

Een Geschiedenis van de scheepvaart en voortstuwing

Dr.l.noordzij@leennoordzij.nl

Leen Noordzij
februari 2013

Inhoudsopgave

Inleiding.....	3
Nederland Distributieland.....	5
De scheepvaart en de scheepsbouw	8
De voortstuwing.....	13
De voortstuwing: het onderzoek.....	18
De schepsschroef.....	30
Cavitatie.....	38
Cavitatie onderzoek.....	43
Literatuur.....	50

De scheepvaart en voortstuwing.

Dr.I.noordzij@leennoordzij.nl

Inleiding

De geschiedenis van Nederland is onlosmakelijk verbonden met de scheepvaart, de scheepsbouw en de handel. Het begrip Nederland Distributie land werd al gemunt in de 13^e eeuw. Dit onderwerp, Nederland Distributieland, en vooral de ontstaansgeschiedenis leent zich om het ontstaan van de voortstuwing van moderne schepen te beschrijven en aandacht te geven aan het bijbehorende wetenschappelijke onderzoek. Dan kan je niet om Nederland Distributieland heen en wel de ontwikkeling van Nederland of beter van Holland tot Transporteconomie.

Nederland Distributieland

Het transport over water en de daaruit voortvloeiende ontwikkelingen in de scheepsbouw hebben Nederland sterk beïnvloed. En dat gaat ver terug in de geschiedenis van Holland en wel 800 jaar en kan dienen als één van de eerste voorbeelden van het zogenaamde 'competitive advantage' van een land. Dit concurrentie voordeel is sterk verbonden met de ontwikkeling van het grondgebied van Holland. Tot en met de 13^e eeuw vormde het natuurlijke milieu (delta, duinen) een belemmering voor de expansie van Holland. Pas tegen de 12^e eeuw stabiliseerde het natuurlijke milieu rond de Zuiderzee zich enigszins en konden de bewoners daar havens aanleggen. Tegen het einde van de 13^e eeuw waren de voorwaarden aanwezig voor de latere groei van Holland:

- Een landschap dat grotendeels alleen geschikt gemaakt kon worden en geschikt was voor de veeteelt met veel onderhoudskosten;
- Geografische ligging op een kruispunt van verbindingswegen tussen omliggende voorsprong gebieden (zoals Vlaanderen);
- Een bevolkingsoverschot op het platteland dat zocht naar andere middelen van bestaan;
- Ligging aan grote rivieren en lange kustlijnen, waardoor scheepvaart van oudsher een vanzelfsprekende activiteit was;
- Grondgebied gestabiliseerd (Rond de Zuiderzee).

Deze omstandigheden verklaren het relatief late tijdstip van de ontwikkeling van steden in Holland, die eigenlijk pas goed begon in de 13^e eeuw, zo'n twee eeuwen later dan in Vlaanderen. Voornoemde omstandigheden maken ook begrijpelijk waarom in Holland vanaf de late middeleeuwen, een naar Europese verhoudingen, hoog aandeel van de totale bevolking in de steden was gehuisvest: op het platte land was immers maar weinig werkgelegenheid vanwege de beperkte mogelijkheden voor intensieve landbouw. Ook typerend was het feit dat de bevolking verdeeld was over relatief veel kleine steden. Relatief in vergelijking tot Vlaanderen en Brabant.

De Hollanders wisten deze omstandigheden in hun voordeel om te buigen. De veeteelt leverde zuivelproducten op die konden worden geconserveerd (kaas) en geëxporteerd naar de grote stedelijke markten in Vlaanderen en Brabant. De achterstandspositie kon zo als voordeel worden geëxploiteerd: Hollanders maakten gebruik van de elders aanwezige koopkrachtige vraag. Hetzelfde gebeurde met de imitatie van elders ontwikkelde producten. Bier (voornamelijk het in de 14^e eeuw opkomende hoppebier) leerde men kennen dankzij

de doorvoerroute van Noord-Duitsland naar Vlaanderen en Brabant. Dus door de mogelijkheid om op lichte veenachtige bodems gerst te verbouwen en de aanwezigheid van zuiver water, brandstof(turf) en goede transport mogelijkheden over water, kon het brouwen van bier in de loop van de 14^e eeuw in Haarlem, Delft en Gouda een zodanige vlucht nemen, dat met dit bier de Zuid-Nederlandse markten overdadig kon worden voorzien.

