

Klein Woud

# Inventarisatiestudie

## Voortstuwingsinstallaties van corvetten/fregatten

(van 800 - 1200 ton waterverplaatsing)

G.K. Kamerman

T.U. Delft/ Nevesbu BV

Den Haag

12 April 1991

OEMO 91/61

Voorwoord

Dit verslag is gemaakt als eerste onderdeel van een afstudeerproject. Het betreft hier een inventarisatiestudie om een beeld te krijgen van corvetten/fregatten van ongeveer 800 tot 1200 ton waterverplaatsing en in het bijzonder hun voortstuwingsinstallaties.

Algemeen

- vaak slechts Nederlands, slechte aansluiting
- hoofdstuk 2 uitermate oppervlakkig en watig geformuleerd.
- hoofdstuk 3 niet gedaan wat vorige keer door Leon Goossens gevraagd is:
  - geef een overzicht (verslagwerk) van alle beschikbare motoren en jachttechnieken
  - weer oppervlakkig
  - verhaal over schroeven; begrijp je het??
- hoofdstuk 4 geef een vezig willekeurige weergave van mogelijke concepten, zonder duidelijk de voor- en nadelen te bespreken
  - Waarom sommige concepten wel en niet bespreken waarom is onduidelijk
  - wat is het doel van dit hoofdstuk?

## Inhoudsopgave

Inleiding	2
Doel van de studie	2
Aanpak van de studie	2
1 Algemene beschrijving	3
2 Aspecten	4
2.1 Snelheid	4
2.2 Acceleratievermogen en stopgedrag	7
2.3 Actieradius	9
2.4 Brandstofverbruik en brandstofkwaliteit	9
2.5 Energiehuishouding	10
2.6 Ruimte- en gewichtsaspecten	10
2.7 Besturings- en Bewakingssystemen	10
2.8 Beschikbaarheid en betrouwbaarheid	11
2.9 Onderhouds- en exploitatieaspecten	13
2.10 Kwetsbaarheid en gevoeligheid	14
2.11 Redundancy	16
2.12 Dekoppervlak	17
2.13 Bemanning en accommodatie	18
2.14 Randvoorwaarden	18
3 Toegepaste aandrijvingen	19
3.1 Dieselmotoren	19
3.2 Gasturbines	21
3.3 Dieselelektrische aandrijving	22
3.4 Hulpvoortstuwning	23
3.5 Overbrenging	23
3.5 Voortstuwers	25
3.6 Voortstuwder-Motor interactie	28
3.7 Vergelijking van verschillende aandrijvingen	29
4 Mogelijke voortstuwingsconfiguraties	30
4.1 Systeem gebonden eigenschappen	30
4.2 CODOD	31
4.3 CODAD	31
4.4 CODOG	32
4.5 CODAG	33
4.6 CODLOD	33
4.7 CODLAD	33
4.8 CODLOG	34
4.9 CODLAG	35
4.10 COGOG	35
4.11 COGAG	36
4.12 COGAS	37

## Inhoudsopgave

5 Kosten	38
5.1 Investerings- en aanloopkosten	38
5.2 Onderhouds- en Exploitatiekosten	38

Conclusie	39
-----------	----

Referenties

BIJLAGEN



## Inleiding

### Doel van de studie

Het doel van deze studie is om een inventarisatie te maken van de huidige fregatten/corvetten met een displacement van ongeveer 800 tot 1200 ton waterverplaatsing. Waarbij speciaal de voortstuwings-systemen worden onderzocht. Tevens is het een voorbereiding op de volgende fase met betrekking tot het verzamelen van gegevens.

*Mede land*

### Aanpak van de studie

Om een algemene indruk te krijgen van deze klasse van schepen wordt in het eerste hoofdstuk een beschrijving gegeven m.b.t. de functie en de vorm van deze schepen. In het tweede hoofdstuk worden een aantal aspecten genoemd die specifiek zijn voor deze klasse van schepen. Vervolgens wordt in het derde hoofdstuk beschreven welke voortstuwings, overbrenging en voortstuwingsmachines worden gebruikt met hun karakteristieken. Hier wordt tevens de waterjet als voortstuwingsysteem genoemd, hoewel deze niet of nauwelijks wordt toegepast. In het vierde hoofdstuk worden de configuraties beschreven die als voortstuwings-systeem mogelijk zijn. Als laatste zal nog een hoofdstuk aan de kosten worden gewijd.

## 1 Algemene beschrijving

Een functiebeschrijving van een fregat/corvet is moeilijk te geven, het zal veelal afhangen van de wapensystemen en de uitrusting aanboord. Een indeling naar grootte (van b.v. lengte, displacement of snelheid) is eveneens moeilijk te geven, daar er in feite een continu verloop is in de grootte van deze schepen. Een overzicht van deze schepen is gegeven in een tabel in bijlage 2.

*Zou dat echt niet kunnen!*

De algemene hull-vorm van de fregatten/corvetten is voor wat betreft het voorschip zeer scherp en het midden-schip heeft een U-vorm.

De voortstuwingsinstallatie is vanuit ruimtelijke overwegingen in het U-vormige middenschip opgesteld.

Als voortstuwingsmiddelen worden bijna zonder uitzondering schroeven gebruikt. Deze relatief hoogbelaste schroeven (i.v.m. geluid en trillingen) bevinden zich onder en buiten het achterschip. Om deze schroeven aan te drijven worden zeer lange assen gebruikt.

De schepen hebben twee operationele snelheden, te weten de hoofdvaart en de kruisvaart, hoewel tegenwoordig steeds meer vraag komt naar de zeer lage snelheden (kleiner dan 5 Kn). Deze lage snelheden (towing condition) zijn vooral van belang voor de ASW (anti-submarine-warfare).

Verder kan in het algemeen worden gesteld dat schepen die ontworpen en uitgevoerd worden voor meerdere functies groter worden in afmetingen en een grotere bemanning vragen. Het traditionele multi-functionele concept lijkt alleen toepasbaar op schepen van fregatafmetingen en groter (ongeveer 2000 ton en groter).



## 2 Aspecten

### 2.1 Snelheid

Kenmerkend voor deze klasse van schepen is dat ze moeten worden ontworpen voor verschillende operationele snelheden. Globaal kunnen de operationele snelheden worden ingedeeld in drie modes naar afnemende snelheid nl:

- De hoofdvaart
- De kruisvaart
- De minimale vaart (loitering speed)

#### 2.1.1 Hoofdvaart

De hoofdvaart is de maximale snelheid van het schip welke gedurende langere tijd gevaren kan worden. De maximale snelheid ligt in de orde van grootte van 27 tot 35 Knoop. Om de voortstuwingsinstallatie te beschrijven waarmede de maximale snelheid wordt bereikt, moet men eerst een indeling maken van de typen voortstuwingsconfiguraties.

-Alleen hoofdmotoren waarmee ook kruisvaart wordt gevaren. De hoofdvaart wordt bereikt door de motoren op MCR te laten draaien. Deze configuratie is eigenlijk alleen voor gasturbines interessant.

*Waarom?*

- De "OR"-configuratie; de motoren zijn te verdelen in hoofdmotoren en kruisvaartmotoren. De hoofdmotoren zijn qua vermogen een stuk groter dan de kruisvaartmotoren, de maximale snelheid wordt behaald wanneer alleen de hoofdvaartmotoren op MCR draaien.
- De "AND"-configuratie; in dit geval zijn de motoren van ongeveer gelijk vermogen. De hoofdvaart wordt bereikt wanneer alle motoren op MCR draaien. Een andere configuratie is mogelijk wanneer bijv. 3 assen worden gebruikt, de kruisvaart wordt dan gevaren met een motor en de hoofdvaart wordt dan bereikt door alle motoren op MCR te laten draaien.

#### 2.1.2 Kruisvaart

De kruisvaart is de economische vaart. Het is zoals men bij de koopvaardij zou zeggen de dienstsnelheid. De snelheid ligt in de orde van grootte van ongeveer 12 tot 22 Knoop. Deze snelheid is met verschillende voortstuwingsconfiguraties te bereiken. (zie bovenstaande en hoofdstuk 4)

### 2.1.3 Minimale snelheid

Deze operationele snelheid is van belang bij de towed array (sonar voortslepend). Er zijn een aantal verschillende oplossingen om deze mode te bereiken. *medul*

Als eerste zal worden beschreven hoe deze snelheid bereikt kan worden door gebruik te maken van de geïnstalleerde voortstuwingsinstallatie en vervolgens zal beschreven worden hoe met een hulpvoortstuwingsstelsel deze snelheid gerealiseerd kan worden.

De minimumvaart met ontwerpspoed, met andere woorden, het laagste schroefastoeental waarbij de spoed niet gereduceerd behoeft te worden, wordt bepaald door:

a) Het minimale astoeental waarbij nog voldoende hydrodynamische smering van de watergesmeerde aslagers plaatsvindt.

b) Het toerental-vermogen karakteristiek van de voortstuwingsmachines.

Het minimale astoeental, waarbij nog voldoende hydrodynamische smering plaatsvindt is zeer sterk afhankelijk van het ontwerp van de asleiding en de buitenboordschroefaslagers. Het gekozen lagermateriaal, asdiameter, lagerontwerp en lagerbelasting spelen hierbij een rol.

Bij voortstuwning met elektromotoren is de minimale scheepssnelheid met volle spoed afhankelijk van het gekozen systeem. Bij onafhankelijk van het toerental van de diesel-generator te regelen motoren (gelijkstroommotoren, elektronische regeling) zijn er voor wat betreft de aandrijving geen beperkingen. Wordt het toerental van de elektromotor geregeld door het toerental van de dieselgenerator te variëren dan gelden de eigenschappen c.f. dieselmotor aandrijving.

Uit het voorgaande kan de konklusie worden getrokken dat bij gasturbine voortstuwning en bij onafhankelijk te regelen elektromotoren de minimum scheepssnelheid bepaald wordt door het laagste schroefastoeental waarbij voldoende hydrodynamische smering gewaarborgd is.

Bij dieselveortstuwning en voortstuwning door elektromotoren, waarvan het toerental geregeld wordt door het toerental van de dieselgenerator te variëren, wordt het minimum astoeental met ontwerpspoed bepaald door de eigenschappen van de dieselmotor.

