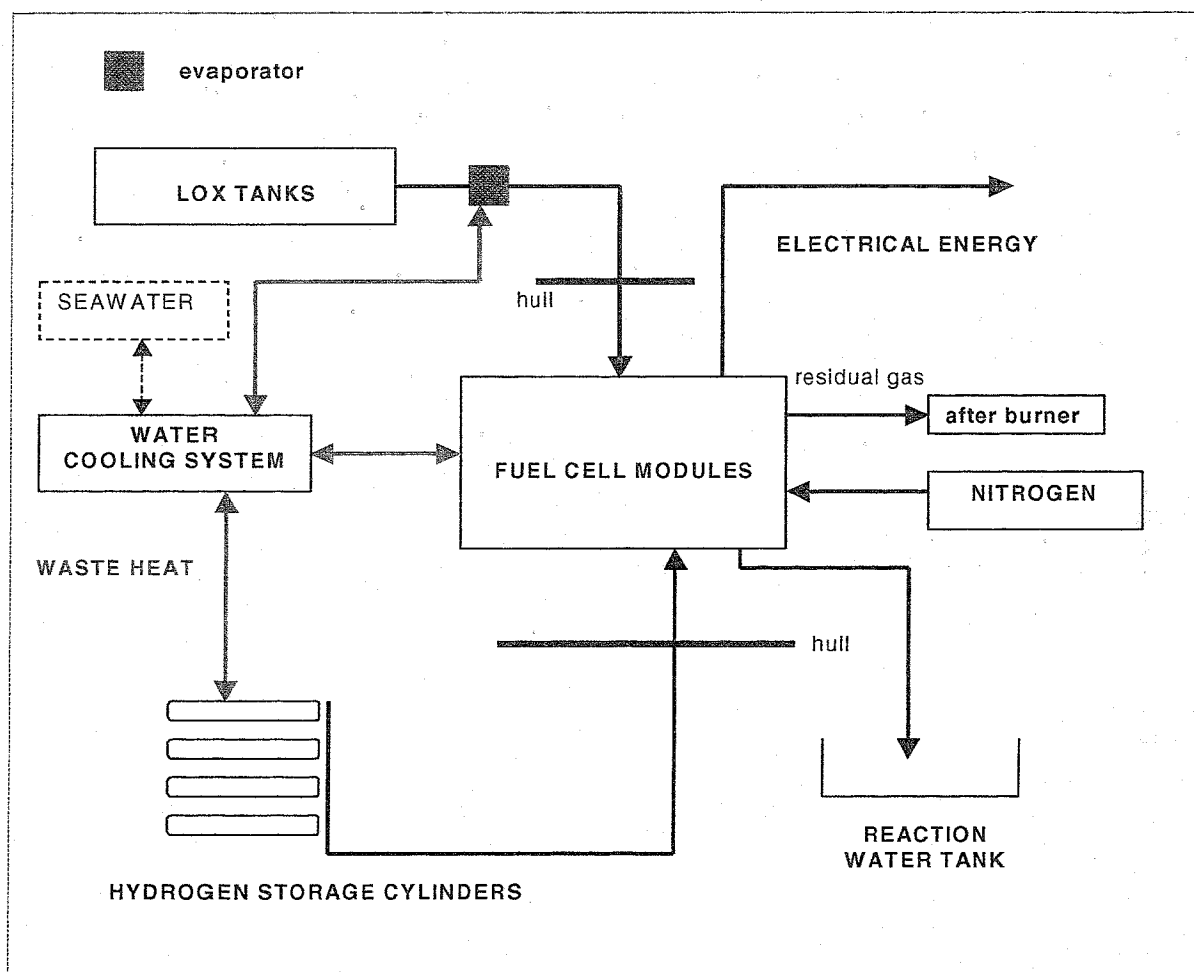
De benodigde zuurstof wordt in vloeibare vorm opgeslagen buiten de drukhuid in LOX tanks. Door de zuurstof buitenboord te verdampen (evaporator) wordt een grote veiligheid gegarandeerd.

Hulpsystemen

Vooraf bij het opstarten van het systeem worden niet alle reactanten omgezet. Deze worden alsnog omgezet middels naverbrander (after burner).

De restwarmte van de brandstofcellen worden afgevoerd door het productwater via een koelwatersysteem waarmee de metaalhydride tanks worden verwarmd. Het koelwatersysteem voorziet de evaporator eveneens van warmte

Voor de dubbelwandige leidingen is een constante stikstofverzorging nodig.



figuur J-3: schematische weergave brandstofcel metaalhydride AIP systeem

**Materialisatie functionele deelgebieden**

Eén van de belangrijkste conclusies uit hoofdstuk 4 is dat er overeenkomstige functionele deelgebieden zijn. Een invulling daarvan door technologie wordt materialisatie genoemd waardoor taken uitgevoerd kunnen worden en de functies vervuld. In tabel J-1 een overzicht hiervan. In tabel J-2 wordt de verdeling verder uitgewerkt en worden functies en onderlinge relaties gegeven.

Vanuit de systeembeschrijving en de functionele decompositie zijn de deelsystemen te identificeren en te koppelen aan een functioneel deelgebied. Identificatie van deelsystemen leidt tot afbakening van een functioneel deelgebied (zie tabel J-1). Daar waar noodzakelijk wordt d.m.v. een opmerking (noot) een toelichting gegeven.

| functioneel deelgebied       | deelsysteem      | componenten  |
|------------------------------|------------------|--|
| voorzien in brandstof        | waterstofsysteem | metaalhydride tanks<br>stikstofvoorziening <sup>1</sup>                        |
| voorzien in zuurstof         | zuurstofsysteem  | 2* LOX tank<br>evaporator  |
| opwekken elektrische energie | fuel cell module | 9 * polymere brandstofcel  |
| afhandelen restproduct       | hulpsystemen     | naverbrander<br>koelwatersysteem <sup>2</sup><br>reactiewatertank <sup>3</sup> |

**tabel J-1: indeling van een AIP systeem met een polymere brandstofcel metaalhydride in deelsystemen en bijbehorende componenten**

Opmerkingen bij tabel J-1:

1. De stikstofvoorziening (nitrogen) wordt als component brandstofvoorziening gerekend t.b.v. de dubbelwandige waterstofleidingen.
2. Het koelwatersysteem wordt gerekend tot het functionele deelgebied 'afhandeling restproduct' (i.p.v. bij het functionele deelgebied 'brandstofvoorziening') omdat het direct in verband staat met de afhandeling van restwarmte.
3. De reactiewatertank waarvan het water geschikt gemaakt wordt voor consumptie valt in de systeembeschrijving niet onder de hulpsystemen maar is uiteraard wel verbonden met het functionele deelgebied 'afhandeling restproduct'.

|                              | component                 | functie  | relatie met component  |
|------------------------------|---------------------------|--|--|
| voorzien in brandstof        | <i>waterstofsysteem</i>   |  |  |
|                              | metaalhydride tanks       | vrijmaken en distribueren van waterstof  | koelwatersysteem,<br>9 * polymere brandstofcel   |
|                              | stikstofvoorziening       | buitenste deel dubbelwandige waterstof leiding onder druk houden t.b.v. veiligheid | 9 * polymere brandstofcel  |
| voorzien in zuurstof         | <i>zuurstofsysteem</i>    |  |  |
|                              | 2* LOX tank               | opslag en distributie van vloeibare zuurstof                                       | evaporator   |
|                              | evaporator                | verdamping van vloeibare zuurstof naar gasvormige zuurstof                         | 9 * polymere brandstofcel,<br>LOX tank, koelwatersysteem   |
| opwekken elektrische energie | <i>fuel cell module</i>   |  |  |
|                              | 9 * polymere brandstofcel | opwekken van elektrische energie   | energieopslag,<br>stikstofvoorziening,<br>metaalhydride tanks,<br>evaporator,<br>reactiewatertank,<br>koelwatersysteem |
| afhandelen restproduct       | <i>hulpsystemen</i>       |  |  |
|                              | naverbrander              | katalytische verbranden van reactanten die vrijkomen bij opstarten                 | 9 * polymere brandstofcellen   |
|                              | koelwatersysteem          | verwerken en distribueren vrijgekomen warmte                                       | 9 * polymere brandstofcellen,<br>metaalhydride tanks,<br>evaporator,<br>(zeewater)                                     |
|                              | reactiewatertank          | afvoeren van overtollig productwater   | 9 * polymere brandstofcellen   |

**tabel J-2: materialisatie van een AIP systeem met een polymere brandstofcel, variant: brandstofcel metaalhydride**



## Bijlage K

### **Brandstofcel methanol**

#### **Algemeen**

De producent van de brandstofcel metaalhydride (HDW) is bezig met de ontwikkeling van een zelfde type brandstofcel maar met een andere vorm van brandstofvoorziening. De benodigde waterstof wordt nu echter vrijgemaakt uit methanol, dat in vloeibare vorm wordt opgeslagen aan boord. Over het vermogen en veiligheidsaspecten van dit systeem is op dit moment nog niets bekend. Wel is bekend dat de firma Ballard Power Systems, in opdracht van het Canadese ministerie van defensie, een prototype brandstofcel ontwikkeld heeft, gebaseerd op het zelfde principe: waterstof vrijmaken uit vloeibare methanol middels een reformer. De resultaten van dit prototype waren veel belovend [3], echter de producent ziet af van verdere ontwikkeling. De volgende systeem beschrijving is gebaseerd op summier informatie van HDW en de ervaringen en opbouw van het systeem van Ballard Power Systems.

In deze bijlage worden de volgende onderwerpen m.b.t. de brandstofcel methanol behandeld :

- systeembeschrijving;
- materialisatie functionele deelgebieden.

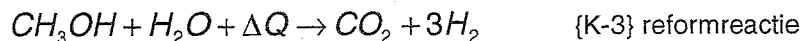
#### **Systeembeschrijving [3]**

Uitgangspunt voor dit systeem is de hybride situatie waarbij de AIP installatie parallel geschakeld staat aan de dieselgeneratoren.

Aan de hand van de schematische voorstelling in figuur K-1 wordt het systeem beschreven. Voor de brandstofcel wordt verwezen naar bijlage J.

#### Waterstof

Uitgangspunt bij dit systeem is de vorming van waterstof uit methanol middels een methanolreformer. Het reformen van methanol heeft als voordeel dat er geen zwavel in zit en dus geen ontwavelingsapparatuur noodzakelijk is. Daarnaast kan methanol bij relatief lage temperaturen gereformd worden (150°C - 350°C) wat gunstig is voor het rendement van het gehele systeem. Bij deze lage temperaturen vinden de volgende reacties plaats waardoor grote hoeveelheden waterstof geproduceerd worden.



