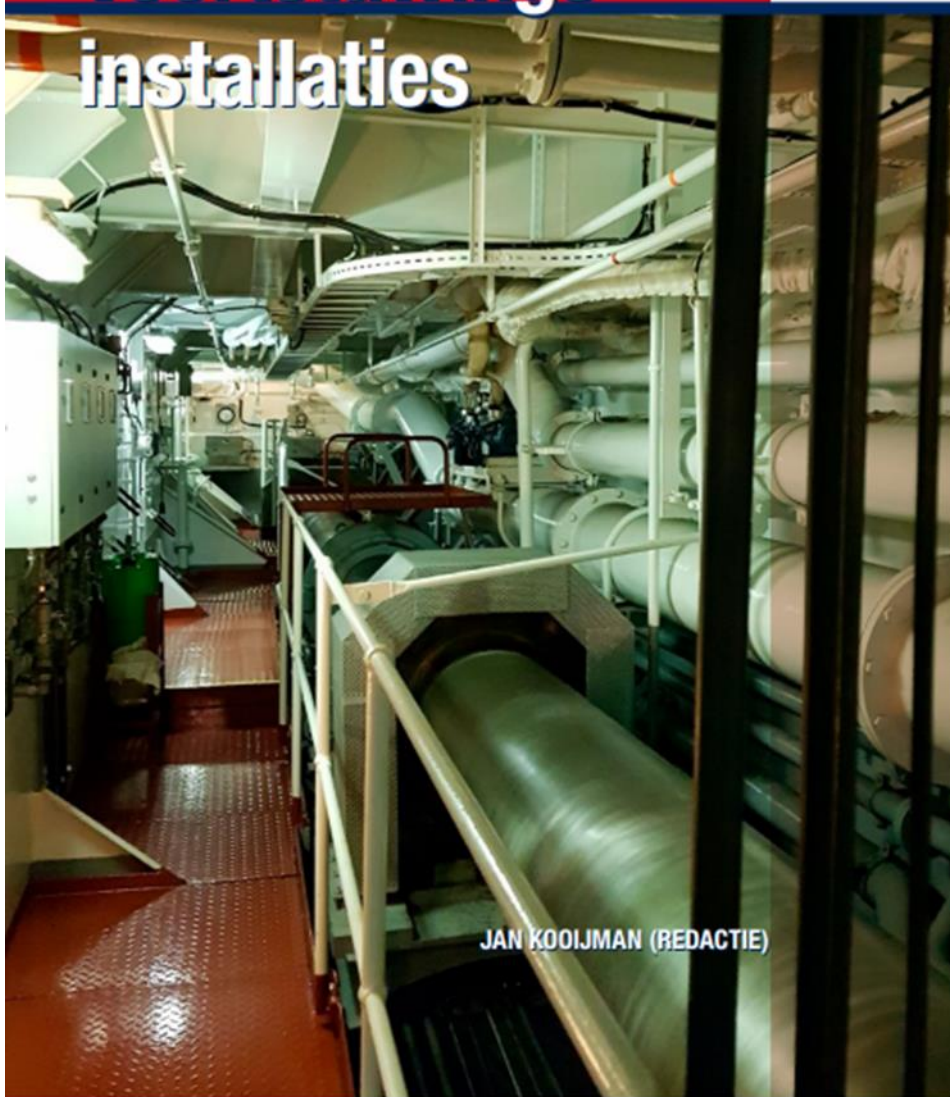


# Voortstuwings- installaties



JAN KOOIJMAN (REDACTIE)

Antwoorden bij *Voortstuwingsinstallaties*

Albert Strating

 POLESTAR  
PUBLISHING

Redactie en opmaak: ampersand & ampersand producties, Landsmeer  
©2023, Polestar Publishing

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/ of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

De inhoud van deze uitgave is met de grootste zorg samengesteld. We hebben geprobeerd rechthebbenden te achterhalen en in te lichten. Als u denkt dat een bepaalde vermelding van eigenaar en copyright onjuist of onvolledig is, kunt u contact opnemen met Polestar Publishing.

No part of this book may be reproduced in any form, by print, photoprint or any other means without written permission from the publisher. The content of this book has been composed with utmost care and effort.

We have attempted to contact and inform each and all titleholders. If you feel that a specific notification of ownership and/or copyright is incorrect or incomplete, please inform us and contact Polestar Publishing.

# Voorwoord

Bij het boek *Voortstuwingsinstallaties* (onder redactie van Jan Kooijman) heeft coauteur Albert Strating, docent aan De Scheepvaartopleiding van ROC Vonk, deze set vragen en bijbehorende antwoorden samengesteld. Het is een verbeterde en geheel herziene versie van een eerdere uitgave. Als dit voor een hoofdstuk van toepassing is, zijn er rekenopgaven opgenomen. De auteur heeft tevens een Excel-sheet ontwikkeld waarmee een aantal rekenopgaven kunnen worden getoetst. Deze kunt u vinden op de website van de uitgeverij.

Meer informatie is te vinden op [www.polestar-publishing.com](http://www.polestar-publishing.com)

## ***Inhoud***

Hoofdstuk 1 Werking van de motor.....	5
Hoofdstuk 2 Inrichting dieselmotor, basisbegrippen en definities. ....	10
Hoofdstuk 3 Werkingsprincipe van een 2- en 4-slagdieselmotor .....	14
Hoofdstuk 4 Indeling en inrichting van dieselmotoren .....	18
Hoofdstuk 5 Klepbeweging, luchtvoorziening en brandstofinspuiting .....	22
Hoofdstuk 6 Brandstof .....	30
Hoofdstuk 7 Brandstofsysteem .....	36
Hoofdstuk 8 Smering en smeersysteem .....	39
Hoofdstuk 9 Motorkoeling en koelsystemen .....	48
Hoofdstuk 10 Startsystemen.....	54
Hoofdstuk 11 Motoren, opbouw en onderdelen.....	64
Hoofdstuk 12 Krukwegdiagrammen 2-slag- en 4-slagmotoren.....	68
Hoofdstuk 13 Onderdelen schroefas.....	75
Hoofdstuk 14 Voortstuwing.....	81
Hoofdstuk 15 Lagers .....	86
Hoofdstuk 16 Bijzondere reparaties .....	90
Hoofdstuk 17 Drukvvulling .....	92
Hoofdstuk 18 Verstuivers .....	99
Hoofdstuk 19 Brandstofpompen .....	105
Hoofdstuk 20 Ontsteking en verbranding.....	113
Hoofdstuk 21 Indicateurdiagrammen .....	120
Hoofdstuk 22 Berekenen vermogensformules, warmtebalans en rendement ...	124
Hoofdstuk 23 Motorveiligheid .....	129
Hoofdstuk 24 Structurele delen, uitlijning en bevestiging.....	136
Hoofdstuk 25 Motordrijfwerk.....	143
Hoofdstuk 26 Mechanica van het motordrijfwerk .....	156
Hoofdstuk 27 Belasting van de voortstuwingsmotor .....	162
Hoofdstuk 28 Overbrengingen.....	172
Hoofdstuk 29 Scheepsschroeven .....	179
Hoofdstuk 30 Bunkeren.....	184
Hoofdstuk 31 Milieu .....	192
Hoofdstuk 32 Procedures, Veiligheid, Marine and Environment.....	202

## *Hoofdstuk 1 Werking van de motor*

1. Een verbrandingsmotor is een warmtekrachtmachine die thermische energie omzet in mechanische arbeid door zelf verkregen inwendige verbranding.
2. Dieselmotoren zijn de meest voorkomende motoren aan boord van schepen. Ze worden gebruikt als hoofdmotor voor de voortstuwing en als hulpmotor voor de opwekking van elektriciteit voor het hulpbedrijf.
3. Het werkelijk voortstuwende van een schip gebeurt door de schroef.
4. In plaats van de voortstuwing met een schroefas en schroef kan ook gekozen worden voor een roerpropeller of azimuth thruster. De elektromotor die de schroef aandrijft, zit in een speciale behuizing onder het schip en deze behuizing kan 360 graden draaien. Om die reden is er ook geen conventioneel roer nodig en is het schip beter manoeuvreerbaar.
5. Een waterjet kan vergeleken worden met een centrifugaalpomp en is op de bodem van het schip gemonteerd. De centrifugaalpomp wordt aangedreven door een verbrandingsmotor, met de waterinlaat aan de onderzijde en de uitlaat aan de achterzijde van het schip. Bekende toepassingen van de waterjet zijn de jetski en snelvarende schepen, zoals die van de KNRM, (Koninklijke Nederlandse Redding Maatschappij)
6. Dieselmotoren kunnen voor een groot aantal toepassingen worden ingezet:
  - Voortstuwing en generatorbedrijf in de binnenvaart en de zeescheepvaart.
  - Voortstuwing van schepen in de pleziervaart
  - Elektriciteitscentrales in afgelegen gebieden. Motoren zijn eenvoudig in bediening en onderhoud, en sneller en goedkoper te bouwen dan stoom- of gasturbine-installaties.
  - Als noodgenerator in ziekenhuizen, grote kantoorgebouwen en no-break-systemen bij computerservers.
  - Aandrijving van noodtransportpompen bij waterleidingbedrijven.
  - Directe aandrijving van baggerpompen op baggerschepen.
  - Aandrijven van hydropompen voor hydraulische systemen op baggerschepen, voor hijskranen, zwaar transport en locomotieven.
  - Aandrijving personenauto's, vrachtwagens en grondverzetmachines.
  - Powerunits voor de opwekking van elektriciteit en voor hydraulische en pneumatische systemen.
  - Installaties voor warmtekrachtkoppeling bij zwembaden, glastuinbouw en in de industrie.

7. Vijf warmtewerktuigen:

de benzinemotor	MOB boot
de gasmotor	Wordt aan boord toegepast op gastankers; dit zijn dualfuel-motoren
de dieselmotor	voortstuwing (hoofdmotor) en hulpmotor
de gasturbine	voortstuwing (oliegestookt) marineschepen, passagiersschepen
de stoomturbine	voortstuwing, generator aandrijving gastankers en museumschepen

8. Verbrandingsmotoren komen voor als diesel- of als benzinemotor.
9. We onderscheiden bij verbrandingsmotoren twee soorten processen: verbrandingsmotoren werkend volgens het 4-slagproces of werkend volgens het 2-slagproces.
10. Het gehele 2-slagproces speelt zich af binnen één omwenteling van de krukas waarbij de zuiger één keer omhoog gaat en één keer omlaag, dus in twee slagen.  
ODP betekent Onderste Dode Punt en BDP betekent Bovenste Dode Punt.

6

**Let op: de volgende vragen/antwoorden gaan over een benzinemotor.**

11. Een 2-slagbenzinemotor.
12. Hierbij wordt een mengsel van lucht en brandstof (meestal benzine) buiten de cilinder gemengd en dan samen in de cilinder gebracht.
13. Mengen in de juiste verhouding van benzine en lucht.
14. Een bougie moet door een vonk het mengsel laten ontsteken (zonder vonk geen explosie).
15. De cilinder is voorzien van een aantal openingen die poorten worden genoemd. Het openen en sluiten van deze poorten wordt door de zuiger geregeld. We onderscheiden de inlaatpoort, de spoelpoort met het spoelkanaal en de uitlaatpoort (uitlaatpoort kan ook een uitlaatklep zijn).
16. De twee slagen waaruit het 2-slagproces bestaat zijn:  
De slag waarbij de zuiger omhoog gaat met:  
Fase 1: Het inlaten van het lucht-benzine of gasmengsel via de inlaatpoort;  
Fase 2: Het comprimeren van het gasmengsel in de compressieruimte.
- De slag waarbij de zuiger omlaag gaat met:  
Fase 3: Het ontsteken en verbranden van het gecomprimeerde gasmengsel;  
Fase 4: Het afvoeren van de verbrandingsgassen via de uitlaatpoort.

17. Als de zuiger door het ODP omhoog gaat, wordt als eerste de inlaatpoort gesloten. Vervolgens wordt door de zuiger de spoelpoort en de uitlaatpoort gesloten en het gasmengsel wordt door de zuiger samengeperst. Door het omhoog gaan wordt de ruimte onder de zuiger groter en ontstaat er onderdruk in het luchtdicht gesloten carter. Het gasmengsel boven de zuiger wordt bij het omhoog gaan nog verder gecomprimeerd en voordat de zuiger door het BDP gaat, wordt dit mengsel ontstoken door een vonk van de bougie. Aan de onderkant van de zuiger is op dat moment de inlaatpoort geopend; door de onderdruk in het carter, wordt via de inlaatpoort nieuw gasmengsel via de carburateur aangezogen.
18. Door het ontsteken van het gasmengsel stijgt de druk en temperatuur boven de zuiger waardoor deze met grote kracht omlaag wordt gedrukt en de krukas aan het draaien brengt. Door de omlaag gaande zuiger wordt de inlaatpoort gesloten en het gasmengsel in het carter samengeperst. Als de zuiger nog verder omlaag gaat, wordt eerst de uitlaatpoort geopend met als gevolg dat door de hogere druk in de cilinder de verbrandingsgassen naar buiten stromen. Daarna wordt de spoelpoort geopend. Het in het carter gecomprimeerde gasmengsel kan nu via het spoelkanaal in de cilinder stromen. Door de stroming van het gasmengsel worden tevens de resten van de verbrandingsgassen de cilinder uitgedrukt. Dit noemen we 'het spoelen van de cilinder'.
19. De carburateur; de vermenging van brandstof en lucht gebeurt in de 'keel' of 'venturi' van de carburateur.
20. Afdichting tussen verbrandingsruimte en carter.
21. Belangrijke verschillen:
- Dieselmotor heeft geen bougie.
  - Dieselmotor heeft geen carburateur.
  - Bij benzinemotor komt een mengsel naar binnen.
  - Benzinemotor heeft veel lagere drukken.
22. De lucht die in de cilinder wordt gebracht, wordt samengeperst tijdens de compressieslag. Hierdoor wordt de lucht heet waardoor de ingespoten brandstof vanzelf zal ontsteken, dus zonder bougie.
23. De brandstof wordt door de hoge-drukbrandstofpomp via de verstuiver in de verbrandingsruimte geperst.
24. Dieselmotoren werken met veel hogere drukken.
25. Drie kenmerken:
- Carburateur
  - Bougie
  - Lage Drukken
26. Kenmerken: Verstuiver, hoge-drukbrandstofpomp, hoge compressiedrukken
27. Inlaatslag, compressieslag, arbeidsslag en uitlaatslag.

28. De inlaatklep staat open en de zuiger wordt door de krukas en drijfstang naar beneden bewogen. Hierdoor neemt het volume boven de zuiger toe en de druk daalt. Via de carburateur stroomt daardoor een explosief gas, een lucht-benzinemengsel, de cilinder in. Gedurende de gehele neerwaartse slag, de inlaatslag, heerst er een onderdruk in de cilinder en gaat het toestromen door. Aan het einde van de inlaatslag is er nog steeds onderdruk en stroomt er nog steeds gasmengsel de cilinder in.
29. Nadat de kruk het ODP is gepasseerd, begint de zuiger in opwaartse richting te bewegen en wordt de inlaatklep gesloten. De zuiger beweegt verder omhoog en de in- en uitlaatklep staan dicht. Het volume boven de zuiger wordt kleiner en de druk neemt toe, het comprimeren begint. Tijdens de compressieslag wordt de benodigde arbeid door het vliegwiel geleverd. Even vóór het einde van de compressieslag,  $40$  à  $25^\circ$  voor het BDP, geeft de bougie een vonk. Deze hoek van  $40$  à  $25^\circ$  voor het BDP noemt men de voorontsteking. De explosie van het gasmengsel moet plaatsvinden wanneer de zuiger door het BDP is, dus even ervoor moet het mengsel worden ontstoken. De grootte van de gewenste hoek van voorontsteking hangt af van het toerental: hoe hoger het toerental, hoe groter het aantal krukgraden voor het BDP waarbij de bougie moet gaan vonken.
30. De zuiger is net door het BDP bij de ontsteking van het gasmengsel, en bij de daaropvolgende explosie stijgt de temperatuur in de cilinder zeer snel, waardoor ook de druk boven de zuiger toeneemt. Gedurende de arbeidsslag wordt er door de expanderende verbrandingsgassen druk uitgeoefend op de zuiger, waardoor deze met kracht naar beneden wordt geduwd en via de drijfstang de krukas aan het draaien brengt. Even vóór het einde van de arbeidsslag, dus vóór het ODP, begint de uitlaatklep te openen. Door de overdruk van de verbrandingsgassen in de cilinder stromen deze vanzelf de uitlaatileiding in. Het grootste deel van de geleverde arbeid wordt nuttig afgegeven; een deel wordt opgeslagen als kinetische energie in het vliegwiel en een deel wordt gebruikt om de wrijving in de lagers te overwinnen. Een ander deel wordt gebruikt voor de aandrijving van de nokkenas de koelwater- en smeeroliepomp en de dynamo.
31. Bij de uitlaatslag gaat de zuiger door het ODP omhoog en duwt de resterende uitlaatgassen de cilinder uit. Om te voorkomen dat er veel arbeid verloren gaat bij het uitdrijven van de verbrandingsgassen gebruikt men de vooruitlaat. Het doel van deze vooruitlaat is om bij het begin van de inlaatslag geen overdruk meer in de cilinder te hebben. Tegen het eind van de uitlaatslag begint de inlaatklep al te openen en de uitlaatklep te sluiten, zodat er een korte periode is waarin beide kleppen gelijktijdig open staan. Pas na het begin van de inlaatslag van de volgende cyclus staat de inlaatklep vol open en de uitlaatklep helemaal dicht.
32. Onder de klepoverlap verstaat men de tijd dat de uitlaat- en de inlaatklep gelijktijdig open staan.



33. Tijdens de vier slagen van het arbeidsproces maakt de krukas twee omwentelingen. Hierbij wordt elke klep eenmaal geopend en gesloten en wordt er één keer een vonk gegeven. Daarom draait bij een 4-slagmotor de nokkenas met de helft van het aantal omwentelingen van de krukas.

34. De inlaatslag en de uitlaatslag leveren geen arbeid en kosten zó weinig arbeid, dat ze de arbeidsloze slagen worden genoemd.

35. De verschillen in het proces bij een benzinemotor en een dieselmotor.

Bij een dieselmotor:

- Wordt enkel en alleen verbrandingslucht aangezogen.
- Wordt de verbrandingslucht door de zuiger tot een hoge druk samengeperst waardoor ook de temperatuur stijgt.
- Wordt de brandstof fijn verneveld door de verstuiver in de cilinder gespoten en ontbrandt spontaan door de hoge temperatuur.

Bij een benzinemotor:

- Wordt een mengsel van lucht en benzine aangezogen.
- Wordt het benzine-luchtmengsel boven de zuiger gecomprimeerd,
- waarna het wordt ontstoken door de bougie.

## *Hoofdstuk 2 Inrichting dieselmotor, basisbegrippen en definities.*

1. Een 2-slag dieselmotor:
  1. zuiger
  2. cilindervoering
  3. spoelpoorten
  4. drijfstang
  5. krukas
  6. uitlaatklep
2. De cilindervoering heeft rondom een rij spoelpoorten waardoor de verse verbrandingslucht de cilinder in kan stromen. Of inlaatklep(pen).
3. Het cilinderdeksel is voorzien van een uitlaatklep. In het cilinderdeksel zit naast de uitlaatklep ook de verstuiver (en inlaatklep).
4. De uitlaatklep wordt geopend door respectievelijk een nok, stootstang en een tuimelaar (of hydraulisch).
5. Indirect aangedreven betekent dat er nog meerdere tandwielen, de zogenaamde tussenwielen, tussen de krukas en de nokkenas meedraaien.
6. Een 2-slagmotor is voorzien van één uitlaatklep in het cilinderdeksel (of geen); een 4-slagmotor heeft een inlaat- en een uitlaatklep in het cilinderdeksel.
7. Een 4-slag dieselmotor:
  1. cilinderbalk
  2. cilindervoering
  3. zuiger
  4. nokkenas
  5. drijfstang
  6. krukpen
  7. inlaatklep
  8. uitlaatklep
8. Onder een Ottomotor verstaat men een inwendige verbrandingsmotor waarbij de menging van de brandstof met de lucht plaatsvindt buiten de verbrandingskamer en vóór de compressie. De verbranding wordt ingeleid door een vonk. De naam benzinemotor wordt dikwijls als synoniem gebruikt voor de Otto- of mengselmotor. De juiste benaming is: een Otto- of mengselmotor die als brandstof benzine gebruikt.
9. Onder een dieselmotor verstaat men een inwendige verbrandingsmotor die werkt volgens het principe van zelfontbranding. Hij wordt ook wel een luchtcomprimerende motor genoemd, omdat de lucht die nodig is voor de verbranding eerst door de zuiger in de cilinder wordt gecomprimeerd, waarna de brandstof wordt ingespoten. De lucht die ten gevolge van de compressie sterk verhit is, laat na inspuiting van de fijn verdeelde brandstof deze spontaan ontbranden.

10. Bij een 2-takt- of 2-slagmotor speelt het gehele proces zich af in twee slagen van de zuiger (dat is in één omwenteling van de krukas).  
Bij een 4-takt- of 4-slagmotor speelt het gehele proces zich af in vier slagen van de zuiger, dat is dus in twee omwentelingen van de krukas.
11. Een atmosferische motor is een verbrandingsmotor die zelf zijn verbrandingslucht aanzuigt. Een motor met turbo is een verbrandingsmotor voorzien van een turbo (turbocharger), een roterende compressor die wordt aangedreven door de uitlaatgassen van de motor. Hiermee wordt de verbrandingslucht onder overdruk in de cilinder geperst.
12. Bovenste Dode Punt (BDP) en Onderste Dode Punt (ODP). Zegt iets over de positie van de zuiger.
13. De zuiger beweegt zich tussen twee uiterste standen: het BDP en het ODP. Bij het BDP staat de zuiger in de topstand, bij het ODP staat de zuiger in de bodemstand. De weg die de zuiger moet afleggen tussen deze uiterste standen wordt de slaglengte ( $s$ ) van de zuiger genoemd.
14. Zowel in het BDP als in het ODP staat de zuiger tijdens bedrijf enkele milliseconden stil en verandert van richting.
15. Wanneer de zuiger van een verticaal geplaatste motor in laagste stand staat, wijst de bijbehorende kruk loodrecht naar beneden. Bij een zuiger in de hoogste stand wijst deze kruk loodrecht omhoog.
16. Onder de cilinderdiameter verstaat men de inwendige- of binnendiameter van de cilindervoering, waartegen de zuigerveren afdichten.
17. Volgens afbeelding 2.5 vormt de krukpen het verbindingspunt tussen de drijfstang en de krukas. Trekt men een hartlijn door het midden van de beide ashalzen (A) en een daaraan evenwijdige hartlijn door het midden van de krukpen (C), dan is de afstand tussen deze twee hartlijnen de kruk lengte  $r$ .
18. De afstand  $S$  die de zuiger aflegt tussen het OPD en het BDP is de zuigerslag of slaglengte, kortweg de slag. De slag is gelijk aan de diameter van de krukcirkel ( $k$ ) en dus gelijk aan tweemaal de kruk lengte ( $r$ ) en wordt aangegeven in mm.
19. Wanneer de zuiger zich tussen beide uiterste standen (BDP en ODP) beweegt, wordt een volume verplaatst dat het slagvolume ( $V_s$ ) van de zuiger wordt genoemd. Dit slagvolume is gelijk aan het zuigeroppervlak ( $A$ ) maal de zuigerslag ( $s$ ).  
Het gehele slagvolume ( $V_s$ ) van een verbrandingsmotor is gelijk aan het volume van één cilinder vermenigvuldigd met het aantal cilinders ( $z$ )
20. Het spoelen van een motor is het voorzien van nieuwe verbrandingslucht van een cilinder, vooral bij 2-slagmotoren en motoren met drukvulling.
21.  $979 \text{ cm}^3$  (0,979 ltr) en 5,87 ltr.

22. De compressieruimte. De grootte van deze ruimte bepaalt de eindcompressiedruk en daarmee ook de eindcompressietemperatuur.
23. De verhouding van het slagvolume ( $V_s$ ) boven de zuiger bij het begin van de compressieslag en de compressieruimte ( $V_c$ ) aan het eind van de compressieslag wordt de compressieverhouding genoemd.
24. We spreken van de theoretische compressieverhouding omdat de eigenlijke compressie pas begint wanneer bij een 4-slagmotor de in- en uitlaatklep gesloten zijn of, als bij een 2-slag motor, de spoelpoorten en de uitlaatklep gesloten zijn.
25. De theoretische compressieverhouding; er wordt namelijk geen rekening gehouden met het sluiten van de kleppen of spoelpoorten.
26. Stel dat  $k$  het deel van de slag is dat de zuiger reeds heeft afgelegd voordat de effectieve compressie begint, dan is de effectieve compressieverhouding ( $\epsilon_e$ ):

$$\epsilon_e = \frac{(1 - k) \cdot V_s + V_c}{V_c}$$

Stel dat dit 20% van de slag is, dan is het overgebleven slagvolume 0,8  $V_s$ .

De effectieve compressieverhouding  $\epsilon_e = \frac{0,8 V_s + V_c}{V_c}$

---

12

27. Tijdens bedrijf moet de eindcompressietemperatuur 500 à 600°C bedragen om de ingespoten brandstof voldoende snel te laten ontsteken. Om deze temperatuur te kunnen bereiken moet een dieselmotor een compressieverhouding hebben van minstens 14, men zegt dan: 14 : 1 (14 op 1).
28. De compressieverhouding kan niet nog hoger worden, omdat de temperatuur in de compressieruimte dan te veel stijgt, waardoor het benzine-luchtmengsel te vroeg gaat ontsteken.
29. De grootte van de compressieruimte kan worden bepaald met de volgende afleiding:

$$\epsilon_{th} = \frac{V_s + V_c}{V_c} \text{ kan worden herleid tot: } V_c = \frac{V_s}{\epsilon_{th} - 1}$$

30. Slagvolume per cilinder  $2,24/4 = 0,56$  Ltr, dus compressieruimte  $0,56/9 = 0,0622$  Ltr
31. Afhankelijk van de afdrukschaal  $50/30 = 1,67$ .
32. Even groot.
33. De slaglengte is tweemaal zo groot als de kruk lengte  $S = 2 * r$

34.  $V_s = 1/4 * \pi * d^2 * S$  of  $V_s = \pi * r^2 * S$

$d = 30 \text{ cm} = 3 \text{ dm}$        $r = 300/2 \text{ mm} = 15 \text{ cm} = 1,5 \text{ dm}$   
 Slag/diameter = 1,67, dus  $S = 1,67 * 3 \text{ dm} = 5 \text{ dm}$

$V_s = 0,25 * \pi * 3^2 * 5 = 11,25 * \pi = 35,34 \text{ dm}^3 = 35,34 \text{ liter}$

$V_s = \pi * 1,5^2 * 5 = 11,25 * \pi = 35,34 \text{ dm}^3 = 35,34 \text{ liter}$

35. Ongeveer 7 mm, (als de slag 50 mm is), dus  $7/50 * 35,34 = 4,95 \text{ ltr}$

36.

$$\epsilon_{th} = \frac{V_s + V_c}{V_c}$$

$$\epsilon_{th} = \frac{35,34 + 4,95}{4,95} = 8,1$$

$$\epsilon_{th} = \frac{50 + 7}{7} = 8,1$$

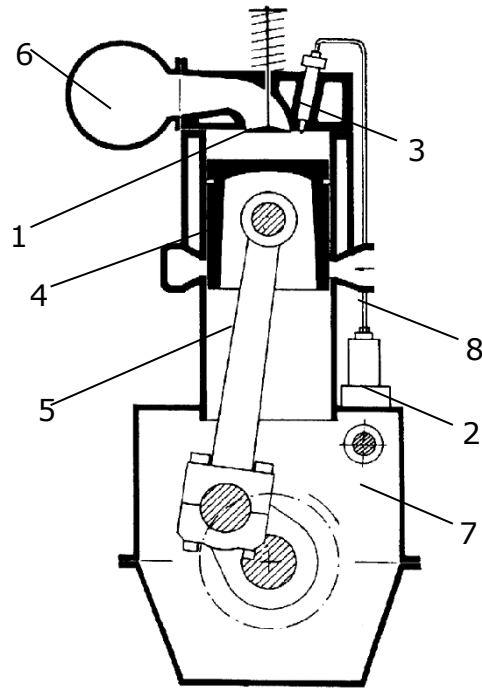
37.  $C_m = 2 * S * n = 2 * 0,5 * (800/60) = 13,33 \text{ m/s}$

38. Een motor maakt twee slagen per omwenteling, dus  $2 * S$ , en per seconde maakt hij  $n$  omwentelingen, dus de gemiddelde snelheid is  $C_m = 2 * S * n$

### *Hoofdstuk 3 Werkingsprincipe van een 2- en 4-slagdieselmotor*

1. Het volledige arbeidsproces duurt bij een 2-slagdieselmotor één omwenteling van de krukas.
2. Bij het begin van de compressieslag is de cilinder via de inlaatpoorten gevuld met schone verbrandingslucht. Nadat de bovenste rij uitlaatpoorten door de omhoog gaande zuiger zijn gesloten zal de lucht worden samengeperst (gecomprimeerd). De druk in de cilinder loopt nu snel op, bij moderne motoren kan deze druk wel oplopen tot 80 à 120 bar afhankelijk van het type motor. Door het oplopen van de druk neemt de temperatuur in de cilinder toe tot 550 à 600 °C. Aan het einde van de compressieslag, net voordat de zuiger in het BDP staat, wordt door de verstuiver de brandstof fijn verneveld in de cilinder gespoten. Door de hoge temperatuur in de cilinder zal de ingespoten brandstof vrijwel spontaan ontsteken.
3. Door de verbranding van de ingespoten brandstof loopt de temperatuur op tot zo'n 1500 à 1600 °C. De druk in de cilinder stijgt met 40 tot 60 bar en loopt op tot zo'n 120 à 180 bar. De maximale druk en temperatuur die tijdens de verbranding in de cilinder worden bereikt noemen we de maximale verbrandingsdruk en maximale verbrandingstemperatuur. Door de expansie van de gassen en de snel oplopende druk wordt de zuiger met kracht naar beneden gedrukt. De zuiger brengt hierbij via de drijfstang de krukas in een ronddraaiende beweging. Ongeveer 20% vóór het einde van de neergaande arbeidsslag wordt de uitlaatklep geopend en het grootste deel van de verbrandingsgassen stroomt met hoge snelheid naar de uitlaatgassenleiding. De gasdruk in de cilinder daalt snel: op het moment dat de zuiger de spoelpoorten weer opent, is de gasdruk in de cilinder lager dan de spoeldruk en verse lucht stroomt via de spoelpoorten de cilinder binnen en het spoelen van de cilinder begint.
4. Het spoelen van de cilinder is verdeeld over de beide zuigerslagen. Het spoelen begint voor het einde van de arbeidsslag en duurt tot even na het begin van de compressieslag. Zolang de spoelpoorten en de uitlaatklep tegelijk openstaan spreken we van spoelen.
5. A= compressie(slag)  
B= arbeids(slag)  
C= begin uitlaat  
D= spoeling van de cilinder

6. 1 – uitlaatklep  
 2 – hoge-drukbrandstofpomp  
 3 – verstuiver  
 4 – zuiger  
 5 – drijfstang  
 6 – uitlaatgassenleiding  
 7 – nokkenas  
 8 – toevoer verbrandingslucht



7. 1 = E , zuiger gaat omhoog  
 2 = C , spoelpoorten worden afgesloten  
 3 = A , uitlaatklep sluit  
 4 = D , druk en temperatuur lopen op  
 5 = B , brandstof wordt ingespoten

8. 160 bar.

9. 550 – 600 graden Celsius.

10. Nee, de compressiedruk is lager, omdat er in verhouding minder lucht in de cilinder wordt gebracht; hierdoor is ook de luchttemperatuur iets lager.

11. Aan het eind van de compressieslag, vlak voordat de zuiger bovenin staat.

12. Maximale verbrandingsdruk.

13. 210 bar.

14. Spoelen (spoelproces).

15. Drie redenen:

- Oude gassen moeten eruit.
- Cilinder moet gevuld worden met nieuwe verse lucht.
- Cilinder en uitlaatklep moet gekoeld worden.

16. Inlaatslag, compressieslag, arbeidslag en uitlaatslag.

17. De inlaatslag. Op het moment dat de zuiger in het BDP staat wordt de cilinder gespoeld. De zuiger beweegt omlaag en via de inlaatklep stroomt verse verbrandingslucht vanuit de spoelluchtleiding de cilinder binnen. Een

gedeelte van de lucht gaat via de openstaande uitlaatklep gelijk weer in de richting van de uitlaatgassenleiding naar buiten. Als de zuiger verder naar beneden beweegt, sluit de uitlaatklep en de cilinder vult zich nu met verse lucht die nodig is voor de volgende verbranding.

18. De compressieslag. Nadat de zuiger in het ODP is aangekomen, beweegt deze weer naar boven. De nog openstaande inlaatklep sluit pas als de zuiger al een gedeelte van zijn opgaande slag heeft afgelegd. De lucht in de cilinder wordt gecompriëerd tot een druk van 80 à 100 bar, waardoor de temperatuur oploopt tot ca 600 °C.

Aan het einde van de compressieslag wordt via de verstuiver fijn verdeelde brandstof in de verhitte lucht gespoten waardoor het gevormde brandstof-luchtmengsel spontaan ontsteekt. De brandstofinspuiting blijft ook na de ontsteking van het eerst gevormde mengsel nog enige tijd doorgaan.

19. De arbeidsslag, Nadat de zuiger het BDP heeft bereikt, loopt de gasdruk in de cilinder aanvankelijk nog op tot 120 à 180 bar terwijl de temperatuur in de cilinder kan oplopen tot 1500 à 1600 °C. Door de hoge druk in de cilinder en door expansie van de gassen wordt de zuiger met kracht naar beneden gedrukt. Als de zuiger verder naar beneden beweegt, nemen de druk en temperatuur van het verbrandingsgas snel af. Tegen het einde van de arbeidsslag wordt de uitlaatklep in het cilinderdeksel geopend en de verbrandingsgassen stromen met hoge snelheid de cilinder uit naar de uitlaatgassenleiding.

20. De uitlaatslag. Gedurende de volgende opwaartse slag worden de nog in de cilinder overgebleven verbrandingsgassen door de zuiger via de geopende uitlaatklep uit de cilinder verdreven. De gasdruk is dan iets hoger dan de atmosferische druk (enkele tienden van een bar). Ruim vóór het einde van de uitlaatslag opent de inlaatklep reeds en stroomt verse lucht de cilinder in waarvan het meeste via de uitlaatklep weer naar buiten verdwijnt. De cilinder wordt hierbij schoongespoeld en gekoeld. Ook de kleppen worden tijdens dit spoelen gekoeld. Bij het bereiken van het BDP begint het proces opnieuw met de inlaatslag.

Het spoelproces begint reeds voor het einde van de uitlaatslag.

21. De opgeslagen energie in het vliegwiel zorgt ervoor dat, nadat bij de inlaatslag de zuiger door het ODP is gegaan, deze weer omhoog gaat waarbij de uitlaatgassen door de inmiddels geopende uitlaatklep naar buiten worden gedreven.

22. Het gehele arbeidsproces van een 4-slagmotor wordt doorlopen in 2 omwentelingen van de krukas = 720 krukgraden. Om elke cilinder arbeid te kunnen laten leveren binnen die twee omwentelingen, moeten de krukken bij een 4-cilindermotor onder een hoek van  $720 : 4 = 180$  krukgraden staan.

23. Bij een 6-cilindermotor- 4-slagmotor staan de krukken onder een hoek van  $720 : 6 = 120$  krukgraden.

24. Praktisch gezien levert de 2-slagmotor maar 1,6 à 1,8 keer zoveel vermogen als een 4-slagmotor bij een gelijk toerental en cilinderinhoud.



25. Bij 2-slagmotoren is de cilindervulling (dit is de mate waarin de cilinder met verse verbrandingslucht wordt gevuld) minder goed dan bij 4-slagmotoren. Er kan daarom per arbeidsslag ook minder brandstof in de cilinder worden verbrand, zodat per gelijke cilinderinhoud en per arbeidsslag minder arbeid wordt geleverd dan door een 4-slagmotor.

26. Goede volgorde:

A: uitlaatklep opent

B: gassen expanderen

C: spoelpoorten komen vrij

D: druk en temperatuur lopen snel op

E: zuiger wordt met grote kracht naar beneden gedrukt

1 = B

2 = D

3 = E

4 = A

5 = C

27. De afbeeldingen zijn van een 4-slagmotor, omdat er geen spoelpoorten te zien zijn (verhouding van de tandwieloverbrenging krukas – nokkenas is twee op 1).

28. Dit (A) is de inlaatslag, omdat de zuiger naar beneden beweegt en de inlaatklep open staat.

29. Dit (B) is de compressieslag, omdat de zuiger omhoog beweegt en beide kleppen dicht staan.

30. Dit (C) is de arbeidsslag, omdat de zuiger naar beneden beweegt en de kleppen gesloten zijn.

31. Dit (D) is de uitlaatslag, omdat de zuiger omhoog beweegt en de uitlaatklep open staat.

32. De functie van de tandwielen is via de krukas de nokkenas laten draaien. Zorgen dat de kleppen op het juiste moment openen en sluiten. Juiste moment inspuiten.

33. Omdat bij een 4-slagmotor de nokkenas de helft zo snel moet draaien als de krukas. Bij 2 omwentelingen van de krukas moeten de kleppen en brandstofpomp 1 keer bediend worden.

34. Bij een 4-slag duurt het hele proces vier zuigerslagen. De krukas draait hierbij twee keer rond. Een 4-slag heeft een aparte inlaat- en uitlaatslag.

35. De 4-slagmotor heeft het hoogste toerental, want deze moet voor elke arbeidsslag twee omwentelingen van de krukas maken en de 2-slagmotor levert elke omwenteling vermogen.

## *Hoofdstuk 4 Indeling en inrichting van dieselmotoren*

1. Indeling dieselmotor.
  - Toerental of rotatiefrequentie.
  - Constructie.
  - Werkwijze of principe.
  - Toepassing.
2. Men deelt dieselmotoren naar hun (maximaal toelaatbare) bedrijfstoerental als volgt in:
  - snellopende motoren  $n > 960 \text{ RPM}$ ,  $n > 16 \text{ omw./sec}$
  - middelsnel lopende motoren  $240 \text{ RPM} < n < 960 \text{ RPM}$ ,  $4 < n < 16$
  - langzaam lopende motoren  $n < 240 \text{ RPM}$ ,  $n < 4$
3. Bij een toenemend toerental is er bij 2-slagmotoren steeds minder tijd beschikbaar voor de spoeling. Omdat bij het 2-slagproces een goede gaswisseling van essentieel belang is voor het rendement van de motor, leent een 2-slagmotor zich dus per definitie niet voor een hoog toerental. Dit in tegenstelling tot een 4-slagmotor, die bij elk toerental verzekerd is van een goede gaswisseling, doordat er meer tijd beschikbaar is en er voor zowel de inlaat- als de uitlaatkleppen zijn aangebracht.
4. Met betrekking tot de constructie kunnen we de volgende indeling maken.
  - De opstelling van de cilinders; lijnmotor of V-motor
  - Trunkzuiger of kruishoofdmotor.
5. De cilinders van een lijnmotor staan in een rechte lijn achter elkaar, waarbij de cilinderhartlijnen in één (bij scheepsmotoren verticaal) vlak liggen. Bij een V-motor staan twee rijen cilinders in een V-vorm tegenover elkaar. Een V-8 motor heeft twee rijen van elk vier cilinders. V-motoren zijn per krukpen voorzien van twee drijfstangen die paarsgewijs met de krukpen zijn verbonden.
6. Een V-motor heeft als voordeel dat het door zijn constructie mogelijk is om een motor met een groot vermogen in een machinekamer met beperkte afmetingen te plaatsen. Bovendien is de verticale inbouwhoogte van een V-motor ook kleiner dan van een lijnmotor waardoor ook de demontagehoogte soms minder is. Een ander voordeel is dat een V-motor van een bepaald type met b.v. 18 cilinders goedkoper is dan twee lijnmotoren met elk 9 cilinders. Om twee motoren één schroef aan te laten drijven is er een tandwielkast nodig, bovendien is voor de V-motor slechts één bijzondere (dure) krukas nodig.
7. Lijnmotoren kunnen we indelen naar trunkzuigermotoren en kruishoofdmotoren.
8. Bij trunkzuigermotoren is de zuiger rechtstreeks verbonden met de krukas via de drijfstang. De drijfstang is hierbij, met het bovineinde scharnierend om de zuigerpen, in de zuiger zelf bevestigd. De zijdelingse component van de gaskrachten die op zuiger werken, moeten gedeeltelijk door de zuiger worden opgevangen. De zuiger van een trunkzuigermotor is daarom altijd langer dan de diameter van de zuiger.

Bij een kruishoofdmotor is de zuiger niet rechtstreeks verbonden met de krukas. De zuigerstang, die met bouten vast is verbonden aan de zuiger, maakt bij dit type motoren een rechtlijnige beweging waarbij de op de zuiger werkende gaskrachten via deze zuigerstang worden overgebracht naar een zogenaamd kruishoofd. Dit kruishoofd doet dienst als scharnierpunt tussen de zuigerstang en de drijfstang. De zijdelingse krachten die op het bovineinde van de drijfstang ontstaan bij de schuine stand ervan, worden door het kruishoofd via leisloffen overgebracht op de leibanen, die zijn opgenomen in de kolommen van de motor. De zuiger wordt bij deze constructie niet zijdelings belast.

9. Dieselmotoren kunnen werken volgens twee principes: het 2-slagprincipe en het 4-slagprincipe.
10. Een gedeelte van de energie die vrijkomt tijdens de verbranding (arbeidsslag) wordt in het vliegwiel opgeslagen en deze energie wordt tijdens de overige slagen weer teruggegeven aan de motor.
11. Bij moderne motoren worden er geen grote vliegwielen meer toegepast. De verschillende krukwingen zijn voorzien van extra gewichten die contramassa's worden genoemd. Door deze contramassa's op de juiste plaats aan te brengen krijg je hetzelfde effect als een ouderwets vliegwiel.
12. In gebruik als hoofdmotor of als hulpmotor.
13. 2-slag langzaamlopende kruishoofdmotoren:

19

---

- De motor is niet geschikt voor hoge toerentallen.
- De motor is ingewikkeld van constructie (kruishoofd, uitlaatklep met klephuis plus bediening hiervan) en daardoor duur in aanschaf.
- De motor is geschikt voor het leveren van zeer grote vermogens per cilinder.
- Door het lage toerental zijn de onderhoudskosten vanwege slijtage lager.
- Door het lage toerental is de motor geschikt om rechtstreeks de schroef aan te drijven dus een dure tandwielkast of keerkoppeling is niet nodig.
- Door de kruishoofdconstructie is het carter geheel afgesloten van de verbrandingsruimte, hierdoor kan goedkopere carter olie worden gebruikt in plaats van dure cilindersmeerolie. (Bij 4-slagmotoren moet de carter olie dezelfde eigenschappen hebben als de cilindersmeerolie en is daardoor veel duurder).

4-slagtrunkzuigermotor:

- De motor is geschikt voor hoge toerentallen.
- De motor heeft, ook bij hoge toerentallen door het 4-slagproces, een goede gaswisseling, waardoor de motor zuinig werkt.
- De motor is compact en daardoor ingewikkeld van constructie daardoor ook duur in aanschaf.
- Door het hoge toerental uitermate geschikt voor aandrijving van generatoren.

- Door het hoge toerental is een dure tandwielkast (en keerkoppeling) noodzakelijk om de schroef aan te drijven.
- Door het hoge toerental zal er meer onderhoud nodig zijn.

14. Het toerental van deze motor bij vollast bedraagt 720 omwentelingen per minuut.

15.  $720 / 60 = 12$  omwentelingen per seconde

Indien er in omwentelingen per minuut wordt gesproken spreekt men over het toerental; in omwentelingen per seconde over de rotatiefrequentie.

16. Omdat het maximale toerental van deze motor tussen de 240 en 960 RPM ligt.

17. Een 'langzaamlopende' motor heeft een toerental dat lager is dan 240 RPM.

18. Een snelloper heeft een toerental van meer dan 960 RPM.

19. Een lijnmotor: als de cilinders op één lijn achter elkaar staan opgesteld.

20. Bij de V-motor maken de cilinderhartlijnen een bepaalde hoek ten opzichte van elkaar.

21. Onderdelen

1: SMO leiding (carter)	10: uitlaatgassenleidingen
2: contramassa	11: kleppendeksel
3: krukvang	12: verstuiver
4: explosiedeksels	13: zuiger (compressieveren)
5: koelwater toevoer kanaal (leiding)	14: Hoge Druk brandstofpomp
6: cilindervoering	15: nokkenas (brandstofnok)
7: spoelluchtkanaal	16: drijfstang
8: cilinderkop	17: krukpen
9: koelwater afvoer leiding	18: carterpan, carterdeksel

---

20

22. Dit is een trunkzuigermotor, omdat de drijfstang rechtsreeks vanaf de zuiger op de krukas is bevestigd.

23. Onderdelen:

- 1: inlaatkleppen
- 2: zuigerpen
- 3: spoelluchtleiding (kanaal)
- 4: nokkenas (inlaatnok)
- 5: rol
- 6: brandstofleidingen
- 7: klepstoter (stoterstang)
- 8: tuimelaar (klep hefboom)

24. Middelsnellopende 4-slagtrunkzuigermotoren, in lijn- of in V-opstelling.

Worden in de regel toegepast voor de voortstuwing van kleinere zeeschepen en voor de voortstuwing van schepen waarin de beschikbare bouwhoogte voor de motoren beperkt is, zoals op veerschepen, Ro-Ro's, passagiersschepen, vissersschepen en sleepboten.

25. Dat kun je zien aan de spoelpoorten en het kruishoofd

26. De onderdelen.

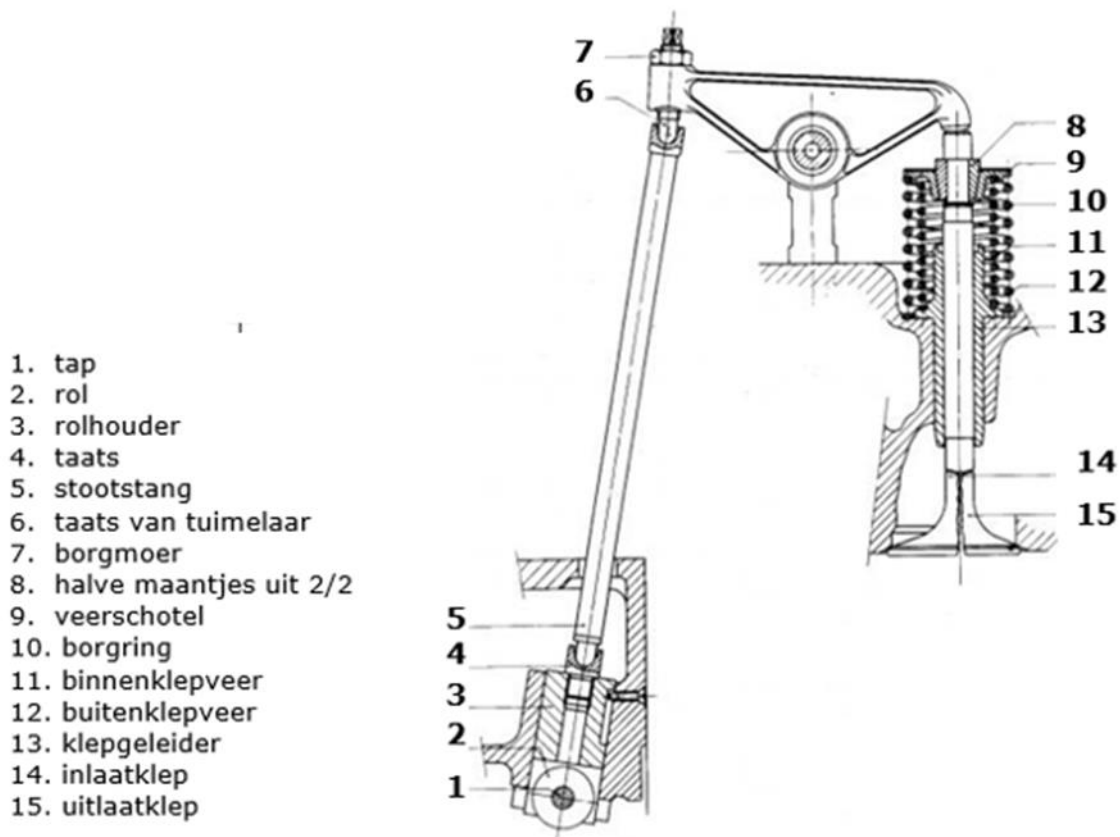
1: fundatie	2: kolommen
3: spoelluchtkast deksel	4: cilinderblok
5: cilindervoering	6: cilinderkop
7: krukvang	8: drijfstang
9: kruishoofd	10: leibaan (met leisloffen)
11: zuigerstang	12: zuiger
13: uitlaatklep	14: uitlaatklephuis
15: Hoge Druk brandstofpomp	16: nokkenas
17: spoelluchtleiding	18: uitlaatgassenleiding

27. Opnemen van zijdelingse krachten

28. De zuiger van trunkzuiger is veel langer ten opzichte van de diameter, om de zijdelinkse krachten op te vangen. De zuiger is scharnierend om de zuigerpen. Bij een kruishoofdzuiger zit de drijfstang vast in de zuiger.

## Hoofdstuk 5 Klepbeweging, luchtvoorziening en brandstofinspuiting

1. De in- en uitlaatkleppen bij 4-slagmotoren worden geopend door nokken op een nokkenas.
2. De nok is simpel gezegd een 'verdikking' op de nokkenas. Deze verdikking bestaat uit een oplooptkant, de nok en een aflooptkant.
3. De onderdelen van de afbeelding.



Afbeelding 5.1 Klepbewegingsmechanisme met daarnaast een links omdraaiende nok

Het bewegingsmechanisme bestaat achtereenvolgens uit: rol, rolhouder, taats, stootstang en tuimelaar of klep hefboom. Zodra het uitstekende deel van de nok door de draaiende nokkenas onder de rol komt, zal de nok de rol en de stoterstang naar boven bewegen. Door de oplooptkant van de nok gebeurt het openen van de klep geleidelijk aan en zal de klep hefboom de klep tegen de veerdruk in openen. Als de nokkenas verder verdraaid, zal door de aflooptkant van de nok de klep weer geleidelijk door de klepveer worden gesloten, waarbij de veer door zijn eigen spankracht weer terugkomt in zijn beginstand.

4. Het sluiten van een in- of uitlaatklep.
5. Om het breken van de klepveren te voorkomen, zijn veren met een variabele spoed toe te passen. Deze noemt men ook wel progressieve veren. Dit zijn veren waarbij de windingen vanuit het midden steeds dichter bij elkaar liggen en dus de onderlinge afstand van de windingen niet overal even groot is. Een andere oplossing is het gebruik van dubbele veren. Deze hebben een verschillende spoed en materiaaldiktes en zijn bovendien tegengesteld gewonden.

6. De benamingen van onderdeel 1 tot en met 12:

1: in- of uitlaatnok	5: stoterstang (klepstoter)	9: klepgeleider
2: rol	6: klephefboom (tuimelaar)	10: klepsteel
3: rolhouder	7: veerschotel	11: klepschotel
4: rolgeleider (cilinderkop)	8: klepveer	12: klepzitting

7. Onderdeel 1 draait rond. Door de nok (speciale vorm) wordt de klepstoter via de rol omhoog gedrukt, waardoor de klep via de tuimelaar naar beneden wordt opgedrukt.
8. Bij grote 2-slagmotoren worden de uitlaatkleppen hydraulisch geopend en pneumatisch gesloten. De klepsteel is in een gedeelte bovenop het uitlaatklephuis voorzien van twee zuigers van verschillende diameter: een kleine hydraulisch bediende zuiger en daaronder een grotere luchtbediende zuiger. De uitlaatnok beweegt een hydraulische plunjer die via een hogedruk-leiding in directe verbinding staat met de kleinste zuiger op de klepsteel. Op het moment dat de hydraulische plunjer omhoog gaat, zal de uitlaatklep gaan openen. Wanneer de rolhouder van de hydraulische plunjer op de afloopkant van de nok komt, gaat de plunjer naar beneden. Door het omlaag bewegen van de hydraulische plunjer neemt de druk in de leiding naar de uitlaatklep af en kan de luchtgedreven zuiger de uitlaatklep sluiten. De klep wordt dus hydraulisch geopend en pneumatisch gesloten.
9. Tegenwoordig wordt bij de moderne grote 2-slagmotoren die uitgerust zijn met een common-railsysteem zowel de uitlaatkleppen als de hogedruk-brandstofpompen hydraulisch bediend, waarbij de kleptiming dan wordt geregeld door de elektronica die ook de inspuittiming regelt. Hierdoor is er dan geen nokkenas meer nodig.
10. De nokkenas wordt aangedreven vanaf de krukas door een tandwiel of door een kettingoverbrenging. Bij hele kleine motoren kan dit zelfs door een tandriem zoals dit ook bij automotoren voorkomt.
11. Bij de 4-slagmotor is de overbrengingsverhouding 2:1 omdat de nokkenas half zo snel moet draaien als de krukas. Immers: elke klep moet één maal in de twee krukasomwentelingen bediend worden. Het tandwiel op de nokkenas is daarom twee maal zo groot als dat op de krukas. Bij de 2-slagmotor is de overbrengingsverhouding 1:1.
12. De meest voor de hand liggende methode is om meer brandstof in te spuiten. Dit kan echter niet onbepaald worden gedaan want de hoeveelheid brandstof

die per slag kan worden verbrand, hangt direct af van de verbrandingswaarde van de brandstof, het gewicht aan lucht dat in de cilinder aanwezig is en het zuurstofgehalte van deze verbrandingslucht. Om in korte tijd een volledige verbranding te bereiken, moet men zorgen voor een voldoende groot luchtoverschot.

13. Een voldoende hoog compressievolume is noodzakelijk om bij het starten van een dieselmotor een compressie eindtemperatuur te verkrijgen die hoog genoeg is om de brandstof snel te laten ontsteken.

14. We gebruiken een gasturbine voor de drukvulling, aangedreven door de uitlaatgassen. De gasturbine is gekoppeld aan een centrifugaalpompe voor lucht. Een centrifugaalpompe voor lucht noemen we een roterende compressor. Voor het geheel spreken we meestal over een turboblower of drukvulgroep, of kortweg: turbo.

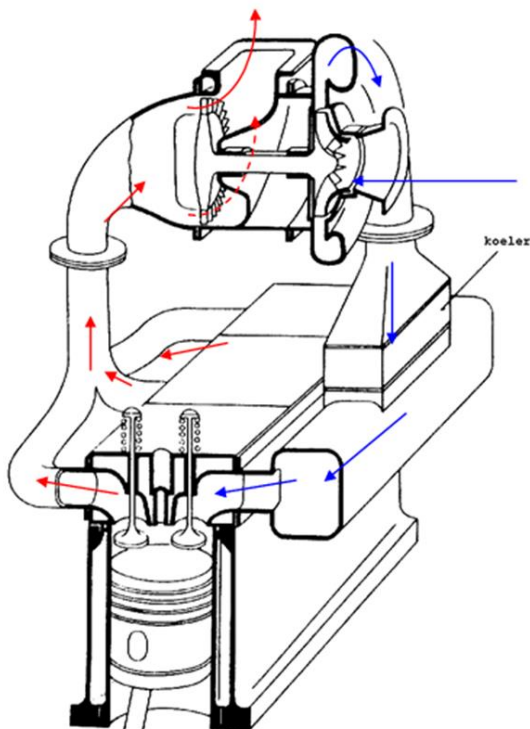
15. Drukvlulling is het onder druk (meer dan atmosferisch) vullen van de cilinders met lucht.

16. Door drukvlulling kan er meer brandstof worden ingespoten dus kan er meer vermogen worden gehaald uit dezelfde motor.

17. Een uitlaatgasturbine gekoppeld aan een centrifugaalpompe (op dezelfde as) voor lucht.

18. In de figuur geven blauwe pijlen de loop van de verbrandingslucht aan.

19. In de figuur geven rode pijlen de loop van de uitlaatgassen aan.

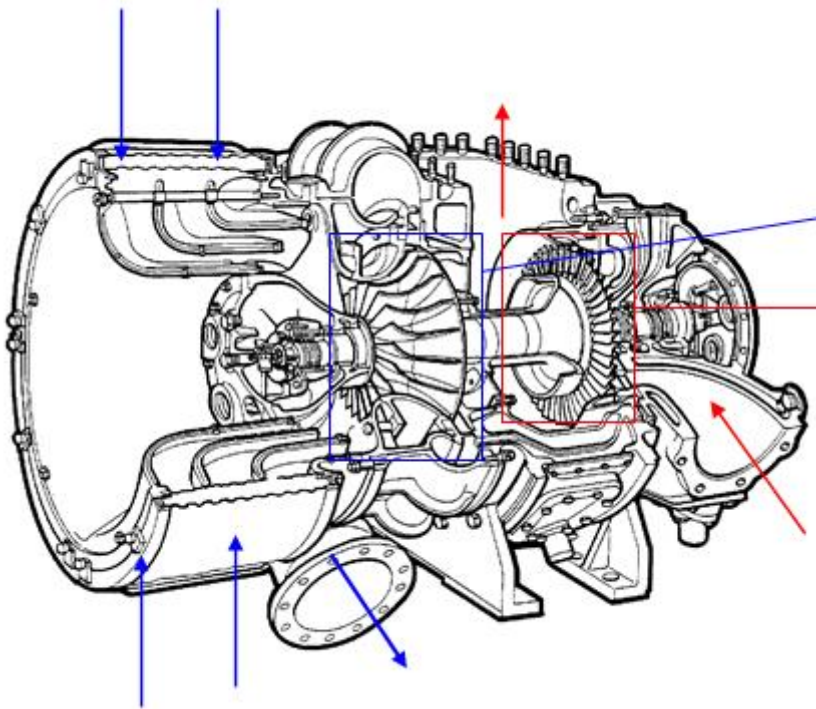




20. Koude lucht heeft meer massa en voor koelen van voering en klep(pen).

21. Hieronder staat een opengewerkte drukvulgroep.

1. Het compressorwiel heeft een blauwe rechthoek.
2. Het turbinewiel heeft een rode rechthoek.
3. De rode pijlen geven aan waar de uitlaatgassen in- en uitgaan.
4. De blauwe pijlen geven aan waar de verbrandingslucht in- en uitkomt.



22. De eerste reden is: bij het stijgen van de temperatuur zet de lucht uit en neemt dus een groter volume in waardoor er aan gewicht minder lucht de cilinders in stroomt.

De tweede reden: door het stijgen van het vermogen stijgt ook de temperatuur in de cilinder. Het cilinderdeksel, de zuigerkroon, het bovineind van de cilindervoering en de uitlaatklep(pen) worden daardoor ook aan hogere temperaturen blootgesteld. We zeggen dan: deze delen worden zwaarder thermisch belast. Het is daarom noodzakelijk dat deze delen goed worden gekoeld.

23. De taak van de HD-brandstofpomp is om de brandstof via de HD-brandstofleiding naar de verstuiver te persen. De reguleur bepaalt door middel van het verdraaien van de plunjer of het openen van de zuigklep de hoeveelheid toegevoerde brandstof. Bij common-rail bepaalt de computer dit.

24. De pomplunjer wordt naar boven bewogen door de nok van de nokkenas van de brandstofpomp. Bij het verdraaien van de nok zal de pomplunjer door de veerdruk van de pompveer naar beneden worden gedrukt.

25. Als de plunjer in de onderste stand is gekomen, komen er twee aanzuigopeningen in het plunjerhuis vrij, die in verbinding staan met de

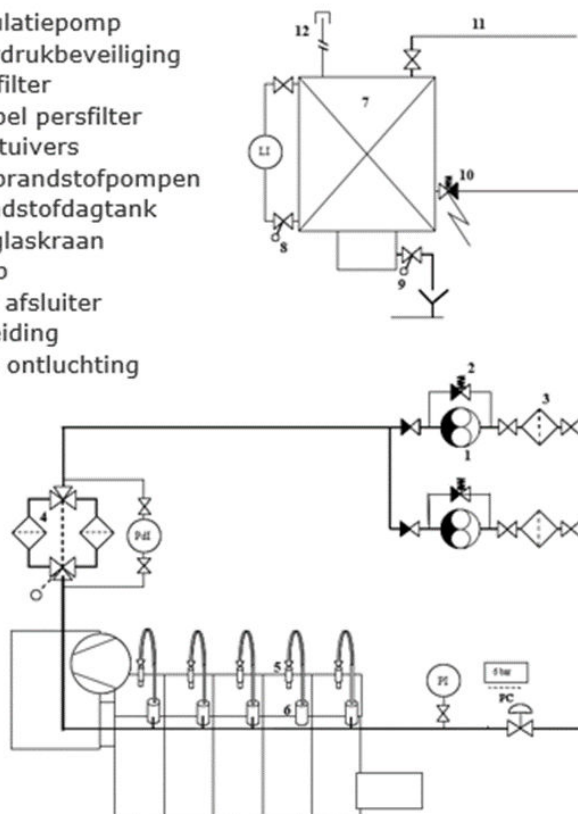
brandstofgalerij of toevoerkanaal van de pomp. Dit toevoerkanaal wordt opgevuld en onder druk gehouden door de brandstofopvoerpomp.

26. Voor motoren met een toerental van 3000 omw/min en meer voldoen deze pompen niet meer omdat bij een hoger toerental de kans bestaat dat de plunjers gaan 'zweven', dat wil zeggen dat de veer de plunjer niet snel genoeg naar beneden kan drukken voordat de volgende persslag weer begint. Daarom werd de roterende brandstofpomp ontwikkeld.
27. Het algemene doel van de verstuiver is ervoor te zorgen dat de brandstof op de juiste wijze en in de meest geschikte toestand wordt ingespoten.
28. De brandstof moet zo fijn mogelijk verdeeld worden ingespoten, waarbij de brandstofdeeltjes zó klein zijn geworden dat van verneveling kan worden gesproken. De brandstofdeeltjes moeten ver genoeg doordringen in de verbrandingsruimte, echter zonder gevaar op te leveren voor neerslag op de cilinderwand en op de zuigerkop.
29. Het naaldelement met daarin de verstuivernaald fungeert als een veerbelaste klep. Op de verstuivernaald rust een drukstaaf met daarop een veer en veerschotel, de belasting van deze veer kan ingesteld worden door een stelschroef of vulplaatjes, vastgezet met een borgmoer.
30. Het begin van de inspuiting is afhankelijk van het toerental en inspuiting begint meestal op  $\pm 3^\circ$  voor het BDP. Door het inspuituitstel en de ontstekingsvertraging moet er voor het BDP (bovenste dode punt) worden ingespoten om de verbranding erna te laten plaatsvinden.
31. Omdat de brandstof als vloeistof in de cilinder wordt verneveld, en vloeistoffen niet kunnen branden, moet elke druppeltje brandstof worden verwarmd tot de kooktemperatuur. Hierna moet het nog verdampen en vervolgens moet de damp door verhitting tot ontsteking worden gebracht. De tijd die het inspuiten, verwarmen, verdampen en ontsteken van de brandstof kost, noemen we de ontstekingsvertraging.
32. Bij direct ingespoten (DI) motoren wordt de brandstof direct boven de zuiger in de verbrandingsruimte ingespoten.  
Bij indirect ingespoten (IDI) motoren wordt de brandstof in een wervelkamer ingespoten die in het cilinderdeksel is aangebracht.
33. De verstuiver kan in diverse uitvoeringen voorkomen, afhankelijk van het type inspuiting. In het algemeen is er onderscheid tussen de gatverstuiver en de tapverstuiver.
34. Gatverstuivers, met één of meerdere gaten, worden gebruikt bij directe inspuiting. Afhankelijk van de vorm van de verbrandingskamer kan bij een ééningsverstuiver het verstuivergat centraal of zijdelings zijn aangebracht. Bij meergatsverstuivers kunnen de verstuivergaten symmetrisch of asymmetrisch zijn aangebracht.
35. Tapverstuivers worden gebruikt voor motoren met een wervelkamer. Hierbij hoeft tijdens de inspuiting niet alle brandstof met de lucht in aanraking te

komen. De openingsdruk van een tapverstuiver is lager dan bij een gatverstuiver, omdat door de drukverhoging in de wervelkamer de volledige menging van lucht en brandstof plaatsvindt in de cilinders tijdens het tweede gedeelte van de verbranding.

36. Door de tap een bijzondere vorm te geven kan men bereiken dat er aanvankelijk weinig en later veel wordt ingespoten. De verstuivernaald geeft in eerste instantie een kleine opening vrij, waarbij slechts weinig brandstof wordt ingespoten. Door de drukverhoging in de verstuiver wordt de doorstroomopening groter, zodat tegen het einde van naaldlichting de grootste hoeveelheid brandstof wordt ingespoten. Hierdoor bereikt men dat de druk in de verbrandingskamer langzamer oploopt en de verbranding rustiger verloopt.
37. Directe inspuiting.
38. Indirecte inspuiting (voorkamer (B) of wervelkamer (C)).
39. Voordeel is dat door goede werveling lucht -> brandstof goed gemengd wordt en fijn verdeeld. Inspuiting hoeft niet zo geweldig te zijn. Nadeel is dat starten moeilijk is door groot afkoelend oppervlak, er zijn gloeilonten of een gloeibougie nodig).
40. De loop van een eenvoudig brandstofsysteem voor GO/DO. En de verschillende onderdelen van dit systeem.

1. circulatiepomp
2. overdrukbeveiliging
3. zuigfilter
4. dubbel persfilter
5. verstuivers
6. HD brandstofpompen
7. brandstofdagtank
8. peilglaskraan
9. aftap
10. SOS afsluiter
11. vulleiding
12. tank ontluchting



5.21 GO/DO circulatiesysteem

41. Een andere manier van brandstofinspuiting is de elektronisch geregelde brandstoftoevoer het zogenaamd common-railbrandstofsysteem. Het brandstofsysteem heeft een brandstofpomp die bestaat uit een lagedruk- en een hogedrukpomp die zijn samengebouwd in één huis. De brandstof wordt door de lagedrukpomp uit de tank aangezogen via het groffilter en het fijnfilter. Daarna perst de lagedrukpomp de brandstof naar de hogedrukpomp via een brandstofregelklep. De hogedrukpomp perst de brandstof vervolgens naar de verzamelleiding of de common-rail, waarbij de druk in de common-rail varieert tussen 1000 en 2000 bar, afhankelijk van het aantal omwentelingen en de belasting van de motor. De brandstof wordt ingespoten door het openen van een hydraulisch of elektrisch aangestuurde brandstofklep. Zo kan de tijd van inspuiting precies geregeld worden en is het mogelijk dat er meerdere kleine inspuitingen achter elkaar plaatsvinden tijdens één inspuitperiode. Het open en sluiten van de verstuiver wordt aangestuurd door de Elektronische Controle Unit (ECU).
42. De reguleur regelt de brandstoftoevoer naar de dieselmotor bij starten en onbelast draaien en houdt het aantal omwentelingen constant bij wisselende belasting. Ook voorkomt een reguleur door een overspeed beveiliging schade aan de motor.
43. De reguleur werkt als volgt: via tandwielen wordt in figuur 5.6 het toerental van de motor overgedragen aan de as (b) op deze as zitten twee hefbomen met gewichtjes (a) die door de centrifugaalkracht van de draaiende as (b) naar buiten worden geslingerd tegen de veer (c) in. Als van de motor het toerental afneemt, doordat de belasting toeneemt, zal de veerdruk (c) het winnen van de centrifugaalkracht op de gewichtjes (a). Hierdoor zal as (b) naar rechts verschuiven, deze beweging wordt door de hefbomen (d) overgebracht naar de brandstofregelstang (e) van de hogedrukbrandstof pomp (f). Er wordt nu meer brandstof ingespoten waardoor het toerental van de motor weer toe zal nemen. Bij afnemende belasting zal het tegenovergestelde gebeuren.
44. Een reguleur is nodig om een dieselmotor met het juiste toerental te kunnen laten draaien. De lekverliezen in een pomp spelen hierbij een rol.
45. Voor grotere motoren is er meer kracht nodig om de brandstofregelstang te verdraaien, daarom worden de mechanische reguleurs voorzien van een hydraulische versterking. We noemen deze reguleur dan mechanisch-hydraulisch.
46. Een elektronisch gestuurde reguleur maakt het mogelijk om nog andere parameters mee te nemen in de regeling; zo kan er rekening gehouden worden met spoelluchtdruk, de stand van de bladen bij verstelbare schroeven of het synchroon draaien met andere motoren wanneer er via een tandwielkast meerder motoren één schroef aandrijven of generatoren die parallel draaien.
47. Bij een common-railbrandstofsysteem moet aan de reguleur ook de gewenste waarde worden ingegeven.