De scheepsvaart en de scheepsbouw

Vanaf het einde van de 14^e eeuw kregen de Hollanders ook een sterk groeiend aandeel in de internationale handel van in tonnen bewaarde gezouten haring. Vernieuwend (Innoverend zeggen we nu) was de creatie van de haringbuis.



Fig. 1. Haringbuis.

Een schip dat gebouwd was om de vis reeds op de terugreis te verwerken- een terugreis die steeds langer duurde, omdat de visgronden op de Noordzee steeds verder weg lagen. Haring maakte in die tijd een belangrijk deel van het voedselpakket uit.

Kaas, bier en tonharing waren de conserven van de Late Middeleeuwen, producten die de Hollanders hadden afgekeken van de Noord Duitsers, maar die de Hollanders beter verkochten. Zo wisten de drapeniers (lakenbereider) en ambachtslieden van voornamelijk Leiden en Amsterdam zich vanaf de late 13^e eeuw ook een plaats te verwerven in de internationale markt voor lakense stoffen. Daarbij maakten zij gebruik van het feit dat hun

Vlaamse voorlopers te kampen hadden met handelspolitieke (commerciële) moeilijkheden en van de aanzienlijk lagere arbeidskosten in Holland. De afwezigheid, dan wel late en zwakke organisatie van gilden, maar vooral het ruime aanbod van arbeidskrachten boden dit “lage lonen land” een competitief voordeel (competitive advantage).

Hollanders wisten producten te imiteren en aan te passen, hun kosten waren lager, maar bovendien moesten ze ook wel zelf initiatief tonen om hun structureel tekort aan broodgraan te compenseren. Handeldrijven/ruilhandel was zeer noodzakelijk. Door zich noodgedwongen te richten op de in – en export komen we tot de kern van de Hollandse economische positie, die zich min of meer tot op heden heeft gehandhaafd en zich steeds meer heeft versterkt: die van tussenhandelaren, vrachtkoeriers en leveranciers van goedkopere imitaties van elders ontwikkelde producten (Om in huidige concepten te denken: “De Chinezen van Europa avant la lettre”). Daarbij spelen nog twee factoren een essentiële rol: de scheepsbouw en de scheepvaart. In tal van kustdorpen werden schepen gebouwd, maar de internationale concurrentie zat ook niet stil en innoveren bleef noodzakelijk. De scheepsbouw concentreerde zich daarom in een aantal steden, zoals Zaandam, waar nieuwe types met groter laadvermogen, hogere functionaliteit en grotere wendbaarheid werden gebouwd dan in de buurlanden. De scheepsbouw werd een heel belangrijke bedrijfstak die op zijn beurt diverse toeleveringsbedrijven stimuleerde. In de landbouw kwamen de teelten van hennep en vlas voor touwen en zeilen sterk op. Andere materialen moesten van ver worden aangevoerd: hout uit Noorwegen en de Boven Rijnstreek, ijzer en staal eveneens langs de Rijn, teer en pek uit Pruisen, waarbij Pruisen waarschijnlijk ook nog weer als stapelplaats en doorvoer functioneerde. Voegt men bij de tewerkstelling in de scheepsbouw ook die van de bemanning van de scheepvaart, dan zal duidelijk zijn dat de rol die de Hollanders vanaf de 14^e eeuw veroverden als de grote vrachtkoeriers van Noordwest Europa, een bedrijfstak vormde die aan aanzienlijk beroep deed op de beschikbare arbeidskracht.

De scheepsbouw in Holland kreeg aan het eind van de 16^e eeuw een enorme impuls door de opheffing van het handelsverbod door Philips II. We staan dan op de drempel van de Gouden Eeuw en het ontstaan van één van de eerste NV's ter wereld: De VOC. Hierdoor ontstond een grote vraag naar scheepstransport met standaardisatie in de scheepsbouw tot gevolg. Dit resulteerde in een enorme impuls voor de scheepsbouw. Na 1570 ontwikkelde de Hollandse scheepswerven een nieuw koopvaardijship, de vlieboot of fluit.