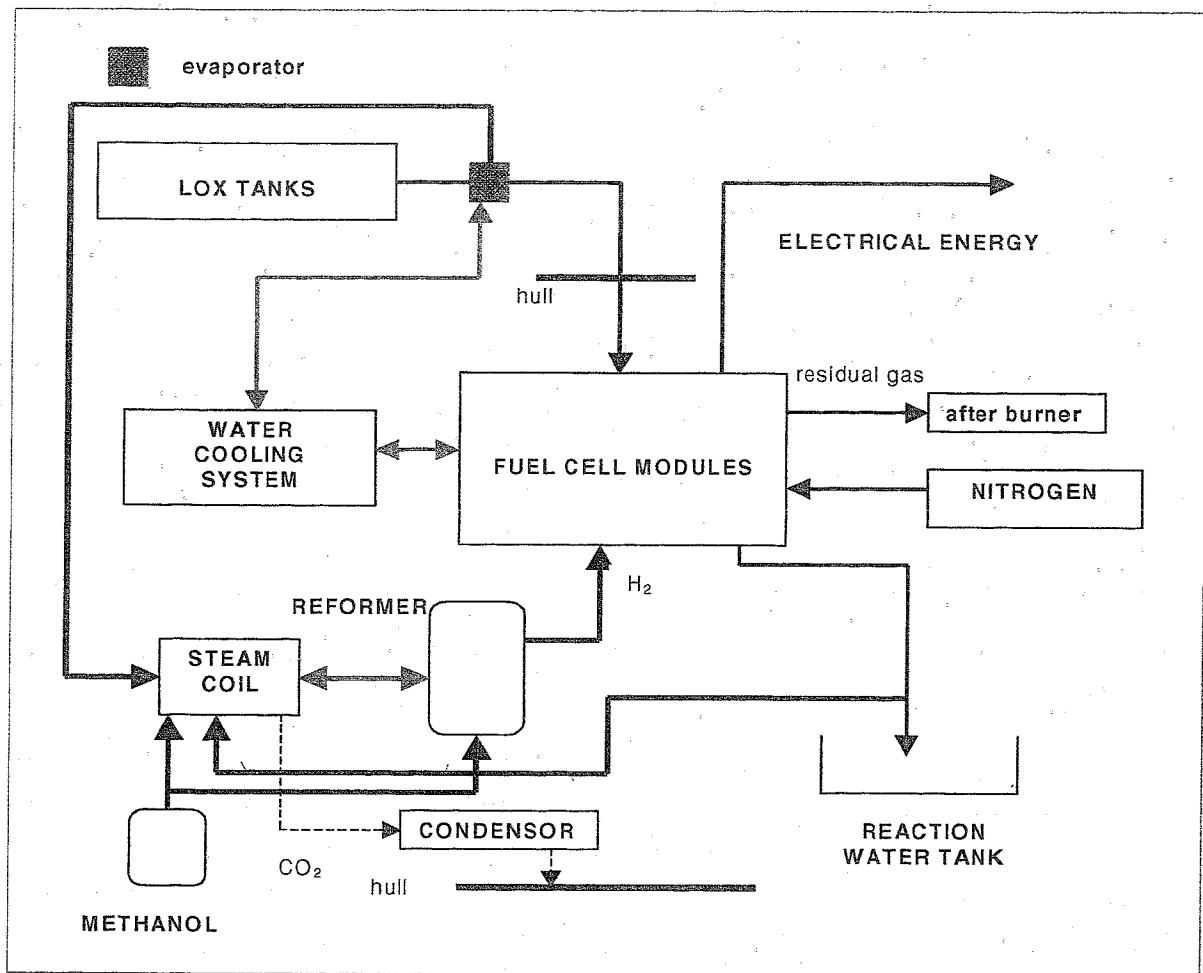
De methanol wordt meegenomen in vloeibare vorm en opgeslagen in een tank. De benodigde warmte wordt geleverd door een boiler waar verbranding van methanol plaatsvindt. Het water wordt geleverd door het productwater dat vrijkomt bij reactie in de brandstofcel.

#### Zuurstof

Zuurstof voor de brandstofcel wordt opgeslagen in vloeibare vorm in zogenaamde Liquid Oxygen (LOX) tanks. Alvorens het de brandstofcel bereikt wordt de vloeibare zuurstof omgezet in gasvormige zuurstof middels een verdamper (evaporator).

#### Restproduct

Het restproduct CO<sub>2</sub> uit de reformer wordt middels een condensor in vloeibare vorm buiten boord gebracht. Een watermanagementsysteem is niet nodig omdat de verbranding onder hoge druk plaatsvindt.



figuur K-1: schematische weergave AIP systeem polymere brandstofcel, variant brandstofcel methanol

### Materialisatie functionele deelgebieden

Eén van de belangrijkste conclusies uit hoofdstuk 4 is dat er overeenkomstige functionele deelgebieden zijn. Een invulling daarvan door technologie wordt materialisatie genoemd waardoor taken uitgevoerd kunnen worden en de functies vervuld. In tabel K-1 een overzicht hiervan. In tabel K-2 wordt de verdeling verder uitgewerkt en worden functies en onderlinge relaties gegeven.

| functioneel deelgebied       | deelsysteem      | componenten   |
|------------------------------|------------------|---|
| voorzien in brandstof        | waterstofsysteem | methanolreformer<br>methanolopslag<br>boiler  |
| voorzien in zuurstof         | zuurstofsysteem  | LOX tank<br>verdamper   |
| opwekken elektrische energie | fuel cell module | 9* polymere brandstofcel  |
| afhandelen restproduct       | hulpsystemen     | CO <sub>2</sub> condensator<br>naverbrander<br>koelwatersysteem<br>reactiewatertank |

tabel K-1: indeling van een AIP systeem met een polymere brandstofcel methanol in deelsystemen en bijbehorende componenten

|                              | component                 | functie  | relatie met component   |
|------------------------------|---------------------------|--|---|
| voorzien in brandstof        | <i>waterstofsysteem</i>   |  |   |
|                              | methanolreformer          | omzetten van methanol in o.a. waterstof                                      | methanolopslag, boiler,   |
|                              | methanolopslag            | opslag en distributie van methanol   | methanolreformer, boiler  |
|                              | boiler                    | methanolreformer voorzien van warmte   | methanol, methanolreformer, CO <sub>2</sub> condensor, productwater, verdamper                                    |
| voorzien in zuurstof         | <i>zuurstofsysteem</i>    |  |   |
|                              | LOX tank                  | opslag en distributie van vloeibare zuurstof                                 | verdamper   |
|                              | verdamper                 | verdampen van vloeibare zuurstof naar gasvormige zuurstof                    | polymere brandstofcel, boiler   |
| opwekken elektrische energie | <i>fuel cell module</i>   |  |   |
|                              | 9* polymere brandstofcel  | opwekken van elektrische energie   | energieopslag, verdamper, methanolreformer, reactiewatertank, koelwatersysteem, naverbrander, stikstofvoorziening |
| afhandelen restproduct       | <i>hulpsystemen</i>       |  |   |
|                              | CO <sub>2</sub> condensor | oplossen van CO <sub>2</sub> in zeewater                                     | boiler  |
|                              | naverbrander              | <i>katalytisch verbrander van reactanten die vrijkomen bij het opstarten</i> | 9* polymere brandstofcel  |
|                              | koelwatersysteem          |  | 9* polymere brandstofcel, evaporator  |
|                              | reactiewatertank          | verwerken en distribueren van vrijgekomen warmte                             | 9* polymere brandstofcel  |
|                              |                           | afvoeren van overtollig productwater   |   |

**tabel K-2: materialisatie van een AIP systeem met een polymere brandstofcel, variant: brandstofcel methanol**

## Bijlage L

### Casestudy: de BOVI

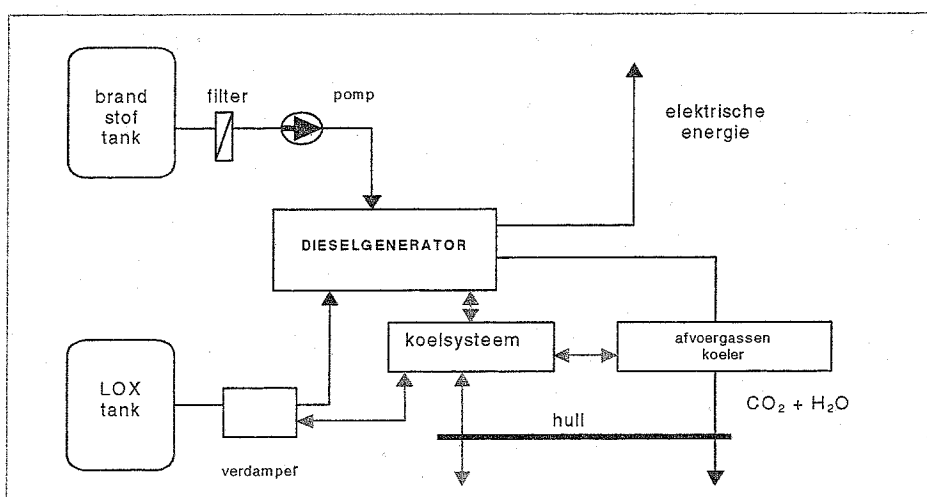
#### Inleiding

Om de juiste werking van de beoordelingsmethode te verifiëren wordt door middel van een casestudy de methode geïmplementeerd waardoor de beoordelingsmethode geëvalueerd kan worden.

Hoofdstuk 7 geeft het raamwerk voor de evaluatie. Deze bijlage zal de relevante gegevens presenteren. Voordat de relevante gegevens aan bod komen zal een korte samenvatting van de casestudy worden gegeven.

#### Samenvatting

De casestudy heeft betrekking op de beoordeling van een buitenluchtonafhankelijke voortstuwingsinstallatie, BOVI genaamd. De regering van BlueLand is geïnteresseerd in een dergelijk systeem voor haar onderzeeboten van de Orcaklasse, een dieselelektrische onderzeeboot. De BOVI wordt geleverd door het bedrijf SUBFACT dat in Greenland gelegen is. Het is een nieuw 'state of the art' product van SUBFACT waarin bekende en specifiek ontworpen componenten zijn opgenomen. Een schematische weergave van de 'BOVI' is in figuur L-1 opgenomen.