*ook olie gesmeerde aslagers!*



Als alternatief kan men voor deze lage snelheden een voortstuwingssysteem ontwerpen welke geheel dan wel gedeeltelijk onafhankelijk is van de hoofdvoortstuwingsinstallatie. Men kan gebruik maken van een aparte thruster. Deze kan op verschillende manieren worden aangedreven. (zie paragraaf 3.4 Hulpvoortstuwing) De thruster kan op een aantal verschillende manieren onder het vaartuig worden geplaatst. De thruster kan vast onder het vaartuig worden bevestigd of het kan draaibaar zijn om zijn verticale as (azimuth). In beide gevallen zijn uitvoeringen beschikbaar waarbij het is mogelijk de thruster in de romp te trekken (retractable). Evenzo in beide gevallen kan de schroef met vaste of met variabele spoed worden uitgevoerd.



## 2.2 Acceleratievermogen en stopgedrag

### Acceleratie

Bij acceleratie van een schip moet een onderscheid gemaakt worden, of de acceleratie in hoofdvaart of in kruisvaart wordt uitgevoerd. De snelle of minder snelle acceleratie (zowel in HV als in KV) is in principe afhankelijk van twee factoren:

-a. De relatie tussen het geïnstalleerde HV- of KV-vermogen en de vermogen-snelheidskarakteristiek van het schip en

-b. Het vermogen dat op elk moment tijdens de acceleratie beschikbaar is voor het verder accelereren van het schip met andere woorden de snelheid waarmee tijdens de acceleratie het vermogen kan worden opgevoerd.

De eigenschappen van gasturbines en dieselmotoren zijn voor wat betreft de snelheid van opvoeren van vermogen zeer verschillend. Inherent aan het ontwerp van een gasturbine is de eigenschap dat de vermogen-toerental een zeer flexibele karakteristiek heeft, zodat zelfs bij lage toerentallen van de krachtturbine een aanmerkelijk meer vermogen beschikbaar is voor de acceleratie van het schip.

Bij dieselmotoren echter is het opvoeren van de belasting veel meer afhankelijk van het toerental van de dieselmotor, vooral in het lage toerengebied.

Voor niet verstelbare schroeven heeft dit tot gevolg dat de dieselmotor inferieur is aan de gasturbine voor wat betreft het leveren van acceleratievermogen. Bij toepassing van verstelbare schroeven echter, kan met behulp van speciale programma's voor schroefspoed en toerenregeling de acceleratie-capaciteit van dieselmotoren aanmerkelijk worden verbeterd. (zie bijlage 1)

## Stopgedrag

Het stopgedrag (deceleratie) kan worden uitgedrukt in de vaarafstand die nog wordt afgelegd vanuit een bepaalde vaarsnelheid totdat het schip stilligt. Ook hier zijn de massa- en weerstandseigenschappen van het schip belangrijke factoren. Bij vaste schroefinstallaties hangt de lengte van de stopweg af van het vermogen dat in de tijd beschikbaar is om terwijl de schroeven door de vaart van het schip nog in de vooruitrichting worden aangedreven eerst te stoppen en daarna in achteruitrichting door de voortstuwingsmachines aan te drijven. Deze manoeuvre kan bij diesel- en gasturbine-voortstuwings gerealiseerd worden d.m.v. een omkeerbare tandwielkast terwijl bij voortstuwings door dieselmotoren en gelijkstroommotoren dit ook nog mogelijk is door omkering van de draairichting van deze motoren.

Het omkeren van een dieselmotor vereist een extra voorziening in de motor. Bij grote dieselmotoren waarbij geen tandwielkast nodig is wordt de mogelijkheid tot omkering altijd in de motor aangebracht. (meestal verstelbaarheid van de nokkenas) Bij snellopende dieselmotoren (kleinere vermogens) is er altijd sprake van een tandwielkast. De voorziening, die een omkering van de draairichting van de aandrijf-as mogelijk maakt, is dan makkelijker in de tandwielkast aan te brengen dan in de motor. Verwacht kan worden dat deze omkeerprocedures extra tijd vergen en de stopweg verlengen.

NB. Gasturines hebben slechts één draairichting.

Bij toepassing van verstelbare schroeven wordt het schip in zeer belangrijke mate al afgeremd door het verstellen van de schroef van design pitch tot nul-pitch, waarna onmiddellijk achteruitvermogen geleverd kan worden door de schroeven te verstellen naar negatieve pitch. Dynamische simulaties hebben aangetoond dat de stopweg in dit geval voornamelijk bepaald wordt door het vermogen en dat de snelheid waarmee dit vermogen beschikbaar komt voor achteruit vermogen veel minder invloed heeft.

*medul!*

Uit het bovenstaande kan worden gekonkludeerd dat bij toepassing van vaste schroeven het stopgedrag, vooral bij dieselvoortstuwings, in negatieve zin beïnvloedt kan worden doch dat de aandrijving door dieselmotoren i.p.v. gas-turbines bij toepassing van verstelbare schroeven een minimale invloed heeft op de lengte van de stopweg.



### 2.3 Actieradius

Vaak wordt de eis gesteld om meestal bij kruisvaart, een bepaalde afstand te kunnen afleggen. De actieradius is sterk afhankelijk van de gevaren snelheid en grootte van het schip (tankcapaciteit). De actieradii liggen in de orde van grootte van 3000 tot 6000 zeemijl. (Zie bijlage 2)

### 2.4 Brandstofverbruik en brandstofkwaliteit

#### Brandstofverbruik

Verschillen in brandstofverbruik tussen verschillende fabrikanten en typen dieselmotoren met een vergelijkbaar vermogen bij dezelfde belasting zijn bij een vergelijkende studie verwaarloosbaar. Bij de gasturbines verschillen de verbruiken per fabrikaat en merk aanmerkelijk. Het specifieke brandstofverbruik ( $\text{gr/KwH}$ ) varieert van een dieselmotor met de mate van belasting van de motor (zie figuur 3.3) terwijl het specifieke brandstofverbruik van een gasturbine zeer sterk oploopt naarmate de gasturbine minder belast wordt. (zie figuur 3.8)

#### Brandstofkwaliteit

Gasturbines vereisen een hogere graad van brandstofkwaliteit die wellicht moeilijk te verkrijgen is in sommige delen van de wereld. Dieselmotoren werken op een brandstof van een lagere kwaliteit. Toch zullen ook dieselmotoren rekening moeten houden met de steeds dalende kwaliteit van de brandstof.

De gebruikte brandstof voor gasturbines c.q. dieselmotor is meestal een standaardbrandstof, bepaald door de betreffende marine. Voor de NATO is dit voor dieselmotoren en gasturbines DIESO F76.

*k W/h  
hoofden en klein  
lekkers  
moeten  
precies  
andereom!*

## 2.5 Energiehuishouding

De energiehuishouding is sterk afhankelijk van de functie van het schip met betrekking tot de gebruikte wapensystemen. Het kan voorkomen dat bepaalde wapensystemen worden gevraagd die zoveel elektrische energie gebruiken dat er extra elektrisch vermogen geïnstalleerd moet worden. Dit is nodig omdat in geval van gevechtsconditie ook het hoofdvaartvermogen beschikbaar moet zijn.

*Wat zijn ze?  
hien man?*

## 2.6 Ruimte- en gewichtaspecten

Wanneer de dieselmotor en de gasturbinemotor qua ruimte en gewicht met elkaar worden vergeleken, is de gasturbinemotor aanzienlijk lichter en neemt minder ruimte in dan de dieselmotor voor een vergelijkbaar vermogen. Het nadeel van de gasturbinemotor is echter dat deze zeer veel lucht verbruikt en daardoor grote luchtkanalen vraagt. Dit vereist zeer veel ruimte en drukt een zware stempel op het arrangement van de accommodatie. Wat betreft het ruimteaspect bij elektrische voortstuwing kan worden opgemerkt dat de ontwerper een zekere mate van vrijheid heeft in de opstelling van deze motoren. Hierdoor kan tevens een grotere redundancy verkregen worden.

## 2.7 Besturings- en Bewakingssystemen

Bij het besturings- en bewakingssysteem zijn aanmerkelijke verschillen te verwachten in de mate van complexiteit van het te ontwerpen voortstuwingsstelsel, naarmate de configuratie meer complex is (aantal machines, identieke of verschillende machines, separate of cross-connect tandwielkasten, mechanische koppeling of mechanische-elektrische overbrenging, etc.). Hierbij moet onderscheid gemaakt worden v.w.b. de complexiteit van het benodigde regelprogramma en de complexiteit van het systeem m.b.t. het aantal te regelen actuators, te bewaken sensors en het aantal inherente interfaces, eenvoudigheidshalve aan te duiden met "programmatische complexiteit" en "hardware complexiteit".

Daar de aanschaffingskosten, de bedrijfszekerheid en de onderhouds- en logistieke consequentie afhankelijk zijn van de meer of mindere complexiteit van het benodigde besturings- en bewakingssysteem moet er in het ontwerp hiervan een matrix, in kwalitatieve zin worden gemaakt, van de verwachte complexiteit van het besturings- en bewakingssysteem van de kandidaat voortstuwingsconfiguratie.

*hoe doe je dat?*



## 2.8 Beschikbaarheid en betrouwbaarheid

De operationele beschikbaarheid van een voortstuwingsmachine hangt af van de volgende factoren:

- a. Betrouwbaarheid (Mean Time Between Failure in relatie met de Mean Time To Repair) (zie bijlage 3)
- b. Benodigde tijd voor planmatig scheepsonderhoud
- c. Benodigde tijd voor planmatig walonderhoud

### ad a) Incidentele defecten

Gebaseerd op ervaringen van de Koninklijke Marine kan aangenomen worden dat incidentele defecten, waardoor de voortstuwing tijdelijk niet beschikbaar is, vaker optreden bij dieselmotoren dan bij gasturbines. Hier staat echter tegenover dat de mogelijkheden om deze effecten aan boord door eigen personeel te doen repareren bij dieselmotoren groter zijn dan bij gasturbines.