48. Om de motor te beschermen tegen al te hoge drukken in de cilinders kan bij grote motoren in het cilinderdeksel een ontlastklep zijn gemonteerd.
49. Er zijn verschillende oorzaken waardoor deze hoge drukken kunnen ontstaan, bijvoorbeeld als er bij het starten te veel brandstof wordt gegeven of als bij een noodstop startlucht wordt ingeblazen om de motor van draairichting te laten veranderen. Ook als er lang vol achteruit geslagen wordt kan het gebeuren dat er een ontlastklep opent.
50. Opent een ontlastklep zonder direct aanwijsbare reden dan kan de oorzaak een probleem zijn met een verstuiver of brandstofpomp, waardoor er veel te veel brandstof in de cilinder komt. Ook koelwaterlekkage in de cilinder of een spoelluchtbrand kunnen mogelijke oorzaken zijn van het openen van de ontlastklep(pen).
51. De werking van de ontlastklep bij figuur 5.26 is als volgt:  
Het spindel (1) heeft aan de onderzijde een veerschotel (8) waarop de klepveer (4) drukt. De druk van de klepveer op de klep (9) kan worden ingesteld met de stelmoer (2). Deze stelmoer is met schroefdraad in het drukstuk (3) bevestigd. Het drukstuk dat met twee tapeinden in het cilinderdeksel (7) is vastgezet, houdt het huis (6) van de ontlastklep op het afdichtingsvlak in het cilinderdeksel gedrukt. Om lekkage tussen het klephuis en het cilinderdeksel naar buiten te voorkomen is er in het huis een 'O' ring (5) gemonteerd. De klepgeleider (10) is met schroefdraad in het huis van de ontlastklep bevestigd. Bij het overschrijden van de ingestelde druk van de ontlastklep opent de klep (9) tegen de veerdruk in. Via een aantal gaten, aangebracht in de omtrek van de klepgeleider kunnen de gassen ontwijken naar een afvoerkanaal in het cilinderdeksel.

## *Hoofdstuk 6 Brandstof*

1. Op een raffinaderij wordt in een destillatietoren ruwe aardolie verwerkt tot brandstoffen.
2. De destillatiekolom in de toren is op regelmatige afstanden voorzien van horizontale schotten, de z.g. Heckmann-schotels.
3. Gas, benzine, naphtha, kerosine, gasolie.
4. De functie is om damp vloeibaar te maken en te splitsen in verschillende bestanddelen. Door stijggaten in deze Heckmann-schotels kan de ontstane damp opstijgen waarbij deze door kapjes gedwongen wordt in nauw contact te treden met de op de schotels liggende vloeistof. Dezelfde stof die in de damp zit, condenseert en de rest van de damp stijgt weer verder op. Zo condenseert steeds een deel van de damp. De vloeistof kan worden afgetapt.
5. Het restant blijft vloeibaar, loopt naar beneden en wordt als atmosferisch residu afgetapt. Dit residu wordt verder behandeld en geraffineerd om er nog meer lichte bestanddelen uit te halen.
6. Bovenin de kolom ontwijken de gasvormige bestanddelen zoals propaan en butaan, waarbij ook benzinedamp e.d. meegaat.
7. Dit verder behandelen bestaat uit het "kraken" van het resterende residu in verschillende delen.
8. Dieselolie bestaat uit aardoliecomponenten met een kooktraject bij atmosferische druk van 250 °C tot 350 °C.
9. Voor wat de milieutechnische kant betreft, GTL verbrandt efficiënter dan gewone diesel en de uitstoot van schadelijke stoffen (o.a. stikstofoxiden, fijnstof en roet) is minimaal. GTL is ultraschoon en bevat nagenoeg geen zwavel, de veroorzaker van zure regen. Ook is de verbranding van GTL veel schoner.
10. De fijne katalysatordeeltjes noemt men cat fines.
11. Buiten SECA is het 0.5%, binnen 0.1% zwavel.
12. Brandstoffen met een laag vlampunt mogen niet in grote hoeveelheden in de MK worden opgeslagen.
13. Voordelen van GTL: de motorcomponenten zoals kleppen, injectoren en cilinders hebben minder last van vervuiling en minder van verkolen. Met als gevolg lagere onderhoudskosten door minder motorslijtage.
14. LNG is een afkorting van 'Liquefied Natural Gas'.
15. Het is niet zo duurzaam, omdat er onder andere veel energie nodig is om LNG te produceren (o.a. het koelen) en om het op te slaan.

16. Nee, want de gebruikstemperatuur van LNG is hoger dan de opslagtemperatuur en transporttemperatuur, d.w.z. dat LNG moet worden verwarmd. Daardoor is ook bij dit proces weer energie nodig.
17. Methaanslip is een term voor onverbrand methaan dat met de rookgassen van de motoren in de atmosfeer terecht komt. Methaan en daarmee aardgas is een veel krachtiger broeikasgas dan CO<sub>2</sub> wanneer het onverbrand in de atmosfeer terecht komt, dus is het slecht voor het milieu.
18. De vijf biobrandstoffen zijn:

PPO wordt vervaardigd door het koud persen van oliehoudende gewassen, zoals koolzaad, zonnebloem en sojaboon. In grootschaligere productie-installaties wordt de olie meestal gewonnen door extractie met een oplosmiddel.

Biodiesel is een product op basis van koolzaadolie, maar dan chemisch bewerkt met een techniek die transesterificatie heet.

BTL of biodiesel. Restmateriaal van voedselgewassen, de z.g. biomassa, kan dienen als grondstof voor biobrandstof. Door van deze biomassa eerst biogas te maken, kan dit gas daarna worden omgezet - met het zogenaamde Fischer-Tropsch-procedé - in vloeibare biobrandstof zoals biodiesel (BTL).

NextBTL is een nieuw procedé waarbij op basis van plantaardige oliën, dierlijke vetten of frituuroliën een nieuw soort biodiesel gemaakt wordt. De oliën of vetten worden eerst voorbehandeld, om vervolgens een hydrobehandeling te ondergaan.

BTL, een synthetische diesel verkregen via het Fischer-Tropsch-procedé. Het is net als NExBTL qua eigenschappen superieur aan biodiesel als brandstof in dieselmotoren.

19. Het is voor de gebruiker van een dieselbrandstof van groot belang dat deze brandstof voldoet aan een aantal minimumeisen en daarvoor is het wenselijk dat een aantal eigenschappen van de verschillende brandstofsoorten wordt gespecificeerd.
20. Residuele brandstof bevat hoge concentraties schadelijke producten. Door de sterk verbeterde raffinagemethoden wordt er tegenwoordig een grotere hoeveelheid lichte bestanddelen uit de aardolie gehaald, voornamelijk door het kraken van middelzware bestanddelen, die vroeger in het residu terechtkwamen. De zwaarste bestanddelen met grote koolstofketens, de asfalteneen, vormen nu het hoofdbestanddeel van het residu, terwijl er bovendien restanten katalysatorstof (de zogenaamde cat fines) in voorkomen.
21. Bij het mengen van residuele brandstof met (restanten) zware olie van andere herkomst of met (zee)water kan het oplossingsvermogen plotseling sterk teruglopen: de olie wordt instabiel en laat de asfalteneen of de paraffinen los, die in grote hoeveelheden als sludge neer kunnen slaan. Oliesoorten, die ieder voor zich een voldoende reservestabiliteit hebben, maar bij menging instabiel worden, heten onverdraagzaam of 'incompatible'.

22. Door de hogere viscositeit is de inspuitemperatuur een stuk hoger dan bij de vroegere zware olie, bijvoorbeeld 140 of 150 °C. Bij elkaar heeft dat als gevolg:
- kans op sterke neerslag van sludge in de brandstoftanks;
  - vaak een overmatige sludge-afscheiding in de centrifuges en daardoor brandstofverlies;
  - bijna altijd snel dichtslaan van de brandstoffilters;
  - bij aanwezigheid van water een grote kans op de vorming van stabiele emulsies, die zich in de centrifuges niet laten afscheiden;
  - door de grotere soortelijke massa moeilijkheden bij het centrifugeren;
  - een beduidend hoger lopende viscositeitslijn, waardoor er alleen al voor het verpompen veel sterker verwarmd moet worden;
  - door de veel hogere inspuitemperatuur is er een grotere kans op lek raken van pakkingen en verbindingen in het lagedruk brandstofsysteem.
23. Om de problemen bij het gebruik van residuale brandstof op te lossen zijn de laatste jaren verschillende systemen ontwikkeld zoals emulgeren en homogeniseren van de brandstof en is de inrichting aan boord danig veranderd, om de brandstof met minder moeite en met minder brandstofverlies op de gewenste inspuitsconditie te krijgen.
24. Hieronder verstaat men de massa van een bepaald volume brandstof. De dichtheid is van belang in verband met de benodigde bunkerruimte en voor de reiniging van de brandstof met behulp van separatoren.
25. Een grenswaarde voor de dichtheid is 990 kg/m<sup>3</sup>. Boven dit getal kan men de zware olie niet meer separeren met een separator werkend met een vaste scheidingszone tussen water en olie. Men moet overgaan op separatoren met een variabele scheidingszone, bijvoorbeeld, het Alcap-systeem.
26. Dikvloeibaarheid of stroperigheid.
27. Omdat de viscositeit afhankelijk is van de temperatuur moet die worden vermeld.
28. Centistokes (mm<sup>2</sup>/s).
29. Het vlampunt is dié temperatuur waarbij de gassen boven een oliemonster, dat in een daarvoor aangewezen apparaat wordt verhit, voor het eerst een voorbijgaande verbranding te zien geven na ontsteking met een proefvlam.
30. Het watergehalte is van belang in verband met de specifieke energie of stookwaarde van een brandstof. Bij afkoeling kunnen de paraffinen in de brandstof of smeerolie kristallen vormen. Bij voortgaande afkoeling groeien deze kristallen aaneen en vormen een netwerk, waartussen de resterende vloeistof als het ware gevangen zit. De vloeibaarheid van de olie neemt sterk af en filters verstopten erdoor. Ten slotte wordt de olie zo stijf dat deze niet meer wil vloeien.



31. Voor de bepaling van het troebelpunt en het stolpunt wordt hetzelfde apparaat gebruikt. Een voorgeschreven hoeveelheid olie wordt in een glazen buisje in een koelbad geplaatst. Dit koelbad wordt met een vastgestelde snelheid afgekoeld. Elke 3 °C verschil wordt het meetglas uit het koelbad gehaald en wordt de helderheid van de olie gecontroleerd. De temperatuur waarbij voor het eerst een troebeling wordt waargenomen is het troebelpunt. De bol van de thermometer bevindt zich bij deze proef halverwege de vloeistofkolom in het meetglas.  
Bij voortgezette afkoeling wordt het glas telkens scheef gehouden. Zodra de vloeistof zó taai geworden is dat de vloeistofspiegel bij plat leggen van het meetglas 5 seconden verticaal blijft staan, wordt de temperatuur genoteerd. Dit is het eigenlijke stolpunt of vloeipunt.
32. Het filterpunt is de temperatuur waarbij een standaard oliefilter in een bepaalde tijd door gestolde bestanddelen verstopt raakt.  
Het filterpunt is vooral van belang voor lichte brandstoffen omdat die voor gebruik niet verwarmd worden. Het filterpunt moet daarom beneden de gemiddelde omgevingstemperatuur liggen, om bij gebruik van de betreffende brandstof, bedrijfsstoringen te voorkomen.
33. Voor de zekerheid houdt men de opslagtemperatuur van zware brandstoffen minstens 10 °C boven het stolpunt en worden de bunkertanks dus meestal op een temperatuur van 55 tot 65 °C gehouden. In de praktijk is dit vaak niet haalbaar. De temperatuur waarbij olie nog goed te verpompen is, wordt evenwel niet aangegeven door het stolpunt, maar door de 'grens der verpompbaarheid'. Hiervoor wordt vrij algemeen een viscositeit van 750 cSt aangehouden.
34. Het Conradsongetal is een maat voor de vorming van koolafzetting bij de verbranding van een brandstof en daarmee van belang i.v.m. vervuiling van verstuivertips, zuigerveren, veersponningen, zuigers, uitlaatkleppen en uitlaatgassenturbines.
35. Het zwavelpercentage is van belang in verband met mogelijke lage temperatuurcorrosie van motoronderdelen bij afkoeling van de verbrandingsgassen.
36. Het zijn meestal de metaaloxiden van b.v. nikkel, vanadium, aluminium, ijzer en natrium die het asgehalte bepalen en die slijtage en corrosie gaan veroorzaken.
37. Wanneer aluminium en silicium in de brandstof voorkomt, is dit meestal in de vorm van zeer harde deeltjes aluminiumsilicaat dat als katalysator wordt gebruikt bij katalytische kraakprocessen tijdens de raffinage van de olie. Dit katalysatorstof bestaat in hoofdzaak uit zeer kleine deeltjes in grootte van 1 tot 10 µm (1 µm = 0,001 mm) die van het oorspronkelijke materiaal afbreekt. Wanneer het om een of andere reden toch in de motorbrandstof achterblijft, kan het grote schade veroorzaken door slijtage aan brandstofpompen, verstuivers, zuigerveren, zuigers en cilindervoeringen. het kan vooral bij brandstofpompen tot grote schade lijden door het vastlopen

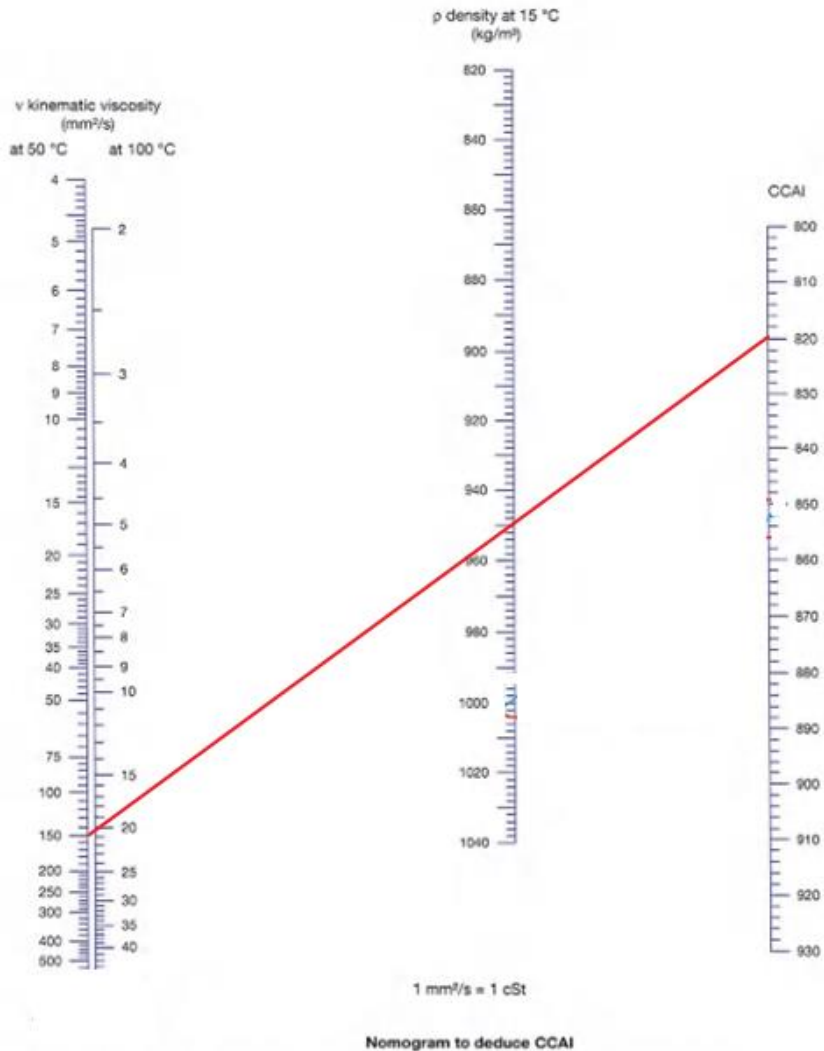
van de plunjers in het huis. Katalysatorstof kan door intensief centrifugeren uit de brandstof worden verwijderd.

38. Dit is de warmte in MJ die vrijkomt bij de verbranding van 1 kg brandstof, waarbij men onderscheid maakt tussen de bruto specifieke energie of bovenverbrandingswaarde en de netto specifieke energie of stookwaarde.
39. Een brandstof wordt stabiel genoemd wanneer er ook bij langdurige opslag geen zware componenten worden afgescheiden die uiteindelijk op de bodem van de tank zullen bezinken.
40. Het verwerken van instabiele brandstoffen kan aan boord grote problemen veroorzaken zoals:
- de vorming van sludge in de brandstoftanks;
  - overmatige sludge afscheiding bij het separeren en moeilijkheden met het bedrijf van de separatoren;
  - snel dichtslaan van de brandstoffilters;
  - gevaar van emulsievorming bij verontreiniging met zeewater, deze emulsie is in een separator heel moeilijk te scheiden.
41. Bij het blenden is altijd het gevaar van instabiliteit door onverdraagzaamheid van de basisbrandstoffen aanwezig; hetzelfde kan zich voordoen bij het overschakelen van de ene voorraad zware olie op de andere.
42. Een brandstof is compatibel als de ze in elke mengverhouding met een andere residuale brandstof of destillaat brandstof is te mengen zonder dat er afscheiding plaatsvindt.
43. De ontstekingskwaliteit van een brandstof bepaalt hoe snel een brandstof ontsteekt.
44. Als de brandstof te snel ontsteekt, vindt de verbranding te dicht bij de verstuiver plaats. Dit verhoogt de kans op plaatselijk zuurstofgebrek en oververhitting van de verstuiver. Als de brandstof te traag ontsteekt wordt de ontstekingsvertraging te groot en kan er sprake zijn van een te late verbranding.
45. Voor de bepaling van de ontstekingskwaliteit zijn er twee normen: het cetaangetal voor dieselolie en gasolie en de Calculated Carbon Aromaticity Index (CCAI) waarde voor zware olie.
46. Het cetaangetal is een maat waarin de ontstekingskwaliteit van dieselolie en gasolie is te vergelijken met het octaangetal van benzine, het cetaangetal kan worden bepaald in een speciale testmotor onder gestandaardiseerde omstandigheden.
47. Om de ontstekingskwaliteit van zware olie aan te geven wordt de Calculated Carbon Aromaticity Index (CCAI - waarde) gebruikt.

48. 820, het getal heeft geen eenheid.

$$CCAI = \rho - 81 - 141 \log_{10} [\log_{10} (v + 0,85)] - 483 \log_{10} \left( \frac{T + 273}{323} \right)$$

$\rho$  = density at 15 °C (kg/m<sup>3</sup>)  
 $v$  = kinematic viscosity (mm<sup>2</sup>/s) at T temperature  
 $T$  = temperature corresponding to the viscosity measurement (°C)



49.130°C.

50.42°C.

51. Dit is de temperatuur waarbij de viscositeit van een brandstof wordt vastgesteld.

52. Bij lage temperaturen is deze niet te verpompen en niet te verstuiven.

53. IFO 180.

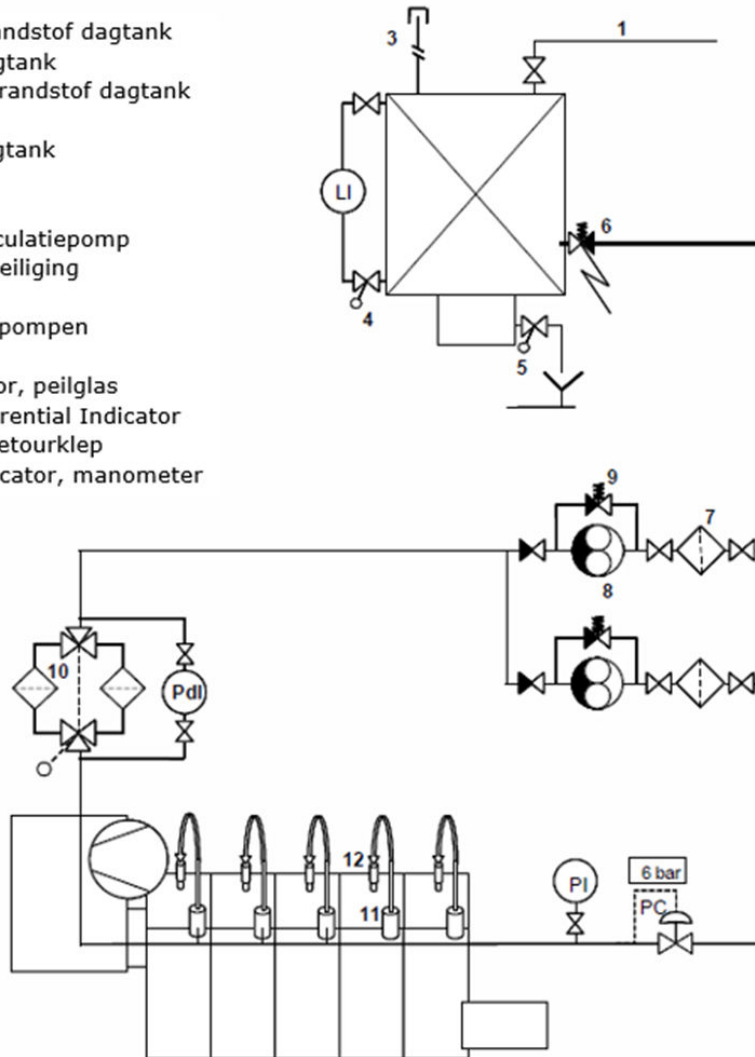
54. SECA staat voor Sulpher Emmission Control Area, oftewel een gebied waarin de uitstoot van zwavel beperkt is.

55. In een SECA gebied 0,1% en daar buiten 0,5%.

## Hoofdstuk 7 Brandstofsysteemen

1. Bunkertank, settlingtank, dagtank.
2. Er zijn altijd twee settlingtanks, BB en SB, waarbij gedurende 24 uur uit één tank wordt verbruikt. Elke 24 uur wordt er overgeschakeld naar de andere settlingtank en wordt de eerste weer gevuld vanuit een bunkertank. Vuil heeft tijd nodig om te bezinken.
3. Schematisch leidingsysteem:

1. vulleiding brandstof dagtank
  2. brandstof dagtank
  3. ontluchting brandstof dagtank
  4. peilglaskraan
  5. aftap van dagtank
  6. SOS afsluiter
  7. zuigfilter
  8. brandstof circulatiepomp
  9. overdruk beveiliging
  10. persfilter
  11. HD brandstofpompen
  12. verstuivers
- LI Level Indicator, peilglas  
Pdl Pressure differential Indicator  
PC veerbelaste retourklep  
PI Pressure Indicator, manometer



Korte uitleg van het werkingssysteem:

Via de vulleiding (1) wordt de brandstofdagtank (2) opgevuld, genoeg voor 24 uur. De tank is voorzien van een ontluchting (3), peilglas of Level Indicator (4) en een aftap (5). De aftap dient om water af te kunnen tappen. Het peilglas en de aftap zijn voorzien van speciale zelfsluitende afsluiters.

De ontluchting (3) van de dagtank komt aan dek uit en is beschermd door middel van een terugslagklep.

De circulatiepomp (8) voorzien van een overdrukbeveiliging (9) zuigt via de SOS afsluiter (6) uit de dagtank. Voor de pomp zit een grofmazig zuigfilter (7) om het

grove vuil op te vangen en hiermee de pomp te beschermen. Na de circulatiepomp is er een duplex persfilter (10). Dit is een fijnmazig filter en dient om de HD brandstofpompen (11) te beschermen. In dit circulatiesysteem is vaak, als de dagtank wat kleiner is, een koeler opgenomen (niet getekend).

Er staat altijd één filter in bedrijf en de andere dient als reserve. Als het in bedrijf staande filter vervuult, zal de verschuldruk over dit filter groter worden. Deze verschuldruk wordt gemeten met de PdI (Pressure differential Indicator). Het filter is voorzien van een omzethendel waarmee kan worden overgeschakeld naar het schone filter. Door het instellen van een veerbelaste retourklep (PC) wordt de toevoerdruk naar de HD brandstofpompen (11) tussen de 5 en 6 bar gehouden. Deze retourklep gaat open bij de ingestelde druk en het teveel aan brandstof stroomt via de drukregelklep (PC) terug naar de zuigzijde van de pomp. Als de dagtank zó hoog boven de motor is geplaatst, waardoor de toevoerdruk naar de HD brandstofpompen toereikend is, zijn er geen circulatiepompen (8) nodig.

4. De uitbreiding die nodig is voor brandstoffen met matige viscositeit: In de persleiding, na de circulatiepompen (1), is een brandstofvoorverwarmer (2) nodig waarmee de viscositeit van de brandstof op 15 cSt kan worden gebracht voor een goede verstuiving in de cilinders. De viscositeit wordt op de gewenste waarde gehouden met behulp van een zogenaamde 'Viscotherm' een viscositeitregelaar (3), die is verbonden met de warmtetoevoer (4) naar de brandstofvoorverwarmer (2). De brandstofdagtank is in dit systeem voorzien van verwarmingsspiralen (5). Voor verwarming kan stoom of thermische olie worden gebruikt. De druk in dit soort brandstofcirculatiesystemen kan worden ingesteld met de drukregelklep (8). Omdat de brandstof in het systeem wordt verwarmd, zijn alle leidingen geïsoleerd

5. Brandstofcirculatiesysteem.

a) Voor brandstoffen met een zeer hoge viscositeit.

b) 1 = HD brandstofpompen

2 = circulatiepompen

3 = opvoerpompen

4 = driewegklep

5 = HFO dagtank

6 = Buffertank

7 = brandstofvoorverwarmer

8 = duplexfilter

9 = drukregelklep

10= ontgasser

11= voorstuwingsmotor

12= retourdrukklep

13= GO-, DO dagtank

c) Via de mengklep (4) kan gekozen worden uit dagtank 13 of 5, wat overeenkomt met gasolie (GO, DO) of zware olie (HFO). De opvoerpomp (3) zuigt de brandstof uit de HFO-dagtank (5) en perst dit met een druk van 4 bar naar de buffertank (6). De vereiste druk in dit systeem wordt ingesteld met behulp van de drukregelklep (9). Via deze klep wordt ook de zuigdruk van de circulatiepomp op een druk van 4 bar gehouden. De

circulatiepomp (2) zuigt uit de buffertank (6) en perst de brandstof via de brandstof voorwarmer (7) en het duplex fijnfilter (8) naar de HD-brandstofpompen van de motor. De retourdrukklep (12) zorgt dat de druk aan de motor op de ingestelde waarde blijft. Het teveel aan brandstof wordt via de ontgasser (10) teruggevoerd naar de HFO-dagtank (5). De druk in het circulatiesysteem wordt met de retourdrukklep (12) ingesteld op 8-10 bar.

De inhoud van de HFO-dagtank wordt op temperatuur gehouden met in de tank aangebrachte verwarmingsspiralen, maar ook door de voorverwarmde brandstof, die wordt teruggevoerd naar de dagtank. Om de brandstof op de vereiste viscositeit van 15 cSt te brengen wordt deze verwarmd in de brandstofvoorwarmer. Gassen die uit de brandstof vrijkomen worden door de ontgasser (10) via de HFO-dagtank naar de buitenlucht afgevoerd.

De brandstof wordt vóór de motor gefilterd in een duplex fijnfilter (8) dat vuildeeltjes groter dan 5 micron (0,005 mm) tegenhoudt. Het duplex fijnfilter (8) in het brandstof circulatiesysteem is dubbel uitgevoerd, zodat dit tijdens bedrijf overgezet kan worden.

6. De brandstof gaat naar een buffer of mengtank. De hete retourbrandstof blijft dan onderdruk, als het naar de dagtank terug zou gaan wordt de druk lager, en is er kans dat de brandstof gaat gassen.
7. Een belangrijke eigenschap van de brandstof is de stookwaarde (H0). De stookwaarde geeft aan hoeveel energie er vrij komt bij de volledige verbranding van één kilogram brandstof. De eenheid is in kJ/kg.
8. De stookwaarde van de brandstof is afhankelijk van de samenstelling van de brandstof.
9. Vanadium is een metaal dat ook in ruwe olie voorkomt; na verbranding kan vanadium in combinatie met natrium zorgen voor ernstige schade, de zogenaamde hoge temperatuurcorrosie.
10. Het natriumgehalte wordt zeer sterk bepaald door de verontreiniging van de brandstof met zeewater.
11. De focus ligt hierbij op stikstof- (NO<sub>x</sub>) en zwaveloxide (SO<sub>x</sub>) en koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>).
12. Verbranding is een chemische reactie van een stof met de zuurstof uit de lucht.

## Hoofdstuk 8 Smering en smeersysteem

1. Smering is het verminderen van wrijving en slijtage door het aanbrengen van een smeermiddel tussen twee langs elkaar bewegende oppervlakken. Het smeermiddel is vaak een oliesoort of een vet, maar kan ook een vaste stof zijn zoals grafiet en in sommige gevallen een gas zoals b.v. lucht. Bij dieselmotoren is het gebruikelijke smeermiddel smeerolie.
2. De smeerolie kan ook gebruikt worden voor de bediening van de uitlaatkleppen of de omkeerinrichting.
3. De belangrijkste taken van die smeerolie zijn:
  - door smering verminderen van de wrijving;
  - afvoeren van de wrijvingswarmte;
  - beschermen tegen corrosie;
  - afvoeren van verbrandingsresten en slijtage deeltjes;
  - verbeteren van de afdichten van zuigerveren, klepgeleiders en keerringen;
  - dempen van geluid;
  - koeling van de zuigers.
4. Bespreking van de taken:

Door smering verminderen van de wrijving:

Door in een motor de bewegende delen van elkaar te scheiden door een dun laagje smeerolie, de smeeroliefilm, is er tussen deze delen geen contact van metaal op metaal, waardoor de wrijving sterk wordt verminderd.

Afvoeren van de wrijvingswarmte:

Omdat smeerolie een zekere viscositeit of dikvloeibaarheid heeft, treedt er bij de bewegende delen in de motor vloeistofwrijving op, daarnaast wordt de smeerolie in de motor ook opgewarmd door het verbrandingsproces. Omdat de smeerolie in staat moet zijn deze warmte af te voeren, wordt de olie afgekoeld in een smeeroliekoeler. Deze koeler, waarin de olie wordt afgekoeld tot de bedrijfstemperatuur van ca 60 °C is opgenomen in het LT-zoetwatersysteem.

Bescherming tegen corrosie:

De smeeroliefilm die aan de binnenkant van de motor ontstaat, beschermt het inwendige van de motor bij stilstand tegen corrosie.

Afvoeren van verbrandingsresten en slijtage deeltjes:

Verbrandingsresten en vuildeeltjes worden door de smeerolie, die door de motor circuleert, meegenomen en blijven in het smeeroliefilter achter.

Metaaldeeltjes worden daar door een magneet tegengehouden.

Verbeteren van de afdichting bij zuigerveren, klepgeleiders en keerringen:

Aan de binnenkant van de cilindervoering ontstaat een smeeroliefilm door de rondslingerende olie in de motor. Door deze smeeroliefilm, die in stand wordt gehouden door één of meerdere olieschraapveren, wordt de afdichting door de zuigerveren op de cilinderwand sterk verbeterd.

De speling tussen de klepsteel en de klepgeleider is zó gekozen dat er een oliefilm in stand kan worden gehouden. Deze oliefilm zorgt hier niet alleen voor de smering, maar ook voor de afdichting tussen klepsteel en geleider.

Dempen van geluid:

In de draaipunten van het motordrijfwerk; de zuigerpennen-, de kruishoofden en de krukpenmetalen, heeft een smeeroliefilm een geluiddempend effect bij de plotselinge druktoename, die in het drijfwerk wordt veroorzaakt door de arbeidsslag. Bovendien voorkomt de smeeroliefilm, gedurende de arbeidsslag, direct contact van metaal op metaal in de draaipunten.

Koeling van de zuigers:

Zuigers kunnen worden gekoeld door smeerolie tegen de binnenkant van de zuigerbodem te spuiten. Bij langzaamlopende 2-slagmotoren is de zuiger hol uitgevoerd en wordt er smeerolie, als koelmiddel, door de zuiger gepompt. De toe- en afvoer van de koelolie gaat via de holle zuigerstang en telescooppijp of zwaaiarm/ scharnierende pijp.

5. Vloeibare brandstoffen en smeeroliën zijn beide afkomstig uit aardolie.
6. Nadat de smeerolie via de smeernippels op het loopvlak van de cilinder is gebracht, verricht het gedurende korte tijd zijn smerende functie en verdampt en verbrandt dan. Hier is het verdampen en daarna de mate van brandbaarheid van de olie een belangrijke eigenschap.
7. Een nadeel van vrijwel alle natuurlijke oliesoorten is dat ze gemakkelijk verzuren en ranzig worden, zoals dat van eetbare oliesoorten bekend is. Na verzuren kunnen ze metalen aantasten, dik worden, soms ook erg dun, maar in ieder geval ongeschikt worden voor smering.
8. De smerende eigenschappen van minerale smeeroliën zijn, tenminste als er niets aan gedaan wordt, slecht. Door het toevoegen van dopes is men er in geslaagd de minerale smeerolie elke gewenste eigenschap te geven.
9. Een dope of additief is een stof, die door zijn aanwezigheid de eigenschappen van een smeerolie verandert, zonder zelf een smeermiddel te zijn.
10. Naar de samenstelling worden smeeroliën onderscheiden in paraffinische en naftenische oliën.
11. De eigenschappen die smeerolie moeten bezitten zijn:
  - Viscositeit
  - Stolpunt
  - Oxidatiebestendigheid
  - Base Number (neutralisatiegetal)
  - Viscositeit index
  - Vlampunt.
12. Voor viscositeit worden verschillende uitdrukkingen gebruikt, zoals een maat voor taaiheid, de stroperigheid of de dikvloeibaarheid van een vloeistof.



13. De viscositeit kan op twee manieren worden uitgedrukt:

- De dynamische viscositeit  $\eta$  (êta), die wordt gemeten met een mechanische viscositeitsmeter en wordt uitgedrukt in poise (P) of centipoise (cP);
- De kinematische viscositeit  $\nu$  (nu), die wordt gemeten door een vastgesteld volume vloeistof door een nauwe buis te laten stromen onder invloed van de zwaartekracht, waarbij de uitstroomtijd van de olie wordt gemeten. Aan de hand van een formule wordt vervolgens de kinematische viscositeit berekend waarbij deze wordt uitgedrukt in  $\text{mm}^2/\text{sec}$ .

14. De viscositeit van smeerolie moet hoog genoeg zijn om in een motor, tijdens bedrijfsomstandigheden, een voldoende dikke smeeroliefilm in stand te houden. Als de viscositeit te hoog is, leidt dit tot meer wrijving in de smeeroliefilm, en meer warmteontwikkeling. Wanneer de viscositeit te laag is, wordt de smeeroliefilm te dun, wat tot schade aan de motor kan leiden.

15. Het SAE-getal zegt alleen iets over de viscositeit van de olie bij  $100\text{ }^\circ\text{C}$ .

16. Bij winterse omstandigheden, waarbij een auto-accu soms nog maar 60% van zijn vermogen levert, is het van belang dat een smeerolie niet te taai is. De SAE heeft daarom ook winterreizen voor de viscositeit ontwikkeld, aangeduid door een getal gevolgd door de hoofdletter W.

17. Op de verticale as is de viscositeit van de olie uitgezet in  $\text{mm}^2/\text{s}$  (cst), terwijl op de horizontale as de temperatuur is weergegeven in graden Celsius. Duidelijk is te zien dat de viscositeit nu niet door een lijn wordt weergegeven maar door een balk. De breedte van de balk geeft aan dat de viscositeit bij eenzelfde temperatuur een maximum- en een minimumwaarde heeft.

18. Als smeerolie warmer wordt, dan wordt de olie dunner. Het tegenovergestelde gebeurt wanneer de olie kouder wordt; de olie wordt dikker. De viscositeitsindex geeft eigenlijk het verloop van de viscositeit weer als functie van de temperatuur. Hoe minder de viscositeit verandert bij wijzigende temperatuur hoe hoger de viscositeitsindex is.

19. SAE15 is een multigrade-olie die ook bij lage temperatuur beter vloeibaar is.

20. Dit is de temperatuur waarbij de smeerolie een vaste vorm aan gaat nemen. Naarmate een olie meer paraffine bevat wordt het stolpunt hoger. Voor smeerolie voor hoofd- en hulpmotoren is het stolpunt van weinig belang.

21. De toevoegingen in de smeerolie die zuur kunnen neutraliseren, zijn de zogenaamde basische, ook wel alkalische, toevoegingen. De toevoeging die hiervoor wordt gebruikt is kaliumhydroxide (KOH), in *Voortstuwingsinstallaties* abusievelijk calciumhydroxide genoemd.

22. De hoeveelheid KOH, een maat voor de alkaliteit van de smeerolie, wordt weergegeven in het neutraliteitsgetal of TBN (Total Base Number). De gewenste waarde van de TBN is afhankelijk van de gebruikte brandstof.

23. De gewenste waarde van de TBN is afhankelijk van de gebruikte brandstof. Voor een motor op gasolie ligt de waarde van het TBN getal tussen 4 en 6, voor een motor op zware olie ligt het TBN getal tussen 30 en 55.
24. In plaats van TBN wordt tegenwoordig ook de kortere naam BN gebruikt. Na verloop van tijd neemt de hoeveelheid KOH in smeeroil af.
25. Door het toevoegen van dopes kunnen bepaalde eigenschappen van een olie verbeterd worden; het is zelfs mogelijk eigenschappen aan een olie toe te voegen, die de olie zelf niet heeft.
26. Enkele dopes zijn:
- anti-oxidanten
  - anti-corrosiedopes
  - oplosdopes (detergents)
  - anti-schuimdopes
  - hechtingsdopes (of oilinessdopes)
  - VI-verbeteraars
  - EP-dopes.
27. Anti-oxidanten:  
De diverse dopes uit de groep anti-oxidanten hebben als eigenschappen gemeen, dat ze de oxidatie van de olie door zuurstof verhinderen of verminderen.
- Anti-corrosiedopes:  
Corrosie in een smeeroiliesysteem kan optreden door de aanwezigheid van zure producten. Deze kunnen afkomstig zijn van de oxidatie van de smeeroil in het systeem, ze kunnen ook gevormd zijn uit zwavelzuur of zwaveltrioxide uit de verbrandingsruimte. Dit laatste is met name het geval als er zwavelhoudende brandstof verstoekt wordt in een trunkzuigermotor. Om het zuur te neutraliseren worden basen ingezet.
- Oplosdopes:  
Bij dieselmotoren in het algemeen, maar bij trunkzuigermotoren in het bijzonder, kunnen er koolstofdeeltjes uit de verbrandingsruimte in de smeeroil terecht komen. Een oplosdope kan koolstofdeeltjes in smeeroil zwevend maken en houden, zodat ze niet samenklonteren, maar klein blijven. Deze kleine deeltjes hebben veel tijd nodig om neer te slaan, waardoor ze feitelijk in de olie blijven zweven.
- Anti-schuimdopes:  
Bellen in olie, veroorzaakt door bijvoorbeeld klutsen, knappen vroeg of laat. Knappen ze niet, dan ontstaat er een schuimlaag die de ruimte boven de olie voor een deel vult waardoor de olie niet kan bezinken. Wanneer dit zo ver doorgaat dat de smeeroilpomp olie met luchtbellen aanzuigt, gaat de persende werking van de pomp verloren omdat lucht samendrukbaar is. Door het toevoegen van anti-schuimdopes worden de gevormde luchtbellen in de olie snel afgebroken.
- Hechtings- of oilinessdopes:  
De mate waarin een smeeroil zich aan het oppervlak van lager en as hecht, werd vroeger wel het smerend vermogen genoemd. Deze

hechting is vooral van belang in gevallen waarin de smeeroelaag of film verbroken dreigt te worden. Een paraffinische smeeroelie heeft een slechter hechtend vermogen dan een naftenische olie. Waar een goed hechtend vermogen een eis is, zoals bij cilinderolie, wordt daarom in de eerste plaats een naftenische olie gekozen. Met een oilinessdope kan echter vrijwel elk gewenst hechtend vermogen verkregen worden, ook bij paraffinische smeeroeliesoorten.

VI-verbeteraars:

De viscositeit van smeeroelie verandert met de temperatuur. VI (viscositeit index)-verbeteraars zorgen dat de viscositeit minder verandert bij temperatuursverandering.

EP-dopes:

In gevallen waarin de smeeroeliefilm verbroken wordt of bijna verbroken wordt treedt contact op van metaal op metaal. Onder normale omstandigheden is dat het begin van het zogenaamde 'vreten', een proces waarbij beide oppervlakken steeds ruwer worden en er op zijn minst sterke slijtage optreedt. Een EP-dope (extreme pressure) zorgt ervoor dat er een gladde, beschermende laag op het metaal gevormd wordt.

28. Het verloop van de smeeroelie-eigenschappen wordt in sterke mate bepaald door de aard van het gebruik:

- In de lagers van een dieselmotor die langdurig aan zware belasting is blootgesteld treedt er sneller veroudering van de olie op.
- Als de smeeroelie ook gebruikt wordt voor zuigerkoeling, versnelt dit ook het verouderingsproces.
- Bij een motor die vaak maar korte periodes in bedrijf is, dus relatief koud blijft, kan er inwendig condensvorming optreden. Hierdoor kunnen water en zure verbrandingsproducten in de smeeroelie terechtkomen.
- Bij een onvolledige verbranding in een of meerdere cilinders kan er koolstof in de smeeroelie komen.
- Bij een lekkage in het brandstofsysteem kan de smeeroelie verdund worden door de brandstof.
- Als motor op HFO draait en er treedt lekkage op in het brandstofsysteem wordt smeeroelie dikker.

29. De minimale filmdikte bij volle filmsmering moet minstens 10 micron zijn, daarom moeten alle vuildeeltjes die groter zijn uit de smeeroelie verwijderd worden. Dit kan door filtreren en bij grotere installaties door filtreren en centrifugeren.

30. Door regelmatig een smeeroeliemonster te nemen en in een laboratorium te laten onderzoeken kan het verloop van de van belang zijnde eigenschappen van de olie nauwlettend in het oog worden gehouden.

31. Door in de haven als de hoofdmotor gestopt is de centrifuge bij te laten staan kan de conditie van de smeeroelie vaak aanmerkelijk verbeterd worden, omdat dan ook de toevoer van vuil tijdelijk stopt.

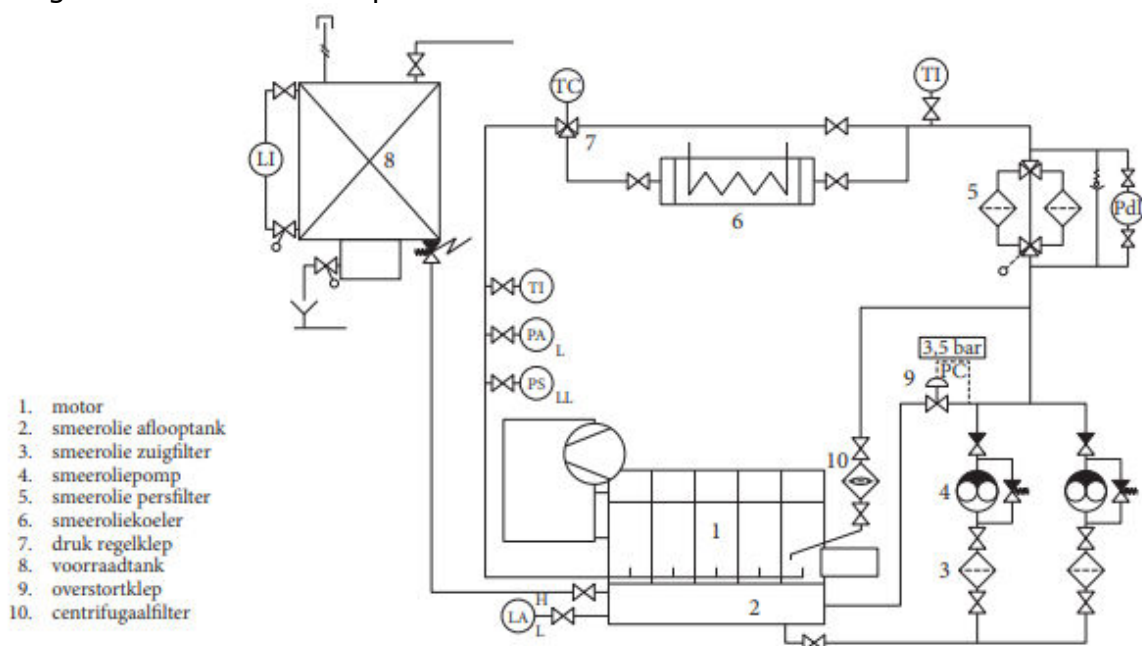
32. De tests die aan boord uitgevoerd kunnen worden zijn: het bepalen van de viscositeit en op het watergehalte. De kwaliteit van de smeeroelie van een

motor kan nooit visueel worden bepaald. Met andere woorden, je kan nooit aan een smeeroliemonster zien of de olie nog goed is. Daarvoor moet de olie geanalyseerd worden in een hiervoor ingericht laboratorium.

33. Het tijdstip van de analyse, dit gaat meestal op draaiuren, staat aangegeven in het onderhoudsschema van de motor. Gebruikelijker is een vast interval van bijvoorbeeld om de drie maanden. Het smeeroliemonster moet een zo goed mogelijk gemiddelde van de in het smeeroliesysteem aanwezige olie zijn. De snelheid waarmee het monster getrokken wordt moet aangepast zijn aan de hoeveelheid olie in het systeem en de circulatiesnelheid van de olie door het systeem en de plaats van monsternamen. De plaats om het monster te nemen is na de pomp (nooit direct na een fijnfilter) tijdens het bedrijf en uit een speciaal voor dit doel aangebracht proefkraantje. De proefkraan moet eerst even doorlopen. Gebruik alleen een door het laboratorium verstrekt en gesealde monsterfles, met het bijbehorende label. Dit label moet worden ingevuld met alle relevante gegevens.
34. De smeerolie wordt in het laboratorium onderzocht op de volgende eigenschappen:
- viscositeit;
  - water;
  - base number;
  - onoplosbaar in normaal heptaan;
  - vlampunt (flash point).
35. Deze punten in de aanbeveling kunnen zijn:
- Olie dient gecentrifugeerd te worden.
  - De olie kan verder gewoon worden gebruikt.
  - Olie dient ververst te worden.
36. De gegevens uit het analyserapport kunnen worden vergeleken met de afkeurgegevens, zoals die zijn verstrekt door de motorfabrikant. Aan de hand daarvan kan worden bepaald of de aanbevelingen van het laboratorium moeten worden opgevolgd. Door de testrapporten te bewaren en te koppelen is ook een trend te bepalen.
37. Bij smering van draaiende delen kunnen verschillende situaties worden onderscheiden voordat de volle-filmsmering is bereikt:
- in aanloop naar smering; droge wrijving;
  - grenssmering;
  - volle-filmsmering.
38. Wanneer twee metalen onderdelen elkaar voortdurend raken, treedt er wrijving op. Deze wrijving wordt ook wel metallisch contact genoemd. Dit metallisch contact is een droge wrijving tussen metalen.
39. Bij grenssmering treedt er nog veelvuldig contact op tussen de beide loopvlakken. Zowel wrijving als slijtage zullen hoog zijn, omdat de scheiding van de loopvlakken slecht is. Door de ruwheid van de loopvlakken haken ze op microschaal veelvuldig in elkaar.

40. Wanneer de smeerfilm dikker wordt, er meer laagjes smeermiddel "op elkaar gestapeld" zijn, zal de afstand tussen de loopvlakken zodanig worden vergroot dat contact nog wel plaatsvindt, maar niet meer zo frequent. Die situatie wordt aangeduid met gemengde smering. Bij de draaiende onderdelen van een dieselmotor is volle filmsmering het meest ideaal, omdat er dan geen slijtage optreedt en er relatief weinig wrijving is.
41. Volle filmsmering kan op twee verschillende manieren worden bereikt, namelijk door hydrodynamische smering en hydrostatische smering.
42. Bij hydrodynamische smering ontstaat de drukopbouw in de smeeroliefilm, doordat de olie van bovenaf tussen de as en de lagerschaal wordt getrokken. Bij hydrostatische smering wordt de drukopbouw in de smeeroliefilm verkregen door de smeerolie onder hoge druk in het lager te persen.
43. Grenssmering ontstaat in situaties waarbij het niet mogelijk is een ononderbroken smeerfilm te behouden. Doordat hierbij contact van metaal op metaal ontstaat, wordt de wrijving en de warmteontwikkeling bij draaiende assen veel groter dan bij hydrodynamische of hydrostatische smering. Deze soort smering moet dus altijd worden vermeden i.v.m. de hoge slijtage die dan op kan treden.
44. We onderscheiden bij scheepsdieselmotoren drie verschillende smeersystemen:
- circulatie van de smeerolie door de motor;
  - het cilindersmeersysteem;
  - circulatie van de smeerolie door een turbo.
45. De olietoevoer naar de hoofdaslagers van de krukas wordt afgetakt van de hoofdsmeerolieleiding die door de gehele motor loopt. De smeerolie naar de hoofdaslagers wordt toegevoerd via de bovenschaal van het lager. De olie verspreid zich in het hoofdaslager via een rondlopende groef in de onder- en bovenschaal en vormt een smeeroliefilm in het gehele lager. Een deel van de olie gaat via een boring in de krukas naar een rondlopende groef in het krukpen- of drijfstanglager. De toegevoerde olie zorgt voor de smering van het krukpenlager. De rondlopende groef in het lager staat via een aantal gaten in verbinding met de holle drijfstang. Een gedeelte van de olie stroomt door deze doorboorde drijfstang naar de zuigerpen, om ook dit lager van olie te voorzien. Daarna circuleert de olie door koelruimte van de holle zuigerkroon.
46. De olie wordt afgevoerd naar het carter via een pijpje met een orifice. Een orifice is een vernauwde opening om de druk in het smeeroliesysteem te handhaven.
47. De ruimte waarin de krukas ronddraait noemen we het carter van de motor. De smeerolie in het carter mag nooit zó hoog staan dat de krukas door de olie draait. Door het spetteren van de krukas en de drijfstangen door de olie kan er bij hoge toerentallen inwendig schade ontstaan, bovendien gaat de olie sterk vernevelen, wat te zien is aan de carterontluchting.

48. Bij grote motoren staat de olie niet in het carter, maar loopt naar een tank onder het carter, de sump- of aflooptank genoemd.
49. De zuigers van dieselmotoren die niet voortdurend maximaal worden belast zijn in staat de ontwikkelde warmte door geleiding af te geven aan de cilindervoeringen. Bij dieselmotoren die continu hoog belast worden is dat niet meer voldoende en moeten de zuigers extra worden gekoeld.
50. Het gebruik van smeeroilie voor het koelen van de zuigers bij kruishoofdmotoren heeft als voordeel dat, in vergelijking met water, lekkage van het koelmiddel naar de krukast geen problemen oplevert. Kwetsbare telescooppijpen voor de toe- en afvoer van het koelwater naar de zuigers zijn in dit geval overbodig.
51. Het nadeel van het gebruik van smeeroilie als koelmiddel is dat smeeroilie, als gevolg van een lagere opname capaciteit minder goede koeleigenschappen heeft. Er moet meer dan twee maal zoveel smeeroilie als water worden rondgepompt om het zelfde koelresultaat te krijgen. Smeeroilie gaat bij een te grote verhitting koolvorming vertonen. De koolafzetting verhindert de warmteafgifte aan de smeeroilie, met als gevolg dat de olie te sterk wordt verhit en ook gedeeltelijk zal verkolen. Hierdoor ontstaat een opeenstapeling van koolafzetting aan de binnenzijde van de zuiger.
52. In een kleine dieselmotor zuigt de smeeroiliepomp smeeroilie uit de aflooptank van de motor. De pomp perst de olie onder een druk van 3,0 bar naar het beschermend duplex persfilter. Na het filter gaat een gedeelte van de olie, afhankelijk van de temperatuur, via de automatische regelklep door de smeeroilievoeler. Het restant van de olie gaat via de omloopleiding of bypass naar de hoofdmotor. De aflooptank kan worden bijgevuld vanuit de olievoorradetank. Tegen onnodig weglekken is de voorradetank voorzien van twee afsluiters, één aan voorradetank en één aan de aflooptank. Een veerbelaste overstortklep opent bij een te hoge druk, waarbij de olie wordt afgevoerd naar de aflooptank.



53. Bij kruishoofdmotoren is het gedeelte van de cilindervoering geheel afgesloten van het carter. Door deze constructie is het nodig om de cilindervoering apart te smeren.
54. De olieschraapveer schraapt de overtollige olie van de cilindervoering af. Het is meestal de onderste zuigerveer. Met teveel olie op de cilinderwand kunnen de veren vastkoeken. De schraapveer/afstrijkveer zit direct onder de compressieveren (onderste veer).
55. Als spatsmering niet voldoende is, wordt door een cilindersmeerapparaat aparte cilindersmeerolie via smeernippels op de voering toegelaten.

## *Hoofdstuk 9 Motorkoeling en koelsystemen*

1. In de verbrandingsruimte van een dieselmotor kan tijdens de verbranding van het gasmengsel de temperatuur oplopen tot 1600 °C. Bij deze hoge temperatuur worden grote hoeveelheden warmte overgedragen aan de zuigers, cilinderdeksels en cilindervoeringen.
2. Er wordt door geleiding, maar ook door straling, grote hoeveelheden warmte overgedragen aan de zuigers, cilinderdeksels en cilindervoeringen. Om een aanzienlijke vermindering van de materiaalsterkte en thermische vervorming van deze motoronderdelen te voorkomen, moeten ze worden afgekoeld.
3. Deze onderdelen zijn:
  - het bovengedeelte van de cilindervoeringen;
  - de cilinderdeksels;
  - zittingen van de uitlaatkleppen en de verstuivers bij mediumspeed-motoren;
  - de zuigerkronen;
  - de uitlaatklephuizen, bij grote langzaamlopende 2-slagmotoren ook de uitlaatklepschotels;
  - het gedeelte van de brandstofkleppen rond verstuivers (bij zware olie als brandstof);
  - de uitlaathuizen van de turbo's maar bij moderne turbo's worden de gasuittredehuizen lang niet altijd meer gekoeld;
  - de leibanen bij kruishoofdmotoren;aanvullend: ook wordt de spoel- en verbrandingslucht bij motoren met drukvulling gekoeld.
4. De toegepaste koelmiddelen kunnen zijn:
  - zoetwater;
  - zeewater, maar niet meer rechtstreeks in de motoren, de zogenaamde directe koeling;
  - smeeroilie;
  - lucht;
  - koelvloeistof.
5. zoetkoelwater
  - voordeel: goede koeleigenschappen
  - nadeel: in gesloten systeem beperkt aanwezig
  - voorbeeld: cilinderkoelwatersysteem (directe koeling)

zeewater

  - voordeel: ruime mate en altijd aanwezig, goede koeleigenschappen
  - nadeel: corrosief, ketelsteen, zand, pokken
  - voorbeeld: indirecte koeling voor een aantal koelers (warmtewisselaars), smeeroilie koeler, luchtkoeler, cilinderkoelwaterkoeler



#### smeerolievoordeel

- voordeel: smerend, overal te gebruiken in de motor
- nadeel: minder koeleigenschappen dan water, bij te warm worden verbrandt het
- voorbeeld: drijfwerk van de motor (krukas, drijfstang, zuiger)

#### lucht

- voordeel: ruime mate aanwezig
- nadeel: slechte koeleigenschappen
- voorbeeld: ventilator op elektromotor, lucht die langs de kleppen stroomt, luchtgekoelde startluchtcompressor

6. Men laat het koelwater circuleren in een systeem dat geheel gesloten is en dat wordt gevormd door de leidingen, afsluiters, pompen en warmtewisselaars van het koelwatersysteem en door de koelruimten van de te koelen onderdelen. Omdat zoetwater aan boord van een zeeschip niet onbeperkt voorradig is, is het altijd een gesloten systeem.
7. Zeewater wordt niet direct voor koeling van motoronderdelen gebruikt wegens de volgende bezwaren:
  - door het hoge percentage mineralen in het zeewater zal bij verhitting boven 52 °C ketelsteenvorming plaatsvinden, waardoor de warmteoverdracht wordt belemmerd;
  - het hoge zout- of chloridegehalte van het zeewater veroorzaakt ernstige corrosie van de te koelen motoronderdelen;
  - in het zeewater zwevend slib zal de nauwe koelwaterdoorgangen gaan verstoppen;
  - de overal in het zeewater aanwezige kleine schaaldiertjes zullen na enige tijd ook in de grotere koelwaterdoorgangen verstoppingen veroorzaken.
8. Ook lucht kan gebruikt worden voor zowel directe als indirecte koeling. Bij directe koeling strijkt de koellucht langs de motor die dan voorzien is van koelribben. Bij indirecte koeling wordt gebruikgemaakt van (cilinder)koelwater, wat dóór een radiator wordt geleid.
9. Een belangrijke functie van smeerolie is met zo weinig mogelijk onderlinge wrijving de langs elkaar bewegende machineonderdelen te laten werken, op die manier de slijtage te verminderen en om de motor soepel, dus efficiënt, te laten lopen. Een tweede belangrijke functie is dat smeerolie overtollige, voor een goede werking van de motor schadelijke warmte afvoert.
10. Zeewater wordt wél gebruikt als koelmiddel voor het LT-koelwater, HT-zoetwater en smeerolie.
11. Het gebruik van smeerolie voor het koelen van de zuigers van kruishoofdmotoren heeft als voordeel dat, in vergelijking met water, lekkage van het koelmiddel naar de krukkast geen problemen oplevert. Kostbare en kwetsbare telescooppijpen voor de toe- en afvoer van het koelwater naar de zuigers zijn in dit geval overbodig.

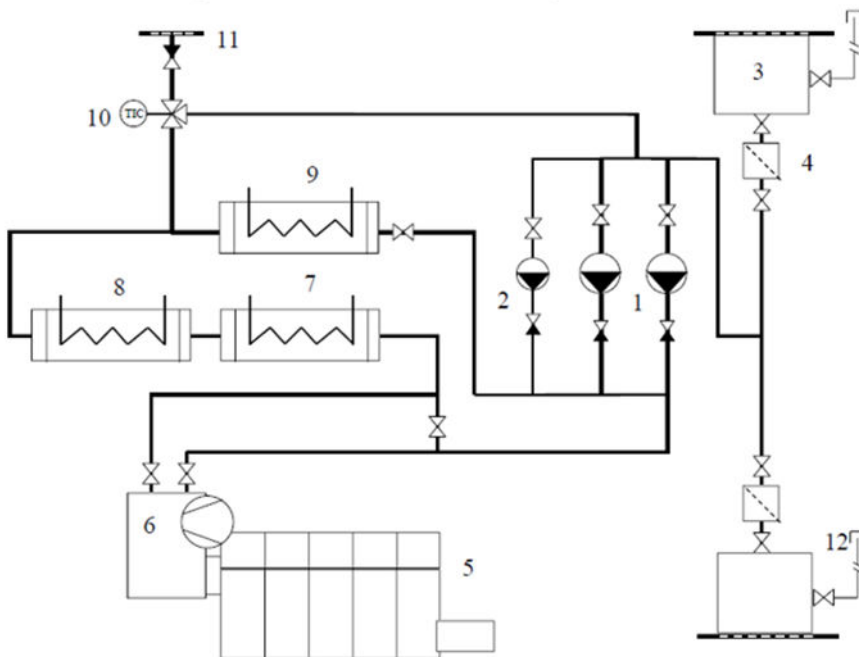
12. Een belangrijk nadeel van het gebruik van smeeroilie als koelmiddel is dat smeeroilie als gevolg van een lagere warmteopnamecapaciteit – de soortelijke warmte van smeeroilie is ongeveer  $1,95 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$  – minder goede koeleigenschappen heeft. Er moet dan ook, meer dan tweemaal zoveel smeeroilie worden rondgepompt dan water, om hetzelfde koelresultaat te krijgen!  
Een ander nadeel is, dat smeeroilie bij een te hoge temperatuur overgaat tot koolvorming, bijvoorbeeld aan de onderzijde van de zuigerkroon. Deze koolvorming verhindert de warmteafgifte aan de smeeroilie, waardoor er minder en uiteindelijk helemaal geen warmteoverdracht meer plaatsvindt. De zuigerkroon raakt oververhit. Door de oververhitting kan deze aan de buitenzijde inbranden.
13. Een vorm van luchtkoeling wordt bij motoren met drukvulling gebruikt in het arbeidsproces. De spoelperiode – de tijd dat de in-en uitlaatklep gezamenlijk openstaan – wordt gebruikt om met de toegevoerde spoellucht de delen rondom de verbrandingsruimte, een gedeelte van de cilindervoering, de zuigerkroon, de in-en uitlaatkleppen en de zittingen te koelen met de langs strijkende lucht.
14. De zeekoelwaterpomp (1), waarvan er twee aanwezig zijn en er één stand-by staat op afbeelding 9.1, zuigt via de zeeinlaatkast en een groffilter het zeewater aan en perst dit door de centrale koeler (2) en de cilinderkoelwaterkoeler (3) via een afsluiter overboord.
15. Een van de twee zoetkoelwaterpompen (4) zuigt het koelwater aan vanuit de buffertank (13) en perst dit door de centrale koeler (2). Het in temperatuur verlaagde koelwater gaat vervolgens door de luchtkoelers van de hoofdmotor (5) en daarna via de smeeroiliekoeler van de hoofdmotor (6), de verstuiverkoelwaterkoeler (7), de smeeroiliekoeler van de tandwielkast (8) en de hulpkoeler (9) via de ontlufter (12) weer terug naar de expansietank (13).
16. Bij het gescheiden cilinderkoelwatersysteem van de hoofdmotor zuigt ook een van de twee cilinderkoelwaterpompen (10) het koelwater aan vanuit de expansietank (13). Een gedeelte van het koelwater gaat via een thermostatische geregelde klep (11) door de cilinderkoelwaterkoeler naar een verdeelleiding, die langs de gehele motor loopt, aan de onderzijde van de cilindervoeringen de koelruimte binnen en verlaat, ook weer via een verzamelleiding op de cilinderdeksels, de motor aan de bovenzijde. Eventuele luchtbelletjes in het koelwater kunnen ontsnappen via een ontlufter (12). Het koelwater dat via de ontlufter (12) ontwijkt komt terug in de zuigleiding van de cilinderkoelwaterpompen (10). Het niveau in de buffertank kan worden gecontroleerd via een peilglas.
17. Door het koelwater van onder naar boven te laten circuleren is er de minste kans op luchtbelvorming in de koelwaterruimte. Bovendien verloopt de stroming op deze manier via natuurlijke circulatie; warm water heeft een lagere soortelijke massa dan koud water en stijgt dus op.
18. Het doel of de functie van de expansietank is het opvangen van de volumetoename van het zoetkoelwater bij het stijgen van de temperatuur.

19. Het niveau in de expansietank kan worden gecontroleerd via een peilglas. Eventueel verlies aan koelwater kan worden bijgevuld via een zoetwater suppletieleiding op de expansietank, ook kunnen hier als er geen andere mogelijkheid is chemicaliën aan het water worden toegevoegd.
20. Bij een gesloten koelsysteem waarbij het koelmiddel wordt gekoeld door een ander koelmedium – zeewater of lucht – spreken we van indirecte koeling. Wanneer zeewater direct de motor koelt, zonder zelf gekoeld te worden, spreken we van directe koeling. Directe koeling wordt nauwelijks nog toegepast.
21. Bij grotere motoren kan het zoetkoelwatersysteem worden verdeeld in een gedeelte met een hoge temperatuur (HT) en een gedeelte met een lagere temperatuur (LT).
22. Met de hete delen van hoofd- en hulpmotoren worden de cilindervoeringen en de cilinderdeksels bedoeld.
23. Bij zowel de langzaamlopende 2-slag- als bij de middelsnellopende 4-slagmotoren doen zich de volgende vernieuwingen voor:
- door intensieve koeling van de hete machinedelen met heet water komt er per MW geleverd vermogen minder warmte vrij, maar bij een aanzienlijk hogere temperatuur;
  - door intensieve koeling met heet water van ca 120 °C, van de cilindervoeringen en cilinderdeksels, is extra koeling van deze delen met spoellucht niet meer nodig, waardoor de spoelluchtvermaat verkleind wordt. Hierdoor neemt het warmteverlies met de uitlaatgassen af, stijgt het rendement van de motor en neemt de gemiddelde uitlaatgassentemperatuur toe;
  - vanwege de steeds slechtere brandstofkwaliteit wordt de vullucht minder ver afgekoeld, maar door de steeds hogere vuldrukken wordt de af te geven compressiewarmte in de luchtkoeler steeds groter, waardoor er meer warmte vrijkomt, echter wel bij een hogere temperatuur;
  - door de geringere spoelluchtvermaat en het sterk verbeterde rendement van drukvulgroepen is er bij vollast als het ware een overschot aan uitlaatgassen.
24. Voor het hulpbedrijf aan boord bieden deze ontwikkelingen de volgende mogelijkheden:
- het gebruik van een tweetraps verdamper in plaats van een eentraps door het veel warmere motorkoelwater;
  - het gebruik van warmte uit de luchtkoeler voor het verwarmingssysteem aan boord, zowel voor de verblijven als voor de zware brandstof;
  - met behulp van de warmte uit de luchtkoeler of het motorkoelwater, het vormen van lagedrukstoom, voor verwarmingsdoeleinden en voor het aandrijven van een stoomturbine;
  - met behulp van warmte uit de uitlaatgassen, het vormen van stoom van hogere druk, voor het aandrijven van een stoomturbine. De turbine kan op de schroefas gekoppeld worden of een generator aandrijven;

- het gebruik van de overtollige uitlaatgassen in een extra gasturbine, die op de schroefas gekoppeld kan worden of een generator aandrijft;
- het gebruik van asgeneratoren, al of niet opschakelbaar of voorzien van variabele aandrijving;
- alle denkbare combinaties van deze eerder genoemde mogelijkheden.

## 25. Een eenvoudig zoutkoelwatersysteem.

- |                            |                                       |
|----------------------------|---------------------------------------|
| 1. zoutkoelwaterpompen     | 7. smeeroliekoeler                    |
| 2. haven zeekoelwaterpomp  | 8. zoetkoelwaterkoeler                |
| 3. zeeinlaatkasten         | 9. zoetkoelwaterkoeler hulpwerktuigen |
| 4. zeeinlaatfilter         | 10. thermostatisch bestuurd regelklep |
| 5. hoofdmotor              | 11. zeekoelwater overboordafsluiter   |
| 6. verbrandingsluchtkoeler | 12. ontluchting zeeinlaatkasten       |



26. De cross-overleiding vormt een verbinding tussen de BB en SB zeeinlaatkasten.

27. De zeeinlaatkasten zijn aan de inlaatzijde voorzien van een wierrooster van zeewaterbestendig brons of van RVS. Dit rooster bestaat uit een raamwerk met langsscheeps lopende spijlen. Door deze langsscheepse stand spoelt het vuil tijdens de vaart gemakkelijk weg. Bij dwars op de vaarrichting staande spijlen zal tijdens de varen het water moeilijker aanstromen.

28. Als de overboordafsluiters boven het schottendek zitten, mogen ze uitgevoerd worden met vaste klep; zitten ze onder het schottendek dan moeten de afsluiters zijn voorzien van een losse klep.

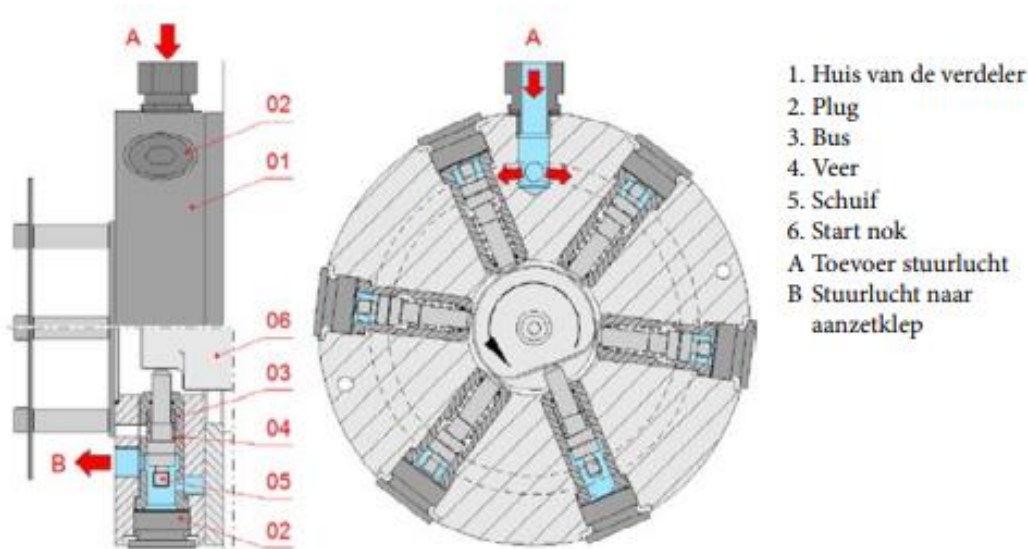
29. Door in de koelwateruitlaat een thermostatische klep of temperatuurregelaar te plaatsen, kan bij een lage zeewatertemperatuur een deel van het zeekoelwater opnieuw circuleren via de leiding die is aangesloten op de zuigleiding van de zeekoelwaterpompen, zodat binnenboord de temperatuur van het zeekoelwater bijvoorbeeld op +20 °C gehouden wordt.