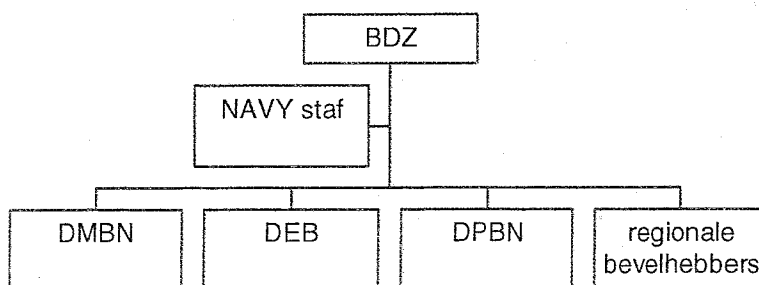


figuur L-1: schematische weergave van de BOVI

#### Relevante gegevens

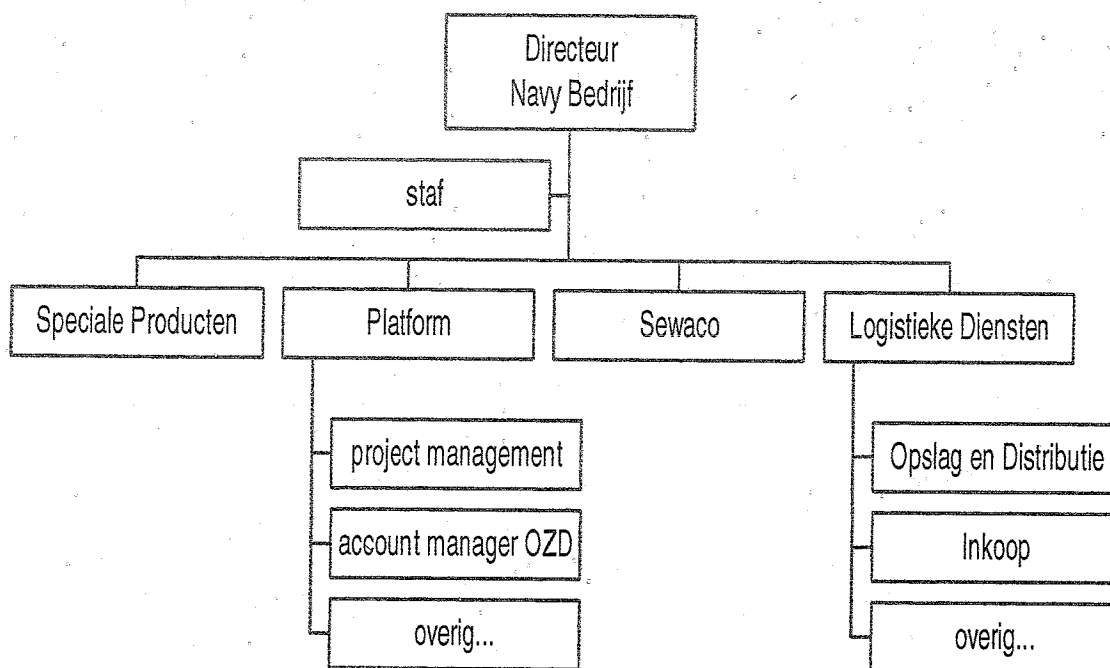
##### Organisatie

In de figuren L-2 en L-3 worden de organogrammen weergegeven van respectievelijk de Blue Navy en het Navy Bedrijf. Daarna volgt een toelichting over de organisatiestructuren en de onderlinge samenwerking.



figuur L-2: organisatiestructuur Blue Navy

<sup>1</sup> De organisatiestructuur is direct overgenomen van de organisatiestructuur van de KM, zie bijlage A



figuur L-3: organisatiestructuur Navy Bedrijf<sup>ii</sup>

In figuur L-2 is naar voren gekomen dat de regionale bevelhebber direct verantwoordelijkheid verschuldigd is aan de bevelhebber der zeestrijdkrachten (BDZ). De BDZ legt op zijn beurt verantwoordelijkheid af aan de Minister van Defensie. De Blue Navy Onderzeedienst (BLOZD) valt onder een regionale bevelhebber. Voor de exploitatie van haar materieel maakt de regionale bevelhebber afspraken met o.a. het Navy Bedrijf (NB) voor wat betreft de instandhouding. De afspraken worden vastgelegd in een convenant. Er zijn twee soorten convenanten, een lange termijn convenant en een jaarlijks convenant. Het lange termijn convenant is gebaseerd op het vaar- en oefenschema (V&O)<sup>iii</sup> van de Blue Navy enerzijds en de beschikbare capaciteit van het Navy Bedrijf anderzijds. Het jaarlijks convenant is een detailinvulling van het V&O schema waarin het gepland onderhoud naar voren komt, maar waarin ook de gereserveerde capaciteit t.b.v. correctief onderhoud wordt verdeeld. Bij de capaciteitsplanning op lange termijn van het NB wordt ieder jaar een bepaald deel van de capaciteit gereserveerd voor correctief onderhoud, ook wel incidenteel onderhoud genoemd.

De kosten voor instandhouding (loon, materiaal, uitbesteding, enz) komen voor rekening van het budget van het NB. De loonkosten van boordpersoneel en de verbruikskosten die gemaakt worden wanneer het materieel wordt ingezet komen voor rekening van de regionale bevelhebber.

In figuur L-3 komt naar voren dat het NB is onderverdeeld in een aantal divisies: speciale producten, sewaco, platform en logistieke diensten. De laatste twee zijn van direct belang voor de case en worden verder uitgewerkt.

De divisie platform zal direct verantwoordelijk zijn voor de instandhouding van de Orcaklasse-onderzeeboten en dus ook van een eventueel geïmplementeerd AIP systeem. Hierbij zijn twee afdelingen van belang. Allereerst de afdeling projectmanagement die voor de uitvoering van de instandhouding verantwoordelijk is en de accountmanager onderzeedienst die in eerste instantie het toegewezen budget bewaakt en prioriteiten hierin stelt.

De divisie Logistiek Diensten zal voor de instandhouding van de Orcaklasse-onderzeeboot, en dus van een AIP systeem, zorg dragen voor de inkoop van reservedelen. Een aantal onderdelen zal op voorraad liggen in het Opslag en Distributie centrum, vooral MILSPEC<sup>iv</sup> componenten met een lange levertijd. Andere componenten worden aangekocht wanneer ze benodigd zijn en worden dan direct aan de divisie of de eenheid (bijvoorbeeld onderzeeboot) toegewezen. Ook ligt een groot aantal verbruiksartikelen op voorraad in het Opslag en Distributie centrum hierbij valt te denken aan bouten, moeren, schroeven e.d.

<sup>ii</sup> De organisatiestructuur is overgenomen en een vereenvoudiging van de organisatie van het Marinebedrijf van de KM

<sup>iii</sup> Binnen de KM wordt eveneens een V&O schema gehanteerd als lange termijnplanning. Het V&O schema vormt de basis voor het inplannen van onderhoud en operationele aspecten (operaties en oefeningen).

<sup>iv</sup> MILSPEC componenten zijn componenten die aan militaire specificaties voldoen en niet op de commerciële markt verkrijgbaar zijn. Vaak wordt er éénmaal een productieproces opgestart om deze componenten te produceren. Het instandhoudingsplan zal hier rekening mee moeten houden. Over het algemeen wordt een aantal van deze componenten aangekocht waarbij een deel op voorraad blijft liggen totdat het benodigd is.

Materialisatie van functionele deelgebieden

In hoofdstuk 7 is de materialisatie van de functionele deelgebieden aan bod gekomen. Deze materialisatie wordt hier verder uitgewerkt waarbij relaties tussen de componenten worden aangegeven en de componentspecificaties besproken worden. Voor een compleet beeld volgt in tabel L-1 de materialisatie per functioneel deelgebied.

| functioneel deelgebied       | deelsysteem                 | componenten                           |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| voorzien in brandstof        | brandstofsysteem            | brandstoftank<br>filter<br>opvoerpomp |
| voorzien in zuurstof         | zuurstofsysteem             | LOX tank<br>verdamper                 |
| opwekken elektrische energie | dieselgenerator installatie | dieselmotor<br>generator              |
| afhandelen restproduct       | zeewatersysteem             | koelsysteem<br>afvoergassenkoeler     |

**tabel L- 1: materialisatie van de BOVI per functioneel deelgebied**

De materialisatie wordt verder uitgewerkt in tabel L-2 waar de functie van de componenten omschreven en de relatie met andere componenten aangegeven wordt.

|                              | component                             | functie   | relatie met component  |
|------------------------------|---------------------------------------|---|--|
| voorzien in brandstof        | <i>brandstofsysteem</i>               |   |  |
|                              | brandstoftank<br>filter<br>opvoerpomp | opslag van dieselolie<br>zuiveren van aangezogen dieselolie<br>distributie van dieselolie naar<br>dieselmotor | filter<br>opvoerpomp, brandstoftank<br>opvoerpomp<br>dieselmotor   |
| voorzien in zuurstof         | <i>zuurstofsysteem</i>                |   |  |
|                              | LOX tank<br>verdamper                 | opslag van vloeibare zuurstof<br>verdamper van vloeibare zuurstof   | verdamper<br>dieselmotor   |
| opwekken elektrische energie | <i>dieselgenerator installatie</i>    |   |  |
|                              | dieselmotor<br><br>generator          | aandrijven generator<br><br>opwekken elektrische energie  | generator, opvoerpomp<br>verdamper, afvoergassenkoeler<br>koelsysteem<br>dieselmotor, batterij,<br>koelsysteem |
| afhandelen restproduct       | <i>zeewatersysteem</i>                |   |  |
|                              | koelsysteem<br><br>afvoergassenkoeler | reguleren warmtehuishouding<br>systeem<br>koelen en condenseren afvoergassen                                  | dieselmotor, generator,<br>verdamper, afvoergassenkoeler<br>dieselmotor, koelsysteem                           |

**tabel L- 2: fysieke decompositie van de BOVI**

Middels tabellen L-1 en L-2 is de materialisatie van de BOVI over de functionele deelgebieden vastgelegd. Volgende stap is het vaststellen van de componentspecificatie waarbij voor iedere component een algemene omschrijving van de specificatie wordt gegeven en een aanduiding of de component eerder in andere systemen is gebruikt (intern gebruikt), de component ontworpen is maar geen nieuwe technologie betreft (extern gebruikt) of de component juist wel een nieuwe technologie bevat (nieuw). Deze aanduiding is van belang voor de gegevensverzameling. In tabel L-3 wordt dit uitgewerkt.

| component                             | specificatie  | technologie   | gegevensbron                               |
|---------------------------------------|---|---|--|
| brandstoftank<br>filter<br>opvoerpomp | inhoud: 7 m <sup>3</sup><br>twee-traps coalescer<br>dieselgedreven<br>verdringer pomp | intern gebruikt<br>extern gebruikt<br>extern gebruikt | leverancier<br>expertise<br>OREDA & NRDP95 |
| LOX tank                              | 18m <sup>3</sup> , 24 bar, cyrogenic<br>isolatie: 2.5 kg/ uur, 20°                    | nieuw   | leverancier                                |

|                          |   |                                    |                |
|--------------------------|---|------------------------------------|----------------|
| verdamp(er)              | zeewater verwarmd<br>tube heater, 80g/sec                 | nieuw                              | leverancier    |
| dieselmotor<br>generator | 4-takt, 12 cilinder<br>330 kWe, 3-fase<br>gelijkrichter,  | extern gebruikt<br>extern gebruikt | OREDA<br>OREDA |
| koelsysteem              | luchtgekoeld (zeewater)<br>zeewater, tube stack<br>koeler | intern gebruikt                    | expertise      |
| afvoergassenkoeler       | dwaarsstroomprincipe,<br>zeewater gekoeld                 | intern gebruikt                    | expertise      |