### ad b) Scheepsonderhoud

Het scheepsplanmatig onderhoud van de dieselmotor kan eventueel meer manuren vergen dan dat van de gasturbine. Bij hoog opgevoerde motoren zelfs aanmerkelijk meer. Voorzover dit meerdere planmatig onderhoud op zee moet gebeuren resulteert dit (bij keuze van hoog opgevoerde motoren) in een iets lagere beschikbaarheid van de dieselmotoren tijdens een operationele missie.

### ad c) Walonderhoud

De benodigde tijd voor walonderhoud wordt voor de gasturbine in hoofdzaak bepaald door het groot onderhoud van de gasgenerator (planmatig of als gevolg van ernstige defecten). Bij de dieselmotor wordt het in hoofdzaak bepaald door het benodigde koponderhoud en groot onderhoud. Als een "upkeep by exchange" onderhoudsconcept wordt gebruikt zal het onderhoud geen invloed op de beschikbaarheid van het schip voor operationele missies hebben. De iets langere duur van het wisselen van een dieselmotor wordt gecompenseerd door de lagere frequentie ervan. Het benodigde routine koponderhoud van een dieselmotor zal (indien geen extra mankracht hiervoor beschikbaar is), de beschikbaarheid van het schip wel beïnvloeden. Bij gelijke beschikbaarheid van het schip v.w.b. het groot onderhoud geldt alleen wanneer het scheepsontwerp de noodzakelijke "removal routes" toelaat. De praktijk heeft uitgewezen dat dit voor gasturbines en dieselmotoren tot ca. 4000 KW goed mogelijk is. Voor grotere dieselmotoren is het reeel om aan te nemen dat het ontwerpen van removal routes voor deze dieselmotoren niet tot de mogelijkheden behoort. In dat geval zal de beschikbaarheid van het schip voor operationele missies als gevolg van het benodigd groot onderhoud wel degelijk beïnvloed worden.

*wal is ?  
dat .*

*wal is  
dit  
won 2im?*



Konkluderend kan gesteld worden dat:

- Toepassing van dieselmotoren tot ca. 4000 KW (i.p.v. gasturbines in vergelijkbare configuraties) de beschikbaarheid van het schip voor het uitvoeren van operationele missies nauwelijks beïnvloed, mits de sterkte van de walonderhoudscapaciteit is aangepast aan het meerdere scheepsonderhoud van dieselmotoren, waarbij het koponderhoud een belangrijke factor is.
- Er een reële mogelijkheid aanwezig is dat het toepassen van grote dieselmotoren (vanaf 5000 KW) de beschikbaarheid in ongunstige zin kan beïnvloeden (geen volledige upkeep/repair by exchange concept mogelijk)

#### **De operationele beschikbaarheid**

Het beschikbaarheidspercentage van een schip voor het uitvoeren van een operationele missie kan in de eerste plaats op jaarbasis worden geprojecteerd. Met andere woorden voor hoeveel vaardagen per jaar is het schip beschikbaar voor operationele missies in normale vredesomstandigheden. Dit hangt van zeer veel en verschillende aspecten af (verloven, planmatig onderhoud (zie bovenstaande), opleidingen, opwerkperioden etc.). Doch met betrekking tot het voortstuwingsysteem kan gesteld worden dat dit in grote mate afhangt van de tijd, nodig voor de onderhoudswerkzaamheden die voor de wal liggend moet gebeuren. De benodigde tijd is zeer afhankelijk van de beschikbare onderhoudscapaciteit van het aan boord geplaatste TD-personeel, de beschikbare wal-steun voor dit onderhoud en een adequate bevoorrading. Bij voldoende capaciteiten in deze gebieden zal het aantal beschikbare vaardagen niet wezenlijk variëren met de keuze van het voortstuwingsysteem. Indien deze capaciteiten beperkt zijn, wat als normale situatie kan worden aangenomen, dan zal het aantal beschikbare operationele vaardagen variëren met de complexiteit en de diversiteit van het voortstuwingsysteem.

*het is  
onderhoud  
voeg!*

## 2.9 Onderhouds- en exploitatieaspecten

Het planmatig onderhoud voor de dieselmotor en gasturbine kan worden beperkt door het onderhoud te baseren op het zogenaamde "Condition Based Maintenance" concept. Hiervoor is echter een in de praktijk beproefd en bewezen "Engine Condition Monitoring" systeem met de nodige ondersteunende walorganisatie noodzakelijk.

Dieselmotoren zowel als gasturbines zijn in principe in gelijke mate geschikt voor het toepassen van Condition Monitoring hoewel bij toepassingen in de praktijk de resultaten bij gasturbines gunstiger zijn.

Dit heeft tot oorzaak dat v.w.b. gasturbines vooral de vliegtuigindustrie een grotere inspanning op dit gebied heeft geleverd en dat de juiste interpretatie van de verkregen gegevens bij dieselmotoren bemoeilijkt wordt, doordat het aantal bedrijfsuren van de dieselmotoren in bedrijven die met deze systemen werken beduidend lager is dan bijv. voor een bepaald type gasturbine bij een luchtvaartmaatschappij.

De onderhouds- en exploitatieconsequentie zal groter zijn naarmate de voortstuwingsinstallatie meer of minder complex is m.b.t. de aantallen en diversiteit van de toegepaste voortstuwingsmachines. Dit beïnvloedt bij het besturings- en bewakingssysteem niet alleen het aantal logistiek te ondersteunen actuators, sensoren en elektronische regelhardware, maar ook de ondersteuningsinspanning voor het beheer van het software pakket.

Zou het  
type  
machine  
er ook  
wat meer  
te maken  
hebben?

???

wat staat  
hier voor  
in focus  
naam?



## 2.10 Kwetsbaarheid en gevoeligheid (Vulnerability and susceptibility)

### 2.10.1 Infra-rood bescherming

Infra-rood detectie kan worden verminderd door het koelen van de afvoergassen van de hoofdinstallatie of indien mogelijk ze onderwater te lozen.

Het koelen van de afvoergassenpluim vraagt een grote hoeveelheid lucht en vereist in het eerste ontwerpstadium een ruimte- en vermogenstoebedeling.

Gesteld kan worden dat deze voorzieningen bepaald worden door de betreffende afvoergasstemperaturen in correlatie met de afvoergassen-massaastroom en de mate waarin een rookloze verbranding wordt gerealiseerd.

De dieselmotor is voor wat betreft temperatuur en massa van de afvoergassen eenvoudiger te maskeren doch de niet altijd rookloze verbranding heeft een nadelige invloed. De gasturbine gebruikt zeer veel lucht en de afvoergassen zijn van een veel hogere temperatuur dan bij de dieselmotor. De ontwerper moet rekening houden met hogere schoorstenen in verband met de werkbaarheid aan dek.

Waf  
bekeent  
dit  
nou

### 2.10.2 Geluidsaspecten

Voor wat betreft geluidsaspecten moet onderscheid worden gemaakt in het door de machine geproduceerde luchtgeluid en het konstruktie geluidsniveau dat via de fundaties van de machine, de koppeling met de tandwielkast en vervolgens via de tandwielkast-fundatie en via de aan de machine gekoppelde pijpleidingen en elektrische kabels aan de scheepshuid wordt afgegeven.

#### 2.10.2.1 Luchtgeluid

Het luchtgeluidsniveau is van belang i.v.m. de gestelde personele luchtgeluidseisen in de machinekamerkompartimenten en de omringende ruimten. Het luchtgeluidsniveau kan ook een faktor zijn in het onderwater uitgestraald geluid via de scheepshuid.

Om het luchtgeluid te reduceren wordt de machine veelal voorzien van een akoestische omkasting. Dit is noodzakelijk bij een gasturbine vanwege het hoge luchtgeluid dat deze veroorzaakt. Door deze akoestische omkasting zullen bij gasturbines geen bijzondere problemen verwacht worden ten opzichte van de gestelde luchtgeluidseisen in MK's en omringende kompartimenten.

## **2.11 Redundancy**

### **2.11.1 System Redundancy**

Het incasseringsvermogen van de voortstuwingsinstallatie zal toenemen naarmate meer voortstuwingsmachines geïnstalleerd worden en deze over meer waterdichte compartimenten verdeeld worden. Voor wat betreft de system redundancy heeft dus het concept met twee gescheiden machinekamers de voorkeur.

Vitale systemen en uitrusting moeten worden gedupliceerd en enkelvoudige punten waarop het gehele systeem onderuit kan gaan moeten worden vermeden.

Generatoren moeten indien mogelijk over meerdere compartimenten van het schip verdeeld worden.

### **2.11.2 Hull Redundancy**

Bij ontwerp van de romp moet worden gelet op verdeling van de compartimenten in verband met het lek raken van het schip. Hierbij moet worden gelet op de opstelling van de generatoren zodat het schip zo lang mogelijk elektrisch vermogen beschikbaar heeft.

## **2.12 Dekoppervlak**

### **2.12.1 Helicopters**

Wanneer wordt besloten dat het schip ook voor heli-  
coptersoperaties geschikt moet zijn, heeft dit voor het  
dekoppervlakindeling de nodige gevolgen. Er moet namelijk  
rekening worden gehouden dat het heli-copterdek ongeveer  
20-30% van de lengte van een 120m fregat in beslag neemt.  
Tevens moeten de scheepsbewegingen onderzocht worden.

### **2.12.2 Dekoppervlakken benodigd voor in\uitlaatgassen**

Wanneer men als voortstuwingsinstallatie een gasturbine  
kiest moet men in het ontwerp rekening houden met de  
grote in- en uitlaatsystemen.



### 2.13 Bemanning en accommodatie

De daadwerkelijke benodigde TD-bemanning hangt af van het totaal ontwerp van het voortstuwingsysteem plus dat van overige platformsystemen.

De plaats en indeling van de accommodatie wordt ten grote dele bepaald door plaats van de machinekamer en de in- en uitlaatschachten (in geval van gasturbines).

### 2.14 Randvoorwaarden

*in welk rapport?*

- In het rapport moet vastliggen welk vermogen is gebruikt (van de machine, aan de schroef etc.) en met welke verliezen er is gewerkt. Bij vermogensberekeningen moet worden vermeld met welke omgevingstemperaturen er is gerekend omdat de temperatuur een grote invloed heeft op de prestaties van de motor, dit geldt voor zowel de dieselmotor als van de gasturbine. (zie figuur 3.9) Tevens moet hierbij vermeld worden wie deze normen op heeft gesteld. (zie bijlage 4)

- Bij weerstandsberekeningen moet de sea-state worden vermeld.

