

STUDIECENTRUM T.N.O. VOOR SCHEEPSBOUW EN NAVIGATIE

(NETHERLANDS' RESEARCH CENTRE T.N.O.
FOR SHIPBUILDING AND NAVIGATION)

CILINDERSLIJTAGE IN SCHEEPSDIESELMOTOREN

(CYLINDER WEAR IN MARINE DIESEL ENGINES)

door

Ir. H. VISSER



AFDELING "MACHINEBOUW"
(ENGINEERING SECTION)

SPEURWERK COMMISSIE
(RESEARCH COMMITTEE)

Dipl.Ing. F.G. van Asperen
Prof. Ir H. Blok
Prof. Ir J.J. Broeze
Ir P.C. Brunting
Ir E.J. Diehl
B.J.J. Gravesteijn
Ir A.A. Hootsen
Dr Ir W.J. Muller
Ir Chr. Scherpenhuijzen

Ex. officio:
Ir A.H. IJsselmuiden

CILINDERSLIJTAGE IN SCHEEPSDIESELMOTOREN

door
Ir H. VISSER

CYLINDER WEAR IN MARINE DIESEL ENGINES

SUMMARY

This study is based on data derived from recent publications on cylinder wear in marine Diesel engines.

After a general survey of the problem various aspects of the subject matter are mentioned and used in sequence of their treatment.

Regard is given to the influence of running in. The nature of wear is considered and differences are shown between mechanical wear, scuffing, wear by pollution of air, lubricating oil and oil fuel. Also the influence of combustion products and of the surface fatigue of materials are treated. An extensive review is given of various publications on corrosion by chemical and electro-chemical processes and on the effect of corrosion. The consequences of the texture of the material, alloying elements, hardness, machining, hardening and plating is reviewed. The relation between wear and the design of Diesel engines is considered, specially as regards piston rings and the method of lubricating. Attention is paid to the influence of the combustion, the oil fuel and the lubricating oil on wear. The numerous publications concerning the use of heavy oil fuel have contributed to the understanding of the influence of chemical and physical properties of the components of oil fuel, such as sulphur, on wear. The effect of the temperature of the cooling medium is considered and the relation between service conditions and wear is surveyed. The study closes with some notes on the measuring of wear.

INHOUDSOPGAVE

	blz.
Inleiding	9
I. Het inlopen	11
II. Verschillende soorten van slijtage	13
A. Mechanische slijtage	13
B. Scuffing	13
C. Slijtage door verontreiniging	14
D. Oppervlakte vermoeidheid	15
E. Corrosie	15
III. Invloed van materiaal, bewerking en motorconstructie op de slijtage	21
A. Invloed van het materiaal	21
B. Invloed van de bewerking	23
C. Invloed van de motorconstructie	24
IV. Invloed van brandstof en smeerolie op de slijtage	27
A. Invloed van de verbranding	27
B. Invloed van de brandstof	27
C. Invloed van de temperatuur van het koelmiddel	42
D. Invloed van de smeerolie	42
V. Invloed van de bedrijfsomstandigheden	45
A. Het aanzetten	45
B. De koelwatertemperatuur	45
C. De belasting	45
D. Het toerental	46
VI. Het meten van de cilinderslijtage	46

CILINDERSLIJTAGE IN SCHEEPSDIESELMOTOREN

INLEIDING

In deze studie wordt in het bijzonder de slijtage van cilinders en zuigerveren van grotere scheeps-Dieselmotoren, zowel hoofd- als hulpmotoren, behandeld aan de hand van gegevens, ontleend aan recente publicaties.

Daar van dit soort motoren betrekkelijk weinig uitkomsten van proefnemingen in de literatuur te vinden zijn, is ter verduidelijking, ook gebruik gemaakt van gegevens van sneller lopende motoren.

Uit de studie blijkt, dat nog geen duidelijk beeld is te verkrijgen van de invloed der verschillende slijtage bevorderende factoren en hun samenhang. Een grote slijtage in een bepaalde motor kan het gevolg zijn van verschillende oorzaken. Wel is zeker, dat het slijtage probleem de laatste jaren veel meer dan vroeger op de voorgrond is getreden.

Het ligt voor de hand, in dit verband na te gaan welke veranderingen zich inmiddels bij de motortechniek en in het bedrijf hebben voorgedaan. Deze zijn:

De overgang van 4-tact motoren naar 2-tact motoren voor scheepsvootstuwning, als gevolg van het toepassen van grotere vermogens.

Een hoger zwavelgehalte in de brandstof.

De overgang naar zwaardere, goedkopere residuale brandstoffen.

Naar aanleiding van hetgeen hierboven in het algemeen is gezegd over mogelijke oorzaken van cilinderslijtage, zij in dit verband vermeld dat b.v. een hoog zwavelgehalte niet steeds heeft geleid tot verhoogde (corrosieve) slijtage.

CILINDERSLIJTAGE VAN SCHEPEN VAN DE BROSTRÖMLINES

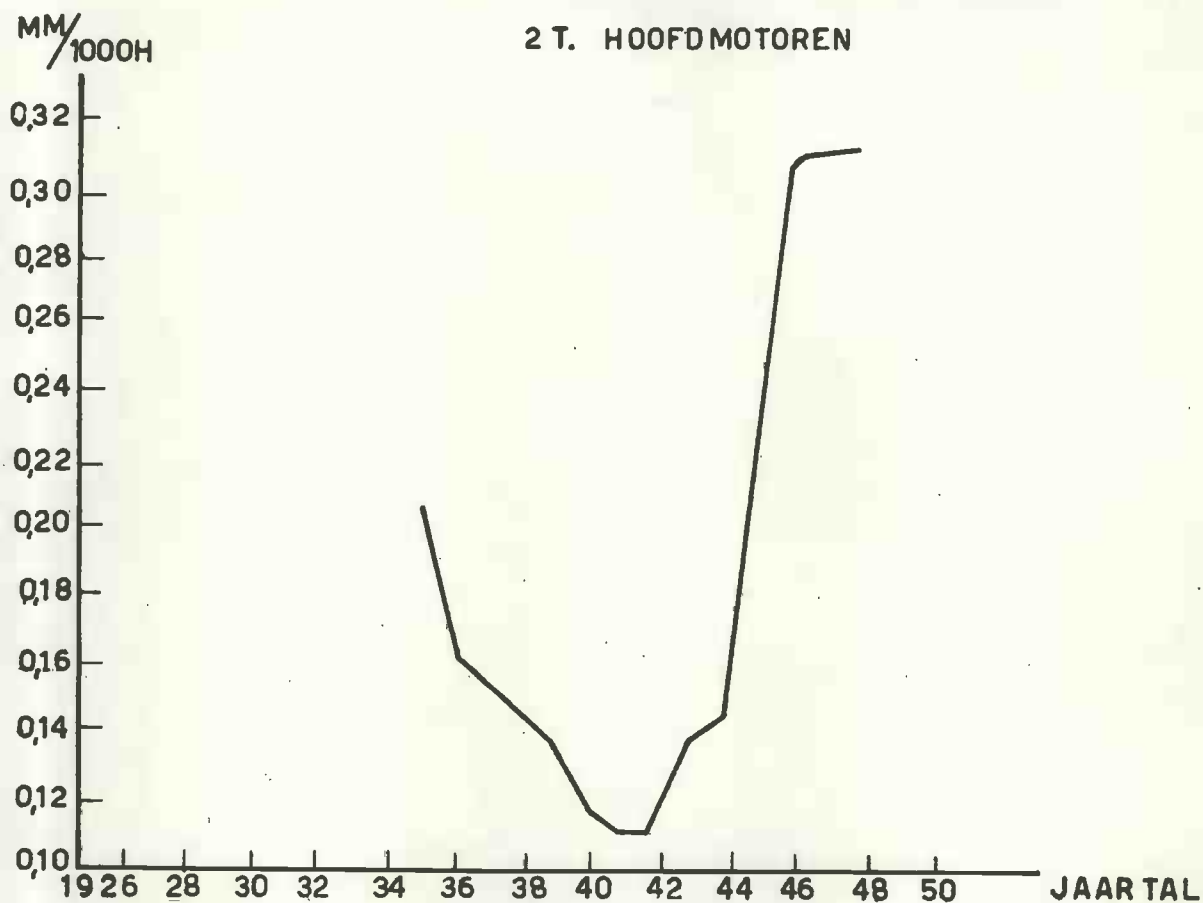


FIG. 1

Ter illustratie volgen onderstaande gegevens, afkomstig van Mr Arnold van Alfred Holt en Co., betreffende de levensduur van cilindervoeringen.

type motor	jaar	gem. geïnd. druk	zuiger koelmiddel	levensduur
4-t.e.w.	1923	6 kg/cm ²	zoutwater	14-16 jaar
4-t.e.w.	1926	6,5-6,7 kg/cm ²	olie	12-14 jaar
* 4-t.e.w.	1929	8,3-8,5 kg/cm ²	olie	16-20 jaar
2-t.e.w.	1936	6 kg/cm ²	olie	6-7 jaar
2-t.e.w.	1945	6 kg/cm ²	olie	8-10 jaar

* drukvulling

Fig.1 geeft het verloop van de gemiddelde cilinderslijtage van 2-tact hoofdmotoren aan boord van schepen van de Broströmlines, waaruit duidelijk blijkt, dat bij deze schepen de cilinderslijtage sinds 1944 schrikbarend gestegen is.

De gevolgen van slijtage van cilindervoeringen en zuigerveren kunnen in het kort als volgt omschreven worden:

Slechtere prestaties van de betreffende motor door minder goede afdichting der veren.

Extra kosten door het vernieuwen van cilindervoeringen en zuigerveren. Hoe zwaar deze kosten drukken, hangt geheel af van de aard van het bedrijf.

In deze studie zullen de volgende punten behandeld worden:

- I. Het inlopen.
- II. Verschillende soorten van slijtage.
- III. De invloed van materiaal, bewerking en motorconstructie.
- IV. De invloed van brandstof en smeerolie op de slijtage.
- V. De invloed van de bedrijfsomstandigheden.
- VI. Het meten van slijtage.

I. HET INLOPEN.

In direct verband met de slijtage staat het inlopen van de zuigerveren op de voering. Bij grote slijtagevastheid zal het inlopen langer duren.

Een korte inlooperperiode is echter gewenst. In dit verband kan genoemd worden het theoretisch begrip "zuigerveerrendement" van Lane. Dit begrip duidt aan, in hoeverre de veren hun afdichtingstaak volbrengen.

Grafisch is dit rendement gedurende de levensduur van veren en voering weer te geven

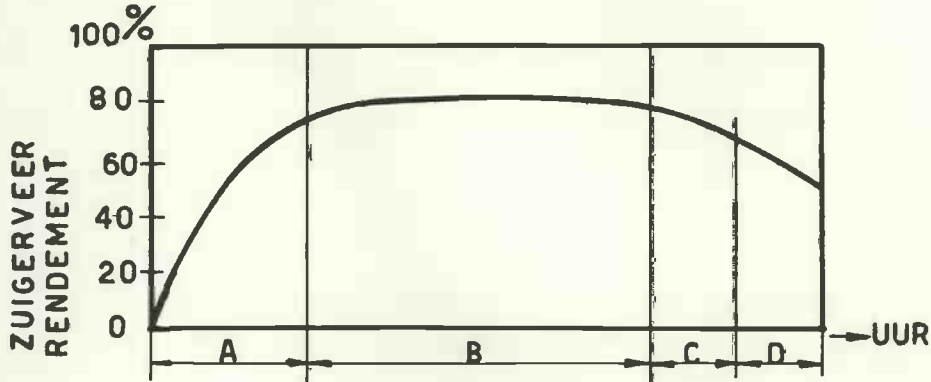


FIG. 2

Periode A: slijtage, olieverbriuk en gaslek zijn hoog (inlooperperiode).

Periode B: slijtage, olieverbriuk en gaslek zijn minimaal.

Periode C: slijtage, enz. nemen weer toe.

Periode D: slijtage neemt sterk toe. In deze periode is het vernieuwen van voering en veren noodzakelijk.

Uit deze grafiek blijkt, dat gedurende de inlooperperiode het rendement (door slijtage) stijgt, daarna (B) een gelijkblijven van dit rendement en tenslotte een afnemen (C en D). Noodzakelijk is, dat gedurende het inlopen de bedrijfsomstandigheden anders zijn dan gedurende de periode B, voornamelijk wat betreft het vermogen, dat geleidelijk opgevoerd dient te worden tot de normale bedrijfstoestand voor periode B bereikt wordt.

II. VERSCHILLENDE SOORTEN VAN SLIJTAGE.

Volgens Pennington kunnen de volgende slijtageprocessen onderscheiden worden:

A. MECHANISCHE SLIJTAGE.

Technisch bewerkte vlakken zijn nooit theoretisch vlak, zodat over elkaar glijdende oppervlakken elkaar in de hoge punten raken, waardoor deze afbreken en op de vlakken gaan invreten en deze laatste slijten.

Dit proces leidt tot een hard en glad oppervlak en toename van het contact tussen de over elkaar glijdende vlakken. Dit vindt voornamelijk plaats gedurende de *inlooperperiode*, waarin het oppervlak door de bewerking betrekkelijk nog ruw is.

Mechanische slijtage is het grootst bij:

1. Hoge vlaktedrukken.
2. Hoge temperaturen.
3. Lage glijksnelheden, zowel in gesmeerde als in droge toestand.
Verder is de slijtage nog afhankelijk van:
4. De oppervlakte ruwheid; hoe fijner bewerkt oppervlak des te geringer mechanische slijtage. Naast de grootte der oneffenheden is ook de vorm van de ruwheid van invloed.
5. De absolute en de relatieve hardheden van de over elkaar glijdende oppervlakken.
Het mechanische slijtageproces onderhoudt zichzelf doordat de afgebroken delen (slijtstof) als schuwmiddel werken. Men zou verwachten dat het hardste materiaal het zachtere wegslijt. Een gedeelte van de slijtstof, die ook harde deeltjes bevat, zal zich echter het meest in het zachtere materiaal inbedden en zodoende dit oppervlak beschermen.
6. De volgende factoren hebben invloed op de smering:

De viscositeit, welke, met de glijksnelheid, bepaalt hoeveel de beide oppervlakken van elkaar verwijderd blijven.

De "Oiliness" (adhaesie), welke bepaalt in welke mate de smeerolie weggedrukt wordt, b.v. in geval van lage glijksnelheden en hoge vlaktedrukken.

De hoeveelheid toegevoegde smeerolie, die het wegspoelen van de slijtstof beïnvloedt.

B. SCUFFING.

De temperaturen die ontwikkeld worden bij het elkaar raken van de oneffenheden van het oppervlak kunnen zo hoog worden (tot ca. 1000°C.), dat de hoge punten plaatselijk aan elkaar wellen, waardoor deeltjes materiaal losgetrokken worden. Deze hebben dan weer mechanische slijtage tot gevolg.

Voor scuffing moet dus een werkelijk metallisch contact plaats vinden. Scuffing zal het meest tijdens de inlooperperiode plaats vinden.

Invloed hebbende factoren zijn:

1. *De oppervlakte ruwheid*, maar vooral het profiel hiervan. Scherpe vormen in dit profiel werken scuffing in de hand.
2. *De materiaaleigenschappen*:
Welke eigenschappen het materiaal anti-scuffing maken is niet bekend. Sommige materialen, zoals gietijzer, in het algemeen de slecht lasbare materialen, hebben goede anti-scuffing eigenschappen. Pennington beveelt aan, niet voor beide oppervlakken hetzelfde materiaal met dezelfde structuur te gebruiken. Ook kan gezegd worden dat:
 - a. een laag smeltpunt,
 - b. een hoge wrijvingscoëfficiënt,
 - c. een slecht warmtegeleidingsvermogen van het materiaal, scuffing bevorderen.
3. *Smering*:
Een smeerolielaag voorkomt scuffing indien de olie:
 - a. een hoge viscositeit heeft,
 - b. een grote oiliness heeft; de adhaesive krachten tussen de smeerolielaag en de oppervlakken moeten groot zijn.
 - c. een lage vluchtigheid heeft, opdat de olie niet van de oneffenheden wegbrandt.Toevoeging van zwavel en "high pressure dopes" aan de smeerolie schijnen de scuffingweerstand van de smeerolie te verhogen (Pennington).
Verder wordt scuffing bevorderd door:
4. *Hoge temperatuur*.
5. *Hoge drukken*.
6. *Hoge glijksnelheden*.