**tabel L- 3: componentspecificatie BOVI en gegevensbronnen**

#### Beschikbaarheid

Om de beschikbaarheid van de BOVI te bepalen wordt de werkwijze uit bijlage B, tabel B-1, gevolgd. Deze tabel wordt ter verduidelijking hier nogmaals gepresenteerd om als leidraad voor de uitwerking te dienen.

| stap | input                                 | analyse methode | output   |
|------|---------------------------------------|-----------------|--|
| 1    | materialisatie functioneel deelgebied | FMECA           | storingen: 'availability killers'<br>MTBF  |
| 2    | storingen: 'availability killers'     | RCM             | geclassificeerde storingen   |
| 3    | geclassificeerde storingen            | MTA             | onderhoudsomschrijving<br>onderhoudsniveau<br>MTTR,MLDT<br>MSMT, MTBSM<br>reservedelen |

**tabel L- 4: analyse betrouwbaarheid en onderhoudbaarheid**

De beschikbaarheid wordt nu bepaald aan de hand van tabel L-4. Hiervoor is een zogenaamd 'datasheet' opgezet (EXEL) waarin alle relevante gegevens voor de drie analyse methoden uit de bovenstaande tabel naar voren komen. Middels de snelkoppeling L-1 kan de datasheet geopend worden en is tevens toegevoegd aan het einde van deze bijlage. Voor de omschrijving van de diverse kolommen wordt verwezen naar de legenda (eerste tabblad van datasheet). De overige tabbladen zijn overeenkomstig de functionele deelgebieden. In onderstaande tabel L-5 wordt de datasheet in relatie met tabel L-4 gebracht.

| analyse methode | kolommen                    | toelichting   |
|-----------------|-----------------------------|---|
| FMECA           | ▪ component                 | materialisatie van de deelfunctie   |
|                 | ▪ failure mode              | mogelijke storingen identificeren   |
|                 | ▪ failure effect            | effect van iedere storing vaststellen   |
|                 | ▪ MTBF                      | kans van storen bepalen   |
| RCM             | ▪ criticality rating (C.R)  | risico van storing vastleggen om <u>availability killers</u> te identificeren |
|                 | ▪ increased failure rate    | classificatie van availability killers middels bijlage E                      |
|                 | ▪ failure predicting entity | classificatie van availability killers middels bijlage E                      |
| MTA             | ▪ maintenace action         | omschrijving van uit te voeren onderhoud                                      |
|                 | ▪ corrective maintenace     | duur van het correctief onderhoud bepalen                                     |
|                 | ▪ preventive maintenace     | duur van het preventief onderhoud bepalen                                     |
|                 | ▪ reservedelen              | inschatten van benodigde reservedelen   |
|                 | ▪ maintenance level         | onderhoudsniveau vastleggen   |

**tabel L- 5: relatie datasheet en tabel L-4 t.b.v. analyse beschikbaarheid**



BOVI.xls

### Snelkoppeling L- 1: datasheet BOVI

Uit de datasheet BOVI kan de gerealiseerde *operational availability* afgeleid worden. Per deelfunctie kan de beschikbaarheid worden vastgesteld door de uitdrukking voor de *operational availability* uit te werken uitgaande van de availability killers. Deze uitdrukking is als volgt (zie bijlage D voor toelichting):

$$A_o = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MLDT} * \frac{MTBSM}{MTBSM + MSMT}$$

| deelfunctie                  | availability killers<br>(nr. failure modes in datasheet BOVI) | operational availability<br>$A_o$ |
|------------------------------|---|-----------------------------------|
| voorzien in brandstof        | 12,24   | 0.98                              |
| voorzien in zuurstof         | p.m.  | p.m.                              |
| opwekken elektrische energie | 5,6   | 0.98                              |
| afhandelen restproduct       | 17  | 0.99                              |

**tabel L- 6: operational availability per deelfunctie**

Bovenstaande tabel geeft een overzicht van de *operational availability* per deelfunctie. Hierbij wordt opgemerkt dat deze waarden een indicatie geven gebaseerd op de availability killers en is te gebruiken in de beoordelingsmethode.

#### Gebruikskosten

In bijlage F worden de gebruikskosten middels de ABC methode geïdentificeerd en verder uitgewerkt. In tabel F-1 wordt deze methode in een aantal stappen toegepast. In deze bijlage worden de relevante gegevens in tabellen gepresenteerd die veel gelijkenis vertonen met de tabellen in bijlage F. Dit komt door het feit dat de organisatie in deze case is overgenomen van de werkelijkheid van de KM, alleen de naamgeving is veranderd. In de onderstaande tabellen achtereenvolgens: set activiteiten (L-7), costpool directe kosten (L-8), costpool ondersteunende kosten (L-9) en de costdriver (L-10). In tabel L-11 een overzicht van de 'tarieven' en gegevensbronnen per kostsoort.

| <b>geselecteerde activiteiten</b> |
|-----------------------------------|
| voorzien in brandstof             |
| voorzien in zuurstof              |
| opwekken elektrische energie      |
| afhandelen restproduct            |

**tabel L- 7: set activiteiten**

| <b>costpool</b>             |
|-----------------------------|
| grondstofkosten             |
| kosten boordpersoneel CO    |
| kosten boordpersoneel PO    |
| kosten uitbesteding door NB |
| kosten reservedelen         |

**L- 8: costpool tabel directe kosten**

| <b>ondersteunende kosten</b>              | <b>verdeelsleutel</b>                                    |
|---|--|
| kosten personeel NB CO                    | aantal manuren CO voor deelfunctie                       |
| kosten personeel NB PO                    | aantal manuren PO voor deelfunctie                       |
| kosten opslag en distributie reservedelen | percentage gebruikt vloeroppervlak Opslag en Distributie |

**tabel L- 9: costpool ondersteunende kosten en verdeelsleutel**



| activiteit   | omschrijving   | costdriver       |
|--|--|------------------|
| voorzien in brandstof, voorzien in zuurstof, opwekking elektrische energie, afhandelen restproduct | de kosten worden vooral bepaald door het aantal draaiuren van het gehele systeem | draaiuren per kW |

tabel L- 10: costdriver per functioneel deelgebied (zie bijlage F)

| kostensoort                    | 'tarief' (in €)              | bron                  |
|--------------------------------|------------------------------|-----------------------|
| boordpersoneel (CO,PO,MJO/TTO) | kosten manuur (€20,0)        | regionale bevelhebber |
| personeel NB (CO,PO,MJO/TTO)   | kosten manuur (€22,0)        | NB                    |
| reserveden                     | kosten per eenheid           | NB                    |
| grondstofkosten                | kosten per eenheid grondstof | regionale bevelhebber |
| uitbestedingen                 | contract                     | contractor            |

tabel L- 11: kostensoort, tarieven en gegevensbronnen voor de BOVI case

Het stappenplan zoals in paragraaf 6.4 ontworpen en in paragraaf 7.3. geïmplementeerd wordt uitgewerkt voor de BOVI case.

1. *Bepaal de hoeveelheid op te wekken kW elektrische energie gedurende de exploitatie.*

Om te bepalen hoeveel kW elektrische energie er gedurende de exploitatie van de BOVI opgewekt wordt, zijn de volgende gegevens relevant:

- restlevensduur van 15 jaar,
- gedurende 12 jaar is de BOVI operationeel inzetbaar, de overige 3 jaar zijn gepland onderhoud van de Orcaklasse-onderzeeboten,
- de beschikbaarheidseis is 0,70,
- het nominaal geleverde vermogen van de BOVI is 200 kWe.

Uit bovenstaande gegevens is op te maken dat gedurende een periode van  $0,70 \cdot 15 \text{ jaar} = 10,5$  jaar de BOVI elektrische energie opwekt. Dit komt overeen met  $10,5 \cdot 365 \cdot 24 = 91980$  uur. Het totaal opgewekte elektrische energie is dan gelijk aan  $91980 \cdot 200 = 18396000$  kWh.

2. *Bepaal hoeveel draaiuren voor de opwekking van één kW nodig zijn.*

Voor het vaststellen van deze stap is het nominaal geleverde elektrische vermogen van belang. Deze is gelijk aan 200 kWe. Dus voor het opwekken van 1 kWh is  $1/200 = 0.005$  uur nodig.

3. *Bepaal hoeveelheid gevraagde onderhoudscapaciteit, onderverdeeld naar soort.*

De gevraagde onderhoudscapaciteit, onderverdeeld in CO en PO, is te verkrijgen uit de EXEL datasheet van de BOVI (snellkoppeling L-1). Hiervoor is het van belang dat niet alleen de availability killers worden meegenomen maar alle storingen aangezien alle storingen kosten veroorzaken. In onderstaande tabel een overzicht van de gevraagde onderhoudscapaciteit, onderverdeeld in CO en PO. Na de tabel volgt een voorbeeld berekening om aan te geven op welke wijze de hoeveelheid manuren van een specifieke onderhoudssoort is af te leiden.

| activiteit                   | CO- O level | PO- O level | CO-I,D,Dis <sup>V</sup> | PO-I,D,Dis |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------------------|------------|
|                              | (manuren)   | (manuren)   | (manuren)               | (manuren)  |
| voorzien in brandstof        | 956.3       | 355         | 223                     | 178        |
| voorzien in zuurstof         | p.m.        | p.m.        | p.m.                    | p.m.       |
| opwekken elektrische energie | 11          | 79          | 9.2                     | 0          |
| afhandelen restproduct       | 683         | 0           | 184                     | 552*       |

tabel L- 12: gevraagde manuren onderhoud BOVI gedurende exploitatie

\* voorbeeld berekening: *afhandelen restproduct*, PO- I,D,Dis.

<sup>V</sup> Maintenance level Contractor (C) is buitenbeschouwing gebleven. Wordt deze wel meegenomen dan zal een aparte berekening hiervoor gemaakt worden c.f. de afleidingen in tabel L-10.

de datasheet *afhandelen restproduct* geeft voor de categorie PO-, I,D,Dis de storing nr. 01 (defecte pomp) aan. Voor deze storing geldt een MTBSM van  $0.02 * 10^6$  uur. Het totaal draaiuren in de exploitatieperiode is ingeschat op 91980 uur, zie stap 1. Door deze twee op elkaar te delen komt men uit op 4.6 keer deze storing. Om deze storing te verhelpen is 120 manuren (MSMT) benodigd. Dus het totaal aantal gevraagde manuren in de exploitatieperiode is  $4,6 * 120 = 552$  manuren.