Fig.2. Vlieboot of fluit.

De etymologie van vlieboot of fluit is duidelijk in verband met de route van en naar Amsterdam. Gelet op de periode waarin het schip werd gebruikt ligt vlieboot voor de hand. De aanduiding “Fluit” is ontstaan omdat de vorm van het schip overeenkomst vertoont met het muziek instrument. De Fluit is een product van de Nederlandse scheepsbouw. Een innovatie van klassieke ontwerpen, zoals de Haringbuis. Nederland richtte zich op de ontwikkeling van schepen die beter te besturen waren en meer

vracht konden verstouwen.¹

De Fluit, een robuust rondbuikig schip met forse tonnage, dat genoeg had aan een bemanning van bescheiden omvang, 20% minder dan op andere buitenlandse schepen van gelijke tonnage. Een aanzienlijk voordeel. Vooral als men beseft dat de personeelskosten(loon, voeding) op de lange routes (De Oost, Levant = De Morgenlanden, alle Oostwaarts van Italië gelegen) de belangrijkste uitgavenpost was. De Hollandse spaarzaamheid zou hier vrij spel krijgen. De dagelijkse kost aan boord was karig: “vis en gort(gepelde , geslepen en geglansde gerst)”. Zelfs de kapiteins moesten zich tevreden stellen met een plak kaas of een schijf gezouten rundvlees van 2 of 3 jaar oud. Wijn werd er niet geschonken en soms bij zware zee een klein beetje arak (rijstbrandewijn of anijsbrandewijn) op spaarzame wijze uitgedeeld.

Van alle zeevarende naties zijn de Hollanders het meest spaarzaam en sober. Ze geven zich het minst over aan luxe en overbodige uitgaven. Holland was de heerser over de zeeën. Beschouwingen over “the decline and fall of the VOC empire” is een onderwerp apart. (Sociologisch en macro economisch).

¹ Unger, R. , *Dutch ship design in the fifteenth and sixteenth centuries*, Viator 4, 1973.

De voortstuwing

Een belangrijk aspect van het schip is op welke wijze het wordt voortgestuwd. De voortstuwing – de kracht welke nodig is om het schip in beweging te houden door de wrijvingskracht te overwinnen. Eén van de oudste vormen van voortstuwing was het roeien, gevolgd door het zeil. Bij de oudere zeilschepen werd de voortstuwing opgewekt door de directe druk van de wind in de zeilen. Het zogenaamde dwars getuigde schip. De fluit is daar nog een voorbeeld van. Dwars tuigage beperkte in sterke mate de manoeuvreerbaarheid. Een belangrijke innovatie voor de zeilschepen was de overgang van dwars getuigde naar langsscheeps getuigde schepen. Die overgang kwam in West Europa eigenlijk erg laat. Zeker al in de 9^e eeuw voeren op de Middellandse Zee schepen met een Latijn (langsscheeps getuigd) zeil.