Stof en andere slijdeeltjes geven grotere kans op scuffing, daar ze de olielfilm doorbreken. Ze kunnen echter volgens Pennington, ook scuffing tegengaan, daar de kans op wellen minder wordt.

C. SLIJTAGE DOOR VERONTREINIGING.

In wezen verschilt deze slijtage van bovengenoemde mechanische slijtage, daar hier, behalve de beide oppervlakken, nog een derde stof aanwezig is, die invloed heeft op het slijtageproces, afhankelijk van verschillende omstandigheden.

De verontreinigingen, die hier als schuurmiddel (abrasives) werken, zijn te onderscheiden naar hun oorsprong, n.l.:

- a. via de inlaatlucht,
- b. via de smeerolie,
- c. verontreinigingen uit de brandstof en die ontstaan tijdens de verbranding, zoals cokes, koolaanslag, enz..

Pennington toont het verschil van slijtage bij stof in de inlaatlucht en bij stof in de smeerolie voor een snellopende trunkzuigermotor.

Wat onder stof verstaan wordt en wat de hoeveelheid stof per m^3 lucht of olie is en welke de motorcondities zijn, wordt niet meegedeeld.

Het verschil in slijtagevorm, zoals in fig. 3 is afgebeeld, was wel te verwachten.

Fig. 4 toont het verschil van de slijtage van de veren onderling bij stof in de inlaatlucht en in de smeerolie.

Bij stof in de inlaatlucht is de slijtage van de bovenste veer ongeveer 3 maal zo groot als die van de 2e en 3e zuigerveer en 25-50% groter dan de slijtage van de schraapveer.

Bij stof in de smeerolie is de slijtage van alle zuigerveren ongeveer gelijk. De slijtage van de olieschraapveer (onderste veer) is dan 4 maal zo groot als die van de rest.

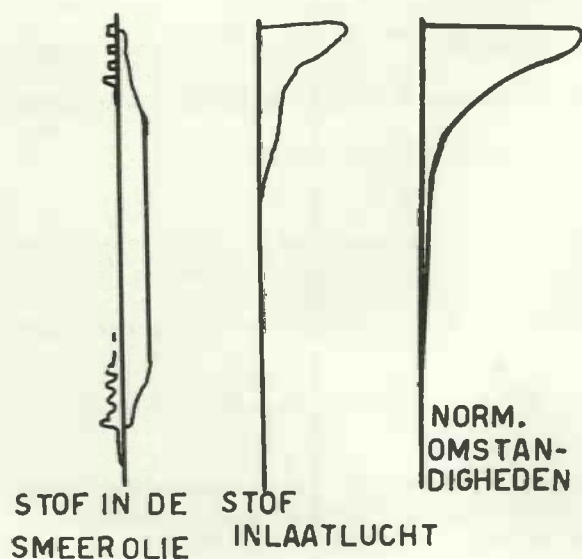


FIG. 3: SLIJTAGE VORMEN (SCHALEN ZIJN NIET VERGELIJKBAAR)

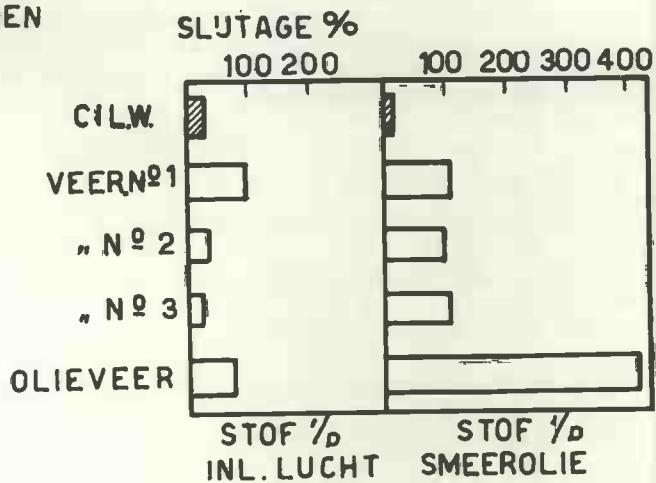


FIG. 4: RELATIEVE SLIJTAGE T.O.V. BOVENSTE ZUIGERVEER (100%)

Fig. 5 toont het effect van verchroomde veren op de zuigerveerslijtage en de cilinderslijtage bij aanwezigheid van stof in de inlaatlucht. Deze proef werd gemaakt in een 6-cilindermotor, waarvan 3 cilinders met verchroomde bovenste veren en 3 met gietijzeren bovenste veren waren uitgerust. De goede resultaten met verchroomde veren zijn waarschijnlijk te danken aan de moeilijke inbedding van de stofdelen in het zuigerveerooppervlak en aan de lage wrijvingscoëfficiënten bij verchroomde oppervlakken. Het beste blijft echter lucht, brandstof en smeerolie goed te reinigen (filtreren, centrifugeren).

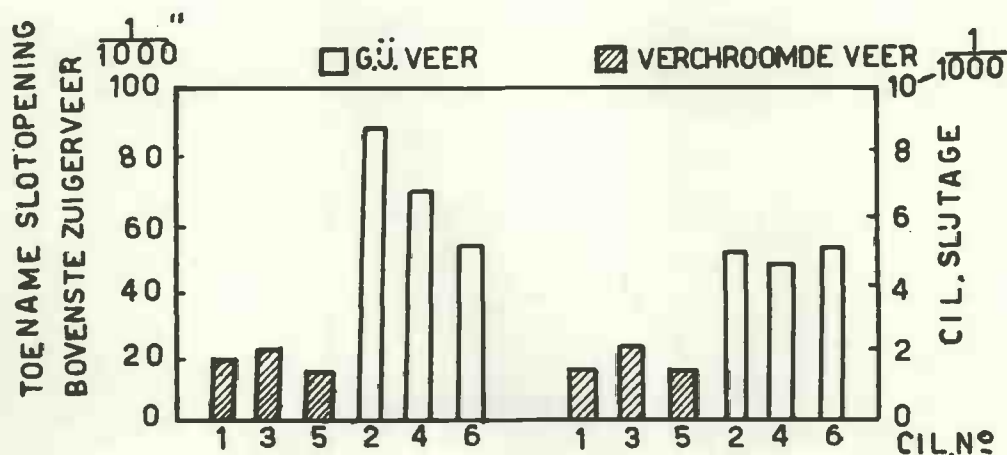


FIG.5: SLJTAGE BIJ STOF IN DE INLAATLUCHT

D. OPPERVLAKTE VERMOEIDHEID.

Door de optredende heen- en weergaande krachten treden snelle plastische deformaties op, waardoor in een dunne laag van het oppervlak de kristallijne structuur verandert in een amorfe omdat de atomen geen tijd hebben zich weer volgens het oorspronkelijke kristalrooster te rangschikken. Dit proces wordt al ingeleid bij de nabewerking van het oppervlak.

De wisselende krachten kunnen door de oliefilm worden overgebracht (zonder deze te verbreken) bij het passeren van de veren.

Oppervlaktevermoeidheid is moeilijk van scuffing te onderscheiden, daar ze ook putjesvorming (pitting) tot gevolg heeft. Welke factoren hier precies werkzaam zijn, is niet bekend daar proeven op dit gebied niet gepubliceerd zijn.

Pennington verwacht, dat de soort smeerolie niet veel invloed zal hebben, misschien wel de viscositeit.

E. CORROSIE.

Hieronder wordt, volgens Hoegh, verstaan de materiaalaantasting tengevolge van chemische- en electrochemische processen. Corrosie uit zich door putjes in het oppervlak (pitting).

a. Chemische processen.

De betrokken atomen werken hier direct op elkaar in. De enige chemische processen (voor zover bekend) zijn:

1. Oxydatie van het loopvlak. Een eventueel beschermend oxydlaagje kan door de zuigerbeweging verwijderd worden.

Oxydatie wordt gestimuleerd door hoge temperaturen en drukken.

2. Vorming van ijzercarbonyl ($Fe(CO)_5$).

$Fe(CO)_5$ wordt gevormd volgens $Fe + 5CO = Fe(CO)_5$ bij drukken tot 50 atm. en temperaturen van 200°

C. Volgens Hoegh kan deze reactie ook in motorcilinders optreden, daar dergelijke drukken en temperaturen (waarbij de reactiesnelheid het grootst is) ook in een motor kunnen voorkomen.

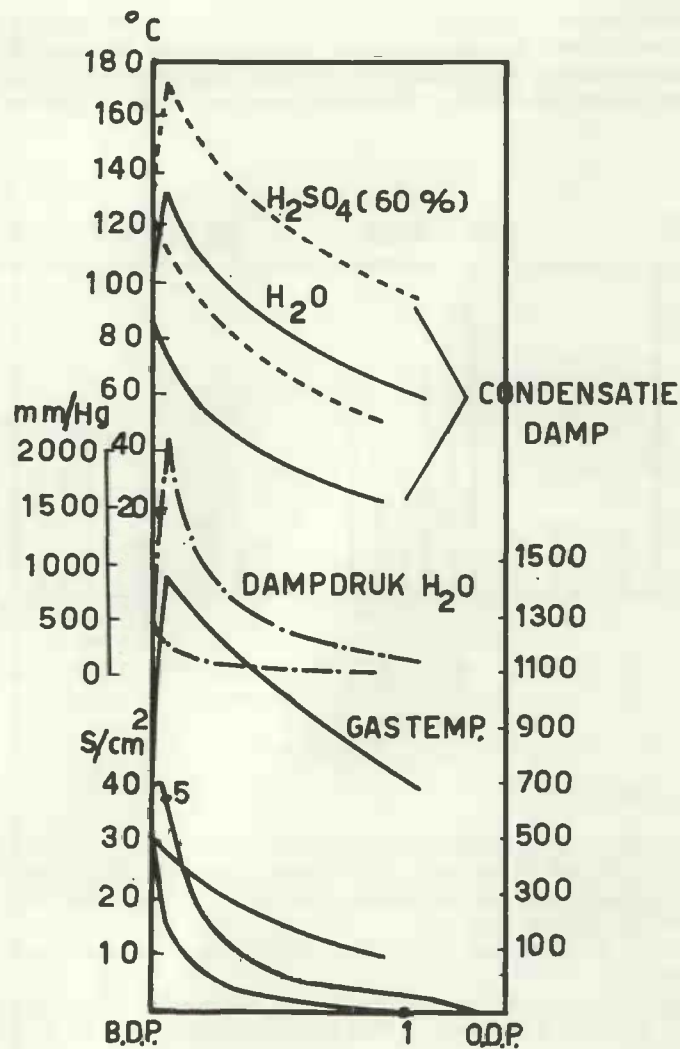


FIG.6: DAMPSpanning EN CONDENSATIE TEMP ALS FUNCTIE VAN DE ZUIGERWEG IN EEN 2 TACT MOTOR

b. Electro-mechanische processen.

Hierbij werken de stoffen in geïoniseerde toestand op elkaar in. Zuren en zouten in waterige oplossing zijn bij dit proces noodzakelijk. Het optreden en de mate van condensatie is afhankelijk van vele factoren, waarvan:

- de druk in de cilinder,
 - de temperatuur van de cilinderwand,
 - de brandstof samenstelling,
 - de volledigheid van de verbranding,
- wel de belangrijkste zijn.

Waterdamp is steeds in de verbrandingsgassen aanwezig, n.l.:

uit de aangezogen lucht,
 uit de brandstof, bij de verbranding vrijgekomen,
 incidenteel, door lekkage van het koelwater.

In verband met de condensatie van water en zwavelzuur heeft Hoegh voor een bepaalde 2-tact motor de dampspanning van de waterdamp en de condensatie-temperatuur van het zwavelzuur per cyclus uitgerekend. Motorgegevens: 2-tact enkelwerkende Sulzer motor met luchtverstuiving.

cil.diam.: 788 mm, p_1 : 5,6 kg/cm²

slag : 1220 mm, n : 90 omw/min.

De gastemperaturen zijn berekend uit het indicateurdiagram. Bij de berekening van de dampdrukken is aangenomen, dat er geen condensatie heeft plaats gevonden.

Temperatuur inlaatlucht 20°C. Relatieve vochtigheid inlaatlucht 90% bij 20°C. (d.i. 50% bij 30°C.). In punt 1 van het diagram (fig. 6) is verondersteld, dat bij die druk (1,1 atm.) de vulling een temperatuur had van 80°C. met een samenstelling van 95% atm.lucht en 5% restgassen. Het gewicht van de vulling bedroeg 0,468 kg, waarvan 7,5 g waterdamp (16 g/kg lucht). Voor brandstof-injectie en verstuivingslucht werd dit vermeerderd met 10% tot 0,515 kg, waarvan 16,7 g brandstof (135 g/ipkh). De hoeveelheid ontwikkelde stoom gedurende de verbranding was 18,8 g (12% H in de brandstof) en daar de hoeveelheid waterdamp in de verstuivingslucht ca. 0,4 g bedraagt, was bij het begin van de expansie (5) het waterdampgewicht 26,7 g (52 g/kg lucht).

De voornaamste zuren, welke invloed op de cilinderslijtage kunnen hebben, zijn:

1. *Zwavelzuur* (H_2SO_4), ontstaan door de in de brandstof aanwezige S, die verbrandt tot SO_3 , dat met water zwavelzuur vormt. H_2SO_4 is zeer werkzaam in concentraties van 20-60%. Daar S in steeds grotere percentages in de brandstof voorkomt, wordt de vorming van H_2SO_4 in de cilinder door velen als de oorzaak van de tegenwoordige abnormale slijtage beschouwd.

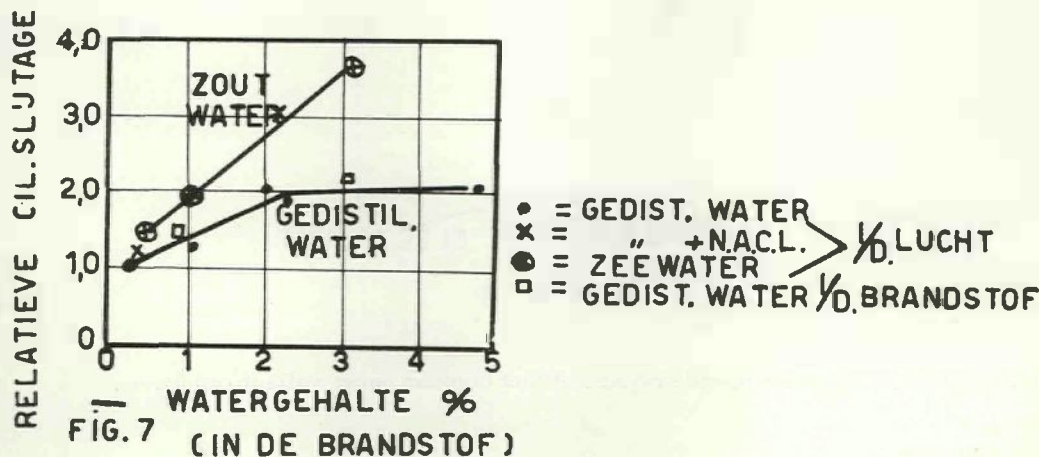
In verband met de vorming van SO_3 zij hier vermeld, dat het evenwicht van de reactie van de temperatuur afhankelijk is. Hoe hoger de temperatuur, hoe meer naar links het evenwicht verschuift, met als maximum temperatuur 900-1000°C, waarbij nog SO_3 aanwezig is.