4. *Bepaal hoeveelheid verbruikte grondstoffen.*

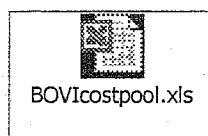
Het verbruik van grondstoffen is enerzijds afhankelijk van het aantal draaiuren gedurende exploitatie van de BOVI en anderzijds van het verbruik (LOX en F76) van de BOVI. Het aantal draaiuren is in stap 1 behandeld (91980 uur) en het verbruik, opgegeven door de leverancier SUBFACT, is als volgt:

LOX: 800 gr/kWe =  $200 * 800 \text{g/draaiuur} = 160000 \text{gr/draaiuur}$   
 totaal verbruik =  $160 * 91980 = 14716800 \text{ kg LOX}$

F76: 200 l per/draaiuur  
 totaal verbruik =  $200 * 91980 = 18396000 \text{ l F76}$

5. *Bepaal de hoogte van de kostenposten in de costpool.*

Voor het vaststellen van de costpool zal voor iedere activiteit de hoogte van de diverse posten bepaald worden. In eerste instantie vormen de directe kosten de voorlopige costpool. Vervolgens worden de ondersteunende kosten middels de verdeelsleutel aan de voorlopige costpool toegevoegd en resulteert in de definitieve costpool. De afleiding van de voorlopige en definitieve costpool zijn opgenomen in een EXEL werkblad en d.m.v. snelkoppeling L-2 te activeren en is tevens toegevoegd aan het einde van deze bijlage. Het resultaat, de definitieve costpool is in tabel L-13 opgenomen.



**snelkoppeling L- 2: costpool BOVI**

| activiteit                   | definitieve costpool |
|------------------------------|----------------------|
| voorzien in brandstof        | € 36.839.042,00      |
| voorzien in zuurstof         | p.m.                 |
| opwekken elektrische energie | € 8.002,00           |
| afhandelen restproduct       | € 36.352,00          |

**tabel L- 13: definitieve costpool BOVI**

6. *Bepaal het 'tarief' voor de costdriver.*

Uitgangspunt voor het vaststellen van het 'tarief' is enerzijds de definitieve costpool (tabel L-13) en anderzijds de verwachte hoeveelheid op te wekken kWh gedurende exploitatie. In onderstaande tabel wordt het tarief afgeleid.

| activiteit                   | definitieve costpool | kWh in exploitatie | tarief (€/kWh) |
|------------------------------|----------------------|--------------------|----------------|
| voorzien in brandstof        | € 36.839.042,00      | 18396000           | 2.00           |
| voorzien in zuurstof         | p.m.                 | 18396000           | p.m.           |
| opwekken elektrische energie | € 8.002,00           | 18396000           | 0.0004         |
| afhandelen restproduct       | € 36.352,00          | 18396000           | 0.002          |

**tabel L- 14: afleiding tarief costdriver per activiteit**

Beoordeling

Bij de presentatie van deze case is de BRACE geïntroduceerd. De BRACE is in de case gebracht om de BOVI te kunnen beoordelen conform het beoordelingsproces in figuur 5-4, waarbij gebruik gemaakt van een interne norm (stafeis) en een externe norm (het tot dan toe beste AIP systeem). De BRACE zal bij de beoordeling van de BOVI de externe norm vertegenwoordigen en wordt daarom vergeleken

met de BOVI. In tabel L-14 staan de resultaten van de BRACE. In tabel L-15 staan de resultaten van de BOVI gepresenteerd zoals ze zijn afgeleid.

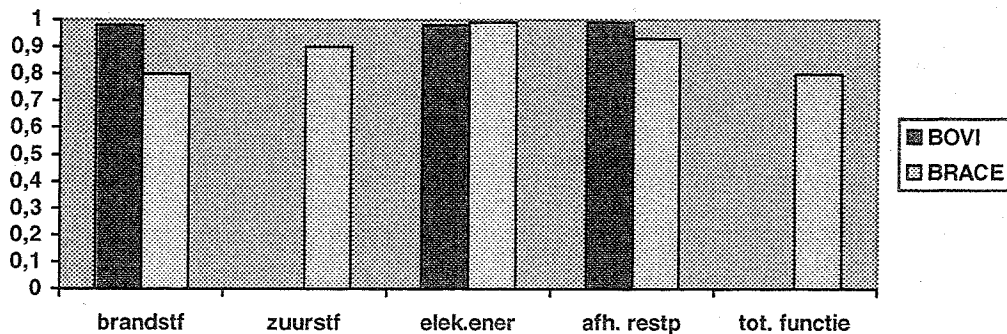
Uit tabel L-14 en L-15 komt naar voren dat de BOVI en de BRACE beiden aan de interne norm voor beschikbaarheid voldoen (0.70). Wanneer de BOVI met de 'externe normen' van de BRACE wordt vergeleken dan kan de BOVI als 'beter' worden gezien en geselecteerd worden door het management, zie ook figuren L-4 en L-5.

| deelfunctie                  | operational availability<br>$A_o$ | gebruikskosten<br>€/kW |
|------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| voorzien in brandstof        | 0.80                              | 1.45                   |
| voorzien in zuurstof         | 0.90                              | 0.88                   |
| opwekken elektrische energie | 0.99                              | 0.003                  |
| afhandelen restproduct       | 0.93                              | 0.01                   |
| <i>totale functie</i>        | <i>0.80</i>                       | <i>2.34</i>            |

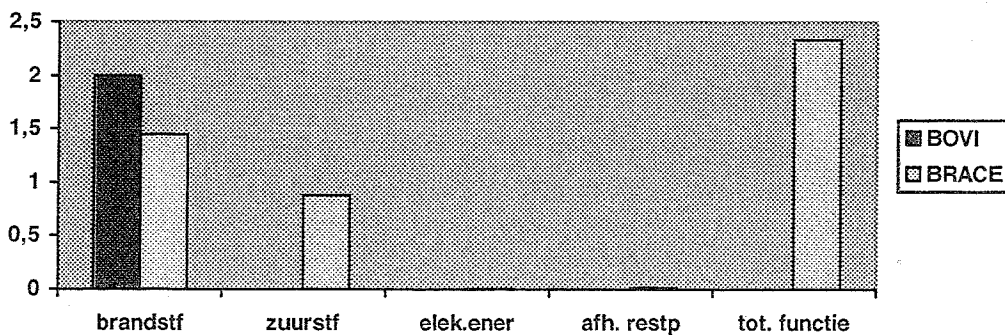
tabel L- 15: resultaten beoordeling BRACE

| deelfunctie                  | operational availability<br>$A_o$ | gebruikskosten<br>€/kW |
|------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| voorzien in brandstof        | 0.98                              | 2.00                   |
| voorzien in zuurstof         | p.m.                              | p.m.                   |
| opwekken elektrische energie | 0.98                              | 0.0004                 |
| afhandelen restproduct       | 0.99                              | 0.002                  |
| <i>totale functie</i>        | <i>p.m.</i>                       | <i>p.m.</i>            |

tabel L- 16: resultaten beoordeling BOVI



figuur L-4 : Operational availability BOVI versus BRACE



figuur L-5: Gebruikskosten (€/kW) BOVI versus BRACE

Naast een totaal oordeel van de totale functie kunnen uit de bovenstaande tabellen en grafieken de (bedrijfskundige) sterke en zwakke punten van ieder systeem worden bepaald.

Voor beide systemen geldt dat de gebruikskosten voor het voorzien in brandstof ver boven de rest uit steken maar dat de BOVI een substantieel hoger tarief dan de BRACE heeft. De BRACE heeft daarentegen een lagere beschikbaarheid voor deze deelfunctie, maar valt nog ruim binnen de interne norm van 0.70.

EXEL datasheets

| LEGENDA DATASHEET               |  |                         |                           |
|---------------------------------|--|-------------------------|---------------------------|
| kolom                           | beschrijving   |                         |                           |
| Nr                              | nummering componenten level 1 en level 2   |                         |                           |
| component level 1               | component uit de fysieke decompositie  |                         |                           |
| failure mode                    | omschrijft alle mogelijke storings van de component level 2 (nummering a,b,...z)   |                         |                           |
| failure effect                  | effect van de storing a,b,...z op het functioneren van het <u>gehele</u> systeem   |                         |                           |
| MTBF                            | Mean Time Between Failure: gemiddelde storingsinterval van de component level 2 in $10^6$ uren   |                         |                           |
| C.R.                            | Criticality Rating= kans * gevolg (risico van de storing voor het functioneren van het gehele systeem, zie onderstaande tabel)   |                         |                           |
|                                 | <i>waardering</i>  | <i>kans (zie kader)</i> | <i>gevolg (zie kader)</i> |
|                                 | 1  | nihil -                 | gering                    |
|                                 | 2  | klein                   | klein                     |
|                                 | 3  | aanwezig                | groot                     |
|                                 | 4  | groot                   | ernstig                   |
|                                 | 1. De steekwoorden m.b.t. 'kans' worden als volgt geconcretiseerd:<br>Nihil: $MTBF > 0.1 * 10^6$ uur<br>Klein: $0.05 * 10^6$ uur < $MTBF < 0.1 * 10^6$ uur<br>Aanwezig: $0.01 * 10^6$ uur < $MTBF < 0.05 * 10^6$ uur<br>Groot: $MTBF < 0.01 * 10^6$ uur<br>2. De steekwoorden m.b.t. 'gevolg' worden als volgt geconcretiseerd [13]:<br>Gering: er zijn geen merkbare gevolgen voor het functioneren van het systeem.<br>Klein: de betrouwbaarheid van het gehele systeem zal afnemen maar het systeem is nog wel beschikbaar, bijvoorbeeld het uitvallen van een redundant uitgevoerde pomp.<br>Groot: het functioneren van het systeem wordt dusdanig gedegradeerd dat het systeem niet meer beschikbaar is.<br>Ernstig: naast dat het systeem niet meer beschikbaar is zijn de gevolgen van dien aard dat de directe veiligheid in het geding is, bijvoorbeeld een waterstoflekkage |                         |                           |
| incr. F.R. (Y/N)                | Increasing failure rate (stijgende storingsgraad) Y=yes or N=no; neemt de kans op de storing toe met de tijd?  |                         |                           |
| failure predicting entity       | Is de storing te voorspellen d.m.v. een specifieke grootheid (een SVG=storings voorspellende grootheid)? Bijv. toename verbruik smeerolie, kraken lagers enz.  |                         |                           |
| maintenance action              | omschrijving van onderhoudstaak om storing te verhelpen (correctief) of te voorkomen (preventief)  |                         |                           |
| corrective maintenance: MTTR    | indien correctief onderhoud toegepast, wat is dan de Mean Time to Repair ( $*10^6$ uur), zowel in absolute dagen (days) als manuren (manhours)   |                         |                           |
| corrective maintenance: MLDT    | indien correctief onderhoud toegepast, wat is dan de Mean Logistic Delay Time ( $10^6$ uur); ofwel, hoelang duurt het voordat alle onderhoudsmiddelen (mens en materieel) beschikbaar zijn om het onderhoud uit te voeren.   |                         |                           |
| preventive maintenance MTBSM    | indien preventief onderhoud toegepast, wat is dan de Mean Time Between Scheduled Maintenance (in $10^6$ uren); ofwel om de hoeveel uur dient er preventief onderhoud plaats te vinden om de kans op de storing te minimaliseren  |                         |                           |
| preventive maintenance MSMT     | indien preventief onderhoud toegepast, wat is dan de Mean Scheduled Maintenance Time (in $10^6$ uren); ofwel hoelang duurt het uitvoeren van de onderhoudstaak   |                         |                           |
| spareparts required? (estimate) | reserveonderdelen benodigd, Y=yes or N=no (hoeveel reserveonderdelen zijn in voorraad nodig?)  |                         |                           |
| maintenance level               | O: organisational; door het onderhoudspersoneel aan boord in het systeem<br>I: intermediate; aan boord door gespecialiseerd personeel<br>D: depot; aan de wal door sterk gespecialiseerd onderhoudspersoneel<br>C: contractor; bij de leverancier<br>Dis: discard; geen reparatie, het object wordt vervangen  |                         |                           |