30. De cross-overleiding heeft aan één zijde een zogenaamde hoge zuig en aan de andere zijde een lage zuig. De hoge zuig kan gebruikt worden in ondiep water of bij ijsgang, waarbij de lage zuig gesloten wordt.
31. Van de zeekoelwaterpompen is één pomp voorzien van een directe zogenaamde noodlens. Deze noodlens kan bij noodgevallen via een lenskorf direct uit de machinekamer water aanzuigen.
32. Omdat in koelwater diverse verontreinigingen aanwezig kunnen zijn, moet het koelwater regelmatig gecontroleerd worden. Deze verontreinigingen kunnen in het koelwatersysteem ernstige afzetting van ketelsteen en corrosie veroorzaken.
33. Belangrijke waarde ten aanzien van de kwaliteit van het koelwater zijn:
- De pH, de zuurtegraad.
  - De hardheid van het water, vaak uitgedrukt in graden Duitse hardheid.
  - Het gehalte aan chloriden.
  - Het gehalte aan sulfaten.
  - Bij kleine motoren, in koude streken, een controle van de hoeveelheid antivries of koelvloeistof in het systeem.
34. De pH is afhankelijk van de temperatuur, dat wil zeggen als de temperatuur toeneemt dan neemt de pH af.
35. De pH moet een waarde hebben van circa 9,5 bij 25 °C om er zeker van te zijn dat het water in de motor tijdens bedrijf niet zuur wordt. Zuur water leidt tot ernstige corrosie.
36. Magnesium- en calciumverbindingen hebben de eigenschap dat ze de warmte slecht geleiden, het gevolg hiervan zal zijn dat de motor slechter gekoeld wordt en in het ernstigste geval oververhit raakt.
37. Als sulfaten, sulfieten en chloriden in het koelwater aanwezig zijn kunnen ze ijzer ernstig aantasten met als gevolg corrosie.
38. Om corrosie tegen te gaan wordt nitriet aan het koelwater gedoseerd.
39. Bacteriën kunnen in koelwater voorkomen, doordat bijvoorbeeld zout water gedoseerd is of ander vuil water.

## *Hoofdstuk 10 Startsystemen*

1. Verbrandingsmotoren moeten door een aparte startinrichting gestart worden omdat ze niet, zoals een elektromotor, op eigen kracht kunnen aanlopen.
2. Bij het starten van een motor moeten de wrijvingsweerstand en de eindcompressiedruk overwonnen worden. Deze gezamenlijke weerstand is sterk afhankelijk van het type motor, benzine- of een dieselmotor en de situatie op dat moment. Een warme motor zal gemakkelijker gestart kunnen worden dan een koude motor.
3. Er zijn diverse manieren waarop een verbrandingsmotor kan worden gestart:
  - met de hand aanslingeren;
  - met behulp van een elektrische - of een hydraulische startmotor;
  - met een hydraulische startinrichting;
  - met een veerstartmotor;
  - met behulp van samengeperste lucht.
4. Motoren die nog met de hand kunnen worden gestart zijn meestal benzinemotoren waarvan de eindcompressiedruk lager is dan van een dieselmotor. De eindcompressiedruk van een 4-slagbenzinemotor is maximaal 12 bar. Ook sloepmotoren kunnen soms met de hand gestart worden, deze hebben dan een decompressie-inrichting.
5. Om de druk in de cilinder(s) van een dieselmotor niet te hoog te laten oplopen, tijdens het aanslingeren, past men een decompressie-inrichting toe.
6. De startmotor is aan de voorzijde voorzien van een rondsel dat bij het starten in de vliegwieltand ingrijpt.
7. Een hydraulische startinrichting wordt veel toegepast bij noodstroomvoorzieningen, als back-up, bij uitval van de startaccu's.
8. Een veerstartmotor kan worden toegepast wanneer er geen elektrische energie beschikbaar is.
9. Een koudstartvoorziening is bedoeld om een dieselmotor onder alle omstandigheden te laten starten en dus ook onder winterse omstandigheden.
10. Om een dieselmotor onder alle omstandigheden te kunnen starten moeten er aan een aantal voorwaarden worden voldaan, die bovendien nog verschillen voor een direct- of een indirect ingespoten dieselmotor. Voor beide typen motoren moet de zelfontbrandingstemperatuur in de cilinder worden bereikt en moet er tevens een maximum hoeveelheid brandstof in de cilinder worden ingespoten. Als een motor met startlucht wordt gestart, moeten er voldoende cilinders zijn om altijd minimaal 1 cilinder in zijn aanzetboog te hebben.
11. Bij indirect ingespoten motoren – voorkamer- en wervelkamermotoren – is bij een koude motor de temperatuur van de gecomprimeerde lucht te laag om de ingespoten brandstof te laten ontbranden. Daarom zijn deze motoren altijd voorzien van een gloeibougie in de verbrandingskamer.

12. Starten met behulp van lucht kan op twee manieren gebeuren: met een luchtstartmotor en met samengeperste lucht die direct in de cilinder wordt toegelaten.
13. Voor de aandrijving van een luchtstartmotor maakt men gebruik van een luchtturbine of van een vaanmotor.
14. Luchtstartmotoren zijn voorgeschreven voor motoren in een omgeving met explosiegevaar. Alle Wärtsilä-motoren worden, als ze niet direct op de cilinder worden gestart, altijd met een luchtmotor gestart, onafhankelijk van de ruimte waarin ze zijn opgesteld.
15. Startlucht geeft een groot aanzetkoppel door hoge gemiddelde druk tijdens starten. Elektrische startmotoren zouden te groot zijn en te veel stroom trekken.
16. Een motor kan ook gestart worden met samengeperste lucht, die daarvoor in luchtvaten is opgeslagen. Deze samengeperste lucht wordt, via in het cilinderdeksel aangebrachte aanzetkleppen, gedurende de arbeidslag in de cilinders toegelaten. Door de expansie van de samengeperste lucht komt de cyclus van inlaatslag, compressieslag, enzovoort op gang.
17. Tijdens het starten van een motor moet natuurlijk wél voldoende energie worden geleverd om de weerstand van de wrijvingskrachten in machine en asleiding te overwinnen en de roterende delen te versnellen. De gemiddelde druk in de cilinders tijdens het aanzetten is vrij hoog. Omdat voor deze druk een waarde van 15 bar normaal is moet de druk van de aanzetlucht minstens 25 tot 30 bar bedragen. Motoren zijn meestal nog te starten op een druk in het vat van 12-15 bar.
18. De werking van de startluchtverdeler aan de hand van figuur 10.1 (volgende pagina) in het kort: Het huis (01) van de startluchtverdeler is aan het vrije eind van de motor gemonteerd. De negatieve start nok (06) is bevestigd aan het eind van de nokkenas. Als de motor moet worden gestart, en de toevoerafsluiter van de aanzetlucht naar de motor is geopend, wordt via een elektrisch bediende klep stuurlicht toegelaten via (A) naar de startluchtverdeler. De schuif (05) die door de veer (04) op de negatieve nok wordt gedrukt, laat stuurlicht via (B) toe naar de aangesloten aanzetklep. Deze wordt door de stuurlicht geopend, waarop de aanzetlucht de cilinder binnenstroomt. Door de expanderende aanzetlucht wordt de zuiger naar beneden geduwd, waarbij de motor op gang komt. De volgende schuif komt voor de negatieve nok waardoor er weer een cilinder met aanzetlucht wordt gevuld. De schuiven zijn rond de negatieve nok gegroepeerd in de verbrandingsvolgorde van de motor. Is de motor op gang gekomen, dan wordt de stuurlichttoevoer naar de startluchtverdeler afgesloten, waardoor de schuiven vrij kunnen bewegen.

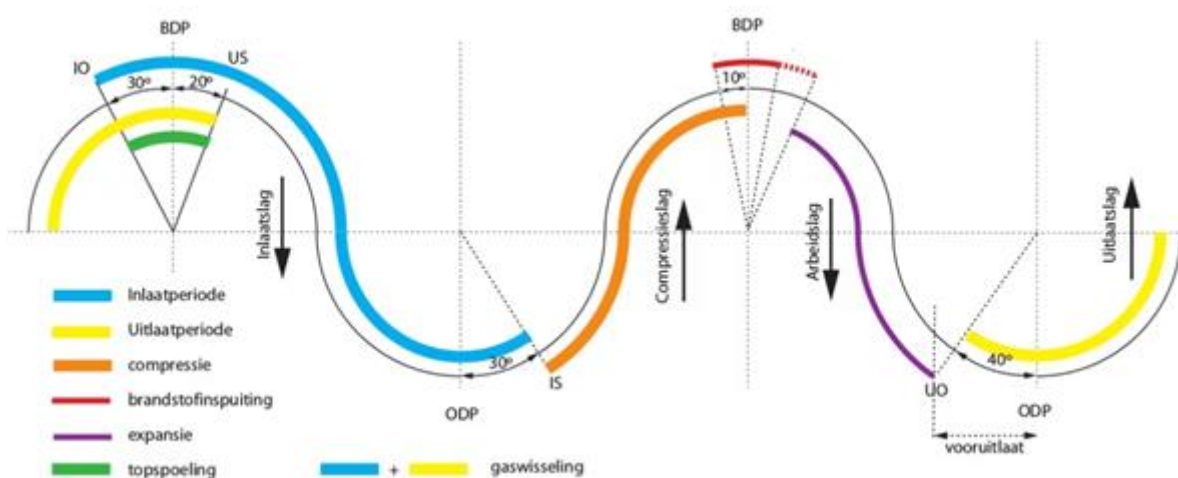


19. Het schepenbesluit, voor zover van toepassing, schrijft bij luchtvaten voor dat de startlucht of aanzetlucht die wordt opgeslagen in stalen luchtvaten voldoende groot moeten zijn, zodat de compressor tussentijds geen lucht hoeft bij te pompen. Bij een installatie met één direct omkeerbare voortstuwingsmotor moet de inhoud van de luchtvaten zó groot zijn dat de voortstuwingsmotor twaalf maal achtereenvolgens kan worden gestart, beurtelings vóór- en achteruit zonder dat er lucht wordt bijgepompt. Bij motoren met één draairichting moet er zes keer gestart kunnen worden.

20. Voor wat betreft de aanzetluchtcompressoren: er moeten twee aanzetluchtcompressoren aan boord zijn, die onafhankelijk van elkaar kunnen werken en die elk in maximaal een uur één luchtvat vanaf leeg tot op de toegestane werkdruk kunnen oppompen.

56

21. De periode waarover aanzetlucht wordt toegelaten in de cilinder noemt men de aanzetboog.



Doorlopen krukwegdiagram van een 4-slagdieselmotor.



22. In het doorlopen krukwegdiagram zoals dat is getekend in de afbeelding loopt de aanzetboog van  $0^\circ$  na top tot  $40^\circ$  voor het ODP. Om ervan verzekerd te zijn dat de aanzetlucht niet weglekt via de uitlaatklep moet de aanzetboog korter zijn. Ook begint men niet op  $0^\circ$ , om terugslaan te voorkomen. Meestal sluit de aanzetklep  $10^\circ$  voordat de uitlaatklep opent. In dit geval wordt de aanzetboog bij deze motor dan  $180 - (5 + 10 + 40) = 125^\circ$ .
23. Omdat een direct omkeerbare voortstuwingsmotor in alle standen aanzetbaar moet zijn, moeten de aanzetbogen elkaar overlappen.
24. Voor een 6-cilinder 4-slag dieselmotor met een verbrandingsvolgorde: 1-5-3-6-2-4 worden de aanzetluchtkleppen in dezelfde volgorde geopend.
25. Volgens het krukwegdiagram van een 2-slagdieselmotor opent de uitlaatklep,  $80^\circ$  voor ODP dus beduidend eerder dan bij een 4-slagmotor, waardoor ook de aanzetboog korter is. Als de aanzetluchtklep ook  $5^\circ$  na BDP opent, wordt de aanzetboog:  $180 - (5 + 10 + 80) = 85^\circ$ .
26. Om een 4-slagmotor in alle standen te kunnen starten, moet de som van de aanzetbogen van een aantal cilinders groter zijn dan de  $720^\circ$  die het 4-taktproces duurt.
27. Om een 2-slagmotor in alle standen te kunnen starten moet de som van de aanzetbogen groter zijn dan de  $360^\circ$  die het 2-slagproces duurt.
28. Het aantal cilinders dat een 4-slagmotor met een aanzetboog van  $125^\circ$  moet hebben om in alle standen aanzetbaar te zijn is  $720/125 = 5,76$ . Er zijn dus minimaal zes cilinders nodig.
29. Het aantal cilinders dat een 2-slagmotor met een aanzetboog van  $85^\circ$  moet hebben om in alle standen aanzetbaar te zijn is  $360/85 = 4,23$ . Dus minimaal 5 cilinders nodig.
30. Motoren die niet het vereiste aantal cilinders hebben om in elke stand aanzetbaar te zijn, moeten met de hand 'op stand getornd' worden. Dat wil zeggen dat bij één van de cilinders, de zuiger ná de arbeidslag, door het BDP wordt gezet. Omdat alle cilinders zijn voorzien van een aanzetklep, loopt de motor vervolgens gewoon aan.
31. De loop van de stuurlicht aan de hand van het schema in figuur 10.4: Door het openen van de afsluiters (3) op de luchtvaten (5) in het startlichtschema vult de aanzetlucht de aanzetluchtleiding (18) tot aan de hoofdluchtklep (16) en de aanzetluchtautomat (6). De klep van de aanzetluchtautomat (6) wordt op de zitting gehouden door een veer en door de aanzetlucht die via een kleine boring onder de zuiger kan komen. Wanneer men met het aanzethendel (17) de hoofdluchtklep (16) tegen de veerdruk in opent, stroomt de stuurlicht naar alle stuurschuiven (13) en ook naar de onderkant van de ontluchtingsschuif (15) waardoor deze wordt open gedrukt. De stuurschuiven (13) worden door de stuurlichtdruk op de bovenste zuiger op de nokken van de nokkenas gehouden. Bij het naar boven bewegen van de stuurschuif wordt de stuurlichtleiding ontlicht via de ontluchting (12).

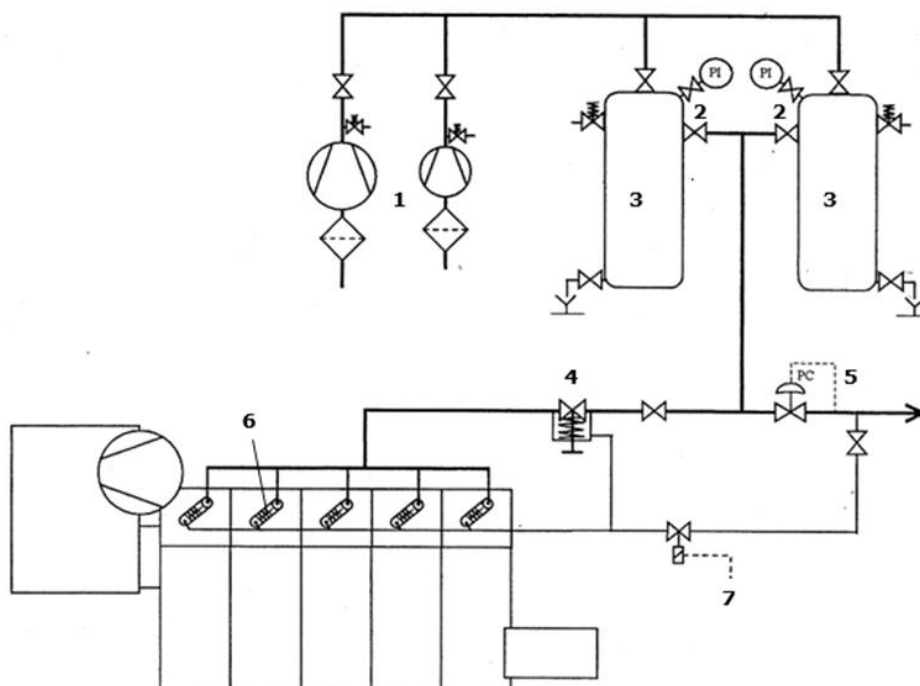
Staat de stuurschuif (13) van een van de cilinders door de negatieve nok in de onderste stand, dan kan de druk van de stuurlucht de betreffende aanzetklep (8) openen. Zet men het aanzethendel (17) weer terug in de beginstand, dan wordt de hoofdluchtklep (16) door de veerdruk gesloten. Hierdoor wordt het gehele stuurluchtsysteem tot aan de stuurschuiven ontlucht via de ontluchtingsopening in het huis van de hoofdluchtklep (16).

32. De loop van de aanzetlucht aan de hand van het schema in figuur 10.4: Wanneer men met het aanzethendel (17) de hoofdluchtklep (16) tegen de veerdruk in opent, stroomt de lucht naar alle stuurschuiven (13) en ook naar de onderkant van de ontluchtingsschuif (15) waardoor deze wordt open gedrukt. De lucht onder de zuiger, die de klep in de aanzetlucht automatisch (6) gesloten hield, kan hierdoor wegstromen en alle aanzetklephuisen (8) krijgen aanzetlucht toegevoerd. Staat de stuurschuif (13) van een van de cilinders door de negatieve nok in de onderste stand, dan kan de druk van de stuurlucht de betreffende aanzetklep (8) openen en stroomt de aanzetlucht de cilinder binnen. De zuiger wordt door de expanderende aanzetlucht naar beneden gedruwd en de motor komt op gang. Zolang men het aanzethendel (17) in de aanzetstand houdt, krijgt elke cilinder op het juiste moment aanzetlucht toegevoerd.

33. De druk van de stuurlucht is gelijk aan de druk van de aanzetlucht: 30 bar.

34. Tekening:

- |                                |                               |
|--------------------------------|-------------------------------|
| 1. startlucht compressoren     | 4. aanzetlucht automaat       |
| 2. afsluiters aanzetluchtvaten | 5. stuurlucht reduceer        |
| 3. aanzetluchtvaten            | 6. aanzetkleppen              |
|                                | 7. startsignaal brugbediening |



Eenvoudig aanzetluchtschema met brugbediening

Nadat in het aanzetluchtschema de afsluiters op de luchtvaten (3) handmatig zijn geopend, stroomt de aanzetlucht naar de aanzetlucht-automat (4) waardoor deze zal worden geopend. Indien nu met het startsignaal de afsluiter (7) in de stuurlichtleiding wordt geopend, stroomt er startlucht naar de aanzetkleppen (6). Gelijktijdig stroomt er ook stuurlicht naar de stuurschuiven van de aanzetkleppen. De stuurschuiven worden op de nokkenas gedrukt waardoor er bij één aanzetklep aanzetlucht wordt toegelaten in de cilinder en de zuiger van deze cilinder naar beneden wordt gedrukt. Nadat een vereist toerental is bereikt, wordt het startsignaal onderbroken waardoor de afsluiter (7) sluit. Omdat nu de stuurlichtdruk wegvalt naar de aanzetluchtautomat, wordt ook de aanzetluchttoevoer naar de aanzetkleppen gesloten en ontlucht de aanzetluchtautomat (4) zichzelf.

35. Als de stuurschuif wordt geopend door de negatieve nok wordt er stuurlicht toegelaten op de stuurzuiger van de aanzetklep. Hierdoor wordt de aanzetklep geopend en de aanzetlucht, met een druk van 30 bar, stroomt de cilinder in.

36. De toevoeropening is voorzien van een vlamdover om vlamdoerslag en daardoor een explosie in de aanzetluchtleiding te voorkomen.

37. Door de expansie van de aanzetlucht wordt de zuiger naar beneden geduwd.

38. Om te voorkomen dat er tegendruk op de stuurzuiger ontstaat, kan aanzetlucht die langs de stuurzuiger omhoog lekt, ontwijken via de ontluchting.

59

---

39. Werkzaamheden voor starten:

- Peil in de koelwaterexpansie controleren op eventuele koelwaterlekkage;
- Controleren of alle afsluiters in het koelwatersysteem openstaan;
- Controleren of de motor is voorverwarmd en op de juiste temperatuur is;
- Het smeeroliepeil in het carter controleren.
- Kijken of de smeeroliepomp op automatisch staat om deze direct te kunnen starten;
- Kijken of de pre- of voorsmeeroliepomp is gestart;
- Peil van brandstofdagtank checken;
- Controleren of het brandstofsysteem onder druk is gebracht en ontlucht en of de brandstof circuleert, die het systeem eventueel moet voorverwarmen;
- Checken of de motor een aantal keren is getornd om eventuele koelwaterlekkage op te sporen.

40. Bij grote, langzaamlopende motoren wordt het aanzetluchtsysteem beproefd door met open indicatorkranen "een klapje lucht" te geven. Dit wordt dan gecombineerd met het beproeven van de omzetbeweging door "het klapje lucht" in zowel de vooruitstand als in de achteruitstand te geven.

41. Het mag duidelijk zijn dat bij stand-by staande motoren de indicatorkranen gesloten zijn, de torn uit staat en de voorsmeerpomp op automatisch staat.

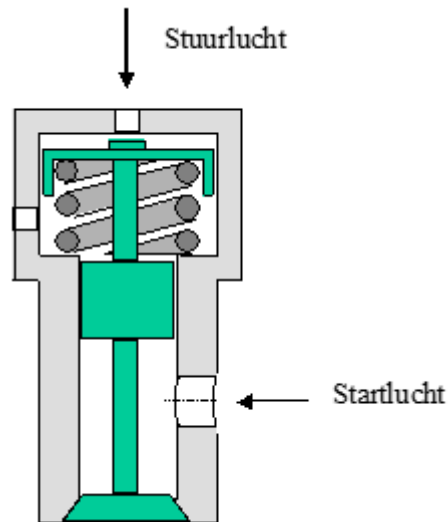
42. Er moet altijd wel gemanoeuvreerd worden, wat dus wil zeggen dat de motor hierdoor de gelegenheid krijgt om langzaam af te koelen, wat een voordeel is.

Na aankomst in een haven is het belangrijk dat de hoofdmotor voorverwarmd blijft.

43. Stoppen van de motor wil altijd zeggen dat de regelstangen van de hogedruk-brandstofpompen naar nul opbrengst worden bewogen. Zodra de hogedruk-brandstofpompen geen brandstof meer leveren stopt de motor. Uiteraard is het dan de afweging hoe de motor gestopt wordt, de meest motoren draaien tegenwoordig op zware olie. Als de motor kortstondig uit bedrijf moet of gaat, blijft de motor meestal op zware olie staan. Moet de motor voor langere tijd uit bedrijf, dan is het raadzaam de motor eerst over te zetten op dieselolie. Het leidingsysteem wordt dan gevuld met dieselolie, tevens zijn dan de brandstofpompen en de hogedrukleidingen naar de verstuivers doorgespoeld met dieselolie, wat het eventueel verrichten van onderhoud in de haven makkelijker maakt.
44. Motoren die direct aan een schroef zijn gekoppeld, waarvan de bladen niet verstelbaar zijn, moeten in twee richtingen kunnen draaien. Dit is om de stuwkracht van de schroef, tijdens manoeuvreren, vooruit of achteruit te laten werken.
45. De besturing van deze direct omkeerbare motoren moet dan zodanig zijn uitgevoerd dat:
  - de motor op lucht kan worden aangezet in twee draairichtingen;
  - de brandstofinspuitingen voor een gekozen draairichting op het juiste tijdstip beginnen;
  - het openen en sluiten van de in- en uitlaatkleppen van 4-slagmotoren en van de uitlaatkleppen van 2-slagmotoren met langsspoeling op de juiste tijdstippen kunnen plaatsvinden.
46. Om de motor in beide draairichtingen te kunnen starten, is meestal de nokkenas, die de stuurschuiven van de aanzetkleppen bedient, voorzien van twee stel nokken. Door de nokkenas over een korte afstand in langsricting te verschuiven komen de aandrijfrollen van de stuurschuiven boven de achteruitnokken te staan.
47. Bij 4-slagmotoren zijn voor de aandrijving van de brandstofpompen en van de in- en uitlaatkleppen eveneens twee stel nokken beschikbaar.
48. Een bijzonderheid bij sommige direct omkeerbare 4-slagmotoren is, dat ze niet over vier, maar slechts over drie in- en uitlaatkoppen per cilinder beschikken. Door het verschuiven van de nokkenas wordt de vooruit inlaatkop onder de rol van de uitlaatkopstootstang gebracht en de inlaatkop staat nu voor achteruitdraaien juist in de goede stand om dienst te doen als uitlaatkop. Een afzonderlijke achteruit inlaatkop wordt onder de rol van de inlaatkopstootstang geschoven.
49. 4-slagmotoren worden vaak via een tandwielkast aan de schroef gekoppeld. Omkeerinrichtingen bij 4-slagmotoren komen dan ook weinig voor. Het omkeren van de draairichting gebeurt dan in de tandwielkast via een platenkoppeling.

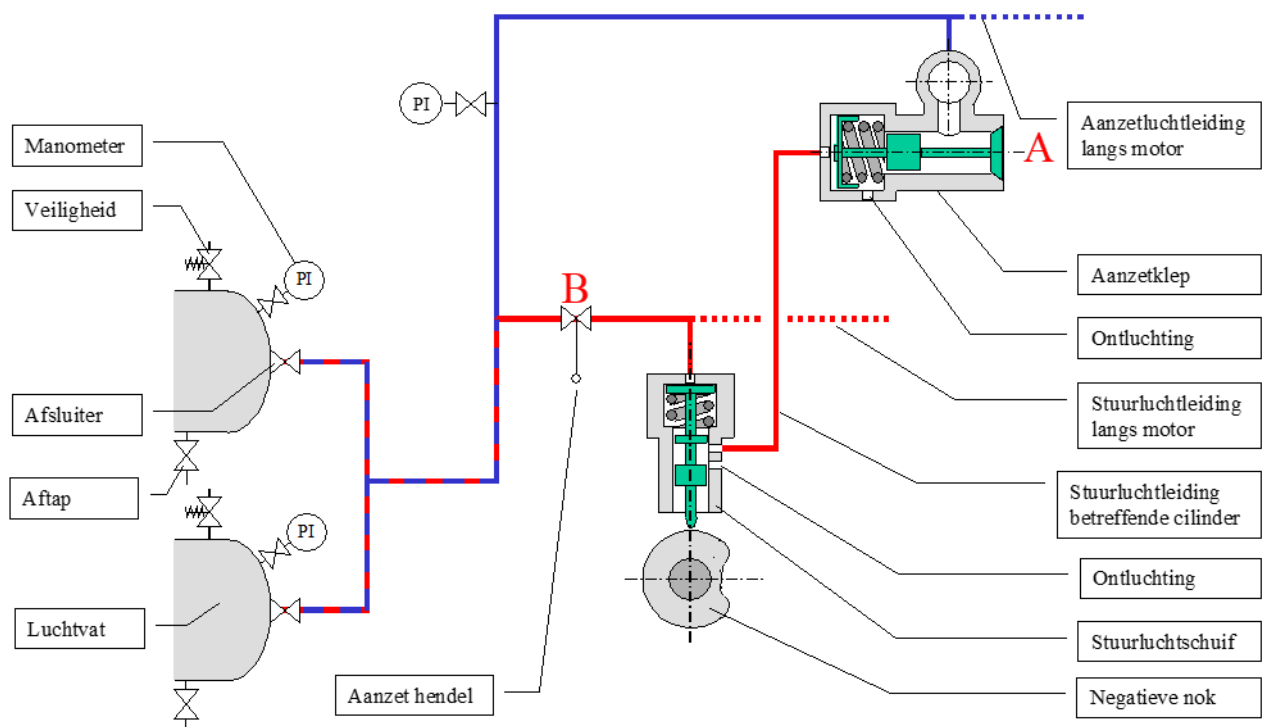
50. Bij motoren die werken met een common-railbrandstofinspuitsysteem wordt het omkeren van de motor nog eenvoudiger. De brandstofinspuiting wordt elektronisch geregeld en dan is er dus geen uitlaatnok nodig. Alleen de sturing van de aanzetkleppen moet voor de achteruitstand gewijzigd worden, ook dit gebeurt meestal elektronisch.

51. Tekening van een eenvoudige doorsnede van een aanzetklep.



52. De werking van de startklep: De startlucht drukt tegen klepschotel en evenwichtszuiger. De veerdruk houdt de startlucht klep dicht. De stuurlucht drukt op de evenwichtszuiger en duwt de startlucht klep open tegen de veerdruk in.

53. Namen in het aanzetluchtsysteem.



54. De letter A in de tekening geeft aan waar de startlucht de cilinder in gaat.
55. Stuurlucht geeft hier het stuursignaal aan de aanzetklep en opent daarmee indirect de startluchtklep.
56. De negatieve nok laat de stuurschuif zakken, waardoor stuurlucht op de startluchtklep komt te staan.
57. De letter B geeft aan wat we moeten bedienen, zodat er aanzetlucht in de cilinder komt.
58. In het schema is met rood aangegeven hoe de loop van de stuurlucht is.
59. In het schema is met blauw aangegeven hoe de loop van de startlucht.
60. 25 - 30 bar.

61. De onderdelen 1 tot en met 6 in het startluchtsysteem:

- |                      |  |
|----------------------|--|
| 1: Luchtcompressoren | 4: Elektrisch bediende "starthendel"   |
| 2: Overdruk ventiel  | 5: Aftap                               |
| 3: Startlucht vaten  | 6: Stuurschuiven met startluchtkleppen |

62. Onderdeel 1 zuigt lucht aan uit de MK en perst deze lucht naar onderdeel 3. De lucht in de vaten zal condenseren en kan via onderdeel 5 worden afgetapt.

63. Als er een startsignaal gegeven wordt, gaat onderdeel 4 open. Stuurlicht komt op de startkleppen te staan en ook op de startautomaat, waardoor er ook startlucht op de kleppen komt. Afhankelijk van de stand van de startnokken zullen de startkleppen om de beurt open gaan en wordt de motor gestart.

## *Hoofdstuk 11 Motoren, opbouw en onderdelen*

1. De dieselmotoren kunnen als volgt worden onderverdeeld:
  - Volgens het werkingsprincipe:
    - 2-slagmotoren
    - 4-slagmotoren
  - Volgens het toerental:
    - Langzaamlopende motoren
    - Middelsnellopende motoren
    - Snellopende motoren
  - Volgens het brandstofinspuitsysteem:
    - Direct of indirect ingespoten
    - Traditioneel- of common-railsysteem
  - Volgens de motor configuratie:
    - Lijn- of V-motoren
    - Verschillen in aantal cilinders
  - Volgens de motoropbouw:
    - Trunkzuigermotoren
    - Kruishoofdmotoren
2. Het werkingsprincipe is afhankelijk van het aantal slagen dat nodig is om één arbeidscyclus te voltooien, 2-slag of 4-slag.
3. 4-slagmotoren vereisen vier slagen van de zuiger om één arbeidscyclus te voltooien. Inlaat, compressie, arbeid en uitlaat vormen samen één arbeidscyclus. Eén arbeidscyclus vereist dus twee omwentelingen van de krukas.
4. 2-slagmotoren vereisen twee slagen van de zuiger om één arbeidscyclus te voltooien: spoelen( luchtinlaat), compressie, arbeid, gassen uitlaat (spoelen). Eén arbeidscyclus vereist slechts één omwenteling van de krukas.
5. Langzaamlopende motoren hebben een toerental lager dan 300 omw/min. Middelsnellopende motoren, toerental tussen de 300 en 1200 omw/min. Snellopende motoren hebben een toerental boven de 1200 omw/min.
6. De indeling van het brandstofinspuitsysteem is of direct ingespoten (traditioneel) of indirect ingespoten (common-railsysteem).
7. De aandrijfzijde van de motor is de zijde van het vliegwiel.
8. Bij een V-motor is de cilinderbalk in twee 'banken' verdeeld: de A- bank is vanaf het vliegwiel gezien de linkerkant van de motor. De B-bank is vanaf het vliegwiel gezien de rechterzijde van de motor.
9. De nummering van de cilinders en die van de bearings beginnen allebei altijd aan de vliegwielzijde.



10. Onder surveyable verstaat men die onderdelen van een motor die aan een regelmatige inspectiebeurt door een klassebureau zijn onderworpen.
11. Klassebureaus en de transportautoriteiten van een aantal landen hebben in de afgelopen jaren een standaard aangenomen om motoronderdelen die surveyable zijn te nummeren vanaf het voorschip.
12. Klassebureaus beschouwen elke cilinder van een hoofdmotor ongeacht de configuratie met al zijn componenten als een onafhankelijke surveyable item.
13. Het voordeel is dat een gespreide revisiecyclus mogelijk is, waardoor de eis om een motor om de 5 jaar volledig te reviseren overbodig wordt.
14. De indeling zoals hierboven beschreven kan problemen veroorzaken met in Europa gebouwde middelsnellopende motoren, wanneer men een eenheid identificeert op basis van de aanduiding van de fabrikant, in plaats van de Class Society-standaard. Motorfabrikanten zoals Pielsitck, Wartsilä en MAK nummeren de cilinders altijd vanaf het vliegwiel. De meeste Noord-Amerikaanse motoren, dat wil zeggen Caterpillar, nummeren naar het vliegwiel toe. Er zijn dus eventuele verschillen tussen nummering door fabrikant en klassebureau.
15. De complete hulpmotor wordt door de klassebureaus meestal als een overzichtelijk item ingedeeld, zodat cilindernummering hier geen probleem is. De locatie van de hulpmotor ten opzichte van het voorschip en bakboord- of stuurboordzijde is hier de bepalende factor.
16. Enkele carterdeksels zijn voorzien van een explosiedeksel, die overdruk in het carter moet voorkomen in het geval van een carterexplosie. Ook moet het explosiedeksel voorkomen dat na een carterexplosie zuurstof in het carter komt en er zich een explosief mengsel vormt. De openingsdruk van de klep ligt tussen de 0,05 en 0,1 bar. Het aantal explosiedeksels is afhankelijk van het volume van het carter.
17. In de krukas zijn kanalen geboord voor de toevoer van smeerolie vanaf het hoofdlager naar het krukpen- en het drijfstanglager.
18. De antipolishingring moet voorkomen dat door de schurende werking van achtergebleven koolstofdeeltjes het gehoonde ruitpatroon in de cilindervoering voortijdig verdwijnt. Dit ruitpatroon is bedoeld om de smeerolie vast te houden. Door het verdwijnen van het patroon zal het smeerolieverbruik toenemen. Ook wordt koolafzetting verwijderd wanneer de zuiger in het bovenste dode punt staat en het gehele bovenstuk van de zuiger is ingesloten door de antipolishingring.
19. De drijfstang zet de op- en neergaande beweging van de zuiger om in een ronddraaiende beweging van de krukas.
20. Het drijfstanglager is breder dan de voet van de drijfstang om zodoende een groter loopvlak te creëren, waardoor de vlaktedruk in het lager bij de neergaande beweging van de zuiger afneemt.

21. De zuigerkroon wordt inwendig gekoeld met smeeroilie. De smeeroilie wordt door het op- en neer bewegen van de zuiger heftig tegen de binnenkant van de zuigerkroon geslingerd, waarbij de warmteoverdracht plaatsvindt. Dit noemt men koeling via het 'cocktail shaker effect'.
22. Elke keer dat de klepveer ingedrukt wordt, verdraait de kleprotator de klep een klein stukje. Door het draaien van de klep wordt voorkomen dat er zich koolstofdeeltjes afzetten op zowel de klep als op de klepzitting. De smering van de kleprotator gebeurt vanaf het kleppenjuk.
23. Elementen van de motor in figuur 11.1: 4-slag, V-motor, 20 cilinders, turbodruk-vulling, geen common-rail.
24. Elementen van de motor in figuur 11.2: trunkzuiger, 4-slag, geen common-rail.
25. Elementen van de motor in figuur 11.3: 2-slag, langspoeling, langzaamlopende motor, geen common-rail.
26. Een drijfstaag: de linkerkant zit aan de zuigerpen die in de zuiger zit en de rechterkant aan de krukpen van de krukas.
27. Het is een schraapveer, die moet olie verdelen over de cilindervoering en het teveel aan olie naar beneden wegschrapen.
28. Cilinderkop of cilinderdeksel; het is onderdeel van een 4-slagmotor.
29. Inlaatkleppen zijn nummer A en B in figuur 11.6; de uitlaatkleppen zijn C en D. Er zijn twee kleppen om een zo groot mogelijke luchtinlaat en uitlaatgassenuitlaat te hebben, waarbij ook het plaatsen van de verstuiver in het midden van de cilinderkop mogelijk is.

30. Onderdelen in figuur 11.7:

- |                        |                      |
|------------------------|----------------------|
| 01. Cilinderdeksel     | 06. Klepveer         |
| 02. Inlaatlucht kanaal | 07. Klepgeleider     |
| 03. Klep hefboom       | 08. Uitlaatklep      |
| 04. Kleppenjuk         | 09. Koelwaterkanalen |
| 05. Kleprotator        | 010. Klepzitting     |

31. Onderdelen in figuur 11.8:

01. Nok op nokkenas
02. Rol van stoterstang
03. Rolhouder
04. Beschermbus
05. Stoterstang
06. Stoel van tuimelaar
07. Tuimelaar
08. Kleppenjuk

32. Het hotbox-afdeksysteem is een afgesloten ruimte voor brandstofpompen en is bovenop het motorblok gemonteerd. Het is een gezamenlijk bescherming voor alle HD-brandstofpompen en brandstofleidingen. Doel: bij warme brandstof het voorkomen van afkoeling en het beschermen van warme leidingen tegen verbrandingen bij aanraking. Ook bescherming bij lekkage; de brandstof blijft in de lekbak.

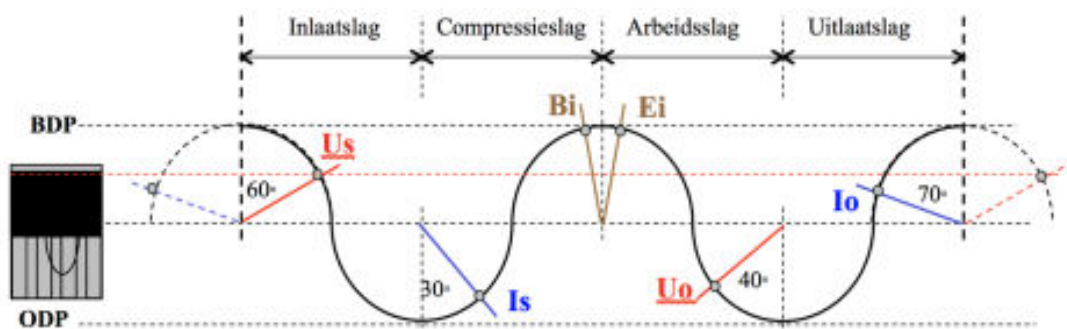
33. Dit onderdeel heet een kleprotator. Elke keer dat de klepveer ingedrukt wordt, verdraait de kleprotator de klep een klein stukje. Door het draaien van de klep wordt voorkomen dat er zich koolstofdeeltjes afzetten op zowel de klep als op de klepzitting. De smering van de kleprotator gebeurt vanaf het kleppenjuk.

34. Naar de schone lekolietank.

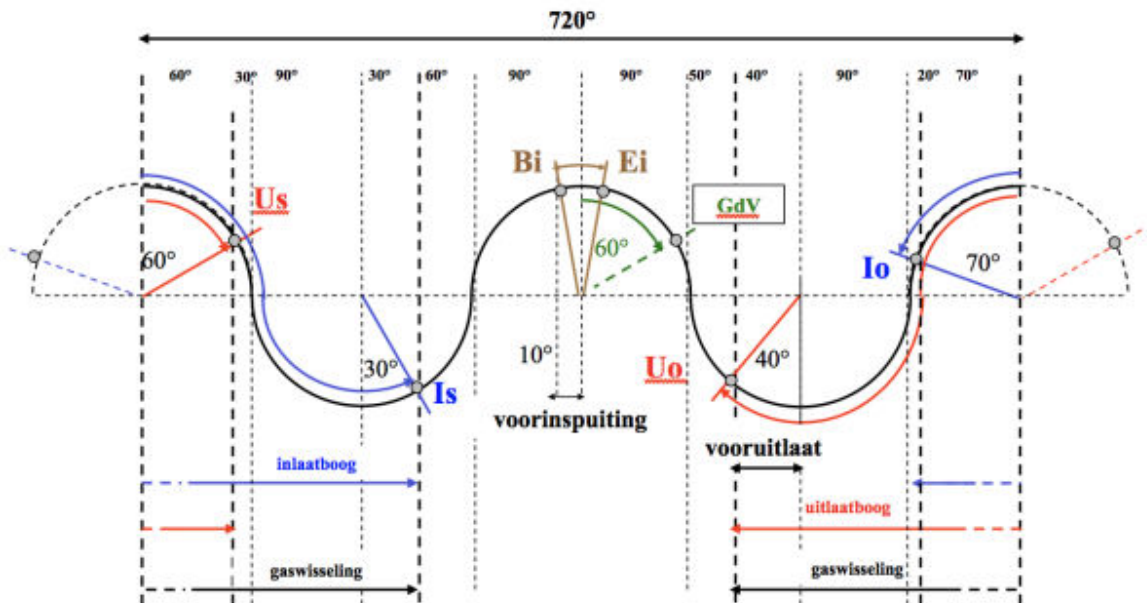
35. Bij lekkage krijg je een alarmsignaal op de lekolieleiding (hier zit een alarm op).

## Hoofdstuk 12 Krukwegdiagrammen 2-slag- en 4-slagmotoren

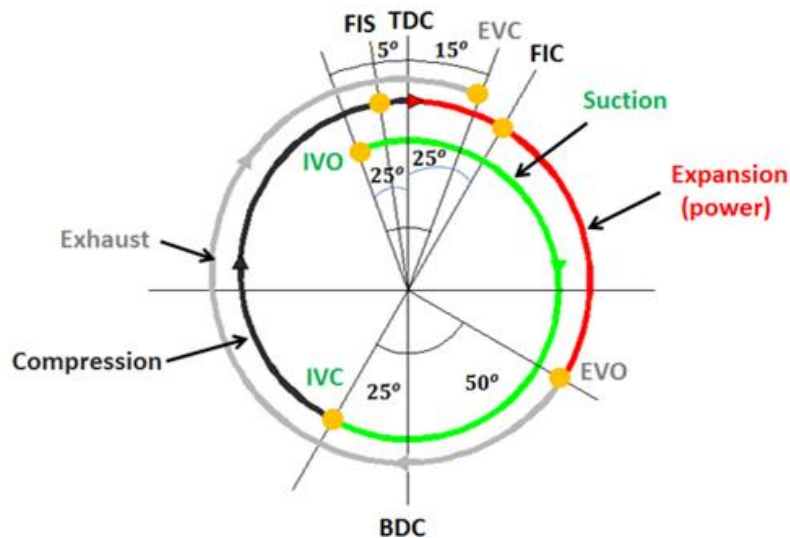
1. De momenten waarop de kleppen openen en sluiten noemen we de kleptijden.
2. Een krukwegdiagram is een grafische weergave van het moment van openen en sluiten van de kleppen en het moment van brandstofinspuiting als functie van het aantal doorlopen krukgraden.
3. Een doorlopend krukwegdiagram gebruiken we om meer inzicht te krijgen in het 4-slag- en 2-slagproces, maar ook om bijvoorbeeld kleppen te stellen.
4. De golvende lijn is de projectie van een punt op de krukcirkel als de krukas ronddraait en de zuiger dus op- en neer beweegt.
5. De krukhoeken worden altijd ten opzicht van top (BDP) of bodem (ODP) aangegeven.  $40^\circ$  voor bodem (V.B.),  $70^\circ$  voor top (V.T.),  $10^\circ$  na top (N.T.),  $30^\circ$  na bodem (N.B.). Zo kan in een doorlopend krukwegdiagram precies aangegeven worden op welk punt elke klep opent en sluit en hoeveel krukgraden een klep achtereenvolgens openstaat.
6. Bij het intekenen van de kleptijden beginnen we in het midden van het diagram. Volgens de gegevens van de kleptijdentabel (zie afbeelding bij vraag 6) begint de Brandstof Inspuiting (B.I.)  $10^\circ$  V.T. en Einde Inspuiting (E.I.)  $10^\circ$  N.T. Vervolgens gaat de Uitlaatklep  $40^\circ$  V.B. Open (U.O.). Als de zuiger door Bodem gaat en weer omhoog, is de uitlaatslag begonnen. Ruim voordat deze uitlaatslag is afgelopen, dus voordat de zuiger in Top komt gaat de Inlaatklep Open (I.O.). De inlaatklep opent  $70^\circ$  V.T. De uitlaat- en de inlaatklep staan nu tegelijk open; het spoelen van de cilinder is begonnen. Nadat de zuiger door Top is gegaan zal  $60^\circ$  N.T. de Uitlaatklep Sluiten (U.S.) en het spoelproces is ten einde. De zuiger gaat door Bodem en de compressieslag begint. Pas als de Inlaatklep  $30^\circ$  N.B. Sluit (I.S.) begint de effectieve compressie. De verbrandingslucht wordt samengeperst, de druk en temperatuur stijgen en vlak voordat de zuiger in Top komt wordt de brandstof ingespoten (B.I.). Zo herhaalt het 4-slagproces zich telkens weer. Waar het diagram rechts 'bij TOP' afgebroken is, aan het einde van de uitlaatslag, sluit het links 'bij TOP' weer aan. Zie hieronder het krukdiagram (zie verder figuur 12.5 en 12.6 in het boek).



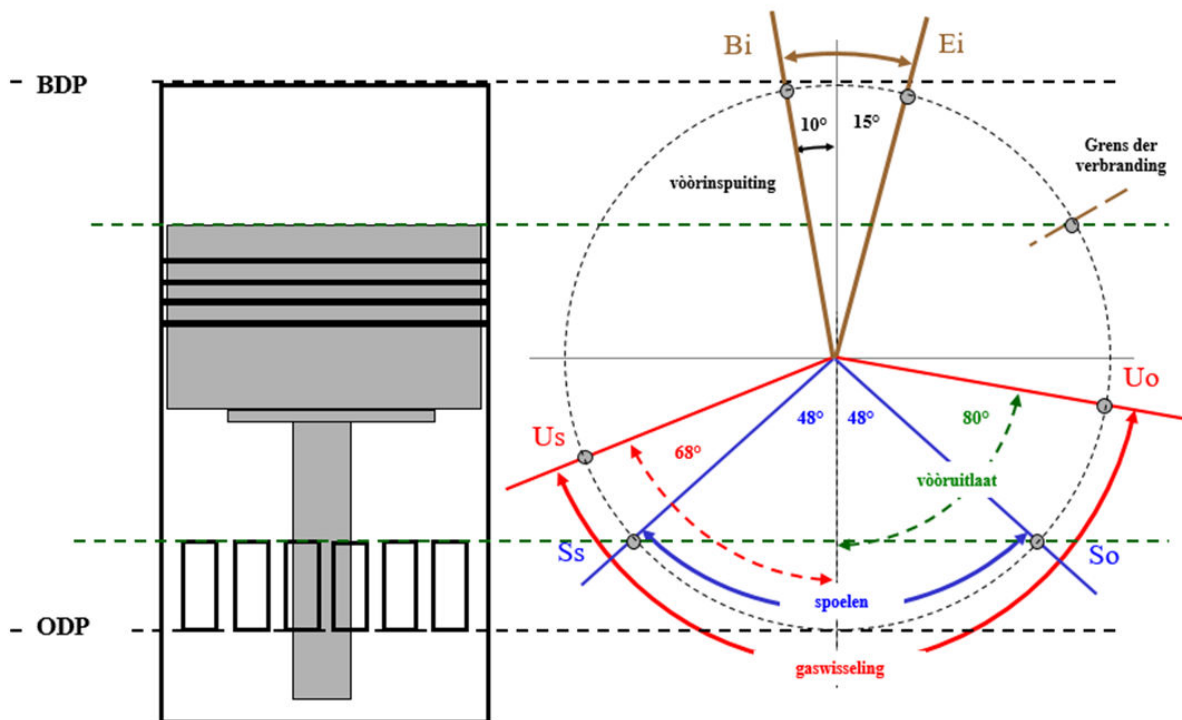
7. Uit een doorlopen krukwegdiagram kunnen de volgende gegevens worden gehaald:  
 De gaswisseling: aantal krukgraden die beschikbaar zijn voor het verwijderen van de verbrandingsgassen en het toelaten van verse verbrandingslucht, U.O. tot I.S. =  $40 + 90 + 20 + 70 + 60 + 30 + 90 + 30 = 430^\circ$ ;  
 Vóóruitlaat: aantal krukgraden voor bodem dat de uitlaatklep al geopend is =  $40^\circ$ ;  
 Vóórinspuiting: aantal graden voor top waar de inspuiting begint =  $10^\circ$ .



8. Een cirkelvormig doorlopen krukwegdiagram met de kleptijden uit vraag 6.



9. Net zoals bij de 4-slagdieselmotor kan er ook voor een 2-slagdieselmotor een krukwegdiagram getekend worden. Omdat het totale proces maar 360 krukgraden duurt, kunnen we alle gegevens overzichtelijk in één cirkel zetten. We spreken bij een 2-slagmotor dan ook van een rondgaand krukwegdiagram (zie afbeelding op volgende pagina).



10. Deze vorm van spoeling noemen we langsspoeling.

11. De grens der verbranding betekent niet dat de verbranding tot zo lang "moet" duren, maar wél dat deze beslist niet langer "mag" duren. Duurt de verbranding toch langer, dan hebben we te maken met naverbranding.

12. Naverbranding is ongewenst want:

- de uitlaatgassen worden dan te heet, waardoor schade aan de motoronderdelen kan ontstaan;
- naverbranding betekent onvolledige verbranding, waardoor er zwarte rook uit de schoorsteen komt en de motor snel vervuult;
- alle brandstof die te laat verbrandt, heeft niet meer de kans om tijdens het eerste deel van de arbeidsslag arbeid te verrichten. Daardoor daalt het nuttig vermogen van een dieselmotor.
- de zwarte rook duidt in feite op brandstofdeeltjes die niet verbrand zijn en dus niet hebben meegedaan aan het verbrandingsproces, het brandstofverbruik zal hierdoor aanzienlijk toenemen wat natuurlijk ook een lager rendement tot gevolg heeft.

13. Het tijdstip van inspuiten van de brandstof is bij de meeste motoren afhankelijk van het toerental en brandstofkwaliteit.

14. Als de krukas meer omwentelingen maakt, zal de zuiger ook sneller op en neer gaan. De zuiger staat dan ook sneller in het Bovenste Dode Punt. Men probeert de verbranding te laten plaatsvinden als de zuiger juist in het BDP staat. Daarom zijn de meeste motoren uitgerust met een inspuitregeling. Er is een vaste tijd tussen begin inspuiting en begin verbranding (ontsteking).

15. De gaswisseling is het gedeelte van het arbeidsproces waarbij de oude gassen verwijderd worden en de nieuwe verbrandingslucht wordt aangevoerd.

16. Bij de 4-slagmotor begint de gaswisseling bij het openen van de uitlaatklep en eindigt bij het sluiten van de inlaatklep.

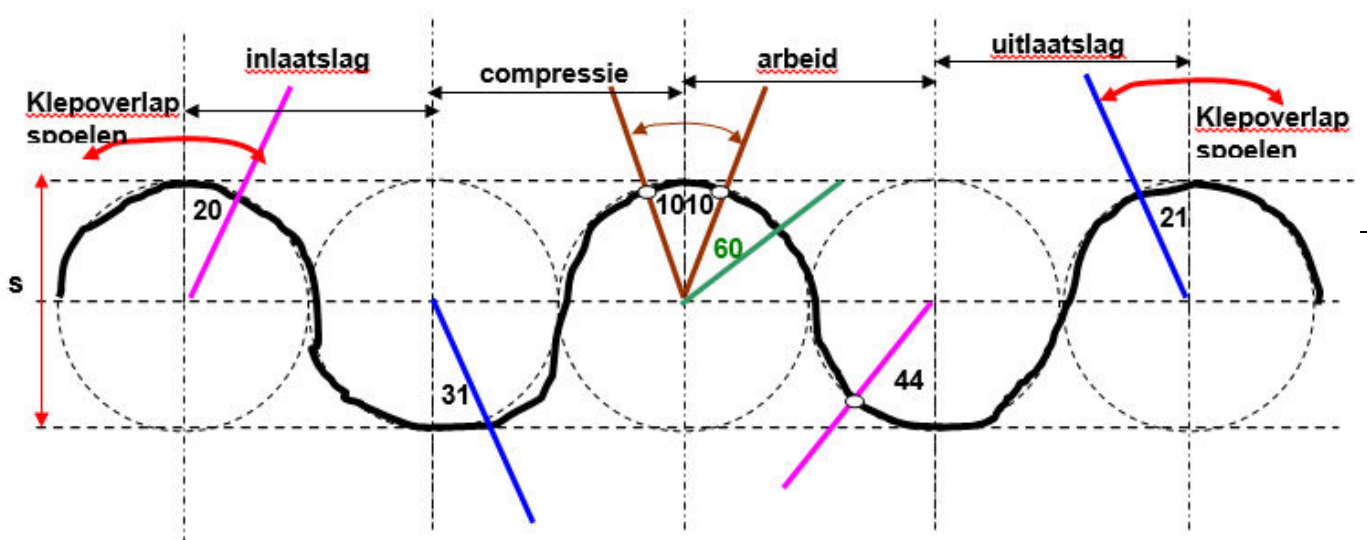
17. Bij de 2-slagmotor begint de gaswisseling ook op het moment van openen van de uitlaatklep en eindigt bij het sluiten ervan (of spoelpoort).

18. De spoelperiode of klepoverlap is het aantal graden dat de inlaat- en uitlaatklep tegelijk open staan I.O. tot U.S. =  $70 + 60 = 130^\circ$ .

19. Relevante gegevens voor doorlopend krukwegdiagram voor motor D8.

Begin brandstofinspuiting:	10	graden	voor	BDP
Einde brandstofinspuiting:	10	graden	na	BDP
Inlaat open:	21	graden	voor	BDP
Inlaat sluit:	31	graden	na	ODP
Uitlaat open:	44	graden	voor	ODP
Uitlaat sluit:	20	graden	na	BDP

20. Het doorlopend krukwegdiagram.



Doorlopend krukwegdiagram Industrie D 8 zonder drukvulling

21. Aantal krukgraden dat de inlaatklep openstaat.

22.  $A = 21 + 90 + 90 + 31 = 232$ .

23. Aantal graden dat de uitlaatklep openstaat.

24.  $A = 44 + 90 + 90 + 20 = 244$ .

25. Aantal graden voor bodem dat de uitlaatklep al opengaat.

26.  $A = 44$  graden.

27. Inspuitboog: aantal krukgraden dat de brandstof wordt ingespoten (dat de verstuiver openstaat).

28.  $A = 10 + 10 = 20$ .

29. Aantal krukgraden dat de inlaat- en uitlaatkleppen tegelijk openstaan.

30. Klepoverlap wordt ook wel spoelen genoemd.

31.  $A = 21 + 20 = 41$ .

32. Aantal krukgraden dat de oude gassen worden verwijderd en de nieuwe lucht erin komt. Vanaf U.O. tot I.S.

33.  $A = 44 + 90 + 90 + 90 + 90 + 31 = 435$ .

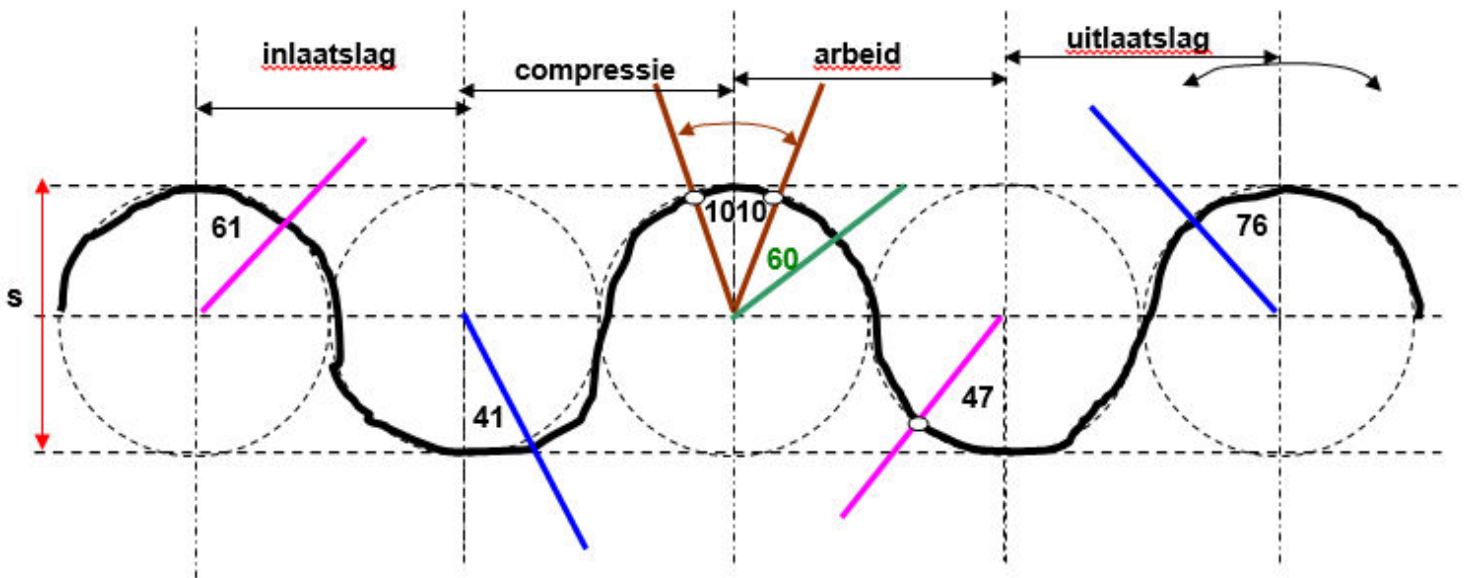
34. Die grens is een vast punt in elk diagram (60 graden na top), tot zover mag de verbranding duren.

35. Dit punt is aangegeven in het doorlopende krukwegdiagram van de D 8 motor, 60° na top (groene lijn in antwoord 20).

36. Relevante gegevens:

Begin brandstofinspuiting:	10	graden	voor	BDP
Einde brandstofinspuiting:	10	graden	na	BDP
Inlaat open:	76	graden	voor	BDP
Inlaat sluit:	41	graden	na	ODP
Uitlaat open:	47	graden	voor	ODP
Uitlaat sluit:	61	graden	na	BDP

72



Doorlopend krukwegdiagram Industrie D 8 met drukvulling

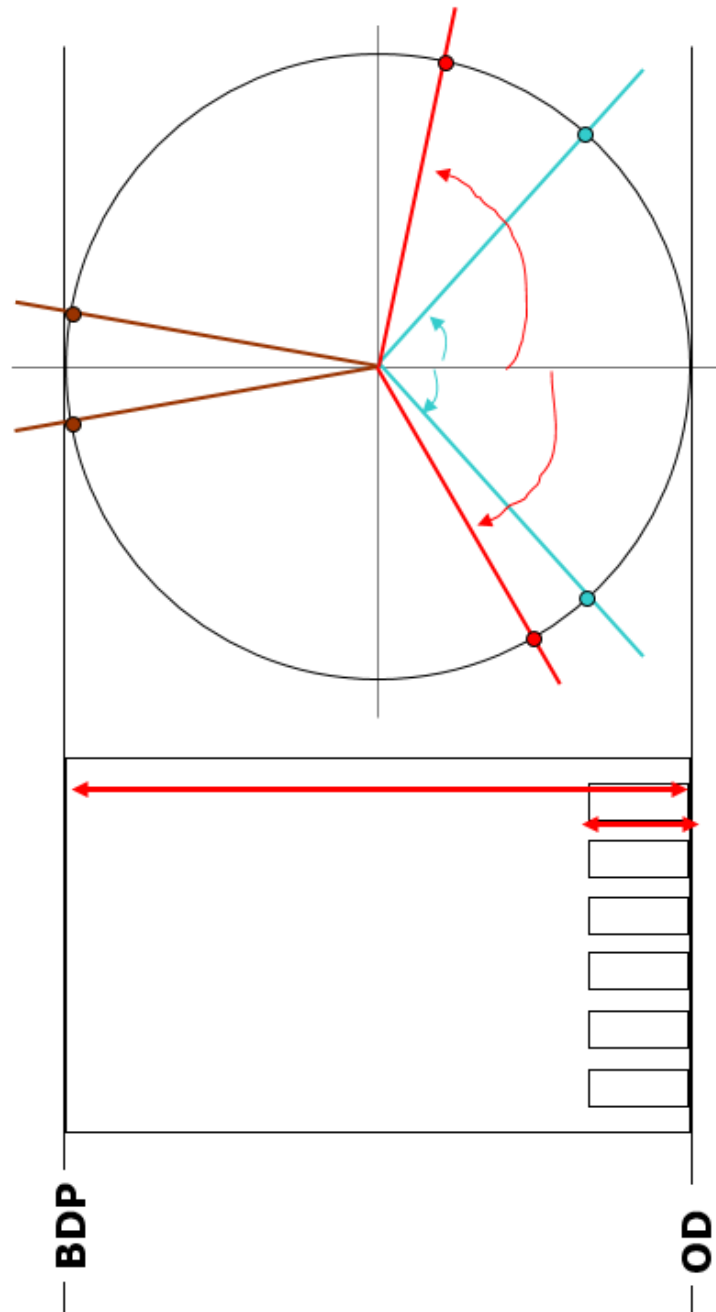
37.  $A = 76 + 61 = 137$ .

38. Vraag 36 (41 graden). Een motor met drukvulling wordt thermisch zwaarder belast, dus zal er meer en langer gespoeld en gekoeld moeten worden.



39. Bij een hoger toerental zal de zuiger sneller bovenin staan, waardoor de brandstof eerder moet worden ingespoten, zodat de verbranding ongeveer in top zal beginnen.

40. Rondgaand krukdiagram:



41.  $A = 44$  graden.

42.  $A = 78 + 60 = 138$ .

43.  $A = 448/138 = 3.2$  maal groter.

44.  $A = 15$  mm (afhankelijk van de schaal bij afdrucken).

45. A= 90 mm.

46.  $A = 90 / 15 = 6$        $15/90 * 100\% = 16.66$ .

47. Minder goede spoeling, dus minder lucht, motor vervuult (zwarte rook) en brandstofverbruik gaat omhoog.

Bijlage 1: gegevens motorenfabrikant INDUSTRIE

**Technische gegevens INDUSTRIE motor.**

	Zonder drukvulling				Met drukvulling			
<u>Motor</u> type	D 41	D 6	D 7	D 8	D 41	D 6	D 7	D 8
Boring (mm)	200	250	305	400	200	250	305	400
Slag (mm)	270	350	460	600	270	350	460	600
Inlaat opent (VBDP)	23°	23°	12°	21°		76°	77°	76°
Inlaat sluit (NODP)		37°	42°	31°		41°	42°	41°
Uitlaat opent (VODP)	52°	47°	48°	44°		45°	48°	47°
Uitlaat sluit (NBDP)	24°	24°	21°	20°		61°	57°	61°
Inspuiting Brandstof	10° V.T tot 10° N.T.	10° V.T tot 10° N.T.	10° V.T tot 10° N.T.	10° V.T tot 10° N.T.		10° V.T tot 10° N.T.	10° V.T tot 10° N.T.	10° V.T tot 10° N.T.

## *Hoofdstuk 13 Onderdelen schroefas*

1. De schroefas dient ervoor om de voortstuwingskracht opgewekt door een motor over te brengen op de schroef die het schip voortstuwt.
2. Bij snellopende- en middelsnellopende motoren kan het toerental van de schroef worden gereduceerd door het plaatsen van een tandwielkast tussen de motor en de schroefas.
3. Om de afstand tussen de schroef en de motor te overbruggen worden één of meerdere tussenassen gebruikt, een massief stalen as, met aan twee zijden een aangesmede flens en een schroefas.
4. De tussenas(sen) worden, afhankelijk van de afstand vanaf de motor tot aan de eigenlijke schroefas, ondersteund door een aantal glijlagers, ook wel tunnelblokken of tussenaslagers genoemd.
5. Assen onderscheiden zich door hun lage gewicht, waardoor grote overspanningen onder tussenlageringen mogelijk zijn.
6. Een schroefas moet altijd voorzien zijn van een stroomafnemer, omdat door de draaiende schroef er een potentiaal verschil van wel 300 mV kan ontstaan tussen de asleiding en het schip. Omdat een draaiende schroefas op een schip elektrisch geïsoleerd is van de romp door de smeeroliefilm in de metalen lagers, is het absoluut noodzakelijk om de schroefas van het schip op de romp te aarden. Anders vindt de spanningsoverslag (vonken) plaats in de lagers en niet in de hiervoor geschikte stroomafnemer, waar door de goede geleiding geen spanningsoverslag plaatsvindt.
7. De opgewekte elektrische stromen kunnen corrosie van de schroefbladen en pitting op de krukas en lagerschalen als gevolg hebben.
8. De lagering en de smering van een schroefaskoker kunnen op verschillende manieren zijn uitgevoerd:
  - vetgesmeerde schroefaskoker;
  - watergesmeerde schroefaskoker;
  - oliegesmeerde schroefaskoker.
9. De eigenlijke schroefas is de as die via de schroefaskoker, onder de waterlijn aan de achterzijde van het schip, in de zogenaamde knoop door de huid gevoerd wordt en waaraan op het conische gedeelte de schroef is bevestigd.
10. De diameter van de schroefas wordt voorgeschreven door een klassebureau, aan de hand van de klasse-indeling van het schip, het vermogen van de voortstuwingsinstallatie en het astoerental. De reder is dus niet vrij zelf een diameter te kiezen.
11. Het voordeel van een losse flens is dat bij reparatie de schroefas via de achterzijde uit de schroefaskoker getrokken kan worden en verder transport niet via de machinekamer gaat. Bij grotere schepen met een schroefastunnel,

is het ook niet nodig een luik naar het achterruim te openen of een gat in de schroefastunnel te maken.

12. Om binnendringen van water tussen de schroefdraad op de schroefas en de moer te voorkomen, wordt een dopmoer gebruikt om de schroef vast te zetten op de schroefas.
13. De schroefasafdichting moet het binnendringen van zeewater voorkomen.
14. In verband met de milieuwetgeving moet het vet dat wordt gebruikt in de schroefaskoker biologisch afbreekbaar zijn om verontreiniging van het oppervlaktewater te voorkomen.
15. De smering van een schroefas mag geen milieuvervuiling meer veroorzaken. Water is, in combinatie met rubberlagers, een perfect smeermiddel voor een schroefasinstallatie.
16. Een watergesmeerd, open uithoudersysteem is een systeem waarbij de schroefas ver onder het schip uitsteekt en gelagerd is in een z.g. uithouder. Het binnen- en het buitenlager zijn bij deze constructie niet door een schroefaskoker met elkaar verbonden, waardoor de beide lagers onafhankelijk van elkaar kunnen worden gesmeerd. Het buitenlager wordt gesmeerd door het buitenboordwater, dat tijdens het varen op natuurlijke wijze door het lager stroomt. Het binnenlager, in het achterschip gemonteerd, is voorzien van een binnenafdichting en kan geforceerd door water of met vet worden gesmeerd.
17. Om de toestroom van het smeewater door het rubber lager gemakkelijker te maken en met name om abrasieve zandkorrels die in het buitenboord water kunnen zitten, sneller af te kunnen voeren, is het rubber lager voorzien van langsgroeven.
18. Om inlopen van de schroefas te voorkomen is deze ter plaatse van de lagers voorzien van een loopbus.
19. Bij een open schroefaskokersysteem zijn het binnen- en het buitenlager met elkaar verbonden door een schroefaskoker. Bij deze constructie is het binnenlager voorzien van een moderne afdichting. De smering van de lagers en de binnenafdichting gebeurt geforceerd met water. Het smeewater wordt via de aansluiting op de binnenafdichting in de schroefaskoker geperst en verlaat de schroefaskoker aan de achterzijde waar het in het milieu terechtkomt.
20. Om binnendringen van het buitenboordwater tijdens een inspectie of vernieuwen van de binnenafdichting te voorkomen, kan een rubber ring via een aansluiting met perslucht worden opgeblazen.
21. Bij de gesloten watergesmeerde schroefaskoker zijn het binnen- en het buitenlager ook met elkaar verbonden door een schroefaskoker. Zowel het binnen- als de buitenlager zijn aan de uittredende kant voorzien van een moderne afdichting. Bij dit systeem worden zowel de lagers als de

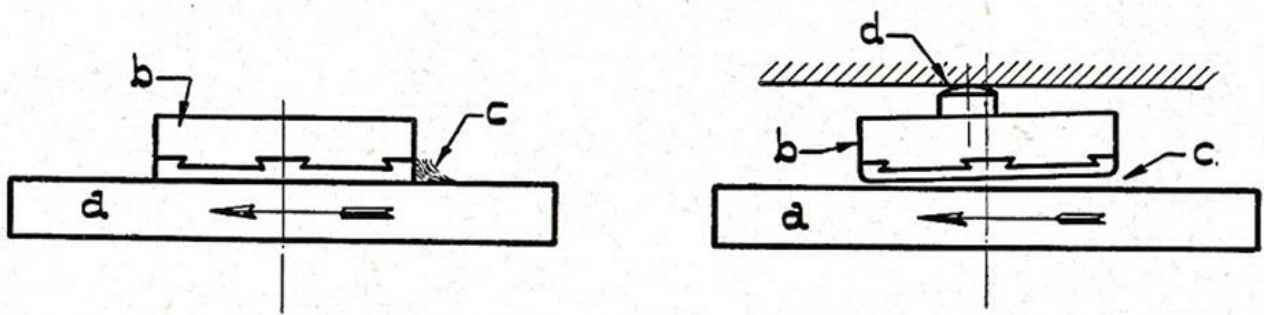
afdichtingen gesmeerd met zoet water, dat wordt rondgepompt in een gesloten systeem, vanuit een smeerwatertank.