- Met betrekking tot de kosten moet in het rapport vastliggen met welke wisselkoersen is gerekend. Vaak is het zo dat brandstofprijsschommelingen en inflatiekosten niet in het rapport zijn verwerkt.

De dieselmotoren zijn meestal niet voorzien van een akoestische omkasting (vanwege kosten, gewicht, volume, etc). Dit resulteert in hogere geluidsniveaus in MK's en de direkt omringende kompartimenten vergeleken met gasturbines met omkasting en beperkt hierdoor de keuze van het soort van kompartiment, dat grenst aan de MK's, c.q. vereist extra investeringen indien toch qua geluidsniveau vitale ruimten rond de MK-kompartimenten worden geplaatst.

#### **2.10.2.2 Konstruktiegeluid**

Het konstruktiegeluidsniveau is bepalend voor het onderwater geluidsniveau en signatuur van het schip en in mindere mate voor het luchtgeluidsniveau in de omringende kompartimenten. Het onderwatergeluidsniveau heeft belangrijke operationele konsekventies (detektierange, identificering, werking sonar, mijnenbescherming, etc.). Maatregelen in het reduceren van konstruktiegeluid moet worden gezocht in het verend opstellen van de machineinstallatie (incl. tandwielkasten).

#### **2.10.2.3 Onderwatergeluid schroeven**

Voor wat betreft het door de schroeven geproduceerde onderwatergeluid kan voor de hogere sloopssnelheden worden gesteld dat dit niet afhankelijk is van de toepassing van gasturbine- of dieselmotorvoortstuwings. Voor lagere vaarten geldt dat bij snelheden, waarbij met volle spoed kan worden gevaren de bijdrage van het konstruktiegeluid van de voortstuwingsmachines bepalend is voor het onderwater geluidsniveau.



### 3 Toegepaste aandrijvingen

Om een voortstuwingssysteem te ontwerpen moet men inzicht hebben in de voortstuwer en de machine karakteristieken omdat deze eenheden samen moeten werken in een vereiste aandrijving-belasting relatie.

Het gedrag van het systeem is bepaald door de interactie van de voortstuwerkarakteristiek en de motorkarakteristiek. De karakteristieken van de voortstuwer zijn die door de motor gezien.

??

#### 3.1 Dieselmotoren

De karakteristiek betrekking hebbend op zowel de machine als de schroef is de koppel-toerental karakteristiek. Tevens is de vermogen-toerental karakteristiek een goed bruikbaar alternatief omdat het vrijwel dezelfde informatie bevat.

De koppel-output van een motor wordt geregeld door de kwantiteit brandstof die geïnjecteerd wordt in de cylinders bij elke omwenteling. Wanneer een belastingsverandering een toerentalvariatie veroorzaakt zal het koppel constant blijven indien er geen aanpassing van de brandstoftoevoer plaatsvindt om de belastingsverandering te compenseren. Daarom wordt de dieselmotor ook vaak de constant-koppel machine genoemd.

Het koppel  $M_d$  is proportioneel aan de gemiddelde effectieve druk (MEP)  $P_m$ , en de corresponderende vermogen-toerental karakteristiek is een rechte lijn met een helling proportioneel met het koppel. De helling van de laatstgenoemde curves zijn ook proportioneel met de gemiddelde effectieve druk, omdat zij en het koppel proportioneel zijn. (Zie figuur 3.1)

Waarom blijft dat ??

Hoewel er bepaalde kenmerken van de motor of van zijn turbocharger zijn die het constant-koppel gedrag zullen veranderen. Met afnemende snelheid en constante belasting is het niet mogelijk om grote koppels te handhaven bij lage motortoerentalen. (Zie figuur 3.2)

X

De toegepaste dieselmotoren bij deze klasse van schepen zijn veelal de snellopende dieselmotoren (1000-1600 omw/min). Het zijn compacte en kleine motoren die relatief veel onderhoud vergen. Er kan ook een andere indeling worden gehanteerd nl. aan de hand van de brandstofkwaliteit. Motoren die geschikt zijn voor of op zware brandstoffen kunnen draaien zijn medium-speed dieselmotoren. Motoren die een betere kwaliteit brandstof vereisen zijn vaak high-speed dieselmotoren.

fig 3.2 is alleen met gem

Wat stelt fig 3.3 voor?

" Normale dieselmotoren

Door de grotere flexibiliteit verkregen door de turbocharging heeft de motorontwerper de mogelijkheid om de motor te optimaliseren naar de specifieke wensen van de klant zodat het beste brandstofrendement kan worden verkregen in de meest gebruikte operatiesnelheid. (zie figuur 3.4 en 3.5)

Belangrijke fabrikanten van snellopende dieselmotoren zijn:

-MTU	Duitsland
-Pielstick	Frankrijk
-Stork Werkspoor Diesel	Nederland
-Caterpillar	U.S.A.



*Voeg schijma toe!*

### 3.2 Gasturbines

De fundamentele componenten van een gasturbinemotor zijn een compressor, die de inkomende lucht samenperst, een verbrandingskamer, waarin de brandstof wordt geïnjecteerd en verbrand, en een turbine die energie onttrekt aan de samengedrukte en verhitte lucht om de externe belasting en de compressor aan te drijven. Over het algemeen is de turbine verdeeld over twee mechanisch separate delen, een deel die de compressor aandrijft en de tweede, vrije turbine die de externe last aandrijft.

De gasturbine verenigt de voordelen van alle turbomachinery boven de heen en weergaande machines (reciproke machinery); omdat de brandstof op continu basis wordt gehanteerd, meer dan op een batch basis. De turbomachine is bovendien veel kleiner voor een gegeven vermogen dan een dieselmotor. Dit is tevens de basis van de gasturbine's aantrekkelijkheid, zijn compactheid en zijn lichte gewicht. Hierbij moet wel de opmerking gemaakt worden dat het hier gaat over de motor zelf, het is zeer moeilijk om een schatting te maken van gewicht van het hele systeem betreffende luchtkanalen en tandwielkast (die groter is vanwege het hoge toerental).

*kleine*

De ideale relatie tussen koppel en toerental voor een eentraps-impuls turbine laat zien dat het koppel een lineaire functie is van het toerental, met het koppel bij het toerental  $n = 0$  is ongeveer tweemaal zo groot dan de waarde die het heeft als het toerental bij het ontwerp-punt het systeem. [Uit ref.1]  
Geformuleerd:

$$\frac{M}{M_r} = 2 - \frac{n}{n_r}$$

waarbij  $M$  het koppel en  $n$  het toerental is. Het subscript geeft de nominale conditie aan. Deze koppel-toerental karakteristiek is een rechte lijn met  $M = M_r$  als  $n = n_r$ , en  $M = 2M_r$  wanneer  $n = 0$ .

Het resultaat voor de vermogen-toerental karakteristiek wordt dan

$$\frac{P}{P_r} = \frac{n}{n_r} \left[ 2 - \frac{n}{n_r} \right]$$



Dit is een vergelijking van een parabool. Figuur 3.6 laat het koppel-toerental en de vermogen-toerental relatie zien. Het wordt uit de laatste figuur duidelijk waarom een turbine een constant vermogen machine wordt genoemd. Binnen een beperkt gebied nabij het werkpunt blijkt het vermogen inderdaad ongeveer constant. De steiging van het koppel correspondeert met een daling in het toerental wanneer het werkpunt naar rechts verschuift. ] ??

Er zijn een aantal figuren in het verslag opgenomen om de werking van de gasturbine te verduidelijken.

Figuur 3.7 laat het asvermogen afhankelijk van het toerental bij constante brandstoftoevoer zien. Figuur 3.8 laat het specifieke brandstofverbruik zien afhankelijk van het asvermogen. Hier is duidelijk te zien dat bij afname van het vermogen het specifiek brandstofverbruik sterk toeneemt. Figuur 3.9 laat zien dat het vermogen afhankelijk is van de luchtinlaattemperatuur. Het vermogen loopt terug bij hogere inlaattemperaturen.

Belangrijke fabrikanten van marine gasturbines zijn:

- |                   |                 |
|-------------------|-----------------|
| -General Electric | U.S.A.          |
| -Rolls Royce      | Groot-Brittanie |

### 3.3 Dieselelektrische aandrijving

Het rendement van de dieselelektrische voortstuwingsinstallatie is sterk afhankelijk van de grootte in vermogen en het toerental van de elektromotor. Het biedt een zeer flexibele aandrijving dat wil zeggen dat het kan werken in een variabele snelheidsrange. Tevens is er een flexibele opstelling van het systeem mogelijk waardoor een grote redundancy van de hull kan worden verkregen. Een ander voordeel van het systeem is dat er een groot potentieel is aan elektrische energie aanwezig is. Dit kan een voordeel zijn met betrekking tot de mogelijk toekomstige wapensystemen. In het algemeen geeft dieselelektrische aandrijving een te groot rendement verlies ten gevolge van de extra omzetting.

### 3.4 Hulpvoortstuwling

In het geval dat er een zeer lage snelheid gevaren moet worden, en deze snelheid kan niet bereikt worden met de hoofdvoortstuwingsinstallatie, kan men overwegen een aparte hulpvoortstuwling toe te passen. Een oplossing kan een thruster zijn, die vast onder het schip is bevestigd of een die men kan optrekken in de romp. De aandrijving kan geschieden door een (as-)generator. De overbrenging kan hydraulisch of elektrisch zijn. (zie ook paragraaf over minimale snelheid)

*een wachling  
met een  
generator??  
aandrijving??*

### 3.5 Overbrenging

Het doel van het overbrengingssysteem is om het mechanische vermogen van de voortstuwingsinstallatie over te brengen naar de voortstuwling.