DATASHEET: BOVI (Subfact)

| VOORZIEN IN BRANDSTOF/Brandstofsysteem |               |  |                |       |        |                  |  |
|--|---------------|--|----------------|-------|--------|------------------|--|
| Nr                                     | component     | failure mode                                 | failure effect | MTBF  | C.R.   | Incr. F.R. (Y/N) | failure predicting entity                                      |
| 1                                      | brandstoftank | vervulling door diesellole                   |                | 0,002 | 2*2=4  | N                | filters vervullen  |
| 2                                      |               | onjuiste waarde inroadsensor                 |                | 0,001 | 2*2=4  | N                | N  |
| 3                                      |               | onjuiste afstelling lage druk lucht reduceer |                | 0,10  | 2*3=6  | N                | N  |
| 4                                      |               |  |                |       |        |                  |  |
| 5                                      |               |  |                |       |        |                  |  |
| 6                                      |               |  |                |       |        |                  |  |
| 7                                      |               |  |                |       |        |                  |  |
| 8                                      |               |  |                |       |        |                  |  |
| 9                                      |               |  |                |       |        |                  |  |
| 10                                     |               |  |                |       |        |                  |  |
| 11                                     |               |  |                |       |        |                  |  |
| 12                                     | filter        | vervulling door diesellole                   |                | 0,002 | 4*3=12 | Y                | N  |
| 13                                     |               |  |                |       |        |                  |  |
| 14                                     |               |  |                |       |        |                  |  |
| 15                                     |               |  |                |       |        |                  |  |
| 16                                     |               |  |                |       |        |                  |  |
| 17                                     |               |  |                |       |        |                  |  |
| 18                                     |               |  |                |       |        |                  |  |
| 19                                     |               |  |                |       |        |                  |  |
| 20                                     |               |  |                |       |        |                  |  |
| 21                                     |               |  |                |       |        |                  |  |
| 22                                     | opvoerpomp    | external leakage                             |                | 0,05  | 2*4=8  | Y                | sillage, kleine lekage   |
| 23                                     |               | failed to start                              |                | 0,002 | 3*2=6  | Y                | N  |
| 24                                     |               | failed while running                         |                | 0,014 | 3*3=9  | Y                | vibratie, geluid, vervuiling, b<br>liten specificatie, sillage |
| 25                                     |               | low output                                   |                | 0,103 | 2*1=2  | Y                | temperopende Vermogen DM                                       |
| 26                                     |               | significant external leakage                 |                | 0,154 | 3*1=3  | N                | N  |
| 27                                     |               | vibration                                    |                | 0,004 | 2*3=6  | Y                | N  |
| 28                                     |               | other modes                                  |                | 0,10  | 1*4=4  | N                | N  |
| 29                                     |               | unknown                                      |                | 0,10  | 1*3=3  | N                | N  |
| 30                                     |               |  |                |       |        |                  |  |
| 31                                     |               |  |                |       |        |                  |  |

VOORZIEN IN BRANDSTOF/brandstofsysteem

DATASHEET:BOVI (Subject)

| Nr | maintenance action                                 | corrective maintenance |      |           | preventive maintenance |       |         | spareparts required |                    | maintenance level |
|----|--|------------------------|------|-----------|------------------------|-------|---------|---------------------|--------------------|-------------------|
|    |  | days                   | MTTR | man hours | MLDT                   | MTBSM | MSMT    | Y/N                 | estimate           |                   |
| 1  | tankfilter schoonmaken, pakking vervangen          | 0,000002               |      | 0,000048  | 0,00012                |       |         | Y                   | 2 pakkingen        | D                 |
| 2  | sensor vervangen                                   | 0,0000004              |      | 0,00001   |                        |       |         | Y                   | 1 sensor           | O                 |
| 3  | reducer opnieuw afstellen                          | 0,0000002              |      | 0,000005  |                        |       |         | N                   |                    | O                 |
| 4  |  |                        |      |           |                        |       |         |                     |                    |                   |
| 5  |  |                        |      |           |                        |       |         |                     |                    |                   |
| 6  |  |                        |      |           |                        |       |         |                     |                    |                   |
| 7  |  |                        |      |           |                        |       |         |                     |                    |                   |
| 8  |  |                        |      |           |                        |       |         |                     |                    |                   |
| 9  |  |                        |      |           |                        |       |         |                     |                    |                   |
| 10 |  |                        |      |           |                        |       |         |                     |                    |                   |
| 11 |  |                        |      |           |                        |       |         |                     |                    |                   |
| 12 | schoonmaken en vervangen filter/O-ringen           | 0,00000006             |      | 0,0000015 | 0                      |       |         | Y                   | 2 (filter, O-ring) | O                 |
| 13 |  |                        |      |           |                        |       |         |                     |                    |                   |
| 14 |  |                        |      |           |                        |       |         |                     |                    |                   |
| 15 |  |                        |      |           |                        |       |         |                     |                    |                   |
| 16 |  |                        |      |           |                        |       |         |                     |                    |                   |
| 17 |  |                        |      |           |                        |       |         |                     |                    |                   |
| 18 |  |                        |      |           |                        |       |         |                     |                    |                   |
| 19 |  |                        |      |           |                        |       |         |                     |                    |                   |
| 20 |  |                        |      |           |                        |       |         |                     |                    |                   |
| 21 |  |                        |      |           |                        |       |         |                     |                    |                   |
| 22 | pakking vervangen                                  | 0,00000001             |      | 0,000024  | 0                      |       |         | Y                   | 1 pakking          | O                 |
| 23 | reparatie  | 0,00000008             |      | 0,000018  | 0                      |       |         | Y                   |                    | I                 |
| 24 | inspectie en schoonmaken en indien nodig reparatie |                        |      |           |                        | 0,013 | 0,00005 | Y                   | 2                  | O                 |
| 25 | onderdelen vervangen en schoonmaken                |                        |      |           |                        | 0,103 | 0,0002  | Y                   | 4                  | D                 |
| 26 | reparatie behuizing                                | 0,000001               |      | 0,00001   |                        |       |         | Y                   | 1 (behuizing)      | Dis               |
| 27 | afstellen  | 0,0000005              |      | 0,000131  |                        |       |         | N                   |                    | O                 |
| 28 | reparatie  | 0,0000005              |      | 0,000111  |                        |       |         | N                   |                    | O                 |
| 29 | reparatie  | 0,0000001              |      | 0,000024  |                        |       |         | N                   |                    | I                 |
| 30 |  |                        |      |           |                        |       |         |                     |                    |                   |
| 31 |  |                        |      |           |                        |       |         |                     |                    |                   |

**DATASHEET: BOVI (Subfact)**

| VOORZIEN IN ZUURSTOF/zuurstofsysteem |            |              |                |      |      |                 |                           |
|--------------------------------------|------------|--------------|----------------|------|------|-----------------|---------------------------|
| Nr                                   | component  | failure mode | failure effect | MTBF | C.R. | Incr. F.R. (VN) | failure predicting entity |
| 1                                    | LOX tank   |              |                |      |      |                 |                           |
| 2                                    |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 3                                    |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 4                                    |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 5                                    |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 6                                    |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 7                                    |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 8                                    |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 9                                    |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 10                                   |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 11                                   |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 12                                   | verdampert |              |                |      |      |                 |                           |
| 13                                   |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 14                                   |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 15                                   |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 16                                   |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 17                                   |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 18                                   |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 19                                   |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 19                                   |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 20                                   |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 21                                   |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 22                                   |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 23                                   |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 24                                   |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 25                                   |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 26                                   |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 27                                   |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 28                                   |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 29                                   |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 30                                   |            |              |                |      |      |                 |                           |
| 31                                   |            |              |                |      |      |                 |                           |



**DATA SHEET: BOVI (Subfact)**

| Nr | maintenance action | corrective maintenance |                   | preventive maintenance |       | spareparts required |     | maintenance level |
|----|--------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------|---------------------|-----|-------------------|
|    |                    | days                   | MTTR<br>man hours | MLDT                   | MTBSM | MSMT                | Y/N |                   |
| 1  |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 2  |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 3  |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 4  |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 5  |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 6  |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 7  |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 8  |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 9  |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 10 |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 11 |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 12 |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 13 |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 14 |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 15 |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 16 |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 17 |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 18 |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 19 |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 20 |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 21 |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 22 |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 23 |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 24 |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 25 |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 26 |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 27 |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 28 |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 29 |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 30 |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |
| 32 |                    |                        |                   |                        |       |                     |     |                   |