In de buurt van hoekwanden, waarbij condensatie te verwachten is, kan dus zeer zeker SO_3 gevormd worden.

2. *Zwaveligzuur* (H_2SO_3) gevormd uit SO_2 . De omstandigheden in de cilinder zijn zodanig, dat er slechts zwakke oplossingen (0,05%) van dit zuur kunnen ontstaan, indien water op de wanden condenseert.
3. *Zoutzuur* (HCl), uit de zouten van het zeewater gevormd, waarvan altijd wel enige hoeveelheden in de cilinder komen via inlaat, brandstof en door lekkage. Zoutzuur is een sterk zuur en zal de slijtage sterk beïnvloeden ofschoon, bij de vorming, gedeeltelijk zwavelzuur wordt ontleed, n.l.
 $2 NaCl + H_2SO_4 - 2 HCl + Na_2SO_4$.
4. Het *organische zuur* CH_2O_2 (mierenzuur), dat gevormd wordt bij onvolledige verbranding van koolwaterstoffen. Het is een sterk zuur met oxyderende werking.

Volgens Broeze is in onderstaande figuur duidelijk de nadelige werking van zout water in de cilinder te onderkennen.

In welke hoeveelheden zout in de brandstof kan voorkomen blijkt uit enige analyses van sludges uit clarifiers en purifiers in installaties voor zware residuale brandstoffen (Ordoil), waarvan hieronder een voorbeeld:



Samenstelling sludge	Purifier	Clarifier
Koolstof	30,9%	23,5%
As	10,9%	13,8%
Olie	43,7%	45,3%
Water	14,5%	17,4%
	100	100
Samenstelling van de as:	Purifier	Clarifier
Ijzeroxyde	21,9%	18,6%
Aluminium	sporen	sporen
Calcium oxyde	14,5%	12,8%
Magnesium	sporen	sporen
Silicium	sporen	sporen
Natriumchloride	59,6%	67,7%
Zware metalen	sporen	sporen

Dit komt dus neer op ongeveer 6 - 9% NaCl in de sludge monsters en dus op ca 0,006% in de brandstof.

CORROSIEVE SLIJTAGE

Onder corrosie wordt voornamelijk het electro-chemische proces verstaan. De reactie geschiedt hier, zoals gezegd, in ionvorm. Wanneer n.l. metaal in contact komt met een zuur- of zoutoplossing zendt het hierin positieve metaalionen uit. De metaalionen laten bij het verlaten van het metaaloppervlak een of meer electronen achter. Wanneer deze electronen niet afgevoerd worden, krijgt het metaal een negatieve lading, afhankelijk van het aantal uitgezonden ionen. Spoedig zal zich dan een bepaald evenwicht met een bepaald spanningsverschil tussen vloeistof en metaal ingesteld hebben. De praktijk is, dat er steeds een electrisch circuit zal ontstaan, zodat er steeds meer metaalionen in oplossing gaan.

Volgens Leden en Bergenheim is dit circuit op de volgende twee manieren voor te stellen:

- a. Het grensooppervlak van de voering bestaat, ruw gezegd, uit grafiet- en ijskristallen. Deze twee kristallen vormen de electroden van het electrochemische element en wel het Fe-kristal de anode en het grafietkristal de kathode. Aan de anode gaan steeds metaalionen in oplossing. Dit proces concentreert zich bij de kristalgrenzen en plant zich volgens deze grens voort.

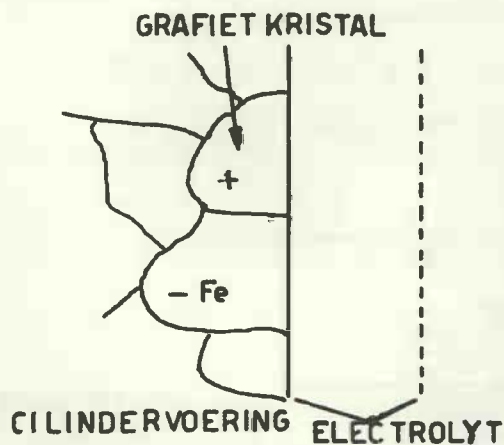


FIG. 8

Omstandigheden: langzaamlopende motor met luchtinblaas onder vollast condities.

b. Zuigerveer-electrolyt-voering vormen het element. Het uitwendige circuit bestaat dan uit zuiger, drijf-stang, enz.. Dit systeem heeft Bergenheim voor ogen gestaan bij zijn verklaring van diverse verschijn-selen.

FACTOREN, DIE CORROSIE KUNNEN VERSTERKEN.

Electrolytische corrosie kan worden versterkt door een verhoogd spanningsverschil tussen de electro-den. De hoeveelheid in oplossing gaande ionen per tijdseenheid is afhankelijk van de stroomsterkte.

Bij deformatie is de verplaatsing van de atomen ten opzichte van hun oorspronkelijke stand een maat voor de extra potentiële energie van deze atomen ten opzichte van elkaar, met als gevolg, een versneld corrosieproces.

De deformaties van de voering kunnen waarschijnlijk een rol in het corrosieve slijtageproces hebben. De grootste invloed hebben echter de deformaties tengevolge van de bewerking van het loopvlak van de cilindervoering.

Shaw heeft d.m.v. laboratoriumproeven de invloed nagegaan van de oppervlakteruwheid (dus bewerking) van het loopvlak op de corrosie. Praktisch is het onmogelijk bovenstaande invloed te bepalen, daar de totale slijtage een abrasieve en een corrosieve is.

Hij kwam tot de volgende conclusie door steeds de vorm van de ruwheid te bepalen. Indien verbrandingsproducten condenseren dan verzamelen zij zich, onder werking van adhaesieve krachten, in de dalen van het oppervlak. Hier heeft ook de sterkste bewerkingsdeformatie plaats gevonden. De aantasting begint hier snel en wel in twee voorkeurrichtingen (b.v. a en b, zie fig. 9A).

De hoek tussen richting a en richting b is constant voor een bepaald materiaal (afhankelijk van de kristalvorm) en een bepaald electrolyt. De heuvels worden zodoende ondermijnd (zie B) totdat ze uitbrokkelen en de corrosie opnieuw begint vanuit de nieuw gevormde dalen (C en D). De steek (C) van de oorspronkelijke ruwheid bepaalt dus de hoeveelheid materiaal, die per laag verloren gaat en moet dus zo klein mogelijk zijn.

Indien het oppervlak, behalve door corrosie, ook nog door wrijvende krachten wordt belast, worden de de heuvels afgebroken voordat deze geheel ondermijnd zijn. De vorm van de zo gevormde dalen is niet zo scherp, met als gevolg een minder sterk corrosief slijtageproces (E).

Oppervlakken blootgesteld aan wrijving en corrosie, vertonen volgens Shaw hierdoor minder slijtage dan door corrosie alleen, indien de mechanische slijtage verwaarloosd kan worden ten opzichte van de corrosieve.

Volgens het bovenstaande zou het dus beter zijn een motor zwaar te belasten, indien deze nog koud is; de praktijk wijst echter anders uit.

Om te bewijzen, dat metaalcorrosie versterkt wordt door de aanwezigheid van een elektrische gelijk-stroom, deed Bergenheim een proef met 6 koperen staven, elk in een metalen bak, gevuld met een oplossing van een deel zwavelzuur en twee delen water.

De proef duurde 46 uur. Van twee der staven werd de oplossing gedurende die tijd drie maal ververs, terwijl de staven zes maal afgeveegd werden, enigszins ter imitatie van de omstandigheden in de cilinder,

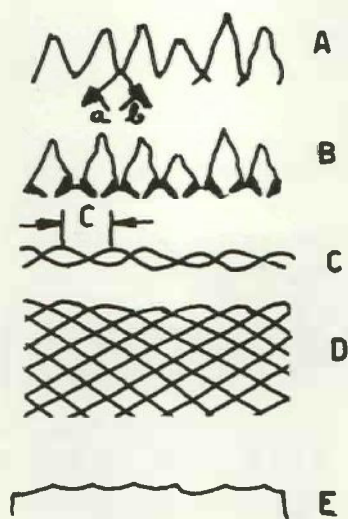


FIG. 9

waar de veren langs de voering strijken. Ter vergelijking werden twee andere staven niet atgeveegd en werd de oplossing niet ververst. De spanning, welke bij deze vier staven was aangelegd bedroeg 220 V. tussen staaf en bak. De overige twee staven waren niet met een stroombron verbonden, terwijl de ene geaard was en de andere niet. Het resultaat was, dat de beide eerstgenoemde staven een gewichtsafname vertoonden, welke 100% en de twee volgende, welke 20% groter was dan die van de beide laatstgenoemde (zonder aangelegde spanning).

Voor het ontstaan van een spanningsverschil tussen veren en voering geeft Bergenheim twee oorzaken, n.l.:

- a. De wanden van de verbrandingsruimte worden bij *explosieve* verbranding door verhitting en bestraling (ultra violet) tot electronen emissie gebracht. Hij toonde dit aan door een acetyleen brander op een geïsoleerd opgesteld stuk metaal te richten. Er trad onmiddellijk een spanningsverschil op van de orde van grootte van 100 - 400 mV. Tot nog toe is bij proeven en in de praktijk van een desbetreffende invloed op de slijtage niets gebleken.
- b. Onvoldoende isolatie van het elektrische net aan boord, met als gevolg het optreden van zwerfstromen. Hij constateerde dan ook verhoogde cilinderslijtage bij een in slechte toestand verkerende isolatie van het elektrische net.

Bergenheim heeft een reeks metingen verricht op diverse schepen. Hij mat verschil in spanning tussen schroefasleiding en scheepsromp en nam daarbij aan, dat een dergelijk spanningsverschil ook tussen zuigerveer en voering bestaat. Het spanningsverschil bij stilstaande motor was steeds nul.

Fig. 10 geeft de meetresultaten van deze proef, welke een evenredige toename van de slijtage bij toenemend spanningsverschil tussen schroefas en scheepsromp vertoonde, behalve in één geval (punt 14). Hier is de slijtage waarschijnlijk vooral mechanisch, met dus een metallisch contact tussen veren en voering en daardoor een klein spanningsverschil.

Laboratoriumproeven zijn nog nodig om deze hypothese te bevestigen.

SPANINGSVERSCHIL TUSSEN SCHROEFAS EN
SCHEEPSROMP.
(BERGENHEIM.)
CILINDERSLIJTAGE PER
1000 BEDRIJFSUREN

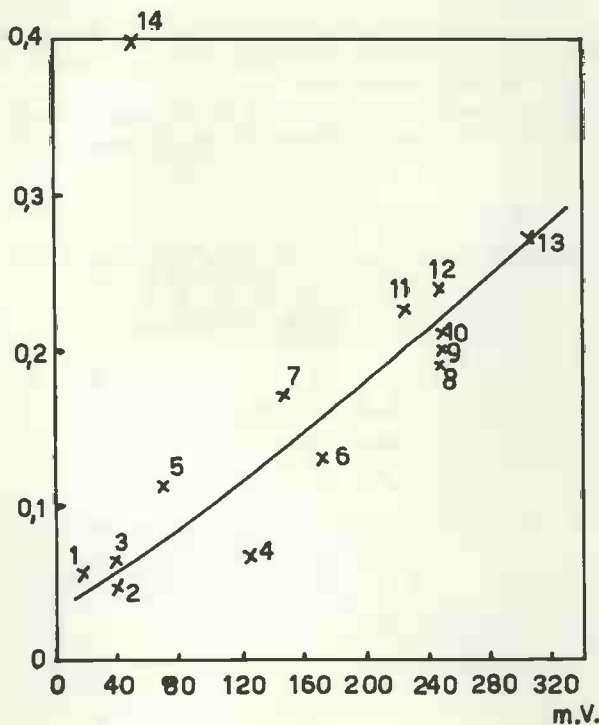


FIG: 10

III. INVLOED VAN MATERIAAL, BEWERKING EN MOTORCONSTRUCTIE OP DE SLIJTAGE.

A. INVLOED VAN HET MATERIAAL.

De slijtvastheid van veren en cilinderwand hangt af van:

- a. de structuur
- b. de samenstelling en
- c. de hardheid van het materiaal.

a. STRUCTUUR.

De cilindervoeringen en veren zijn praktisch altijd van grijs gietijzer. In het algemeen wordt aangenomen dat een *perlietstructuur* slijtvaster is dan een ferrietstructuur of een perliet-ferrietstructuur, zulks op grond van laboratoriumproeven.

Hoegh geeft aan:

voor zuigerveren een fijn lamellaire perlietstructuur of ook wel sorbiet, voor cilindervoeringen een wat grovere structuur dan die van de zuigerveren. In ieder geval *geen* sorbiet.

Vele gietijzersoorten voor cilinders hebben tegenwoordig een martensietische structuur (verkregen door warmtebehandeling of t.g.v. legeringselementen, daar hiervan een betere slijtvastheid verwacht wordt. De meningen hierover lopen echter uiteen.

De *grafietstructuur* moet regelmatig verdeelde lamellen vertonen. Voor de zuigerveren fijn verdeeld, voor de cilindervoeringen wat grover, afhankelijk van de afmetingen van de cilinders.

Wat betreft de korrelgrootte kan P.S. Lane aangehaald worden:

In Amerika geeft men boven een fijn 100% perlietstructuur de voorkeur aan een perlietstructuur met een wat grovere grafietafscheiding. Verstoringen in de slijtvlakken dringen dieper door bij grof- dan bij fijnkorrelig g.i.j., maar het herstellend vermogen van het oppervlak is bij een wat grovere grafietafscheiding groter.

De *phosphiden* moeten als een krachtig, fijn verdeeld en goed gesloten netwerk aanwezig zijn; voor de veren fijn, voor de voering grover.

b. SAMENSTELLING (vnl. volgens English en Hoegh).

De samenstelling van het gewone g.i.j. voor cilindervoeringen van scheepsdiesels varieert meestal tussen:

C:2,8-3,5%; Si:0,8-1,1% (en meer); P:0,2-0,4%; S:0,1-0,15% ongewenst; Mn:0,7-1,0%, om S te binden.

De invloed van deze elementen afzonderlijk wordt hieronder behandeld:

Koolstof.

De grafietstructuur (perliet) is afhankelijk van het percentage C, de legeringselementen, de oververhittingscondities van de smelt, de mate van afkoeling van het gietstuk en het percentage Si.

Het gehalte C varieert afhankelijk van de gebruikte oven.

Silicium.

Aanwezig als Si-ferriet maakt het op zich zelf het g.i.j. hard, bros en minder corrosievast. Het heeft echter een sterk grafietvormende werking, zodat het per slot het g.i.j. verzwakt. Si wordt alleen gebruikt om de invloed hiervan op de grafietstructuur.

Het toegepaste Si-gehalte hangt af van het C-gehalte (weinig C, relatief veel Si), de materiaaldikte en de afkoelingscondities (dikke, langzaam koelende stukken: minder Si).

Fosfor.

Komt voor als steadiet, dat het laatst stolt en dus naar de korrelgrenzen wordt gedroegen. Het is hard en maakt het g.i.j. door het netwerk langs de korrelgrenzen bros. Deze netstructuur is zeer gunstig voor de slijtvastheid van de cilindervoering.

Piwowsky geeft op, dat de slijtvastheid toeneemt met toenemend P-gehalte (tot ong. 1% P) bij gunstige grondmassastructuur. Voor scheepsdiesels adviseert hij niet hoger te gaan dan 0,8%, vanwege de sterkte. Als regel houdt men het P-gehalte tussen 0,2 - 0,4%.

Zwavel.

Zwavel is een ongewenst element, van de productie afkomstig. Het gehalte moet zo laag mogelijk gehouden worden (kleiner dan 0,15%).