Er kunnen op zijn minst drie verschillende typen van overbrenging worden toegepast

1. Mechanische as — *en twk??*
2. Hydraulische overbrenging
3. Elektrische overbrenging

In een zuiver mechanisch overbrenging systeem, is de as de meest duidelijke component. Het is inderdaad een eenvoudige toepassing maar het vraagt wel de nodige aandacht in het ontwerpproces. Het grootste asprobleem, wanneer het optreedt, is vibratie. Torsietrilling is de grootste vloek van alle asproblemen, vooral die geassocieerd aan heen en weergaande motoren (reciproke machinerij). Bij toepassing van middelsnel/sneldraaiende dieselmotoren en gasturbines is er een groot verschil tussen de toerentallen van de toegepaste motoren en het optimale-rendement toerental van de voortstuwingsmotoren. Dit betekent dat een reductie essentieel is.

Ze worden primair gebruikt om het toerental van de motor te reduceren, dit kan in verschillende overbrengingsverhoudingen en in meerdere stappen gebeuren. Ze kunnen tegelijkertijd ook als verbinding dienen tussen de motoren. (cross-connect tandwielkast)

Voor de vermogensverliezen in de tandwielkast overbrenging en de schroefaslagring wordt gerekend met een totaal verliespercentage van 4% voor de CODAD-installatie (enkelvoudige reductie) terwijl i.v.m. de toegepaste reductie bij de overige configuraties een verliespercentage van 6% wordt toegepast.



Elektrische overbrenging bestaat uit een generator die aangedreven is door de motor en een elektrische motor die de schroef aandrijft. Wanneer een gelijkstroommotor wordt gebruikt is een AC - DC converter benodigd. Deze unit is zwaar en als gevolg van kosten-gewicht en afmetingen maken ze dit systeem niet erg aantrekkelijk voor vaartui- gen van hoge snelheden. Voor de extra vermogenverliezen in het geval van een dieselelektrische vermogenstransmis- sie tussen voortstuwingskrachtbron (dieselmotor) en de tandwielkasten kan worden uitgegaan van in ongeveer totaal 12% vermogensverlies t.o.v. het vermogen aan de uitgaande flens van de dieselmotor.

Een ander, meer aantrekkelijk, voorstel is de hydraulische overbrenging.

*Waarom?*

*Verdringer pomp*

?? Een hydrostatische transmissie is een versie van een reductiekast waarin mechanisch vermogen wordt overge- bracht met behulp van vloeistofkracht. Het bestaat uit een positieve-verplaatsing pomp aangedreven door een motor, die onder druk olie levert aan een hydraulische motor, die werkt in de tegengestelde richting van de positieve-verplaatsing pomp en die de schroef aandrijft. (In figuur 3.10 is een eenvoudige hydrostatische aandrij- ving te zien.)

De schroef kan met dit systeem in vrije toestand draaien en men kan de draairichting omkeren. De variabele koppel karakteristiek van de hydrostatische overbrenging is een waardevolle eigenschap omdat het meer koppel aan de schroef kan leveren dan mogelijk zou zijn met mechanische overbrenging (motor-tandwielkast). Het kan de volle output van de motor gebruiken vanuit stilstand. Een ander belangrijk voordeel is dat men vrij is in de plaatsing van de motoren omdat de enige link tussen de motor en de schroef een met olie gevuld pipleidingsysteem is.



### 3.5 Voortstuwers

Voor snelle vaartuigen worden twee typen van voortstuwers gebruikt, nl.

1. Schroeven
  - a. vaste spoed
  - b. variabele spoed
2. Jet voortstuwing

De belasting "gezien" door de motor in termen van vermogen-toerental relaties worden volledig bepaald door de scheepsweerstand en de voortstuwerekarakteristieken. De waterjet-voortstuwing zal uitgebreid in het volgende rapport behandeld worden.

#### Vaste spoed schroeven

Van belang is het gedrag van de schroef. Het gedrag moet geïnterpreteerd worden als de relatie tussen koppel en toerental.

Als uitgangspunt wordt het  $K_q$ ,  $K_t$  versus  $J$  diagram gebruikt. Dit zijn dimensieloze coëfficiënten, de koppelcoëfficiënt ( $K_q$ ), de stuwkrachtcoëfficiënt ( $K_t$ ), en de snelheidsgraad ( $J$ ). Ze worden gedefinieerd als;

$$K_q = \frac{Q}{\rho D^5 n^2}$$

$$K_t = \frac{T}{\rho D^4 n^2}$$

$$J = \frac{V_A}{Dn}$$

waarin  $Q$  het koppel,  $T$  de stuwkracht,  $\rho$  de dichtheid van water,  $D$  de schroefdiameter,  $n$  het toerental en  $V_A$  de aanstroomsnelheid voorstelt.

De open-water rendement ( $\eta_o$ ) wordt beschreven met deze parameters en wordt als volgt voorgesteld

$$\eta_o = \frac{JK_t}{2\pi K_q}$$

De karakteristieke grafiek van de  $K_q$ ,  $K_t$  versus  $J$  is gegeven in figuur 3.11 voor een vaste schroef.

Ontwikkeling van deze coëfficiënten naar een koppel-toerental en een vermogen-toerental karakteristiek voor de aandrijving hangt ten dele af van aannamen van de romp welke aangedreven wordt. Een gemakkelijke en vaak gebruikte set van aannamen vormen de basis van de zogenaamde "schroefwet". Deze zijn

1. Weerstand van de romp is proportioneel met het kwadraat (of derde macht bij hogere snelheden) van zijn snelheid door het water.
2. Het zoggetal en volgstroomgetal zijn constant over het snelheidsbereik van het vaartuig zodat de stuwkracht ook proportioneel is met het kwadraat van de snelheid.

Als de stuwkracht proportioneel is met het kwadraat van de snelheid en  $D$  is constant ( en dat is het voor een bepaalde schroef), dan

$$K_t = C_1 \frac{V_A^2}{n^2}$$

en

$$J = C_2 \frac{V_a}{n}$$

Samengevoegd

$$K_t = C_3 J^2$$

Figuur 3.11 laat zien dat de  $K_t - J$  curve benaderend kan worden over een klein gebied van  $J$  met  $K_t = a + bJ$  ( $a$  en  $b$  zijn constanten). Omdat de schroef alleen maar kan werken langs deze lijn, volgt dat  $K_t = C_3 J^2$  alleen kan worden vereenigd op een punt. Zodat,  $K_t$ ,  $K_q$ , en  $J$  allen constant blijven wanneer de snelheid van het vaartuig varieert en dat het toerental proportioneel moet zijn met de snelheid van het vaartuig.

*Alomfallet  
overst  
niet  
meer!*



Tevens moet het koppel proportioneel variëren met het kwadraat van het toerental. Omdat vermogen proportioneel is met het produkt van koppel en toerental, moet het proportioneel zijn met de wortel van het toerental. Zodat de "schroefwet" als volgt kan worden samengevat:

1. Schroeftoerental is proportioneel met scheeps-snelheid.
2. Schroefkoppel is proportioneel met het kwadraat van het toerental. ( $Q \sim n^2$ )
3. Schroefvermogen, zowel opgenomen als geleverd, is proportioneel met de derde macht van het toerental. ( $P \sim n^3$ )

Er is nu vastgesteld dat de schroef koppel-toerental relatie een parabool is. De schroefwet is alleen een goede benadering voor displacementschepen. Het is niet erg goede benadering voor schepen met een hoge snelheids-lengte verhouding.

### 3.6 Voortstuwermotor interactie

Zoals eerder gezegd is de output trend van de vermogen-toerental curve gerelateerd aan de schroef sterk afhankelijk van het romp type.

Voor een planing hull, kan de schroefwet nogal wat fouten opleveren, vooral omdat de aanname dat weerstand proportioneel is met het kwadraat van de snelheid niet opgaat voor het gebied van planing en daarna. Sommige rompen hebben een bijna lineaire weerstand versus snelheid verloop in het hele gebied. Andere typen een kwadratisch weerstandsverloop in het eerste gedeelte en daarna een lineair verloop na planing. Er geldt voor het kwadratische gedeelte van de weerstand

$$T = \alpha V_s^2 \quad \text{en} \quad P = \alpha V_s^3$$

en voor het lineaire gedeelte van de weerstand

$$T = \beta V_s \quad \text{en} \quad P = \beta V_s^2$$

Voor een dieselmotor kan deze karakteristiek een moeilijke curve zijn zoals figuur 3.12 laat zien. De motor moet dan worden geselecteerd om het schip over de weerstandshump te brengen.

Wanneer deze moeilijkheid zich voordoet, kan men een variabele spoed schroef gebruiken.

Een gasturbine heeft een karakteristiek die wel zeer geschikt is voor dit probleem.

Wol  
stoot  
hier  
allemaal  
krom!

hoort er  
R<sub>v</sub>  
verband  
lin  
om  
planing

hull en

volgens P<sub>0</sub> n  
verband, daarop  
gebaseerd!



### 3.7 Vergelijking van verschillende aandrijvingen

#### Dieselmotor - gasturbine

Het verschil tussen dieselmotor en gasturbine van gelijk vermogen wordt duidelijk wanneer de vermogenskarakteristieken over elkaar worden gelegd. Het werkgebied van de gasturbine is aanmerkelijk groter dan het werkgebied van de dieselmotor, vooral in het lage toerentalgebied.

Wat gewicht en ruimte betreft eist de gasturbine alle voordelen op. De vermogen-gewicht verhouding en de vermogen-ruimte verhouding is bij de gasturbines aanzienlijk hoger dan bij de dieselmotoren.

#### Dieselmotor - dieselelektrisch

*what about fast - electr?*

Een aantal voordelen van dieselektrische voortstuwing zijn

- Mogelijke integratie met de elektrische krachtopwekking van het schip.
  - Zeer flexibel operationeel gebied.
  - Mogelijke geschiktheid voor toepassing van vaste schroeven.
  - Een zekere mate van vrijheid voor wat betreft de plaatsing van de voortstuwingsdieselgeneratoren in het schip.
- Een van de nadelen is de lagere efficiency van het systeem ten opzichte van dieselvoortstuwing.

*what about hazard?*

#### 4 Mogelijke voortstuwingsconfiguraties

Uitgangspunt voor de mogelijke configuraties is het aantal schroeven. Het aantal schroeven is afhankelijk van de manoeuvreerbaarheid en het operationele snelheidsgebied van het schip. Er is in het volgende uitgegaan van twee schroeven tenzij anders vermeld.