22. Een gesloten watergesmeerde schroefaskoker kan worden toegepast bij schepen die op zee varen en zo dus meer last van corrosie hebben, of die in sterk verontreinigd (zanderig) water varen.
23. Bij schroefaskokers is het achterlager altijd langer dan het voorste lager in verband met het gewicht van de schroef.
24. Rubber lagers kunnen in verschillende uitvoeringen voorkomen, bijvoorbeeld als een bronzen (flens) bus waar een rubber lager in ge vulcaniseerd is. Een andere constructie is een uitvoering met losse delen, zogenaamde staven, schenen of duigen. Deze duigen zijn van hoge druk ge vulcaniseerd nitrile rubber en zijn zodanig bewerkt dat het juiste aantal delen een cirkel vormt, waarbij de delen elkaar na montage klem zetten, doordat ze tijdens montage in lengte iets ge comprimeerd worden en daardoor ten opzichte van elkaar niet meer kunnen verschuiven. In langsrichting zijn de delen aan beide zijde opgesloten.
25. Net als bij de watergesmeerde schroefaskoker zijn er aan de MK-zijde, de voorste afdichting, en aan de buitenzijde, de achterste afdichting, van de oliegesmeerde schroefaskoker afdichtingsringen aangebracht.
26. De afdichtingsringen die bij de oliegesmeerde schroefaskoker worden gebruikt zijn lipmanchetten die zijn voorzien van een spanveer. Deze lipmanchetten van een speciaal soort rubber (NBR, nitrilbutadiëenrubber), zijn goed bestand tegen olie en hebben een behoorlijke sterkte en elasticiteit.
27. De achterste afdichting bestaat uit in totaal drie lipmanchetten genummerd 1, 2 en 3. De lipmanchetten nr. 1 en 2 moeten voorkomen dat zeewater het achterste lager van de schroefaskoker en daarmee het schip binnendringt. De afdichting wordt verkregen, doordat de lippen van de manchetten door de statische druk van het buitenboordwater en door de spanning van de spanveren tegen de loopbus worden gedrukt.
28. Om lekkage door slijtage te voorkomen, is de achterste afdichting van een oliegesmeerde schroefaskoker voorzien van meerder manchetten achter elkaar.
29. De verklikkertank van een oliegesmeerde schroefaskoker moet zowel onder de waterlijn, als onder het niveau van de druktank van de schroefaskoker, geplaatst zijn. Hierdoor is de druk tussen de manchetten nr. 4 en 5 altijd lager dan aan de waterzijde van de schroefas afdichting. Bij lekkage aan manchet nr. 1 en 2 zal er zeewater in de verklikkertank lopen. Maar als manchet nr. 3 lekt, zal de verklikkertank vollopen met olie vanuit de druktank. Olielekkage van de schroefaskoker kan op deze wijze snel worden vastgesteld.
30. De druktank van een oliegesmeerde schroefaskoker is een met olie gevulde tank, die verbonden is met de schroefaskoker. Deze tank is 2 tot 4 meter boven de geladen waterlijn van het schip gemonteerd zodat dat de statische

druk van de olie hoger is dan de druk van het buitenboordwater. Indien er lekkage optreedt zal er een klein beetje olie naar buiten lekken, in plaats van water naar binnen. Er moeten dan echter wel maatregelen worden genomen om erger te voorkomen.

31. Lekkage van de schroefasafdichting veroorzaakt milieuvervuiling in de vorm van oilspill. Dit is een reden waarom watergesmeerde schroefassen weer meer worden toegepast.
32. Bij een asdiameter groter dan 450 mm wordt in de ruimte tussen beide manchetten van de voorste afdichting een circulatiesysteem gecreëerd waardoor smeeroilie circuleert. Het systeem bestaat uit een tank met een inhoud van ongeveer 15 liter voorzien van koelvinnen. De tank staat via twee leidingen in verbinding met de circulatieruimte. De aansluitingen op deze ruimte zijn voorzien van speciaal gevormde doorstroomopeningen. Als de schroef roteert zal door de natuurlijke trillingen in het systeem de oliedruk in de circulatieruimte gaan pulseren. Dit heeft een stroming in het systeem tot gevolg. De doorstroomopeningen reguleren de stroomrichting en de hoeveelheid circulerende olie. Deze hoeveelheid is evenredig aan het aantal omwentelingen van de as, maar bedraagt bij de normale dienstsnelheid 1 tot 2 l. per minuut. Door de smering en de koeling wordt de temperatuur van de contactvlakken tussen de lipmanchetten en de loopbus met ongeveer 15° C verlaagd.
33. Om de temperatuur en de kwaliteit van de smeeroilie te bewaken zijn de schroefaskokers van Lagersmit voorzien van een modulair opgebouwde circulatie unit. Deze unit bevat een heater/koeler, twee circulatiepompen, waarvan één stand-by en twee duplex filters.
34. De achterste schroefasafdichting in het Wärtsilä Airguar-systeem is een afdichting die vier manchetten bevat die op een loopbus lopen, om groeven in de schroefas te voorkomen. Van de vier manchetten zijn er twee naar buiten gericht om binnendringen van zeewater te voorkomen. De twee andere manchetten zijn naar binnen gericht om weglekken van smeeroilie uit het lager te voorkomen.  
Midden tussen deze twee sets afdichtingen wordt in een aparte kamer sperlucht toegelaten. De druk van de sperlucht naar deze kamer wordt dynamisch bestuurd en bewaakt op basis van de variaties van de zeewaterdruk dus de diepgang van het schip.  
De sperluchtdruk is altijd hoger dan de hydrostatische druk van het zeewater op de achterste afdichting waardoor er een kleine luchtlekkage langs de achterste manchetten naar buiten is. De sperluchtkamer is verbonden met een leikleiding die afvoert naar een draintank in de schroefastunnel.  
Zeewaterlekkage van buitenaf of smeeroilielekkage van binnenuit verzamelt zich in de draintank. Om te voorkomen dat de sperlucht via de naar binnen gerichte manchetten ontwijkt naar het schroefaslager wordt via de smeeroilie druktank het gehele oliegedeelte onder druk gehouden, via een aftakking in de sperluchtleiding. Tussen de manchetten 1 en 2 wordt een geringe hoeveelheid smeeroilie onder druk toegevoerd. Deze hoeveelheid kan worden geregeld met de naaldafsluiter, en gecontroleerd, via de flowmeter in de toevoerleiding.

35. Tekening voor uitleg Michell-stuwblok.



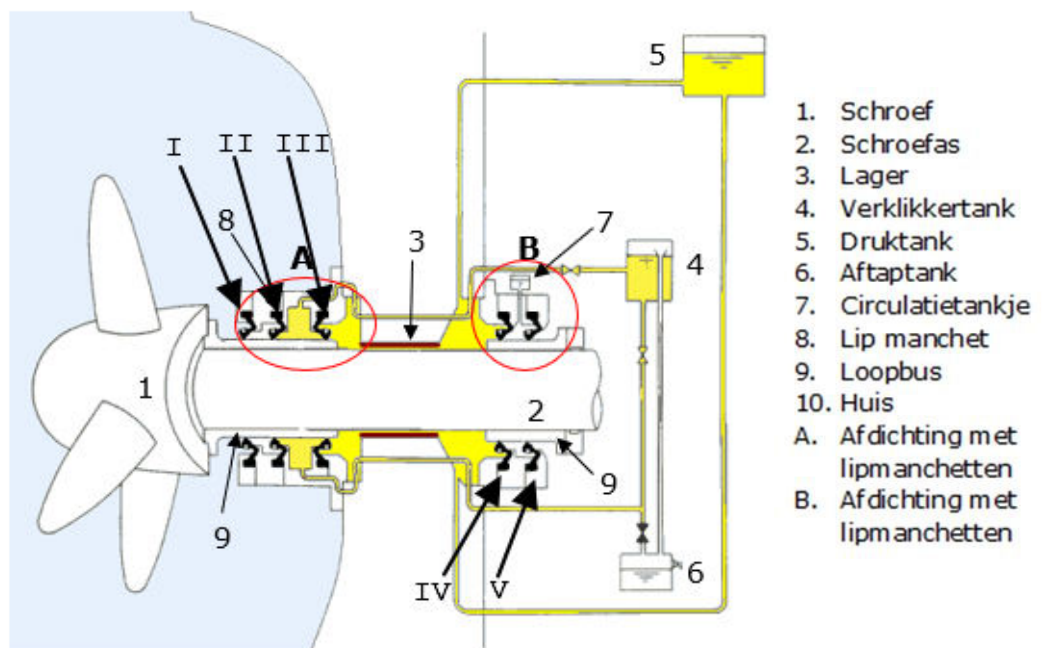
Als bij het stilstaande linkerblokje van de afbeelding bij c olie toegevoerd wordt dan zal, omdat het blokje geen afgeronde hoeken heeft, de olie van de kraag afgeschaapt worden. Hierdoor is de smering tussen het blokje en de kraag, zelfs bij een matige druk op de loopvlakken onvoldoende.

36. Een draaiende schepsschroef levert de stuwkracht waardoor het schip wordt voortbewogen. Bij langzaamlopende kruishoofdmotoren is de schroef via de schroefas verbonden met de krukas van de hoofdmotor. Omdat een krukas geen axiale krachten op kan nemen wordt de reactiekracht van de schroef via het Michellblok of (beter) Michell-stuwblok overgedragen op de fundatie van het schip. Bij grote schepsmotoren kan het stuwblok ook achterin in de motor zijn ingebouwd.

Bij het rechterblokje zijn de hoeken aan de intreezijde goed afgerond. Bovendien is de achterkant van het blokje voorzien van een pen d die, in de bewegingsrichting gezien, uit het midden van het blokje is geplaatst. Het totale dragende oppervlak van het blokje wordt door de hartlijn over pen d in twee ongelijke delen verdeeld. De totale inwendige oliedruk op het gedeelte van het blokje rechts van d is groter dan de druk links. Het gevolg hiervan is, dat het blokje enigszins kantelt (zie tekening bij antwoord 35). De smeerolie wordt nu door de ronddraaiende schijf a meegenomen in de wigvormige ruimte bij c en door het nauwer worden van deze ruimte, er naar het einde toe in samengeperst. Hierdoor gaan de inwendige oliedruk en de uitwendige druk op d evenwicht met elkaar maken, waardoor er altijd een oliefilm blijft bestaan.

37. De achterkant van de z.g. nierstukjes zijn niet altijd van een pen voorzien waarmee ze kunnen kantelen. Dikwijls worden ze uitgevoerd met een verdikt gedeelte e zoals in de afbeelding. De linkerkant van het nierstukje is dikker gehouden zodat het blokje vanzelf een schuine stand aan gaat nemen ten opzicht van de kraag. Om hetzelfde effect te bereiken, maakt men ook wel een rug aan de achterkant van het nierstukje.

38. Juiste nummers bij de onderdelen:



39. Lekkage van buitenste seal, nummering manchetten van buiten naar binnen.

**I:** niet waarneembaar. **II:** druktankje (5) daalt iets. **III:** aflooptankje (6) loopt op via verklikkertankje (4). Binnenste seal **IV**. Niveau tankje 7 stijgt. **V.** Olie in MK uit tankje 7.

80

40. De schroefasafdichting.

41. Het stuwblok dient de stuwkracht over te dragen op de scheepsconstructie.

42. Bij een laag toerental zal de schroef een hoger rendement hebben (minder slip).



## Hoofdstuk 14 Voortstuwing

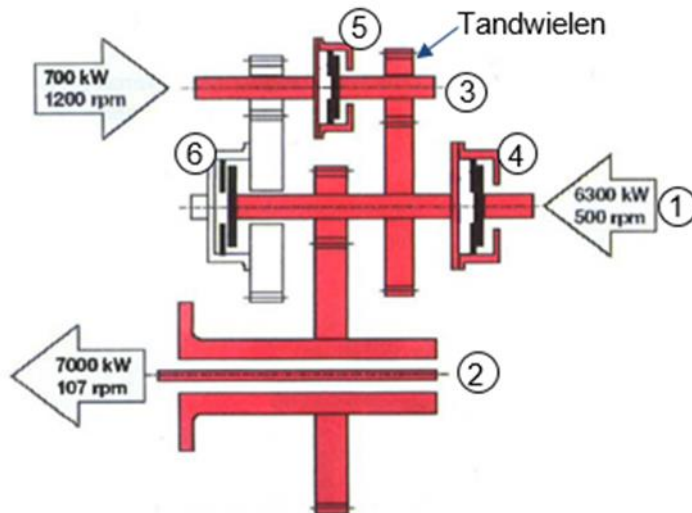
1. Een hoofdmotor drijft een schroef aan en daarnaast vaak nog één of meer hulpwerktuigen, zoals een koelwater- of een smeeroliepomp. Een hulpmotor is aan boord elke motor die geen schroef aandrijft, maar één of meerdere hulpwerktuigen.
2. Onder bootmotoren verstaan we de voortstuwingsmotoren voor kleine schepen zoals een werkboot, een motorsloep, een tender, een vrije-val-reddingboot en man-over-boordboot (MOB).
3. Boten die te maken krijgen met drenkelingen moeten altijd uitgerust zijn met een keerkoppeling, want daarmee kan in geval van nood de schroef snel stilgezet worden. Deze eis geldt in het bijzonder voor de sloepmotor.  
Verdere eisen voor een sloep zijn:
  - Minimale snelheid sloep 6 knopen en dat minimaal 24 uur lang;
  - Minimaal vlampunt brandstof 43 °C;
  - Kunnen starten bij omgevingstemperatuur;
  - Twee onafhankelijke startmogelijkheden.
4. Het SOLAS-verdrag, dat eisen stelt aan de constructie-uitrusting en bemanning van reddingssloepen, laat zes mogelijkheden toe om een sloepmotor te starten. Deze mogelijkheden zijn:
  1. elektrisch starten met twee gescheiden startbatterijen;
  2. elektrisch starten met twee startmotoren en twee gescheiden startbatterijen;
  3. elektrisch starten met één batterij en mogelijkheid om met de hand te starten;
  4. elektrisch starten met één batterij en een veerstartsysteem;
  5. elektrisch starten met één batterij en een hydraulische startinrichting;
  6. hydraulische startinrichting en mogelijkheid om met de hand te starten.
5. Bij een containerschip of een bulkcarrier drijft een langzaamlopende 2-slagmotor de schroef aan. Op zee wordt met stoom, opgewekt in de uitlaatgassenketel, een stoomturbine via een tandwielkast direct op de schroefas bijgeschakeld. Hier wordt dus gebruikgemaakt van de restwarmte in de uitlaatgassen van de hoofdmotor om het totale rendement van de voortstuwingsinstallatie te verbeteren.
  - Twee kleinere motoren op twee schroeven.  
Dit heeft als voordeel dat de voortstuwingsinstallatie laag blijft, waardoor ook de machinekamer laag kan blijven. Denk hierbij aan roroschepen. Bij verminderd vermogen draaien kan er één motor afgeschakeld worden.
  - Vader-en-zoonprincipe.  
Één grote motor en één kleinere drijven via een tandwielkast met keerkoppeling één vaste of verstelbare schroef aan. Is er veel vermogen nodig dan wordt de grote motor gebruikt, is er minder vermogen nodig dan wordt de kleine dieselmotor gebruikt.
  - Diesel-elektrische voortstuwing.  
Dit is een manier van voortstuwen waarbij één of meerdere dieselmotoren stroom opwekken voor een elektromotor die direct de schroef aandrijft of één of meerdere roerpropellers.

6. Belangrijke punten bij het zoeken naar andere voortstuwingsinstallaties zijn de milieueisen, het brandstofverbruik en (afhankelijk van scheepstype) de manoeuvreerbaarheid.
7. Een roer- of azimuthpropeller is een elektrisch aangedreven scheepsschroef die onder het schip uitsteekt en 360° kan draaien. Hierbij is er geen conventioneel roer nodig en is het schip beter manoeuvreerbaar.
8. Een hybride aandrijving is een voortstuwingsconcept waarbij twee of meer verschillende hoofdaandrijvingen kunnen worden gekoppeld en naar behoefte in- of uitgeschakeld.
9. Een hybride voortstuwingsinstallatie kan een schip op twee manieren voortstuwen:
  - Elektrisch, waarbij één of twee dieselgeneratoren stroom opwekken en via het accupakket stroom leveren voor de elektromotor, deze drijft via de tandwielkast de schroef aan;
  - Dieseldirect, waarbij de dieselmotor via de tandwielkast, waarop ook de elektromotor is aangesloten de schroef aandrijft.

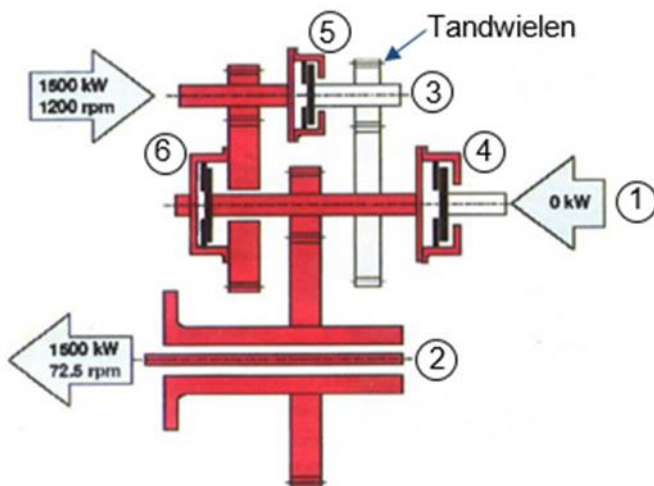
Bij een hybride aandrijving combineert men de voordelen van dieselektrisch varen bij laag vermogen met de voordelen van dieseldirect bij hoog vermogen. Indien men, bijvoorbeeld bij een baggerschip, lang met verschillende vermogens vaart, kan er met hybride voortstuwingsconcepten beter worden omgaan met de beschikbare energie en wordt er bespaard op brandstofkosten.

Een ander voordeel van (de tijdelijke) elektrische voortstuwingsconcepten is het lage geluidsniveau, de geringe trillingen en het grote koppel dat direct aanwezig is bij wegvaren en manoeuvreren.

10. PTO betekent 'Power Take Off' en staat voor een extra aandrijfas in een tandwielreductiekast naar de schroefas. Via deze extra aandrijfas kan een generator worden aangedreven.
11. PTI staat voor 'Power take In'. Energie van een bekrachtigde generator (in een elektromotorschakeling) kan worden gebruikt om de schroef aan te drijven.
12. Bij normaal bedrijf op zee draait de uitgaande as van de hoofdmotor (1) met 500 omw./min. Koppeling (4) staat in, waardoor de verstelbare schroef via de schroefas (2) wordt meegenomen. Koppeling (5) van de PTO-as (3) is ingeschakeld, de generator wordt nu aangedreven, en levert elektrische energie. Het toerental van de generator is 1200 omw./min. en van de schroefas 107 omw./min.
13. De uitgaande as van de hoofdmotor (1) draait met 500 omw./min. Koppeling (4) staat in, waardoor de verstelbare schroef via de schroefas (2) wordt meegenomen. Koppeling (5) van de PTO-as (3) is ingeschakeld, de asgenerator wordt bekrachtigd vanuit een accubank of via één of meerdere dieselgeneratoren. Door deze schakeling wordt er meer vermogen geleverd voor de aandrijving van de verstelbare schroef.



14. De hoofdmotor is uit bedrijf. Koppeling (4) en (5) staan uit. De asgenerator is als elektromotor geschakeld en wordt gevoed vanuit de accubank of door één of meerdere dieselgeneratoren. Het aantal omwentelingen van de verstelbare schroef ligt nu op 72,5 omw./min.



15. Een holle-aselektromotor heeft, in tegenstelling tot een normale elektromotor, geen uitstekende as waar een koppeling op gemonteerd kan worden. Bij een holle-asuitvoering wordt het anker over de as die aangedreven moet worden geschoven, vastgezet, zodat anker en as één geheel zijn. Als de elektromotor als voortstuwingsmotor gebruikt wordt, is met een elektronische regeling het aantal omwentelingen van de schroef gemakkelijk te regelen. Bovendien is er dankzij de elektronische regeling ook geen keerkoppeling nodig.

16. Een generatorset of ook wel genset is een generator die wordt aangedreven door een motor (op diesel, benzine of gas). Omdat een generatorset zelfstandig stroom opwekt, is deze zeer geschikt als mobiele stroomvoorziening. Vooral op plekken waar toegang tot het reguliere stroomnet niet tot de mogelijkheden behoort. Generatorsets worden ook gebruikt als noodstroomvoorziening of back-up voor de stroomvoorziening van ziekenhuizen of andere bedrijven waar een ononderbroken stroomvoorziening van belang is.

17. Door de generatorset in een omkasting te plaatsen kan deze op heel veel andere plaatsen als alleen aan boord worden gebruikt. De omkasting heeft een tweeledig doel: de generatorset wordt beschermd tegen weersinvloeden en doet tevens dienst als geluiddempende omkasting van de dieselmotor.
18. Een straalbuis wordt gebruikt om het rendement van schroeven te verhogen, waarbij ze vooral worden gebruikt bij zwaarbelaste schroeven of bij beperkte schroefdiameters. De voordelen van een straalbuis zijn een verhoogd voortstuwingsrendement, betere koersstabiliteit en minder kans op schade door drijvend afval. Achteruit varend is het rendement echter slechter, net als de koersstabiliteit. Ook is de kans op cavitatie groter. Verstelbare straalbuizen worden ook wel gebruikt ter vervanging van roeren.
19. Een roer- of azimuthpropeller is een elektrisch aangedreven scheepsschroef die onder het schip uitsteekt en 360° kan draaien. Voor de aandrijving van een L- of een Z-drive thruster wordt gebruikgemaakt van één of twee haakse tandwieloverbrengingen en een elektromotor of een dieselmotor.
20. Bij contraroterende schroeven, een constructie waarbij de schroeven aan beide uiteinden van de staart zijn gemonteerd, wordt het vermogen verdeeld over twee (kleinere) schroeven die in tegengestelde richting draaien. Hierdoor wordt een hoger rendement verkregen ten opzichte van een enkele schroef, omdat het voortstuwingsvermogen over meerdere schroefbladen wordt verdeeld.
21. Een Voith-Schneiderpropeller (VSP), ook wel kantelbladschroef of cycloïdeschroef genoemd, bestaat uit een horizontaal gemonteerde roterende schijf, waarop loodrecht omlaag een krans van verstelbare spaanvormige bladen is aangebracht. De kracht van de voortstuwing komt rechtstreeks van de rotatiesnelheid van de schijf waarbij de hoek van de schroefbladen de vaarrichting bepaalt. De schijf draait in principe met een vast toerental. Via een mechanisch kantelsysteem worden de 4 tot 6 bladen versteld, waardoor zowel de stuwkracht als de gewenste richting over 360° kan worden gekozen.
22. Er is geen roer nodig en anders dan bij een normale schroefvoortstuwing kan de VSP op iedere plaats onder de scheepsromp worden geplaatst. Doordat het systeem voortstuwing in elke gekozen richting mogelijk maakt, zijn met VSP uitgeruste schepen uiterst wendbaar. Het systeem wordt voornamelijk gebruikt voor sleep- en veerboten, maar ook voor kraanschepen en cruiseschepen. Door alle bladen stekend te zetten kan het schip gemakkelijk rond zijn as draaien.
23. Enkele voorbeelden van hulpzeilen zijn:
- een Flettner-schip met rotorzeil;
  - een turbozeil;
  - Skysail;
  - DynaRig-masten
24. Bij een waterjet komt de waterstroom met hoge druk uit het pompgedeelte in een straalbuis. Als de doortocht in de straalbuis kleiner wordt, wordt de drukenergie van de waterstroom omgezet in snelheidsenergie.

25. De werking van een waterjet is als volgt: een massa water zet zich met de door de pomp opgewekte kracht af vanaf de boot. Proefondervindelijk gevonden kun je zeggen dat 100 kg water die de straalbuis van de waterjet passeert ook een kracht veroorzaakt van 100 kg die z'n terugslag heeft op de romp van de boot. Dat noemen we de stuwkracht. Daardoor krijgt de boot snelheid. Naarmate de snelheid toeneemt, neemt het verschil tussen de snelheid van de waterstraal en de snelheid van de boot af. Daardoor neemt ook de stuwkracht af maar neemt het rendement toe. Dit rendement bereikt de waarde van 1 of 100% op het moment de snelheid van de boot gelijk is aan de snelheid van de waterstraal.
26. De reactiekracht op de waterstraal zorgt voor de stuwkracht die via het inlaathuis wordt overgedragen op de scheepsbodem en dus op het schip.
27. Achter de straalbuis is een stuurstraalbuis gemonteerd die beweegbaar is in het horizontale vlak. Door deze te verdraaien zal het schip naar stuurboord of bakboord bewegen.
28. Door het keerscherm (bucket) te laten zakken wordt de waterstraal uit de stuurstraalbuis afgebogen naar de onderzijde van het schip, waardoor deze achteruit gaat varen.
29. De naam 'jet' heeft te maken met het werkingsprincipe van de krachtbron. Dit werkingsprincipe is gebaseerd op de natuurwet: 'actie is reactie'. Andere voorbeelden van jetvoortstuwing zijn een turbinestraalmotor van een vliegtuig en een raket- of stuwstraalmotor.

## *Hoofdstuk 15 Lagere*

1. Het doel van lagere is het ondersteunen van draaiende assen.
2. Draaiende assen kunnen zowel axiaal als radiaal ondersteund worden.
3. We onderscheiden twee groepen lagere:
  - rollager of wentellagere: de as rolt in het lager;
  - glijlagere: de as glijdt in het lager.
4. Door de vorm van het lager en de as zal er vloeistof (smeerolie) tussen het lager en de as komen waardoor deze elkaar niet raken en de as als het ware op de olielfilm drijft.
5. Voordelen van een wentellager t.o.v. glijlager:
  - het lager heeft een geringe aanloopweerstand;
  - de wrijvingsweerstand blijft bij elk toerental gelijk;
  - weinig energieverlies door de geringe wrijving;
  - lange smeerintervallen en dus een laag smeermiddelverbruik;
  - geen inlooptijd;
  - het materiaal van de as is niet van invloed op de loopeigenschappen van het lager;
  - de lagere kunnen dikwijls zowel axiale als radiale krachten opnemen.
  - geringe inbouwlfengte;
  - grote betrouwbaarheid;
  - grote standaardisatie, wat verwisselen gemakkelijk maakt.
6. Voordelen van een glijlager t.o.v. een wentellager:
  - goedkoper in uitvoering;
  - geruisloze loop (als het lager in goede staat is);
  - trilling dempend;
  - doordat het lagerhuis en de as vettig zijn wordt het stof opgevangen, zodat het niet kan doordringen tussen de glijvlakken;
  - onderhoudsvrij;
  - betrekkelijk geringe radiale afmetingen;
  - wegens de meestal gedeelde uitvoering eenvoudig te monteren en demonteren;
  - eenvoudig aan te passen aan een bepaalde constructie.
7. De wrijvingscoëfficiënt tussen de as en het lager is afhankelijk van de wijze van smering en het aantal omwentelingen van de as.
8. Bij hydrostatische smering wordt de drukopbouw van de smeeroliefilm verkregen, doordat de smeerolie van bovenaf in de naar beneden toe nauwere ruimte tussen de draaiende as en de lagerschaal getrokken. Omdat olie praktisch niet samendrukbaar is, ontstaat er op deze manier een druk in de olielfilm, die groter wordt naarmate de speling tussen de as en de lagerschaal afneemt.
9. Bij hydrodynamische smering wordt de drukopbouw in de smeeroliefilm verkregen door de smeerolie onder hoge druk in het lager te persen.

10. We maken het meest, en bij voorkeur, gebruik van hydrodynamische smering.
11. Men kan de wrijving ook verminderen door de juiste keuze van materialen. Zo kan brons worden toegepast. Dit heeft smerende eigenschappen ten opzichte van een stalen as. Ook bepaalde kunststoffen voldoen aan deze smerende eigenschappen.
12. Bij de slijtage is het de bedoeling dat het de lagerschaal slijt en niet de as. Hierdoor hoeft men na een bepaalde standtijd enkel het glijlager te vervangen en niet de as.
13. De functies van het smeermiddel zijn het verminderen van wrijving en slijtage. Door het smeermiddel wordt gedeeltelijk ook warmte en slijpsel afgevoerd. Het smeermiddel moet ook in staat zijn om stoten en trillingen te dempen en voert ook warmte af.
14. We onderscheiden de volgende soorten smering:
- droge smering;
  - grenssmering;
  - volkomen- of hydrodynamische smering;
  - hydrostatische smering.
15. De eisen waaraan materiaal voor glijlagers voor motoren moet voldoen zijn:
- voldoende hoge vermoeiingssterkte i.v.m. de optredende drukken in de smeeroliefilm;
  - goede aanhechting van het lagermateriaal aan het dragende materiaal;
  - goede hechting tussen de smeerolie en het lagermateriaal bij het starten en stoppen van de motor;
  - goede corrosiebestendigheid;
  - goede warmtegeleiding;
  - geringe uitzetting van het samengestelde lagermateriaal en het dragende materiaal.
16. Wanneer de asbelasting dit toelaat, geeft men de voorkeur aan het gebruik van een relatief zacht lagermateriaal, omdat dan bijvoorbeeld een geringe incorrecte uitlijning van de as t.o.v. het lager door plastische vormverandering van het lagermateriaal enigszins kunnen worden gecorrigeerd. Ook worden harde verontreinigingsdeeltjes, die in de smeeroliefilm meegenomen zijn, gemakkelijk in het zachte lagermateriaal ingebed zonder verder beschadiging van de as of het lager te veroorzaken.
17. Witmetaal is de naam van de soort lagermetalen die bestaan uit harde koper-tin en tin-antimoonkristallen, die ingebed zijn in een zachte grondmassa van tin, dat ook goede glijeigenschappen verschaft. Een gemiddelde samenstelling is 80% tin, 10% koper en 10 % antimoon.
- Loodbrons kan zeer hoge vlaktedrukken weerstaan en bestaat uit 86% koper, 10% tin en 4% lood. Loodbrons komt ook voor als poreus, gesinterd materiaal dat, verzadigd met een smeermiddel, gebruikt wordt voor zelfsmurende lagers.
  - Aluminium-tin is een modern witmetaal met zeer goede eigenschappen.

18. De dikwandige lagers zijn bij de moderne motoren over het algemeen vervangen door dunne z.g. 'drieschillagers' of trimetaallagers waarbij de lagerschaal bestaat uit een dunne voorgevormde schaal van speciaal plaatstaal. In deze schaal wordt een laag van 2 á 3 mm loodbrons aangebracht, vaak gescheiden door een hele dunne nikkellaag, gevolgd door 0,01 à 0,02 mm zuiver tin voor het inlopen.
19. Omdat krukassen in de hardere moderne lagermaterialen mogelijk sneller slijten worden ze dikwijls oppervlakte-gehard.
20. Sinteren is een proces dat men gebruikt voor het vervormen van materiaal. Door middel van sinteren worden materiaalkorrels aan elkaar verbonden. Dit gebeurt in een oven. Kenmerkend voor het proces is dat de materiaalkorrels niet dusdanig worden verhit dat ze vloeibaar worden. In plaats daarvan worden de korrels verhit op een temperatuur vlak voor het smeltpunt. Op die temperatuur neemt het aantal contactpunten tussen de korrels toe. Als het materiaal vervolgens afkoelt is het zeer poreus of hard, afhankelijk van de procedure. Loodbrons kan worden gesinterd, waarbij dit poreuze materiaal, verzadigd met een smeermiddel, kan worden gebruikt voor zelfsmerende lagers.
21. Indien er rekening moet worden gehouden met grenssmering, kan men het beste een keuze maken uit zachte lagermaterialen die bij direct contact voor een deel de functie van het smeermiddel overnemen en waarbij een sterke slijtage van het lager en de as wordt voorkomen.
22. Het voordeel van witmetaal op loodbasis is dat het uitstekende 'loop'-eigenschappen heeft, maar het is minder sterk dan witmetaal op tinbasis. De vermoeiingssterkte is echter afhankelijk van de dikte van de laag, bij laagdikten minder dan 0,2 mm neemt de sterkte en ook de levensduur van het witmetaallager aanzienlijk toe. Witmetaal op tinbasis heeft o.a. een beter warmtegeleidbaarheid.
23. De invloeden op de legering:
- Antimonium vormt met het aanwezige tin kubusvormige antimonium-tin kristallen die zeer hard zijn en ingebed zijn in de grondmassa. De harde kristallen maken het materiaal slijtvast, terwijl de grondmassa zacht genoeg is om, bij direct contact van as en lager, een zekere vormverandering toe te laten.
  - Koper wordt bij witmetaal op loodbasis in een geringe hoeveelheid toegevoegd om segregatie of afscheiding van de lichte antimonium-tin kristallen uit de grondmassa bij het ingieten van de metalen te voorkomen. Bij witmetaal op tinbasis dient het koper om de sterkte van het metaal te verhogen. De hechting aan de lagerschalen wordt door kopertoevoeging echter ongunstig beïnvloed.
  - Door toevoeging van dit cadmium wordt de hardheid van de grondmassa bij hogere temperaturen verhoogd, evenals de statische en dynamische sterkte en de kerfslagweerstand.
  - Arseen en nikkel hebben een verfijnde invloed op de korrelstructuur van de grondmassa, terwijl nikkel bovendien de sterkte verhoogt en de slijtage vermindert.



24. De voorwaarden:

- De smeeroliefilm tussen as en lager moet een zodanige sterkte hebben dat contact van het materiaal van de as met het lagermateriaal zoveel mogelijk wordt voorkomen.
- Het lagermateriaal, in het bijzonder het loopvlak, moet een voldoende hoge vermoeiingssterkte bezitten om hoge vlaktedrukken zonder gevaar voor scheurvorming te weerstaan.
- Het loopvlak - of althans een gedeelte ervan - moet zacht genoeg zijn om inbedding van harde verontreinigingsdeeltjes in de smeerfilm mogelijk te maken, waardoor beschadiging van het asoppervlak wordt voorkomen.

25. Het loopvlak van een lagerschaal staat bloot aan corrosie en aan mechanische slijtage. Men spreekt daarom van corrosieve en abrasieve slijtage van het loopvlak.

26. De bedrijfsduur van een lager wordt uiteindelijk bepaald door de grootte en de aard van de belasting van het lager en, vooral bij trunkzuigermotoren, door de eigenschappen van de gebruikte brandstof (kwaliteit van de smeerolie).

27. De voorwaarden voor een zo lang mogelijke ongestoorde bedrijfsvoering zijn:

- intensieve vóórsmering van alle lagers (voordat de motor wordt gestart) en optimale smering tijdens het bedrijf;
- goede smeeroliereiniging, zoals continu centrifugeren, anders batch-separatie. Hieronder verstaat men het opslaan van een deel van de olie van het systeem in een aparte tank, deze olie wordt dan continu gecentrifugeerd en na enige tijd teruggevoerd naar het systeem, waarna de tank weer opgevuld wordt;
- tijdig onderhoud van oliefilters, met inbegrip van de indicatorfilter. Dat is het oliefilter dat in het leidingsysteem direct na de automatische terugspoelfilter is geplaatst;
- vóórkomen van inwendige verontreiniging van de motor tijdens werkzaamheden. Na ingrijpende werkzaamheden het smeerolieleidingsysteem volgens voorschrift doorspoelen;
- onmiddellijk afsluiten van smeeroliekanalen in de krukpen van trunkzuigermotoren wanneer krukpenmetalen worden geopend. En daarna een nauwgezette controle of alle afsluitingen verwijderd zijn!

28. De toelaatbare belasting van de trimetaallagers is aanzienlijk hoger dan van de witmetaallagers.

29. Vier onderdelen waar lagers worden gebruikt.

- Hoofdmotor, hoofdasmetalen. Dit zijn glijlagers.
- Kruishoofd, leibanen. Dit zijn glijlagers.
- Stuwblok. Dit is een taatslager.
- Uitlaatgassenturbine. Hier worden zowel kogel- als glijlagers toegepast.

## *Hoofdstuk 16 Bijzondere reparaties*

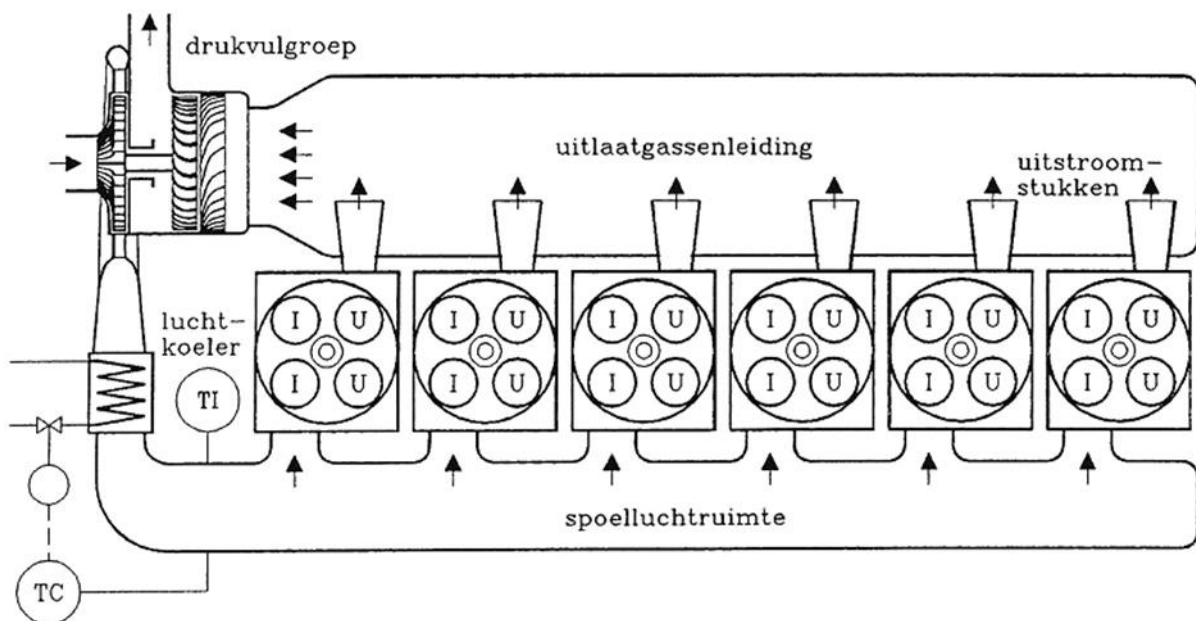
1. Een belangrijk verschil tussen een noodreparatie en een gewone reparatie is dat een noodreparatie op enig moment zal moeten worden vervangen door een echte reparatie.
2. Problemen die met een noodoplossing tijdelijk verholpen kunnen worden:
  - Problemen met luchtvoorziening, turbo's , bij meerdere turbo's mogelijk afblinden van één turbo.
  - Probleem met hogedrukbrandstofpomp van een cilinder, pomp uitschakelen als wisselen niet mogelijk is.
  - Extreme voeringslijtage, meer cilindersmering en vermogen van cilinder beperken.
  - Te hoge temperaturen in de motoren door gebrek aan koeling. Vaart of belasting verminderen als er geen andere oplossing is.
3. Voor de serieuzere noodreparaties (denk aan veiligheid) is het vaak noodzakelijk dat deze moet worden geïnspecteerd door een Surveyor van het klassebureau. Deze zal dan zeer waarschijnlijk een 'condition of class' afgeven.
4. In een 'condition of class' wordt bepaald welke voorwaarden er worden gesteld aan de noodreparatie en op welke termijn de definitieve reparatie moet zijn voltooid. Als dit soort zaken niet wordt gemeld of de definitieve reparatie niet wordt uitgevoerd kan het schip (tijdelijk) uit de klasse worden gezet en daarmee ligt het feitelijk stil.
5. In echte noodgevallen is het belangrijk dat er snel gehandeld wordt. Het is dus belangrijk dat je het schip, de systemen en de machines goed kent. Wees je altijd bewust van de situatie waar je je in bevindt; weer, verkeer, vaargebied, beschikbare middelen en mankracht. Deze zaken kunnen zeer bepalend zijn voor hoe er moet worden gehandeld.
6. De volgende stappen moeten er ondernomen worden in een noodgeval:
  - overleg, als mogelijk advies vragen;
  - risico-inschatting;
  - veiligheid en uitvoering;
  - verslaglegging.
7. Reparatie van een lekke leiding kan op de volgende manieren worden uitgevoerd:
  - bij een dunne leiding met een stuk rubber en slangenklemmen;
  - bij een dikkere leiding met behulp van een pijpreparatieklem;
  - met gebruik van Cordobond, een multifunctioneel reparatiemiddel;
8. De leiding kan dan worden afgesloten met behulp van een steekflens.
9. De diameter van de steekflens moet juist binnen de boutgaten van de flens vallen.

10. Heb je alle bouten verwijderd en het blijkt dat er ergens nog een afsluiter openstaat, dan heb je geen controle meer over de lekkage! Ook kunnen de leidingdelen niet van elkaar weg springen, als de totale leiding onder spanning staat.
11. Een reparatiemiddel voor een lekkend huis van een afsluiter is Cordobond Putty een sterke twee-componenten epoxyhars met een stopverfachtige structuur.
12. De lekke pijp kan worden afgedicht door aan beide zijden van de pijp een roodkoperen conische prop te slaan. Beslist geen ijzer i.v.m. de mogelijke galvanische werking. Bij voorkeur ook geen houten prop, alleen voor heel korte tijd, omdat hout week wordt en de prop oplost.
13. De afdichtingsprop mag niet te vast in de pijp worden geslagen. Het gevaar bestaat dat het gat in de pijpplaat oprekt. Hierdoor wordt het moeilijker om een goede nieuwe afdichting te krijgen als de pijp wordt vastgerold.
14. Een versleten of beschadigde schroefdraad kan worden gerepareerd door het plaatsen van een inzetschroefdraad of een z.g. Helicoil.
15. Scheurvorming in een plaat kan worden gestopt door de scheur af te boren, aan de uiteinden van de scheur worden gaatjes geboord over de volledige diepte van de scheur, dit noemt men 'het afboren' van een scheur. Dit afboren voorkomt het verder scheuren, om het gat op te vullen kan men er schroefdraad in tappen en er een boutje in draaien.
16. Een overboordafsluiter of een afsluiter op de zeewaterinlaatkast zijn afsluiters die direct op de scheepshuid gemonteerd zijn en dus de laatste barrière vormen met het buitenwater.
17. Om een overboordafsluiter te kunnen repareren moet het schip eigenlijk in het droogdok. Maar als een buitenboordafsluiter gaat lekken, hangt het van de capaciteit van de lenspomp af of het schip blijft drijven of zinkt.
18. Een afsluiter kan doorlaten of lekken naar buiten.
19. Steel putty of plasticsteel, oude fietsbanden zijn allemaal handig om aan boord te hebben bij lekkage.
20. De scheur afboren: aan de uiteinden van de scheur worden gaatjes geboord over de volledige diepte van de scheur. Dit voorkomt het verder scheuren. Om het ontstane gat op te vullen kan men er schroefdraad in tappen en er een boutje in draaien.
21. Bij afproppen wordt aan beide zijden van de pijp een houten of koperen conische plug geslagen.

## *Hoofdstuk 17 Druk­vulling*

1. De hoeveelheid arbeid die door de motor per cilinder kan worden geleverd is, uitgaande van een gelijkblijvend rendement, evenredig aan de hoeveelheid brandstof die in de cilinder kan worden verbrand.
2. Willen we meer brandstof verbranden dan moet er meer verbrandingslucht in de cilinder worden gebracht.
3. Dit laatste is mogelijk door de lucht, voordat deze de cilinder in stroomt, op een hogere druk te brengen, waardoor de dichtheid van de lucht toeneemt. Door de grotere dichtheid van de lucht is er ook meer gewicht aan lucht, en kan er ook meer gewicht aan brandstof worden verbrand.
4. Deze methode van verbrandingslucht aanvoeren noemt men druk­vulling.
5. De druk­vulling kan worden verzorgd door een turboblower, een centrifugaal­compressor, die wordt aangedreven door de uitlaat­gassen van de motor of mechanische spoelpomp. Dit komt minder vaak voor.
6. Het voordeel van een mechanische spoelpomp is dat de druk die wordt geleverd constant is. Bij een laag toerental van de motor levert de spoelpomp direct de gewenste druk, door de directe koppeling met de motor.
7. Een turboblower komt pas op toeren, nadat de uitlaat­gassen­stroom op gang is gekomen. Een nadeel van een mechanisch gedreven spoelpomp is dat deze vermogen kost.
8. De blower zuigt lucht van atmosferische conditie aan en comprimeert deze tot een hogere druk, die bij moderne motoren wel op kan lopen tot 4 à 5 bar.
9. Het rendement van een motor is sterk afhankelijk van de compressieverhouding. Door de toename van de druk en temperatuur in de cilinder neemt bij een motor met druk­vulling de eind­compressiedruk en temperatuur toe. Hierdoor neemt ook het vermogen van de motor toe.
10. Een motor met druk­vulling heeft, bij gelijke afmetingen, een groter vermogen dan een motor zonder druk­vulling.
11. In de uitlaat­gassen van een dieselmotor zit nog veel energie in de vorm van de ontwikkelde warmte als gevolg van het verbrandings­proces en druk­stoten veroorzaakt door de opeenvolgende uitlaatslagen.
12. In een warmte­balans kan men zien dat, afhankelijk van het motortype en de grootte, ongeveer 25 tot 40 % uit de ontwikkelde energie uit de brandstof verloren gaat met de uitlaat­gassen.
13. Wanneer de uitlaat­gassen bij de turbine aankomen wordt de kinetische- of stromings­energie van de uitlaat­gassen omgezet in mechanische energie van de compressor.

14. Door de toename van de temperatuur neemt ook het volume toe en dus neemt de soortelijke massa af. Door de lucht af te koelen in een luchtkoeler neemt de soortelijke massa van de lucht weer toe en kan een groter gewicht aan lucht in dezelfde tijd in de cilinder worden gebracht.
15. Daardoor kan er ook meer brandstof in de cilinder worden gespoten, waardoor het vermogen per cilinder toeneemt.
16. De luchttemperatuur na de blower, dus na de compressor, varieert afhankelijk van het motortype en de belasting van 80 °C tot 200 °C. Na de interkoeler varieert deze van 35 °C tot 85 °C.
17. De klepoverlap, de tijd dat de kleppen gelijktijdig openstaan, wordt gebruikt om de verbrandingsruimte te spoelen en te koelen. De klepoverlap is met drukvulling groter geworden. De verbrandingsruimte moet nu namelijk intensiever gespoeld en gekoeld worden, de mate van overlap is sterk afhankelijk van de manier van drukvulling.
18. Bij drukvulling onderscheiden we onder andere de volgende systemen:
- het gelijke-druksysteem;
  - het stootsysteem, ook wel Büchisysteem genoemd;
  - het SPEX-systeem (Single Pulse Exhaust-System).
19. Bespreek het gelijke-druksysteem.



Bij het gelijke-druksysteem worden de uitlaatgassen van alle cilinders naar een gemeenschappelijke uitlaatgassenleiding gevoerd. Omdat de uitlaatgassenleiding een grote inhoud heeft, worden eventuele optredende drukgolven afgevlakt. De uitlaatgassen drijven de turbine aan. De compressor comprimeert de lucht waarna deze door de luchtkoeler stroomt en vervolgens naar de spoelluchtruimte op de motor. Bij het gelijke-druksysteem heeft de motor over het algemeen een hoger rendement dan bij een ander systeem, dit omdat er nagenoeg geen drukstoten zijn waardoor de compressor een

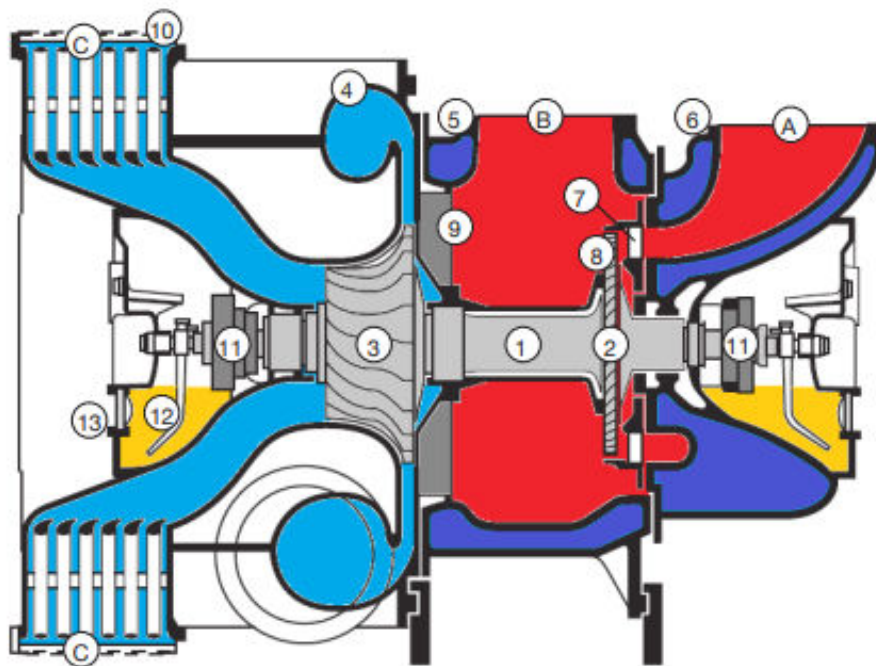
constante luchtlevering geeft. Het gelijke-druksysteem is vooral geschikt voor motoren die veel vollast draaien. Bij lage belastingen of bij het starten van de motor werkt dit systeem minder goed. De turbo levert bij starten weinig luchtdruk, omdat de uitlaatgassenleiding zich eerst moet vullen.

20. Bij het systeem Büchi of stootsysteem worden diverse cilinders aangesloten op relatief korte en nauwe uitlaatgassenleidingen. In deze leidingen ontstaat direct na het openen van een uitlaatklep een drukgolf. Deze drukgolf wordt vervolgens weer gevolgd door een drukdal. Door nu de juiste keuze te maken van klepopeningstijden laten we het drukdal samenvallen met de gelijktijdige opening van de in- en uitlaatkleppen van een cilinder, ofwel met de spoelperiode. Bij dit systeem kunnen niet meer dan drie cilinders op een uitlaatgassenleiding, waarin de turbine is opgenomen, worden aangesloten. Dit is om te voorkomen dat de druk in de uitlaatgassenleiding te groot wordt en hierdoor uitlaatgassen kunnen terugstromen naar een andere cilinder, waarvan de uitlaat wordt geopend. Het stootsysteem is complex qua leidingen maar vooral geschikt voor motoren die regelmatig in deellast draaien.
21. Omdat anders de spoelperiodes verstoord worden.
22. Bij het Pulse Convertorsysteem zijn vier cilinders op één uitlaatgassenleiding aangesloten. Een voorwaarde is wel dat beide op dezelfde aangesloten cilinders een ontstekingsvolgorde moeten hebben met afstanden van 360°.
23. Het Pulse Convertorsysteem is uitermate geschikt voor snellopende motoren. Het doel van dit systeem is de voordelen van zowel het stoot- als het gelijke-druksysteem met elkaar te combineren, dus zowel gebruik te maken van de kinetische energie in de uitlaatgassen, alsook door een gelijkmatiger stroming in de uitlaatgassenturbine het rendement ervan te verhogen.
24. De uitlaatgassenleidingen van twee cilinders, waarvan de ontstekingsafstand kleiner is dan de openingsduur van hun uitlaatkleppen, worden via straalbuizen naar een gemeenschappelijke mengpijp of diffuser gevoerd. De pijp komt uit in een bufferruimte vóór de turbine. De drukgolf van de uitlaatstoot van één cilinder verplaatst zich door de uitlaatleiding en wordt in de straalbuis omgezet in snelheid. Tegelijkertijd stromen de uitlaatgassen van de andere cilinder, waarvan de ontsteking iets vroeger heeft plaatsgevonden, met een lagere snelheid door de bijbehorende straalbuis. In de diffuser verenigen zich beide gasstromen, waarbij een uitwisseling van kinetische energie plaatsvindt. Daarbij wordt de snelheid van de langzame gasstroom opgevoerd, die dan de snelle gasstroom verlaagt. In de diffuser wordt deze snelheid weer omgezet in druk en de uitlaatgassen stromen met een nagenoeg constante snelheid, maar met een verhoogde druk, naar de turbine.
25. Bij het SPEX-systeem worden alle cilinders op een relatief dunne uitlaatgassenleiding aangesloten die naar de turbine leidt. Om nu te voorkomen dat de drukstoot van de uitlaat van de ene cilinder de spoeling van een andere cilinder beïnvloed, zijn in het uitlaatgassenkanaal, vlak voor de opening van de uitlaat, schotten aangebracht over circa 25% van de doorlaat. Dit systeem kenmerkt zich door een eenvoudige constructie, vooral bij motoren van zes cilinders of meer biedt dit systeem grote voordelen.

26. De hogere vuldruk wordt verkregen door een hoger rendement van zowel turbine als van compressor. Bij toepassing van ongekoelde turbinehuizen wordt minder warmte aan de omgeving afgegeven en komt dus meer warmte ter beschikking voor het leveren van vermogen.

27. De onderdelen in figuur 17.1:

1. As
2. Schoepenwiel
3. Compressorwiel
4. Slakkenhuis-compressorgedeelte
5. Watergekoeld uitlaatgassengedeelte
6. Watergekoeld uitlaatgassengedeelte
7. Straalbuising
8. Schoepenwiel uitlaatgasturbine
9. Hitteschild
10. Filter en geluiddemper
11. Kogellagers van rotoras
12. Smeeroliepomp
13. Kijkglas in smeeroleiding



Figuur 17.1

28. De luchtvoorziening van de huidige motoren is bij deellast onvoldoende als gevolg van de steeds hoger opgevoerde gemiddelde drukken, de overschakeling op het gelijke-druksysteem en het hogere rendement van de turbodrukgroepen.

29. Een turbo kan te veel of te weinig energie leveren om de juiste hoeveelheid lucht voor de motor te leveren bij verschillende belastingen. Mogelijke oplossingen:

- waste-gate, het afblazen van deel van de lucht bij hoge belasting;
- bypass, door bij deellast een deel van de lucht terug te leiden naar

de turbine wordt de gasstroom door turbine verhoogd, en ook de vuldruk;

- vermogensturbine, bij hoge belasting wordt een deel van de uitlaatgassen gebruikt om een aparte gasturbine aan te drijven die zijn energie teruggeeft aan de motor of een generator;
- het bij- of afschakelen van turbogroepen, slow steaming;
- turbine met variabelere straalbuisring (VTA turbine);
- 2-trapsturbine, deze geeft geen oplossing voor het probleem, van de juiste hoeveelheid spoellucht, maar geeft wel een rendementsverbetering.

30. Bij een waste-gate wordt het drukvulstelsel aan de luchtzijde voorzien van een afblaaspoort, een zogenaamde waste-gate. De turbogroep is in dit geval geoptimaliseerd voor een bepaalde deellast van de motor. Om nu te voorkomen dat de vuldruk bij vollast buitensporig hoog wordt, kan een deel, van de door de compressor geleverde lucht of een deel van de naar de turbine stromende uitlaatgassen, worden afgeblazen. Uiteraard betekent dit een verlies aan energie, zodat bij geopende waste-gate het specifiek brandstofverbruik stijgt.
31. Bij een bypass-voorziening wordt bij deellast van de motor een verbinding gemaakt tussen de compressoruitlaat en de turbine-inlaat. Een deel van de door de compressor geleverde lucht stroomt nu direct naar de turbine en verhoogt daarmee de gasstroom door de turbine. Het resultaat is dat de drukval van de gassen over de turbine stijgt en als gevolg daarvan ook de vuldruk.
32. De toepassing van een vermogensgasturbine komt alleen in aanmerking voor de wat grotere vermogens. Er wordt slechts een deel van de in de uitlaatgassen aanwezige energie afgegeven aan de turbine van de drukvulgroep, voldoende om de vereiste vuldruk te krijgen. Het overblijvende deel van de energie wordt afgegeven aan een vermogensturbine. De energie die hier wordt afgegeven wordt omgezet in mechanische energie en wordt via een tandwielreductie afgegeven aan de krukas. De energie kan ook gebruikt worden voor de aandrijving van een generator voor opwekking van elektrische energie.
33. Bij langdurend met verminderd vermogen varen bestaat de mogelijkheid om van een van de turbo's, zowel de toevoer van de uitlaatgassen als de afvoer van de verbrandingslucht door middel van kleppen af te sluiten. Bij grote containerschepen is deze optie soms mogelijk, doordat er een speciale klep is ingebouwd in het kader van het 'slow steaming' (het voor langere tijd langzaam varen om brandstof te besparen) om dan een betere werking te verkrijgen van de turbo's.
34. Het voordeel van de variabele straalbuisring is, dat deze zó wordt gericht dat bij lage belasting, dus een kleinere hoeveelheid uitlaatgassen, het turbinewiel al heel goed in beweging kan worden gebracht. Op deze manier kan er voldoende druk worden opgebouwd om de motor zodanig te vullen dat er acceptabele prestaties geleverd kunnen worden.  
De straalbuisring richt de gasstroom en het verstellen kan automatisch uitgevoerd worden aan de hand van het toerental, de belasting of de spoelluchtdruk. Bij het toenemen van de belasting wordt de straalbuisring



versteld totdat deze zijn eindstand heeft bereikt, wat ook de stand is waarbij de motor zijn vollast vermogen levert.

35. Met enige regelmaat moet het zuigfilter worden schoongemaakt en de turbo gereinigd. Het reinigen van de compressorschoepen kan gewoon tijdens het bedrijf door een afgepaste hoeveelheid schoon water in de zuigzijde van de compressor te injecteren met het daarvoor aangebrachte spoelsysteem. De schoepen van de uitlaatgassenturbine kunnen ook met schoon water worden gereinigd, dit kan echter alleen bij gereduceerd vermogen. Om de schoepen van de uitlaatgassenturbine tijdens normaal bedrijf te reinigen is het ook mogelijk om de turbine met gemalen notenschillen of (rauwe) rijst te reinigen. Daarvoor wordt een afgepaste hoeveelheid in een drukpotje gedaan en deze wordt dan met behulp van werklucht door de turbine geblazen. Hierdoor wordt het vuil van de turbineschoepen geslagen en verbrandt het samen met de notenschillen in het uitlaatgassenkanaal. Hierbij moet juist met een voldoende vermogen gedraaid worden.
36. Een spoelluchtbrand is een combinatie van een versleten voering en zuigerveren met daarbij vervuiling van de spoelluchtruimte. Een spoelluchtbrand kan grotendeels worden voorkomen door het goed schoonhouden van het spoelluchtkanaal en de spoelluchtruimte aan de onderzijde van de zuiger.
37. Een spoelluchtbrand is als eerste te herkennen aan het 'blaffen' van de blower en een oplopende temperatuur van de spoellucht van de betreffende cilinder. Als gevolg daarvan stijgt ook de temperatuur van de spoelluchtruimte en van de uitlaatgassen. De motor gaat onregelmatig lopen en er zal zwarte rook met soms roetdelen uit de schoorsteen komen.
38. Het is belangrijk dat men bij een eerste indicatie de brand in de spoelluchtruimte weet te houden en de schade aan de motor probeert te beperken. De eerste actie is het verminderen van het aantal omwentelingen van de motor naar zeer langzaam. Van de cilinders waar het om gaat moet de brandstoftoevoer worden gestopt, maar de smering moet wel worden opgevoerd.
39. Als het een grote brand is, moet er een brandblusmiddel worden toegelaten. Dat kan CO<sub>2</sub> zijn, stoom, watermist of bluspoeder.
40. Het blaffen van een turbo ontstaat als de turbo even tijdelijk meer spoellucht levert dan de motor aankan. De druk in de spoelluchtruimte loopt dan op tot een punt dat de druk zo hoog wordt dat de lucht terug door compressor naar buiten wordt geblazen, dit gaat gepaard met een blaffend geluid.
41. De oorzaak van het blaffen is, dat de turbo een instabiel werkingsgebied heeft. In dit gebied kan de luchtstroom tot stilstand komen of zelfs van richting veranderen. De frequentie van deze debietwisseling is gemiddeld één tot twee keer per seconde maar kan wel oplopen tot vijf keer per seconde. Dit fenomeen wordt 'surge' genoemd en als dit vaak voorkomt is dit funest voor de compressor. Het bijbehorende geluid staat bekend als 'blaffen'.

42. Dit kan voorkomen bij langzaamlopende voortstuwingsmotoren tijdens manoeuvreren en bij zwaar weer, door de snelle veranderingen in de brandstoftoevoer tijdens deze situaties. Ook vervuiling van de inlaatpoorten is van invloed.
43. Als een turbo beschadigd of in onbalans raakt, is het nodig om de motor direct te stoppen, om te voorkomen dat het tot ernstigere schade zal leiden.
44. Het zal dan nodig zijn om de turborotor vast te zetten. Omdat in zo'n geval er nog wel uitlaatgassen door de turbo stromen, moet er gekoeld blijven worden. Door het vastzetten van de turbo ontstaat er veel weerstand, dus ook dit is verre van ideaal. De motor kan nu natuurlijk maar beperkt worden belast vanwege verminderde spoellucht en er moet dan ook goed gelet worden op de uitlaatgassentemperaturen en de rook uit de schoorsteen. Als er hulpblowers zijn moeten deze ook worden ingezet.
45. In het geval van meerdere turbo's is het soms mogelijk om één turbo volledig af te blinden en dan met verminderd vermogen te varen.
46. Om een goede koeling en spoeling te krijgen, laat men bij drukvulling bij 4-slagmotoren de in- en uitlaatkleppen minstens 90° tegelijk openstaan, waardoor ongeveer 60% van de extra lucht gebruikt wordt voor het afkoelen en spoelen van de cilinder.
47. Het is belangrijk om het spoelluchtkanaal regelmatig te inspecteren en schoon te maken en het eventueel aanwezige water/oliemengsel af te tappen om een spoelluchtbrand te voorkomen. Ook kunnen tijdens het tornen de zuigerveren gecontroleerd worden.
48. Een spoelluchtbrand is een combinatie van een versleten cilindervoering en zuigerveren met daarbij vervuiling van de spoelluchtruimte. Men kan met de motor zeer langzaam doordraaien en vervolgens de 'boel schoon laten branden'.

## Hoofdstuk 18 Verstuivers

1. De brandstof die door de hogedrukbrandstofpomp in de juiste hoeveelheid en op het juiste moment wordt geleverd moet door één of meer brandstofkleppen of verstuivers fijn verstoven in de cilinder worden gebracht.
2. Voor een zo hoog mogelijk thermisch rendement van de motoren is een zo kort mogelijke verbrandingsduur gewenst, dat vraagt weer om een zo fijn mogelijke verneveling van de brandstof gedurende de inspuiting. Veel kleine druppeltjes geven veel meer contact met de lucht dan minder grotere druppels.
3. Bij alle direct ingespoten dieselmotoren wordt ernaar gestreefd om de brandstofklep centraal in het cilinderdeksel te plaatsen. Bij langzaamlopende 2-slagmotoren met één uitlaatklep is dit niet mogelijk en wordt de brandstofklep uit het midden geplaatst, vaak worden er dan meerdere verstuivers geplaatst.
4. De brandstof moet met een zodanige snelheid in de cilinder worden ingespoten dat de brandstofdruppels de cilinderwand niet raken. Dit veroorzaakt namelijk onvolledige verbranding, plaatselijke oververhitting en vervuiling van de cilinder en het tast de smeeroliefilm in de cilinder aan waardoor er kans is op snellere slijtage van de cilinder.
5. Alle klassebureaus schrijven voor dat de hogedrukbrandstofleidingen moeten zijn omgeven door een stalen mantel die tot doel heeft de lekbrandstof die vrijkomt bij het eventueel scheuren van de hogedrukbrandstofleiding veilig af te voeren naar een separate lektank en daarmee het gevaar van brand te voorkomen. In de lektank is het alarm heel laag aangebracht waardoor lekkage direct gedetecteerd wordt. Er zijn ook systemen waarbij sensoren direct in de lekleiding van de betreffende cilinder zijn aangebracht.
6. De functie van de verstuivernaald is het, onder hoge druk, verstuiwen van brandstof. Of beter het voorkomen van inspuiting, zolang de brandstofdruk nog niet hoog genoeg is.
7. Er moet wel een minimale hoeveelheid brandstof langs de verstuivernaald kunnen lekken om deze te kunnen smeren.
8.
  1. lekleiding
  2. persaansluiting
  3. rond lopende groef
  4. verstuivernaald
  5. naaldgeleider of naaldhuis
  6. drukstaaf
  7. veer
  8. borgmoer
  9. stelschroef
9. De afvoerleiding nummer 1 is de lekolie-afvoer.

10. De openingsdruk kan verhoogd worden door de borgmoer los te draaien en vervolgens met een schroevendraaier de stelschroef in te draaien en de veerdruk te verhogen tot de juiste druk is bereikt. Daarna kan de borgmoer weer vastgezet worden.
11. De lekolie-afvoer van een verstuiver mag nooit geblokkeerd worden, omdat dat kans geeft op ernstige lekkage in het HD-brandstofsysteem. Als de lekolie, die zich boven in de brandstofklep niet vrij kan wegstromen, bouwt de weggelekte brandstof daar druk op, die op de bovenkant van de naald gaat werken en deze samen met de veer naar beneden gedrukt houdt. Om de naald dan te kunnen openen moet de inspuitdruk nog verder stijgen. De plunjer van de brandstofpomp wordt door een nok omhoog bewogen, waardoor tussentijds beëindigen van de persslag onmogelijk is. Met als resultaat lekkage op de zwakste plaats van het inspuitsysteem.
12. Een te kleine lichthoogte veroorzaakt een te grote stromingsweerstand tijdens het inspuiten en daardoor een te grote drukval over de naaldopening en een te kleine doorstroming.
13. Een te grote lichthoogte resulteert in een grote naaldsnelheid gedurende het sluiten en daardoor inslaan van de naald op de zitting. Ook sluit de verstuiver te laat.
14. De hoek waaronder de zitting is geslepen is kleiner dan de hoek van de verstuivernaald. Op deze wijze wordt een smalle afdichtingsrand aan de bovenzijde van de naaldkegel gecreëerd. Omdat de naald met een klap op de zitting valt, wordt de brandstofstroom bij het sluiten van de naald snel en volledig onderbroken.

15. Stelt men:

$p_o$  = brandstofdruk op moment van openen van de naald;

$p_s$  = brandstofdruk op moment van sluiten van de naald;

$F_v$  = kracht door veer uitgeoefend op de naald;

$D$  = grootste diameter van de naald;

$d$  = kleinste diameter van de naald.

$$p_o \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) = F_v$$

dan geldt voor het moment van openen:

Op het moment dat de naald weer sluit, drukt de brandstof tegen het gehele ondervlak van de naald. Verwaarloost men het kleine verschil in veerkracht als gevolg van het openen van de naald, dan is:

$$p_s \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 = F_v$$

Hieruit volgt, door gelijkstelling van de linkerleden van de vergelijkingen,

$$p_s = \frac{D^2 - d^2}{D^2} \cdot p_o$$

dat:

De sluitdruk is dus lager dan de openingsdruk.