Mangaan.

In eerste instantie toegevoegd om S te binden, daar MnS geen invloed heeft op de kwaliteit van het g.i.j. Praktisch gebruikt men meer. Het teveel vorm Mn_3C of dubbelcarbiden met Fe, welke een hardende invloed hebben op de grondmassa.

Boven 0,8% werkt Mn perliet-vormend. De temperatuurbestendigheid is niet goed, zodat voor hoge temperaturen het g.i.j. niet teveel Mn mag bevatten.

De legeringselementen.

Gewoon grijs g.ij. kan bij oordeelkundige behandeling uitstekende eigenschappen hebben voor cilindervoeringen en zuigerveren. Legeren wordt toegepast om de mechanische- en chemische eigenschappen te verbeteren.

Chroom.

Dit element is een uitgesproken carbidevormer en werkt daardoor hardend. De carbiden zijn goed temperatuurbestendig.

Cr werkt structuur verfijnend. Duidelijke slijtagevermindering treedt op bij meer dan 0,3% Cr. Boven 0,7% Cr wordt de bewerkbaarheid moeilijk.

Nikkel.

Ni heeft dezelfde invloed als Si op het grafiët. Het maakt de perliët fijner en de grondmassa harder. Volgens Knittel heeft Ni zelf geen directe invloed op de slijtvastheid, wel *indirect* door structuurverbetering.

Ni-Cr.

De combinatie Ni-Cr wordt gebruikt om een goede structuur met een grotere hardheid te verkrijgen. Volgens Knittel wordt de structuurverbetering door het Ni en de betere slijtvastheid door het Cr verkregen. De verhouding zou moeten zijn:

$$\text{Ni:Cr} = 1:2\frac{1}{2} \text{ tot } 1:\frac{1}{4}$$

Vanadium.

V is sterk carbidevormend. De verhoogde slijtvastheid is bij kleine toevoegingen (ca. 0,3%) reeds merkbaar.

Bij gehalten boven 0,3% werkt het structuurverfijnend, maar wordt ook het ongunstige globulaire perliët gevormd.

Titaan.

T werkt sterk grafiëtvormend in hoeveelheden kleiner dan 0,2%.

Molybdeen.

Mo is een sterke carbidevormer; deze carbiden zijn zeer temperatuurbestendig.

Mo werkt sterk structuur-verfijnend. Naar verhouding werken kleine percentages reeds slijtageverminderend.

Mo wordt vaak in combinatie met Cr gebruikt, waardoor het g.ij. bij hogere temperatuur slijtvaster blijft.

Een overzicht van de invloed van de elementen op de slijtage geven de proefresultaten van Eagan.

Proefvoeringen werden geplaatst in een groot aantal motoren van hetzelfde type (4-takt, onopgeladen), welke onder verschillende omstandigheden werkzaam waren. Met name op olievelden in een stoffige atmosfeer, in vissersschepen in een corrosieve atmosfeer (zeewater) en in rangeerloco's onder sterk variërende belasting.

De samenstellingen van de voeringen worden in onderstaand lijstje gegeven:

Voering	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Ni%	Cu%	Cr%	Mo%
A	3,00- 3,30	1,15- 1,35	0,90- 1,10	0,20 max	0,12 max		0,80- 1,10		
B	3,40 max	1,50 max	0,90 max	0,35- 0,50	0,13 max				
C	2,85- 3,30	1,25- 1,75	1,00 max	0,20 max	0,12 max	1,00- 1,50		0,30- 0,40	0,25- 0,35
D	2,80- 3,10	4,60- 5,00	0,80 max	0,20 max	0,12 max			1,90- 2,20	
E	3,10- 3,40	3,30- 3,70	0,80- 1,00	0,40 max	0,12 max			1,20- 1,50	
F	3,30- 3,40	1,75- 2,00	0,90- 1,10	0,20 max	0,12 max				0,40- 0,50
G	3,00- 3,20	1,15- 1,35	0,90- 1,10	0,20 max	0,12 max				

Proefresultaten:

Voering	Aantal beproefde voeringen	Proefuren	Gem. slijtage mm/1000h	Bijzonderheden
A	28	8340	0,145	Veel koper ter verfijning van de structuur.
B	19	20200	0,030	Hoog gehalte aan P.
C	4	4500	0,023	Gelegeerd met Ni, Cr en Mo.
D	6	27746	0,025	Hoog Si-gehalte; hoog Cr-gehalte om grafietvorming door Si tegen te gaan.
E	30	19514	0,016	Hoog Si en Cr-gehalte; een hoog P-gehalte voor gemakkelijk gieten.
F	3	8000	0,051	Hoog C en Si-gehalte (groot aantal grafiet lamellen). Veel Mo ter versteviging der structuur.
G	2	67770	0,010	Olie gehard en getemperd tot 415 Br.

c. HARDHEID.

De hardheid op zich zelf is geen maat voor de slijtvastheid, wel het hardheidsverschil van de twee slijtende oppervlakken. Men heeft vaak opgemerkt dat het zachte materiaal het minst sleet.

Laboratoriumproeven met droge wrijving brachten Knittel tot de volgende conclusie:

Bij *gelijke* hardheid van beide delen is de slijtage minimaal; deze neemt af met toenemende hardheid, wanneer de structuur daarbij tevens slijtvaster wordt.

Het slijtsel van het harde oppervlak bedt zich volgens Knittel in het zachtere oppervlak en beschermt dit laatste.

De hardheid kan wel een aanwijzing zijn voor de slijtvastheid, daar deze tot op zekere hoogte toeneemt met het fijner worden van de structuur, waarmee ook doorgaans een hardheidstoename gepaard gaat.

Men moet er rekening mee houden dat bovenstaande conclusie getrokken is uit de resultaten van laboratoriumproeven met droge wrijving. Andere onderzoekers zijn echter bij laboratoriumproeven over smering tot dezelfde conclusie gekomen.

Hieronder is een grafische voorstelling gegeven van de proeven van Knittel:

Volgens Hoegh ligt de hardheid van de voeringen van scheepsdiesels tussen 200 en 225 Br. Als regel zijn de zuigerveren iets harder dan de voering.

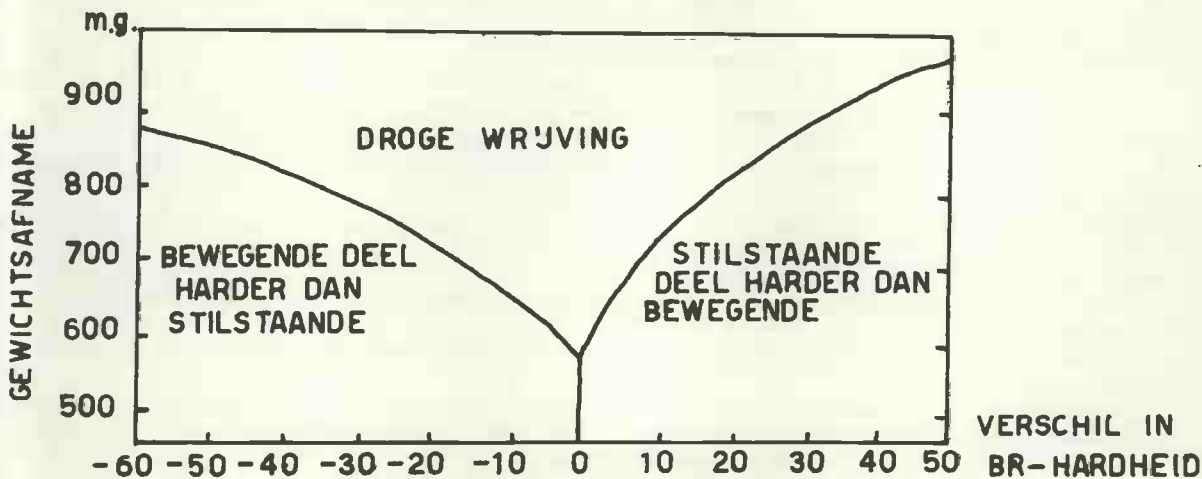


FIG: 11

B. INVLOED VAN DE BEWERKING.

14 MECHANISCHE BEWERKINGEN.

Elke snijdende bewerking brengt een storing te weeg in de vorm van scheurtjes in het materiaal, die dieper doordringen dan de kruldikte en des te meer naar mate de bewerking ruwer is.

Deze wijzigingen in het materiaal zijn in perlietisch g.ij. funester dan in minder hoogwaardig g.ij. Bij nabewerken moet deze laag weggenomen worden, omdat ze de slijtvastheid sterk vermindert.

Afhankelijk van structuur en hardheid verschilt de invloed van de nabewerking op de loopeigenschappen van het oppervlak, al naar gelang de veranderingen door de nabewerking meer of minder diep doordringen.

De gebruikte nabewerkingsmethoden zijn in het algemeen:
fijndraaien,
slijpen,
honen (lappen).

Zacht materiaal vormt gemakkelijker een goed slijtagevast oppervlak dan hard, omdat de oneffenheden van het zachtere materiaal plastisch gedeformeerd worden tot het gewenste materiaaloppervlak. Van harde materialen kunnen de oneffenheden uitbrokkelen.

De nabewerking moet niet alleen op een hoge graad van gladheid gericht zijn, maar moet aangepast worden aan het materiaal en de condities waarbij het gebruikt wordt.

Andere methoden van oppervlakbehandeling, welke de slijtvastheid van de voeringen verbeteren zijn:

Nitreren.

Hiervoor zijn bepaalde g.ij.-soorten ontwikkeld.

Volgens Hoegh is de genitreeerde laag ca. 0,8 mm diep en heeft een hardheid van 1000 Br. Volgens English zijn deze waarden: 0,35 - 0,55 mm en 800 Br.

Genitreeerde voeringen zijn reeds bij tractiemotoren veel toegepast. Berichten aangaande de resultaten lopen wel uiteen maar zijn niet ongunstig.

Hard verbromen.

Hierbij wordt een chroomlaag electrolytisch op de cilinderwand aangebracht. Volgens sommigen heeft een poreuze chroomlaag voordelen. De chroomlaag is ca. 0,4 mm dik en heeft een hardheid van 570-1250 Br (slechts vergelijkend, daar de Br-methode niet geschikt hiervoor is).

De chroomlaag is hard en slijtvast, glad te bewerken zodat de wrijvingscoëfficiënt laag is, goed temperatuurbestendig en corrosievast.

Over het algemeen zijn de berichten over de resultaten gunstig. Het aanbrengen van de chroomlaag moet zeer nauwkeurig geschieden, daar het hechten van de chroomlaag afhankelijk is van vóórbewerking, structuur en temperatuur van het g.ij.-oppervlak.

C. INVLOED VAN DE MOTORCONSTRUCTIE.

Type motor.

De slijtage per 1000 uur is bij 2-tact motoren gemiddeld 2 maal zo hoog als bij 4-tact motoren (Hoegh, Payne en Joachim). Bij 4-tact motoren kan een betere spreiding van de olie over de cilinderwand bereikt worden tijdens aanzuigslag. De voornaamste oorzaak van de grotere slijtage bij 2-tact motoren is, dat per omwenteling een arbeidsslag plaats vindt.

Er is geen typisch verschil gevonden tussen de slijtage in trunkzuigermotoren en kruiskopmotoren.

Bij dubbelwerkende motoren geeft de onderzijde van de cilinder in het algemeen hogere slijtagecijfers te zien dan de bovenzijde. Dit is te wijten aan de minder goede verbranding in de onderzijde, daar hier een goede verdeling van de brandstof over de verbrandingsruimte moeilijker bereikt wordt, dan in de bovenzijde.

Zuigerveren.

Er zijn zeer vele constructies en vormen van zuigerveren ontwikkeld om de slijtage te verminderen; vooral voor snellopers.

Eweis komt door zijn proeven tot de conclusie, dat de veren aan de benedenkant afgerond, aan de bovenkant scherp moeten zijn.

Hoegh ziet in het gebruik van Duplex-veren grote voordelen boven het gebruik van gewone Ramsbottom veren.

Pennington is in verband met scuffing voorstander van vele smalle veren. Ook Ash deelt dit standpunt, daar men dan een betere drukverdeling over de veren verkrijgt. Williams vond dat bij benzine-motoren de slijtage minder werd bij hogere zuigerveren.

Ash deelt verder mede dat de afstand van bovenste veer tot bovenkant zuiger niet te klein mag zijn en dat de zuigerveren gemakkelijk geïnspecteerd moeten kunnen worden.

Volgens Hoegh heeft de constructie van het veerslot niet veel invloed op de slijtage.

Lane heeft nog proeven gedaan met een bepaalde constructie zuigerveer n.l. de "Gold-Seal" veer. Dit zijn g.ij. veren met een uitstekende bronzen ring aan het loopvlak (fig. 12).

FIG: 12.



Door de aanvankelijk uitstekende bronzen ring is tijdens het inlopen de vlaktedruk hoger dan daarna, waardoor een goede afsluiting, zowel gedurende deze periode als na het inlopen, bereikbaar schijnt te zijn. Voor grotere veren worden wel eens twee bronzen ringen toegepast. Op de cilinderwand wordt tevens een bronzen metaalfilm gevormd, die de wrijving en scuffing sterk reduceert.

De proefresultaten in een hulpdiesel (diam 317,5 mm; slag 336,5 mm) waren:

	slijtage na 1450 uur
Gold-Seal veer	: 0,00225" (0,057 mm)
Normale g.ij. veer	: 0,00370" (0,094 mm).

Smeerolie-toevoer.

In de wijze waarop de smeerolie wordt toegevoerd is geen vaste lijn te onderkennen. De ene fabrikant past veel, de ander slechts een paar smeerpunten toe.

Hoegh beveelt aan, voor elk een afzonderlijke pomp toe te passen. De punten mogen niet te ver van elkaar liggen en de smeergroeven mogen niet horizontaal liggen.

Olie bescherming van het loopvlak is juist in het B.D.P. het meest nodig. Het plaatsen van de smeerpunten in het B.D.P. heeft echter enige nadelen (veel olie gaat ongebruikt verloren, hoge druk en temp. achter de veren), zodat de smeerpunten ook wel in het O.D.P. geplaatst worden.

Timing van de olieinjectie is volgens Pounder zeer belangrijk. Hij geeft aan dat de injectie het beste in het O.D.P. kan geschieden en wel voor een boring tot 550 mm met twee smeerpunten en met vier punten voor boringen van 750 mm.

Ofschoon de meningen over de waarde van oliegroeven verdeeld is, heeft de praktijk uitgewezen, dat oliegroeven een gunstig effect op de slijtage hebben.

IV. INVLOED VAN BRANDSTOF EN SMEEROLIE OP DE SLIJTAGE.

A. INVLOED VAN DE VERBRANDING.

In het algemeen is te verwachten dat verbranding en de wijze, waarop deze plaats heeft, van invloed kan zijn op de slijtage. Cijfers over deze invloed zijn echter niet vermeld in de publicaties, welke voor deze studie zijn gebruikt.

Het betreft hier de invloed van het inspuitsysteem, het spoelsysteem, de vorm van de verbrandingsruimte, de wandtemperatuur in deze ruimte, de luchtvermaat, enz. op de slijtage.

B. INVLOED VAN DE BRANDSTOF.

De brandstof, met zijn chemische- en fysieke eigenschappen, heeft directe invloed op de slijtage, die ontstaan kan door:

Neerslaan van de brandstof op de wanden en wegwassen van de smeerolie van het loopvlak.

Neerslag van kooldeeltjes en lak op kleppen, zuiger, veren en cilinderwand, met als gevolg gaslek en oververhitting.

Vorming van corrosieve verbrandingsproducten met voortschrijdende corrosie gedurende elke verbrandingsslag.

Grote gassnelheden, die tijdens de verbranding kunnen voorkomen en die wegslaan van de smeerolie van het loopvlak, alsmede gas-erosie tot gevolg kunnen hebben.