##### 4.1 Systeem gebonden eigenschappen

In het volgende worden enkele facetten belicht die, hoewel niet specifiek een beoordelingskriterium zijnde, toch als sekundair aspekt de keuze voor een bepaalde voortstuwings-konfiguratie of voortstuwingsmachine kunnen beïnvloeden.

In de "AND"-konfiguratie leveren de KV-machines niet het volle beschikbare vermogen in de KV-schakeling. Het maximaal vermogen van een voortstuwingsmachine is slechts beschikbaar bij ca. het maximale schroefas-toerental. Dit maximale toerental en vermogen wordt benut in de "AND"-schakeling en is evenredig met het maximum schroefas-toerental. Tengevolge van de eenduidige reductie van het toerental van de KV-machine in de tandwielkast is (bij dezelfde spoed van de schroef) het maximale toerental van de kruisvaartmachine in de KV-schakeling aanmerkelijk lager dan het maximale toerental en is het maximum vermogen niet beschikbaar.

In verband met de zeer verschillende toerental-vermogen karakteristieken van dieselmotoren en gasturbines is de reductie in beschikbaar vermogen in de KV-schakeling bij dieselmotoren aanmerkelijk groter dan bij gasturbines, terwijl deze reductie ook nog per fabrikaat/type varieert.

Bij toepassing van KV-gasturbines wordt in de "AND"-schakeling de tol betaald door de verhoogde specifieke brandstofverbruik van de gasturbines.

De reductie in het KV-vermogen in de "AND"-schakeling speelt geen rol in de CODLAG-konfiguratie met gelijkstroommotoren en synchrone motoren + elektronische regeling, waar de KV-dieselgeneratoren bij elke schakeling met het maximale toerental te werk staan.

*um*  
hoe lost  
men  
dat op?  
2 overhr  
of verstellb.  
schroef



#### 4.2 CODOD

(Combined Diesel Or Diesel)

Bestaande uit 2 kleine dieselmotoren voor de kruisvaart en 2 grote dieselmotoren voor de hoofdvaart. De kleine motoren zijn werken onafhankelijk van de grote motoren.

Zeer ongebruikelijk.

*Waarom?*

#### 4.3 CODAD

(Combined Diesel And Diesel)

Bestaat meestal uit 4 identieke dieselmotoren en 2 separate tandwielkasten

(2 dieselmotoren per tandwielkast). Voordelen van dit systeem zijn de lage aanschaffingskosten en het gunstige brandstof-verbruik in vergelijking met gasturbinevoortstuwing. (Zie figuur 4.1)

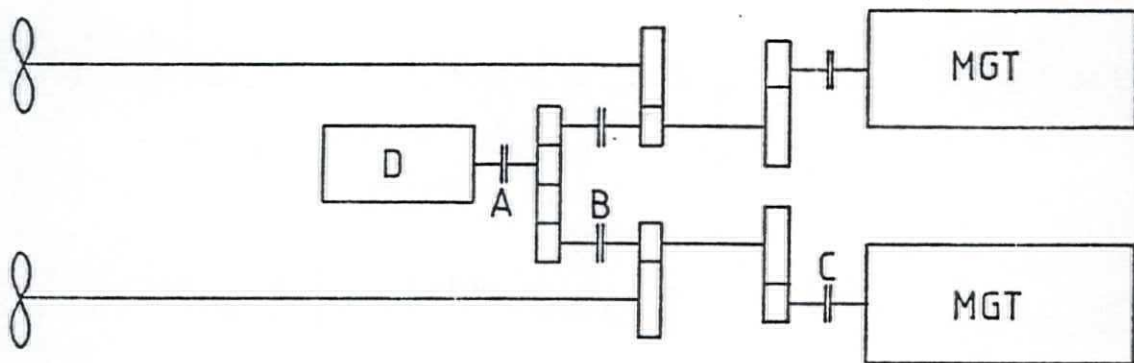
*↑ Blijkbaar heeft men hier een tandwielkast met 2 overbr. verb!*

#### 4.4 CODOG

(Combined Diesel Or Gas)

Hier zijn verschillende configuraties mogelijk:

- a) 1 hoofdvaart gasturbines - 2 kruisvaart dieselmotoren - 2 tandwielkasten koppelbaar d.m.v. de primaire HV-gasturbine cross-connect tandwielkast. (Zie figuur 4.2)
- b) 2 hoofdvaart gasturbines - 2 kruisvaart dieselmotoren en 2 separate tandwielkasten. (Zie figuur 4.3)
- c) 2 hoofdvaart gasturbines - 2 tandwielkasten koppelbaar d.m.v. een cross-connect tandwielkast - 1 kruisvaart dieselmotor met een vermogen om deze kruisvaart te waarborgen. (Zie figuur 4.4)



Figuur 4.4 CODOG

*Wat stelt figuur 4.2 voor?*



#### 4.5 CODAG

(Combined Diesel And Gas)

1 Hoofdvaart gasturbine - 2 dieselmotoren - 2 zogenaamde two speed tandwielkasten, koppelbaar d.m.v. een cross-connect tandwielkast.

#### 4.6 CODLOD

(Combined Diesel Electric Or Diesel)

Dit is operationeel een zeer flexibele oplossing. Men heeft namelijk de mogelijkheid om met de dieselelektrische aandrijving de lage snelheden te varen.

) komt  
ook  
nooit  
voor!

#### 4.7 CODLAD

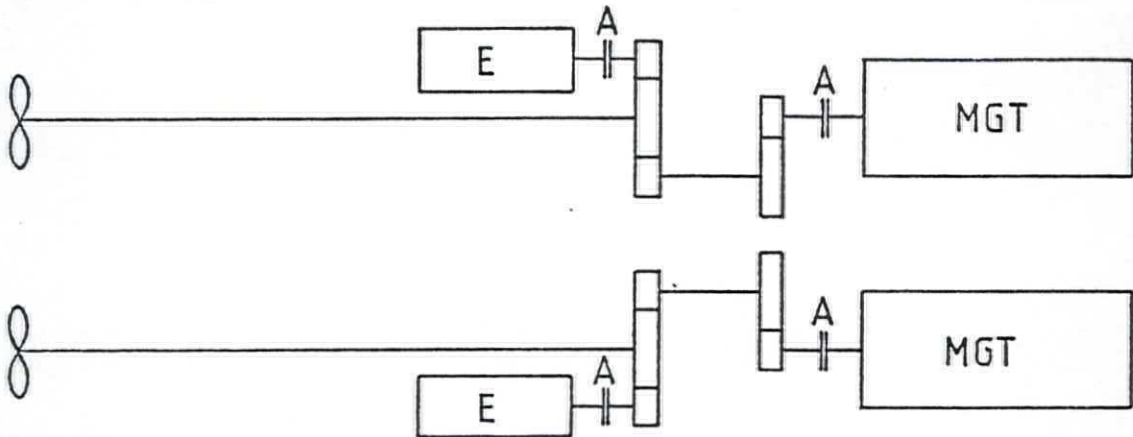
(Combined Diesel Electric And Diesel)

Komt weinig voor.

#### 4.8 CODLOG

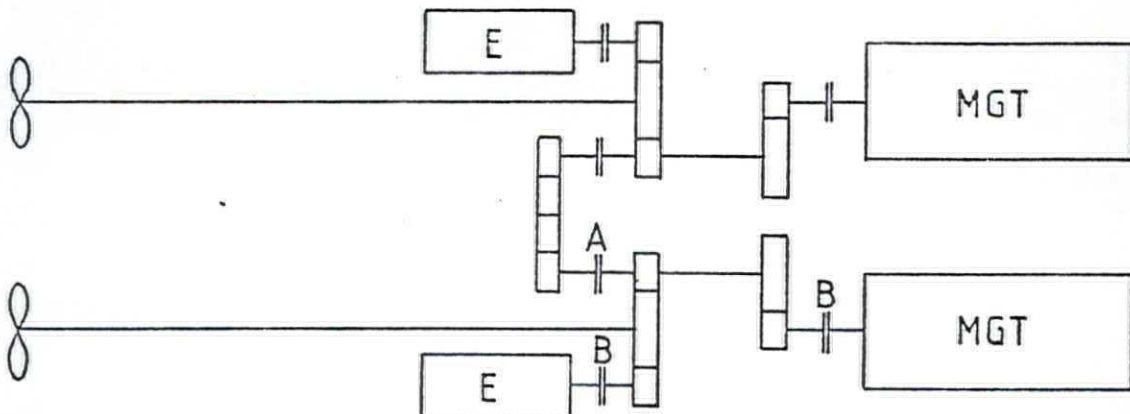
(Combined Diesel Electric Or Gas)

Hier zijn weer verschillende configuraties mogelijk:  
a) 2 Hoofdvaart gasturbines - 2 kruisvaart elektromotoren met een totaal vermogen voor kruisvaart - 2 separate tandwielkasten. De kruisvaart elektromotoren worden gevoed door scheepsdieselmotoren. De mogelijkheid van deze configuratie is dat de economische kruisvaart tot de mogelijkheden behoort door gebruik te maken van de geïnstalleerde overcapaciteit aan dieselfgeneratoren in plaats van hiervoor speciale voortstuwingskrachtbronnen te installeren. Tevens is hiermee een eenvoudige oplossing voor de lage snelheden te realiseren. (Zie figuur 4.5)



Figuur 4.5 CODLOG

b) 2 Hoofdvaart gasturbines - 2 kruisvaart elektromotoren met een totaal vermogen voor kruisvaart - 2 tandwielkasten koppelbaar d.m.v. cross-connect tandwielkast. De elektromotoren worden gevoed door de scheepsdieselmotoren. Achter deze configuratie zit dezelfde gedachte als die onder a. genoemd met daarbij een lager verwacht brandstofverbruik en een mogelijke verbetering van de bedrijfszekerheid. (Zie figuur 4.6)



Figuur 4.6 CODLOG



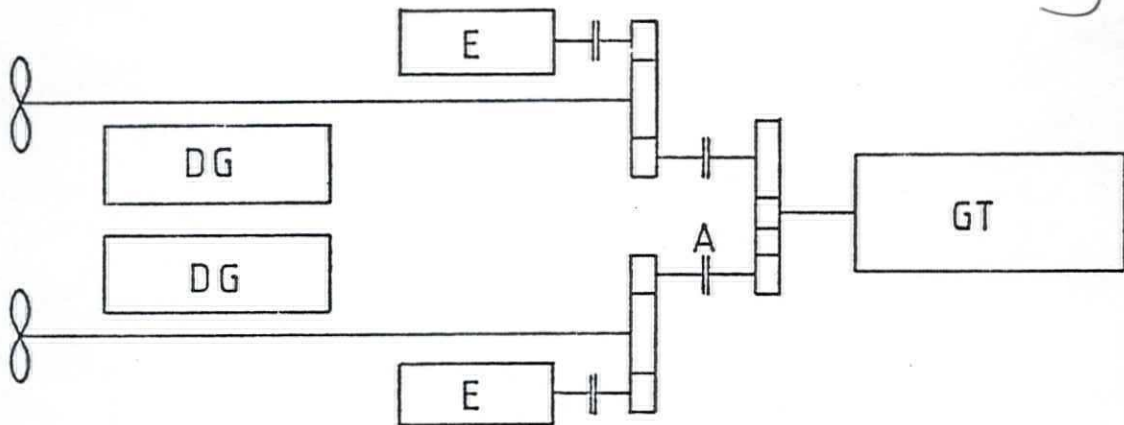
de vrije systemen (pag 34)  
kunnen ook als CODLAG, waarom?  
alleen deze weergegeven.