**DATASHEET: BOVI (Subfact)**

**OPWEKKEN ELEKTRISCHE ENERGIE/Dieselegeneratorinstallatie**

| Nr | component           | failure mode                 | failure effect             | MTBF  | C.R.   | Incr. F.R. (Y/N) | failure predicting entity            |
|----|---------------------|------------------------------|----------------------------|-------|--------|------------------|--------------------------------------|
| 1  | AC dieselegenerator | leakage on auxiliary systems | system unavailability      | 0,177 | 2*2=4  | Y                | slijtage onderdelen                  |
| 2  |                     | excessive noise              | fail of spare system avail | 0,177 | 2*1=2  | Y                | N                                    |
| 3  |                     | vibration                    | out of spec system avail   | 0,353 | 1*1=1  | Y                | N                                    |
| 4  |                     | faulty output voltage        | fail of spare system avail | 0,177 | 2*1=2  | N                | N                                    |
| 5  |                     | fail to start                | system unavailability      | 0,035 | 3*3=9  | Y                | slijtage onderdelen                  |
| 6  |                     | fail while running           | system unavailability      | 0,035 | 3*4=12 | Y                | dalende prestatie, slijtage lekkage, |
| 7  |                     | reduced power delivery       | fail of spare system avail | 0,353 | 2*3=6  | Y                | N                                    |
| 8  |                     | overheating                  | system unavailability      | 0,177 | 3*1=3  | N                | N                                    |
| 9  |                     |                              |                            |       |        |                  |                                      |
| 10 |                     |                              |                            |       |        |                  |                                      |
| 11 |                     |                              |                            |       |        |                  |                                      |
| 12 |                     |                              |                            |       |        |                  |                                      |
| 13 |                     |                              |                            |       |        |                  |                                      |
| 14 |                     |                              |                            |       |        |                  |                                      |
| 15 |                     |                              |                            |       |        |                  |                                      |
| 16 |                     |                              |                            |       |        |                  |                                      |
| 17 |                     |                              |                            |       |        |                  |                                      |
| 18 |                     |                              |                            |       |        |                  |                                      |
| 19 |                     |                              |                            |       |        |                  |                                      |
| 19 |                     |                              |                            |       |        |                  |                                      |
| 20 |                     |                              |                            |       |        |                  |                                      |
| 21 |                     |                              |                            |       |        |                  |                                      |
| 22 |                     |                              |                            |       |        |                  |                                      |
| 23 |                     |                              |                            |       |        |                  |                                      |
| 24 |                     |                              |                            |       |        |                  |                                      |
| 25 |                     |                              |                            |       |        |                  |                                      |
| 26 |                     |                              |                            |       |        |                  |                                      |
| 27 |                     |                              |                            |       |        |                  |                                      |
| 28 |                     |                              |                            |       |        |                  |                                      |
| 29 |                     |                              |                            |       |        |                  |                                      |
| 30 |                     |                              |                            |       |        |                  |                                      |
| 31 |                     |                              |                            |       |        |                  |                                      |
| 32 |                     |                              |                            |       |        |                  |                                      |

OPWEKKEN ELEKTRISCHE ENERGIE/Dieselgeneratorinstallatie

DATASHEET:BOVI (Subfact)

| Nr | maintenance action                   | Corrective maintenance |      |           | preventive maintenance |       |           | spareparts required |          | maintenance level |
|----|--------------------------------------|------------------------|------|-----------|------------------------|-------|-----------|---------------------|----------|-------------------|
|    |                                      | days                   | MTTR | man hours | MLDT                   | MTBSM | MSMT      | V/N                 | estimate |                   |
| 1  | vervangen en schoonmaken onderdelen  |                        |      |           |                        | 0,088 | 0,0000014 | Y                   | 5        | 0                 |
| 2  | afstellen                            | 0,0000002              |      | 0,0000045 | 0                      |       |           | N                   |          | 0                 |
| 3  | afstellen                            | 0,0000002              |      | 0,0000045 | 0                      |       |           | N                   |          | 0                 |
| 4  | afstellen                            | 0,0000004              |      | 0,00001   |                        |       |           | N                   |          | 1                 |
| 5  | onderdelen vervangen en/of reparatie | 0,00000006             |      | 0,0000014 | 0                      |       |           | Y                   | 1        | 1                 |
| 6  | onderdelen vervangen en/of reparatie |                        |      |           |                        | 0,003 | 0,0000025 | Y                   | 1        | 0                 |
| 7  | afstellen                            | 0,00000008             |      | 0,000002  | 0                      |       |           | N                   |          | 0                 |
| 8  | reparatie onderdelen                 | 0,00000008             |      | 0,000002  | 0                      |       |           | Y                   | 1        | 1                 |
| 9  |                                      |                        |      |           |                        |       |           |                     |          |                   |
| 10 |                                      |                        |      |           |                        |       |           |                     |          |                   |
| 11 |                                      |                        |      |           |                        |       |           |                     |          |                   |
| 12 |                                      |                        |      |           |                        |       |           |                     |          |                   |
| 13 |                                      |                        |      |           |                        |       |           |                     |          |                   |
| 14 |                                      |                        |      |           |                        |       |           |                     |          |                   |
| 15 |                                      |                        |      |           |                        |       |           |                     |          |                   |
| 16 |                                      |                        |      |           |                        |       |           |                     |          |                   |
| 17 |                                      |                        |      |           |                        |       |           |                     |          |                   |
| 18 |                                      |                        |      |           |                        |       |           |                     |          |                   |
| 19 |                                      |                        |      |           |                        |       |           |                     |          |                   |
| 19 |                                      |                        |      |           |                        |       |           |                     |          |                   |
| 20 |                                      |                        |      |           |                        |       |           |                     |          |                   |
| 21 |                                      |                        |      |           |                        |       |           |                     |          |                   |
| 22 |                                      |                        |      |           |                        |       |           |                     |          |                   |
| 23 |                                      |                        |      |           |                        |       |           |                     |          |                   |
| 24 |                                      |                        |      |           |                        |       |           |                     |          |                   |
| 25 |                                      |                        |      |           |                        |       |           |                     |          |                   |
| 26 |                                      |                        |      |           |                        |       |           |                     |          |                   |
| 27 |                                      |                        |      |           |                        |       |           |                     |          |                   |
| 28 |                                      |                        |      |           |                        |       |           |                     |          |                   |
| 29 |                                      |                        |      |           |                        |       |           |                     |          |                   |
| 30 |                                      |                        |      |           |                        |       |           |                     |          |                   |
| 31 |                                      |                        |      |           |                        |       |           |                     |          |                   |
| 32 |                                      |                        |      |           |                        |       |           |                     |          |                   |

## DATASHEET: BOVI (Subfact)

## AFHANDELLEN RESTPRODUCT/Zeewatersysteem

| Nr | component         | failure mode                  | failure effect                           | MTBF | C.R.   | Incr. F.R. (Y/N) | failure predicting entity |
|----|-------------------|-------------------------------|--|------|--------|------------------|---------------------------|
| 1  | koelsysteem       | defecte pomp                  | geen koelwater, systeem niet beschikbaar | 0,05 | 3*2-6  | Y                | slijtage, geluid          |
| 2  |                   | lekkage leiding door trilling | geen koelwater, systeem niet beschikbaar | 0,07 | 3*2-6  | Y                | N                         |
| 3  |                   | vervuiling warmtewisselaar    | geen koelwater, systeem niet beschikbaar | 0,04 | 2*3-6  | Y                | verminderde capaciteit    |
| 4  |                   |                               |  |      |        |                  |                           |
| 5  |                   |                               |  |      |        |                  |                           |
| 6  |                   |                               |  |      |        |                  |                           |
| 7  |                   |                               |  |      |        |                  |                           |
| 8  |                   |                               |  |      |        |                  |                           |
| 9  |                   |                               |  |      |        |                  |                           |
| 10 |                   |                               |  |      |        |                  |                           |
| 11 |                   |                               |  |      |        |                  |                           |
| 12 |                   |                               |  |      |        |                  |                           |
| 13 |                   |                               |  |      |        |                  |                           |
| 14 |                   |                               |  |      |        |                  |                           |
| 15 |                   |                               |  |      |        |                  |                           |
| 16 | afvoergassenkoel. | vervuiling                    | geen afvoer, systeem niet beschikbaar    | 0,04 | 2*4=8  | Y                | oplopende temperatuur     |
| 17 |                   | lekkage gaszijde              | geen koelwater, systeem niet beschikbaar | 0,04 | 3*4=12 | N                | roet, toename CO2         |
| 18 |                   | lekkage waterzijde            | geen koelwater, systeem niet beschikbaar | 0,03 | 3*2=6  | N                | N                         |
| 19 |                   | scheuren fundering            | geen koelwater, systeem niet beschikbaar | 0,02 | 2*3=6  | N                | N                         |
| 19 |                   |                               |  |      |        |                  |                           |
| 20 |                   |                               |  |      |        |                  |                           |
| 21 |                   |                               |  |      |        |                  |                           |
| 22 |                   |                               |  |      |        |                  |                           |
| 23 |                   |                               |  |      |        |                  |                           |
| 24 |                   |                               |  |      |        |                  |                           |
| 25 |                   |                               |  |      |        |                  |                           |
| 26 |                   |                               |  |      |        |                  |                           |
| 27 |                   |                               |  |      |        |                  |                           |
| 28 |                   |                               |  |      |        |                  |                           |
| 29 |                   |                               |  |      |        |                  |                           |
| 30 |                   |                               |  |      |        |                  |                           |
| 31 |                   |                               |  |      |        |                  |                           |

DATA SHEET: BOVI (Subfact)