De voornaamste brandstofeigenschappen, die van invloed zijn op de verbrandingskwaliteiten en, indirect, op de cilinderslijtage zijn:

1. *Cetaangetal*, als maat voor het ontstekingsuustel en de ruimteverdeling van het brandstof-luchtmengsel bij het begin van de verbranding,
2. *Viscositeit*, die de brandstofstraal-penetratie, verstuiving en brandstofverdeling beheerst,
3. *Zwavelgehalte van de brandstof*, alsmede de vluchtigheid van de brandstof, het Conradson-getal en de onzuiverheden in de brandstof.

De invloed van het cetaangetal, de viscositeit en het zwavelgehalte worden hieronder afzonderlijk behandeld.

1. *Betreffende het Cetaangetal.*

Cloud en Blackwood hebben uitgebreide proeven gedaan met brandstoffen met verschillende cetaangetallen en met zoveel mogelijk gelijke andere eigenschappen, n.l.:

Brandstoffen	motor			viscositeit bij 100° F.	cetaan- getal	S %
	A	B	C			
Basis brandstof	x	x	x	35,0	54	0,23
Proef brandstof no. 28			x	35,2	36	0,23
" "			x	35,2	44	0,23
Brandstof no. 30		x		36,8	32	0,25
" " 35		x		35,4	37	0,24
" " 36		x		35,5	46	0,23
" " 38		x		35,6	38	0,25
" " 12		x		35,3	50	0,20
" " 40			x	35,9	65	0,27
" " 2		x	x	33,0	38	0,82
" " 2 met 2,5% isobutylnitrat			x	33,0	51	0,82

Gebruikte motoren:

	A	B	C
Fabrikaat	Hercules	General Motors	Caterpillar
Model	DJ.BL	3-71	proefmotor
Type	4-tact	2-tact	4-tact
Aantal cil.	6	3	1
Cil. diam.	89 mm	108 mm	146 mm
Slag	114 mm	127 mm	203 mm
Compressieverh.	15	16	16
Eff. vermogen	77 pk	83 pk	16,7 pk
Toeren	2600	2000	850
Eff. gem. druk	7,14 kg/cm ²	4,90 kg/cm ²	5,25 kg/cm ²

Beproevingsoomstandigheden

Motor A en C:

afwisselend: 3 min. onbelast
7 min. 90% belast

Motor B:

toeren constant 120% belast.

Beproevingduur: 80 uur.

Beproevingresultaten:

Bij verschillend cetaangetal was bij deze drie motoren geen noemenswaardig verschil in slijtage van cilinder en zuigerveren te zien. Wel was de invloed op de totale vervuiling van de motor merkbaar, zie fig. 13.

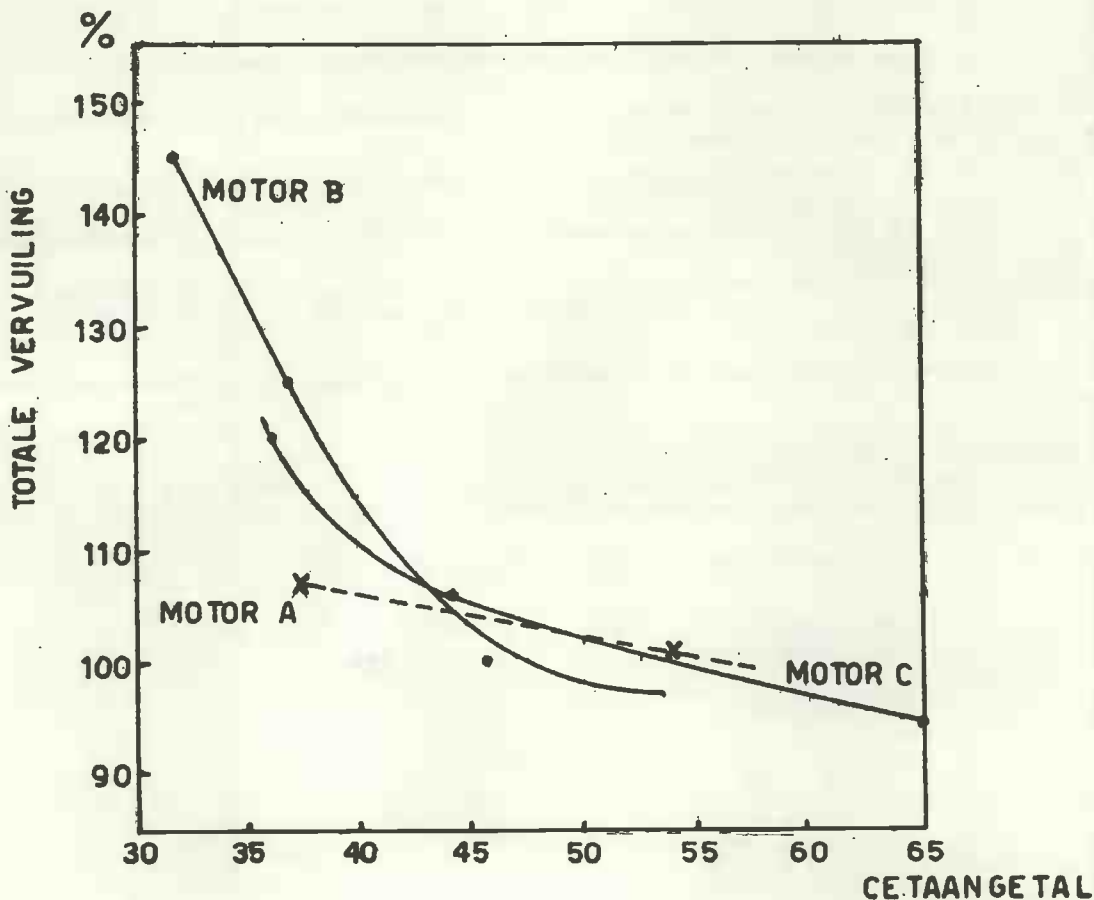


FIG: 13.

Volgens Bergenheim neemt de cilinderslijtage toe bij brandstoffen met hogere cetaangetallen. hij baseert dit op vergelijking van slijtagecijfers van de hoofdmotoren van schepen van de Broström Lines, gedurende de jaren 1935-1948 en verschillende brandstofeigenschappen in deze periode. In de jaren met de minste gemiddelde cilinderslijtage bezitten de toegepaste brandstoffen de laagste cetaanwaarden.

Zet men echter het cetaangetal uit op de cilinderslijtage, dan is het beeld niet zo overtuigend meer (fig. 14). Praktijkproeven zijn echter niet altijd overtuigend, daar vele andere factoren een rol gespeeld kunnen hebben.

Philipovitch geeft aan als beste cetaangetal voor de verbranding in motoren:

tot 500 omw/min. cetaangetal 26
„1200 „ „ „ 25-39.

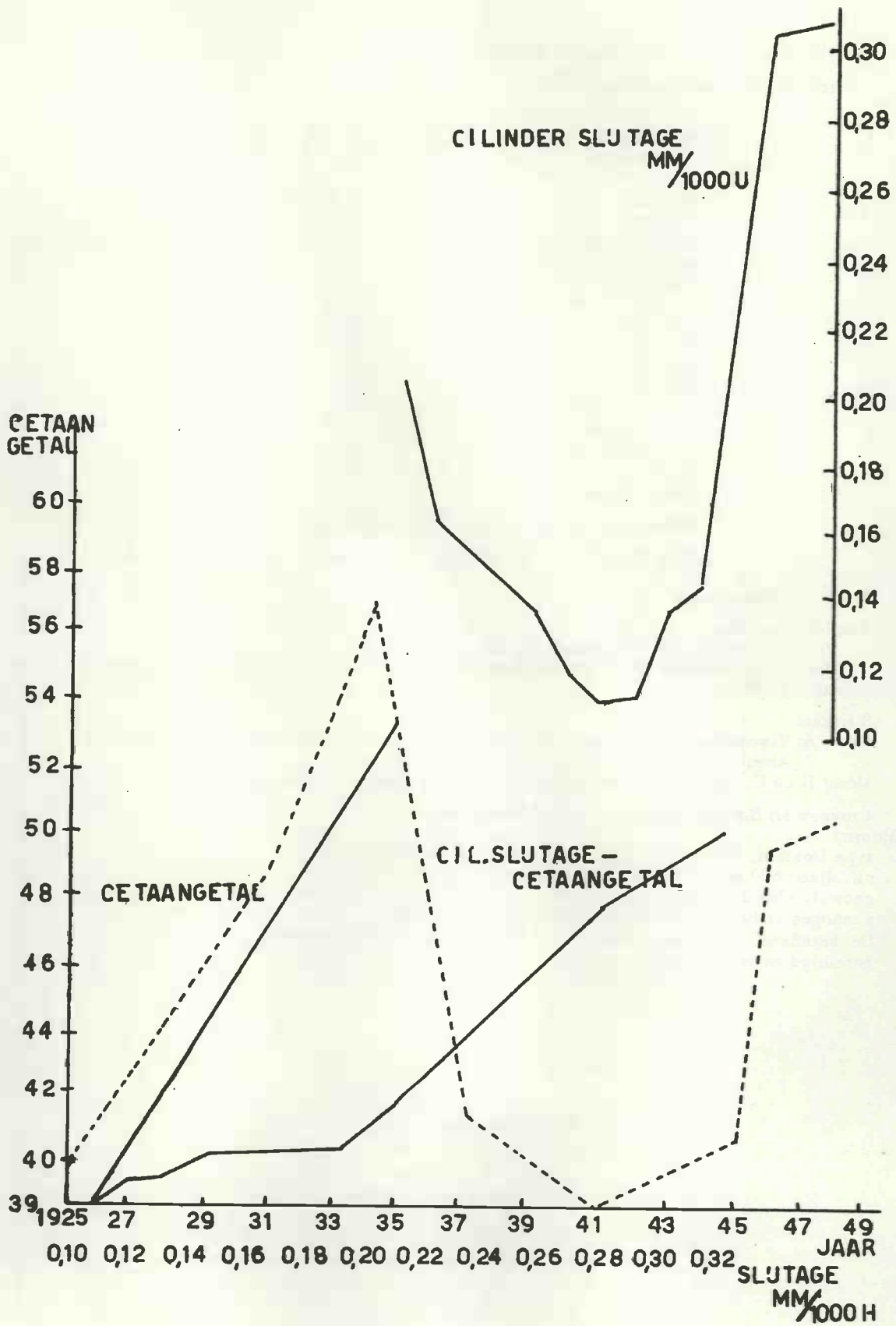


FIG: 14

2. Betreffende de viscositeit van de brandstof.

Proeven van Cloud en Blackwood.

Brandstoffen	motor			visc. bij 100°F. SUS	Cet. get.	S %
	A	B	C			
Kerosine	x	x		30,2	49	0,10
Fuel 10	x			35,3	49	0,15
Fuel 10 heavy lube	x			35,5	50	0,14
Kerosine light lube			x	34,9	54	0,23
Fuel 26		x		35,4	50	0,41
Fuel 27		x		66,0	52	0,39
Fuel 34			x	35,4	52	0,53
Fuel 37			x	39,6	54	0,52
Fuel 39			x	44,5	56	0,52
Fuel 42			x	32,3	50	0,54
Reference fuel	x	x	x	35,0	54	0,23
75:25 ref. fuel						
heavy gasoil	x			37,6	55	0,30
50:50 „ „	x			40,3	56	0,38
Heavy gasoils	x			51,0	58	0,53

Nummering van de brandstof naar Blackwood.

Voor de gebruikte motoren en beproevingsomstandigheden zie blz. 19

Beproevingresultaten:

Totale vervuiling.

Voor motoren A en C zie gratiek fig. 15.

Motor B is beproefd met 3 brandstoffen met viscositeiten van 35-66 waarbij geen verschil in totale vervuiling optrad.

Slijtage:

Motor A: Viscositeitsverandering had geen invloed op de cilinderslijtage. Verandering van de viscositeit van 35 tot 40 *verdubbelde* de veerslijtage.

Motor B en C: Geen noemenswaardige invloed op cilinder- en veerslijtage.

Proeven bij Barclay, Curle met zware brandstof.

Motor:

type Doxford, 3 cil.

cil. diam: 600 mm

gecomb. slag 2320 mm

vermogen gedurende de proeven, enz. zie lijst blz. 32.

De brandstof, Shell Mex., viscositeit Redwood I:3500/100 F, werd in een purifier en een clarifier gereinigd en voorgewarmd.

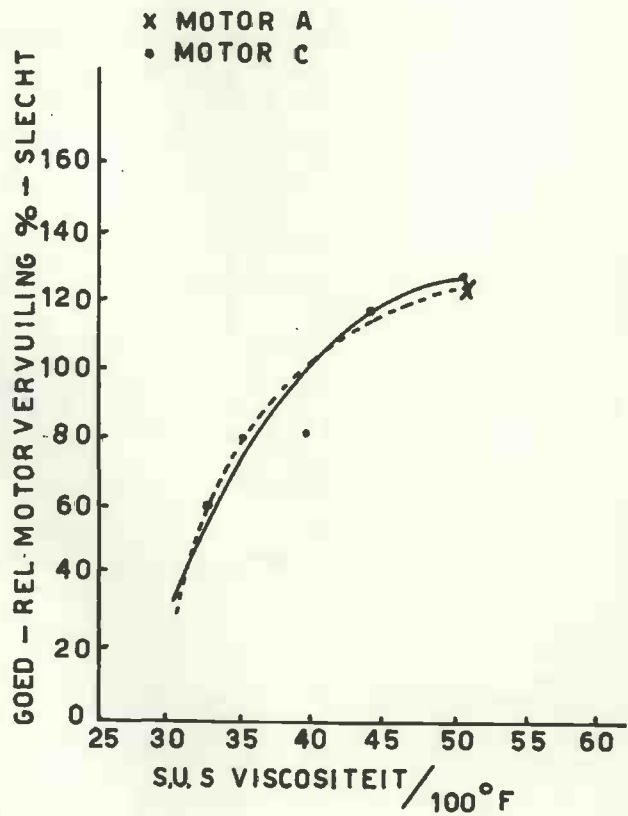


FIG: 15

Brandstofanalyse:

- 1: Olie uit tank
- 2: Olie uit purifier
- 3: Olie uit clarifier

	No. 1	No. 2	No. 3
Soort.gew bij 60°F	-	-	0,964
Flash point close P.M.	-	-	190°F
" " open	-	-	254°F
Fire point	-	-	286°F
Viscositeit Redwood I/100°F	-	-	3195 sec
" " I/140°F	-	-	734 "
" " I/180°F	-	-	245 "
Carbon	-	-	85,40%
Hydrogen	-	-	11,00%
Oxygen	-	-	0,80%
Nitrogen	-	-	0,37%
Sulphur	-	-	2,36%
Ash	0,10	0,08	0,07%
Water	0,40	traces	traces
Bruto verbrandingswaarde	-	-	10200 cal
Netto " "	-	-	9606 cal

Sludge analyses:

	Uit purifier	Uit clarifier
water	26,65%	7,35%
olie	61,30%	82,70%
residu	12,05%	9,95%
	<u>100 %</u>	<u>100 %</u>

Analyse van het residu:

	Uit purifier	uit clarifier
Silicium	8,40	3,80 %
Aluminium	3,85	2,15 %
IJzeroxyde	16,45	4,05 %
Calcium oxyde	1,32	0,27 %
Magnesium	1,08	0,26 %
Koperoxyde	0,40	0,12 %
Zinkoxyde.	sporen	sporen
Zwavelzuuranhydride (SO ₃)	0,55	0,52 %
Na chloride	0,46	0,67 %
Vrij koolstof (en geb.water)	67,49	88,16 %
	100 %	100 %

Slijtage gegevens.