16. De eindcompressiedruk verhoogt de weerstand tegen het inspuiten van de brandstof in de cilinder, ook is een versnellingsdruk nodig voor het snel openen van de naald. Vrijwel altijd wordt de openingsdruk hoger. De drukopbouw door een hogedrukbrandstofpomp op een motor is veel sneller dan die van een testpomp.
17. De lengte van de brandstofstraal wordt ten dele door de brandstofdruk, maar meer nog door de diameter van het verstuivergat of -gaatjes bepaald, dus de snelheid die de brandstof bereikt.
18. Ook komt de brandstofstraal op een relatief koud oppervlak, waardoor de brandstof niet snel genoeg zal verdampen en ontbranden. Dit leidt tot roetvorming en daling van het motorrendement.
19. Bij onvoldoende koeling zal na iedere inspuiting ten gevolge van de warmtetoevoer vanuit de verbrandingsruimte de brandstof, die achterblijft in het 'kanaal' tussen de naald en de verstuivergaatjes, door verdamping worden uitgedreven en vervolgens gekraakt. De door het kraken van de brandstof gevormde kool hecht zich rond de verstuivergaatjes en belemmert de doortocht van de brandstof en dus een goede verstuiving. Door een goede koeling van de verstuivertip kan dit verschijnsel worden voorkomen.
20. Als koelmiddel kan onthard zoet water, dieselolie en smeerolie worden gebruikt. De temperatuurstijging van het koelmiddel bedraagt niet meer dan 1 à 2 °C. Deze hoge temperatuur is nodig om de zware brandstof in de brandstofklep op temperatuur te houden, waardoor de viscositeit ervan niet te veel stijgt tijdens het verblijf in de brandstofklep. Hierdoor kan men dan ook beter spreken van temperatuurregeling in plaats van koeling.
21. Voor een zo hoog mogelijk thermisch rendement van de motoren is een zo kort mogelijke verbrandingsduur gewenst, dat vraagt weer om een zo fijn mogelijke verneveling van de brandstof gedurende de inspuiting en daarvoor zijn zeer hoge inspuitedrukken vereist. En begin ontsteking net na bovenste dodepunt (BPD).
22. Door milieueisen en grotere verschillen in brandstofkwaliteit moet de regeling nauwkeuriger zijn, en het regengebied groter.
23. Bij een pompverstuiver zijn de hogedrukbrandstofpomp en de verstuiver in één huis ondergebracht. De pompverstuiver is in het cilinderdeksel geplaatst en wordt net als de in- en uitlaatkleppen bediend vanaf de nokkenas door een stootstang en tuimelaar.
24. Het verschil tussen de pompverstuivers wordt bepaald door de manier waarop de brandstof op de inspuitedruk wordt gebracht en de manier waarop de hoeveelheid ingespoten brandstof wordt geregeld. We onderscheiden mechanische bediening van de plunjer door nok, stootstang en tuimelaar. De brandstofregeling geschiedt door het verdraaien van de plunjer. Mechanische bediening van de plunjer door nok, stootstang en tuimelaar. De brandstofregeling geschiedt door middel van een elektrisch gestuurde magneetklep.

25. Een voorbeeld van een pompverstuiver met magneetklep is het type EI800 MEUI van Caterpillar. Deze mechanische pompverstuiver bestaat uit de volgende onderdelen:

- Het hogedrukpersgedeelte, met een vanaf de nokkenas via een stootstang en tuimelaar bewogen pomplunjer. De pomplunjer krijgt de brandstof toegevoerd vanuit de brandstof toevoerleiding.
- Het verstuiverdeel, recht onder de brandstofplunjer met een veerbelaste verstuivernaald.
- Een elektronisch bediende magneetklep die de brandstoftoevoer naar de plunjer verzorgt.

De aanvang en het einde van de inspuiting van de verstuiver wordt bepaald door de magneetklep. In afbeelding 18.2 zien we dat de plunjer en de veer naar beneden worden gedrukt door de nok op de nokkenas.

26. De brandstoftoevoer bestaat uit een lagedruk- en een hogedrukbrandstofpomp die in één huis zijn samengebouwd. De lagedrukpomp is een tandwielpompe die de brandstof uit de tank aanzuigt en het gehele pomphuis gevuld houdt en daarbij de hogedrukbrandstofpomp (1) van brandstof voorziet. De hogedrukpomp voorziet via de hogedrukleiding (2) de common-rail of verzamelleiding (3) van brandstof, waarbij de druk in de verzamelleiding constant wordt gehouden.

De hoeveelheid ingespoten brandstof wordt nauwkeurig geregeld door een Electronic Control Unit of ECU (5), die de magneetklep in de injector (4) aanstuurt.

De voordelen van een common-railbrandstofinspuitsysteem is dat de duur en de momenten van inspuiting nauwkeurig kunnen worden geregeld en veranderd.

102

27. Voortstuwingsmotoren kunnen tegenwoordig worden uitgerust met het zogeheten dualfuel-brandstofsysteem. Een aantal scheepstypes zoals LNG-tankers, cruiseschepen, roroschepen, veerboten en offshore units zijn er inmiddels al mee uitgerust. Met dualfuel-motoren kan er met een draaiende motor overgeschakeld worden van DO/HFO naar een andere brandstof die ook gasvormig kan zijn.

28. De belangrijkste reden voor rederijen om over te gaan op dualfuel-motoren, zijn de regels beschreven in MARPOL Annex VI. Annex VI beschrijft de eisen betreffende de uitstoot van schepen. Samengevat betekent dat dat de eisen betreft uitstoot van NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> en CO<sub>2</sub> per 2020 sterk aangescherpt zijn.

29. Verstuivers worden aan boord verwisseld wegens slecht functioneren of op basis van draaiuren.

30. In de praktijk komt het erop neer dat van de hulpmotor alle verstuivers in één keer verwisseld worden op basis van de draaiuren. Bij grote 2-slagvoortstuwingsmotoren worden ze eerder verwisseld per cilinder. Een uitzondering kan worden gemaakt tijdens het periodiek verwisselen, voor een verstuiver die recent is verwisseld wegens een storing.

31. Het mogelijke onderhoud aan boord van brandstofkleppen bestaat uit het regelmatig testen van de openingsdruk op een testpomp en het vervangen

van de verstuivertip. Bij een goed werkende brandstofklep hoort men tijdens het openen een 'krakend' geluid en mag de verstuiver niet nadruppelen. Na het sluiten mag de druk niet te snel wegvallen, valt de druk weg dan kan dit duiden op een lekkende naald. Bij een lekkende brandstofklep moeten de naald en naaldgeleider vervangen worden. Door de grote nauwkeurigheid die vereist wordt is het niet mogelijk deze aan boord weer op te zuiveren.

32. Elke dieselmotor op een schip, afhankelijk van het type en bouwjaar, moet in bezit zijn van een EIAPP-certificaat. EIAPP staat voor Engine International Air Pollution Prevention. Dit certificaat is een resultaat van de steeds strengere eisen die de IMO stelt aan de uitstoot van zeeschepen.

In dit EIAPP-certificaat is terug te vinden, dat elk aan het verbrandingsproces gerelateerde onderdeel van de motor is voorzien van een uniek IMO nummer. Wanneer een onderdeel van de verstuiver vervangen dient te worden, moet dit onderdeel aan de hand van het IMO-nummer worden besteld. Elke vervanging moet bovendien worden genoteerd in een zogenaamd Technical File dat bij de motor hoort.

33. De volgende afwijkingen kunnen tijdens de vaart worden geconstateerd:

- afhankelijk van de brandstofregeling kan de motor in toeren minderen (bij een toerengeregeld systeem merk je niets);
- de schoorsteen rookt;
- de uitlaatgastemperatuur loopt op of daalt;
- er is olie zichtbaar in het koelwater van de brandstofklep;
- gebreken die bij het nemen van diagrammen naar voren komen.

34. De voornaamste storingen die bij een brandstofklep kunnen voorkomen zijn:

- aangroei aan de verstuivertip, zogenaamde 'bloemkoolvorming';
- blijven hangen van een verstuivernaald;
- nadruppelen van de verstuivernaald;
- lekkage van brandstof in het verstuiverkoelwater;
- de lekkage langs brandstofnaald wordt te groot;
- een gebroken, versleten of te oude brandstofklepveer.

35. Normaal openbaart 'bloemkoolvorming' zich door roken van de betrokken cilinder, maar dat is uiteraard moeilijk te zien. Ook kan aan de hand van een indicatordiagram geconstateerd worden dat de verbrandingsdruk te laag is. Op schepen met kijkglazen is de spoelluchtruimte (langsspoeling) te zien als een zogenaamde vlammeende verstuiver, ook wel onweer genoemd. Door de bloemkoolvorming is de verstuiving van de brandstof slechter. Dat leidt tot een lagere eindverbrandingsdruk en roken van de betreffende cilinder.

Een van de oorzaken kan de slechte kwaliteit van de brandstof zijn. Motoren die zijn uitgevoerd met brandstofpompen met VIT-regeling kunnen het moment van inspuiten veranderen om ondanks de slechte kwaliteit brandstof toch een goede inspuiting te krijgen. Motoren zonder VIT-regeling kunnen hier niet veel aan doen. Eventueel langdurig op deellast draaien proberen te vermijden of voorkomen. Ook wordt het FQS (Fuel Quality Setting) systeem gebruikt om de kwaliteitsverschillen van de brandstof bij te regelen. In sommige gevallen wil een intensievere verstuiverkoeling weleens helpen. Een andere oorzaak kan ook nadruppelen zijn, b.v. door slechte dichting van de naald op de zitting of als door inslaan het sluitvlak van naald en zitting te

groot is geworden. Remedie is in dit geval vervangen van de naald en naaldgeleider.

36. Het blijven hangen van een verstuivernaald openbaart zich meestal door roken van de betrokken cilinder, omdat de brandstof aan het begin niet met de juiste druk wordt ingespoten en ook het eind van de inspuiting niet goed verloopt. Dit resulteert in een hogere uitlaatgassentemperatuur door naverbranding. Dit is aan het indicateurdiagram te zien.

De oorzaken kunnen zijn;

- Vuil tussen naald en geleider zoals bijvoorbeeld ijzerdeeltjes, die van cavitatie afkomstig zijn of door het vuil in de brandstof, te slechte brandstof of niet goed gereinigde brandstof.
- Te geringe speling tussen naald en naaldhuis door onvoldoende koeling en dus een te hoge temperatuur van de gehele brandstofklep.
- Foutieve montage, bijv. als verstuivermoer te vast aangeslagen wordt.
- Deformatie van huis of naald als gevolg van hardingsfouten bij de staalbereiding of het niet zuiver slijpen van de sluitvlakken of de pasvlakken.

37. Bij het nadruppelen van de verstuivernaald zal door de lekkage de verbranding niet goed verlopen omdat de inspuiting als het ware nog doorgaat als de naald al gesloten is door de restdruk, terwijl daardoor de uitlaatgassentemperatuur zal stijgen en de motor zal gaan roken. Het geeft tevens aanleiding tot bloemkoolvorming. De oorzaak van het nadruppelen is een slecht sluitvlak.

38. Omdat de druk van de brandstof zoveel hoger is dan die van het koelwater, is lekkage van brandstof naar het verstuiverkoelwatergedeelte altijd gemakkelijk te constateren als er per verstuiver in de koelwaterafvoer een controleglas gemonteerd is. De oorzaken kunnen zijn;

- Oneffenheden van de afdichtingsvlakken.
- Vast vuil wat bij montage tussen de afdichtingsvlakken is achtergebleven.
- Gescheurd naaldhuis.

39. De oorzaken van naaldlekkage kunnen zijn;

- De aanwezigheid van katalysatorstof in de brandstof.
- Hardingsfouten bij het fabricageproces van de naald of naaldhuis.
- De brandstofreiniging is onvoldoende (separatoren en filters controleren op goede werking).
- De kracht van de veer werkt niet zuiver op het midden van de naald. De drukstaaf is krom of de aanlegvlakken van de veer liggen niet evenwijdig. Dit soort afwijkingen heeft tot gevolg dat de openingsdruk van de verstuiver lastig is in te stellen.

40. Een grote 2-slagmotor heeft meerdere verstuivers per cilinder, dus als de andere verstuiver(s) nog wel goed werken zijn de afwijkingen in temperatuur en drukverschillen kleiner.

41. Als je aan de HD-brandstofleiding van de verstuiver voelt, moet je elke omwenteling een tik voelen, anders opent en sluit deze verstuiver niet.

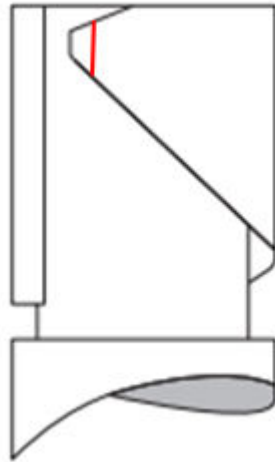


## Hoofdstuk 19 Brandstofpompen

1. Een conventioneel hogedrukbrandstofsysteem bestaat voor elke cilinder uit een hogedrukbrandstofpomp die vrijwel altijd wordt aangedreven via een nok op een nokkenas, een hogedrukbrandstofleiding en een in het cilinderdeksel aangebrachte brandstofklep of verstuiver.
2. De taak van de brandstofpomp bestaat uit:
  - Het snel onder hoge druk brengen van de brandstof zonder dat daarbij grote lekverliezen optreden.
  - Een regelbare hoeveelheid brandstof naar de verstuivers persen, deze hoeveelheid moet bovendien continu regelbaar zijn van 0 tot maximaal.
  - De levering van de brandstof moet op het juiste moment beginnen en eindigen.
3. Voor een goede verstuiving van de brandstof is een hoge inspuitnelheid gewenst (250 tot 350 m/s), en deze hoge inspuitnelheid kan alleen worden verkregen door een hoge inspuitdruk, 1000 bar tot 2000 bar.
4. De inspuitdruk kan onnodig worden verhoogd wanneer de dikvloeibaarheid of viscositeit van de brandstof te hoog is. De viscositeit van destillaatbrandstof (gasolie of dieselolie) is bij normale omgevingstemperaturen meestal laag genoeg, zware brandstoffen moeten worden verwarmd om de gewenste inspuitviscositeit van 15 à 20 mm<sup>2</sup>/s (cSt) te verkrijgen.
5. De constructie van de brandstofpomp hangt nauw samen met de hoeveelheid brandstof die er naar de verstuiver moet worden opgebracht.
6. Dit noemt men de opbrengstregeling en is de enige manier om het vermogen van de motor te regelen.
7. Bij de opbrengstregeling onderscheiden we drie systemen:
  - Beginregeling.
  - Eindregeling.
  - Begin- en eindregeling.
8. Bij beginregeling wordt het vermogen van de motor geregeld door het begin van de inspuiting variabel te maken. Het einde van de inspuiting ligt dus vast. Bij verminderen van het vermogen zal de ontsteking en verbranding dus steeds later beginnen. De verbrandingsdrukken nemen sterk af en dus ook het motorrendement.
9. Bij eindregeling ligt het begin van inspuiting vast. Het motorvermogen wordt nu geregeld door het einde van de inspuiting te laten variëren.
10. Bij vermindering van de belasting of het toerental van de motor zal het ontstekingsuustel veranderen. Het tijdstip van ontsteken zal dus ook later beginnen waarbij het rendement zal dalen. Door nu zowel het begin als het einde van de inspuiting te laten variëren kan men aan bovengenoemde bezwaren tegemoet komen. De beginregeling wordt dus gebruikt om de ontsteking bij variërende belasting op het juiste moment te laten aanvangen. Met de eindregeling wordt het juiste vermogen ingesteld.

11. Deze is afhankelijk van de constructie van de pomp. Men onderscheidt hierbij plunjerregelende pompen en klepregelende pompen.
12. De werking van de opbrengstregeling bij een plunjerregelende pomp berust op het verdraaien van de plunjer in het pomphuis waarbij eerder of later de persdruk wordt ontlast, doordat de zuig- en de persopening met elkaar in verbinding worden gebracht. De plunjer is aan de onderzijde voorzien van een meenemer die in de sleuf van een vertande bus valt. Door de tandheugel heen- en weer te bewegen verdraait de vertande bus en daarmee ook de plunjer.
13. De plunjer (7) staat in zijn laagste stand (afbeelding 19.1). Via de twee aanzuigopeningen in de cilinderwand kan de brandstof vrij toestromen. De weggefreeste ruimte bij de helix is ook gevuld met brandstof met een druk van 4-10 bar. De nok van de nokkenas draait onder de plunjer door en duwt deze omhoog. Hierdoor wordt de aanzuigopeningen afgesloten (1). Dit is het begin van de persslag (2). De druk boven de plunjer neemt snel toe. Omdat vloeistof in theorie niet samendrukbaar is, begint ook op dat moment de inspuiting. Tot het moment dat de schuine zijde van de helix de aanzuigopening niet meer afschermt (3). De druk daalt dan in één keer tot de druk in de zuigleiding. Dit is het einde van de brandstofinspuiting (4).
14. Het moment dat de aanzuigopeningen worden afgesloten tot het moment dat ze weer vrij komen wordt de effectieve persslag genoemd.
15. Hoe groter de effectieve persslag is, hoe meer brandstof er naar de verstuivers wordt geperst.
16. De effectieve persslag begint op het moment dat de plunjer met de bovenkant van het regelvlak de aanzuigopeningen in de cilinderwand afsluit. De effectieve slag eindigt wanneer de schroefvormige regelkant van de plunjer (de helix) het overstroomkanaal weer opent. De effectieve persslag is dus bij de gegeven regelstand gelijk aan  $b$ . Afstand  $b$  staat voor een bepaalde hoeveelheid brandstof.  
Wordt de plunjer, tegen de richting van de klok in, om zijn as gedraaid dan verandert de positie van de helix ten opzichte van de aanzuigopening, waardoor de effectieve persslag is veranderd in afstand  $c$ . Met een effectieve persslag  $c$  wordt dus minder brandstof naar de verstuiver gepompt dan met de effectieve persslag  $b$ .
17. Hoewel plunjerregelende pompen vaak zijn uitgevoerd met een eindregeling, kan beginregeling gemakkelijk worden verkregen door de bovenkant van de plunjer eveneens schroefvormig af te werken of te voorzien van een bijzonder profiel.

18. In het rood is de effectieve persslag aangegeven als de motor met een zeer lage vermogen draait.



19. Hogedrukbrandstofpompen voor zeer hoge persdrukken zijn voorzien van cilinders met een niet-doorlopende cilinderboring (een zogenaamd blind gat), waarbij de pompcilinder en persklephouder één geheel vormen.

20. Vrijwel alle kleinere en enkele grotere plunjerregelende brandstofpompen zijn uitgerust met zogenaamde restdrukkleppen.

21. Het doel van de restdrukklep is het ten dele ontlasten van de hogedrukbrandstofleiding, nadat de effectieve persslag van de brandstofpomplunjer is beëindigd en om eventuele na-inspuiting van brandstof te voorkomen.

107

22. Wanneer bij het vrijkomen van het regelgaatje de druk boven de brandstofpomplunjer wegvalt, zal de persklep (voor zover aanwezig) onmiddellijk sluiten. De brandstofinspuiting gaat echter door, totdat de druk in de hogedrukbrandstofleiding is gedaald tot op de sluitdruk van de verstuivernaald. Het is echter mogelijk dat als gevolg van in de leiding heen- en weer lopende drukgolven de verstuivernaald na het sluiten ervan opnieuw wordt opengestoten. Er vindt dan een korte, onregelmatige na-inspuiting plaats bij een te lage druk voor een goede verstuiving en dit leidt tot een onvolledige verbranding van de op het laatste moment ingespoten brandstof. Het gevolg is een verlaging van het motorrendement en sterke vervuiling van de verbrandingsruimte en de uitlaatkanalen. Door de hogedrukbrandstofleiding door middel van een restdrukklep te ontlasten tot op een druk die voldoende ver onder de sluitdruk van de verstuivernaald ligt, sluit deze snel en zal niet meer openen.

23. Voor wat betreft de werkwijze van de restdrukkleppen onderscheiden we kleppen met volume-ontlasting en kleppen met druk-ontlasting.

24. De restdrukklep werkend met volume-ontlasting maakt deel uit van de eigenlijke persklep van de brandstofpomp. De werking is als volgt: de klep is voorzien van een kraag of zuiger onder de eigenlijke sluitrand van de klep. De

kraag sluit de klepdoortocht vrijwel volledig af. Bij het lichten van de klep aan het begin van de effectieve persslag van de brandstofpomp moet de onderkant van de kraag tot boven de klepzitting worden gelicht alvorens doortocht wordt geopend voor de brandstof. Wanneer aan het einde van de effectieve persslag de druk onder de persklep wegvalt, zal de doortocht eerst door de kraag worden afgesloten. Daarna zakt de klep verder tot op de klepzitting waardoor een volumevergroting boven de klep, in de hogedrukbrandstofleiding ontstaat. Het gevolg is een drukdaling in de leiding die evenredig is aan de volumevergroting.

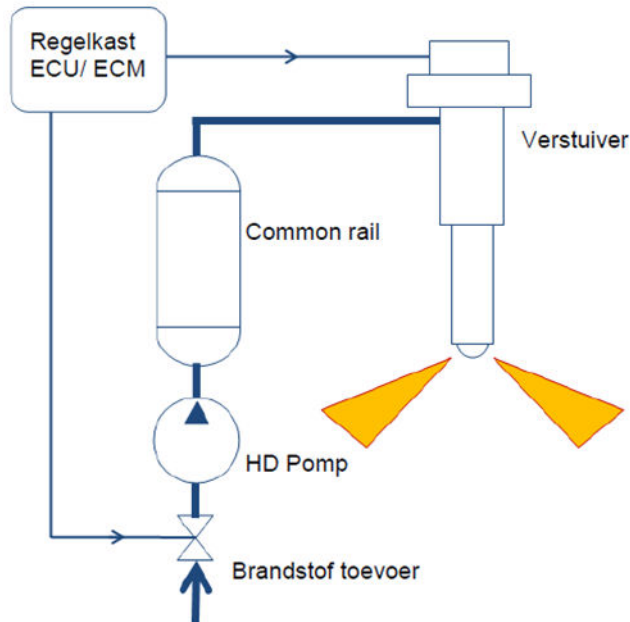
25. De grootte van de drukdaling in de leiding is bij de toepassing van deze restdrukklep afhankelijk van de opbrengst van de pomp en dus van de belasting van de motor.
26. Een nadeel van deze klep is dat bij deellast van de motor, dus bij verminderde pompopbrengst waarbij de maximale inspuitdruk sterk verlaagd wordt, de restdruk onder de dampspanning van de brandstof kan komen. Hierdoor zal cavitatie (dampbelvorming) in de hogedrukbrandstofleiding kunnen optreden en een onregelmatige inspuiting met een groter inspuituitstel zal er het gevolg van zijn.
27. Restdrukkleppen werkend volgens het principe van drukontlasting hebben het probleem met dampspanning niet. Naast, of soms ook geïntegreerd in de persklep, is een in omgekeerde richting werkende klep aangebracht die na het inspuiten van de brandstof en het sluiten van de persklep een hoeveelheid brandstof terug in de pompcilinder laat stromen. De grootte van de veerkracht, werkend op de restdrukklep, bepaalt de druk in de hogedrukbrandstofleiding waarbij de klep weer sluit en dus ook de restdruk. De restdruk is bij dit type klep dus onafhankelijk van de belasting van de motor en de opbrengst van de brandstofpomp.
28. Restdrukkleppen die werken volgens het principe van de drukontlasting worden vooral toegepast bij inspuitsystemen voor motoren die werken op zeer zware brandstoffen. Door de hoge temperatuur van de brandstof i.v.m. de gewenste viscositeit wordt de vorming van dampbellen bij verlaagde druk vergemakkelijkt. Ook in verband met de zeer hoge inspuitdrukken bij vollast is drukontlasting van de hogedrukbrandstofleiding wenselijk.
29. Onderdeel 11 in figuur 19.4 heet spreidbout. Na het openen van drukontlastingsklep zal een hoeveelheid drukenergie uit de hogedrukbrandstofleiding worden ontlast naar de zuigruimte van de pomp. Hierdoor kunnen drukgolven ontstaan die weer de oorzaak zijn van cavitatie en cavitatie-erosie in pomp en zuigleiding. Ook is het voorgekomen dat zuigleidingen scheurden als gevolg van de optredende drukgolven. Het verschijnsel kan worden verholpen door een juiste vormgeving van de regelkant van de plunjer (dempingsrand) of van de overstroomklep en -zitting bij klepregelende pompen. Ook werden wel veerbelaste bufferzuigers in cilinders verbonden met de zuigleiding geplaatst (B&W) terwijl bij veel plunjerregelende pompen een spreidbout tegenover het overstroomkanaal wordt geplaatst.

30. Schepen worden voorzien van een voortstuwingsmotor die een bepaalde Maximum Continuous Rating (MCR) levert. Dat wil zeggen dat dit het maximale vermogen is dat de motor continu kan leveren zonder dat de motor overbelast wordt.
31. Moet een motor het MCR leveren bij een schip in geladen toestand dan is dit een aanwijzing dat het schip in dok moet voor 'knippen en scheren' van de huid. De scheepshuid groeit langzaam aan, dit geeft meer weerstand en om dezelfde snelheid te houden moet de motor dus meer vermogen leveren. Bij nog verdere aangroei van de huid zal de motor het toerental behorende bij het MCR niet meer bereiken. Ook maakt het verschil of een schip geladen is of in ballast vaart en met welk vermogen de dienstsnelheid wordt gehaald. Een andere oorzaak kan slecht weer zijn of het gebruik van een asgenerator.
32. De motor draait dan met een zogenoemd onderdrukt toerental en dit kan leiden tot thermische overbelasting van de motor. Een schip dat schoon uit dok komt en in ballast vaart heeft vaak niet meer dan 85% van zijn MCR nodig om de dienstsnelheid te bereiken. Bij het MCR van de motor hoort een bepaald thermisch rendement en bij verandering van de belasting zal dit rendement ook veranderen.
33. Bij brandstofpompen die uitgevoerd zijn met begin- en eindregeling wordt de beginregeling gebruikt om het tijdstip van ontsteken op zijn plaats te houden. Bij Variable Injection Timing (VIT) gaat men uit van een geheel ander principe. VIT is een beginregeling en is zó ontworpen dat tussen 85% en 100% van het motorvermogen de maximale verbrandingsdruk gehandhaafd blijft.
34. Bij verminderd vermogen zal de eindcompressiedruk sterk dalen en normaal dus ook de maximale verbrandingsdruk. Om nu, ondanks de dalende compressiedruk, de maximale verbrandingsdruk gelijk te houden zal het inspuitmoment ten opzichte van MCR steeds vroeger moeten plaatsvinden. De ontsteking zal dus verder voor top plaatsvinden. Ondanks dat de ontsteking al ver voor top plaatsvindt, heeft deze methode een gunstige invloed op het rendement van de motor en dus ook op het specifieke brandstofverbruik.
35. Brandstofpompen kunnen ook worden uitgevoerd met een zogenaamde FQS-regeling. Een plunjeraandrijfmethode waarmee het moment dat de brandstofinspuiting begint over het gehele belastingsgebied kan worden aangepast aan de ontstekingskwaliteit van de in gebruik zijnde brandstof. Hierbij wordt, afhankelijk van de brandstof, een verstelbare hefboom bediend. Deze verstelbare hefboom die draaibaar is om een excentrisch gedeelte van de regelas kan men het begin van inspuiting veranderen afhankelijk van de kwaliteit van de brandstof die uitgedrukt wordt in het CCAI-getal. Deze methode van instelling noemt men ook wel de Fuel Quality Setting (FQS). Zodra de motor overgeschakeld wordt op een zware olie met een ander CCAI-getal kan men het inspuitmoment aanpassen. Bij een hoger CCAI-getal moet men het inspuitmoment vervroegen.
36. De plunjer (5) van de brandstofpomp wordt in de pompcilinder (6) op- en neer bewogen door een nok en de rolgeleider (4). De rolgeleider beweegt tevens twee regelhefbomen (12), één aan de linkerzijde en één aan de

rechterzijde in de afbeelding. Deze regelhefbomen scharnieren om excentriekschijven en bewegen ieder een klepstang (11). Het drukpunt van de linkerklepstang op de hefboom ligt aan de linkerkant van de excentriekschijf, waardoor de klepstang omlaag gaat, wanneer de plunjer omhoog gaat. De klepstang aan de rechterzijde beweegt zich, door een andere plaats van het drukpunt op de klepstang, tegengesteld aan de richting van de plunjer. De brandstofpomp is voorzien van een persklep (9), om terugstromen van de brandstof, bij de neergaande slag van de plunjer te voorkomen. De opbrengst van de brandstofpomp wordt geregeld door de zuigklep (7) en de overstroomklep (8). Tijdens de neergaande slag van plunjer wordt de persklep gesloten door de druk in de HD-brandstofleiding. Tegelijk wordt, door de onder overdruk aangevoerde brandstof vanuit het lagedruksysteem, de zuigklep opgedrukt en de ruimte boven de plunjer gevuld met brandstof. Bij het weer omhoog gaan van de plunjer wordt de zuigklep opgehouden door de klepstang die wordt bewogen door de hefboom. Bij het verder omhoog gaan van de plunjer zal de hefboom zover omlaag draaien dat de zuigklep wordt gesloten door de neergaande beweging van de klepstang. Omdat de overstroomklep is gesloten is dit het punt waarop de effectieve persslag begint. De druk boven de plunjer stijgt nu snel, de persklep wordt opgedrukt, en de brandstof inspuiting begint. Bij het nog verder omhoog gaan van de plunjer wordt door de rechter regelhefboom de overstroomklep door de klepstang geopend. De brandstofdruk boven de plunjer valt snel weg, de persklep (9) sluit en de effectieve persslag van de pomp is beëindigd. Gedurende het resterende gedeelte van de plunjerslag wordt de brandstof teruggeperst naar de zuigleiding van de pomp.

37. Een klepregelende brandstofpomp is een brandstofpomp met begin- en eindregeling, want door verdraaiing van de beide regelassen kan zowel het moment van sluiten van de zuigklep als het moment van openen van de overstroomklep worden gewijzigd. In het geval dat de overstroomklep al is geopend vóórdat de zuigklep is gesloten, geeft de pomp geen opbrengst.
38. Om de motor te laten stoppen moet de overstroomklep al geopend zijn vóórdat de zuigklep is gesloten, waardoor de brandstofpomp geen opbrengst geeft.
39. Vooral de steeds strengere regels met betrekking tot de uitstoot van schadelijke stoffen heeft de motorfabrikanten doen besluiten dergelijke zéér flexibele brandstofsysteem te gaan gebruiken. Ook de vermindering van het specifieke brandstofverbruik is met een common-railsysteem mogelijk geworden, vooral bij dieselmotoren die veel deellast draaien.
40. De brandstof wordt door een hogedrukplunjerpomp aangezogen en in een ruime verzamelleiding (de common rail) gepompt. De brandstofdruk in deze leiding wordt constant gehouden. De hoeveelheid ingespoten brandstof wordt nauwkeurig geregeld door een Electronic Control Unit (ECU, de Europese aanduiding), of Electronic Control Module (ECM, de Amerikaanse aanduiding). De ECU doseert de ingespoten hoeveelheid brandstof aan de hand van de ontvangen informatie van meerdere op de motor gemonteerde sensoren, die drukken, temperaturen, toerentallen en de stand van het brandstofhendel meten. De ECU regelt het begin, de duur en het einde van de inspuiting. Gedurende één inspuitboog, de totale tijd van de inspuiting, kan 2 tot 4 maal

worden ingespoten. Deze inspuifasen duren enige duizendsten van een seconde. De brandstoftoevoerdruk, via de common rail, naar de verstuivers kan worden onderhouden met één of meerdere pompen. De pompen kunnen traditioneel worden aangedreven vanaf de nokkenas maar ook rechtstreeks vanaf de krukas met een tandriem of een tandwieloverbrenging.



common-railbrandstofsysteem

41. De voordelen van een common-railsysteem is dat de duur van de inspuiting van de brandstof optimaal kan worden ingesteld om de verbranding bij iedere motorbelasting zo goed mogelijk te laten verlopen. Zowel het moment van het begin als van het einde van de brandstofinspuiting, en ook de totale inspuifduur kunnen zeer nauwkeurig worden ingesteld waardoor bij ieder toerental en iedere motorbelasting de verbranding optimaal is. Hierdoor zijn het specifieke brandstofverbruik en de uitstoot van stikstofdioxide ('NO<sub>x</sub>') en fijne roetdeeltjes (roet) zo laag mogelijk.

42. Andere voordelen van een common-rail brandstofinspuifstelsel zijn:

- Een lager specifiek brandstofverbruik vooral bij deellast.
- Lagere uitstoot van schadelijke emissies zoals roet- en stikstofdioxide. Bij deellast is de roetuitstoot behoorlijk lager.
- Een constante hoge brandstofinspuifdruk, waardoor bij iedere motorbelasting een optimaal verbrandingsproces in stand wordt gehouden.
- Tijdens bedrijf kunnen bepaalde wijzigingen worden aangebracht in onder andere het inspuifmoment, de tijdsduur en de druk. Bij 2-slagkruishoofdmotoren kan men dan ook het openen en sluiten van de uitlaatklep wijzigen en bij middelsnellopende 4-slagmotoren het openen en sluiten van de inlaatkleppen.
- De aandrijving van de hogedrukbrandstofpomp(en) wordt veel eenvoudiger, omdat er niet meer voor iedere cilinder een aparte pomp nodig is.
- Door het elektronisch besturingssysteem is het openen en sluiten van kleppen veel nauwkeuriger geworden. Dit resulteert in een betere verdeling van de thermische belasting over de verschillende cilinders.
- Alle gegevens worden opgeslagen en afstellingen worden eventueel

verbeterd, waardoor de standtijden van onderdelen van de motor toenemen.

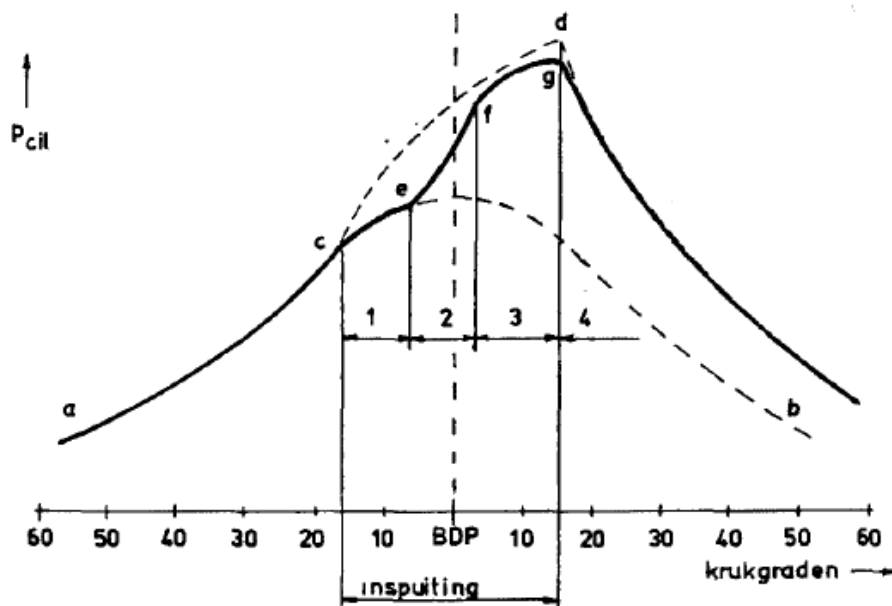
- Ook zeer lage toerentallen zijn mogelijk. Dit is vooral een voordeel bij grote 2-slagkruishoofdmotoren, die direct een vaste schroef aandrijven. Snellere toename van het toerental en een beter stop- en omkeergedrag bij de hiervoor genoemde motoren is het gevolg. Ook de dosering van de cilindersmering en het aansturen van de aanzetkleppen kunnen nu elektronisch worden bestuurd en bijgesteld.
- Het wijzigen of verbeteren van de benodigde software voor de elektronische besturing kan gedurende de gehele levensduur van de motoren worden uitgevoerd.



## *Hoofdstuk 20 Ontsteking en verbranding*

1. De brandstof die door de verstuiver in de cilinder wordt ingespoten, moet zo snel mogelijk ontsteken. Daarom moet het mengsel dat in de cilinder ontstaat aan de volgende voorwaarden voldoen om een snelle ontsteking te realiseren. Het brandstofluchtmengsel moet homogeen van samenstelling zijn, d.w.z. een gelijke en fijne verdeling van brandstof en lucht. Daarbij moet brandstof ook nog verwarmd worden tot de ontstekingstemperatuur. De verbranding wordt ingeleid door een chemische reactie wat ook enige tijd vergt. Door deze oorzaken verloopt er enige tijd tussen de ontsteking en de daarop volgende verbranding van de brandstof. De brandstofdruppeltjes moeten klein zijn.
2. Om het mengsel zichzelf te laten ontsteken moet de temperatuur van de verbrandingslucht in de cilinder, voor diesel of zware olie, ca. 650 °C bedragen. Door het comprimeren van de verbrandingslucht en een voldoende groot compressievoud kan deze temperatuur worden bereikt.
3. Het bewegen van de verbrandingslucht in de cilinder kan worden versterkt door bijvoorbeeld bij langzaamlopende 2-slagmotoren de inlaatpoorten tangentiaal te plaatsen, waardoor de verbrandingslucht ronddraaiend de cilinder intreedt. Bij 4-slagmotoren kan hetzelfde effect worden bereikt door de vorm van het inlaatkanaal kort voor de inlaatklep(pen), de plaats van de inlaatklep(pen) in het cilinderdeksel en door de vorm van de zuigerkroon.
4. Om zo snel mogelijk een goed te ontsteken brandstofluchtmengsel te vormen is het belangrijk dat de brandstofdruppels zo snel mogelijk worden opgewarmd en verdampen. Dit kan alleen wanneer de verstuwingsenergie zó groot is, dat de ingespoten brandstof zich verdeelt in druppels met een zeer kleine diameter.
5. Asfaltenen zijn, naast aromaten, cyclische verbindingen die naar verhouding veel voorkomen in residuale brandstoffen.
6. Naarmate de verstuwingsenergie van de brandstof fijner is, wordt de opwarmtijd van de brandstofdruppels korter. Bij een verstuwingsenergie in druppels met een diameter kleiner dan 20 µm is de opwarmtijd ook in snellopende motoren te verwaarlozen.
7. Deeltjes groter dan 80 µm hebben een zo lange opwarmtijd nodig dat de ontstekingsvertraging – de tijd tussen het moment dat de inspuiting begint en de ontsteking plaatsvindt – te lang wordt, evenals de verbrandingstijd van het deeltje. Het gevolg hiervan is een onvolledige verbranding, waardoor met de verbrandingsgassen onverbrande brandstofdelen worden afgevoerd.
8. Bij een verstuwingsenergie in druppels met een diameter kleiner dan 20 µm is de opwarmtijd te verwaarlozen. Om druppels te vormen met een diameter kleiner dan 20 µm is een inspuitdruk van minimaal 800 bar nodig.
9. Bij lage belasting van de motor daalt de eindcompressiedruk en dus ook de eindcompressietemperatuur. Dit heeft een ongunstige invloed op de ontstekings- en verbrandingssnelheid.

10. Tussen het moment dat de pomp zijn effectieve persslag begint en het moment van inspuiten ligt een vertragsperiode die het inspuituitstel wordt genoemd. De duur van dit uitstel is afhankelijk van een aantal factoren, zoals o.a. de constructie van hogedrukpomp en brandstofklep, het volume van de brandstof in de pomp en die in de hogedrukbrandstofleiding. Het verschijnsel is volkomen mechanisch van aard.
11. Deze fasen van ontsteking/verbranding zijn:
1. ontstekingsvertraging;
  2. onbeheerste verbranding;
  3. gedeeltelijk beheerste verbranding;
  4. naverbranding.
12. Het begin van de ontsteking ligt een paar graden voor de top, omdat dan zoveel mogelijk brandstof verbrandt bij een zo hoog mogelijke druk. Het thermisch rendement is dan maximaal.
13. Het drukverloop in de motorcilinder tijdens het chemisch proces van ontsteken en verbranden kan in een zogenaamd druk-tijddiagram worden weergegeven.
14. Op de tekening een druk-tijddiagram. De lijn a-c-e-b stelt het drukverloop in de motorcilinder op basis van de doorlopen krukhoek voor. Hier vindt geen brandstofinspuiting plaats en de compressie van de verbrandingslucht wordt gevolgd door de expansie ervan. De expansielijn c-b is dan nagenoeg het spiegelbeeld van de compressielijn a-c. De gestippelde lijn c-d geeft het theoretische drukverloop weer, wanneer elk ingespoten deeltje zonder enige vertraging onmiddellijk en volledig zou verbranden. Doordat de brandstof echter met een zekere vertraging zal ontsteken (de ontstekingsvertraging) en verbranden, zal het werkelijke drukverloop ongeveer volgens de lijn c-e-f-g verlopen. We onderscheiden nog: c-e; de voortzetting van de



compressie tijdens de ontstekingsvertraging, e-f; de snelle drukstijging als gevolg van de verbranding van de gedurende fase 1 én 2 ingespoten

brandstof, f-g; een drukverloop dat nagenoeg parallel loopt met het theoretische drukverloop.

15. De brandstofdeeltjes die het eerst fijn verstoven de cilinder binnentreden, komen daar in contact met de verhitte lucht en worden verhit, verdampen en vermengen zich met de verbrandingslucht. Tijdens de verhitting van de fijn verdeelde brandstof treden kraakverschijnselen op. Het duurt enkele milliseconden voor het gevormde mengsel ontsteekt. Het tijdsverloop tussen het moment dat de eerste brandstof wordt ingespoten en het ontstekingsmoment wordt de ontstekingsvertraging genoemd.
16. De duur van de ontstekingsvertraging is afhankelijk van de eindcompressiedruk en de eindcompressietemperatuur, maar ook van de vorm van de verbrandingsruimte, van de soort brandstof en de verstuiving van de brandstof.
17. De ontstekingsvertraging kan worden verkleind door het verhogen van de eindcompressiedruk en de temperatuur en door betere verstuiving.
18. Zware brandstof, dat een groter percentage moeilijk te ontsteken koolwaterstoffen bevat, heeft een langere ontstekingsvertraging dan destillaatbrandstof.
19. De duur van de ontstekingsvertraging, uitgedrukt in doorlopen krukgraden, zal bij snellopende motoren de grootste waarde opleveren.
20. Wanneer het brandstofluchtmengsel is ontstoken, zal de brandstof die gedurende de ontstekingsvertraging is ingespoten onbeheerst verbranden, dit gaat gepaard met een snelle druk- en temperatuurstijging van de verbrandingsgassen in de cilinder. De grote drukgradiënt (drukstijging per graad doorlopen krukciervel) wordt dan merkbaar als een stoot op de zuiger die zich in het motordrijfwerk voortplant en een kloppend geluid veroorzaakt. Dit noemt men de dieselklop en dit kan het gehele drijfwerk in trilling brengen.
21. Omdat een snelverlopende verbranding wordt bevorderd door een goede vermenging van brandstof en lucht, is het daarvoor nodig dat de brandende gassen in de cilinder een roterende beweging beschrijven. Door de dan optredende centrifugale kracht worden de hete en daarom relatief lichte verbrandingsgassen naar het midden van de verbrandingsruimte gedrukt, de relatief koude nog aanwezige verbrandingslucht beweegt zich naar buiten. Als gevolg van deze thermische ontmenging van verbrandingsgassen en lucht, zullen de resterende brandstofdeeltjes snel in contact met de aanwezige lucht worden gebracht.
22. Wanneer naverbranding gedurende het laatste gedeelte van de arbeidsslag te lang duurt zal dit leiden tot verlaging van het rendement van de motor en in ernstige gevallen tot oververhitting van motoronderdelen.
23. Voor de verbranding van 1 kg dieselbrandstof is theoretisch 14 à 14,5 kg lucht nodig. Omdat de verbranding snel en volledig moet verlopen, wordt bij langzaamlopende en middelsnellopende motoren ongeveer twee maal de

theoretische luchthoeveelheid voor de verbranding toegevoerd. Men spreekt dan van de luchtfactor ( $\lambda$ , labda) voor de verbranding van 2, ( $\lambda v = 2$ ) of van een luchtvermaat bij volle belasting van de motor van 100%.

24. Wanneer men om het geleverde vermogen van de motor te vergroten, méér brandstof in de cilinder brengt zonder de beschikbare luchthoeveelheid in de cilinder te vergroten, wordt de luchtvermaat verkleind. Hierdoor neemt de duur van de naverbranding toe.
25. Doordat een deel van de in de cilinder gespoten brandstof in het geheel niet verbrandt, ontstaat roetvorming, waarbij deze roetvorming met de verbrandingsgassen de cilinder verlaat. Door deze roetvorming worden de uitlaatgassen donker gekleurd en dit betekent dat de motor zo hoog is belast dat de zogenaamd 'rookgrens' is overschreden. De maximaal toelaatbare belasting van motoren wordt gesteld op 80 % van de rookgrens. Bij het overschrijden van de rookgrens bestaat het gevaar van oververhitting van de motoronderdelen die direct zijn blootgesteld aan het verbrandingsproces.
26. Bij motoren die met drukvulling werken, neemt bij toenemende belasting ook de luchttoevoer toe als gevolg van het toenemende toerental van de uitlaatgassenturbine. De luchttoevoer wordt dus min of meer aangepast aan de luchtbehoefte, waardoor 'de rookgrens' veel minder duidelijk is afgetekend dan bij motoren zonder drukvulling.
27. De ontstekingsvertraging is afhankelijk van verschillende condities, zoals het verloop van de verstuiving, de kwaliteit van de brandstof en de druk en temperatuur in de verbrandingsruimte. Daarbij moet er eerst een chemische reactie op gang worden gebracht om de verbranding in te leiden. Hierdoor duurt het enkele milliseconden voordat de brandstof tot ontsteking komt. Tijdens de ontstekingsvertraging gaat de inspuiting van de brandstof door.
28. Voor het thermische rendement van de motor is het gewenst dat de brandstof over een beperkt aantal krukgraden, het ideale ontstekingsmoment, wordt ingespoten om ook de verbranding niet te lang te laten duren.
29. Dit houdt in dat een brandstof met een hoog percentage koolstof dat opgenomen is in aromatische verbindingen, een grotere ontstekingsvertraging te zien zal geven dan een brandstof waar minder aromaten in voorkomen. Verder onderzoek toonde ook aan dat er duidelijk verband bestaat tussen de koolstofaromaticiteit en de grootheden viscositeit en dichtheid.
30. Het combineren van deze verbanden leidde tot een empirische formule voor CCAI-waarde. De CCAI-waarde kan worden gezien als een aanduiding voor de ontstekingskwaliteit. Er kan echter geen absolute waarde aan gehecht worden. Van belang zijn ook het motortype en de belastingconditie van de motor.
31. Wanneer een moeilijk te ontsteken brandstof wordt gemengd met een relatief gering percentage goed ontsteekbare brandstof, kan de ontstekingsvertraging worden verkleind.

32. Bij afnemende belasting van de motor zullen de vulluchtdruk van de motor en ook de eindcompressiedruk sterk afnemen. Hierdoor neemt de ontstekingsvertraging toe; de ontsteking begint later.
33. Voor de eindcompressietemperatuur is vooral de spoelluchttemperatuur van belang. Bij een dalende eindcompressietemperatuur neemt ook in dit geval de ontstekingsvertraging toe.
34. Motoren met drukvulling volgens het gelijke-druksysteem zullen bij deellast minder lucht voor de verbranding beschikbaar hebben dan motoren met drukvulling volgens het stootsysteem. Het gevolg is dat bij deelbelastingen de temperatuur in de verbrandingsruimte van een motor met drukvulling volgens het gelijke-druksysteem lager is dan bij motoren werkend volgens het stootsysteem. De ontstekingsvertraging wordt daardoor groter.
35. Na de min of meer sterke drukstijging als gevolg van de ontstekingsvertraging zal de verbranding en daarmee het drukverloop in de cilinder voornamelijk worden bepaald door de inspuitsysteemkarakteristiek van de verstuiver.
36. De verbranding zal als gevolg van het afnemende zuurstofoverschot in de cilinder steeds trager gaan verlopen. Door de voortschrijdende expansie van de verbrandingsgassen gaat de gastemperatuur in de cilinder dalen waardoor de verbranding wordt vertraagd.
37. De mate van naverbranding zal toenemen naarmate de motor zwaarder wordt belast, veroorzaakt door de steeds kleiner wordende luchtfactor. Hierdoor komt een deel van de energie in de brandstof te laat vrij en kan niet meer als expansie-energie in mechanische energie worden omgezet. Het rendement van de motor daalt en de temperatuur van de uitlaatgassen stijgt. Door de hogere gemiddelde temperatuur van de gassen stijgt ook de temperatuur van de motorcomponenten rondom de verbrandingsruimte, dit kan tot oververhitting van de zuiger en het verbranden van de uitlaatkleppen leiden.
38. De ontstekingsvertraging en de kwaliteit van de verbranding worden ook bepaald door de druppelgrootte van de brandstof. De druppelgrootte is weer afhankelijk van de (gemiddelde) inspuitsdruk. De inspuitsdrukken lopen op van ongeveer 200 bar tot 1000 bar bij 2-slagmotoren en tot 2000 bar bij 4-slagmotoren.
39. Bij verminderde belasting zal de gemiddelde inspuitsdruk dalen waardoor de druppelgrootte dus zal toenemen en de kwaliteit van de verbranding afnemen met als gevolg een kans op sterk vervuilen van de motor en het uitlaatsysteem, door roet en koolvorming. Motoren die langdurig met verminderd vermogen varen, moeten dan ook het inspuitsysteem aanpassen om deze vorm van vervuiling tegen te gaan. Men past dan 'low speed nozzles' toe, dit zijn verstuivers met een verkleinde doortocht, waardoor de gemiddelde brandstofdruk tijdens de inspuiting verhoogd wordt.
40. Motoren die langdurig met verminderd vermogen varen moeten het inspuitsysteem aanpassen om deze vorm van vervuiling tegen te gaan. Men past dan 'low speed nozzles' toe (verstuivers met een verkleinde doortocht die de gemiddelde brandstofdruk tijdens de inspuiting verhogen).

41. De verbranding van dieselolie en zware olie is een chemisch proces. De in de brandstof aanwezige koolwaterstoffen en een deel van de verontreinigingen zoals zwavel verbinden zich, onder vorming van verbrandingsproducten, met de zuurstof uit de verbrandingslucht. Bij dit zogenaamd exotherme proces, waarbij ook waterdamp wordt gevormd, komt energie vrij in de vorm van warmte. De totale hoeveelheid warmte die vrijkomt bij dit proces, kan in een laboratorium worden bepaald, en noemt men de verbrandingswaarde van de brandstof en wordt aangeduid met  $H_0$ .
42. De bij de verbranding in de motor ontstane waterdamp verdwijnt grotendeels als damp uit de schoorsteen, waardoor de condensatiewarmte van die waterdamp onbenut blijft. Deze condensatiewarmte wordt niet opgeteld bij de in het dieselproces ontwikkelde verbrandingswaarde. Men spreekt van de stookwaarde van de brandstof. Die is afhankelijk van de chemische samenstelling van de brandstof. Als gemiddelde waarde voor de stookwaarde  $H_0$  kan gelden:  
 Destillaatbrandstof (dieselolie)  $H_0 = 42,7 \text{ MJ/kg}$   
 Residuale brandstof (zware olie)  $H_0 = 40 \text{ MJ/kg}$
43. Onder de verbrandingsluchtfactor  $\lambda$  ( $\lambda$ ) verstaat men de verhouding tussen beide hoeveelheden, of  $\lambda_v = L_{pr} / L_{th}$
44. Behalve de luchtvermaat voor de verbranding wordt nog een extra hoeveelheid lucht naar de cilinders gevoerd met het doel de verbrandingsruimten schoon te spoelen en te koelen. Deze hoeveelheid lucht, de spoelvermaat, is dus niet beschikbaar voor het verbrandingsproces. Tegelijk verlaagt de spoelvermaat ook de temperaturen die tijdens de verbranding optreden en daarmee de thermische belasting van de motoronderdelen rondom de verbrandingsruimte. De grootte van de spoelvermaat is afhankelijk van het arbeidsproces, 2-slag of 2-slag.
45. Deelt men de totale hoeveelheid vóór de aanvang van het proces toegevoerde lucht per kg brandstof door de theoretisch voor de verbranding van 1 kg brandstof benodigde luchthoeveelheid dan krijgt men de totale luchtfactor  $\lambda_t$ . De luchtfactor bedraagt, als richtwaarde, voor langzaam- lopende 2-slagmotoren bij vollast ongeveer 3,2 en voor 4-slagmotoren ongeveer 2,8.

46. Onder het specifieke luchtverbruik  $l_s$  verstaat men de massa lucht die per eenheid van vermogen en per eenheid van tijd aan de motor wordt toegevoerd. Daaruit volgt dat er een relatie bestaat tussen het specifieke brandstofverbruik ( $b_e$ ) en het specifieke luchtverbruik ( $l_s$ ). Die relatie luidt:

$$l_s = \lambda_t \cdot L_{th} \cdot b_e$$

Omdat  $l_s$  als regel wordt gegeven in kg/(kW.h) of in kg/MJ en  $b_e$  in g/kW.h of in g/MJ kan de relatie worden geschreven als:

$$l_s = (\lambda_t \cdot L_{th} \cdot b_e) / 10^3$$

Als richtgetal voor moderne dieselmotoren geldt:

- Langzaamlopende 2-slagmotor  $l_s = 2,5$  kg/MJ;
- Middelsnelle 4-slagmotor  $l_s = 2,0$  kg/MJ

## Hoofdstuk 21 Indicateurdiagrammen

1. Om inzicht te krijgen in het inwendige proces van een verbrandingsmotor maakt men gebruik van een indicator toestel. Dat maakt langs mechanische weg een diagram, waarbij op een strook papier horizontaal de afgelegde weg van de zuiger, dus het volume, wordt aangegeven en verticaal de druk in de cilinder.
2. We onderscheiden drie soorten indicator diagrammen:
  - het normale p-V-diagram;
  - een verschoven diagram;
  - paaltjes, een eindcompressiedruk- of een eindverbrandingsdrukmeting.
3. Wanneer de zuiger, tijdens de inlaatslag, door de kruk naar beneden wordt bewogen, ontstaat ten gevolge van de volumevergroting boven de zuiger een drukverlaging in de cilinder. Via één of meer inlaatkleppen die mechanisch worden geopend en gesloten, wordt nu buitenlucht aangezogen. De druk in de cilinder, die wordt voorgesteld door de getrokken lijn in het p-V-diagram, is tijdens de inlaatslag iets lager dan de atmosferische druk  $p_a$ . De atmosferische druk wordt met een stippellijn aangegeven in het diagram.
4. Op het moment dat de zuiger in het Onderste Dode Punt (ODP) is aangekomen, keert de bewegingsrichting om en gaat de zuiger omhoog. Even later sluit de inlaatklep waardoor de lucht in de cilinder tijdens de verder gaande opwaartse beweging van de zuiger wordt gecomprimeerd. De druk in de cilinder, voorgesteld door de getrokken lijn, loopt hierbij op tot 35 à 40 bar.
5. Nadat de zuiger het BDP heeft bereikt, het uiterst rechtse punt in het diagram, en de neerwaartse slag begint, loopt de gasdruk in de cilinder aanvankelijk nog op tot 45 à 50 bar. Hierna expandeert het verbrandingsgas in de cilinder als gevolg van het steeds toenemende volume boven de zuiger. Druk en temperatuur van het verbrandingsgas dalen nu snel.
6. Gedurende de uitlaatslag worden de nog in de cilinder achtergebleven verbrandingsgassen door de zuiger via de geopende uitlaatklep(pen) uit de cilinder verdreven. De gasdruk, voorgesteld door de korte verticale getrokken lijn, is dan iets hoger dan de atmosferische druk (enkele tienden van een bar). Vóór het einde van de uitlaatslag openen de inlaatklep(pen) al en bij het bereiken van het BDP kan het gehele proces opnieuw beginnen.
7. Tijdens de vier doorlopen slagen is zowel positieve als negatieve arbeid verricht aan de boven- en onderzijde van de zuiger. Omdat de atmosferische druk onder de zuiger gedurende het proces niet is veranderd is de aan de onderzijde van de zuiger verrichte resulterende arbeid gelijk aan 0 en voor het bepalen van de door de motor te verrichten arbeid hoeft dus met de zuigeronderzijde geen rekening te worden gehouden. Boven de zuiger wordt gedurende de inlaatslag door de binnenstromende lucht een geringe hoeveelheid arbeid op de zuiger verricht (positieve arbeid). Tijdens de compressieslag verricht de zuiger negatieve arbeid op de in de cilinder aanwezige lucht. De hiervoor benodigde energie wordt geput uit het arbeidsvermogen van beweging dat is opgehoopt in een vliegwiel dat op de kruk is aangebracht.



De verbrandingsgassen zullen vervolgens tijdens de arbeidsslag positieve arbeid op de zuiger verrichten, terwijl gedurende de uitlaatslag weer negatieve arbeid door de zuiger op de verbrandingsgassen wordt verricht.

8. Punten in de krukcirkel, 2-slagmotor:

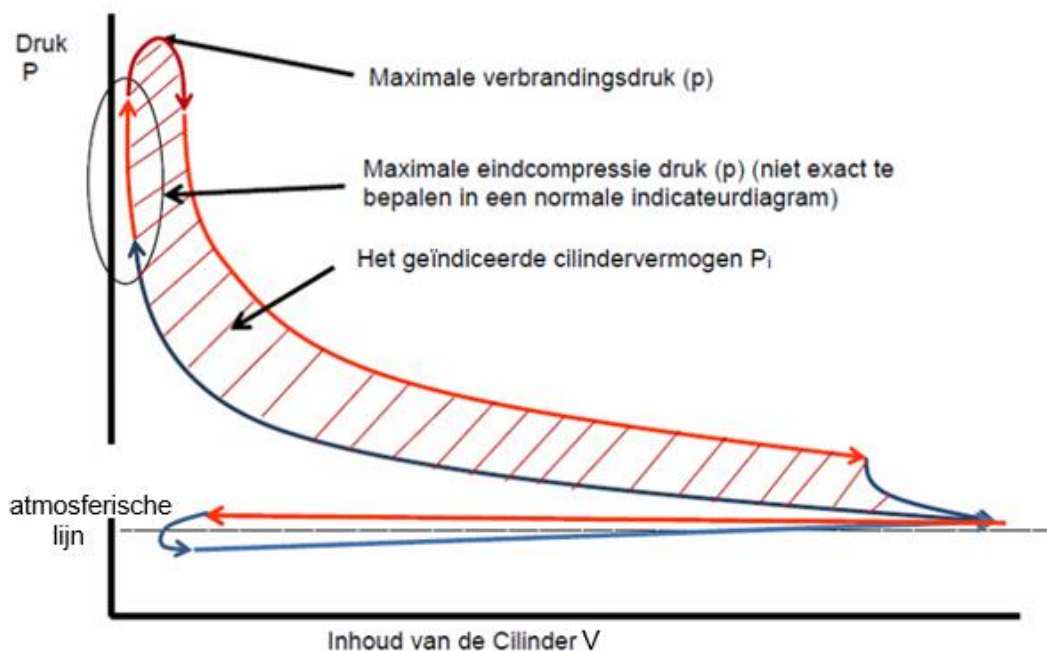
1. inlaatpoorten openen
2. inlaatpoorten sluiten
3. uitlaatklep opent;
4. uitlaatklep sluit
5. begin brandstof insputing
6. einde brandstofinsputing

9. Punten in de krukcirkel, 4-slagmotor

1. inlaatklep opent
2. inlaatklep sluit
3. uitlaatklep opent
4. uitlaatklep sluit
5. begin brandstof insputing
6. einde brandstofinsputing

10. Het geïnduceerde cilindervermogen. De maximale verbrandingsdruk.

11. Indicateursdiagram



Vermogen wordt berekend door oppervlakte met de schaal en lengte de gemiddelde geleverde druk te berekenen.

12. Atmosferische lijn en maximale verbrandingsdruk zijn aangegeven in het antwoord op vraag 11.

13. In een verschoven indicateurdiagram kunnen we het drukverloop in de cilinder weergeven en de maximale verbrandingsdruk aflezen.

14. Door het opmeten van de lengte van de paaltjes kunnen we de maximale verbrandingsdruk en de maximale eindcompressiedruk bepalen. Je moet rekening houden met de schaal.
15. Met behulp van een mechanisch indicateurtoestel en met een Premet elektronisch indicateurtoestel.
16. De extra informatie die we kunnen registreren en meten met een elektronisch indicateurtoestel ten opzicht van een mechanisch indicateurtoestel is dat er een keuze worden gemaakt voor het registreren van de metingen van alle cilinders. Na de meting moet de Premet worden verbonden met een laptop of een vaste computer. Met behulp van de meegeleverde software kunnen de gewenste indicateurdiagrammen worden weergegeven. Met behulp van dezelfde software kan een keuze worden gemaakt uit het weergegeven van de volgende gemeten waarden:
- vermogen versus krukashoek: de geïndiceerde druk bij elke stand van de zuiger;
  - maximale geïndiceerd vermogen;
  - vergelijking met het theoretische of protocoldiagram, het protocoldiagram is het indicateurdiagram zoals de motorfabrikant het bedoeld heeft;
  - geïndiceerde druk afgezet tegen de tijd;
  - onderlinge geïndiceerde drukverschil afgezet tegen de krukashoek;
  - het totale geïndiceerde vermogen.

Met de geavanceerde versie kunnen de volgende parameters gemeten worden:

- trillingen;
- torsiekrachten;
- vergelijking met voorgaande metingen;
- brandstofinspuitdruk;
- meten tijdens versnellen of opvoeren.

122

---

17. Door vanuit de oorsprong van het diagram een lijn onder  $45^\circ$  omhoog te trekken en de dikte 'b' van het diagram op te meten, kunnen de diagrammen al onderling worden vergeleken zonder dat de oppervlakken en de geïndiceerde gemiddelde drukken ervan worden bepaald.
18. Een diagram van het verbrandingsproces in een cilinder zoals in vraag 18 ontstaat wanneer brandstofinspuiting en de ontsteking van het brandstofluchtmengsel te vroeg begint. Het gevolg is dat de drukstijging in de cilinder tijdens het eerste gedeelte van de verbranding steiler verloopt dan normaal en dat de maximale verbrandingsdruk toeneemt. Voor een goede vergelijking is het normale drukverloop in de betreffende cilinder door een streeplijn weergegeven.
19. Het diagram in de afbeelding ontstaat wanneer de inspuiting en de ontsteking te laat plaatsvinden. Een drukstijging van de gassen in de cilinder als gevolg van de verbranding vindt nu nauwelijks plaats, de maximale verbrandingsdruk ligt ver onder de normale waarde. Ook hier is het normale drukverloop door een streeplijn weergegeven.

20. Zowel te vroege als te late inspuiting kunnen worden gecorrigeerd door de aandrijfnok van de bijbehorende brandstofpomp juist af te stellen. Hierbij dient men er echter zeker van te zijn dat de afwijking niet het gevolg is van andere oorzaken dan een onjuist afgestelde brandstofnok, ook een niet goed werkende verstuiver kan een oorzaak zijn van de vertraagde ontsteking.
21. Het gecombineerde diagram is van een cilinder waarvan de compressiedruk lager is dan normaal, waardoor uiteraard ook de maximale verbrandingsdruk lager zal worden.
22. Om toch de gewenste maximale verbrandingsdruk te verkrijgen, bij een lagere compressie-einddruk, zou het moment van inspuiten van de brandstof kunnen worden vervroegd, waardoor de verbrandingsdruk stijgt, met als gevolg een steilere drukgradiënt. Indien de te lage compressiedruk niet het gevolg is van een andere afwijking in de motor, zoals een te lage vuldruk, lekkende zuigerveren of lekkende uitlaatklep(pen), dan is de enig juiste correctie het aanbrengen van een dikkere compressieplaat onder de voet van de drijfstang. (Dit is echter vrijwel uitsluitend mogelijk bij de meeste 2-slagkruishoofd-motoren, bij 4-slagmotoren is er kans dat de kleppen de zuiger kunnen raken. Bij gecertificeerde motoren is het gebruik van een compressieplaat verboden.
23. Het orgelpijpeffect in een diagram is een afwijking die het gevolg kan zijn van het in trilling geraken van de gaskolom in het kanaal tussen de verbrandingsruimte en de cilinder van het indicateurtoestel.
24. Uit dit afwijkende diagram kan een normaal diagram worden verkregen door de amplitudes van de trilling doormidden te delen.

## Hoofdstuk 22 Berekenen vermogensformules, warmtebalans en rendement

1. In een Sankey-diagram kun je de vermogens, rendementen en verliezen berekenen aan de hand van de motorgegevens.
2. De verbrandingswaarde is de totale energie die vrijkomt bij het verbranden van een brandstof. Bij de stookwaarde wordt de condensatie-energie van de waterdamp niet meegeteld.
3. De stookwaarde van dieselolie is ongeveer 42,7 MJ/kg, de stookwaarde van zware olie is lager (40MJ/kg).
4. Het specifiek brandstofverbruik is een waarde die uitgedrukt wordt in gram per megajoule of in gram per kilowattuur. Deze waarde wordt gebruikt om het brandstofverbruik te vergelijken van de ene met de andere motor.
5. Formule van specifiek brandstofverbruik:

$$b_e = \frac{m_b}{P_e} = \frac{\text{kg/s}}{\text{MJ/s}} = \text{kg /MJ}$$

6. Bij het specifiek brandstof gebruik weet je niet wat de stookwaarde is, of dit moet apart worden vermeld. Motorfabrikanten werken vaak met ongebruikelijk hoge stookwaardes om motorrendement hoger te laten lijken dat dat het werkelijkheid is.
7. De soortelijke massa en de temperatuur (en de tijd).
8. Het vermogen dat met de brandstof aan de motor wordt toegevoerd wordt aangegeven met  $P_{\text{toe}}$ .
9. Toegevoerd vermogen:  $P_{\text{toe}} = m_b \cdot H_o$ .
10. Onder het specifieke luchtverbruik verstaan we de massa lucht die per eenheid van vermogen en per eenheid van tijd aan de motor wordt toegevoerd.
11. Formule van specifiek luchtverbruik:

$$l_e = \frac{m_l}{P_e} = \frac{\text{kg/s}}{\text{MJ/s}} = \text{kg /MJ}$$

12. Dit noemen we het geïndiceerde vermogen.

13. De thermische verliezen:

- warmte in de rookgassen;
- stralingsverliezen;
- warmte afgevoerd met het koelwater;
- warmte afgevoerd in de luchtkoelers;
- warmte afgevoerd met de smeerolie.

14. Uit een indicator diagram kan de gemiddelde geïndiceerde druk in de cilinder worden bepaald.

15. Vermogen is de hoeveelheid arbeid die in een bepaalde tijdseenheid wordt verricht. Een motor draait met een bepaald aantal omwentelingen per seconde. Als de hoeveelheid arbeid wordt vermenigvuldigd met het aantal omwentelingen per seconde dan is het product van deze vermenigvuldiging de hoeveelheid arbeid die door de motor wordt verricht.

16. De gegevens die je nodig hebt om het geïndiceerd vermogen te bepalen.

- Aantal zuigers.
- Is het 2-slag of een 4-slagmotor?
- Diameter van de zuiger.
- Slag van de zuiger.
- Toerental.

17. Formule voor geïndiceerd vermogen:

$$P_i = z \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot s \cdot p_i \cdot \frac{n}{a}$$

125

18. Het thermisch rendement is 52%, (net iets meer dan 50% is een juist antwoord).

19. Door het gebruik van een uitlaatgassenturbine.

20. Nee, een deel gaat weer verloren in de luchtkoeler, 11,2% in dit voorbeeld.

21. Twee manieren van gebruik:

- De uitlaatgassen gebruiken voor verwarming of het aandrijven van stoomturbine.
- Het cilinderkoelwater gebruiken voor de verwarming van de drinkwaterbereider.

22. Onder de gemiddelde effectieve druk verstaan we de gemiddelde druk die aan het vliegwiel effectief beschikbaar is.

23. Met de gemiddelde effectieve druk kan het effectieve vermogen worden berekend. Het effectieve vermogen is gelijk aan het aan de as afgegeven vermogen.

24. Het vermogen dat de motor aan de as afgeeft, wordt aangeduid met  $P_e$ , het effectief vermogen.

25. De verhouding tussen het met de brandstof toegevoerde vermogen en het aan de as afgegeven vermogen noemen we het totale rendement van de motor.

26. Het totale rendement is het product van het mechanische en het geïndiceerde rendement.

27. Totale rendement =  $0,52 \times 0,9 = 0,468 = 46,8 \%$ .

28. Drie verliezen die worden aangegeven in het mechanische rendement zijn:

- de aandrijving van de nokkenas om de in- en uitlaatkleppen en de nokkenas te bedienen;
- De aandrijving van de hogedrukbrandstofpompen;
- De aandrijving van eventuele aangehangen smeerolie en koelwaterpompen, en wrijvingsverliezen.