#### 4.9 CODLAG

(Combined Diesel Electric And Gas)

1 Hoofdvaart gasturbine - 2 elektromotoren - 2 voortstuwingsdieselgeneratoren - 2 tandwielkasten koppelbaar d.m.v. de primaire hoofdvaart gasturbine cross-connect tandwielkast. Het vermogen van de voortstuwingsdieselgeneratoren en elektro- motoren te baseren op maximum vaart van 22 knopen met diesel- elektrische voortstuwing terwijl een minimumvaart van 29 knopen behaald moet worden in de gekombineerde gasturbine-dieselektrische schakeling.

Zeer geschikt voor het zeer snel/zeer langzaam en stil concept. (Zie figuur 4.7)

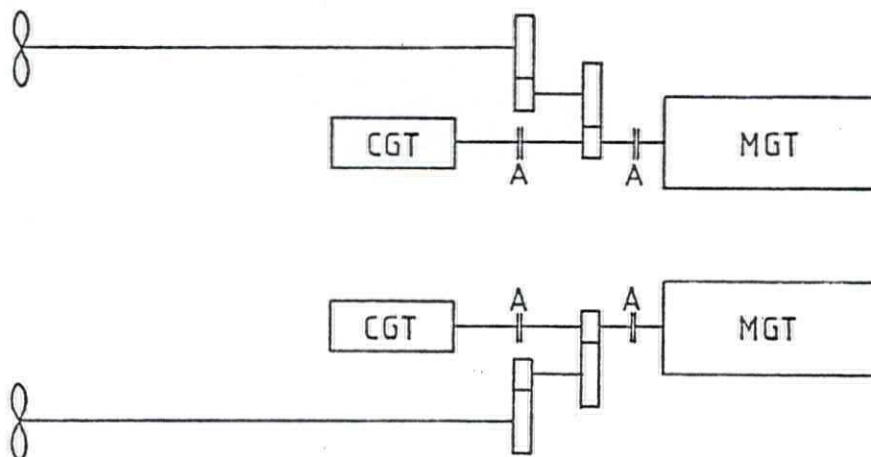


Figuur 4.7 CODLAG

#### 4.10 COGOG

(Combined Gas Or Gas)

2 Hoofdvaart gasturbines - 2 kruisvaart gasturbines en 2 separate tandwielkasten. (Zie figuur 4.8)



Figuur 4.8 COGOG

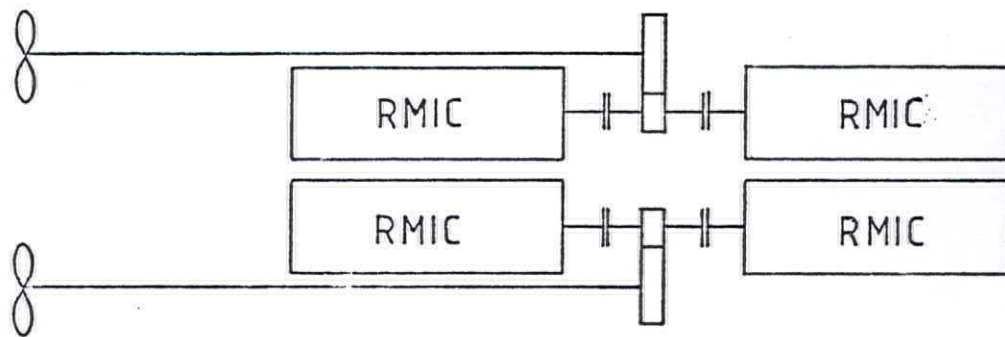
4.11

COGAG

(Combined Gas And Gas)

Hier zijn verschillende configuraties mogelijk:

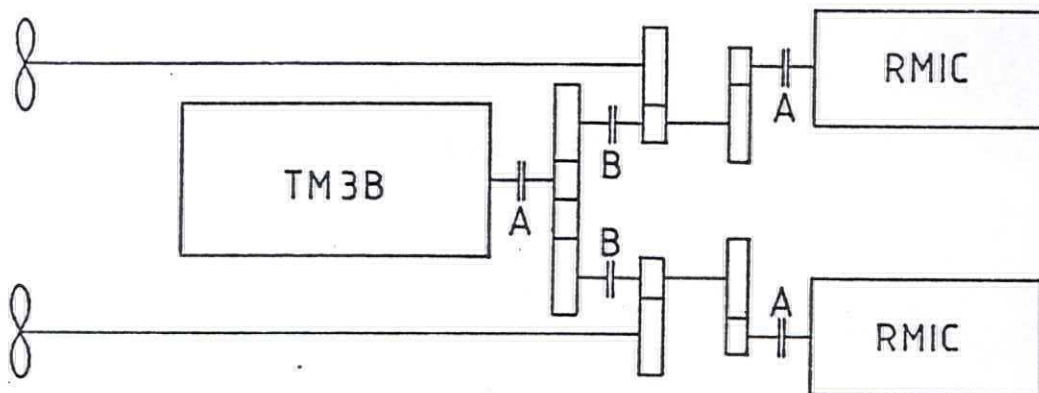
a) 4 Identieke gasturbines en 2 separate tandwielkasten (2 gasturbines per tandwielkast). (Zie figuur 4.9)



Figuur 4.9 COGAS

b) 3 Identieke gasturbines en 3 tandwielkasten koppelbaar d.m.v. cross-connect tandwielkast.

c) 1 Hoofdvaart gasturbine - 2 kruisvaart gasturbines - 2 tandwielkasten koppelbaar d.m.v. een cross-connect tandwielkast. (Zie figuur 4.10)



Figuur 4.10 COGAS



#### 4.12

#### COGAS

(Comdined Gas And Steam)

2 Hoofdvaart gasturbines en stoomturbines, welke worden gedreven door stoom, geproduceerd in afvoergassenketels in de afvoergassenleidingen van de hoofdvaartgasturbines. Wordt bijna niet toegepast.

## 5 Kosten

### 5.1 Investerings- en aanloopkosten

De investeringskosten zijn voor elke marine hetzelfde, deze kosten hangen voornamelijk of van de gekozen motoren en de complexiteit van het systeem. De aanloopkosten zijn echter niet voor elke marine hetzelfde, dit is namelijk afhankelijk van het gegeven of de marine in kwestie al met dit systeem werkt of ervaring heeft.

Afweging van de initiele investerings- en aanloopkosten voor de technische, logistieke en infrastrukturele voorzieningen die bij de invoering van bijvoorbeeld dieselmotoren noodzakelijk zijn dienen dan ook in relatie met bovenstaande verschillen in aanschaffings- en life-cyclekosten te geschieden. Tevens moeten de aanschaffingskosten van het besturings- en bewakingssysteem onderzocht worden. Voor wat betreft de aanschaffingskosten hiervan is de programmatische complexiteit hoofdzakelijk van invloed op de ontwerpkosten van het systeem en de kosten van de software-ontwikkeling.

### 5.2 Onderhouds- en Exploitatiekosten

Onderhouds- en exploitatie kosten zijn zeer verschillend per gekozen voortstuwingsinstallatie. Het is weer in grote mate afhankelijk van de complexiteit van het systeem. Wat de dieselmotoren betreft kan het volgende gezegd worden. De onderhoudslast neemt toe naarmate de dieselmotor lichter en compacter is voor een bepaald vermogen en groter aantal cylinders.

Uit de AN<sup>Z</sup>AC-studie [Ref. 2] blijkt dat globaal kan worden gesteld dat de benodigde mankracht t.b.v. het boord onderhoud varieert tussen 1 man per machine voor de SWD 280 tot 3 man per machine bij hoog opgevoerde compacte machines als MTU.



## Conclusie

Er kan worden gesteld dat er zeer veel voortstuwingsmogelijkheden zijn voor de corvetten en fregatten. Dit komt voornamelijk tot uitdrukking in de machine-installatie. De in hoofdstuk 4 bekeken voortstuwingsinstallaties zijn ongeveer alle mogelijk denkbare configuraties. En groot aantal hiervan zijn echter alleen geschikt voor de grotere fregatten en kruisers.

Bij de corvetten/fregatten van 800 tot 1200 ton waterverplaatsing zijn de CODOG-, CODAG-, CODOD- en de CODAD-configuratie de meest toegepaste systemen. In het algemeen kan gesteld worden dat de voortstuwing geschied door twee of meer schroeven die door assen worden aangedreven. Er wordt vrijwel geen andere type van voortstuwing toegepast.

## Referenties

1. Marine engineering aspects applied to fast displacement hulls, planning craft and catamarans. Hallvard Engja. WEGEMT. Delft University of Technology. 23 oct.-1 nov. 1989
2. AN<sup>Z</sup>SAC-project propulsion options studie. J. Wilgenhof.
3. Vergelijking voortstuwingsystemen t.b.v. M-fregat Nr 8. J. Wilgenhof J. van Veen.
4. OCPC-proposal. L. Goossens.