Veerslijtage:

De slotverwijding, gedurende de totale proeftijd (23½ uur) bedroeg gem. 0,6 mm voor de bovenste veren en 0,2 mm voor de onderste veren. Deze cijfers komen overeen met een radiale slijtage van 0,2 mm en 0,07 mm per 23½ uur.

Proeven bij British Tankers Co.

a. ms "British Liberty":

Hoofdmotor: 2-tact Doxford motor, 4 cilinders.

cil. diam: 600 mm

totale slag: 2320 mm

dienstvermogen: 3200 bhp bij 105 omw/min

Toegepaste brandstof: A.I.O.C. furnace oil

visc.: 400 sec. Redwood I bij 100°F.

Brandstofleiding systeem:

De olie wordt na de settle tank gereinigd door purifier en clarifier en naar de hoog geplaatste clean oil tank gestuwd. Vandaar stroomt ze via een brandstof-stoomverhitter en een filter naar de hoofdbrandstofpomp van de motor.

Verstuivergaatjes: 5 maal 0,025"; verstuiver watergekoeld

Gem. dagelijks brandstofverbruik: 11-12 ton

Cilindersmeerolie: Shell Talpa 30

Gem. dagelijks smeerolieverbruik: 6,5 gallons (29,5 L.)

Slijtagegegevens:

Totaal aantal diensturen: 5340

Totale slijtage in inches:

A = tot onderkant bovenste zuigerveer

B = 3" onder A

C = 6" onder A

Cil.No.	1		2		3		4	
	boven	ben.	boven	ben.	boven	ben.	boven	ben.
Origin. cil. diam.	23,618"		23,619"		23,618"		23,627"	
A langssch:	0,046	0,019	0,054	0,021	0,033	0,027	0,049	0,029
A dwarssch:	0,053	0,022	0,055	0,020	0,039	0,029	0,056	0,025
B langssch:	0,029	0,014	0,024	0,010	0,019	0,009	0,035	0,013
B dwarssch:	0,039	0,019	0,036	0,014	0,025	0,014	0,044	0,016
C langssch:	0,026	0,022	0,026	0,009	0,019	0,013	0,038	0,023
C dwarssch:	0,046	0,033	0,042	0,017	0,027	0,019	0,046	0,024
Totaal	0,239	0,129	0,237	0,091	0,162	0,111	0,268	0,130
Gem. slijtage:	0,040	0,021	0,039	0,015	0,027	0,018	0,045	0,022
Gem. sl/1000 u:	0,0073	0,0039	0,0073	0,0028	0,0050	0,0035	0,0084	0,0041

Opmerking:

De gemiddelde slijtage van alle vier de cilinders „boven" wordt ong. 0,007" /1000 uur (0,177mm/1000 uur).

Bij drie zusterschepen met een hoofdmotor van dezelfde afmetingen werd een gemiddelde cilinderslijtage opgemeten van 0,0051"/1000 uur (0,129 mm/1000 uur) met, als brandstof, "diesel fuel".

b. ms "British Strength":

Hoofdmotor: 4-tact e.w. Harland & Wolff met drukvulling;

6 cilinders.

Cilinder diameter: 740 mm

Slag : 1500 mm

Dienstvermogen : 3200 bhp bij 115 omw/min.

Brandstofleiding systeem: zie ms "British Liberty".

Verstuiver: watergekoeld.

Verstuivergaatjes: 6maal 0,047".

Toegepaste brandstof: A.I.O.C. Furnace Oil.

Gem. dagelijks brandstofverbruik: 11,4 ton.

datum	haven	ton	spec. gew.	visc. Redw. I:100° F.
26-7-49	Swansea	50	0,93/60° F.	1405
17-8-49	Suez	101,2	0,923/48° C.	1200
8-4-49	Abadan	200	0,9265/60° F.	350
22-9-49	Abadan	260	0,934/60° F.	430
15-10-49	Abadan	300	0,9305/60° F.	385
27-11-49	Suez	130	0,931/30° F.	820
12-12-49	Abadan	440	0,929/60° F.	345
6-1-50	Teneriffe	200	0,929/60° F.	420

Cilindersmeerolie: Shell Talpa 40

Gem. dagelijks verbruik: 6 gallons (27 liter).

Slijtage gegevens:

A = tot onderkant bovenste zuigerveer

Totaal aantal diensturen: 9019

B = 3" onder A

Totale slijtage in inches:

C = 6" onder A

Cil. no.	1	2	3	4	5	6
Origin. cil. diam.	29,133	29,133	29,133	29,133	29,133	29,133
A langssch:	0,056	0,114	0,090	0,054	0,077	0,100
A dwarssch:	0,046	0,096	0,075	0,046	0,084	0,091
B langssch:	0,045	0,115	0,079	0,045	0,066	0,092
B dwarssch:	0,041	0,088	0,095	0,041	0,068	0,083
C langssch:	0,040	0,077	0,067	0,040	0,054	0,032
C dwarssch:	0,037	0,078	0,068	0,040	0,048	0,067
Totale sl.:	0,265	0,568	0,474	0,266	0,397	0,465
Gem. slijtage:	0,044	0,095	0,079	0,044	0,066	0,077
Gem. sl/1000 u:	0,0049	0,0105	0,0078	0,0049	0,0073	0,0086
Gem. slijtage der 6 cilinders: 0,0073"/1000 uur (0,185 mm/1000 u).						

Opmerking:

Van cil 6 is ook een tussentijdse slijtagemeting verricht.

Cil. 6 na 1664 draaiuren gem. slijtage 0,0178"/1000 h (0,45 mm/1000 u)

Cil. 6 na 9019 draaiuren gem. slijtage 0,0087"/1000 h (0,22 mm/1000 u)

D.w.z. over de tweede periode (7355 draaiuren) is de slijtage snelheid minder dan de helft t.o.v. de eerste periode.

Proeven door de Anglo-Saxon Petroleum Co.

Vaarroute Engeland-Curacao.

m.s. "Auricula".

Hoofdmotor Hawthorn, Leslie-Werkspoor.

type KMWS 8 . 650 . 1400

Vermogen: 4000 ihp/115 omw/min.

Vuldruk: 0,385 kg/cm²

Uittrede temp. koelwater cil.: 54° C.

Uittrede temp. koelwater zuiger: 29° C.

Brandstofgegevens:

De brandstof werd eerst goed gefiltreerd en gecentrifugeerd in een purifier en een clarifier, die ontwikkeld waren door Alfa-Laval en Co.

Enkele specificaties van de gebruikte brandstoffen:

Spec. gew.	0,954	0,973	0,963	0,975
Viscositeit Redw.I/100 ^o F.	1223	1220	1204	1472
Ontvl. punt (gesloten) ^o C.	72	85	100	80
Conradson getal	9,35	8,7	8,8	10,8
Zwavelgehalte	2,00	2,45	2,49	2,59
Asphaltene	4,70	-	-	-
As	0,07	0,04	0,03	0,05
Water vol. %	0,50	0,25	0,05	0,02

Temperatuur brandstof aan de brandstofpomp: 75^oC.

Brandstofbooster druk : 1,75 kg/cm²

Inspuitdrukken : gem. 380 kg/cm²

Gem. brandstofverbruik : 140 gr/ipkh

Slijtage gegevens:

Cilinder slijtage:

Totaal aantal bedrijfsuren: 6136 uur

Gedraaid op dieselolie : 722 uur

Gedraaid op stookolie : 5414 uur

Totale gem. slijtage ter plaatse A (fig.16):

Cil. no. 3: 0,665 mm of 0,109 mm/1000 uur

Cil. no. 4: 0,664 mm of 0,109 mm/1000 uur

Cil. no. 5: 0,770 mm of 0,126 mm/1000 uur

Cil. no. 6: 0,495 mm of 0,081 mm/1000 uur

Gemiddelde slijtage der vier cilinders: 0,104 mm/1000 uur.

Zie voor slijtage over de hoogte van de cil.voering van de "Auricula" fig.16. Opmerkelijk is, dat de slijtage pas beneden E snel begint af te nemen.

Slijtage aan de veren:

De radicale slijtage aan de veren bedroeg voor de cilinders 3, 4, 5 en 6:

voor de bovenste veren: 5,80-4,35 mm of 0,946-0,710 mm/1000 h.

voor de onderste veren: 3,05-2,50 mm of 0,498-0,407 mm/1000 h.

De slotverwijding bedroeg:

voor de bovenste veren: 33,5-25,5 mm of 5,45-4,16 mm/1000 h.

voor de onderste veren: 17,0-14,5 mm of 2,78-2,36 mm/1000 h.

Slijtage gegevens over de periode 26 Juni '48 - 12 Mei '49

Bedrijfsuren op stookolie (Ordoil) : 6079 uur

Bedrijfsuren op dieselolie : 2678 uur

Totaal : 8757 uur

Gegevens stookolie:

soortelijk gewicht: 0,953/15,6^oC.

ontvl. punt 91,1^oC.

visc. Redw.I/100^oF. 693 sec.

watergehalte 0,3 %

zwavelgehalte ?

Smeerolieverbruik: 32-45 liter per dag.

Slijtage gegevens:

Cilinder 1 0,0963 mm/1000 uur

Cilinder 2 0,0962 mm/1000 uur

Cilinder 3 0,0713 mm/1000 uur

Cilinder 6 0,0713 mm/1000 uur

Cilinder 7 0,0534 mm/1000 uur

Cilinder 8 0,0974 mm/1000 uur

(Cilinders 4 en 5 niet vermeld).

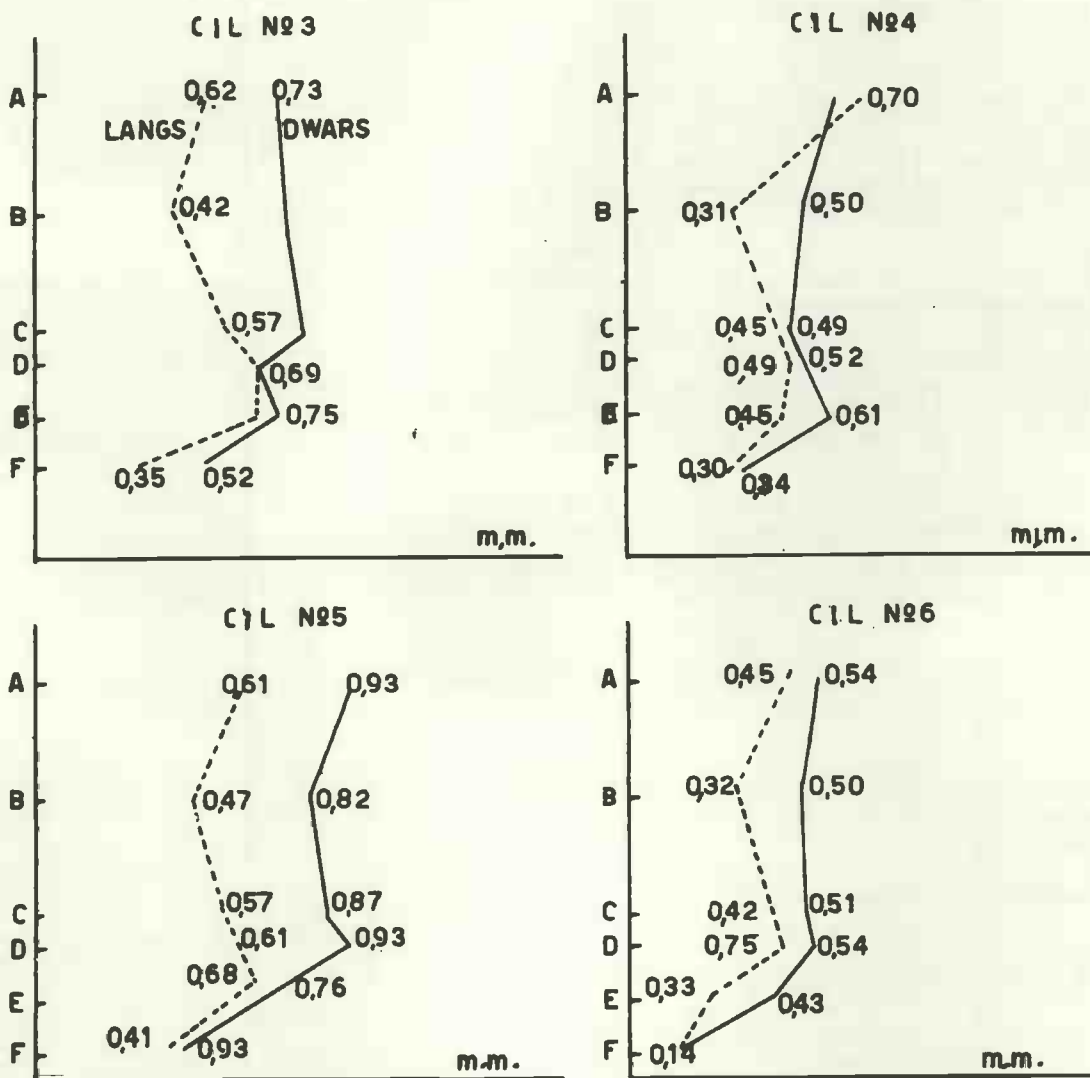
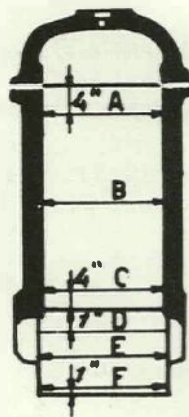


FIG: 16

Ter vergelijking volgen hieronder nog enige cijfers betreffende ms "Goldmonth" van de A.S.P.C.:
Zelfde hoofdmotor, maar draaiend op Dieselolie (s.g. 0,896).

Aantal bedrijfsuren 5161.

Totale gemiddelde slijtage ter plaatse A:

Cil. 2 en 7: 0,505 mm of 0,0980 mm/1000 uur

Smeerolie: Shell C₃ (gem. dagelijks verbruik ca. 27 liter)

Proeven door Fiat.

Het ms. "Leme" uitgevoerd met twee hoofdmotoren 6 cil. 2-tact, 3000 pk, waarvan een op dieselolie en de andere op stookolie van de volgende samenstelling draaide:

Bunkehaven Benaming Oorsprong	Colon Bunker C Venezuela	S. Pedro Bunker C California	Gibraltar Bunker C -
Spec. gew./20°C	0,987	0,977	0,984
Visc. Engler/50°C	56	26,1	107
Calor. waarde	10270	10150	10288
Ontvl. punt °C	134	126	138
Zwavelgehalte	1,58	1,45	-
Conradsongetal	-	-	-
Hard asphalt	-	-	-

Slijtage gegevens:

Motor op dieselolie (visc. 6°E/50°C): 0,10 mm/1000 uur

Motor op stookolie : 0,14 mm/1000 uur

Aantal bedrijfsuren: 9000 uren.

Het smeerolieverbruik was voor beide motoren hetzelfde.

3. Betreffende het zwavelgehalte van de brandstof.

De temperatuur waarbij condensatie der zuren optreedt (hier zwavelzuur) is afhankelijk van de druk, het kwantum SO₂ en SO₃ en de oppervlaktertemperatuur van de cilinderwanden. Deze temperatuur varieert weinig tijdens de cyclus, zodat de meting van koelwatertemperatuur of cilinderwandtemperatuur een ruwe indicatie hiervan is.

Te verwachten is een scherpe toeneming van de corrosieve slijtage, indien de condensatietemperatuur bereikt wordt; met steeds toenemende slijtage bij nog lagere koelwatertemperatuur, daar de condensatie dan versneld wordt.

Proeven van Pennington, (fig. 17)

Hij heeft de cilinderslijtage gemeten van het middelpunt van de cilinder af en deze uitgezet ten opzichte van de cilinderwandtemperaturen. Deze cilinderwandtemperaturen werden opgemeten met een thermokoppel, 1/16" van de binnenwand van de cilinderwand en wel op 8 plaatsen rond de cilinder op de hoogte van de bovenste zuigerveer in B.D.P. van de zuiger.