29. Je kunt als je ook het toerental weet het effectieve vermogen berekenen.

30. Brandstofgebruik en rendement:

- $0.0048611 \text{ kg/MJ} \times 17724 \text{ kW} = 861.5814 \text{ g/s} = 3101,7 \text{ kg/h}$
- $0.861 \text{ kg/s} \times 41.5 \text{ MJ/kg} = 35755.63 \text{ kJ} \quad 17724 / 35755 = 49,57\%$

31. Bij deze 2-slagdieselmotor:

- het geïndiceerde motorvermogen in kW.

$$P_i = z \times \frac{\pi}{4} \times d^2 \times s \times p_i \times \frac{n}{a}$$

$$P_i = 12 \times \frac{\pi}{4} \times 0.90^2 \times 2.5 \times 1.9 \times \frac{1.9}{1} = 17.3 \text{ MW} = 68897,48 \text{ kW}$$

- de gemiddelde zuigersnelheid.

$$c_m = 2 \times s \times n = 2 \times 2.5 \times 1.9 = 9,5 \text{ m/s}$$

126

32. Bij deze 4-slagdieselmotor:

- het geïndiceerde motorvermogen in kW

$$P_i = z \times \frac{\pi}{4} \times d^2 \times s \times p_i \times \frac{n}{a}$$

$$P_i = 9 \times \frac{\pi}{4} \times 0.410^2 \times 0.470 \times 1.6 \times \frac{9}{2} = 5212,36 \text{ MW}$$

- de gemiddelde zuigersnelheid.

$$c_m = 2 \times s \times n = 2 \times 0.470 \times 700/60 = 10,97 \text{ m/s}$$

33. Bij een langzaamlopende 2-slagdieselmotor:

- de zuigerslag in meters;

$$c_m = 2 \times S \times n = 2 \times 1.3 \text{ s} = \frac{8}{2 \times 1,3} = 3,077 \text{ m}$$

- de gemiddelde effectieve druk in Mpa;

$$\eta_{mech} = \frac{P_{as}}{P_i} = \frac{P_e}{P_i} \quad p_e = \eta_m \times p_i = 0.91 \times 1.9 = 1,729 \text{ MPa}$$

- het effectieve motorvermogen in MW;

$$P_e = z \times \frac{\pi}{4} \times d^2 \times s \times \frac{n}{a} \times p_e = 9 \times \frac{\pi}{4} \times 0.9^2 \times 3,077 \times \frac{1.3}{1} \times 1.729 = 39,598 \text{ MW}$$

### 34.Coaster:

- a. Het met brandstof toegevoerde vermogen ( $P_{toe}$ )  
 $m = \rho * V = 880 * 0,57 = 501,7 \text{ kg}$   $B = 501,7 / 3600 = 0,1393333 \text{ kg/s}$   
 $P_{toe} = B * Ho = 0,1393333 * 42000 = 5852 \text{ kW}$
- b. Totale rendement van de motor ( $\eta_t$ )  
 $Pas / P_{toe} = 3000 / 5852 * 100\% = 51,26 \%$
- c. Thermisch rendement ( $\eta_i$ )  
 $\eta_i = 0,5126 / 0,85 = 0,603, 60,3\%$
- d. Warmteverliezen =  $100\% - 60,3 \% = 39,7 \%$   
 $0,397 * 5852 = 2322 \text{ kW}$
- e. Geïndiceerde vermogen  $P_i$   
 $5852 - 2322 = 3530 \text{ kW}$  ( $Pas / \eta_m = 3000 / 0,85 = 3530$ )
- f. Specifieke brandstofverbruik in g/MJ en g/kWh  
 $B = 501.7 \text{ kg/h} = 501700 \text{ g/h}$  wat een vermogen geeft van 3000 kW  
 $be = 501700 / 3000 = 167,2 \text{ g/kWh}$   $1J = 1Ws$  dus  $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$   
 $be = 167,2 / 3,6 = 46,4 \text{ g/MJ}$

### 35.Bij een 4-slagscheepsdieselmotor:

- a. Het totale rendement van de motor  
 $\eta_t = 0,8 * 0,58 = 0,464 = 46,4\%$
- b. Het effectieve vermogen ( $P_e$ ) in kW  
 $P_e = z * Az * S * p_e * n/a = z * \pi/4 * d^2 * S * P_e * n/a$   
 $P_e = 6 * (\pi/4 * 0,32^2) * 0,46 * 1400 * (720/60)/2 = 1864,6 \text{ kW}$   
 $P_e = 1864,6 \text{ kW}$
- c. Het toegevoerde vermogen ( $P_{toe}$ ) in kW  
 $P_{toe} = P_e / \eta_t = 1864,6 / 0,464 = 4018,5 \text{ kW}$
- d. Het geïndiceerde thermische vermogen ( $P_i$ ) in kW  
 $0,58 * 4018,5 = 2330,7 \text{ kW}$  ( $1864,6 / 0,80 = 2331 \text{ kW}$ )
- e. De thermische (warmte) verliezen in kW  
 $4018,5 - 2330,7 = 1688 \text{ kW}$
- f. De mechanische verliezen in kW  
 $2331 - 1865 = 466 \text{ kW}$

127

### 36.Sulzer:

- a. De slag:  $4 * 0,58m = 2,32m$
- b. Effectief vermogen per cilinder: 1963 kW
- c. Rendement: 51.98%

### 37.Het geïndiceerde motorvermogen van deze motor in MW.

$$P_i = 8 * 0,25 * \pi * 0,41^2 * 0,47 * 1600 * 9/60/2 = 4765.6 \text{ kW}$$

### 38.Een 2-slagdieselmotor:

- a. het geïndiceerde motorvermogen in kW;  
 $P_i = z * Az * S * p_i * n/a = z * \pi/4 * d^2 * S * P_i * n/a$   
 $P_i = 6 * 0,25 * \pi * 0,67^2 * 1,7 * 1800 * 120/60/1 = 12946,2 \text{ kW}$
- b. de gemiddelde zuigersnelheid in m/s.  
 $C_m = 2 * S * n = 2 * 1,70 * 2,0 = 6,8 \text{ m/s}$

### 39.Het totale rendement van de motor.

$$P_{toe} = B * Ho = 0,85 * 40500 = 34425 \text{ kW}$$
$$\eta_t = Pas / P_{toe} = 16500 / 34425 = 0,479 ; 47,9 \%$$

40. Dieselmotor:

- a. het geïndiceerde thermische rendement van de motor;

$$48 / 0,91 = 52,75\%$$

- b. het specifieke brandstofverbruik in g/MJ en in g/(kWh)

$$P_{\text{toe}} = 17000 / 0,48 = 35416,67 \text{ kW}$$

$$P_{\text{toe}} = B * H_o \quad B = 35416,67 / 40600 = 0,872 \text{ kg/s}$$

$$0,872 * 3600 = 3140,39 \text{ kg/h} = 3140394,089 \text{ g/h}$$

Dit levert 17000 effectief vermogen op dus:  $3140394,089 / 17000 =$

184,729 gram per uur per effectieve kilowatt.

$$184,73 \text{ g/kWh} = 51,31 \text{ g/MJ}$$

- c. het brandstofverbruik van de motor in tonnen (1000 kg) per etmaal;

$$B = 0,872 \text{ kg/s} * 3600 * 24 / 1000 = 75,37 \text{ t/etmaal}$$

- d. de mechanische verliezen in kW.

$$9\% * P_i \quad P_i = P_e / 0,91 = 17000 / 0,91 = 18681,3 \text{ kW}$$

(of  $48\% * P_{\text{toe}} = 18681,3 \text{ kW}$ )

$$\text{Verliezen} = 9\% \text{ van } 18681,3 = 1681,3 \text{ kW}$$



## Hoofdstuk 23 Motorveiligheid

1. Voordat een motor gestart kan en mag worden, moet aan de volgende voorwaarden worden voldaan:
  - controle van de koelwaterexpansietank;
  - het zoet- en zoetkoelwatersysteem is in bedrijf en alle relevante afsluiters staan goed;
  - de motor indien mogelijk voorverwarmen;
  - het smeerolieniveau is gecontroleerd en in orde;
  - de smeerolie- en eventueel noodsmeeroliepomp staat op automatisch en de vóórsmeeroliepomp staat bij;
  - de brandstofdagtank is op peil en een eventuele boosterpomp staat bij;
  - de motor is met open indicatorkranen per cilinder een keer rond getornd, bij grote motoren wordt het aanzetluchtsysteem beproefd, in de vooruit- en achteruitstand;
  - als de indicatorkranen zijn gesloten kan de motor worden gestart.
  
2. Torna is het langzaam rond laten draaien van een motor. Het doel is het controleren of er geen belemmeringen zijn (b.v. koelwaterlekage). Bij motoren met cilindersmeering heeft torna ook tot doel dat er voldoende cilindersmeerolie op de cilindervoering zit.
  
3. Voordat een motor gestopt kan worden, moeten de volgende handelingen worden uitgevoerd:
  - overgaan op manoeuvreerbedrijf, d.w.z. het langzaam verminderen van het vermogen tot manoeuvreervermogen;
  - afzetten van de vacuümverdamper;
  - starten van de hulpketel;
  - eventueel overgaan op andere brandstof;
  - verminderen van de cilindersmering;
  - openen van het aanzetluchtsysteem.
  
4. Tijdens bedrijf dienen de volgende zaken dagelijks gecontroleerd en eventueel genoteerd te worden in het machinekamerjournaal:
  - Noteer alle temperaturen en drukken
  - Controleer de drukval over alle brandstof- en smeeroliefilters.
  - Controleer het waterpeil van de diverse expansietanks.
  - Controleer het peil van de smeerolietank, het carter van de motor.
  - Controleer of de carterontluchting openstaat en vrij is.
  - Controleer of de wateraftappen van de luchtkoelers open zijn, zodat eventueel condenswater kan worden afgevoerd.
  - Controleer het drukverschil over de luchtkoeler.
  - Controleer het drukverschil over het zuigfilter van de drukvulgroep.
  - Controleer bij de brandstofpompen, indien mogelijk, de hoeveelheid lekbrandstof.
  - Controleer de brandstofdagtank op de aanwezigheid van water en tap dit af.
  - Controleer het temperatuurverschil over de diverse koelers.
  
5. Veel onderhoud aan een motorinstallatie wordt uitgevoerd op basis van draaiuren.

6. Onderhoud kan ook worden uitgevoerd op basis van tijd (dagelijks, wekelijks of per maand).
7. Een systeem voor monitoring en controle van een voortstuwingsmotor kan de volgende parameters omvatten:
  - meting van motortoerental;
  - meting van het toerental van de drukvulgroep;
  - veiligheidssystemen van de motor;
  - starten van de motor;
  - stoppen van de motor;
  - startblokkering;
  - automatisch stoppen van de motor;
  - belasting vermindering;
  - alarmering van alle sensors bij te grote afwijking van de ingestelde waarde;
  - aflezing van de belangrijkste gegevens op de display;
  - gegevens uitwisseling met andere systemen;
  - geheugen om informatie te bewaren.
8. Het motorstartstelsel is geblokkeerd onder de volgende condities:
  - motor draait;
  - laag smeeroliepeil drukvulgroep;
  - tornmotor staat nog in uitwendige blokkering;
  - noodstop is nog niet 'gereset'.
9. Voor scheepsmotoren zijn standaard in het controlesysteem de volgende items ingevoerd:
  - lage smeeroliedruk;
  - te hoog toerental;
  - uitwendige stopsignaal;
  - noodstopsignaal;
  - HT koelwatertemperatuur;
  - hoge temperatuur van de hoofdaslagers;
  - oil mist detector.
10. Systemen van de motor die gemonitord worden:
  - smeeroliesysteem;
  - startluchtsysteem;
  - koelwatersystemen;
  - uitlaatgassensysteem;
  - verbrandingslucht;
  - hoofdlagers.
11. Bijzondere punten die gemonitord worden:
  - kleefslijtage van de voering;
  - voering temperatuur en voering slijtage;
  - bewaking luchttoevoer;
  - bewaking van de cilinderdruk;
  - oil mist detector;
  - bewaking motordrijfwerk.

12. In het boek worden de volgende soorten regulateurs genoemd:

- hydraulische reguleur;
- elektro-hydraulische reguleur;
- elektrische reguleur.

De meer gebruikelijke namen zijn:

- Mechanische of centrifugaal
- Hydraulisch of mechanisch-hydraulisch
- Elektrisch of elektronisch.

13. Bij een motor in overspeed is er kans op materiaalbreuk van onderdelen door de extreme spanningen die op kunnen treden in het drijfwerk. Een ander gevaar is dat de in- en uitlaatkleppen kunnen gaan zweven, doordat het toerental beduidend hoger is dan is toegestaan. Door het hogere toerental moeten de kleppen sneller openen en sluiten, de klepveren kunnen dit niet volgen waardoor de kleppen open blijven staan en verbranden. Ook bestaat het gevaar dat de kleppen de zuigerkroon raken.

14. Een motor kan in overspeed raken door de volgende oorzaken:

- Bij slecht weer kan het voorkomen dat de schroef uit het water komt. De motor was goed belast door de waterdruk op de schroef, tot het moment dat de schroef geen weerstand meer ondervindt. De motor schiet als het ware door en komt in een overspeed terecht.
- Een defecte koppeling. De koppeling maakt de verbinding tussen de as van de motor en de as van de schroef. Als de koppeling het begeeft (bijvoorbeeld lekkage bij een hydraulisch koppeling) en dus de weerstand op de as van de motor afneemt, dan komt deze in overspeed.
- Een vastzittende of defecte reguleur.
- Te hoge belasting van dieselgeneratormotor of te grote belasting wisselingen.
- Bij overbelasting.

15. Bij het detecteren van overspeed wordt door de beveiliging de brandstof-toevoer naar de motor afgesloten.

16. Een voortstuwingsmotor is voorzien van een noodmanoeuvresysteem zodat bij uitval van de remote control de motor vanaf de brug of vanuit de machinekamer kan worden bediend.

17. Onder blow-by verstaan we lekkage van de verbrandingsgassen langs de zuigerveren naar het carter.

18. De gevolgen van blow-by kunnen snel verouderen van de smeerolie zijn maar ook, wat veel gevaarlijker is, een carterexplosie.

19. Blow-by kan worden gedetecteerd met een oil mist detector, maar ook door een plotselinge toename van het smeerolieverbruik en van de druk in het carter. Controleer dan ook de carterontluchting, is deze in orde, stop de motor en voer na het afkoeling van de motor een carterinspectie uit.

20. Om het gevaar van een carterexplosie te verminderen, moeten een aantal carterdeuren zijn voorzien van explosiedeksels. Deze explosiedeksels zijn zó

ontworpen dat als er overdruk in het carter ontstaat, de plaatklep in het explosiedeksel opent en direct sluit wanneer de overdruk wegvalt. De plaatklep moet direct sluiten om te voorkomen dat er na de carterexplosie zuurstof in het carter komt en er zich een explosief mengsel vormt.

21. Bij langzaamlopende 2-slagmotoren komen de blow-bygassen in de spoelluchtruimte terecht, waar ze deze ruimte vervuilen en een spoelluchtbrand kunnen veroorzaken.
22. De twee systemen die blow-bygassen afvoeren: Een carterventilatiesysteem, dat de carterdampen meestal vanaf het kleppendeksel afvoert en naar het inlaatluchtfiltershuis van de turbo leidt. De Alfa Laval PureVent 2.0 is een verbeterde separator voor het reinigen van carterdampen. De centrifugale reiniging verwijdert olie en vaste deeltjes uit de carterdampen. Een alternatief systeem is om de gassen naar buiten af te voeren met in de afvoer een olieafscheider die de olie weer terugvoert naar het carter.
23. De volgende maatregelen zijn verplicht:
- Een aanzetluchtcompressor moet aan de perszijde zijn voorzien van een deugdelijke olieafscheider om te voorkomen dat er olie meegenomen wordt in de persleiding naar de aanzetluchtvaten.
  - De aanzetluchtvaten moeten regelmatig worden afgetapt, zodat er zich hier geen water of olie kan verzamelen.
  - De aanzetluchtvaten zelf moeten zijn voorzien van een manometer en een veiligheid, om te voorkomen dat de druk in het luchtvat te hoog wordt.
  - Er moet een terugslagklep zijn geplaatst in de aanzetluchtaansluiting naar elke machine.
  - Bij direct omkeerbare hoofdmotoren moeten er breekplaten of vlamdovers bij aanzetklep van elke cilinder zijn geplaatst.
24. Brand in een aanzetluchtleiding kan ontstaan door de volgende oorzaken:
- Een lekkende startlucht klep, die als warmtebron fungeert.
  - Door de gecomprimeerde lucht in het startluchtsysteem kan er brand en/of een explosie ontstaan.
25. Brandschade kan voorkomen of verminderd worden door het toepassen van:
- Een ontlastklep of veiligheid. Het kan zijn dat er ook nog een veiligheid is geplaatst op de aanzetluchtleiding tussen de hoofdaanzetklep en de aanzetkleppen. Voorschrift is dat het luchtvat of luchtvaten zijn voorzien van een veiligheid.
  - Een breekplaat is een eenmalig te gebruiken overdrukbeveiliging, die gemonteerd is op de startluchtleiding zo dicht mogelijk bij de aanzetlucht klep. Deze breekplaat opent naar buiten. Hij beschermt de leiding tegen overdruk. Een breekplaat wordt ingezet om bij een vooraf ingestelde druk, een drukontlastingsopening te creëren, zodra dat noodzakelijk is. De metalen plaat breekt letterlijk open, waardoor het systeem direct wordt ontlast.
  - Een terugslagklep, geplaatst in de aanzetluchtaansluiting naar elke machine en dus ook naar de hulpmotoren.

26. De werking van de vlamdover berust op het direct afvoeren van de warmte van de explosie door de koperen of messing pijpjes. Hierdoor daalt de temperatuur aan de achterzijde van de vlamdover zo sterk dat de vlam zich niet voortplant door de vlamdover.

27. De oorzaken van een spoelluchtbrand kunnen zijn:

- overmatige slijtage van de cilindervoering;
- onjuist afgestelde, onregelmatige verdeelde of defecte cilindersmering;
- versleten of gebroken zuigerveren en speling in de zuigerveersponningen;
- verontreinigde blowers en spoelluchtruimte;
- slechte verbranding als gevolg van defecte of lekkende brandstofkleppen of onjuiste timing;
- verkeerd afgestelde brandstofpomp;
- afgeschraapte smeerolie van de zuigerstangafdichting;
- naverbranding door slechte brandstof;
- terugslag van uitlaatgassen via de spoelpoorten door een te hoge tegendruk in het uitlaatgassenkanaal.

28. De voortekenen van een spoelluchtbrand kunnen zijn:

- Een hogere temperatuur van de wanden van de spoelluchtruimte en een verhoging van de uitlaatgastemperatuur van de betreffende cilinder.
- Er trekt rook door het uitlaatgassenkanaal (bij verdere uitbreiding van de brand) en het toerental van de motor zal dalen.
- Rook en vlammen kunnen, bij het openen, via de aftappen de machinekamer inblazen.
- Lekkage van hete gassen langs de zuigerveren (blow-by). Omdat op de plaatsen waar dit gebeurt de cilindervoering aanzienlijk warmer wordt dan normaal, maakt dit het mogelijk een spoelluchtbrand vroegtijdig te detecteren.
- De temperatuur van de spoellucht zal snel toenemen. Hierdoor komt er minder zuurstof in de motor, waardoor er een onvolledige verbranding ontstaat en de motor langzamer zal gaan draaien. Dit langzamere draaien wordt versterkt door de tegendruk in de ruimte onder de zuiger als gevolg van de brand.
- De uitlaattemperatuur zal gaan stijgen.

29. Er is geen vast recept voor de bestrijding van een spoelluchtbrand.

- Indien kort geleden de spoelluchtruimte is geïnspecteerd en schoongemaakt, zal er weinig brandbaar materiaal aanwezig zijn en zal de brand niet al te groot kunnen worden.
- Bij een groot aantal draaiuren na de laatste inspectie en dus een onbekende vervuiling in het spoelluchtkanaal moet men anders te werk gaan. Het aantal omwentelingen verlagen b.v. van vollast, 115 omw/min. naar 60 omw/min. Verhoog tijdelijk van de betreffende cilinder de hoeveelheid cilindersmeerolie. Dan uit laten branden en bij de zekerheid dat de brand uit is, het toerental langzaam weer opvoeren waarbij voortdurend de temperatuur in de spoelluchtruimte in de gaten wordt gehouden.
- Een uiterste maatregel is het aantal omwentelingen nog verder verlagen en het lichten van de brandstofpomp van de betreffende cilinder.
- Als het nodig is een blusmiddel te gebruiken dan moet de motor gestopt worden. Nadat de machine is gestopt, stop dan ook de boosterpomp of

lagedrukopvoerpomp, naar de hogedrukbrandstofpompen. Als de verstuivers met brandstof worden gekoeld, sluit de circulatie naar de betreffende verstuiver af. Dek de inlaatluchtfilters van de blowers af met een zeil om natuurlijke trek door de motor tegen te gaan.

30. Als blusmiddel is CO<sub>2</sub> uitstekend geschikt voor het blussen van een spoelluchtbrand, maar heeft als nadeel dat de uitstromende CO<sub>2</sub> een temperatuur heeft van ongeveer -70 °C. Hierdoor koelt de ruimte sterk af, wat kan leiden tot thermische spanningen in de cilindervoering, waarbij scheurvorming niet is uitgesloten. Om dit te voorkomen kan men beter stoom gebruiken als blusmiddel.
31. Het gevaar bij het blussen met stoom is, dat er een waterstofbrand kan ontstaan in de uitlaatgassenleiding en vervolgens in de uitlaatgassenketel.
32. Een waterstofbrand ontstaat wanneer bij een roetbrand de temperatuur heel hoog oploopt en men met water gaat blussen. Onder die omstandigheden gaat de roetbrand over in een zogenoemde waterstofbrand. Hierbij ontleedt het bluswater in H<sub>2</sub> en O<sub>2</sub>, en het staal verbrandt waarbij de temperatuur kan oplopen tot zo'n 2000°C. Blussen van een waterstofbrand is niet mogelijk, het enige wat men kan doen tijdens een waterstofbrand is het voorkomen van uitbreiding naar een machinekamerbrand.
33. Na het doven van de brand in de spoelruimten en -leidingen en nadat de motor voldoende is afgekoeld, kan begonnen worden met het openen van de ruimten voor inspectie en schoonmaken. Inspecteer en reinig de oppervlakken van de zuigerstang(en) en de cilindervoering(en). Indien deze in orde zijn, breng dan een dun laagje smeerolie op deze oppervlakken aan. Inspecteer de pakkingbus(sen) van de zuigerstangen en de bodem van spoelluchtruimten op scheuren. Torn tijdens deze inspecties de motor. Probeer de oorzaak van de brand op te sporen en verhelp deze indien mogelijk.
34. Een roetbrand in de uitlaatgassenketel wordt veroorzaakt door een opeenhoping van roet. Dit kan bestreden worden door regelmatig roetblazen van de uitlaatgassenketel.
35. Wanneer een roetbrand zich voordoet, is dat meestal kort na vertrek uit een haven. Gedurende een stilligperiode in een haven, is er altijd een natuurlijke circulatie door de motor en het uitlaatgassenkanaal, waardoor het vervuilde gedeelte van het kanaal langzaam gevuld wordt met zuurstofrijke lucht. Na vertrek uit een haven kan door een vonk in de uitlaatgassen het roet in de ketel worden ontstoken met als gevolg een roetbrand.
36. Tijdens normaal bedrijf bevatten de rookgassen van de motor te weinig zuurstof waardoor er nooit, ondanks het gloeien van een roetophoping op de spiralen, een uitslaande brand kan ontstaan in de uitlaatgassenketel.
37. Bestrijding van een roetbrand is nooit volgens het 'boekje'.
  - Wanneer door observatie is gebleken dat de roetophoping niet al te ernstig is, kan men doorvaren met verminderd vermogen.

- De uitlaatgassen van de motor bevatten te weinig zuurstof om de brand te laten oplaaien en hebben tevens nog een afkoelend effect op de verwarmingsspiralen.
- Belangrijk is wel dat er aandacht wordt besteed aan de watercirculatie door de spiralen van de uitlaatgassenketel. Deze circulatie voorkomt oververhitting van het pijpmateriaal en moet zeker niet afgezet worden.
- Wanneer de pijpen oververhit raken is de kans op openbarsten zeer groot, waardoor de roetbrand door de gevormde stoom over kan gaan in een waterstofbrand. Zoals al is aangegeven bij een brand in de spoelluchtleiding is een waterstofbrand niet te blussen.
- Bij een verwarmingsinstallatie met thermische olie kan de roetbrand overgaan in een oliebrand die weer andere gevaren met zich mee brengt.

38. Bij een roetbrand in de uitlaatgassenketel moeten de volgende maatregelen worden genomen:

- motortoerental terugnemen en stoppen van de motor;
- circulatiepomp bijhouden of bijzetten;
- aanzuigfilters van de blowers bedekken met plastic teneinde natuurlijke trek te voorkomen;
- nooit de roetblazers gebruiken;
- het inspectieluik boven de uitlaatgassenketel openen en met een nevelstraal water trachten de brand te blussen;
- controle op bluswaterafvoer via de aftap(pen), zodat het bluswater niet in de turboblower en de cilinders kan lopen;
- na blussen de ketel inspecteren en bedrijf weer opstarten;
- vóórdát de hoofdmotor gestart wordt voldoende lange tijd tornen om er zeker van te zijn dat er geen bluswater in de motor staat.

Als de brand niet te groot is (te zien aan de temperatuur na de ketel), beter langzaam doorvaren. De gassenstroom door de ketel koelt de ketel, en roet verbrandt langzaam.

## *Hoofdstuk 24 Structurele delen, uitlijning en bevestiging*

1. Middelsnellopende motor (mediumspeed) dieselmotor:
  - Carter.
  - Motorblok.
  - Cilindervoering.
  - Cilinderkop.
2. Krukaslagering:
  - De krukas wordt onder in het motorblok gehangen.
  - De middelsnellopende motor heeft een onderhangende krukas.
  - De lagerkappen van de krukaslagers zitten nauwkeurig pas in het motorblok.
3. De krukaslagering is zeer stijf wat gunstig is voor de slijtage van de krukas en lagers.
4. Onderdelen in het motorblok:
  - Motordrijfwerk.
  - Carter.
  - Cilindervoeringen.
  - Cilinderkoppen.
  - Aangedreven pompen.
  - Procesleidingen.
  - Kabels.
  - Bedieningselementen.
5. Het motorblok voor een middelsnellopende motor wordt meestal uit 1 stuk gegoten uit nodulair gietijzer.
6. Redenen voor kanalen voor smeeroilie, koelwater en spoellucht:
  - Dit bespaart veel leidingwerk met kans op lekkages bij de verbindingen.
  - Er hoeven minder aansluitingen losgenomen te worden voor bijvoorbeeld onderhoud aan de cilinderkoppen, cilindervoeringen of lagers en assen.
  - De motor wordt kleiner.
  - De constructie wordt stijver.
7. Het carter wordt hangend onder het motorblok gemonteerd en vangt de smeeroilie op.
8. De cilindervoering wordt gegoten uit gietijzer en vervolgens machinaal bewerkt.
9. Materiaaleigenschappen:
  - Slijtvast.
  - Grote stijfheid.
  - Goede loopeigenschappen.
10. De cilindervoeringen zitten met het onderste gedeelte in het motorblok en het bovenste gedeelte steekt boven het motorblok uit.
11. In het bovenste gedeelte van de cilindervoering, de kraag, wordt de cilindervoering gekoeld met koelwater dat door boorgaten loopt.



12. Op deze manier kan het koelwater heel dicht bij het te koelen oppervlak komen zonder de sterkte van de cilindervoering aan te tasten.
13. Het bovenste gedeelte van de cilindervoering is voorzien van een dikke rand, de kraag, om de hoge verbrandingsdruk op te kunnen vangen.
14. De cilinderkop wordt gegoten uit nodulair gietijzer en vervolgens machinaal bewerkt.
15. Materiaaleigenschappen cilinderkop:
- Thermisch goed belastbaar.
  - Mechanisch sterkt.
  - Goed vloeibaar om de gietmal goed te kunnen vullen.
16. Onderdelen cilinderkop:
- Twee inlaatkleppen met klepgeleiders en klepzittingen.
  - Twee uitlaatkleppen met klepgeleiders en klepzittingen.
  - Eén verstuiver.
  - Eén aanzetluchtklep.
  - Eén overdrukklep (ontlastklep).
  - Eén indicateurkraan.
17. De vier in- en uitlaatkleppen zijn in een vierkant geplaatst. In het midden van de vier kleppen zit één verstuiver.
18. De cilindervoering met cilinderkop geldt voor de wet als een drukvat dat voorzien moet zijn van een overdrukbeveiliging die opent als de druk in de cilinder te hoog wordt.
19. Als er vloeistof, brandstof of koelwater lekt in de cilinder en de dieselmotor gestart wordt met vloeistof op de zuiger.
20. Situaties:
- Tijdens het tornen van de dieselmotor om de tornmotor niet te zwaar te belasten.
  - Tijdens het tornen van de dieselmotor om vloeistof op de zuiger naar buiten te laten lopen.
  - In bedrijf om het indicateurtoestel aan te sluiten.
21. De cilinderkop wordt met vier tapeinden die in het motorblok geschroefd zijn en vier hydraulische moeren op de cilindervoering gemonteerd.
22. Tussen de cilinderkop en de cilindervoering zit een afdichtingsring, de koppakking.
23. Structurele delen:
- Motorfundatie.
  - A-frame.
  - Cilinderbalk.
  - Cilindervoering.
  - Cilinderdeksel.

24. Constructies:

- De motorfundatie, A-frame en cilinderbalk worden alle drie op elkaar getrokken met lange verticale trekstangen en hydraulische moeren.
- Op de cilindervoeringen worden de cilinderdeksels geplaatst. De cilinderdeksels worden met tapeinden die in de cilinderbalk geschroefd zijn en hydraulische moeren op de cilindervoering gemonteerd.

25. In de smeedstalen dwarsbalken zitten de zadels waarin de onderste krukaslagers en krukas gemonteerd worden. De dwarsbalken worden door gelaste stalen platen in langs richting met elkaar verbonden.

26. Elke kolom komt boven de overeenkomende dwarsbalk van de motorfundatie.

27. De toegangsdeuren tot de krukkast zitten in het A-frame aan de bedieningszijde van de motor, meestal bakboordzijde.

28. De trekstangen zijn in de kokers geplaatst.

29. Op verschillende hoogten in de kokers zitten er steunboutjes om te voorkomen dat de trekankers in resonantietrilling raken en uiteindelijk hierdoor breken.

30. Het A-frame draagt ook de cilinderbalk met cilindervoeringen en cilinderdeksels.

31. De cilinderbalk voor een langzaamlopende motor met een kleine cilinderdiameter wordt wel uit één stuk gegoten uit gietstaal. Voor een langzaamlopende motor met een grote cilinderdiameter wordt deze per cilinder gegoten.

32. De cilindervoering wordt gegoten uit gietijzer en vervolgens machinaal bewerkt.

33. De cilindervoeringen zitten met het onderste gedeelte in de cilinderbalk en het bovenste gedeelte steekt boven het motorblok uit.

34. De cilindervoering is over het middelste gedeelte geïsoleerd, hierdoor wordt lage-temperatuurcorrosie voorkomen.

35. De cilinderdeksels worden gesmeed uit smeedstaal en vervolgens machinaal bewerkt.

36. Smeedstaal is sterker dan gietstaal.

37. Bij de oorspronkelijke 2-slagmotoren waren de deksels eenvoudig, geen uitlaatklep en slechts één verstuiver in het midden. Dat leek meer op een deksel dan een op een cilinderkop.

38. Onderdelen:

- Eén uitlaatklephuis met uitlaatklep, klepgeleider en klepzitting.
- Twee of drie verstuivers.

- Eén aanzetluchtklep.
- Eén overdrukklep (ontlastklep).
- Eén indicateurkraan.

39. De uitlaatklep zit in een apart uitlaatklephuis dat in het midden van het cilinderdeksel is geplaatst. De verstuivers zitten op een cirkel buiten de uitlaatklep. Dieselmotoren met kleinere cilinderdiameters hebben twee verstuivers per cilinder. Motoren met grotere cilinderdiameters hebben drie verstuivers per cilinder.

40. Het uitlaatklephuis met de uitlaatklep kan gedemonteerd worden voor onderhoud, terwijl het cilinderdeksel blijft zitten.

41. Situaties:

- Als er vloeistof, brandstof of koelwater lekt in de cilinder en de dieselmotor gestart wordt met vloeistof op de zuiger.
- Bij een direct omkeerbare dieselmotor de overdrukkleppen openen als de motor nog te hard vooruitdraait en er al achteruit gestart moet worden bij een noodstop van het schip.

42. De cilinderdeksel wordt met veel tapeinden die in het motorblok geschroefd en hydraulische moeren zijn op de cilindervoering gemonteerd.

43. Mogelijkheden:

- Wanneer een zuiger getrokken wordt voor inspectie en onderhoud.
- Tijdens stilstand bij 2-slagdieselmotoren vanuit de spoelluchtruimte via de inlaatpoorten.
- Tijdens stilstand endoscopisch via het gat van een verstuiver.

---

139

44. Manieren van meten:

- De cilinderdiameter wordt met behulp van een micrometerspeermaat gemeten.
- De cilinderdiameter wordt met behulp van een mal op vastgelegde hoogten gemeten.
- De cilinderdiameter wordt zowel in de voor-achter als bakboord-stuurboord richting gemeten.
- De cilindertemperatuur.

45. Meestal wordt het koelwater op bedrijfstemperatuur gehouden, een kleinere verandering in temperatuur geeft al een meetfout van 0,01mm.

46. Meestal is de cilindervoering bovenin het meest versleten.

47. Schadebeelden:

- Wrijvingslijtage.
- Verglazen van de cilindervoering.
- Groeven in de cilindervoering.
- Corrosie van de cilindervoering.
- Scheuren in de cilinder voering.

48. De zuigerveren worden met name door de gaskracht tegen de cilindervoering gedrukt. Als de smeerfilm op de cilindervoering onvoldoende is, zal er wrijvingslijtage tussen zuigerveren en cilindervoering optreden.

49. Oorzaken van slijtage:

- Voeringtemperatuur te hoog door te hoge koelwatertemperatuur.
- Voeringtemperatuur te hoog door verbrandingsgassen die langs de zuigerveren blazen.
- Condenswater op de cilindervoering door slechte aftap na de spoelluchtkoeler.
- Viscositeit van de (cilinder)smeerolie te laag door vermenging met brandstof.
- Viscositeit van de (cilinder)smeerolie te laag door verkeerde (cilinder)smeeroliekeuze.
- Veerdruk te hoog door de hoge gasdruk of versleten zuigerveren of zuigerveergroeven.
- Veerdruk te hoog door versleten/vastzittende zuigerveren.
- Cilindersmeeroliedosering onvoldoende of op de verkeerde plaats of tijd.
- Verglazen van de cilindervoering.
- Kantelen van de trunkzuiger bij versleten cilindervoering.

50. Koolstof van de verbranding blijft op de zuiger blijven zitten. Bij elke slag zal de op de zuigerkroon achtergebleven kool zal de cilindervoering 'polijsten'.

51. Het oppervlak van de cilindervoering is zover versleten is dat dit super glad is geworden.

52. Redenen:

- Een verglaasde cilindervoering kan geen goede smeerfilm opbouwen.
- De smeerfilm wordt vooral in stand gehouden door smeerolie die in de ruwere structuur in het oppervlak van de cilindervoering zit.
- Het gevolg van doordraaien is wrijvingslijtage en doorlekken van gassen.

53. Door honen. Door een verglaasde cilindervoering met fijn- en polijstschuurstenen op te ruwen en het juiste hoonpatroon te geven, wordt weer een goede smeerfilm opgebouwd.

54. Door het toepassen van een antipolijstring bovenin de cilindervoering; deze veegt bij elke slag de kool van de zuigerkroon af.

55. De cat fines nestelen zich gemakkelijk in de ruwe structuur van het zachte gietijzer van de cilindervoeringen. Ze werken dan als een schuursteen op de zuigerveren.

56. IJzer (Fe) afkomstig van de gietijzeren zuigerveren.

57. Met de separator. Zet de opbrengst zo laag mogelijk dat het verbruik net wordt bijgehouden.

58. Corrosie:

- Lage-temperatuurcorrosie halverwege de cilindervoering.
- Witte aanslag net boven de stootrand, overmatig calcium bij een te hoog TBN.

59. Met het uitlijnen van een motor wordt bedoeld dat de hartlijn van de as van de motor in de hartlijn van de as van het aangedreven werktuig uitkomt.

60. Meetmiddelen:

- Laserapparatuur, twee laser zender/ontvangers die elkaar zien.
- Meetklokken.

61. De ene machine wordt als vast beschouwd en de hoogte en positie van de andere machine wordt daarop afgesteld.

62. Werkvolgorde:

1. Op hoogte gesteld, in verticale richting liggen de assen in lijn.
2. Hoekfout in de verticale richting corrigeren.
3. In positie stellen, de te stellen motor wordt bakboord-stuurboord verschoven tot de assen in horizontale richting in lijn liggen.
4. Hoekfout in de horizontale richting corrigeren.
5. E wordt **weer** naar de verticale uitlijning gekeken. Door het verschuiven kan ook de hoogte veranderd zijn. Zie stap 1 en weer tot en met 5.

63. De metingen hoeven niet allemaal op precies 0,00 mm uit te komen. Door de constructeur worden bepaalde toleranties (toegestane verschillen) gegeven.

64. Toepassingen:

- Hoe hoger het toerental des te kleiner zijn de toleranties.
- Een vaste koppeling met pasbouten heeft lagere toleranties dan een flexibele koppeling.
- Een vaste bevestiging heeft lagere toleranties dan een flexibele bevestiging.
- Groei van componenten die tijdens bedrijf veel hogere temperaturen krijgen, TO-pompen.

---

141

65. Uitvullen wil zeggen dat de ruimte tussen de motorfundatie en de scheepsfundatie gevuld moet worden.

66. Materialen:

- Gietijzeren vulstroken.
- Stalen vulstroken.
- Epoxyhars vulmiddel.
- Instelbare elementen.

67. Beschrijving:

Er worden meestal hydraulisch gespannen studs gebruikt. Aan de onderzijde van de stud wordt gebruikgemaakt van een kroonmoer die geborgd wordt met een pen. Daar zit ook een sferische moer en borgring om te compenseren voor scheefstand tussen de aanligvlakken. Aan de bovenkant wordt de moer hydraulisch vastgezet.

68. Bij slecht weer en hogging of sagging kan de motorfundatie de beweging van scheepsfundatie niet volgen, omdat de motorfundatie stijver is dan de scheepsfundatie. Als de studs niet voldoende elastisch zijn, rekken ze blijvend op en komen los te zitten. Als ze dan weer op spanning gebracht worden breken ze de volgende keer met slecht weer.

69. Aanpassingen:

- De studs zijn extra lang genomen.
- De studs zijn verschraald.

70. Deze stoppers voorkomen dat de motor gaat schuiven bij stranding, aanvaring of extreem slecht weer.

71. De bovenzijde van de cilinderbalk van een langzaamlopende dieselmotor steunt hiermee af op een scheepsdeel.

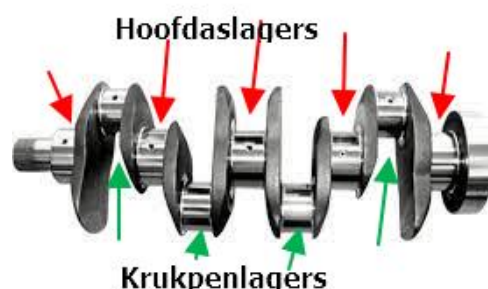
72. Voorkomen van trillingen in de motor als gevolg van de dwarskrachten die de leibanen overbrengen.

73. Constructiekenmerken van top bracings:

- Dwarsscheepsgeplaatste steunen.
- Ze lopen horizontaal.
- Meestal zijn er vier top bracings geplaatst, twee aan de voorzijde en twee aan de achterzijde van de motor.
- Kunnen hydraulisch uitgevoerd zijn.
- Kunnen mechanisch uitgevoerd zijn met behulp van nastelbare frictieplaten.
- Kunnen geen langsscheepse bewegingen van de motor opvangen.

## Hoofdstuk 25 Motordrijfwerk

1. Doelen:
  - De op- en neergaande beweging van de zuiger omzetten in een roterende beweging.
  - De roterende beweging gebruiken voor de aandrijving van een scheepsschroef, generator of pomp.
  - De roterende beweging gebruiken om bewegende onderdelen van de motor aan te drijven.
2. Onderdelen:
  - Krukas met krukaslagers.
  - Drijfstang, lagers en kruishoofd.
  - Zuiger, zuigerveren en zuigerstang.
  - Nokkenas.
  - Aandrijving van kleppen en brandstofpompen.
  - Inlaat- en uitlaatkleppen.
  - Stuwblok.
3. De krusas heeft vijf onderdelen. Twee krukwingen met daartussen de krukpen. In elke krukwing een ashals.
4. De krukas van een middelsnellopende motor wordt uit één stuk gelegeerd staal gesmeed. Na het smeden worden de krukas machinaal bewerkt.
5. De overgang van krukpen naar krukwing wordt afgerond. Het loopvlak van de krukpen wordt gehard.
6. Redenen:
  - Het schip kan meer lading meenemen.
  - De buigende momenten op de krukpen zijn kleiner.
7. De ashalzen, krukwingen en krukpen zijn voorzien van een doorboring om smeerolie van de krukaslagers via de ashalzen en krukwingen naar de krukpen te pompen.
8. De contragewichten balanceren de krukas en verminderen trillingen.
9. De contragewichten worden (hydraulisch) met boutverbindingen aan de krukwingen verbonden.
- 10.



11. Zeven hoofdaslagers.

12. Het smeren van de hoofdasmetalen en de krukpenlagers.

13. Olie komt via het hoofdaslager in de krukas, en komt via een doorboring in de krukas bij de krukpen. De krukpen wordt gesmeerd en gekoeld, en kan via de drijfstang de zuigerpen en zuiger smeren en koelen.

14. De krukpen zijn veel breder (langer) dan de hoofdaslagers, krukas is van een V-motor. Er zitten twee drijfstangen op één krukpen.

15. Elke kruk wordt uit één stuk koolstofstaal gesmeed. Dit smeedstuk wordt daarna machinaal bewerkt en vervolgens worden de ashalsen in de krukwingen gekrompen.

16. De krukas bestaat uit twee gedeelten die in het midden met aangesmede flenzen en pasbouten aan elkaar verbonden worden.

17. Redenen:

- Een krukasbreuk levert veel schade op, omdat dan ook andere motordelen beschadigd raken.
- Het is niet eenvoudig om een krukas te vervangen.
- Niet elke krukas ligt op voorraad, levertijd van maanden.

18. Schade:

- Scheuren in ashals en/of krukpen.
- Groeven in ashals en/of krukpen.
- Verandering in de hardheid als gevolg van oververhitting.
- Slijtage.
- Verdraaien van krimpverbindingen.
- Breuk.

144

---

19. Harde vuildeeltjes die groter zijn dan de dikte van de smeeroliefilm tussen as en lager maken groeven in de as en het lager materiaal.

20. Vuildeeltjes:

- zand;
- koolstof;
- staal;
- ijzer;
- messing;
- loodbrons;
- aluminium.

21. Risico's:

- Door de kerfwerking kan de krukas hierop te breken.
- Verbreken van de hydrodynamische smering.

22. De krukas kan in de motor blijven. Met een speciaal fjnslijpparaat wordt de ashals tot de eerste ondermaat afgeslepen. Vervolgens wordt een overmaats lager gemonteerd.



23. Bij een warmloper loopt de temperatuur in de ashals en krukaslager zo hoog op dat de structuur en hardheid van het materiaal sterk verandert.

24. Reparatie:

- Er wordt een detailmeting gedaan van de diverse hardheden aan het oppervlakte van de ashals. Vervolgens krijgt de ashals een warmtebehandeling.
- Daarna wordt gemeten of het materiaal weer overal de juiste hardheid heeft.
- Vervolgens worden beschadigingen eruit geslepen met een fijnslijpparaat.
- De lagers worden vervangen.

25. Er treedt grenssmering op, waardoor metaal verdwijnt. Als dit telkens op dezelfde plaats gebeurt, wordt de krukpen onrond.

26. De krukas kan in de motor blijven. Met een speciaal fijnslijpparaat wordt de krukpen tot de eerste ondermaat afgeslepen. Vervolgens wordt een overmaats lager gemonteerd.

27. Bij de krimpverbindingen van geheel of gedeeltelijk opgebouwde krukassen. Bij langzaamlopende motoren met geheel of gedeeltelijk opgebouwde krukassen.

28. Er worden merktekens op de krukas aangebracht zodat bij inspectie goed is te zien of een krimpverbinding is verdraaid.

29. Omstandigheden:

- Als de motor gestart wordt met vloeistof op de zuiger.
- Als de schroef op een obstakel slaat.

30. Redenen:

- Tri-metaal lagers zijn goed bestand tegen hoge lagerbelastingen van moderne motoren.
- Tri-metaal lagers passen direct.

31. Opgebouwd:

- Tri-metaal lagers worden opgebouwd op een stalen lagerschaal.
- Hierop wordt een laag loodbrons aangebracht.
- Daarop wordt een zeer dunne nikkellaag aangebracht.
- Daarop wordt de looplaag van witmetaal aangebracht

32. Het loodbrons dient als noodlagermateriaal als de oorspronkelijke looplaag plaatselijk is versleten.

33. Legering: witmetaal 80Al20Sn, 80% aluminium en 20% tin.

34. De dikte van de looplaag ligt tussen de 0,5 en 1,5mm.

35. Omstandigheden voor inspectie:

- Om de 5 jaar, omdat dit samenvalt met de periodieke dokbeurt van het schip.
- Bij een warmloper.

- Bij een krukkastexplosie.
- Periodiek als voorgeschreven door het klassebureau.
- Bij het vinden van veel lagermateriaal in de smeerolieanalyse.
- Bij overschrijding van de toegestane krukasdeflectie.

#### 36.Meting:

- De tri-metaal lagers worden gedemonteerd en de dikte van de lagerschaal wordt met een buiswanddikte micrometer op verschillende plaatsen gemeten.
- Als het loodbrons zichtbaar is, wordt het percentage zichtbaar loodbrons bepaald.

37.Scheuren duiden op overschrijding van de vermoeidheidsgrenzen door te hoge vlaktedrukken.

#### 38.Omstandigheden:

- Periodiek met een frequentie zoals aangegeven wordt in het onderhoudsplan.
- Voor en na een droogdokking.
- Bij warmlopen van een krukaslager.
- Bij overmatige slijtage van een krukaslager.
- Bij stranding.
- Bij aanvaring.
- Na het vastzetten van veel loszittende fundatiestuds.

#### 39.Risico's:

- Warmlopen van een krukaslager.
- Overmatige slijtage van een krukaslager.
- Breken van de krukas.

40.Door een deflectiemeting.

41.Spelling meten met speciale voelermaatjes bij grote motoren, anders moet lager geopend worden.

42.Met een speermaat die altijd op dezelfde aangegeven plaats op de krukvang wordt geplaatst. Metingen moeten bij dezelfde temperatuur als de vorige keer gedaan worden. Diepgang, en vooral trim, moet worden vermeld. Tornen mag tijdens de meeting alleen in de vooruitrichting. Zuiger van eerste cilinder wordt net na onderste dode punt gezet, zodat meetklok (speermaat) op de juiste plaats tussen de krukvangen gezet kan worden. De meetklok wordt op nul gezet, en om de 90° wordt er nu gemeten, de laatste (5<sup>de</sup> meting) moet gelijk of bijna gelijk aan de eerste zijn, dus bijna nul. Meetwaarden kunnen positief en negatief zijn. Op deze manier worden alle cilinders gemeten.

43.De afstand tussen de krukvangen van 1 kruk tijdens 1 omwenteling van de krukas. De afstand tussen de krukvangen wordt groter en/of kleiner.

#### 44. Meetapparaten:

- Speermaat met analoge (mechanische) meetklok.
- Speermaat met elektronische uitlezing.

45. Hieronder in rood waar de waarde voor krukasdeflectie overschreden wordt.

Kruk positie		Cilinder 1	Cilinder 2	Cilinder 3	Cilinder 4
Bakboord bodem	A	0	0	0	0
Bakboord	B	-0,02	+0,01	+0,01	-0,01
Bovenste dode punt	C	-0,04	+0,02	+0,03	-0,02
Stuurboord	D	-0,01	+0,01	+0,02	-0,01
Stuurboord bodem	E	0,00	0,00	0,00	0,00
Gemiddeld bodem		0,00	0,00	0,00	0,00

46. De krukaslagers worden gecontroleerd, eerst lager 2 daarna zo nodig lager 1 en lager 3. De tri-metaal lagerschalen worden gedemonteerd en de dikte wordt op verschillende plaatsten gemeten met een micrometer die geschikt is voor buizen, ronde oppervlakken. Bij slijtage worden de tri-metalen lagerschalen vervangen. De krukasdeflectie wordt opnieuw gemeten. Wordt daarmee de ligging van de krukas niet verbeterd, dan moet de motor opnieuw uitgelijnd, ondervuld en vastgezet worden.

47. De drijfstang vormt de verbinding tussen de roterende kruk van de krukas en de op- en neergaande zuiger.

48. De drijfstang wordt van smeedstaal in een H-profiel gesmeed en vervolgens machinaal nabewerkt.

147

49. De drijfstangvoet is deelbaar om de drijfstang aan de krukpen te kunnen verbinden. Aan de bovenzijde van de drijfstang zit de drijfstangkop. De drijfstangkop is niet gedeeld.

50. De cilindervermogens zijn steeds hoger geworden bij gelijkblijvende cilinderdiameter. Om vermoeiingsverschijnselen in het lagermateriaal te voorkomen moesten de krukpen en drijfstangvoet groter worden dan de cilinderdiameter. Daardoor kon de zuiger niet meer naar boven uit de cilindervoering worden getrokken.

51. Constructies:

- De drijfstangvoet is horizontaal gedeeld.
- De drijfstangvoet is schuin gedeeld.
- De drijfstang is hoger gedeeld, Marine Head.

52. Anders kan bij zuigertrekken de voet niet door de cilinderopening.

53. De smeerolie wordt via een gat in het bovendee van het krukpenlager en een doorboring in de drijfstang naar het zuigerpenlager geperst.

54. De drijfstang vormt de verbinding tussen de roterende kruk van de krukas en het op- en neergaande kruishoofd. Het kruishoofd is door middel van een zuigerstang verbonden aan de zuiger.

55. De drijfstang wordt van ongelegeerd koolstofstaal gesmeed en vervolgens machinaal nabewerkt.
56. De drijfstangvoet is horizontaal deelbaar om de drijfstang aan de krukpen te kunnen verbinden. Aan de bovenzijde is de drijfstangkop zo breed mogelijk gemaakt en ook horizontaal gedeeld. Het bovenste deel van de drijfstangkop is voorzien van een sleuf, waarin de zuigerstang gemonteerd zit.
57. De drijfstang wordt met takels via de krukkastdeur uit de motor verwijderd.
58. Een kruishoofd met leibanen, leisloffen en een drijfstang.
59. Je hebt toch een kruishoofd nodig, omdat de slag zo ontzettend lang is. En de slag is zo lang, omdat je zo langzaam wilt draaien in verband met een gunstig schroefrendement. Bij een slag van 2500mm en een diameter van "slechts" 960 mm kan de drijfstang bij een trunkzuiger, door de schuine stand, nooit ver genoeg de voering in komen om de slag te halen. Je moet dus een kruishoofd hebben.
60. Opbouw en constructie:
- Het kruishoofd bestaat uit de kruishoofdpen, met aan beide uiteinden de leisloffen.
  - De leisloffen kunnen draaien rond de kruishoofdpen en volgen zo precies de leibanen.
  - De leisloffen bewegen op en neer tussen de leibanen.
  - De leibanen vormen één geheel met het A-frame van de motor.
  - De zuigerstang wordt met de zuigerstangvoet aan de bovenzijde van de kruishoofdpen gemonteerd.
61. De leisloffen brengen de zijdelingse krachten over op de leibanen. De krachten worden via de leibanen overgebracht op het A-frame van de motor.
62. Door de schommelbeweging van de drijfstang ten opzichte van het kruishoofd is het lastig om een hydrodynamische smering te verkrijgen. Bij het 2-slagprincipe wordt dit onderlager ook voortdurend belast, hierdoor kan er moeilijk olie in het lager komen.
63. Constructiekenmerken:
- Een doorlopend onderlager zonder onderbrekingen.
  - Zo groot mogelijke diameter voor de kruishoofdpen.
  - Een onderlager van tri-metaal.
  - Een zo glad mogelijke kruishoofdpen.
  - Zo groot mogelijke kruk-drijfstangverhouding.
  - Toepassen van hydrostatische smering in het onderlager.
64. Functies:
- De zuiger brengt de gaskrachten in de cilinder via de zuigerpen over op de drijfstang.
  - De zuiger brengt de zijdelingse krachten via het zuigerhemd over op de cilindervoering.

65. Een trunkzuiger moet ook de dwarskrachten opvangen die ontstaan bij het omzetten van de op- en neergaande krachten in draaiende krachten.
66. Er wordt bij trunkzuigermotoren gewerkt met een zo klein mogelijke kruk-drijfstangverhouding.
67. De zuigerkroon wordt meestal van gietstaal of smeedstaal gemaakt, die machinaal wordt nabewerkt. In de zuigerkroon worden een aantal veersponningen gestoken, waarin de zuigerveren worden gemonteerd.
68. Het zuigerhemd wordt meestal van nodulair gietijzer of een aluminium-siliciumlegering centrifugaal gegoten. Dit gietstuk wordt machinaal nabewerkt.
69. Lichter maken:
- Door meer materiaal van het zuigerhemd weg te nemen, waar dit geen functie heeft voor de sterkte en geleiding.
  - Door te kiezen voor een lichter materiaal.
70. De smeerolie wordt via een doorboring in de kop van de drijfstang toegevoerd aan de binnenzijde van de zuigerkroon. Vervolgens loopt de smeerolie uit de zuiger in het carter.
71. De materiaalt temperatuur van de zuigerkroon wordt te hoog en verzwakt. Het materiaal van de zuigerkroon bezwijkt onder de gasdruk en temperatuur. De verbrandingsgassen komen in het carter en veroorzaken een carter-explosie.
72. De zuigerpen zit met een schuivende passing gemonteerd in de zuiger en het zuigerpen lager. Om te voorkomen dat de zuigerpen gaat verschuiven, wordt deze opgesloten tussen twee verende opsluitringen in de zuiger.
73. De zuiger brengt via de zuigerstang de gaskrachten over op het kruishoofd. Het op- en neergaande kruishoofd is via de drijfstang verbonden met de roterende kruk van de krukas.
74. Het korte zuigerhemd voorkomt dat uitlaatgassen in de spoelluchtruimte kunnen komen, dus kroon en hemd moet minimaal de hoogte van de spoelpoorten hebben.
75. De zuigerkroon wordt meestal van gietstaal of smeedstaal gemaakt, die machinaal wordt nabewerkt. Dus hetzelfde materiaal als bij middelsnellopende motoren.
76. De smeerolie wordt vanuit het kruishoofd via een doorboring in de zuigerstang toegevoerd aan de spuitmondjes. De binnenzijde van de zuiger is voorzien van geboorde koelkanalen waarin de spuitmondjes zitten om de koelolie zo dicht mogelijk bij het oppervlak van de zuiger te laten komen. De koelolie verlaat de zuiger via een tweede doorboring in de zuigerstang en wordt via het kruishoofd naar buiten de motor gebracht om de koelolie doorstroom per zuiger te kunnen controleren.

77. De zuigerstang verbindt met behulp van aangesmede flenzen de zuiger met de kruishoofdpen van het kruishoofd. Voor de bevestiging worden tapeinden met hydraulische moeren gebruikt.
78. De pakkingbus zorgt voor de afdichting tussen de spoelluchtruimte en krukkast.
79. Omdat ruimte onder de zuiger niet in verbinding staat met de krukkast blijft de smeerolie schoon.
80. Het middendeel van de pakkingbus voert de vervuilde smeerolie naar de 'smeerolie-terugwintank'. Met behulp van de smeerolieseparator kan deze vervuilde smeerolie gereinigd worden en teruggevoerd worden naar de krukkast.
81. De pakkingbus bestaat uit twee helften om deze rond de zuigerstang te kunnen plaatsen en de schraapringen en afdichtingsringen te kunnen vervangen.
82. De zuigerstang heeft aan beide zijden een aangesmede flens, één voor de zuiger en één voor de kruishoofdpen.
83. Twee functies van zuigerveren:
- Ze zorgen voor de afdichting van de zuiger tegen de cilindervoering.
  - Ze zorgen voor de geleiding van de zuiger in de cilindervoering.
84. Zuigerveren worden van perlitisch gietijzer gemaakt met vlokgrafiet.
85. Voor goede loopeigenschappen als de smeeroliefilm tussen zuigerveer en cilinderwand verbroken wordt.
86. Het zuigerveren pakket bestaat uit twee tot vijf zuigerveren. De bovenste compressieveer wordt vaak voorzien van keramische of chroomlaag als looplaag omdat deze bij de hoogste temperatuur werkt en de keramische of chroomlaag minder slijt bij grenssmering. De volgende compressieveren zijn niet voorzien van een speciale looplaag. Bij een trunkzuiger zal de onderste veer een olieschraapveer zijn.
87. Als de zuigerveer warm wordt zal deze uitzetten en zal het veerslot kleiner worden. Het veerslot mag nooit helemaal dicht gaan anders loopt de zuiger(veer) vast.
88. Mechanismen:
- De zuigerveer dicht af op de cilindervoering door de voorspanning in de veer.
  - De zuigerveer dicht af op de cilindervoering door de gasdruk die achter de veer komt te staan.
  - De zuigerveer dicht af op de veersponning in de zuiger door de gasdruk die boven de veer staat.
89. Omdat de olieschraapveer door zijn open vorm te weinig voorspanning geeft tegen de cilindervoering.

90. Functies:

- smeren;
- afdichten;
- reinigen.

91. De antipolijstring zit bovenin de cilindervoering en veegt bij elke slag de kool van de zuigerkroon af. Hiermee wordt verglazen van de cilindervoering voorkomen.

92. Zuigerkroon en zuigerhemd

93. Schade:

- Inbranden van de zuigerkroon.
- Scheuren van de zuigerkroon.
- Uitslaan van veersponningen.
- Slijtage van zuigerveren.
- Breuk van zuigerveren.
- Vastzitten van zuigerveren.
- Blow-by van het zuigerverenpakket.

94. Door de verbranding verdwijnt er metaal van de zuigerkroon. Bij gebruik van zware stookolie als brandstof wordt dit nog versterkt als er bij hoge temperatuur corrosie optreedt.

95. Met een mal wordt gemeten of er nog voldoende materiaal op de zuigerkroon aanwezig is. Dit gebeurt bij elke zuigerrevisie.

96. Met een set van reinigings- en contrastvloeistoffen, dye check, wordt de zuigerkroon van binnen en buiten gecontroleerd op scheurvorming. Dit gebeurt bij elke zuigerrevisie.

97. Door een gespecialiseerd bedrijf wordt de zuigerkroon eerst afgedraaid tot op het zuivere materiaal. Vervolgens wordt het verdwenen en verwijderde materiaal met bewerkingsovermaat opgelast. Aansluitend wordt de zuigerkroon machinaal bewerkt tot de nieuwbouw afmetingen.

98. Goedkoper in aanschaf.

99. Oorzaken:

- Een zuigerveer heeft een kleine speling in de veersponning om te kunnen bewegen en zo de cilindervoering te kunnen volgen.
- Bij elke slag slaat de zuigerveer zowel boven als onder in op de sponning.
- De sponning slaat na verloop van tijd taps uit.

100. Bij elke zuigerrevisie worden de maten van de zuigerveersponningen op meerdere plaatsen nauwkeuring opgemeten. Dit gebeurt bij elke zuigerrevisie.

101. Verbrandingsresten (kool) gaan in de veersponning waardoor de zuigerveer niet meer kan bewegen.

102. Als de topveer vast zit:

- De rest van het verenpakket moet dan de volledige gasdruk opvangen.
- De topveer wordt niet meer gekoeld en verbrandt door de langstromende gassen.
- Veer zal breken na enige tijd.

103. Bij 2-slagkruishoofdmotoren kunnen de zuigerveren vanuit de spoelruimte geïnspecteerd worden op vastzitten, breuk of slijtage. Tijdens het tornen zijn de zuigerveren zichtbaar via de spoelpoorten.

104. Als het verenpakket door slijtage, breuk of vastzitten niet meer afdicht tegen de gasdruk slaan de het verbrandingsgassen door. Bij een trunkzuigermotor komen de hete verbrandingsgassen in het carter met zijn oliedamp. Het gevolg is een carterexplosie.

105. Als het verenpakket door slijtage, breuk of vastzitten niet meer afdicht tegen de gasdruk, slaan de verbrandingsgassen door. Bij een kruishoofdmotor komen de verbrandingsgassen in de spoelluchtruimte. Als er voldoende verbrandingsresten in de spoelluchtruimte liggen ontstaat een spoelluchtbrand.

106. De nokken op de nokkenas drijven de plunjers van de brandstofpompen en de inlaat- en/of uitlaatkleppen aan.

107. Aandrijving:

- De nokkenas wordt door middel van een tandwieloverbrenging aangedreven door de krukas.
- Er zit één tandwiel op de krukas dat via een tussentandwiel het tandwiel van de nokkenas aandrijft.
- Omdat een 4-slagproces 720 krukgraden omvat, heeft het tandwiel op de nokkenas tweemaal zo veel tanden als het tandwiel op de kruk as. Hierdoor draait de krukas tweemaal zo snel als de nokkenas.

108. Elk nokkenasdeel wordt als één geheel gemaakt uit smeedstaal en vervolgens machinaal bewerkt. De nokkenas is deelbaar met 1 nokkenasdeel per cilinder.

109. Drie nokken:

- De inlaatnok levert de aandrijving van de inlaatkleppen.
- De uitlaatnok levert de aandrijving van de uitlaatkleppen.
- De brandstofnok levert de aandrijving van de plunjer van de hogedruk-brandstofpomp.

110. Dat komt omdat het vermogen dat nodig is voor het aandrijven van de hogedrukbrandstofpomp hoger is dan het vermogen voor het aandrijven van de inlaat- en uitlaatkleppen. Door de nok breder te maken wordt de vlaktedruk voor alle nokken gelijk.

111. Door middel van de aangesmede flenzen wordt elk nokkenasdeel met pasbouten aan het volgend nokkenas deel gemonteerd.



112. De nokkenaslagers bevinden zich in de tussenschotten tussen de cilinders en lageren op de flenzen.

113. Meestal worden loodbrons lagers toegepast.

114. Aandrijvingen:

- Bij de Wärtsilä RTA-motoren wordt de nokkenas door middel van een tandwieloverbrenging aangedreven door de krukas.
- Bij de MAN-B&W MC-motoren wordt de nokkenas door middel van een kettingoverbrenging aangedreven door de krukas.

115. Het voordeel van een tandwieloverbrenging is dat deze nauwkeurig is en slijtage geen invloed heeft op de timing van de nokkenas.

116. Het voordeel van een kettingoverbrenging is dat hiermee eenvoudig de nokkenas hoog in de motor kan worden gebracht. Hierdoor zijn de hogedrukverstuiverleidingen en hydrauliekleidingen voor het openen van de uitlaatkleppen kort.

117. Er wordt een zeer hoge oliedruk, tussen 1000 en 2000 bar, gezet tussen nok en as, waardoor de nok oprekt en op de juiste plaats en in positie op de as gezet kan worden. Na aflaten van de oliedruk zit de nok op de as geklemd.

118. Eigenschappen van de klep:

- De lichthoogte.
- De openingsduur in krukgraden.
- De versnellings- en vertragingkrachten.

153

---

119. Twee taken van klepveren:

- Ze zorgen ervoor dat de klep weer sluit als het hoogste punt van de nok bereikt is.
- Ze zorgen er ook voor dat de rol altijd op de nok gedrukt blijft bij openen en sluiten van de kleppen.

120. Klepaandrijving Wärtsilä:

1. nokkenas met nok
2. rolgeleider met rol voor klepaandrijving
3. stoterstang
4. tuimelaar
5. tuimelaar as
6. tuimelaar stoel
7. brugstuk met geleider
8. klepveren
9. rolgeleider met rol voor hogedrukbrandstofpomp

121. De uitlaatkleppen van langzaamlopende kruishoofdmotoren worden hydraulisch geopend en met een luchtveer gesloten.

122. Klepaandrijving MAN-B&W:

1. nokkenas met nok
2. rolgeleider
3. hydrauliek pomp

4. hydrauliek leiding
5. hydrauliek zuiger
6. luchtleiding
7. luchtveer
8. uitlaatklep

123. De inlaatkleppen worden gesmeed uit een goede kwaliteit koolstofstaal. Daarna worden de kleppen machinaal bewerkt.

124. Constructiekenmerken:

- De gehele uitlaatklep wordt gemaakt van Nimonic 80A.
- Als alternatief wordt het gedeelte waar de klep op afsluit opgelast met het zeer slijtvaste stelliët of pantserstaal.
- De kleppen draaien tijdens openen om het afdichtingsvlak schoon te houden.
- De klepzitting wordt gekoeld, zodat de klep in de gesloten stand goed koelt.
- Bij het 4-slagproces wordt het spoelen en koelen verlengd.
- De klepstaal wordt met het HVOF-proces opgespoten met een gladde, harde en slijtvaste laag.

125. De klepstaal beweegt omhoog en omlaag in de klepgeleider.

126. De klepstaal wordt gesmeerd door smeeroilie die van het tuimelaar-mechanisme komt.

127. Ja, een klepzitting zit in de cilinderkop geperst en kan vervangen worden.

128. Door het warmer worden, zetten de kleppen uit. De klepspeling geeft ze voldoende ruimte om uit te kunnen zetten.

129. De (uitlaat)klep blijft openstaan tijdens de compressie- en verbrandings-slag. De klep en zitting worden weggesneden door de langstromende gassen.

130. Het voordeel van dubbele veren is dat de klep altijd gesloten wordt als er 1 veer breekt. Zou de klep niet gesloten worden, dan zakt deze te ver naar beneden en wordt geraakt door de naar boven komende zuiger met een grote schade tot gevolg.

131. De uitlaatklepveren zijn voorzien van een draaibare veerschotel, de Rotocap. Deze veerschotel bestaat uit twee delen met daartussen kogeltjes in tangentiale kogelbanen.

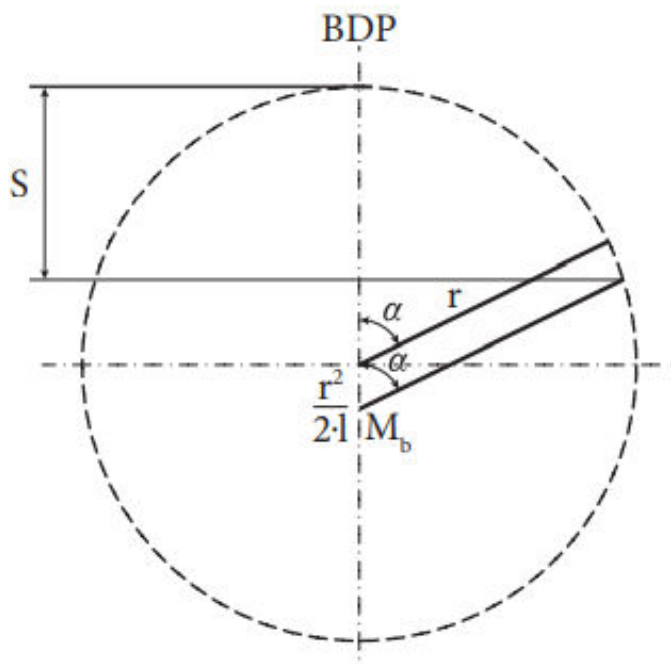
132. De langzaamlopende 2-slagkruishoofdmotoren zijn voorzien van 1 uitlaatklep per cilinder. De uitlaatklep zit in een uitlaatklephuis dat in het midden van het cilinderdeksel is geplaatst. Een inlaatklep is niet nodig, bij 2-slagmotoren gaat de toevoer van de verbrandingslucht via de inlaatpoorten in de cilindervoering.

133. Door deze constructie kan de klep gedemonteerd worden voor onderhoud terwijl het cilinderdeksel kan blijven zitten.

134. De klepsteel wordt gesmeerd door smeerolie die aan de lucht voor de luchtveer gedoseerd toegevoegd wordt.
135. De kleppen van de desbetreffende cilinder tikken (harder).
136. De klepsteel is voorzien van vinnen. Na het openen van de uitlaatklep stromen de uitlaatgassen met grote snelheid langs de vinnen, waardoor de uitlaatklep een stuk verdraaid. De luchtveer geeft weinig wrijving, waardoor een klein draaimoment voldoende is om de uitlaatklep te verdraaien.
137. De stuwkracht kan afhankelijk van het voortstuwingsvermogen tussen de tientallen en honderden tonnen bedragen.
138. Deze kracht werkt axiaal op de schroefas.
139. Bij een te grote axiale kracht knikken de krukken.
140. Bij een te grote axiale kracht verschuiven de tandwielen.
141. In de tandwielkast of krukas wordt een stuwkraag opgenomen die de stuwkracht via de fundatie overbrengt op de scheepsconstructie.
142. Het stuwblok bestaat uit een stuwkraag op de krukas en kantelblokjes die verdeeld zijn over het onderste gedeelte van de kraag. Aan de achterzijde zijn de kantelblokjes voorzien van een rug die een beetje uit het midden van het kantelblokje zit.
143. Als de motor gaat draaien neemt de stuwkraag smeerolie mee die in de wig tussen de kantelblokjes en kraag komt. De stuwkracht van de stuwkraag wordt via de smeerolie op de kantelblokjes overgebracht. En dan via de rug van de kantelblokjes op de motorfundatie overgebracht. De motorfundatie zit met de fundatiebouten vast aan de scheepsconstructie, zodat uiteindelijk de stuwkracht op de scheepsconstructie wordt overgebracht.
144. Omdat bij achteruit draaien de stuwkracht de andere kant op werkt, moeten de kantelblokjes aan beide zijden van de stuwkraag geplaatst worden.
145. Om het kantelmoment op het stuwblok zo klein mogelijk te houden.