| Nr | maintenance action                   | corrective maintenance |      |           | preventive maintenance |       |         | spareparts required |             | maintenance level |
|----|--------------------------------------|------------------------|------|-----------|------------------------|-------|---------|---------------------|-------------|-------------------|
|    |                                      | days                   | MTTR | man hours | MLDT                   | MTBSM | MSMT    | Y/N                 | estimate    |                   |
| 1  | pomp reviseren/Vervangen             |                        |      |           |                        | 0,02  |         | Y                   | 1 (pomp)    | D                 |
| 2  | lekkage dichten, afstellen           | 0,0000004              |      | 0,00001   | 0                      |       | 0,00012 | N                   |             | O                 |
| 3  | schoonmaken                          | 0,000002               |      | 0,000048  | 0                      |       |         | N                   |             | O                 |
| 4  |                                      |                        |      |           |                        |       |         |                     |             |                   |
| 5  |                                      |                        |      |           |                        |       |         |                     |             |                   |
| 6  |                                      |                        |      |           |                        |       |         |                     |             |                   |
| 7  |                                      |                        |      |           |                        |       |         |                     |             |                   |
| 8  |                                      |                        |      |           |                        |       |         |                     |             |                   |
| 9  |                                      |                        |      |           |                        |       |         |                     |             |                   |
| 10 |                                      |                        |      |           |                        |       |         |                     |             |                   |
| 11 |                                      |                        |      |           |                        |       |         |                     |             |                   |
| 12 |                                      |                        |      |           |                        |       |         |                     |             |                   |
| 13 |                                      |                        |      |           |                        |       |         |                     |             |                   |
| 14 |                                      |                        |      |           |                        |       |         |                     |             |                   |
| 15 |                                      |                        |      |           |                        |       |         |                     |             |                   |
| 16 | schoonmaken                          | 0,0000001              |      | 0,000024  | 0                      |       |         | N                   |             | O                 |
| 17 | vervangen pakking                    | 0,0000003              |      | 0,000008  | 0                      |       |         | Y                   | 6 pakkingen | I                 |
| 18 | pijp afblinden                       | 0,0000007              |      | 0,000016  | 0                      |       |         | N                   |             | O                 |
| 19 | gaatje boren aan einde van de scheur | 0,00000004             |      | 0,000001  | 0                      |       |         | N                   |             | O                 |
| 19 |                                      |                        |      |           |                        |       |         |                     |             |                   |
| 20 |                                      |                        |      |           |                        |       |         |                     |             |                   |
| 21 |                                      |                        |      |           |                        |       |         |                     |             |                   |
| 22 |                                      |                        |      |           |                        |       |         |                     |             |                   |
| 23 |                                      |                        |      |           |                        |       |         |                     |             |                   |
| 24 |                                      |                        |      |           |                        |       |         |                     |             |                   |
| 25 |                                      |                        |      |           |                        |       |         |                     |             |                   |
| 26 |                                      |                        |      |           |                        |       |         |                     |             |                   |
| 27 |                                      |                        |      |           |                        |       |         |                     |             |                   |
| 28 |                                      |                        |      |           |                        |       |         |                     |             |                   |
| 29 |                                      |                        |      |           |                        |       |         |                     |             |                   |
| 30 |                                      |                        |      |           |                        |       |         |                     |             |                   |
| 31 |                                      |                        |      |           |                        |       |         |                     |             |                   |

| activiteit               | grondstofkosten |           |                 |         | kosten boordpersoneel CO |             |        |         | kosten boordpersoneel PO |        |         |             | uitbesteding | reserveredden (schelling) |
|--------------------------|-----------------|-----------|-----------------|---------|--------------------------|-------------|--------|---------|--------------------------|--------|---------|-------------|--------------|---------------------------|
|                          | verbruik        | kostprijs | totaal          | manuren | manuren                  | kostprijs   | totaal | manuren | kostprijs                | totaal | manuren | kostprijs   |              |                           |
| voorzien in brandstof    | 18398000        | € 2,00    | € 36.792.000,00 | 956     | € 20,00                  | € 19.120,00 | 355    | € 20,00 | € 7.100,00               | € 0,00 | € 0,00  | € 10.000,00 |              |                           |
| voorzien in zuurstof     | 14716800        | € 1,00    | € 14.716.800,00 |         | € 20,00                  | € 0,00      |        | € 20,00 | € 0,00                   | € 0,00 | € 0,00  | € 0,00      |              |                           |
| opmaken dekr. erenye     | 0               | € 0,00    | € 0,00          | 11      | € 20,00                  | € 220,00    | 79     | € 20,00 | € 1.580,00               | € 0,00 | € 0,00  | € 5.000,00  |              |                           |
| afhandelen resp. product | 0               | € 0,00    | € 0,00          | 683     | € 20,00                  | € 13.660,00 | 0      | € 20,00 | € 0,00                   | € 0,00 | € 0,00  | € 5.000,00  |              |                           |

**GEbruIKSKOSTEN definitieve costpool**

| activiteit               | kosten personeel NE CO |           |            |         | kosten personeel NE PO |             |         |           | kosten opslag & distributie (schelling) |                 | voortloperige costpool |
|--------------------------|------------------------|-----------|------------|---------|------------------------|-------------|---------|-----------|---|-----------------|------------------------|
|                          | manuren                | kostprijs | totaal     | manuren | kostprijs              | totaal      | manuren | kostprijs | totaal                                  |                 |                        |
| voorzien in brandstof    | 223                    | € 22,00   | € 4.906,00 | 178     | € 22,00                | € 3.916,00  |         |           | € 2.000,00                              | € 36.828.220,00 |                        |
| voorzien in zuurstof     | 0                      | € 22,00   | € 0,00     | 0       | € 22,00                | € 0,00      |         |           | € 1.000,00                              | € 14.716.800,00 |                        |
| opmaken dekr. erenye     | 92                     | € 22,00   | € 202,40   | 0       | € 22,00                | € 0,00      |         |           | € 1.000,00                              | € 6.800,00      |                        |
| afhandelen resp. product | 184                    | € 22,00   | € 4.048,00 | 552     | € 22,00                | € 12.144,00 |         |           | € 1.500,00                              | € 18.680,00     |                        |

## Bijlage M

### Ondersteuning 'RELEX' software programma

#### Inleiding

Recentelijk heeft BILS ter ondersteuning van de verwerving en instandhouding van materieel een softwarepakket aangeschaft, genaamd 'RELEX', waarmee betrouwbaarheidsanalyses uitgevoerd kunnen worden. De KM heeft een deel van dit pakket aangeschaft waarin de volgende modules zijn opgenomen:

- Event tree,
- Fault tree,
- Reliability Block Diagram (RBD),
- Reliability prediction calculation met diverse databases (o.a. NPRD 95).

Het softwarepakket kan uitgebreid worden met de modules:

- FMECA,
- Maintainability prediction,
- Life Cycle Cost

Aangezien het pakket recentelijk is aangeschaft, is er binnen de afdeling BILS relatief weinig ervaring met het pakket. Er is vanuit deze afdeling het verzoek gekomen om te onderzoeken of het softwarepakket geïntegreerd kan worden in de beoordelingsmethode. Doelstelling hiervan is tweeledig. In de eerste plaats wordt er ervaring opgedaan met het softwarepakket en daarnaast kan dit pakket daadwerkelijk in de praktijk gebruikt gaan worden in het ILS raamwerk waar de beoordelingsmethode aan opgehangen is. In deze bijlage staan de bevindingen opgenomen en wordt aangegeven op welke wijze het pakket te gebruiken is en waar het op dit moment tekortschiet.

#### RELEX in de beoordelingsmethode

Om aan te geven op welke wijze het pakket is gebruikt bij de beoordelingsmethode en waar zij tekort schiet is het onderworpen aan de BOVI case zoals die gepresenteerd is in hoofdstuk 7.

Bij de verzameling van de gegevens is al naar voren gekomen dat een van de databanken (NPRD 95) zoals die in het pakket zijn opgenomen gebruikt is.

De BOVI is in het RELEX van de KM ingevoerd door de BOVI als 'system' aan te wijzen en de functionele deelgebieden als 'assembly'. Vervolgens zijn per 'assembly' de componenten als 'partnumbers' verwerkt in de zogenaamde 'systemtree'. Ook is middels de RBD module de opbouw van het systeem uitgewerkt. Als 'environment' is gekozen voor *naval sheltered* en voor de temperatuur 50 graden.

Bij invoeren van de gegevens in 'general data' is uitgegaan van de MTBF's uit de BOVI case. Er is daardoor geen gebruik gemaakt van de beschikbare 'reliability prediction models'. Er is een aantal modellen te kiezen wanneer de gegevens niet gespecificeerd aanwezig zijn, probleem is echter dat nergens wordt aangegeven hoe de modellen in elkaar steken en wanneer een bepaalde methode gekozen zou moeten worden. Daarbij nog opgemerkt dat RELEX in eerste instantie ontwikkeld is voor elektronische systemen i.p.v. mechanische. De beschikbare modellen zijn hierop gebaseerd op het model 'mechanical' na.

Doordat de module 'Maintainability prediction' niet door de KM is aangeschaft kunnen de MTTR's niet verwerkt worden en worden ook niet meegenomen in de berekening. De enige mogelijkheid om iets van een MTTR te geven is op 'system' en 'assembly' niveau een algemeen geldende MTTR in te voeren. Hoe met deze gegevens wordt omgegaan is niet duidelijk.

#### Conclusies en aanbevelingen RELEX

##### Conclusies

In het algemeen kan gesteld worden dat het softwarepakket RELEX niet transparant is. Met name waar het gaat om de berekeningen is niet duidelijk hoe de berekeningen precies worden uitgevoerd en wat de bijdrage is van de ingevoerde gegevens. De helpfunctie en reference manual bieden hierbij geen verduidelijking.

Voor de toepassing van RELEX in de beoordelingsmethode is het ontbreken van de transparantie een grote tekortkoming omdat de beoordelingsmethode juist probeert de bijdrage van de diverse elementen te laten zien zodat de sterke en zwakke punten van een beoordeeld systeem naar voren komen. Met RELEX wordt dit teniet gedaan.

Het pakket zoals door de KM is aangekocht is, zeker voor de beoordelingsmethode, niet toereikend. Vooral het ontbreken van de modules 'maintainability prediction' en 'FMECA' is cruciaal. Zonder de eerste is een goede berekening van 'availability', in welke vorm dan ook, niet mogelijk. De laatste is van belang bij het verwerken van de gegevens en het direct integreren van de gegevens in het software pakket. Hierdoor zou een 'datasheet' zoals opgemaakt voor de BOVI case overbodig zijn. Hierbij opgemerkt dat er dan alleen met MTTR's gewerkt kan worden. Het onderscheid tussen het correctieve en preventieve onderhoud is dan niet meer aanwezig zoals te zien is in de 'datasheet'.

De database NPRD95, die via het softwarepakket toegankelijk is, kan gebruikt worden bij de gegevensverzameling, zie hoofdstuk 6.

Over het algemeen kan gesteld worden dat het pakket zoals de KM nu bezit ontoereikend en onduidelijk is. De belangrijkste conclusies die deze stelling onderbouwen zijn:

- RELEX is in eerste instantie ontworpen voor elektronische systemen,
- de berekeningen niet transparant zijn,
- de modules 'maintainability prediction' en 'FMECA' niet zijn aangekocht.

#### Aanbevelingen

Op grond van de opgedane ervaringen en de daaruit voortkomende conclusies worden de volgende aanbevelingen gedaan t.a.v. het softwarepakket 'RELEX' zoal aangekocht door de KM:

- ten behoeve van de transparantie van de berekening dient contact opgenomen te worden met de leverancier via de 'on-line help' facility om duidelijkheid te verkrijgen omtrent de wijze van berekenen en de bijdrage van de diverse gegevens die ingevoerd worden,
- wil het pakket echte ondersteuning bieden in het ILS concept in het algemeen en voor de beoordelingsmethode in het bijzonder, dan moeten de modules 'maintainability prediction' en 'FMECA' aangeschaft worden, waarbij overwogen moet worden of de kosten wel tegen de baten opwegen,
- er zal een persoon op de afdeling BILS verantwoordelijk gemaakt moeten worden voor dit pakket met voldoende inzicht in de materie om de gegevens die ingevoerd worden en de resultaten van de berekeningen te kunnen interpreteren.