Motor type: onbekend (in ieder geval 4-tact snelloper).

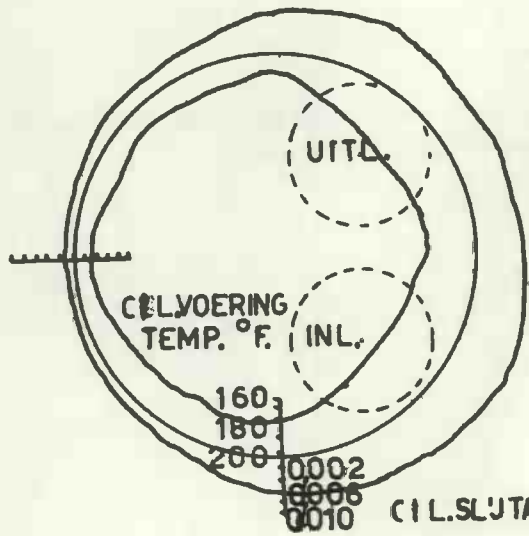
Cilinderdiam., slag, vermogen, enz. onbekend.

Koelwatertemperatuur: 100°F.

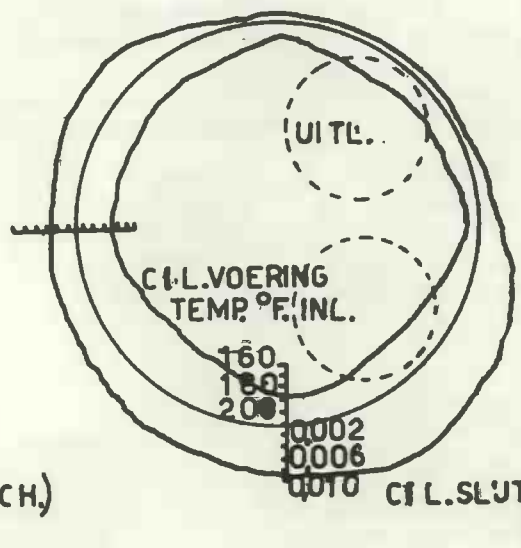
Zwavelgehalte van de brandstof: 1 % S.

Fig. A geeft het slijtageverloop van een van de cilinders van de motor aan. In fig. B is de zuiger 180° verdraaid geweest. Het temperatuurbeeld is hierdoor gewijzigd. Men ziet hier weer de hoogste slijtage in de lage temperatuurzone.

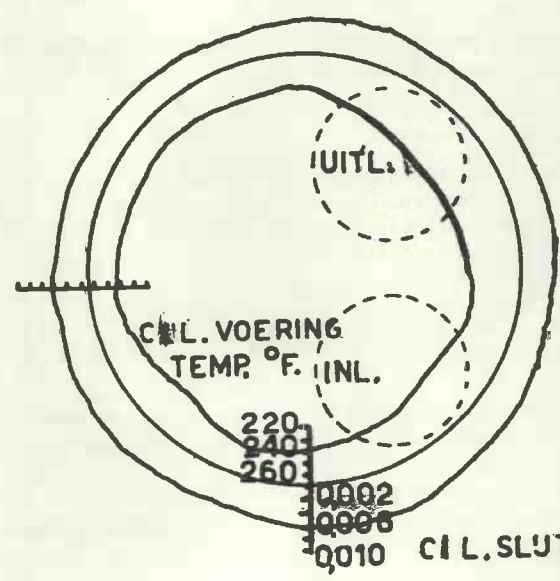
Fig. C toont het slijtage verloop aan in dezelfde cilinder, maar bij hogere koelwatertemperatuur en met een hoger S-gehalte in de brandstof. Men ziet dat het diagram gelijkmatiger is. Dit is de algemene neiging bij hogere temperaturen.



A



B



C

FIG: 17

Proeven van Cloud en Blackwood.

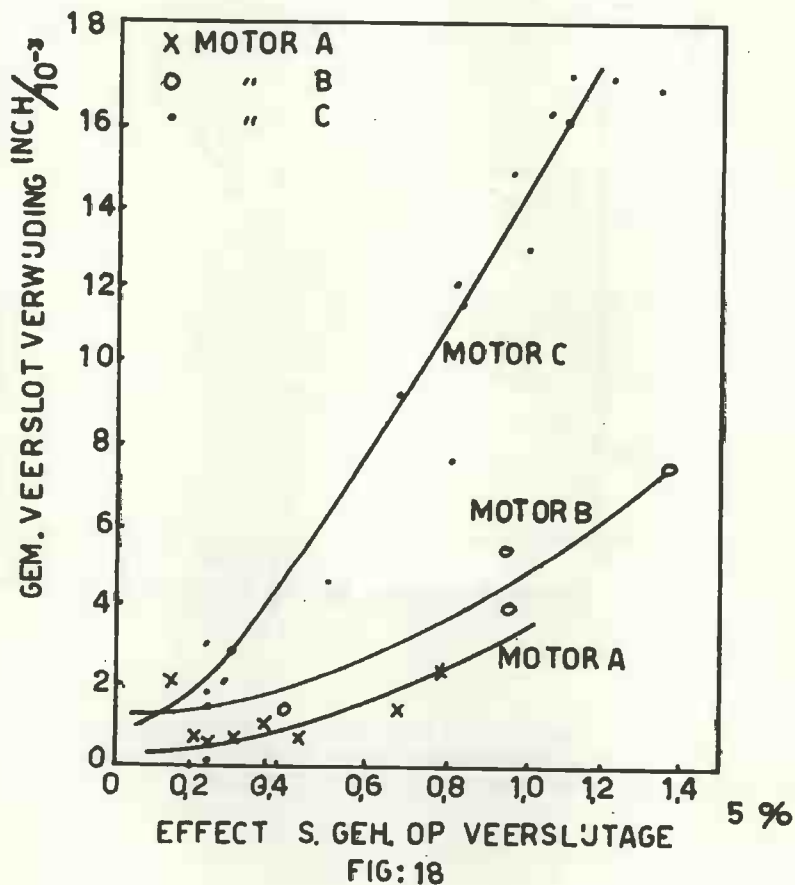
Toegepaste brandstoffen

	motor			visc. bij 100°F:SUS	cetaan get.	S %
	A	B	C			
Fuel 4	x	x		33,4	44	0,69
Fuel 4 1% diamyl trisulfide			x	34,4	51	1,10
Fuel 6	x			34,3	48	0,46
Fuel 7		x		33,4	44	0,68
West Texas oil (unsw)			x	35,4	48	0,82
id. (sweetened)	x	xx		35,4	57	0,96
id. (sw) nitro tetra sulfide			x	35,3	57	1,00
id. (soda washed)			x	35,8	50	1,10
id. (sweetened)			x	35,9	51	1,20
id. (sw) 98% over head			x	35,1	47	1,05
Gulf coast gasoil		x		49,9	44	1,35
Paraffinic gasoil			x	40,0	55	0,60
Ref. fuel			x	35,0	54	0,56
Ref. fuel 6% SO ₂	x			35,0	54	0,95
High sulfur gasoil		x		36,0	50	1,32
Hydrogenated gasoil			x	35,4	54	0,06
Harrow cut gasoil	x	x		34,4	50	0,23

Motor type: zie bladz. 27

Motorbelasting: zie bladz. 27

Beproevingstijd: 80 uur



Slijtagegegevens:

Een toename van het zwavelgehalte uit zich in een groter wordende cilinder- en veerslijtage. Men ziet, dat oplossingen van zwavelverbindingen in de basis-brandstof, zoals carbondisulfide en trimethylsulfide, resulteren in slijtagecijfers, gelijk aan die van bestaande brandstoffen met dezelfde eigenschappen en S-gehalte als bovenstaande gemengde brandstof.

Dit toont aan, dat de zwavelverbrandingsproducten en niet de S-verbinding in de brandstof bepalend zijn voor de slijtage.

De proefresultaten, wat de slijtage aan veren en cilindervoeringen betreft, zijn afgebeeld in fig. 18 en 19. Naast deze slijtage waarden hebben Cloud en Blackwood ook de vervuiling van de zuiger in afhankelijkheid van het S-gehalte van de brandstof beschouwd. In het algemeen neemt de vervuiling van veerzone en zuigermantel toe met het S-gehalte. Deze vervuiling zal op zijn beurt de slijtage weer beïnvloeden. Geconcludeerd moet dus worden dat de verhoogde slijtage door een hoog S-gehalte in de brandstof voortkomt uit:

- a. Corrosie
- b. Mechanische slijtage (abrasion) door harde kooldelen.
- c. Toenemend metallisch contact tussen veren en cilindervoering door koolafzetting in de veergroeven (gedeeltelijk ringsticking).

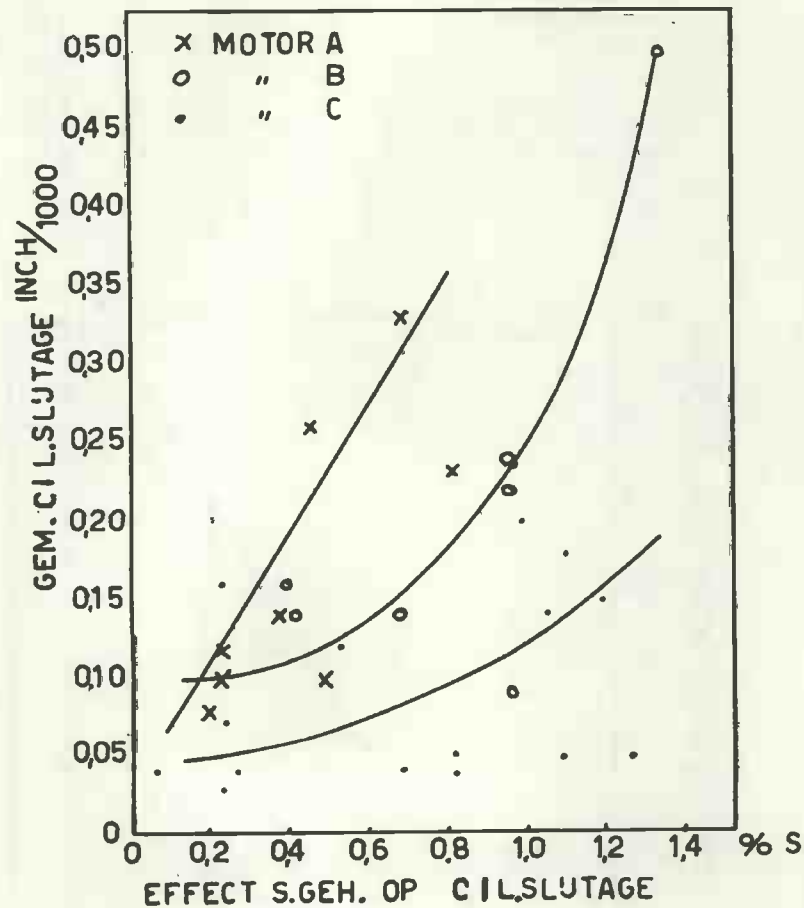
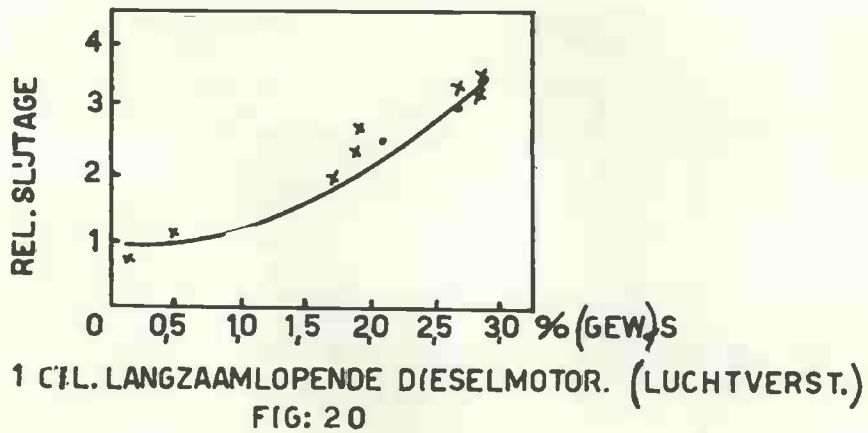


FIG:19

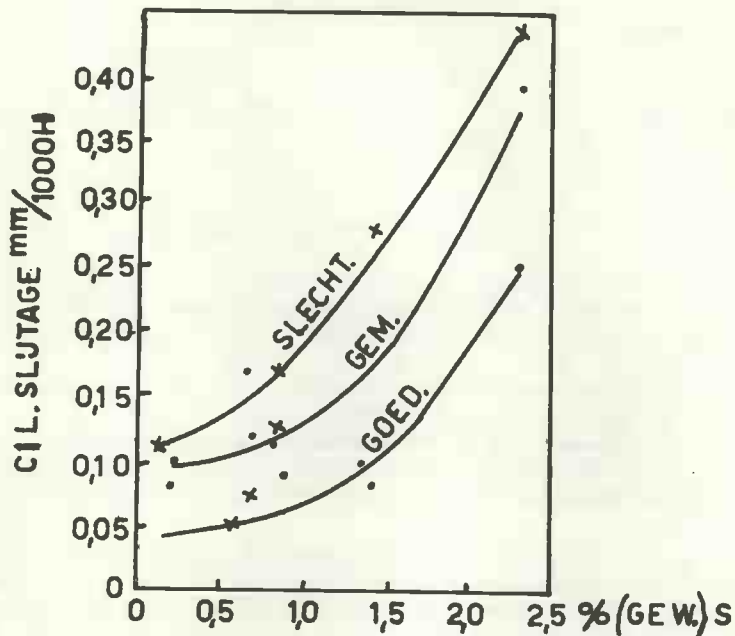
Proeven door Broeze en Gravesteyn.

Volgens bovenstaande onderzoekers is het effect van het zwavelgehalte van de brandstof, indien dat niet hoger is dan 1%, niet groter dan dat van de andere invloed hebbende factoren. Van 1% af neemt het effect sterker toe, zoals ook uit fig. 20 duidelijk blijkt.



De grafiek betreft een 1 cil. langzaamlopende dieselmotor met luchtverstuiving. Met relatieve slijtage is hier bedoeld de verhouding van de slijtage ten opzichte van de basisbrandstof (0,7%S), opgenomen volgens de Delftse methode (zie bladz.46), welke de cilinder- plus veerslijtage bepaalt.

Bij snellopende motoren blijkt, dat de slijtagevergroting bij diverse S-gehalten van de brandstof dezelfde is.



x = 2 CIL. SNELLOPENDE DIESELMOTOR

• = 1 CIL. " "

PROEFDUUR: 85 UUR

FIG: 21

In de meeste gevallen hebben in de praktijk de brandstoffen met een hoog S-gehalte ook een hoge viscositeit en hoog Conradson getal (zie proeven met stookolie), zodat geen helder beeld is te verkrijgen van de invloed van een hoog S-gehalte afzonderlijk.