## Hoofdstuk 26 Mechanica van het motordrijfwerk

1. De op- en neergaande, oscillerende beweging van de zuiger om te zetten in een roterende beweging van de krukas.
2. De berekening:  
Krukstraal =  $3,2/2 = 1,6\text{m}$   
Drijfstaang =  $4 \times 1,6 = 6,4\text{m}$   
 $S = 1,6 \times (1 - \cos 45) + 1,6^2 / (2 \times 6,4) \times \sin^2 45 = 0,57\text{m}$
3.  $S = 3,2 \times 0,25 = 0,8\text{m}$
4. Ongeveer  $0,6\text{m}$



5. Krachten:
  - Gaskrachten
  - Oscillerende versnellingskrachten
  - Roterende versnellingskrachten
  - Gewichtskrachten
6. Hoogste drukken:
  - Verbrandingsdruk
  - Compressiedruk
7. Bij 2-slagkruishoofdmotoren heerst er onder de zuiger altijd de spoelluchtdruk, die 2 tot 4 bar hoger is dan de atmosferische druk. Bij trunkzuigermotoren heerst er onder de zuiger de carterdruk, die vrijwel gelijk is aan de atmosferische druk.
8. De zuiger wordt voortdurend versneld en vertraagd. In het onderste dode punt en bovenste dode punt van de zuiger is de snelheid nul en draait de richting van de zuigerbeweging om.

9. Onderdelen zijn:

- Zuiger
- Zuigerstang
- Kruishoofd
- Bovenste gedeelte van de drijfstang
- Koelolie in de zuiger en zuigerstang

10. Die onderdelen zijn:

- Kleppen
- Stoterstangen
- Rolgeleiders
- Plunjers van hogedrukbrandstofpompen
- Plunjers van hydraulische pompen voor de uitlaatkleppen

11. Het bovenste gedeelte van de drijfstang volgt de zuigerpen en beweegt op en neer. Het onderste gedeelte van de drijfstang volgt de krukpen en draait rond.

12. Factoren:

- De massa van de draaiende, roterende delen van de kruk, dus onderste deel van de drijfstang en gewicht roterende deel.
- Het toerental van de krukas.
- De afstand van de draaiende delen ten opzichte van de hartlijn van de krukas.

13. Krachten:

- Gewicht van de zuiger
- Gewicht van de koelolie
- Gewicht van de zuigerstang
- Gewicht van het bovenlager en -kappen

157

---

14. Krachten op de krukpen:

- Gewicht van de zuiger
- Gewicht van de zuigerpen
- Gewicht van de koelolie
- Gewicht van de drijfstang

15. Naarmate het toerental van de motor hoger is, wordt de invloed van de gewichtskrachten kleiner ten opzichte van de versnellingskrachten.

16. Kruishoofdkracht:

- De gaskracht die de zuiger naar beneden uitoefent.
- De versnellingskracht van de oscillerende delen van het drijfwerk.
- De gewichtskracht van alle oscillerende en roterende delen.

17. Versnellingskracht:

- De massa van de oscillerende delen, inclusief het bovenste deel van de drijfstang.
- De versnelling van de zuiger.

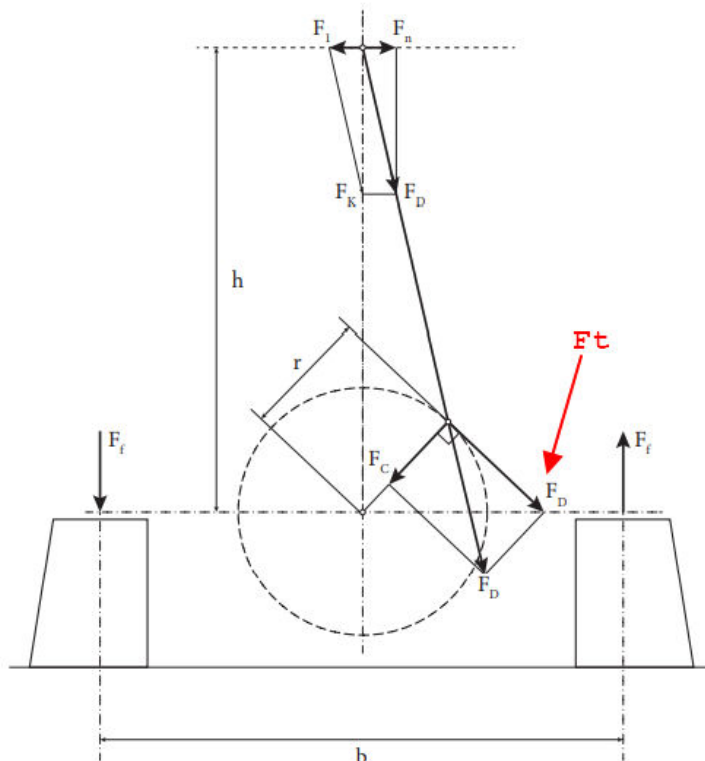
18. Formule:  $F_k = F_g - F_o$

19. Een gedeelte van de gaskracht is nodig voor het versnellen van de zuiger en de overige onderdelen van het drijfwerk.

20. Redenen:

- Als het toerental van de motor hoog is, wordt de invloed van de gewichtskrachten kleiner ten opzichte van de versnellingskrachten.
- De gewichten van de onderdelen zijn relatief laag ten opzichte van een kruishoofdmotor.

21. De tekening van de krachten op het drijfwerk van een middelsnellopende motor.



22. De legenda:

- De zuigerpenkracht  $F_k$
- De drijfstaangkracht  $F_D$
- De normaalkracht  $F_n$ .
- De leibaankracht  $F_i$

23. De leibaankracht is een reactiekracht op de normaalkracht en staat loodrecht op de leibaan.

24. Door een kleinere kruk-drijfstaangverhouding te nemen wordt de drijfstaang bij een gegeven slag langer waardoor de leibaankracht kleiner wordt.

25. Nadelen:

- De motor wordt hoger.
- Het zwaartepunt van de motor komt hoger te liggen.
- De motor wordt zwaarder.

26. Beschrijving:

- De smering van het kruishoofdlager wordt meer dynamisch.
- De motor wordt lager.
- Het zwaartepunt van de motor komt lager te liggen.
- De motor wordt lichter.

27. Factoren:

- De tangentialkracht.
- De krukstraal.

28. Als gevolg van de leibaankracht  $F_l$  die reactiekracht op de normaalkracht  $F_n$  is.

29. Het kantelmoment wordt opgevangen door de motorfundatie en overgebracht op de scheepsfundatie.

30.  $F_f \times b = F_l \times h$

31. Legenda:

- $F_l$  is de leibaan kracht.
- $h$  is de afstand tussen het middelpunt van de krukas en het middelpunt van de kruishoofden.
- $F_f$  is de kracht op de fundatie ten gevolge van het kantelmoment  $T_i$ .
- $b$  is de hartafstand tussen de fundatiestuds.

32. Het kantelmoment is even groot, maar tegengesteld aan het draaimoment van de motor.

159

---

33. Trillingen ontstaan door wisselende krachten en momenten die niet in evenwicht zijn gebracht door tegenkrachten en -momenten.  
Trillingen kunnen ook ontstaan door vrije krachten en vrije momenten.

34. Er kunnen door buiging scheuren ontstaan in de scheepsconstructie, fundatie en structurele delen van de motor. Ook bij resonantie kunnen onderdelen afbreken.

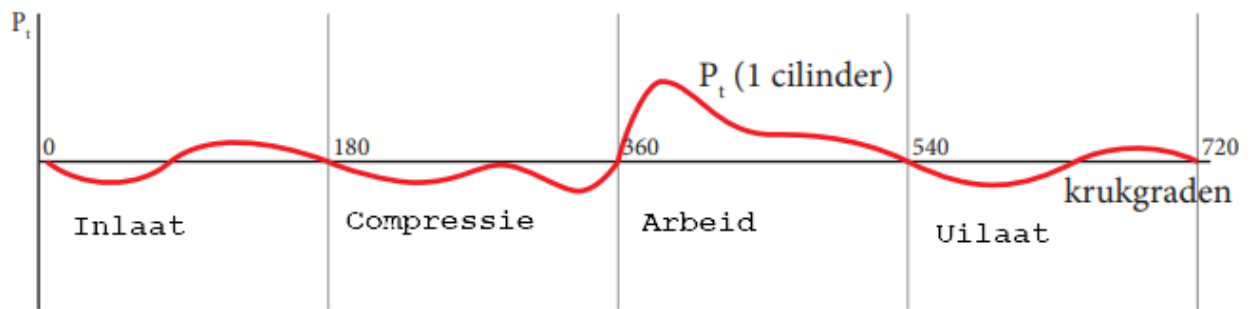
35. De naar boven gerichte gaskracht die op het cilinderdeksel werkt in de verbrandingsslag is niet in evenwicht met de naar beneden gerichte kruishoofdkracht. Het gevolg hiervan is een vrije kracht die de motor omhoog wil laten bewegen. Omdat de versnellingskracht wisselt van richting en grootte wil de motor afwisselend omhoog en omlaag bewegen.

36. Door het balanceren van het motordrijfwerk.

37. Omdat de gaskracht en versnellingskracht telkens wisselen van grootte en richting, wisselt ook de tangentialkracht en dus ook het draaimoment van de motor voortdurend.

38. Dit geeft inzicht in het momentele draaimoment van de motor voor elke krukstand.

39. In onderstaand diagram is de inlaat-, uitlaat-, compressie- en verbrandingsslag aangegeven.



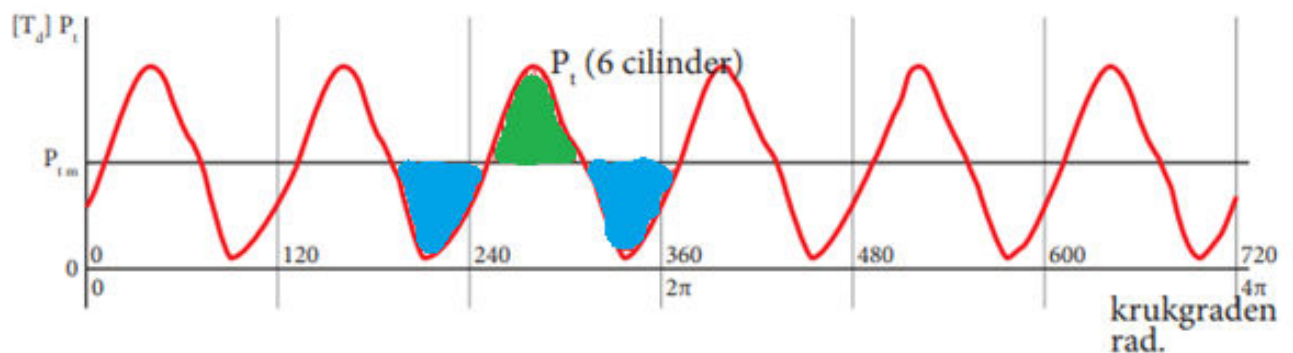
40. Dit is de compressieslag; tijdens het vertragen van de zuigerbeweging verbruikt de compressie het vrijgekomen draaimoment.

41. Het tangentiële drukdiagram is van een 6-cilindermotor, omdat de krukgraden 720 is, waarschijnlijk 4 slag. Pieken 6 stuks, 6 cilinder 4 slag.

42. In het tangentiële drukdiagram uit vraag 41:

- In de pieken van het tangentiële druk diagram, boven de gemiddelde tangentiële druk, tangentiële kracht, levert de motor een hoger draaimoment dan gevraagd en zal het toerental oplopen. Die kleuren groen.
- In de dalen van het tangentiële druk diagram, onder de gemiddelde tangentiële druk, tangentiële kracht, levert de motor een lager draaimoment dan gevraagd en zal het toerental afnemen. Die kleuren blauw.

160



43. Dit noemen we de oneenparigheidsgraad of onregelmatigheidsgraad van de motor.

44. De twee mogelijkheden zijn gebruik van het vliegwiel of de reguleur.

45. Het vliegwiel werkt als een opslag en afgifte van de kinetische energie.

46. Het vliegwiel levert de aandrijving over een groot aantal krukgraden.

47. Voor een 'zwaar' vliegwiel wordt de vorm van het vliegwiel meestal gekozen als een dunner wiel met een dikke velg.



48. Voordelen:

- Het vliegwiel en dus de motor wordt lichter door meer gebruik te maken van de centrifugaalkracht.
- De belasting van het achterste krukaslager wordt minder.

49. De generatormotor zal het zwaarste vliegwiel hebben omdat de onregelmatigheidsgraad van een generator kleiner moet zijn dan 1%.

Of de generatormotor zal het zwaarste vliegwiel hebben omdat de schroef beter meewerkt als vliegwiel dan de rotor van de generator.

## *Hoofdstuk 27 Belasting van de voortstuwingsmotor*

1. De meeste schepen maken voor de voortstuwing gebruik van één of meerdere schroeven die aangedreven worden door de voortstuwingsmotor of meerdere voortstuwingsmotoren.
2. Bij een toerental van rond 70 omwentelingen per minuut is het schroefrendement optimaal.
3. Schepen met weinig diepgang of een klein schroefraam, waar de benodigde schroefdiameter niet past.
4. De romp van het schip ondervindt weerstand van het water, de scheepsweerstand. De stuwkracht overwint de scheepsweerstand en het schip beweegt.
5. Wrijvingsweerstand, luchtweerstand, golfweerstand en wervelingsweerstand.
6. Factoren:
  - De grootte van het natte oppervlakte van de scheepsromp, het onderwaterschip.
  - De ruwheid van het onderwaterschip door aangroei, afbladerende verf en roest.
7. Tankers en bulkcarriers met een groot verschil in diepgang tussen ballast en geladen toestand.
8. Containerschepen, roroschepen, sleepboten en passagiersschepen die weinig verschil in diepgang hebben.
9. De grootte en stroomlijn van de deklading en de grootte van het oppervlakte van de accommodatie en dekopbouw.
10. Containerschepen, roroschepen en passagiersschepen.
11. Varen in ondiep water en de snelheid van het schip: hoe hoger de snelheid, des te hoger de macht.
12. Als er bij het bereiken van de rompsnelheid nog meer vermogen wordt toegevoerd, wordt al dit extra toegevoerde vermogen omgezet in golven, boeggolf en hekgolf.
13. Als de scheepshuid door ouderdom en gebruik meer gegolfd wordt tussen de spanten, zullen aan de vlakken meer draaikolken worden opgewekt.
14. Dit geeft aan dat het stuwvermogen gelijk is aan een scheepsconstante maal het displacement tot de macht  $2/3$  maal de snelheid tot de derde macht.
15. Omdat sommige deelweerstandsterken sterker toenemen bij hogere snelheden.
16. Door de macht van de snelheid te verhogen met behulp van het getal van Froude.

17. De aanpassing is alleen voor het gebied met de hoge snelheden en in het gebied met de lagere snelheden wordt ook voor snelle schepen de derde macht gebruikt.

18. Omdat er nog verliezen in de schroef en asleiding zitten.

19. De schroefas ondervindt wrijving:

- in de tandwielkast;
- in het stuwlager;
- in de aslagers;
- in de schroefaskoker;
- van het water dat langs de schroefbladen stroomt;
- van het water dat langs de naaf van de schroef stroomt.

20.  $P_{S1} : P_{S2} = P_{e1} : P_{e2}$

21. Dat het totale rendement van de schroef en asleiding niet verandert in het gehele vermogensgebied van de voortstuwingsmotor.

22.  $P_{e1} : P_{e2} = n_1^3 : n_2^3$

23.  $n_1^3 : n_2^3 = v_1^3 : v_2^3$   
of na derde macht wortel trekken aan beide zijden  
 $n_1 : n_2 = v_1 : v_2$

24. Bovenstaande formule geldt alleen als de spoed of de slip van de schroef niet verandert.

163

25. De snelheid wordt:

$$\begin{aligned} P_{e1} : P_{e2} &= v_1^3 : v_2^3 \\ 3850 / 2580 &= 14^3 / v_2^3 \\ v_2^3 &= 1838,8 \\ v_2 &= 12,25 \text{ knopen} \end{aligned}$$

26. a. Duur van de reis naar de haven:  $225/15 = 15$  uur

b. De motor moet tot het volgende vermogen worden opgevoerd:

De reis mag maar  $15 - 2 = 13$  uur duren:  $225/13 = 17,31$  knopen

$$\begin{aligned} P_{e1} : P_{e2} &= v_1^3 : v_2^3 \\ 4500 / P_{e2} &= 15^3 / 17,31^3 \\ P_{e2} &= 6915,6 \text{ kW} \end{aligned}$$

c. Hoeveelheid brandstof:

Bij 15 knopen Massa brandstof =  $b_e \times P_{e1} \times \text{uur} = 180 \times 4500 \times 15 = 12150000 \text{ g} = 12,15 \text{ ton}$

Bij 17,31 knopen Massa brandstof =  $b_e \times P_{e1} \times \text{uur} = 180 \times 6915,6 \times 13 = 16182504 \text{ g} = 16,18 \text{ ton}$

Het verschil is  $16,18 - 12,15 = 4,03 \text{ ton}$

27.  $n_1^3 : n_2^3 = v_1^3 : v_2^3$

$$\begin{aligned} 600^3 : n_2^3 &= 13,5^3 : 10,2^3 \\ n_2^3 &= 93165037 \\ n_2 &= 453,33 \text{ rpm} \end{aligned}$$

of alternatief:

$$600 : n_2 = 13,5 : 10,2$$

$$n_2 = 453,33 \text{ rpm}$$

28.a. Reistijd is  $325 / 14,5 = 22,41$  uur

b. Reistijd wordt  $22,41 + 4 = 26,41$  uur. De snelheid wordt  $325 / 26,41 = 12,31$  knopen.

c. Het schip moet 4 uur later in de haven zijn vanwege een gestremde sluis, het vermogen:

$$P_{e1} : P_{e2} = v_1^3 : v_2^3$$

$$6357 / P_{e2} = 14,5^3 / 12,31^3$$

$$P_{e2} = 3889,76 \text{ kW} = 3890 \text{ kW}$$

d. Het schip moet 4 uur later in de haven zijn vanwege een gestremde sluis, het toerental:

$$n_1 : n_2 = v_1 : v_2$$

$$74 : n_2 = 14,5 : 12,31$$

$$n_2 = 62,82 \text{ rpm}$$

e. Bij 14,5 knopen massa brandstof =  $b_e \times P_{e1} \times \text{uur} = 185 \times 6357 \times 22,41 = 26355169 \text{ g} = 26,36 \text{ ton}$

Bij 12,31 knopen massa brandstof =  $b_e \times P_{e1} \times \text{uur} = 185 \times 3890 \times 26,41 = 19005957 \text{ g} = 19 \text{ ton}$

Het verschil, de besparing, is  $26,36 - 9 = 7,36 \text{ ton}$ .

164

f. Gelet op het lage toerental een langzaamlopende kruishoofdmotor (2-slag).

29. Vier grenzen:

- Aan de rechterzijde zit het maximum toerental. Boven dit toerental worden de zuigersnelheid en versnellings- en vertragingkrachten te groot. Dit is lijn 3 in de grafiek.
- Horizontaal aan de bovenzijde zit het maximaal vermogen. Hierbij wordt de maximale hoeveelheid brandstof over de volle inspuitsboog in de cilinder ingespoten die nog volledig verbrand kan worden. Dit is lijn 7 in de grafiek.
- Schuin boven zit de maximale verbrandingsdruk en draaimoment. Dit is lijn 5 in de grafiek. Buiten deze grenzen wordt de motor thermisch en mechanisch te zwaar belast.
- Aan de linkerkzijde zit de overbelasting bij onderdrukt toerental. De motor wordt thermisch overbelast zonder dat dit merkbaar wordt aan temperaturen en drukken. Dit is lijn 4 in de grafiek.

30. Door de motorfabrikant zijn de gebieden aangegeven waar alleen gedurende een bepaald aantal uren gedraaid mag worden.

Het gele gebied voor overschrijding van het maximum toerental.

Het rode gebied voor overschrijding van de thermische overbelasting.

31. De tijd voor het spoelen van de cilinder wordt te weinig en er blijven na het spoelen te veel restgassen achter in de cilinder. Of: De versnellings- en

vertragingkrachten van de bewegende en roterende delen lopen te hoog op, waardoor kans op breuk ontstaat.

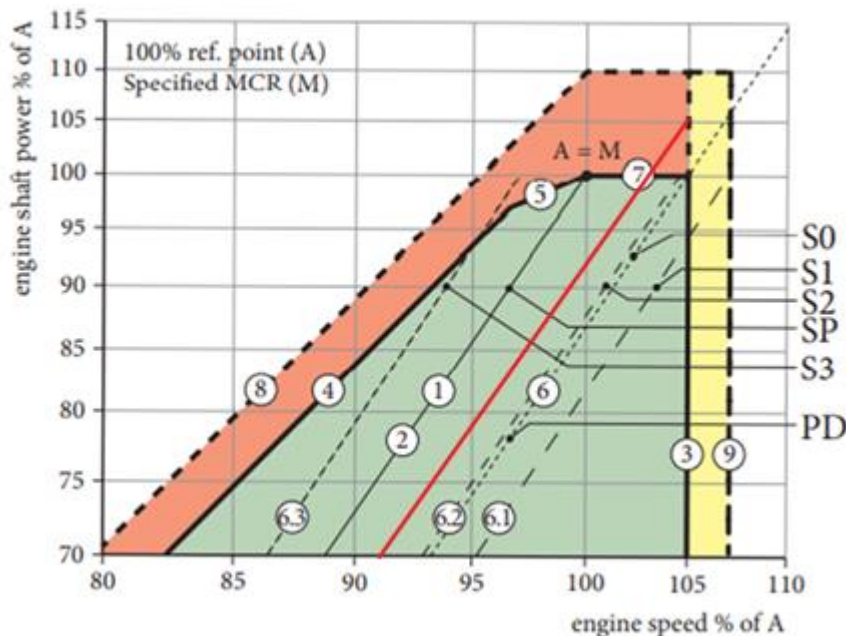
32. De motor wordt boven het maximale vermogen belast als meer dan de maximale hoeveelheid brandstof in de cilinder ingespoten wordt over de maximale inspuitsboog.
33. *(Let er, er zijn meerdere antwoorden mogelijk)*. De verbranding loopt verder door in de arbeidsslag. De verbranding kan zover doorlopen dat de verbranding nog plaatsvindt als de uitlaatslag begint en de uitlaatklep(pen) openen. Dit gaat ten koste van de uitlaatklep(en) en zitting(en).  
Of: De verbranding zal onvolledig zijn waardoor zuigerveren en verstuivertips vervuilen en vast kunnen gaan zitten.  
Of: De motor raakt oververhit en de zuiger kan vastlopen of scheuren.  
Of: De kraag van de cilindervoering, cilinderkop en cilinderkoppakking kunnen scheuren en gaan lekken.  
Of: De lagerbelasting wordt te hoog. Kruishoofdlagers/zuigerpenlagers, krukpenlagers en krukaslagers kunnen warmlopen en beschadigen.
34. De koelolie in de zuigers verkolen. De cilindervoeringen gaan in de kraag scheuren en lekken.
35. Ondanks de inspuiting van de maximale hoeveelheid brandstof daalt het toerental van de motor. Hierdoor daalt het toerental en de vuldruk van de turbo, waardoor er per seconde minder verbrandingslucht naar de cilinders gaat. De thermische belasting van cilinderkop, voeringrand en zuiger loopt hierdoor op. Maar omdat het toerental van de motor ook daalt, zal de hoeveelheid verbrandingslucht per proces toenemen. Het gevolg hiervan is dat de uitlaatgastemperatuur van de cilinders ongeveer gelijk blijft.
36. Zwart roken van de motor en de index van de brandstofpompen in combinatie met het toerental van de motor en de turbo.
37. Met heel slecht weer en/of met een grote scheepsweerstand, door deklading of aangroei.
38. Gele gebied:
- Als het schip op een noodgeval af moet.
  - Als het schip een orkaan moet omzeilen.
  - Bij de sea trails in ballastconditie de motor op 100% vermogen testen.
39. De lijn schuift parallel verder naar links.
40. Als de weerstandslijn op de theoretische schroef karakteristiek is gekomen.
41. Op 96% van zijn toerental.
42. Op 102% van zijn toerental.
43. De scheepsweerstand nog verder naar links, bijvoorbeeld tot lijn 6.3. Bij 90% vermogen daalt het toerental tot 94%. Als de scheepsweerstand dan nog

verder toeneemt moet het vermogen teruggenomen worden om niet (te lang) in het rode gebied te varen.

44. Als de voorstuwingmotor langere tijd overbelast wordt, moet de hulpdiesel het elektrisch vermogen tijdens zeebedrijf gaan leveren. Of bij slecht weer is de kans groter dat het toerental van de voortstuwingmotor zoveel afwijkt dat de asgenerator afschakelt. De hulpdiesel gaat het elektrisch vermogen tijdens zeebedrijf leveren.

45. De lijn van de scheepsweerstand schuift tijdens het opvoeren van het vermogen sterk naar links en kan links van lijn 6.3 komen te liggen door het extra benodigde vermogen om het schip te versnellen.

46. We kiezen een lichtere schroef zodat de som van het vermogen voor de voortstuwing samen met het vermogen van de asgenerator op de oorspronkelijke weerstandslijn komt, als de schroef hetzelfde blijft is het de rode lijn in het diagram.



47. Verminderen brandstofverbruik:

- Kies een route met wind en stroom zoveel mogelijk mee.
- Laat het schip routeren door een meteostation.
- Kies zo veel mogelijk diep vaarwater.
- Kies een gunstige trim.
- Houdt de deklading aaneengesloten en aerodynamisch.
- Kies de instellingen van de stuurautomaat zo ruim mogelijk voor het traject, let op het kielzog.
- Houdt het onderwaterschip schoon, borstel ook tussen de dokkingen in.
- Vergelijk bij een vaste schroef de schroefmijlen met de mijlen door het water.
- Neem alleen de brandstof mee voor het te varen traject, dit bespaart ook op het laadgewicht.
- Kies de snelheid van het schip op de aankomsttijd.
- Gebruik de asgenerator en zo mogelijk de Power Take In.

- Stel de voortstuwingsmotor af op de vaart van het schip.
- Zorg voor een optimale bedrijfsvoering, schone luchtfilters en koelers, optimale brandstoftemperatuur voor een optimale verbranding, goed onderhouden verstuiwers, schone turbo's, schone uitlaatgassen ketel enzovoort.

48. Notaties:

- Het brandstofverbruik per seconde, B.
- Het brandstofverbruik per meter,  $b_m$ .
- Het specifiek brandstofverbruik uitgedrukt,  $b_e$  in g/kWh.

49. Met deze definitie is het mogelijk om het brandstofverbruik van verschillende motoren met elkaar te kunnen vergelijken.

50. Bij ongeveer 80%.

51. (Let er, er zijn meerdere antwoorden mogelijk).

De motor draait bij andere belastingen op een lager rendement.

Of: Bij lagere belasting wordt het thermisch rendement minder. Hoe lager deze verbrandingsdruk en -temperatuur zijn, des te lager wordt het thermisch rendement.

Of: Bij hogere belasting wordt het mechanisch rendement minder. Door de hogere drukken worden de lagers zwaarder belast en hebben meer wrijving.

Of: Bij hogere belasting is er minder tijd voor het spoelen en de verbranding, waardoor de verbranding minder volledig is.

167

52. Mogelijkheden:

- De compressiedruk verhogen door compressieplaten tussen zuigerstangvoet en kruishoofden te plaatsen.
- Het inspuitmoment dusdanig vervroegen dat de motor bij zijn economische toerental de normale maximale verbrandingsdruk heeft maar dan bij een lagere effectieve druk en toerental.
- De schroef vervangen door een schroef voor de lagere dienstsnelheid. Het schroefrendement gaat dan omhoog.
- De turbo ombouwen naar een hoger rendement bij een lager vermogen.
- Bij meerdere turbo's er één afblinden, zodat de overige turbo's op ontwerpvermogen draaien.

53. Uitkomsten bij het Wärtsilä-schip:

a. De gemiddelde zuigersnelheid:  $C_m = 2 \cdot s \cdot n = 2 \cdot 0,40 \cdot 750/60 = 10,0$  m/s

b. Het rendement bij stookwaarde 41,5 MJ/kg:

Toegevoerd is 178,8g/kWh =  $0,1788/3600 = 0,0000497$  kg/kJ \* 41.500 kJ/kg \* 580 kW = 1195,47 kW

(0,048611 g/MJ = 0,048611 kg/kJ)

Rendement  $580/1195,47 \cdot 100\% = 48,51\%$ .

c. De effectieve druk bij gegeven geleverd cilinder vermogen.

$P_e = z \cdot \pi/4 \cdot D^2 \cdot S \cdot p_e \cdot n/a$

$580 = \pi/4 \cdot 0,32^2 \cdot 0,4 \cdot p_e \cdot (750/60)/2$   $p_e = 2884,7$  kPa = 2,884 Mpa = 28,847 bar.

d. Brandstofgebruik:

Verbruik= vermogen per cilinder\* aantal cilinders\*SPOC= 580\*6\*178,8 g/Kwh = 622.224 kg/h =14.9 ton/day.

De reder heeft echter op dat het verbruik voor de voorstuwing op volle kracht maar 12 ton/dag is, de snelheid is dan 14 knopen.

e. Vaarsnelheid:

Tijd= 5,5 uur + 4 uur +8\*24 uur= 201,5 uur/ V= 2541/201.5 = 12.6 kn

f. Het verbruik van de hoofdmotor als de asgenerator niet bij staat:

Per dag  $(12,6/14)^3 * 12 = 8.748$  ton, per dag reis  $8.748 * 201.5/24 = 73.44$  ton.

g. De soortelijke massa bij 40° C is 834 kg/m<sup>3</sup>

#### 54. Uitkomsten Flintersun:

a. Het vermogen van de motor: 4499,28kW.

b. Gemiddelde zuigersnelheid:  $2*s*n = 2*0,48*600/60 = 9,6$ m/s

c. Brandstofgebruik bij 15 Knopen per uur en dag: ,

$766,378 \text{ kg/h} * 0,85 = 676.92 \text{ kg/h} = 16.246,11 \text{ kg/dag}$

Type	Output range		Speed	Mean eff. pressure	Mean piston Speed	Bore	Stroke	Spec. fuel consumption	
	kW	mhp	rpm	bar	m/s	mm	mm	100% g/kWh	85% g/kWh
6 M 32 C	2880	3920	600	24.9	9.6	320	480	177	176
	3000	4080	600	25.9	9.6	320	480	177	176
8 M 32 C	3840	5220	600	24.9	9.6	320	480	177	176
	4000	5440	600	25.9	9.6	320	480	177	176
9 M 32 C	4320	5880	600	24.9	9.6	320	480	177	176
	4500	6120	600	25.9	9.6	320	480	177	176

d. Het brandstofgebruik voor de reis van Barcelona naar Rotterdam:  
Per uur 440,64 kg, en de reis 64,91 ton

#### 55. Uitkomsten:

a. Vaarsnelheid:  $3342/ 210 = 15,9$ kn

b. Het verbruik per uur:  $70/24 = 2.91$  ton/h

$(16/18)^3 * 2.91 = 2.02$  ton

c. Het verbruik voor de hele reis:  $2.02 * 210$  uur = 423 ton

d. Verbruik bij een dag langer: Tijd 234 uur, afstand 3342, snelheid  $3342/ 234 = 14.28$  kn

Verbruik per uur:  $(14.28/18)^3 * 2.91 = 0.5 * 2.91 = 1.45$  ton/h

Reis =  $1.45 * 234 = 341$  ton

#### 56. Uitkomsten:

a. Motortoerental om een snelheid van 10 knopen te varen:

$V_1 : V_2 = n_1 : n_2$

$V_1 = 14$  kn,  $V_2 = 10$  kn.  $n_1 = 720$  RPM bereken  $n_2$ .  $n_2 = 514$  RPM.

b. Hoelang gaat de reis duren?

1704 Mijl met 10 Kn, 170.4 uur

c. Hoelang gaat de reis nu duren ?



Al gevaren  $170.4/2 = 85.2$  uur  
 Restant,  $1704/2 = 852$  Mijl, snelheid  $14\text{kn}$ ,  $852/14 = 60.85$  uur  
 Totaal  $85.2 + 60.85 = 146.1$  uur

d. Hoeveelheid brandstof extra:

Verbruik bij  $V=12.5\text{ Kn}$ ,  $181 * 3850 = 696850\text{ g/h} = 696,85\text{kg/h}$

Verbruik bij  $V= 14\text{ Kn}$

$$V_1^3 : V_2^3 = m_{b1} : m_{b2} \quad 12,5^3 : 14^3 = 695,85 : m_{b2}$$

$$M_{b2} = 977.6\text{ kg/h bij } 14\text{ kn}$$

Verbruik bij  $V= 10\text{ Kn}$

$$V_1^3 : V_3^3 = m_{b1} : m_{b2} \quad 12,5^3 : 10^3 = 695,85 : m_{b3}$$

$$M_{b3} = 356,3\text{ kg/h bij } 10\text{ kn}$$

Verbruik bij  $10\text{kn}$ :  $356.3 * 170.4 = 60.7\text{ ton}$

Verbruik bij  $10$  en  $14\text{ kn}$ , :  $356.3 * 85.2 + 977.6 * 60.85 = 30.35 + 59.486 = 89.8\text{ ton}$

Verschil  $89.8 - 60.7 = 29.1\text{ ton}$

e. Verbruik bij voorkennis:

Tijd =  $170.4 - 24 = 146.4$  uur

Snelheid =  $1704/146.4 = 11.63\text{ kn}$

Verbruik bij  $V= 11.63\text{ Kn}$

$$V_1^3 : V_3^3 = m_{b1} : m_{b2} \quad 12,5^3 : 11.64^3 = 695,85 : m_{b3} \quad M_{b3} = 560.4\text{ kg/h bij } 11.64\text{ kn}$$

$146.4\text{ uur} * 560.4\text{ kg/h} = 82,047\text{ ton}$

f. Het verbruik bij volle kracht over hele traject:

$$V_1^3 : V_3^3 = m_{b1} : m_{b2} \quad 12,5^3 : 14^3 = 695,85 : m_{b3} \quad M_{b3} = 977.6\text{ kg/h bij } 14.0\text{ kn}$$

Tijd  $1704\text{M}/14\text{kn} = 121.7$  uur

Verbruik  $121.7\text{ uur} * 977.6 = 119,0\text{ ton}$

g. Het verschil in brandstofverbruik:

Voor hoofdmotor:

$V\ 10\text{ Kn}$ , verbruik  $60.7$ , tijd  $170.4$  uur

$V\ 14\text{ Kn}$  verbruik  $119.7$ , tijd  $121.7$  uur

Voor hulpmotor:

$V\ 10\ 170.4 * 100 = 17.0\text{ ton}$

$V\ 14\ 121.7 * 100 = 12.17\text{ ton}$

Totaal;

$V\ 10 = 60.7 + 17 = 77.7\text{ ton}$

$V\ 14 = 119.7 + 12.17 = 131.2\text{ ton}$

Verschil als je dus ook rekening houdt met de hulpmotoren wordt het brandstofverbruik ( $131.2 - 77.7$ )  $53.5\text{ ton}$  kleiner.

57. Uitkomsten:

a. Totale brandstofverbruik in  $\text{m}^3$  bij vol vermogen (100%).

Reisduur =  $2100/18 = 117$  uur

$m_b = P_e * t_e = (4500 * 12) * 177 = 9558000\text{ g/h} * 117\text{h} = 1118286000\text{ gram}$

$1118286000\text{ gr} / 1000 = 1118286\text{kg} / 1000 = 1118,3\text{ton}$

$m_b\text{ humo} = 600 * 117 = 70200\text{ kg} = 70,2\text{ton}$ , totaal  $1118,3 + 70,2 =$

$1185,1\text{ ton}$   $m_b\text{ total} = 1185,1/0,93 = 1274\text{ m}^3$

- b. Totale brandstofverbruik in m<sup>3</sup> voor 75% van vol vermogen.  
 $V_{75\%} = 0,75^{(1/3)} * 18 = 16,3 \text{ kn}$  Tijd =  $2100 / 16,3 = 128,4$  uur, vermogen 40500kW  
 $m_b$  Homot:  $40500 * 128,4 * 177 / 1000 = 920495 \text{ kg}$   
 $m_b$  Humo:  $600 * 128,4 = 77045 \text{ kg}$   
 $m_b$  totaal =  $920495 + 77045 = 997,54 \text{ ton} = 1072,6 \text{ m}^3$
- c. Toename van de reisduur in % en de brandstofbesparing in %.  
 $128,5 - 117 = 11,5$  uur  $11,5 / 117 = 0,101 * 100\% = 10,1\%$   
 Verschil =  $1185,1 - 977,5 = 187,56 / 1185,1 = 0,1583 * 100 = 15,83\%$

58. Uitkomsten:

- a. Brandstofverbruik voor de reis. Tijd is 17 dagen 5 uur. 413 uur (17.2 dagen)  
 $6200 / 413 = 15 \text{ kn}$   
 $V_1^3 : V_3^3 = m_{b1} : m_{b2}$   $18^3 : 15^3 = 95 : m_{b3}$   
 $M_{b3} = 54.98 \text{ ton/dag}$ ,  
 Totaal  $54.98 * 17.2 = 945.6 \text{ ton}$
- b. Kosten voor reis met één snelheid

Kosten één snelheid:

Seca tijd is  $450 / 15 = 30$  uur, 1,25 dagen.  $54.98 * 1.25 = 68.7 \text{ ton}$   
 Kosten  $45358 \text{ US\$}$  ( $68.7 * 660$ )

Totale tijd 17.2 dagen

Buiten seca  $17.2 - 1.25 = 15.95$  dagen  $54.98 * 15.95 = 876.9 \text{ ton}$   
 Kosten  $876.9 * 460 = 403374 \text{ US\$}$

Totaal  $45358 + 403374 = 448732 \text{ US\$}$

c. Tijd en verbruik SECA gebied:

Tijd  $450 \text{ Mijl} / 12 \text{ kn} = 37.5$  uur, ( 1.56 dag)

$V_1^3 : V_3^3 = m_{b1} : m_{b2}$   $18^3 : 12^3 = 95 : m_{b3}$   $M_{b3} = 28.14 \text{ ton/dag}$ ,  
 Totaal  $28.1 * 1.56 = 43.9 \text{ ton}$   
 Kosten  $43.9 * 660 = 28981 \text{ US\$}$

Tijd voor niet SECA-gebied:  $17.2 - 1.56 = 15.64$  dagen

Afstand ( 6200 - 450) = 5750

Snelheid =  $5750 / (15.64 * 24) = 15.3 \text{ kn}$

$V_1^3 : V_3^3 = m_{b1} : m_{b2}$   $18^3 : 15.3^3 = 95 : m_{b3}$   $M_{b3} = 58.3 \text{ ton/dag}$ ,

Totaal  $58.3 * 15.64 = 912.4 \text{ ton}$

Kosten  $460 * 912.4 = 419735 \text{ US\$}$

Totaal  $28981 + 419735 = 448716 \text{ US\$}$

Verschil =  $448732 - 448716 = 16 \text{ US\$}$

Dus kosten verschil is te verwaarlozen.

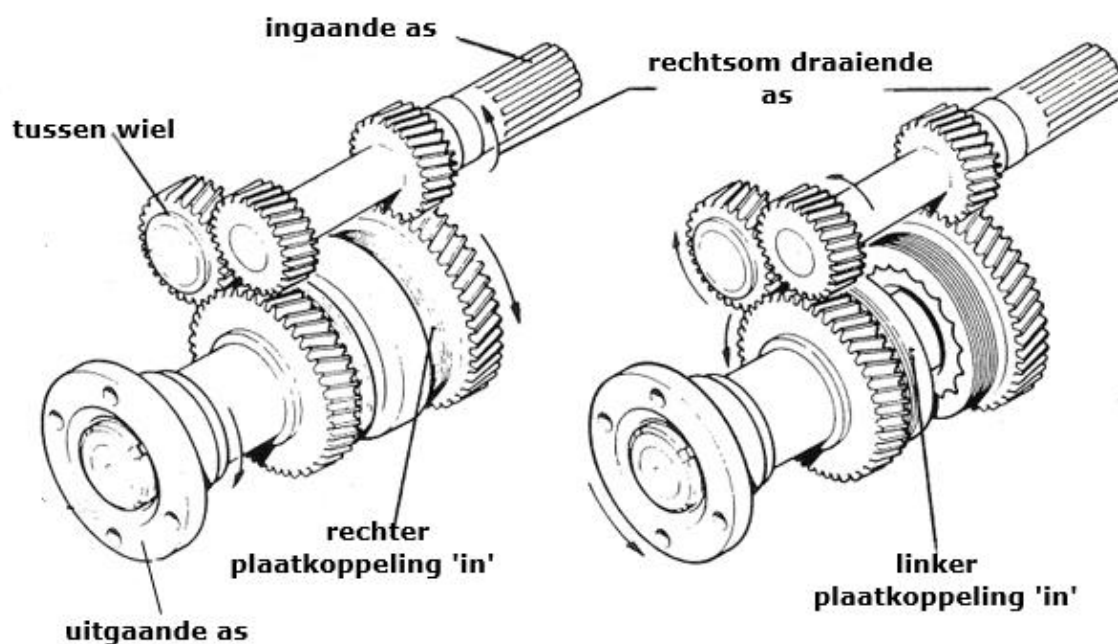
59. Uitkomsten:

- a. Brandstofverbruik per uur bij 21kn en wat bij 27kn:  
Vermogen 21 kn = 28146 kwh  
Load in % =  $28146 / 68640 = 41\%$ , dus SFOC 177 g/kwh  
Verbruik  $28146 * 0.177 = 4.98$  ton/h  
Vermogen 27 kn = 58070 kwh  
Load in % =  $58070 / 68640 = 4\%$ , dus SFOC 170 g/kwh  
Verbruik  $58070 * 0.170 = 9,87$  ton/h
- b. Besparing als we op 2 TC kunnen varen bij 41% load:  
3TC = 177 g/kwh 2TC= 169.5 g/kwh , verschil 7.5 g/kWh

## *Hoofdstuk 28 Overbrengingen*

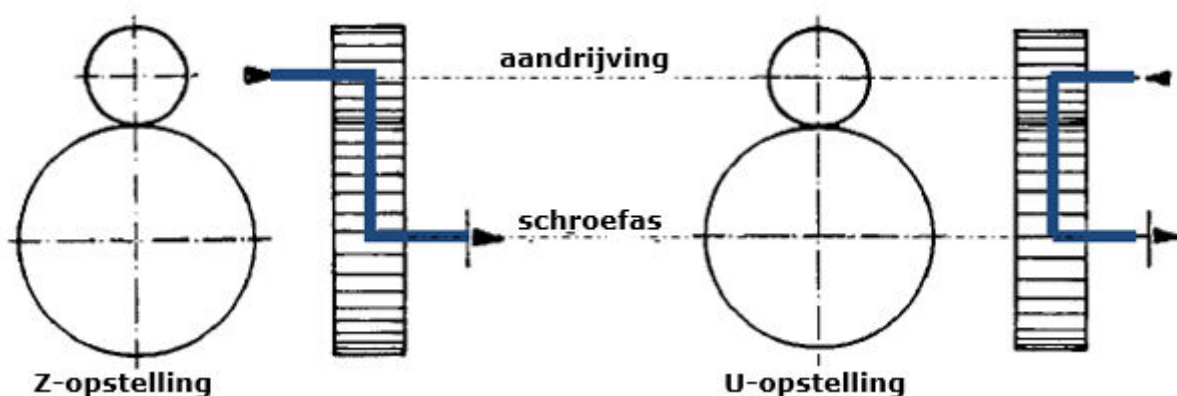
1. Om de machinekamer zo klein mogelijk te houden, worden voortstuwingsinstallaties nu zoveel mogelijk achter in het schip geplaatst.
2. Om het schroefrendement te verbeteren, plaatst men achter deze middelsnelle motoren een tandwielreductiekast om het aantal omwentelingen van de schroef te reduceren. Als het aantal omwentelingen van de schroef lager is, is het rendement van de schroef beter.
3. Bij een voortstuwingsinstallatie met één motor en een verstelbare schroef hoeft de motor niet meer direct omkeerbaar te zijn en is deze dus goedkoper in uitvoering.
4. Het doel van de elastische koppeling is het verminderen van torsietrillingen. Door middel van elastisch materiaal, bladveren of door hydraulische demping kunnen de trillingen worden verminderd tussen de motor en de tandwielreductie, of tussen de tandwielreductie en de schroef.
5. Het kritisch toerental is het toerental van de motorkrukas, waarbij het systeem gaat resoneren of in trilling geraakt.
6. Tandhameren is het verschijnsel dat als gevolg van de noodzakelijke speling tussen de aandrijvende en de gedreven tanden van de tandwielen, het kan voorkomen dat beide flanken van de tanden beurtelings stotend worden belast.
7. Tandhameren kan voorkomen bij torsietrillingen, waarbij het draaimoment periodiek negatief wordt. Men moet daarbij onder andere denken aan een situatie waarbij het toerental en dus het vermogen van de dieselmotor wordt verminderd en de schroef als het ware wordt aangedreven door het schip. Tijdelijk wordt nu even de andere tandflank van de tand belast.
8. Als op een dubbelschroefs aangedreven schip een van de schroeven stilgezet wordt, om bijvoorbeeld werkzaamheden aan de aandrijving uit te voeren, is het verstandig om op de andere schroef door te varen. De kans is aanwezig dat de stilstaande schroef de stilstaande motor aan gaat drijven, met alle gevolgen van dien.
9. Als de torninrichting zodanig is geconstrueerd dat deze gebruikmaakt van een wormwiel, dat in het vliegwiel grijpt, neemt de wetgever aan dat daarmee het gevaar van ongewild bewegen van de motor door de stilstaande schroef voldoende voorkomen kan worden. In alle andere gevallen moet er een asrem zijn, waarmee de schroefas tegen meedraaien wordt geborgd.
10. De asrem kan bestaan uit blokken frictiemateriaal die door een opblaasbare rubber band met grote kracht rond de as gedrukt wordt, waardoor deze vastgezet wordt. De asrem kan ook zijn ingebouwd in een schakelbare koppeling. Is dat niet het geval dan moet de asrem met een zware constructie op de motorfundatie zijn bevestigd.

11. Bij een schakelbare koppeling kan een stilstaande as zonder problemen worden gekoppeld aan een ronddraaiende as.
12. De uitgaande as van de getekende keerkoppeling is voorzien van twee platenkoppelingen. Stel dat de ingaande as rechtsom draait en de rechter platenkoppeling, waarvan het aandrijvend gedeelte één geheel vormt met het rechter tandwiel, is bekrachtigd dan draait de uitgaande as linksom. Het linker tandwiel met de bijbehorende platenkoppeling draait in deze situatie 'loos' mee.  
 Wordt nu de linker platenkoppeling, waarvan het aandrijvend gedeelte één geheel vormt met het linker tandwiel bekrachtigd, en de rechter platenkoppeling draait 'loos' mee dan gaat de uitgaande as rechtsom draaien. Dit is omdat er nu tussen de ingaande as en de uitgaande een tussentandwiel is ingeschakeld, waardoor de uitgaande as dezelfde draairichting krijgt als de ingaande as.



13. Tandwielen kunnen worden gebruikt om bijvoorbeeld via een tandwieloverbrenging, die ook wel tandwielreductie wordt genoemd, de draairichting van een aangedreven werktuig om te keren. Maar een tandwieloverbrenging kan ook worden gebruikt om het aantal omwenteling van de aandrijving te verhogen of te verlagen.
14. Een tandwieloverbrenging heeft een bepaalde overbrengingsverhouding ( $i$ ). Deze overbrengingsverhouding is omgekeerd aan de diameters of het aantal tanden van beide wielen.
- $$i = (n \text{ ingaande as} / n \text{ uitgaande as}) = (n \text{ rondsel} / n \text{ wiel}) = (\text{aantal tanden wiel} / \text{aantal tanden rondsel})$$
15. Een zogenaamde Power Take Off (PTO) is de mogelijkheid om via de hoofdmotor en tandwielkast een asgenerator of ander werktuig (bv een pomp) aan te drijven.

16. Een verstelbare schroef is bij een PTO noodzakelijk om ervoor te zorgen dat de hoofdmotor en daarmee de asgenerator op een constant toerental kan blijven draaien.
17. Het vermogen van een dieselmotor wordt bepaald door het totale slagvolume van de zuigers, de effectieve gemiddelde cilinderdruk (hoeveelheid brandstof en inspuut moment), het arbeidsproces (2-slag of 4-slag) en het aantal omwentelingen van de krukas.
18. Bij het ontwerpen van grotere containerschepen, tankers en bulkcarriers worden de constructeurs van de voortstuwingsinstallaties gedwongen om in verband met de brandstofkosten een zo efficiënt mogelijke installatie samen te stellen. Dit is bij alle schepen van belang, ook i.v.m. de EEDI.
19. De vergroting van de slag- diameterverhouding heeft ook tot gevolg dat kruishoofdmotoren met een groot vermogen per cilinder hoger zijn geworden wat, in verband met het ruimte beslag, een nadeel is voor de inbouw van kruishoofdmotoren.
20. Om de nadelen bij de toepassing van een kruishoofdmotor te ondervangen, kan worden gekozen voor de aandrijving van de schroef via een tandwiel-overbrenging.
21. Bij de aandrijving van de schroef via een tandwieloverbrenging, die ook wel vermogenstransmissie wordt genoemd, kan het aantal omwentelingen van de schroef onafhankelijk van die van de voortstuwingsmotor worden gekozen. De verbetering van het totale rendement van de voortstuwing compenseert hierbij de optredende verliezen in de tandwieloverbrenging.
22. Meestal wordt een enkelvoudige tandwieloverbrenging in z.g. Z-opstelling toegepast. In- en uitgaande as lopen parallel, de hartlijnen van de assen kunnen zowel boven, als naast elkaar zijn geplaatst.



In enkele gevallen wordt de motor boven de schroefas in het achterschip gebouwd, waardoor een U-opstelling wordt verkregen.

23. Wanneer het rondsel (het kleinste tandwiel) en het wiel (het grootste tandwiel) naast elkaar zijn opgesteld, wordt de afmeting van de tandwielkast bepaald door de diameters van het rondsel en het wiel.

24. Onder de overbrengingsverhouding van een enkelvoudige tandwiel-overbrenging verstaat men de verhouding tussen het aantal omwentelingen van het aandrijvende rondsel en het aantal omwentelingen van het aangedreven wiel. Dus:

$$i = \frac{n_{\text{rondsel}}}{n_{\text{wiel}}} = \frac{\text{aantal tanden wiel}}{\text{aantal tanden rondsel}}$$

$$\text{maar ook: } i = \frac{\text{diameter steekcirkel wiel}}{\text{diameter steekcirkel rondsel}}$$

De overbrengingsverhouding  $i$  is dus altijd groter dan 1.

25. Met een overbrengingsverhouding bij een enkelvoudige tandwielreductie van 6 wordt bedoeld dat de gedreven as zes keer langzamer ronddraait dan de aangedreven as. De diameter van het tandwiel van de gedreven as is dus zes keer zo groot als de diameter van het tandwiel van de aangedreven as.

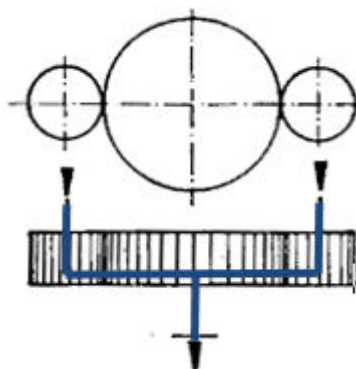
$$26. i = n_{\text{ingående as}} / n_{\text{uitgaande as}} \quad n = 720 / 3 = 240 \text{ RPM}$$

$$27. i = \text{tanden wiel} / \text{tanden rondsel} = 80$$

28. De aandrijving van één schroef door meerdere motoren geeft als probleem dat de noodzakelijke afstand tussen de motoren onderling moet worden overbrugd en motoren parallel moeten draaien net zoals bij generatoren.

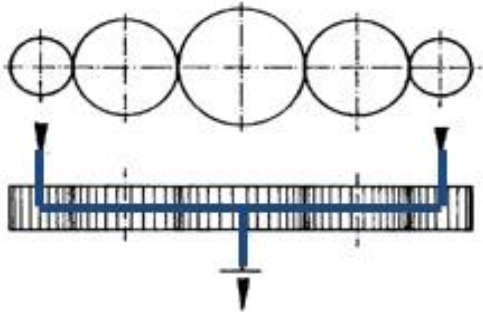
175

29. Voor een aandrijving met twee motoren is een opstelling met twee aandrijvende rondsels en één aangedreven wiel, liggende in een horizontaal vlak het meest voor de hand liggend.



De minimale afstand tussen de rondselhartlijnen wordt hier bepaald door de breedte van de motoren en de gewenste toegankelijkheid ervan. Door deze afstand en de gevraagde overbrengingsverhouding worden de diameters van rondsels en wiel vastgelegd.

30. Als de diameter van het aangedreven wiel te groot wordt bij een aandrijving van één schroef door twee motoren dan is de oplossing voor dit probleem een overbrenging bestaande uit twee aandrijvende rondsels, twee tussenwielen en

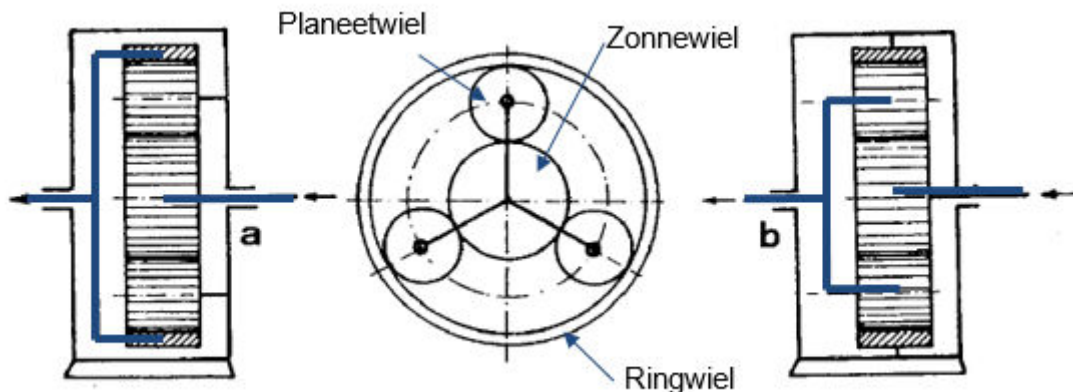


één aangedreven wiel. Hierdoor wordt de noodzakelijke hartlijnafstand tussen de motoren met weliswaar meer, maar ook kleinere wielen overbrugd, waardoor ook de omtreksnelheid van de wielen kleiner wordt.

31. Om bij een vaste draairichting van de motor, bijvoorbeeld rechtsom de draairichting van de schroef te veranderen, moet deze zijn uitgevoerd als verstelbare schroef. Een andere mogelijkheid is de tandwieloverbrenging te voorzien van een keerkoppeling.
32. Er is geen verschil tussen een epicyclische tandwieloverbrengingen en een planetaire tandwieloverbrenging.
33. Een epicyclische of planetaire tandwieloverbrenging neemt bij een zo groot mogelijk verschil in toerental, de kleinst mogelijke ruimte in wat voordelig is bij een 4-slagmotor die ver achter in het schip is opgesteld.
34. De overbrengingsverhouding van een epicyclische tandwieloverbrenging wordt bepaald door de uitvoering ervan. De meest toegepaste uitvoeringen zijn:
- De aandrijvende as is verbonden met het zonnewiel, de stilstaande planetendrager en de uitgaande as aan het ringwiel.
  - De aandrijvende as is verbonden met het zonnewiel, het stilstaande ringwiel, en de uitgaande as is verbonden aan de planetendrager.



35. Bij uitvoering a. zijn de omwentelingen van alle wielen aan elkaar gelijk. Het aantal omwentelingen van de wielen zijn omgekeerd evenredig aan hun diameters. Planeetwiel en ringwiel draaien tegengesteld aan het zonnewiel. Bij uitvoering b is het ringwiel vastgezet en het aantal omwentelingen van de



ingaande as is gelijk aan die van het zonnewiel, dan wordt het aantal omwentelingen van de uitgaande as gelijk aan die van de planetendrager. In- en uitgaande as draaien in dezelfde richting. De overbrengingsverhouding bij stilstaande planetendrager is dus groter dan bij stilstaand ringwiel.

36. We onderscheiden tandwielen met:

- rechte tanden;
- schuine tanden of schroefvertanding;
- V-vertanding of dubbele schroefvertanding.

37. De belangrijkste oorzaken van schade aan tandwielen zijn:

- Overbelasting van de tandflanken in het gebied waar de tanden elkaar raken waardoor putvorming (pitting) kan ontstaan.
- Overbelasting van de tandvoet waardoor tandbreuk kan optreden. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen een plotselinge overbelasting als gevolg van stoten in de overbrenging en overbelasting door vermoeiing.
- Het verbreken van de smeerfilm tussen de tandflanken waardoor deze op elkaar gaan 'vreten'. Onvoldoende sterkte van de smeerfilm kan het gevolg zijn van een plaatselijk te hoge temperatuur van de smeerfilm, gepaard gaande met een te hoge vlaktedruk. Ook het gebruik van een ongeschikte smeerolie kan een oorzaak van schade zijn.
- De dynamische tandbelasting. Ook wanneer het door de motor geleverde draaimoment constant van grootte zou zijn, zou het materiaal van de tanden sterk wisselend worden belast, omdat de tanden slechts eenmaal per omwenteling van het rondsel of tandwiel in ingrijping komen. Een extra dynamische belasting kan echter het gevolg zijn van torsietrillingen met als gevolg 'tandhameren'.

38. De materialen die voor de vervaardiging van rondsels en tandwielen worden gebruikt zijn laag en matig gelegerde staalsoorten. De keuze ervan wordt mede bepaald door de warmtebehandeling die dit materiaal na fabricage van het tandwiel moet ondergaan.

39. Het doel van legeren is het verbeteren van de eigenschappen van het samengestelde (gelegerde) materiaal. De invloed van de gebruikte materialen om te legeren zijn onder andere:

- Nikkel verbeterd de hardbaarheid en geeft het staal een fijne structuur, verhoogt de treksterkte en de taatheid.
- Chroom verhoogt de weerstand tegen slijtage en corrosie.
- Molybdeen verhoogt in combinatie met chroom de treksterkte de rekgrens en maakt het staal beter bestand tegen vermoeiing, wat voor tandwielen een gunstige eigenschap is.

40. De warmtebehandeling die de tandwielen na de productie kunnen ondergaan zijn:

- Veredelen. Bij het veredelen wordt het staal eerst gehard en daarna bij hoge temperatuur (500 à 600 °C) ontlaten. Hierbij wordt het werkstuk langzaam en gecontroleerd afgekoeld. Door veredelen neemt de sterkte en de taatheid van het staal toe. Het veredelde staal is bestand tegen stotende belasting.

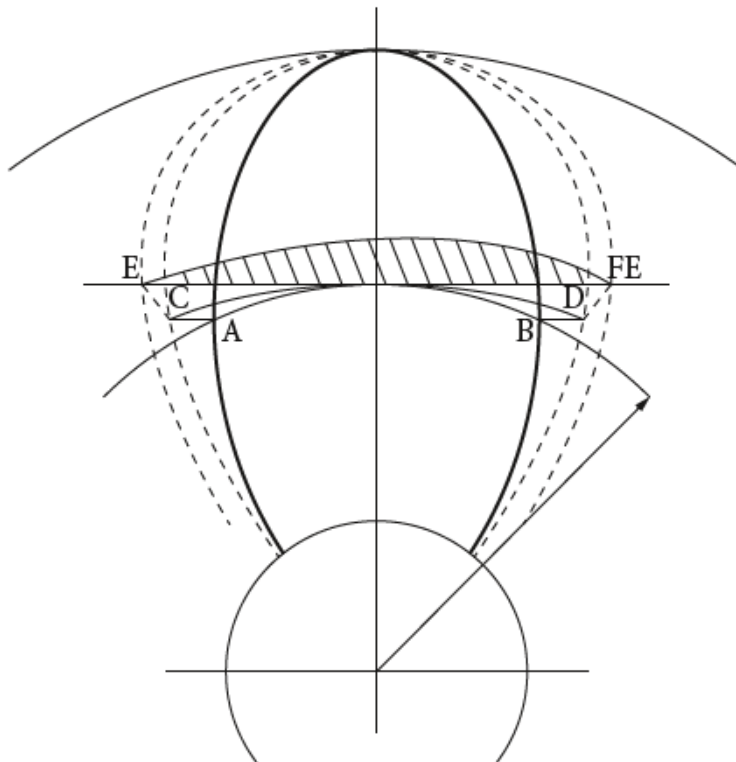
Carboniseren. Carboniseren kan met gas of in een bad van gesmolten zout. Bij het carboniseren met gas worden de onderdelen in een oven verwarmd, terwijl ze zijn omgeven door een gasvlam met een overmaat aan koolstof. Het metaaloppervlak neemt hierdoor in gloeiende toestand gemakkelijk koolstof op uit de gasvlam. Na het proces worden de werkstukken dikwijls direct afgekoeld in olie of water. Bij carboniseren met zout worden de onderdelen ondergedompeld in een bak met zout, dat door middel van elektrische stroom wordt gesmolten. Het zout bevat koolstof en stikstof en beide elementen beïnvloeden het oppervlak van het werkstuk zodanig dat het hardbaar wordt. Ook bij dit proces wordt het werkstuk afgekoeld in water of olie. Bij beide processen moet de tandwielen, door vervormingen van de tanden tijdens het proces, opnieuw in profiel geslepen worden.

- Nitreren. Nitreren is een warmtebehandeling waarbij de te behandelen oppervlakken gedurende enige tijd in contact worden gebracht met ammoniakgas. Daardoor worden aan de oppervlakken zeer harde ijzerstikstofoxyden gevormd. De gevormde laag is dun, maar doordat de behandeling plaatsvindt bij een veel lagere temperatuur dan bij carboneren, is de vormverandering van de tanden zeer gering. Na het steken, schrapen en nitreren van de tanden is geen verdere behandeling als slijpen meer nodig. Genitreerde rondsels en wielen zijn daarom goedkoper dan gecarboneerde, geharde en geslepen rondsels en wielen.
- Nitreren en carboniseren zijn oppervlaktehardende processen. Bij deze processen wordt alleen, de naam zegt het al, de oppervlakte van een machineonderdeel gehard terwijl de kern van het staal ongehard en dus zacht en taai blijft.

## Hoofdstuk 29 Scheepsschroeven

1. We onderscheiden twee soorten schroeven:
  - Schroeven waarvan de bladen ten opzichte van de naaf niet verstelbaar zijn en daarmee één gietstuk vormen. We spreken dan van een schroef met vaste spoed.
  - Schroeven waarvan de bladen ten opzichte van de naaf verstelbaar zijn. Dan spreken we van een schroef met een verstelbare spoed.
2. Een rechtse schroef herkent men door achter de schroef te gaan staan en het bovenste schroefblad met beide handen vast te pakken. Als de rechterzijde van het schroefblad het verst verwijderd is, heeft men met een rechtse schroef te maken.
3. Vooruit varend draait een rechtse schroef rechtsom, vanaf het achterschip naar voren gezien.
4. Schepen met een verstelbare schroef hebben meestal een linkse schroef, zodat bij achteruit draaien hetzelfde schroefeffect ontstaat als bij een vaste rechtse schroef. Dit heeft te maken met het schroef- of wieleffect.
5. In een constructietekening van het schroefvlak noemt men de hartlijn van de schroefas ook wel de richtlijn.
6. De lijn, die onder een hoek van  $90^{\circ}$  op de richtlijn staat, is de zogenaamde trekker en deze is te beschouwen als de hartlijn van het schroefblad.
7. Wanneer de trekker eenparig ronddraait of roteert en zich daarbij eenparig langs de richtlijn verplaatst, beschrijft het uiteinde van de trekker een schroeflijn op de cilindermantel met de trekker als straal.
8. Wanneer de trekker één keer rond gegaan is, dan noemt men de verticale verplaatsing langs de richtlijn, gedurende deze omwenteling, de spoed. De trekker heeft dan een schroefvlak beschreven.
9. Wanneer de trekker de richtlijn onder een hoek van  $90^{\circ}$  snijdt dan ontstaat een recht schroefvlak.
10. Wanneer de trekker de richtlijn onder een bepaalde hoek snijdt dan ontstaat een hellend schroefvlak.
11. De hoek  $\epsilon$  die de hellende schroefbladen met elkaar maken noemt men de 'rake'.
12. Het voordeel van hellende schroefbladen is, dat bij gelijkblijvend bladoppervlak de diameter van de schroef kleiner is en daardoor ook de afmetingen van het schroefraam beperkt blijven.
13. Bij een gemonteerde schroef noemt men de vlakke kant van het schroefblad de werkende kant.

14. Bij een gemonteerde schroef is de werkende kant naar achteren gekeerd.
15. De intreezijde van een schroefblad is de zijde die bij een ronddraaiende schroef half boven water, het eerst het water raakt. De andere kant is de uittreezijde.
16. Men brengt loodrecht op de schroefas een vlak aan en projecteert het schroefblad hierop. Het oppervlak ingesloten door de projectielijn van de omtrek noemt men het geprojecteerde bladoppervlak.
17. Voor dat men gaat projecteren, wordt eerst het blad van de schroef verdraaid en recht gebogen, totdat het in een vlak ligt evenwijdig aan het projectievlak, waarna men het gaat projecteren. Het ontwikkeld bladoppervlak heeft een groter oppervlak dan het geprojecteerde oppervlak.
18. De schroefdiameter is de diameter van de cirkel die door de schroeftoppen getrokken kan worden. Het ingesloten oppervlak noemt men het schijfoppervlak.
19. In onderstaande afbeelding zien we het geprojecteerde bladoppervlak van een schroef ingesloten door de punten A en B.



Het ontwikkeld bladoppervlak wordt ingesloten door de punten C en D. De cirkelboog CD wordt recht gebogen en gestrekt tot een rechte lijn EF verkregen is. Het oppervlak ingesloten door de punten E en F wordt het gestrekt ontwikkeld bladoppervlak genoemd.

20. De oppervlakteverhouding van een schroef is van belang in verband met cavitatie. De oppervlakteverhouding is:

$$\frac{A_a}{A} = \frac{\text{ontwikkeld gestrekt bladoppervlak van alle bladen}}{\text{schijfoppervlak}}$$

21. Door cavitatie wordt de levensduur van de scheepsschroef ongunstig beïnvloed; om deze reden kiest men voor koopvaardij schepen geen grotere verhouding dan 0,6.

22. Een grotere  $A_a/a$ -verhouding verslechtert ook het schroefrendement, omdat het wrijvingsoppervlak toeneemt.

23. De verhouding  $A_a/a$  van een schroef wordt in verband met het stoppend vermogen tijdens achteruit slaan niet kleiner gekozen dan 0,3.

24. De spoed/diameter (H/D)-verhouding bedraagt voor scheepsschroeven 0,6 à 1,4 afhankelijk van de vaarsnelheid en het aantal omwentelingen van de schroef.

25. Als een scheepsschroef een spoed H heeft en een bepaald toerental  $n$  omw/s, dan is de theoretische schroefsnelheid van de schroef,

$$V_{th} = n \cdot H \text{ (m. s.)}$$

ongeacht de omstandigheden waarin de schroef verkeert, dus de snelheid op papier (theoretisch).

181

26. In werkelijkheid zal de schroefsnelheid van  $V_{th} = n \cdot H$  verschillen, en noemen we de werkelijke schroefsnelheid  $V_{schroef}$  het verschil van beide snelheden noemen we de slipsnelheid

$$V_{slip} = n \cdot H - V_{schroef}$$

27. De slip is een verhouding in % van  $V_{slip}$  tegen over  $n \cdot H$  dus

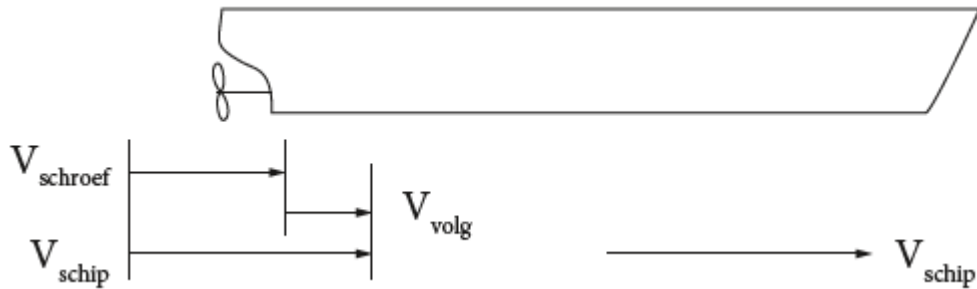
$$\text{slip} = \frac{V_{slip}}{n \cdot H}, \text{ of anders}$$

$$S = \frac{n \cdot H - V_{schroef}}{n \cdot H}$$

Deze slip S is een verhouding van schroefsnelheden en heet daarom de ware slip. Deze formule geldt voor een zogenaamde vrijvarende schroef, dat is een schroef die geacht wordt niet aan een schip te zijn bevestigd.

28. Het schip wekt een volgroom op die met het schip meeloopt, de schroef draait in dit meelopende water en hierdoor zal de relatieve schroefsnelheid kleiner zijn dan de scheepssnelheid.

29.