**BIJLAGEN**

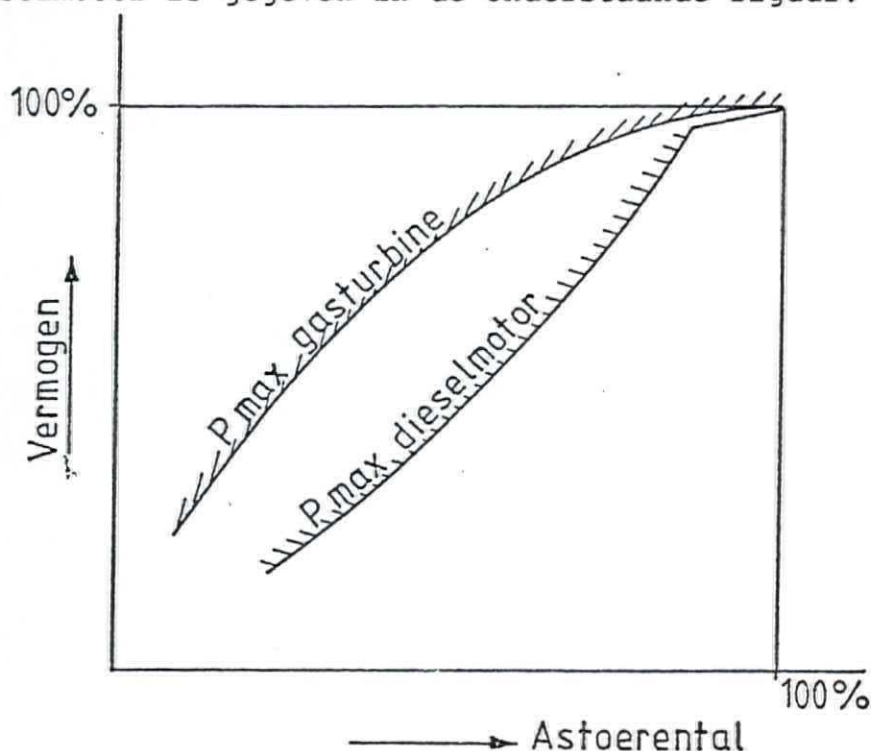
## Bijlage 1

### Het acceleratievermogen

Het acceleratiegedrag is vooral afhankelijk van het beschikbare acceleratievermogen.

Het acceleratievermogen is het verschil tussen het beschikbare machinevermogen en het benodigde voortstuwingsvermogen. Het beschikbare machinevermogen wordt bepaald door het geïnstalleerde vermogen en door het astoerental en dus door de vaarsnelheid in combinatie met de spoed van de (verstelbare) schroef.

Het karakteristieke verband tussen het beschikbare vermogen en het astoerental voor een gasturbine en dieselmotor is gegeven in de onderstaande figuur.



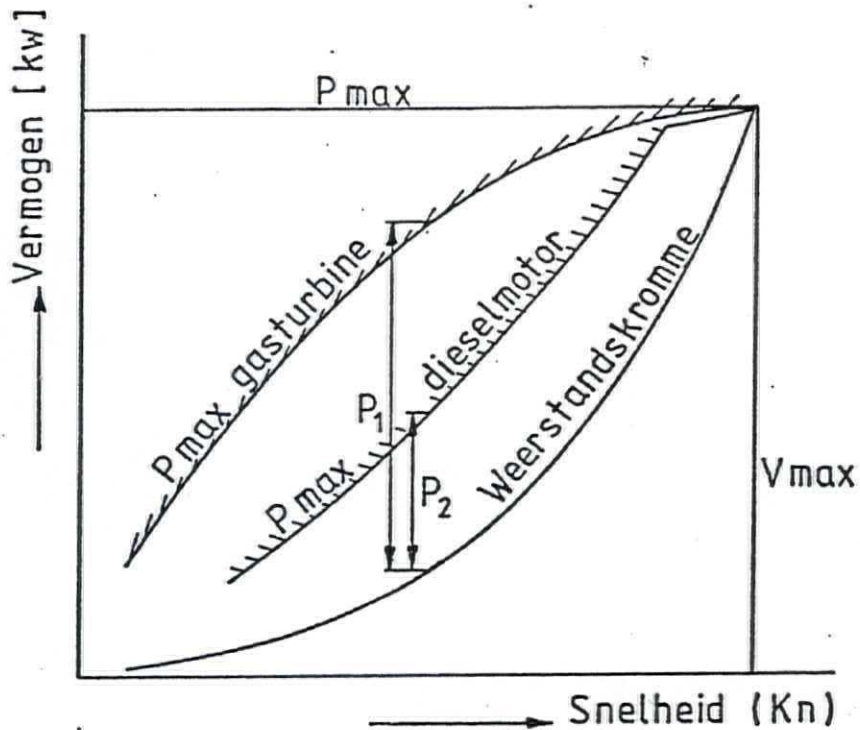
Uit de bovenstaande figuur blijkt duidelijk dat:

- het beschikbare vermogen maximaal is bij maximaal astoerental,
- het beschikbare vermogen bij lagere toerentallen bij een gasturbine minder snel afneemt dan bij een dieselmotor.

Bij een voortstuwingsinstallatie met vaste schroeven is het astoerental vrijwel recht evenredig met de vaarsnelheid en geeft een gasturbinevoortstuwung een wezenlijk groter acceleratievermogen. Zie ook de hiernavolgende figuur.



## Bijlage 1



Bij vaste schroeven.

$P_1$  = beschikbaar voor acceleratie bij gasturbine.

$P_2$  = beschikbaar voor acceleratie bij dieselmotor.

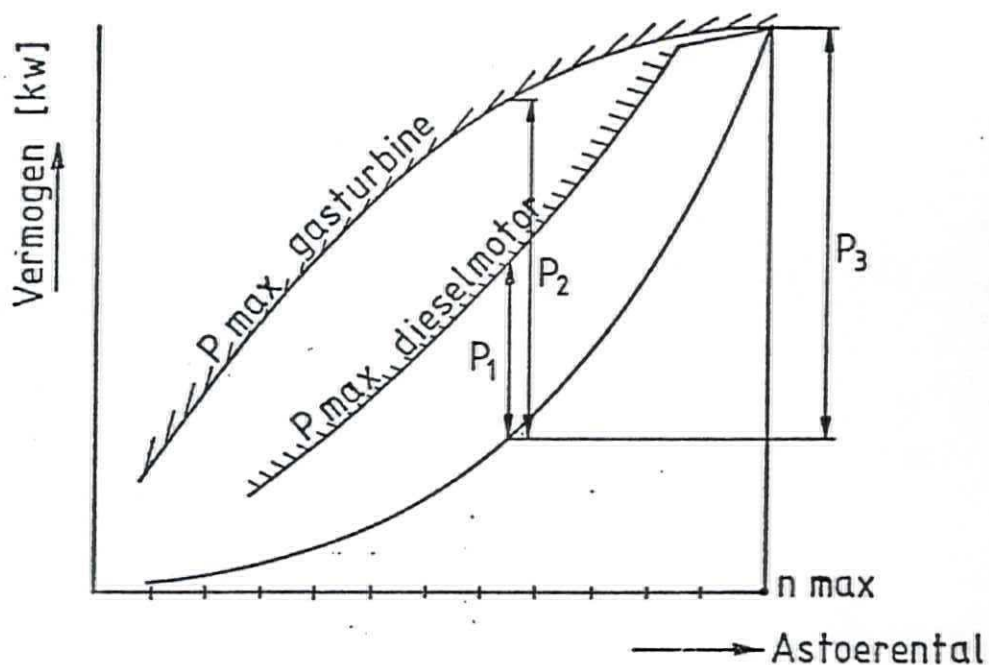
Echter bij een voortstuwingsinstallatie met verstelbare schroeven is het mogelijk om m.b.v. een geavanceerd regelsysteem het acceleratievermogen van de dieselvoortstuwing (en ook van de gasturbinevoortstuwing) aanzienlijk te verbeteren.

M.b.v. de verstelbare schroeven kan men namelijk het verband tussen astoerental en snelheid variëren. Zoals reeds eerder gebleken, is bij een hoger astoerental het beschikbare vermogen ook groter. Dit betekent dat men met een optimaal regelsysteem gekozen regelsysteem bij alle vvaarsnelheden over (vrijwel) het maximum vermogen van de voortstuwings- machines kan beschikken.

In de hiernavolgende figuur wordt een en ander nog eens verduidelijkt.

Het blijkt dus dat met de verstelbare schroeven en een optimaal regelsysteem het acceleratievermogen maximaal is en er geen significante verschillen zijn tussen gasturbine- en dieselmotorvoortstuwing (v.w.b. het acceleratievermogen).

Bijlage 1



- P1 = beschikbaar voor acceleratie bij vaste schroef met dieselmotor.
- P2 = beschikbaar voor acceleratie bij vaste schroef met gasturbines.
- P3 = beschikbaar voor acceleratie zowel bij dieselmotor als gasturbine, als de ontwerpspoed voor het accelereren wordt verkleind t.o.v. de ontwerpspoed.

**Bijlage 2**

(Uit Jane's Fighting Ships 1988-1989)















### Bijlage 3

Beschikbaarheid (availability) van de voortstuwingsinstallatie is het percentage van de mogelijke bedrijfstijd dat de installatie ook tot functioneren instaat is.

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (\text{voor korrektieve acties})$$

MTBF = Mean Time Between Failure

MTTR = Mean Time To Repair

Voortstuwingsvermogen in vier verschillende niveau's onderscheiden (i.g.v. 2 assen)

- 1) Volledig hoofdvaartvermogen (op beide assen)
- 2) Beperkt hoofdvaartvermogen, doch groter dan het volledig kruisvaartvermogen.
- 3) Volledig kruisvaartvermogen (op een of beide assen)
- 4) Minimaal voortstuwingsvermogen (op een of beide assen) van een machine (Take-Home Capability)

## Bijlage 4

### Omgevingscondities

Omgevingscondities	zeewatertemp.	luchttemp.
Noord-Atlantische Oceaan	+13 grC	+15 grC
Gematigde tropen condities	+31 grC	+32 grC
Tropen condities	+32 grC	+35 grC