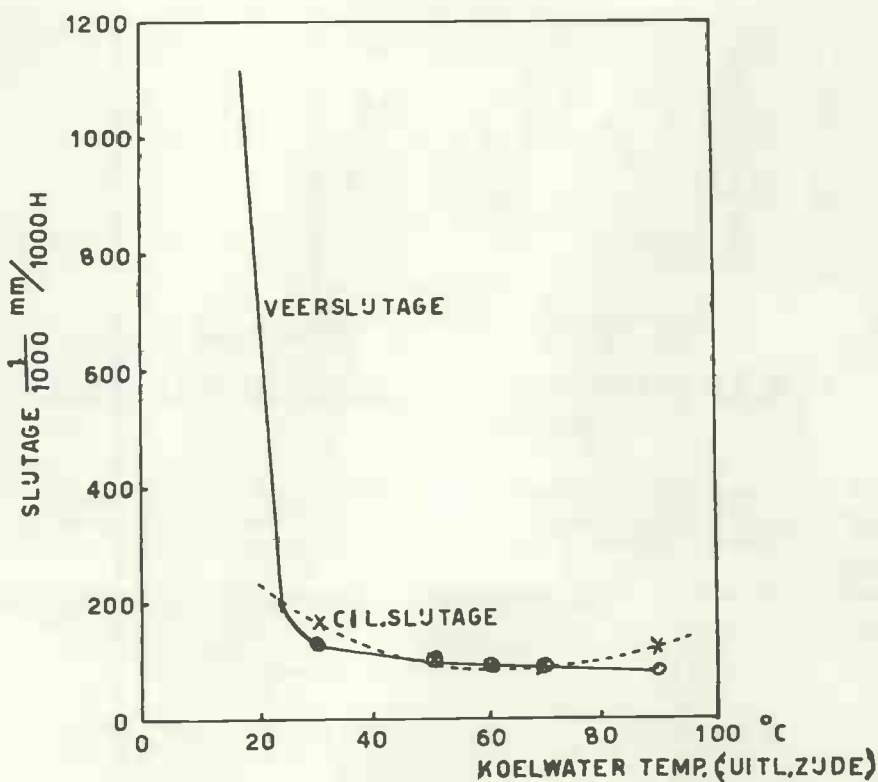


FIG:22

C. INVLOED VAN DE TEMPERATUUR VAN HET KOELMIDDEL.

Proeven van Williams en Wilson (Thornton Research Centre).

In verband met de condensatie van de zuren is de temperatuur van de cilinderwand belangrijk. Zwavelzuur is niet het enige zuur dat kan condenseren, maar ook organische zuren, ontstaan bij "koude verbranding", behoren hiertoe.

Voor een snelloper is het verband bepaald tussen de veer- en cilinderslijtage bij verschillende koelwatertemperaturen (fig. 22).

In het algemeen is de temperatuur van de cilinderwand in de veerzone (B.D.P.) ongeveer 140-150°C.

Corrosieve slijtage is te verwachten beneden 100°C. Te hoge temperatuur is ook niet gewenst. Temperaturen boven 100°C leiden tot neerslag van lakproducten en kool, terwijl de hoge temperatuur tot ringsticking kan leiden.

Bij starten uit koude toestand is dus een grote slijtage te verwachten voor de beginperiode totdat de motor opgewarmd is. Bij vergelijking van slijtagecijfers is dus het aantal keren starten gedurende de periode, waarvoor die cijfers gelden, belangrijk. C. Yeates geeft hierover een grafiek, die het verband aangeeft tussen de slijtagesnelheid en het aantal draaiuren per start (fig. 23).

Het is bekend dat tankers in het algemeen een kleiner slijtagecijfer hebben dan vrachtschepen.

D. INVLOED VAN DE SMEEROLIE.

De smering van de cilinderwand heeft een drieledig doel:

- 1) De wrijving tussen veren en voering te verminderen (bescherming tegen mech. slijtage).
- 2) De cilinderwand met een olielaag te beschermen tegen corrosie.
- 3) De afdichting te bevorderen en zodoende gaslek (gaserosie) tegen te gaan.

Welke eigenschappen de smeerolie moet bezitten om aan de bovenstaande drie doelstellingen te voldoen is niet precies bekend. De invloed van de twee belangrijkste fysische grootheden:

- 1) Viscositeit
- 2) "Oiliness"

op de cilinderslijtage is voor langzaamlopende motoren niet bekend. Voor snellopers zijn op dit gebied wel proeven verricht. De resultaten zijn echter niet overtuigend.

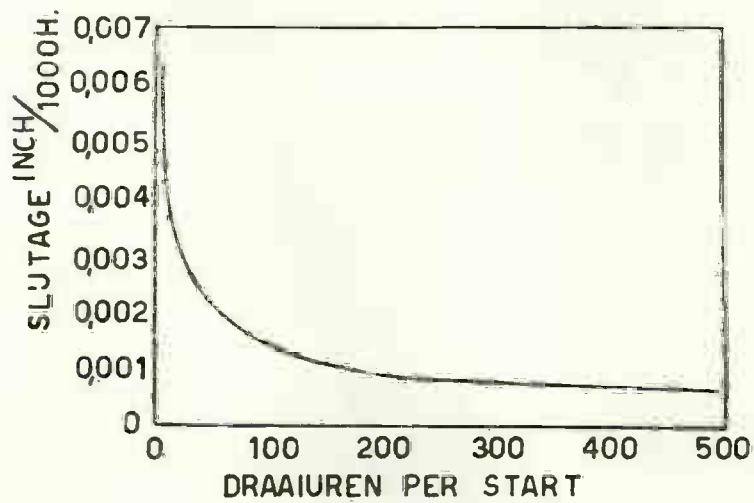


FIG. 23

Bij de bestrijding van de corrosieve slijtage is het hechtingsvermogen (oiliness) van de olie op het loopvlak primair. Dit hechtingsvermogen kan door dope-toevoegingen worden vergroot. Verschillende dopes maken de smeerolie echter zelf corrosie-actief, zodat ondeskundige dope-toevoeging niet altijd een gewenst resultaat geeft.

V. INVLOED VAN DE BEDRIJFSOMSTANDIGHEDEN.

A. HET AANZETTEN.

Bij starten van de motor zijn de wanden van de verbrandingskamer nog koud. Hierdoor zal de verbrandingskwaliteit slecht zijn. Verontreinigingen t.g.v. deze onvolkomen verbranding, lakafzetting, kleine deformaties t.g.v. verschillen in temperatuur, slechte smeringscondities en verhoogde corrosieve werking zullen de slijtage verhogen. Deze invloeden kunnen de slijtage, lang nadat de motor normaal draait, blijven beïnvloeden.

Uit proeven van Hinze en Broeze blijkt duidelijk het grote voordeel van warm starten (fig. 24).

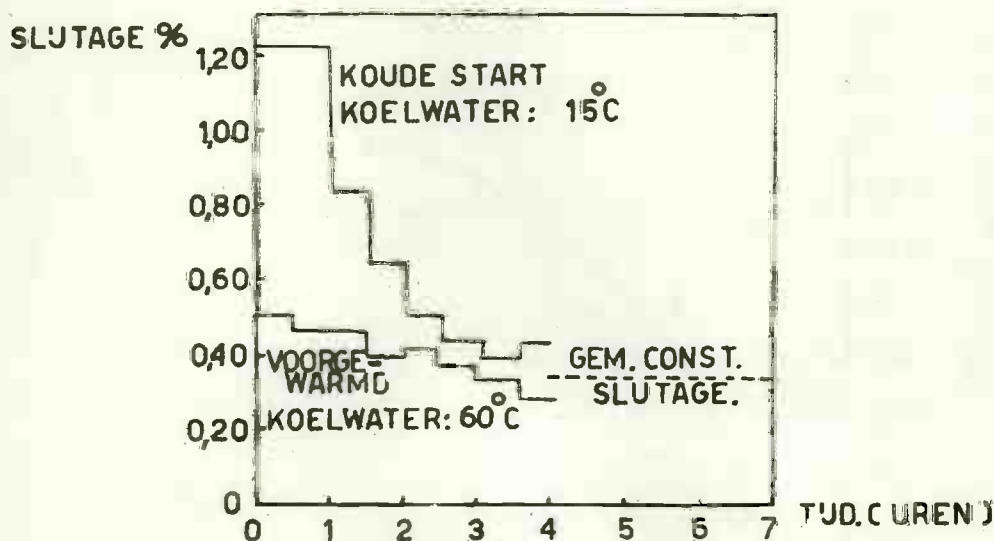


FIG. 24

B. DE KOELWATERTEMPERATUUR.

In verband met de cilinderslijtage zij opgemerkt dat een lage koelwatertemperatuur de verbranding verslechtert en condensatie bevordert (zie proeven invloed koelwatertemperatuur).

Men dient de koelwatertemperatuur zo hoog mogelijk te houden; aan boord van schepen wordt meestal slechts ca. 50°C. aangehouden. Men kan misschien wat hoger gaan in temperatuur (sommige fabrikanten adviseren tot 60-65°C), maar rekening moet gehouden worden, dat bij de dikke cilinderwanden van grote motoren de temperaturen aan de binnenkant van de cilinder veel hoger zijn dan bij de dunwandige snellopers.

C. DE BELASTING.

De gemiddelde geïndiceerde druk heeft een directe invloed op de slijtage. Bij een bepaalde motor neemt bij een verhoogde belasting bij hetzelfde toerental de slijtage ongeveer lineair met de gem. geïndiceerde druk toe.

De oorzaak is volgens Hoegh, dat bij toenemende belasting de verbranding minder volkomen wordt, doordat in dezelfde hoeveelheid lucht een grotere hoeveelheid brandstof gespoten wordt. Voor een opgeladen motor geldt dit evenzeer, echter blijkt, dat voor éénzelfde P_i de opgeladen motor minder slijtage vertoont dan een niet-opgeladen motor, zoals ook door Broeze en Gravesteyn is bevestigd.

D. HET TOERENTAL.

Bij verhoging van de belasting door verhoging van het toerental bij constante geïndiceerde druk is de slijtage alleen afhankelijk van de smering en de verbranding.

Een verhoogde slijtage door een slechtere verbranding (relatief minder tijd beschikbaar voor een goede ontsteking), kan teniet gedaan worden door verbeterde smering (meer kans op natte smering).

Ter illustratie wordt in fig. 25 de gemiddelde slijtage gegeven van drie verschillende typen motoren (volgens Hoegh), uitgezet op de gemiddelde geïndiceerde druk.

1. M.A.N. 24 cilinders (2 tact dw.diam. 600 mm, slag 1000 mm)
2. Sulzer 48 cilinders (2 tact ew.diam. 788 mm, slag 1220 mm)
3. B. & W. 38 cilinders (2 tact dw.diam. 450 mm, slag 1200 mm)

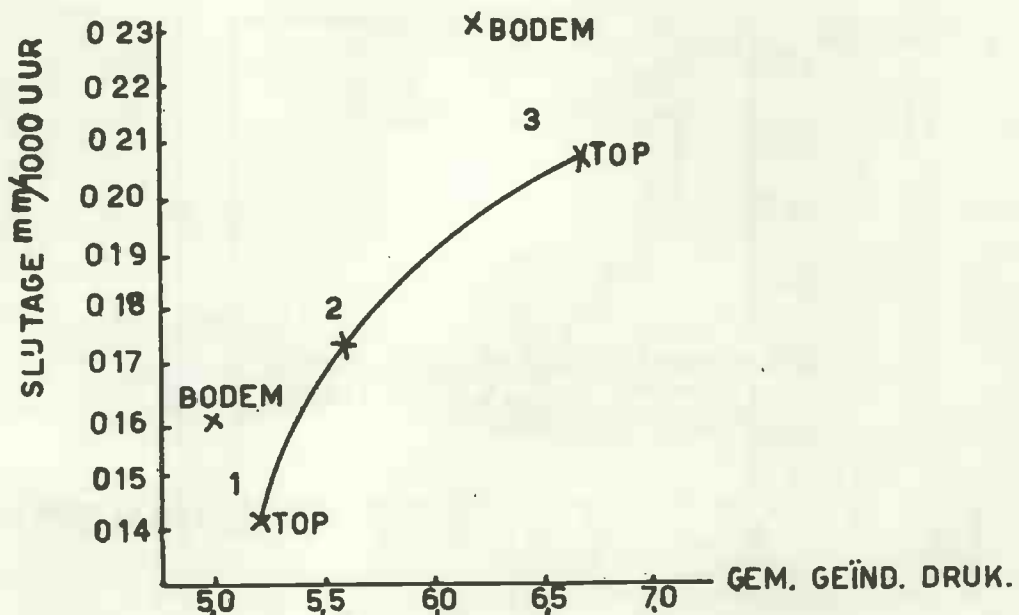


FIG: 25

VI. HET METEN VAN DE CILINDERSLIJTAGE.

Dit geschiedt tot nog toe op twee verschillende manieren, n.l. volgens:

- a. een absolute meting,
- b. de "Delftse methode".

a. ABSOLUTE METING.

Nadeel hierbij is, dat deze methode niet snel werkt. De motor moet gestopt, de zuiger getrokken en de cilinderwand afgekoeld worden tot dezelfde temperatuur.

Uitzettingscoëfficiënt gietijzer: $12 \cdot 10^{-6}$

b. DELFTSE METHODE.

Hierbij wordt de olie, die van de cilinderwand afdruipt opgevangen, waarbij regelmatig het ijzergehalte bepaald wordt. Er wordt dan verondersteld, dat dit ijzergehalte een maat is voor de cilinderslijtage. In werkelijkheid is het een maat voor de veer- en cilinderslijtage. De ervaring wijst uit, dat er vele gevallen zijn waarbij de cil. slijtage niet merkbaar is, terwijl de veren sterk slijten.

**LITERATUURLIJST BETREKKING HEBBENDE OP DIVERSE LITERATUURVERWIJZINGEN
IN DE TEKST.**

- A.C. Arnold: Diesel Engine Propulsion of cargo liners.
Inst. of Mar. Eng. 1950.
- Bergenheim: Attempt to find an explanation of the excessive cylinder wear.
Gothenburg Soc. of Eng. Sect. Mech. Engineering and Shipb. 1949.
- P.S. Lane: Wear of Diesel Engine Cylinders and rings.
Am. Soc. of Mech. Engineers Febr. 1940.
- J.W. Pennington: Five ways that Diesels wear.
Journal S.A.E. Febr. 1949.
- Carl Hoegh: Cylinder Wear and appendix 1945.
- Broeze en Gravesteyn: Fuel and Wear in Diesel Engines.
The Motor Ship 1938/1939 blz. 197.
- tabel: Tests of Standard Doxford Engine Using Heavy Fuel.
The Motor Ship Dec. 1949.
- H. Shaw: Preparation of Surfaces for wear resistance 1934.
- C. English: Bemerkenswerte Verschleiszvorgänge und Untersuchungen an Kolbenringen und Zylindern.
- E. Piwowarsky: Über den Verschleiszwiderstand des phosphor-haltigen Graugusses.
Die Gießerei, Heft 50, 1929.
- Eagan: Wear resistance of grey iron.
Foundry vol. 76, 1948.
- R. Knittel: Untersuchungen über den Verschleisz von hochwertigem Graugusz und legiertem Graugusz unter Berücksichtigung der an Kolben und Zylindern von Verbrennungsmotoren gestellten Anforderungen.
Die Gießerei 1933.
- C. Cloud and A. Blackwood: The Influence of Diesel Fuel Proportion on Eng. Deposits and Wear.
S.A.E. Journal 1943.
- Proeven bij Barclay, Curle: Trials on heavy Fuel.
The Motor Ship, April 1950.
- Proeven bij British Tankers Co.
H.S. Humpreys: The Use of Residues as Diesel Fuels.
The Motor Ship Oct.-Nov. 1950.
- Proeven a/b "Auricula" J. Lamb: Burning Boiler Fuels in Marine Diesel Engines.
The Motor Ship Jan. 1948.
- Proeven bij Fiat: Boiler Oil for Motorships.
The Motor Ship Juni 1947.
- Broeze en Gravesteyn: Fuel and Wear in Diesel Engines.
The Motor Ship Sept. 1938.
- C.G. Williams and A. Wilson: Diesel Fuels Research at Thomton Research Centre.
Diesel Eng. Users Ass. Oct. 1948.
- Broeze and Hinze: Diesel Engines and the World's Fuel Supply.
Diesel Eng. Users Ass. Nov. 1938.
- De Delftse Methode.
C.D. Boerlage and B.J.J. Gravesteyn: Cylinder Wear in Diesel Engines.
S.A.E. Journal Mei 1936.
- Timed Cylinder Lubrication
C.C. Pounder: Some Current Types of Marine Diesel Engines.
Proc. I. Mech. E. 1949, vol. 160, p. 312.