In de afbeelding zien we dat de scheepssnelheid de som is van de schroefsneldheid en de snelheid van de volgstrom, dus

$$V_{\text{schip}} = V_{\text{schroef}} + V_{\text{volg}}$$

30. We spreken van de schijnbare slip als we in de formule van de slip voor de schroefsneldheid de scheepssnelheid invullen:

$$S = \frac{n \cdot H - V_{\text{schroef}}}{n \cdot H} \quad S_s = \frac{n \cdot H - V_{\text{schip}}}{n \cdot H}$$

Maar dan krijgen we een verkeerde verhouding, omdat het schip en de schroef verschillende objecten zijn. Daarom spreken we van schijnbare slip als i.p.v. schroefsneldheid de scheepssnelheid wordt ingevuld.

182

31. Om pitting van de scheepshuid te voorkomen, plaatst men rondom het schroefraam een aantal zinkanodes. IJzer is onedeler dan koper en staat dus lager in de spanningsreeks waardoor de scheepshuid wordt aangetast. Zink staat lager dan ijzer en zal dus eerst wegteren waardoor de scheepshuid gespaard blijft.
32. De bronslegeringen die in scheepsschroeven worden gebruikt, zijn zó gelegeerd, dat ze sterk en corrosiebestendig in zeewater zijn. Een andere eigenschap is dat het materiaal makkelijk te gieten moet zijn.
33. De schroef is op een conisch gedeelte van de schroefas bevestigd. Om te zorgen dat de schroef voldoende op het conus geklemd wordt, heeft deze een tapsheid of coniciteit van 1:12. De schroef wordt opgesloten door een moer.
34. Het belangrijkste doel van het schroefassurvey tijdens een dokbeurt is het vroegtijdig ontdekken van eventuele vermoeidheidscheurtjes in de as, voordat breuk optreedt.
35. Bij een uitvoering met een spie en spiebaan wordt de torsie van de conus in de naaf verhinderd met vooral ter hoogte van de bovenkant van de spie, grote plaatselijke extra spanningen in naaf, as en spie. In het ongunstigste geval treden aan het oppervlak kleine vermoeidheidscheurtjes op die zich geleidelijk verder naar binnen gaan uitstreken totdat een dusdanige

doorsnede-afname is opgetreden dat door een belastingstoot de as afknapt. Om de kans op vermoeidheid te beperken moet men dus scherpe overgangen en doorsnede-afname in de spiebaan en spiegleuf zoveel mogelijk vermijden en voorkomen dat zeewater door kan dringen naar de conus. Om deze redenen worden tegenwoordig dan ook uitsluitend schroefassen zonder spie toegepast.

36. Bij de SKF-methode wordt ter verlaging van het wrijvingscoëfficiënt tijdens het monteren en demonteren olie onder hoge druk tussen de conus en naaf van de schroef geperst, waardoor de naaf wat uitzet en gaat 'drijven'. Bij het bevestigen van de schroef is dan een betrekkelijk lage opdrukkraft nodig. Bij het op deze wijze demonteren gaat de schroef er gemakkelijk af door de reactiekracht op de conus.

37. Soorten schroefschroeven:

- Schroeven waarvan de bladen ten opzichte van de naaf niet verstelbaar zijn. Men spreekt dan van een schroef met een 'vaste spoed'.
- Schroeven, waarvan de bladen ten opzichte van de schroefnaaf, om hun lengteas kunnen worden verdraaid. Hiermee kan de spoed van de schroef worden versteld. Men spreekt dan van een 'verstelbare schroef'; beter is de benaming 'schroef met verstelbare spoed'.

38. De voordelen van een schroef met verstelbare spoed zijn:

- Omdat de draairichting van de schroef, dus ook van de motor, tijdens manoeuvreren niet hoeft te worden omgekeerd, kan de richting van de stuwkracht zeer snel worden veranderd. Hierdoor is ook de stopweg van het schip korter.
- De motor hoeft maar geschikt te zijn voor één draairichting. Het startstelsel van de motor is daardoor eenvoudiger, dus goedkoper.
- De stuwkracht van de schroef kan worden geregeld bij een constant toerental, wat het mogelijk maakt een asgenerator aan de motor te koppelen.
- Bij schade aan een schroefblad is het theoretisch mogelijk alleen het beschadigde schroefblad te vervangen.

39. De nadelen van een schroef met verstelbare spoed zijn:

- De schroef heeft een slechter rendement door de grote schroefnaaf.
- Door zijn constructie is de verstelbare schroef kwetsbaarder dan een schroef met vaste spoed.
- De verstelinrichting maakt de schroef duurder dan een schroef met vaste spoed

40. a) Toerental: 120 RPM

$$b) \text{ Afstand} = n \cdot H = 172803 \cdot 3 = 518409 \text{ m} / 1852 = 280 \text{ Nm}$$

$$c) S = 280 - 252 = 28 \text{ Nm}$$

$$d) S = 280 - 252 / 280 \cdot 100\% = 10\%$$

41. Snelheid = 15,3 knopen

## Hoofdstuk 30 Bunkeren

1. Het schip moet genoeg brandstof meenemen om op zijn nieuwe bestemming te komen. Deze benodigde brandstof kan worden bepaald aan de hand van vorige reizen, maar moet ook worden berekend. Uit veiligheidsoverwegingen neemt elk schip reservebrandstof mee. De hoeveelheid reserve is afhankelijk van de reis.
2. Wanneer een oceaanoeversteek gepland staat, en de weersvoorspellingen zijn slecht, moet er rekening gehouden worden met het een alternatieve route. De alternatieve route zal meer brandstof verbruiken.  
Bij het bepalen van de hoeveelheid te bunkeren brandstof moet ook nog rekening gehouden worden met het verbruik van de hulpmotoren en andere hulpsysteemverbruikers zoals de hulpketel, incinerator en stoomketel.
3. De volgende gegevens zijn nodig om de hoeveelheid te verbruiken brandstof te bepalen:
  - de af te leggen afstand in zeemijlen;
  - de verwachte gemiddelde snelheid in knopen;
  - het gemiddelde vermogen bij de verwachte gemiddelde snelheid in kW;
  - het specifieke brandstofverbruik bij de verwachte gemiddelde snelheid in gram per kWh.
4. Wanneer de gegevens om de hoeveelheid bunkers te bepalen niet bekend zijn kunnen de 'vollastwaardes' gebruikt worden die bij elke motor bekend zijn:
  - de af te leggen afstand in zeemijlen;
  - de snelheid bij vollast in knopen;
  - maximale vermogen in kW;
  - specifiek brandstofverbruik bij vollast in gram per kWh.
5. Slacke tanks moeten worden voorkomen. Daarom is het raadzaam om de tanks tot de maximale wettelijke hoeveelheid te vullen. Wettelijk is vastgesteld dat de tanks tot 98% van de theoretische tank inhoud/volume gevuld mogen worden. De reden dat deze tanks niet helemaal worden gevuld heeft te maken met het uitzetten van de brandstof wanneer deze warmer wordt. Wanneer de tank 100% gevuld zal worden en de brandstof zet uit, kan de brandstof overlopen door de tankontluchting met nadelige gevolgen voor het milieu.
6. Zonder correctie:  $M = 2000 * 998 = 1996000 \text{ kg}$  ( = 1996 Ton)  
Met correctie:  
Dichtheidwerkelijk =  $Dichtheid_{15^{\circ}\text{C}} - 0,64 * (Temperatuur_{\text{gemeten}} - 15^{\circ}\text{C})$   
 $D = 998 - 0,64 * (48 - 15) = 976,88 \text{ kg/m}^3$   
 $M = 2000 * 976,88 = 1953760 \text{ kg}$  ( = 1953,8 Ton)  
  
Verschil =  $1996 - 1953,8 = 42,24 \text{ Ton}$ , minder
7. Menging van brandstoffen van verschillende bunkerstations moet zoveel mogelijk worden voorkomen, omdat brandstoffen, hoewel schijnbaar van dezelfde soort, nogal van elkaar kunnen verschillen. Wanneer brandstof tijdens het bunkeren wordt gemengd kan het zijn dat ze met elkaar gaan



reageren of er kunnen vaste delen ontstaan (door samensmelting). Menging van brandstof kan echter nooit geheel worden voorkomen.

8. Om het vermengen van brandstofresten, vóór of na het bunkeren, te voorkomen kan het een keuze zijn om aan boord één tank te gebruiken als meng/mix-tank. Voordat men met het bunkeren begint, kunnen dan de brandstofresten overgepompt worden naar deze mix/meng-tank.
9. De staat waarin de brandstoftanks verkeren, kunnen een rol spelen in de keuze van de te gebruiken tanks. Denk aan slecht werkende sensoren, niet goed werkende afsluiters, lekke verwarmingsspiralen, slecht werkende ontluchting, of vervuiling. Met andere woorden: deze tanks mag en kan je gewoon niet gebruiken.
10. In het pre-bunkerplan moet het volgende worden vermeld:
  - plaats en tijdstip;
  - soort en hoeveelheid brandstof;
  - de te bunkeren tanks met de hoeveelheid;
  - de verwachte peilingen per tank;
  - het te verwachten vullingspercentage per tank;
  - de naam van het bunkerstation;
  - de maximale geleverde druk van het bunkerstation;
  - de afmetingen van de bunkerslangen met de maximale volume stroom;
  - de personen die dit pre-bunkerplan hebben opgesteld.
11. Voor het nemen van de bunkersamples is nodig:
  - monsterflessen;
  - tapes voor het verzegelen van de monsterflessen;
  - labels voor de benaming van de monsterflessen;
  - plastic jerrycan.
12. De volgende meetapparatuur is nodig tijdens het bunkeren:
  - peillint;
  - thermometer;
  - gasmeter.
13. De volgende veiligheidsmiddelen moeten aanwezig zijn:
  - SOPEP-equipment;
  - Brandblussers;
  - Stortdouche.
14. In het SOPEP staat beschreven welke stappen er genomen moeten worden om lozing van olie in het water te voorkomen.  
Ook staan in het SOPEP beschreven:
  - Naam met handtekeningen van de personen die kennis genomen hebben van het plan.
  - Gegevens van het schip.
  - Meldingseisen bij een lozing, met daarin duidelijk gemaakt welke instanties moeten worden ingeschakeld en op welke manier de rapportage ingevuld moet worden.

- Beschrijving van een stappenplan waarin staat vermeld hoe de lozing valt te controleren of te beperken met gebruikmaking van de SOPEP-equipment.
- Beschrijving van de taken en de verantwoordelijkheden van de personen die aan boord bij het bunkeren zijn betrokken.

15. De dekontluchtingen of overslagkleppen moeten worden gecontroleerd op de juiste werking. Wanneer deze door aantasting van zeewater vast zijn komen te zitten, heeft de brandstof geen mogelijkheid om te expanderen tijdens het bunkeren en zal de druk in de bunkerleiding enorm toenemen en deze uiteindelijk kunnen beschadigen. Tijdens de controle van de dekontluchtingen moet tevens worden gecontroleerd of de lekbakken rond de dekontluchtingen nog in goede conditie zijn.

16. De verhaalkluizen- en spuigaten moeten worden afgesloten, met behulp van een kluisprop en een spuigatplug, voordat het bunkeren begint. Hiermee wordt voorkomen dat in het geval van een 'spuiter' via de dekontluchtingen en het overlopen van de lekbak olie in het water terecht komt. Een spuiter kan onder andere ontstaan door luchtballen in de ontluichtingsleiding, die olie meevoeren.

17. In alle gevallen staan de tanks aan boord in verbinding met een overflowtank. Wanneer tijdens het bunkeren wordt vergeten de tankafsluiters om te zetten, kan de brandstof naar deze overflowtank stromen. De tank is voorzien van een laagniveau-alarm. Dit alarm zal afgaan wanneer er al een kleine hoeveelheid brandstof wordt gedetecteerd. In principe behoort de overflowtank altijd leeg te zijn. Dit moet worden gecontroleerd, voordat er begonnen wordt met bunkeren.

18. Het manifold is de aansluiting waar de bunkerslang wordt gekoppeld aan het bunkersysteem van het schip. Voordat men kan beginnen met bunkeren, moet het volgende worden gecontroleerd en worden klaargelegd:

- de juiste steek-ringsleutels;
- pakkingen, er moeten altijd nieuwe pakkingen worden gebruikt, om bij het aansluiten van de bunkerleiding lekkage te voorkomen;
- bij het verwijderen van de blindflenzen een gelijktijdige controle op de gangbaarheid van de bouten en moeren die daarna gebruikt worden bij het aansluiten van de bunkerslang;
- lekbak onder het manifold controleren, en indien nodig leeg maken.

19. Voordat de bunkerboot langs zij kan komen, moeten nog de volgende handelingen worden uitgevoerd:

- Afsluiters goed zetten. Als bekend is op welke tanks wordt gebunkerd kan de dienstdoende werktuigkundige de juiste afsluiters openen en tanks waar niet op gebunkerd wordt sluiten.
- Bunkervlag hijsen of lichtsein ontsteken. Bij daglicht, voor aanvang van het bunkeren moet de 'Bravovlag' gehesen worden. Bij zonsondergang moet een rood licht op de mast ontstoken worden. Dit om omringende schepen erop te attenderen dat het schip bezig is met het laden, lossen of vervoeren van gevaarlijke lading.

20. De bunkerslang moet goed worden bevestigd en eventueel worden ondersteund om een knik of slangbreuk te voorkomen. Bunkeren kan ook gebeuren bij een brandstofleverancier voor de wal, via een walaansluiting of uit een tankauto zoals bij LNG.
21. De bunkerboot moet in bezit zijn van een noodknop. Deze noodknop moet worden overhandigd aan het schip en opgehangen worden in de directe omgeving van het manifold. Hiermee kan te allen tijden door de dienstdoende werktuigkundige de bunkerprocedure worden gestopt. In de praktijk is dit altijd het geval, soms blijft de noodstop bij de bunkerboot of vrachtwagen en is er een direct communicatiemiddel, bijvoorbeeld portofoon.
22. Ten hoogte van het manifold kan de werktuigkundige de collection container of monster jerrycan voor het nemen van de monsters bevestigen aan een zogeheten monsternamepunt. Met behulp van een afsluiter aan het monsternamepunt kan de brandstof toevoer naar de jerrycan worden ingesteld. De afsluiter op het monsternamepunt moet zó worden afgesteld dat tijdens de gehele bunkerprocedure er steeds een kleine hoeveelheid brandstof wordt afgenomen. De reden dat de brandstof niet in één keer wordt afgetapt is om een zo representatief mogelijk monster te krijgen van de gebunkerde brandstof. De dichtheid en samenstelling van de brandstof in de bunkerboot kan namelijk verschillen. Wanneer er aan het begin van het bunkeren wordt afgetapt kan de brandstof een andere samenstelling hebben dan wanneer dat aan het einde van het bunkeren gebeurt.
23. Met het personeel van de bunkerboot worden de bunkerprocedures vastgelegd. De volgende punten worden doorgesproken en eventueel genoteerd:
- pompsnelheid;
  - druk;
  - hoeveelheid te bunkeren brandstof;
  - de soort brandstof;
  - de manier van communiceren;
  - de stopprocedure;
  - de temperatuur van de brandstof in de bunkerboot
24. Het peilen van de tanks aan boord en op de bunkerboot is belangrijk, omdat deze waarden worden gebruikt ter controle van de hoeveelheid gebunkerde brandstof. Voordat er gebunkerd wordt, moet de werktuigkundige belast met het bunkeren, de tanks aan boord en de tanks op de bunkerboot peilen. Wanneer het bunkeren gereed is, moeten opnieuw alle tanks van de bunkerboot en het eigen schip worden gepeild. De hoeveelheid brandstof uit de bunkerboot moet gelijk zijn aan de hoeveelheid dat het schip heeft gebunkerd.
25. Het is van belang dat het schip zoveel mogelijk gelijklastig komt te liggen tijdens het bunkeren. Is dat niet mogelijk dan kan aan de hand van de tabellen voor de trim en/of de slagzij de inhoud van de brandstoftanks uitgerekend worden.
26. Bij het nemen van een tankpeiling is het belangrijk om te weten dat de meeste brandstoftanks de vorm van het schip ter plaatse hebben.

Het gepeilde niveau staat voor een bepaalde inhoud. Deze exacte inhoud is te vinden in een inhouds- of soundingtabel. Deze geeft de inhoud van de tank dikwijls aan per 5 of 10 cm vloeistofhoogte. Tussen de brandstoftank en de scheepshuid is een loze ruimte, een zogenaamde cofferdam, om te voorkomen dat bij een aanvaring de brandstof in zee stroomt.

27. Tijdens het bunkeren worden het niveau van de tanks en het manifold nauwlettend in de gaten gehouden. De werktuigkundige bij het manifold let op de volgende punten:

- druk, temperatuur en flow;
- de temperatuur van de geleverde brandstof regelmatig controleren;
- lekkage van de bunkeraansluiting;
- de conditie van de bunkerslang;
- goede communicatie met de bunkerboot;
- het vullen van de monster jerrycan.

28. Wanneer de vereiste hoeveelheid brandstof ontvangen is, is het bunkeren afgerond en kunnen de pompen op de bunkerboot worden gestopt, de bunkerafsluiters worden gesloten en de slangen worden losgekoppeld. Vervolgens worden, met behoud van de gebruikte pakkingen, de blindflenzen weer terug geplaatst op de bunkerafsluiters.

29. De monstername jerrycan kan worden losgekoppeld van het monsternamepunt en vervolgens moet de inhoud worden verdeeld over twee monsterflesjes.

De flesjes worden vervolgens verzegeld en voorzien van een etiket, met de volgende informatie:

- naam van het schip;
- plaats en naam van het bunkerstation;
- soort brandstof;
- eigenschappen van de brandstof;
- datum en tijd;
- handtekeningen van de leidinggevende van de bunkerboot en van de HWTk van het ontvangende schip.

Daarnaast bereidt de bunkerboot ook zijn samples voor. Het monsterflesje van de bunkerboot is het MARPOL-monsterflesje en moet samen met het bunkerbriefje minimaal 12 maanden na de datum van het bunkeren aan boord bewaard blijven. Daarbij mag in die tijd het zegel op het monsterflesje niet verbroken zijn.

30. De in totaal drie samples (flesjes) hebben ieder een bestemming:

- Fles 1: Het MARPOL-monster wordt samen met het bunkerbriefje minimaal 12 maanden aan boord bewaard in een afgesloten kist;
- Fles 2: Eén monster kan eventueel worden opgestuurd naar het lab voor onderzoek;
- Fles 3: Eén monster wordt aan de bunkerboot geven.

31. Na controle van de ontvangen hoeveelheid kan het bunkerbriefje worden ondertekend. Op het bunkerbriefje staat ongeveer hetzelfde vermeld als op de monsterflesjes. Het enige verschil is dat de kapitein in plaats van de hoofdwerktuigkundige deze ondertekend.

De betrokken werktuigkundige vult uiteindelijk in het oliejournaal de gebunkerde hoeveelheid brandstof in.

32. Wat is het volume van de brandstof die je mee moet nemen, in m<sup>3</sup>?

$$6500/22 = 295,45 \text{ uur}$$

$$\text{Verbruik} = \text{Be} \cdot \text{P} \cdot \text{tijd} = 0,180 \cdot 68.000 \cdot 295,45 = 36163363 \text{ kg} = 3616,36 \text{ Ton}$$

$$V = 3616,36 / 0,95 = 3806,6 \text{ m}^3$$

33. Zie de antwoorden op a) in geel in de tabel hieronder.

Tanks	Volume		Arival		Departure		% Max
1 PS	180	m <sup>3</sup>	20	m <sup>3</sup>	20	m <sup>3</sup>	95
1SB	180	m <sup>3</sup>	20	m <sup>3</sup>	20	m <sup>3</sup>	95
2PS	120	m <sup>3</sup>	m/t	m <sup>3</sup>	114	m <sup>3</sup>	95
2SB	120	m <sup>3</sup>	m/t	m <sup>3</sup>	114	m <sup>3</sup>	95
Sett PS	50	m <sup>3</sup>	30	m <sup>3</sup>	30	m <sup>3</sup>	95
Sett SB	50	m <sup>3</sup>	10	m <sup>3</sup>	10	m <sup>3</sup>	95
daytank	15	m <sup>3</sup>	13	m <sup>3</sup>	13	m <sup>3</sup>	95
Total	715	m <sup>3</sup>	93	m <sup>3</sup>	321	m <sup>3</sup>	

Max vulling 95%	679,25	m <sup>3</sup>				
Density @ 15°C	850	kg/m <sup>3</sup>				
max weight	577,3625	ton	171	ton	272,85	ton

189

Zie de antwoorden op b) in geel in de tabel hieronder.

Tanks	Volume		Arival		Departure		% Max
1 PS	180	m <sup>3</sup>	20	m <sup>3</sup>	171	m <sup>3</sup>	95
1SB	180	m <sup>3</sup>	20	m <sup>3</sup>	171	m <sup>3</sup>	95
2PS	120	m <sup>3</sup>	m/t	m <sup>3</sup>	114	m <sup>3</sup>	95
2SB	120	m <sup>3</sup>	m/t	m <sup>3</sup>	114	m <sup>3</sup>	95
Sett PS	50	m <sup>3</sup>	30	m <sup>3</sup>	45	m <sup>3</sup>	95
Sett SB	50	m <sup>3</sup>	10	m <sup>3</sup>	35	m <sup>3</sup>	95
daytank	15	m <sup>3</sup>	13	m <sup>3</sup>	13	m <sup>3</sup>	95
Total	715	m <sup>3</sup>	93	m <sup>3</sup>	663	m <sup>3</sup>	

Max vulling 95%	679,25	m <sup>3</sup>				
Density @ 15°C	850	kg/m <sup>3</sup>				
max weight	577,3625	ton	171	ton	563,55	ton

De hoeveelheid in de setting tanken moet totaal 80 m<sup>3</sup> zijn, en tanken mogen niet voller zijn dan 47,5 m<sup>3</sup>.

34. De reserve voor drie dagen varen.

a)  $3 \times 24 \times 7.000 \times 0,185 = 93240 \text{ kg} = 93,24 \text{ ton}$

b) Nodig  $8800/14 = 628,57 \text{ uur} + 72 = 700,57 \text{ uur}$   
 Verbruik per uur  $7.000 \times 0,185 = 1295 \text{ kg/h} = 1295/880 = 1,4715 \text{ m}^3/\text{h}$   
 Reis (plus reserve) =  $1,4715 \times 700,57 = 1030,95 \text{ m}^3$ , aankomst is  $252 \text{ m}^3$ ,  
 tanken 1 =  $2 \times 237,5 = 475 \text{ m}^3$  tanken 2 totaal  $1030,95 - 475 - 222 = 333,95/2 = 166,9 \text{ m}^3$  tank.

Tanks	Volume		Arival		Departure		% Max
1 PS	250	m <sup>3</sup>	m/t	m <sup>3</sup>	237,5	m <sup>3</sup>	95
1SB	250	m <sup>3</sup>	m/t	m <sup>3</sup>	237,5	m <sup>3</sup>	95
2PS	220	m <sup>3</sup>	m/t	m <sup>3</sup>	166,9	m <sup>3</sup>	95
2SB	220	m <sup>3</sup>	m/t	m <sup>3</sup>	166,9	m <sup>3</sup>	95
3PS	180	m <sup>3</sup>	50	m <sup>3</sup>	50	m <sup>3</sup>	95
3SB	180	m <sup>3</sup>	50	m <sup>3</sup>	50	m <sup>3</sup>	95
sett PS	80	m <sup>3</sup>	60	m <sup>3</sup>	60	m <sup>3</sup>	95
Sett SB	80	m <sup>3</sup>	40	m <sup>3</sup>	40	m <sup>3</sup>	95
daytank	25	m <sup>3</sup>	22	m <sup>3</sup>	22	m <sup>3</sup>	95
Total	1535	m <sup>3</sup>	222	m <sup>3</sup>	1030,8	m <sup>3</sup>	

Max vulling 95%	1458,25	m <sup>3</sup>				
Density @ 15°C	880	kg/m <sup>3</sup>				
max weight	1283,26	ton	195,36	ton	907,104	ton

c) Je kunt niet alle brandstof uit de 3 tanken in de sett tanks kwijt, maar je kunt wel het wel in 1 tank pompen, (PS of SB).

Tanks	Volume		Arival		Departure		% Max
1 PS	250	m <sup>3</sup>	m/t	m <sup>3</sup>	237,5	m <sup>3</sup>	95
1SB	250	m <sup>3</sup>	m/t	m <sup>3</sup>	237,5	m <sup>3</sup>	95
2PS	220	m <sup>3</sup>	m/t	m <sup>3</sup>	209	m <sup>3</sup>	95
2SB	220	m <sup>3</sup>	m/t	m <sup>3</sup>	209	m <sup>3</sup>	95
3PS	180	m <sup>3</sup>	50	m <sup>3</sup>	171	m <sup>3</sup>	95
3SB	180	m <sup>3</sup>	50	m <sup>3</sup>	100	m <sup>3</sup>	95
sett PS	80	m <sup>3</sup>	60	m <sup>3</sup>	60	m <sup>3</sup>	95
Sett SB	80	m <sup>3</sup>	40	m <sup>3</sup>	40	m <sup>3</sup>	95
daytank	25	m <sup>3</sup>	22	m <sup>3</sup>	22	m <sup>3</sup>	95
Total	1535	m <sup>3</sup>	222	m <sup>3</sup>	1286	m <sup>3</sup>	

Max vulling 95%	1458,25	m <sup>3</sup>				
Density @ 15°C	880	kg/m <sup>3</sup>				
max weight	1283,26	ton	195,36	ton	1131,68	ton

35.

Brandstof in tonnen:

a) Nu in de tank 18cm, trim 2 meter =  $22,1 \text{ m}^3$

Tankinhoud \* 98% =  $2331,1 * 0,98 = 2284,48 \text{ m}^3$

Ruimte  $2284,48 - 22,1 = 2262,3 \text{ m}^3$

Dichtheid  $15^\circ\text{C}$  max =  $991 \text{ kg/m}^3$ , temp corr =  $991 - 0,64 * (45 - 15) = 971,8 \text{ kg/m}^3$

Te bestellen tonnen  $2262,3 * 971,8 / 1000 = 2198,6 \text{ ton}$

b) Dichtheid nieuw met corr =  $860,8 \text{ kg/m}^3$ , besteld 2198,6 ton, is  $2554,11 \text{ m}^3$

Ruimte was 2262,3,  $2554,11 - 2262,3 = 289,81 \text{ m}^3$  te kort

c) 1800 ton =  $860,8 * 1800 = 1549,44 \text{ m}^3$  rest = 22,1, totaal  $1571,54 \text{ m}^3$

Ullage 1220 m, trim -1 =  $1560,8 \text{ m}^3$

Verschil  $1571,54 - 1560,8 = 10,74 \text{ m}^3 = 9,24 \text{ ton}$

## *Hoofdstuk 31 Milieu*

1. De International Maritime Organization (IMO), een onderafdeling van de Verenigde Naties, houdt zich bezig met de bescherming van het zeemilieu.
2. De IMO heeft door middel van Marine Pollution (Marpol) 73/78 regelgeving opgesteld over het voorkomen van verontreiniging van de zee.
3. Bij het beschermen van het milieu 'Marine Environment' maken we onderscheidt tussen normaal bedrijf en wat te doen in geval van een ongeluk.
4. Er zijn onder andere voorschriften voor het bunkeren, ballasten, lenzen, sewage-water, luchtvervuiling, verwijderen van vast afval en verf op scheepshuid. Deze voorschriften zijn vastgelegd door de IMO in de vorm van de MARPOL-verdragen.
5. De bijlagen noemen we Annexen en er zijn op dit moment 6 MARPOL-Annexen.
6. De MARPOL-Annexen (bijlagen) zijn:
  - Annex I: Regulations for the Prevention of Pollution by Oil (October 1983).
  - Annex II: Regulations for the Control of Pollution by Noxious Liquid Substances in Bulk (April 1987).
  - Annex III: Regulations for the Prevention of Pollution by Harmful Substances Carried at Sea in Packaged Form (July 1992).
  - Annex IV: Regulations for the Prevention of Pollution by Sewage from Ships (September 2003).
  - Annex V: Regulations for the Control of Pollution by Garbage from Ships (December 1998).
  - Annex VI: Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships (May 2005).
  - Annex: The Control and Management of Ships Ballast Water & Sediments. Deze annex heeft (nog) geen nummer.
7. Voor alle Annexen geldt dat er speciale gebieden zijn waar extra voorschriften voor van kracht zijn.
8. In MARPOL Annex I staan allerlei voorschriften die te maken hebben met bunkeren en lenzen. Aan boord moet o.a. een aantal checklijsten en een olie-journaal worden bijhouden. Er moet ook een geldig International Oil Pollution Prevention certificaat (IOPP) en Shipboard Oil Pollution Prevention Plan (SOPEP) zijn.
9. Een SOPEP is een plan hoe te handelen in geval van lekkage en waarin ook de uitrusting die aan boord moet zijn, wordt aangegeven. Tevens worden de personen en instanties vermeld die moeten worden gewaarschuwd in geval van een ongeluk. Hieronder vallen ook zowel lokale als internationale autoriteiten en een contactpersoon bij de rederij.



10. Voor wat lenzen betreft, moet dit bij worden gehouden in het oliejournaal. Het lensstelsel inclusief de lenswaterreiniger moeten aan de voorschriften voldoen en een geldig certificaat hebben.
11. In MARPOL Annex IV staan de voorschriften die te maken hebben met sewage water, sanitair afvalwater dat wordt omschreven als al het water uit de toiletruimten, het hospitaal, spoelresten uit ruimten waar zich dieren bevinden en afvalwater dat vermengd is met water uit de eerder genoemde ruimten.  
Aan boord wordt er vaak onderscheid gemaakt tussen grijs water en zwart water.
- zwart water: afvalwater van toiletten en urinoirs en al het water uit het hospitaal;
  - grijs water: afvalwater van wastafels, douches en andere wasruimten en spoelwater uit de kombuis en van de wasserij.
- Voor deze afvalstromen geldt min of meer het zelfde als voor lenswater. Behandeling moet plaatsvinden volgens de voorschriften, met een goed-gekeurde installatie voorzien van een geldig certificaat. Alle handelingen moeten in een journaal worden bijgehouden.
12. In MARPOL Annex V wordt er aangegeven dat er aan boord een plan moet zijn hoe het vaste afval moet worden behandeld. Er moet een garbage journal (vast-afvaljournaal) worden bijhouden, waarin is vermeld wat er met het afval is gedaan. Er zijn 9 categorieën en elke categorie heeft weer verschillende voorschriften, ook weer afhankelijk van op welke plaats het schip zich op zee bevindt.
13. MARPOL Annex VI behandelt de voorschriften om luchtvervuiling te voorkomen, dit zijn:
- Regulation 12: Ozone depleting substances (ODS)
  - Regulation 13: Nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>)
  - Regulation 14: Sulphur oxides and Particulate Matter (SO<sub>x</sub>)
  - Regulation 15: Volatile organic compounds (VOC)
  - Regulation 16: Shipboard incineration
  - Regulation 17: Reception Facilities
  - Regulation 18: Fuel oil quality and availability
14. Regulation 12: Dit voorschrift gaat over CFC's (freon) en HCFC's, gassen die worden gebruikt als koudemiddel in koel- en vriesinstallaties.
15. Regulation 13: Dit voorschrift gaat over de uitstoot van NO<sub>x</sub> en bepaalt de limieten van de NO<sub>x</sub>-uitstoot voor scheepsdieselmotoren. Naast de wereldwijde verstrenging van de normen voor de uitstoot van NO<sub>x</sub> door de scheepvaart wordt er eveneens actie ondernomen ter vermindering van de uitstoot van zwavel.
16. Stikstofdioxide (NO<sub>x</sub>), ontstaat bij verbrandingsprocessen vanaf ± 1200 °C. Bij het verbrandingsproces in een dieselmotor komen gedurende zeer korte tijd temperaturen voor die liggen tussen de 1200 en 1500 °C en is er dus zeker sprake van NO<sub>x</sub>-vorming. De vorming van NO<sub>x</sub> is een functie van de temperatuur en van de tijd.

17. Het verbrandingsproces bij een langzaamlopende 2-slagmotor duurt veel langer dan bij een middelsnellopende 4-slagmotor. Omdat de vorming van NO<sub>x</sub> een functie is van de temperatuur en van de tijd, heeft men bij de regelgeving met dit facet rekening gehouden. Vermindering van NO<sub>x</sub> moet men vooral in het motorontwerp zoeken. De regels gelden voor zeeschepen met een vermogen van 130 kW of meer.
18. Voor wat betreft de vaargebieden voor schepen, spreekt men over ECA's, (Emission Control Area's), en als het om de zwaveluitstoot gaat over SECA's (Sulphur Emission Control Area's). Voor NO<sub>x</sub> en andere milieu belastende stoffen spreekt men over NECA's (No<sub>x</sub> Emission Control Area's). Deze gebieden kunnen elkaar geografisch gezien overlappen.
19. De NO<sub>x</sub>-emissiegrenswaarden zijn van toepassing op elke scheepsdieselmotor met een vermogen van meer dan 130 kW. De emissienormen (NO<sub>x</sub>-limiet in g/kWh) zijn afhankelijk van de optimale werkingssnelheid van de motor of 'Rated Engine Speed', uitgedrukt in rpm (Revolutions Per Minute).
20. De verschillende niveaus van regelgeving zijn gebaseerd op de bouwdatum van het schip.
21. Op 1 januari 2021 is het NO<sub>x</sub>-emissiecontrolegebied of NECA voor de Noordzee en Baltische Zee in werking getreden.
22. Dit betekent dat schepen, die vanaf 2021 zijn gebouwd, en varen in deze NECA-gebieden, moeten voldoen aan de NO<sub>x</sub> Tier III-norm (2,0 – 3,4 g/kWh). Hiermee wordt tussen 2021 en 2040 een graduele, significante daling beoogd van de NO<sub>x</sub>-uitstoot door schepen varende in de NECA's.
23. Schepen gebouwd tussen 2000 en 2011 moeten voldoen aan de Tier I-norm die varieert van 9,8-17,0 g/kWh. Scheepsmotoren gebouwd na 2011 moeten voldoen aan de Tier II-norm (7,7-14,4 g/kWh).
24. Controle op uitstoot van NO<sub>x</sub> vindt plaats door controle en certificaten van de motor en de onderdelen vastgelegd in een Engine International Air Pollution Prevention (EIAPP) Certificate.
25. In Regulation 14 wordt de uitstoot van So<sub>x</sub> behandeld en deze uitstoot is vooral afhankelijk van het zwavelgehalte van de brandstof. Om aan de voorschriften in SECA-gebieden te voldoen, wordt in deze gebieden brandstof gebruikt met een lager zwavelgehalte of moeten de rookgassen gereinigd worden.
26. In Regulation 15 wordt gesproken over Volatile organic compounds (VOC) Dit zijn organische chemicaliën die bij kamertemperatuur al verdampen. De voorschriften gelden op het moment alleen nog maar voor tankers tijdens laden en lossen.
27. Als vast afval aan boord wordt verbrand (incineration), moet de verbrandingsinstallatie goedgekeurd zijn en aan alle eisen voldoen. Dit wordt geregeld in Regulation 16: Shipboard incineration. Ook mogen niet alle

stoffen meer worden verbrand. Belangrijkste uitzonderingen zijn ladingresten en PCB's (zitten in plastic).

- 28.Regulation 17: Reception Facilities. Dit betreft voorschriften voor de autoriteiten voor de vuilontvangstinstallaties, en gaat o.a. over de beschikbaarheid.
- 29.Regulation 18: Fuel oil quality and availability, betreft vooral voorschriften voor brandstofleveranciers. De eisen waaraan bunkersamples, het testen van de samples en de papieren die behoren bij het bunkeren moeten voldoen. Regulation 18 is van special belang voor schepen met een IAPP-certificaat.
- 30.Er zijn, en er komen, nog meer nieuwe regels voor de behandeling van ballastwater en verf op de sloopshuid. Voor ballasten en ontballasten moet men zowel een ballast management plan (BWM) als een record book hebben. Ballastinstallaties moeten aan de Marpol-eisen voldoen en een geldig certificaat hebben.
- 31.Verf moet aan de IMO-richtlijnen voldoen om op de sloopshuid gebruikt te mogen worden. Ook anti-aangroei middelen als catodische bescherming en Anti Marine Growing Plant (AMGP) vallen onder de verschillende milieuvorschriften. In de jaren '60 is er verf ontwikkeld om aangroei op de sloopshuid te voorkomen, zogenaamde anti fouling paints en self-polishing paints. Deze verf bevatte tributyltin (TBT). Nu blijkt uit onderzoek dat deze stof zeer slecht voor het zeemilieu is en is dan ook momenteel verboden.
- 32.De nieuwste ontwikkeling is, dat schepen een Ships Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) moeten hebben. De invoering hiervan vindt in stappen plaats. Doel is om efficiënter om te gaan met energie en het SEEMP kan onderdeel zijn van het environmental management system (EMS) van een rederij.
- 33.Punten waarnaar gekeken kan worden om energie te besparen zijn:
  - verbeterde reisplanning;
  - weerrouting;
  - net op tijd (voorkomen van wachten bij laden of lossen door langzamer of sneller te varen);
  - snelheidsoptimalisatie;
  - geoptimaliseerd asvermogen;
  - optimale trim;
  - optimale ballast;
  - optimale schroefvorm en instroming van het schroefwater;
  - optimaal gebruik van roer- en koersregelsystemen (stuurautomaten);
  - romponderhoud;
  - aandrijfsysteem;
  - onderhoud aandrijfsysteem;
  - terugwinning van afvalwarmte.
- 34.Onder emissie bij sloopsmotoren verstaan we de uitstoot naar de atmosfeer van schadelijke stoffen in de uitlaatgassen van deze verbrandingsmotoren. Alle uitlaatgassen zijn in meerdere of mindere mate schadelijk en zijn mede

veroorzakers van luchtverontreiniging en daarmee samenhangend van het broeikaseffect.

35. Het gehalte aan schadelijke stoffen in de uitlaatgassen van een verbrandingsmotor is afhankelijk van een aantal factoren:

- de verbranding van de brandstof in een motor vindt bij een 2-slagmotor, elke omwenteling, en bij een 4-slagmotor, elke twee omwentelingen plaats. Dit is anders dan bij een stoomketel waarbij de verbranding van de brandstof een continu proces is. Het creëren van een goede verbranding in een motor is veel lastiger;
- de soort brandstof, en de eigenschappen van deze brandstof;
- de luchtvermaat bij verbranding;
- de maximale temperatuur bij de verbranding.

36. De factoren die het gehalte aan schadelijke stoffen in de uitlaatgassen van een scheepsmotor bepalen noemt men de primaire factoren. Als de verbranding zo goed mogelijk verloopt ontstaan er zomin mogelijk schadelijke gassen bij een zo hoog mogelijk rendement.

37. Een secundaire factor is het reinigen van de uitlaatgassen, voordat ze in de atmosfeer terechtkomen.

38. Er ontstaan na de verbranding rookgassen die voor het grootste deel uit stikstofdioxide ( $N_2$ ), zuurstof ( $O_2$ ) en koolstofdioxide ( $CO_2$ ) bestaan.

39. De samenstelling van de rookgassen hangt van de soort brandstof en de luchtvermaat bij het verbrandingsproces.

196

40. De belangrijkste ontwikkelingen zijn de strenge eisen die er aan de uitstoot van zwaveloxide ( $SO_x$ ) en stikstofoxide ( $NO_x$ ) gesteld worden, waarbij ook de uitstoot van fijnstof en  $CO_2$  steeds meer aandacht krijgt. Voor de laatste twee zijn echter nog geen bindende voorschriften opgesteld, behalve EIAPP (het Engine International Air Pollution Prevention Certificaat), dat doelstellingen aangeeft voor een efficiënter energiegebruik aan boord, waarbij zijdelings ook de uitstoot van de eerder genoemde schadelijke stoffen zal worden beperkt.

41. De samenstelling van uitlaatgassen is:

- zuurstof ( $O_2$ ), afhankelijk van de luchtvermaat waarmee de motor werkt;
- stikstof ( $N_2$ ), de ons omringende lucht bestaat voor ongeveer 78% uit stikstof;
- koolstofdioxide ( $CO_2$ ), ontstaat bij volledige verbranding, dus zolang er koolstof in de brandstof zit ontstaat er ook  $CO_2$ ;
- koolstofmonoxide ( $CO$ ), ontstaat bij een onvolledige verbranding en is bij inademen dodelijk;
- waterdamp ( $H_2O$ );
- zwaveldioxide ( $SO_2$ ), behoort met  $SO_x$  tot dezelfde groep gassen;
- stikstofoxide ( $NO_x$ ), ontstaat in het verbrandingsproces bij het verbranden van stikstof ( $N_2$ ).

$NO_x$  ontstaat vooral bij:

- een verbrandingsproces waarbij sprake is van een grote luchtvermaat;

- een verbrandingsproces waarbij een hoge temperatuur ontstaat;
- een verbrandingsproces wanneer het proces relatief veel tijd in beslag neemt, dus bij een laag toerental.

42.  $\text{SO}_x$ , (zwaveloxide) geeft zure regen.  $\text{SO}_x$  ontstaat door het verbranden van de zwavel die in de brandstof aanwezig is. Per 1 januari 2020 is de nieuwe maximale zwaveluitstoot 0.5% geworden, maar in SECA-gebieden blijft deze 0.1%. Door deze maatregel om alleen maar laag zwavelige brandstof te gebruiken, daalt hierdoor dus ook de uitstoot van  $\text{SO}_x$ . De  $\text{SO}_x$  die nog in de rookgassen zit kan worden verwijderd door de rookgassen met water te wassen in een scrubber. Als restproduct blijft er zwavelzuur over wat uiteindelijk toch weer in het zeewater en het milieu terecht komt.

43.  $\text{NO}_x$  staat voor verschillende soorten stikstof, NO. Zowel NO als  $\text{NO}_2$ , en ook  $\text{N}_2\text{O}$  (lachgas) horen tot de  $\text{NO}_x$ -groep en zijn mede een veroorzaker van zure regen en is ook een broeistofgas. De vorming van  $\text{NO}_x$  is vooral afhankelijk van:

- de verbrandingstemperatuur;
- de luchtfactor;
- de manier waarop het verbrandingsproces verloopt, de vlam de vorm en de tijd.

44. Voor  $\text{NO}_x$  zijn er de twee mogelijkheden om de uitstoot te beperken:

- Vorming zoveel mogelijk voorkomen door het beïnvloeden van de primaire voorwaarden;
- Secondair, de  $\text{NO}_x$  verwijderen uit de rookgassen.

---

197

45. Eén van de belangrijkste oorzaken van primaire  $\text{NO}_x$ -vorming is de vlam of verbrandingstemperatuur, vooral bij een temperatuur boven de 1100 °C neemt de vorming van  $\text{NO}_x$  erg toe.

46. Een lagere temperatuur geeft wel een verminderde uitstoot, maar ook een lager rendement als er geen extra maatregelen genomen worden.

47. De verbrandingstemperatuur in de cilinder kan worden verminderd door de volgende maatregelen:

- Verhoging van de luchtfactor.
- Bij een verlaging van de luchtfactor is het moeilijk om een goede verbranding in stand te houden. Er treed roetvorming op door onverbrande brandstof. Dit is te zien aan de zwarte uitlaatgassen bij snel verhogen van de belasting, van een motor.
- Toepassing van uitlaatgassen recirculatie EGR (Exhaust Gas Recirculation). Een deel van de uitlaatgassen wordt hierbij teruggedleid naar de luchtinlaat maar wordt de verbranding al snel slechter.
- Vermindering maximale verbrandingstemperatuur door de toevoeging van water.
- Het toevoegen van water kan op de volgende manieren:
  - waterinjectie, het direct inspuiten van water in de verbrandingsruimte;
  - bevochtigen van de inlaatlucht in of voor de spoelluchtreceiver, Scavenge Air Moistening (SAM) of Humidification;
  - brandstof-wateremulsie, Water In Fuel emulsion (WIF);

48. De voordelen van waterinjectie zijn:

- aanzienlijke vermindering van de  $\text{NO}_x$ -uitstoot;
- relatief laag waterverbruik;
- flexibel systeem.

Het gebruikte water moet extreem schoon zijn. Een groot nadeel is het hogere specifieke brandstofverbruik, een kans op corrosie van de zuigerkroon en van de verstuivers.

49. Het water wordt na de turboblower in de spoelluchtruimte gebracht, verneveld en gemengd met de spoellucht. De spoellucht wordt minder gekoeld dan normaal om het watergehalte in de verbrandingslucht op een bepaalde waarde te houden. Een voordeel is dat het een eenvoudig systeem is en het specifiek brandstofgebruik maar weinig toeneemt.

De nadelen van het bevochtigen van de inlaatlucht zijn:

- het systeem verbruikt veel water;
- de opbrengst van de turbo kan dicht bij de slokkromme komen, waardoor deze instabiel wordt;
- geeft meer rook, vooral bij lage belasting;
- door de met waterdamp verzadigde lucht ontstaan er corrosieproblemen;
- levert maar een beperkte vermindering van  $\text{NO}_x$ -gehalte op.

50. Bij EGR wordt een deel van uitlaatgassen na de scrubber via de EGR regelklep teruggevoerd naar de perszijde van de turbocharger. Na afkoeling in de spoelluchtkoeler stroomt het mengsel van uitlaatgas en verse lucht naar de spoelluchtruimte. Uitlaatgasrecirculatie verlaagt de verbrandingstemperatuur en daarom de uitstoot van  $\text{NO}_x$ .

198

51. Uitlaatgasrecirculatie heeft effect op de  $\text{NO}_x$ -uitstoot, omdat in de verse spoellucht een deel van de  $\text{O}_2$  wordt vervangen door  $\text{CO}_2$ . Omdat  $\text{CO}_2$  een grotere warmte-inhoud heeft dan  $\text{O}_2$ , loopt de temperatuur van het gasmengsel dus minder hoog op en verkrijgt men daardoor een lagere eindcompressietemperatuur. Een lagere eindcompressietemperatuur geeft ook een lagere verbrandingstemperatuur, en dus ook minder  $\text{NO}_x$ -vorming.

52. Door de hoeveelheid verbrandingslucht te regelen, te veel of te weinig verbrandingslucht toelaten, kan men ook de  $\text{NO}_x$ -vorming beïnvloeden. Hiervoor kan men bij 4-slagmotoren het Millersysteem toepassen. Bij dit systeem wordt de inlaatklep gesloten ruim voordat de zuiger het onderste dode punt (ODP) bereikt, waardoor de hoeveelheid verbrandingslucht in de cilinder nog iets expandeert. Hierdoor ontstaat er een onderdruk in de cilinder, en de lucht koelt nog iets af, de eindcompressietemperatuur en de eindcompressiedruk zijn hierdoor lager, en dus ook de verbrandingstemperatuur. Omdat de inlaatklep eerder sluit is er minder tijd voor de drukvulgroep (turbo) om de nodige lucht te leveren.

53. Selective Catalytic Reduction (SCR) is een proces waarbij een chemische reactie wordt gebruikt om de  $\text{NO}_x$  in de rookgassen te neutraliseren. Bij lage temperaturen kan dit bijvoorbeeld met ammoniak. In scheepsinstallaties wordt meestal urea (ureum) gebruikt. Urea wordt in de rookgassen van de

motor toegelaten en reageert met het water in de gassen tot ammoniak. In de katalysator reageert de ammonia ( $\text{NH}_3$ ), met de  $\text{NO}_x$  en met de zuurstof die in de uitlaatgassen aanwezig is tot stikstof en water en wordt afgevoerd. De hoeveelheden worden het gehele proces gemeten en geregeld. De temperatuur waarbij dit gebeurt moet minimaal  $330^\circ \text{C}$  zijn, dit kan bij lage belastingen een probleem zijn. De minimale temperatuur is afhankelijk van de druk en het zwavelgehalte van de brandstof.

54. De SCR-technologie kan een reductie in  $\text{NO}_x$ -emissie opleveren tot 95% en is tot nog toe de enige oplossing die kan worden toegepast bij zowel low- als medium-speed motoren in de zeescheepvaart, om te voldoen aan de eisen zoals die nu worden gesteld aan de toegestane  $\text{NO}_x$ -uitstoot.

55. Enkele nadelen zoals de giftigheid van ammoniak, de invloed op de prestaties van de motor tijdens wisselende belastingen en ammoniakverlies tijdens korte reactieperiodes kan worden voorkomen door een goed ontworpen combinatie van motor en SCR-systeem. Bij de invoering van het SCR-systeem in de zeescheepvaart zijn de investeringen en de operationele kosten, de benodigde ruimte voor de katalysator en de opslag voor ammoniak of ureum thans de meest belangrijke problemen.

56. De mogelijkheden om de  $\text{SO}_x$ -uitstoot te beperken zijn:

- gebruik van een brandstof met een lagere zwavelgehalte;
- overgaan naar gasmotoren;
- behandeling van de uitlaatgassen, met behulp van scrubbers.

57. Een scrubber is een installatie die is ontworpen om door verneveling van zeewater of zoetwater in een gedeelte van het uitlaatgassenkanaal de zwaveldioxide ( $\text{SO}_x$ ), te verwijderen uit de uitlaatgassen. Deze wordt in de schoorsteen van het schip geplaatst. In veel gevallen wordt er caustic soda of natronloog aan het spoelwater toegevoegd om het zwavelgehalte van de uitlaatgassen terug te brengen naar de geldende zwaveleis.

58. Scrubbers kunnen worden opgesplitst in drie types:

- de open-loopscribber;
- de closed-loopscribber;
- de hybride scribber.

Waar een open-loopscribber vaak gebruikmaakt van zeewater, maakt een closed-loopscribber in de meeste gevallen gebruik van zoetwater voor het uitspoelen van de zwavelemisssies.

Daarnaast is er een scribber ontwikkeld die zowel in open- als closed-loop met zeewater werkt. Deze laatste variant, de hybride scribber, maakt het mogelijk dat de gebruiker kan omschakelen van open- naar gesloten modus en vice versa.

59. De installatie van een scribber kost miljoenen euro's. Of dat wordt terugverdiend, hangt af van een groot aantal onzekere factoren. Hoe meer uren een schip in SECA-zones vaart en hoe groter het prijsverschil tussen HFO en MGO, des te groter zal het rendement zijn. Met een scribber kan er altijd op HFO gevaren worden. Zonder scribber moet er op een combinatie van LSFO en MGO worden gevaren.

60. De open-loopscriber is slechter voor het milieu dan een closed-loop-scriber. Een open-loopscriber gebruikt veel zeewater voor het uitspoelen van de emissies. Dit waswater wordt niet of slechts beperkt gereinigd, en dan in zee geloosd. Zelfs al voldoet het aan de waswatercriteria van de IMO, dan kan dit toch in de kustwateren bij geringe verdunning bijdragen aan verzuring, eutrofiëring (overmatige vergroting van de voedselrijkdom in het water) en ophoping van giftige koolwaterstoffen en zware metalen.

61. Een closed-loopscriber gebruikt water uit een tank waaraan natronloog is toegevoegd. Het waswater wordt gereinigd in een centrifuge en het verdampte water aangevuld. De totale uitstroom van schadelijke stoffen is bij closed-loop veel lager. Een open-loopscriber heeft een waswateruitstroom van zo'n 45 m<sup>3</sup>/MW h. Bij een closed-loopscriber is dat ongeveer 0,1-0,3 m<sup>3</sup>/MWh.  
Als een closed-loopscriber wordt voorzien van een holding of opslagtank kan er een periode gevaren worden zonder lozing over boord.

62. In elk systeem zijn er vijf belangrijke onderdelen:

- het middel om mee te wassen, zee- of zoetwater en de chemicaliën, reagent;
- de pompen, die de specifieke druk leveren aan de nozzels (sproeiërs);
- de wastoren bestaande uit drie onderdelen: het koelgedeelte, het absorptiegedeelte, het deel waarin zwavel en water reageren en de waterafscheider waardoor de rookgassen de scriber droog kunnen verlaten;
- de behandelingseenheid voor het waswater voor zowel de open- als closed-loopsystemen;
- het monitorsysteem, voor de kwaliteitsbewaking van zowel de gewassen uitlaatgassen als lucht en het waswater.

200

---

63. Omdat in een open-loopscriber SO<sub>x</sub> zich verbindt met water wordt er onder andere zwavelzuur (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) gevormd, wat geloosd wordt en slecht is voor het milieu. Om deze reden wordt een open-loopscriber nu al in bepaalde gebieden niet meer toegestaan en de verwachting is dat deze installaties in de toekomst meer problemen gaan geven.

64. Controle op uitstoot van NO<sub>x</sub> vindt plaats door middel van certificaten en controle van de motor en de onderdelen vastgelegd in een 'Engine International Air Pollution Prevention (EIAPP) Certificate'

65. Behalve naar de uitstoot van SO<sub>x</sub> en NO<sub>x</sub>, wordt er ook gekeken naar de uitstoot van fijnstof en CO<sub>2</sub>. Voor het beperken van de uitstoot van CO<sub>2</sub> wordt er onderzoek gedaan naar brandstoffen met minder koolstof of een efficiënter gebruik van brandstoffen. Ook de manier van verbranden en dan met name de luchtvermaat is van groot belang.  
Bij fijnstof (in het Engels Particulate Matter (PM)) gaat het om heel kleine stofdeeltjes in de lucht, kleiner dan 10 micron (0,001 mm). Volgens de Wereldgezondheidsorganisatie is een hoeveelheid van 20 µg/m<sup>3</sup> veilig, deze norm is lastig te halen of te handhaven. Roetfilters kunnen bij dieselauto's een oplossing zijn. In de scheepvaart heeft opnieuw het zwavelgehalte van de brandstof een grote invloed op de hoeveelheid fijnstof.



66. Een uitlaatgassensysteem van een motor kan uit de volgende onderdelen zijn opgebouwd:

- de uitlaatgassenleidingen zelf;
- een uitlaatgassenketel;
- een of meerder geluidsdempers (silencers);
- een vonkenvanger (spark arrester);
- meerdere expansiestukken (expansion joints).

Er kan ook nog een rookgasreinigingsinstallatie in de uitlaatgassenleidingen zijn aangebracht. De uitlaatgassen die uit de cilinder komen, gaan via een turboblower naar het uitlaatgassen systeem.

67. Bij het ontwerpen van het systeem moet men rekening houden met:

- de hoeveelheid aan uitlaatgassen per volume en tijdseenheid;
- de maximale tegendruk die turboblowsers mogen hebben;
- de temperatuur van de uitlaatgassen na de turboblower;
- het maximale drukverschil in het uitlaatgassensysteem;
- het maximale toegestane geluidsniveau naar atmosfeer;
- de ruimte die beschikbaar is voor bochten en expansiestukken;
- een zo goed mogelijke mogelijkheid tot energierugwinning;
- plaatsing van rookgasreinigingsinstallaties.

68. De materiaalkeuze voor uitlaatgassenleidingen is lastig geworden door lagere uitlaattemperaturen, waarbij het risico groot is op lage-temperatuurcorrosie. Het wassen van de rookgassen met water geeft zwavelzuur waardoor materialen dus meer corrosiebestending moeten zijn of moeten zijn voorzien van een coating om corrosie te voorkomen.

201

---

69. De uitlaatgassen van een dieselmotor kunnen in de uitlaatgassenketel door de pijpen heen gaan of eromheen. Ook het te verwarmen medium kan verschillend zijn: water of thermische olie.

70. Uitlaatgassenketels kunnen ook gecombineerd zijn met een oliegestookte ketel, een zogenaamde combiketel, waarbij de uitlaatgassenketel dienst doet als stoomgenerator en de oliegestookte ketel als stoomvat. Een combiketel kan soms lastiger in de machinekamer te plaatsen zijn.

71. Geluidsdempers zitten meestal aan het einde van het uitlaatsysteem voor de vonkenvanger. Geluidsdempers bestaan uit één of meerdere kamers: absorptie- of reactieve kamers. Een reactieve kamer kan slecht één frequentie dempen. Een absorptiedemper bevat absorberend materiaal, terwijl in een reactieve demper door de vorm van de kamer de geluidsgolven afvlakken of verdwijnen. Ook een combinatie van beide dempers is mogelijk.

72. Afhankelijk van de plaats aan boord heeft de IMO en de Nederlandse overheid een maximaal geluidsniveau vastgesteld, ook afhankelijk van schip. Verder zijn er voorschriften voor verplichte waarschuwingen (signs), eventuele gehoorbescherming en tijd die je in deze omgeving mag verblijven. Geluid van 110dB, en hoger geeft altijd al directe gehoorschade, boven de 90dB is de schade afhankelijk van de tijdsduur van de blootstelling, en geluid onder de 77 dB wordt als veilig beschouwd.

## *Hoofdstuk 32 Procedures, Veiligheid, Marine and Environment*

1. Als eerste kan men onderscheid maken tussen gepland en ongepland onderhoud. Ongepland onderhoud noemen we storingen.
2. Onderhoud kan gepland worden op basis van draaiuren, tijd en conditie.
3. Onderhoud op basis van draaiuren: het aantal draaiuren van hoofd- en hulpmotoren maar ook van de hulpwerktuigen wordt bijgehouden. Bijvoorbeeld van een hulpmotor worden op basis van draaiuren de verstuivers getest en eventueel vervangen.
4. Onderhoud op basis van tijd: een bepaalde periode, bijvoorbeeld elke week, elke maand of een aantal maanden vindt controle, onderhoud of vervanging van onderdelen plaats. Bijvoorbeeld smeerolie vervangen van een sloepsmotor.
5. Onderhoud op basis van conditie: gebaseerd op metingen en waarnemingen, bijvoorbeeld geluid, trillingen, olie-analyse, ampères van een elektromotor, zuig- en persdruk van pompen enz.
6. In een onderhoudsprogramma kan behalve de onderhoudsplanning ook het voorraadbeheer van de reservedelen, verbruiksgoederen zoals verf, bouten, moeren, pakking enz. worden bijgehouden. Maar ook de geldigheidsduur van diverse certificaten, sloepenrol, brandrol en andere trainingen.
7. Er is sprake van breakdown management als er geen onderhoud wordt gepland en uitgevoerd maar men gewoon wacht tot het stuk gaat of niet meer functioneert, bijvoorbeeld een verlichtingsarmatuur. Dit noemt men breakdown maintenance en is niet aan te raden, omdat hiermee ook het reservedelenmanagement onvoorspelbaar wordt.
8. Als er iets stuk gaat dat wel in de onderhoudsplanning staat, wordt dit een reparatie en geen 'gepland' onderhoud genoemd. Bijvoorbeeld een lekkende pakkingbus van een koelwaterpomp of een niet goed werkende verstuiver.
9. Ongepland onderhoud, dus een storing, moet men zoveel mogelijk voorkomen, omdat het kan leiden tot ongewenst gevaarlijke en soms levensbedreigende situaties. Een voorbeeld is het uitvallen van de energievoorziening aan boord door een storing in het brandstofsysteem.
10. Storingen kunnen worden voorkomen onder andere door een goed gepland onderhoudsprogramma te volgen.
11. Mocht ongepland onderhoud, dus storing zoeken of reparatie, toch nodig zijn dan moet speciaal aan de volgende punten aandacht worden geschonken:
  - Laat veilig werken vooropstaan en laat je niet opjagen onder tijdsdruk, als je fouten gaat maken zijn de gevolgen nog groter.

- Gebruik de hulpmiddelen die er zijn om een storing te vinden. Denk aan instructieboeken, fout-analyseprogramma's of de voorhanden zijnde indicaties zoals waarschuwinglampjes, druk- en temperatuuropnemers enz.
- Wees niet bang om hulp of raad te vragen aan collega's of, met de huidige communicatiemogelijkheden, met technische dienst van de rederij aan de wal. Ook kunnen fabrikanten en servicediensten nu gemakkelijker worden benaderd, bovendien beschikken zij over de specialistische kennis die een 'gewone' werktuigkundige soms mist.
- Zoek ook de oorzaak waarom iets stuk is gegaan of niet meer werkt. Anders komt het probleem weer terug.
- Maak van de uitvoering van de reparatie een verslag, geef hierin ook aan wat er moet gebeuren om herhaling te voorkomen. Als een schip vertraging krijgt worden er altijd vragen gesteld naar de oorzaak hiervan.

12. Bij veiligheid kunnen we onderscheid maken tussen:

- persoonlijke veiligheid gewaarborgd door veilig werken, dus het opvolgen van de veiligheidsvoorschriften.
- veiligheid van installatie, gewaarborgd door de veiligheidsvoorzieningen die op de juiste manier werken en regelmatig volgens de protocollen getest zijn.

13. Bij persoonlijke veiligheid moet je denken PBM, Persoonlijke Beschermings Middelen. Hier verstaan we onder: veiligheidsschoenen, veiligheidsbril, gehoorbescherming, handschoenen, overal helm en bij laswerkzaamheden een laskap en beschermende kleding geschikt om te dragen bij laswerkzaamheden. In een omgeving waar de omringende atmosfeer niet betrouwbaar lijkt of waar met chemicaliën of verf gewerkt wordt, zijn extra maatregelen nodig om huid en luchtwegen te beschermen. Denk aan een chemicaliënbestendige overall of aan persluchtbescherming.

203

---

14. Er zijn veel instanties die zich bezighouden met de veiligheid van het schip, de opvarenden en het milieu aan boord. Diegene die zich hiermee bezighouden zijn, onder andere de verschillende klassebureaus:

- Lloyds Register of Shipping in Londen;
- Bureau Veritas in Parijs;
- Det Norske Veritas in Oslo;
- American Bureau of Shipping in New York;
- Germanischer Lloyd in Berlijn;
- Registro Italiano Navale in Genua.

15. De overheid houdt toezicht via diverse instanties, waarbij een deel is uitbesteedt aan klassebureaus. Daarnaast kennen we ook Port State Control (PSC) en de IMO met o.a. SOLAS (International Convention for the Safety Of Life At Sea) het Internationaal Verdrag voor de beveiliging van mensenlevens op zee.

16. Doel van dit toezicht is om zeker te weten dat de voortstuwings- en hulpinstallatie veilig functioneert, de beveiligingen en alarmering betrouwbaar zijn en op de juiste wijze functioneren.

17. Beveiligingen en alarmeringen komen in veel verschillende uitvoeringen voor:
- niveaualarmering, hoog- en laagpeil gekoppeld aan een stopfunctie;
  - drukalarmering, te hoog of te laag ook met een stopfunctie of het starten van een reservepomp;
  - temperatuuralarmering, met eventuele stopfunctie;
  - de veiligheid op een hulpketel, veiligheid op de stoomzijde van een heater. Maar ook de veiligheden op een aanzetluchtcompressor of in het aanzetluchtsysteem;
  - de conditie van een werktuig zelf, voldoende vermogen, geen roest, geen lekkage, geen lekkende seals of lagers die geluid maken.

18. Veiligheid aan boord wordt zeker in stand gehouden door het regelmatig houden van veiligheidsoefeningen, denk hierbij niet alleen aan brand- en sloepoefeningen, maar bijvoorbeeld ook aan:

- het oefenen in het betreden van een besloten ruimte met perslucht;
- het testen van de brandblusinstallatie inclusief de alarmen in de machinekamer en verblijven;
- EHBO-oefeningen;
- wat te doen bij een black-out, lekkage in machinekamer, of grote machineschade.

Dikwijls komen bij herhaaldelijk oefenen tekortkomingen aan het licht, waardoor veiligheidsprocedures verbeterd kunnen worden.

19. Om aan een object of installatie te kunnen en mogen werken, moet er eerst onderzocht worden of dit veilig kan. Dit onderzoek wordt ook wel een 'Safe Job Analysis' (SJA) genoemd. De uitkomst van de SJA geeft aan welke maatregelen er moeten worden genomen om het werk veilig te kunnen uitvoeren.

204

20. Als een SJA is uitgevoerd kan er een toestemming tot werken afgegeven worden, een z.g. work permit of werkvergunning.

21. Om aan boord een werkvergunning op de juiste wijze in te vullen heb je diverse gegevens nodig o.a. van :

- de fabrikant van de machine;
- lokale voorschriften;
- veiligheidsvoorschriften m.b.t het te gebruiken gereedschap;
- voorschriften van de rederij;
- veiligheidsinformatieblad voor het werken met chemicaliën.

22. Werkzaamheden waarvoor een werkvergunning moet worden gemaakt zijn:

- lassen buiten de werkplaats;
- werken in besloten ruimte;
- werken op hoogte of buiten boord;
- werken aan de elektrische installatie;
- werken aan een lift;
- grotere werkzaamheden in machinekamer of aan hulpmotoren.

23. In een (SJA) moet vermeld zijn:

- wie de leidinggevende is en wie er verder meewerken;
- wanneer de werkzaamheden plaatsvinden, en hoelang ze duren;

- hoe de isolatie plaatsvindt, (elektrische, mechanisch en drukloos), en hoe ervoor wordt gezorgd dat de situatie zo blijft;
- werkwijze;
- benodigde persoonlijke bescherming;
- als werk uitgevoerd wordt in een besloten ruimte, op hoogte, aan een elektrische installatie of te maken heeft met 'hot work', (lassen/branden/ slijpen), moeten de nodige maatregelen apart vermeld worden.

24. Ook de brug en de lokale autoriteiten moeten worden geïnformeerd als het schip in een haven ligt, voordat met de werkzaamheden kan worden begonnen.

25. Fabrikanten van smeermiddelen, chemicaliën en verf zijn wettelijk verplicht informatie te verstrekken over de eigenschappen en gevaren bij het gebruik van hun product. Deze informatie is nodig om te kunnen bepalen welke maatregelen er genomen moeten worden om het werken met deze stoffen veilig te kunnen uitvoeren.

26. Een checklist of controlelijst kan bestaan uit alleen een lijst met aandachtspunten of een complete werkinstructie. Daarnaast kunnen werkinstructies in verschillende vormen voorkomen, als handboek, een instructiekaart of als instructievideo's. Sommige controlelijsten zijn verplicht, andere alleen handig en verstandig om te gebruiken.

27. Mogelijke voorbeelden van een checklist of controlelijst zijn: controlelijsten voor aankomst en vertrek zowel voor de machinekamer als voor de brug, bunkerchecklist of een checklist voor het betreden van een besloten ruimte.

205

28. Een besloten ruimte kan een ballast- of ladingtank zijn, maar ook een niet in gebruik zijnde ruimte (void space of cofferdam). Het kan ook een ruimte in de machinekamer zijn.

29. De kenmerken van een besloten ruimte zijn:

- een kleine werkplek waarin je moeilijk kunt bewegen;
- ruimte met een beperkte ventilatie;
- moeilijke bereikbaarheid;
- vluchten is moeilijk en het contact met buiten is slecht te onderhouden;
- geen daglicht.

30. De gevaren in een besloten ruimte zijn:

- verstikkingsgevaar;
- bedwelmings- en vergiftigingsgevaar;
- brand- en explosiegevaar;
- elektrocutie;
- vallen en uitglijden;
- bewegende delen.

31. Maatregelen bij het werken in een besloten ruimte zijn:

- toezicht (verantwoordelijkheid) kapitein/schipper;
- minimumleeftijd 18 jaar en ervaring;
- ventileren/afzuigen (vooraf en tijdens werk);

- alarmprocedures en communicatie;
- metingen;
- veiligheidswacht;
- uitgangen vrijhouden;
- netjes werken/opruimen/ontvetten;
- veiligheidsspanning (maximaal 120 Volt gelijk of 50 Volt wisselspanning)
- als besloten ruimte een tank is, zorgen dat deze niet per ongeluk met vloeistof gevuld kan worden.
- persoonlijke Beschermingsmiddelen (PBM's), o.a. schoenen, helm, harnas.

32. Probleem met ventileren is dat het heel moeilijk is om een besloten ruimte geheel te ventileren en te meten voor betreden. Het gevaar van dode hoeken blijft altijd aanwezig. Maar bij een ballasttank is het soms mogelijk om de tank eerst geheel te vullen en daarna geheel leeg te halen. Dit heeft als groot voordeel dat je zeker weet dat er geen dode hoeken meer zijn en de gehele tank vol zit met verse lucht.

33. Je mag nooit iemand die je onder in een tank ziet liggen zomaar benaderen zonder adembescherming. Ook moet je eerst iemand waarschuwen. De persoon is misschien 'gewoon' gevallen, maar het kan altijd ook met de atmosfeer van de ruimte te maken hebben. Hulp is nodig om iemand veilig de ruimte uit te krijgen.

34. Voordat er een besloten ruimte mag worden betreden moet er een gasmeting worden uitgevoerd en moeten de volgende punten worden gecontroleerd:

- De zuurstofconcentratie moet tussen 20 vol.% en 21 vol.% liggen;
- De concentratie van brandbare gassen en dampen in de ruimte is niet hoger dan 10 % van de onderste explosiegrens (max. 10 % LEL, Lower Explosion Limit).
- De concentratie van (giftige) gassen, dampen of stof ligt ruim onder de grenswaarden.
- De temperatuur in de besloten ruimte is niet hoger dan 40 °C; bij een temperatuur vanaf 32 °C dienen maatregelen te worden genomen.

35. Metingen moeten gedaan worden met een goedgekeurde en geijkte meter, en door een gekwalificeerd persoon. Metingen kunnen of moeten gedaan worden met een zuurstofmeter, explosiemeter of speciale testbuisjes voor giftige gassen.