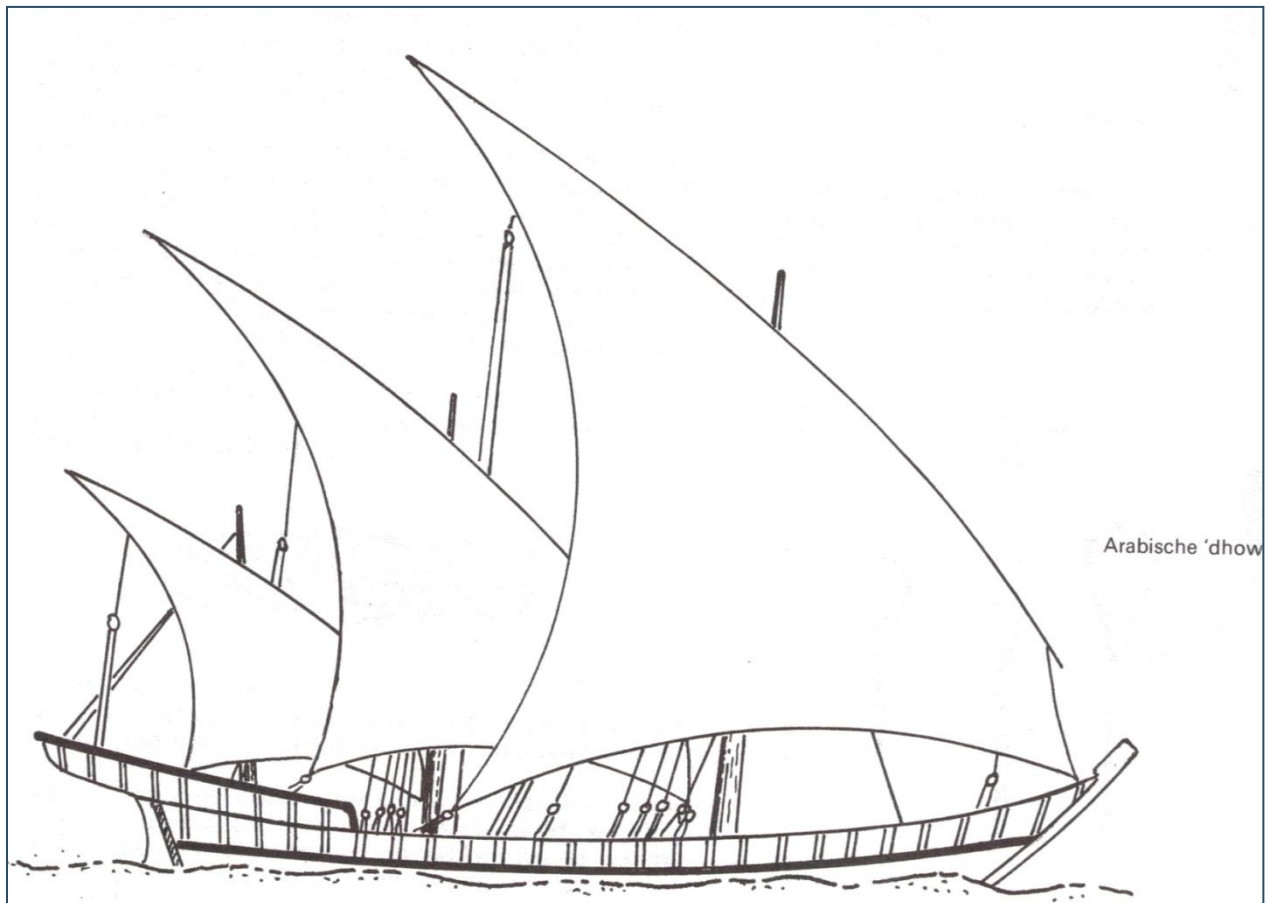


Fig. 3. Latijn zeil, langsscheeps getuigd. De Arabische dhow.

Het Latijn zeil, een driehoekig zeil met een schuin oplopende ra. Pas in de 13^e eeuw kwam dat ook in West Europa voor. De schepen met meer masten tuigden soms de achterste mast

met een Latijn zeil. Op den duur kwam daaruit ook het typische Nederlandse gaffel zeil uit voort. Kijken we nog verder de wereld in, dan kunnen we uit de geschiedenis leren dat al ruim voor het begin van onze jaartelling op de Stille Oceaan ongelooflijk snel werd gevaren met langs getuigde schepen welke voorzien waren van één of twee drijvers(catamaran). De grote betekenis van de overgang van dwarsscheeps naar langsscheeps getuigde schepen was vooral tegen/aan de wind te varen of te laveren. Dat leidde tot de bouw van lange scherpe schepen naar het voorbeeld van de galei en de Arabische “dhow”. De voortstuwingskracht ontstaat nu op een geheel andere wijze: het zeil voor de langs getuigde schepen is veel meer een vleugelprofiel en de kracht ontstaat dan door de zogenaamde lift, vergelijkbaar met een vliegtuigvleugel. Een verder belangrijke innovatie bij de zeilschepen was dat de vorm van de romp steeds scherper wordt gemaakt. Een ontwikkeling die zijn oorzaak vond in de noodzaak om beter hoogte te kunnen houden en/of te winnen(verlijeren voorkomen). Deze laatste type scherpe zeilschepen werd steeds groter. Echter de grenzen aan de groei van deze schepen werd bepaald door de stabiliteit van dit soort schepen.

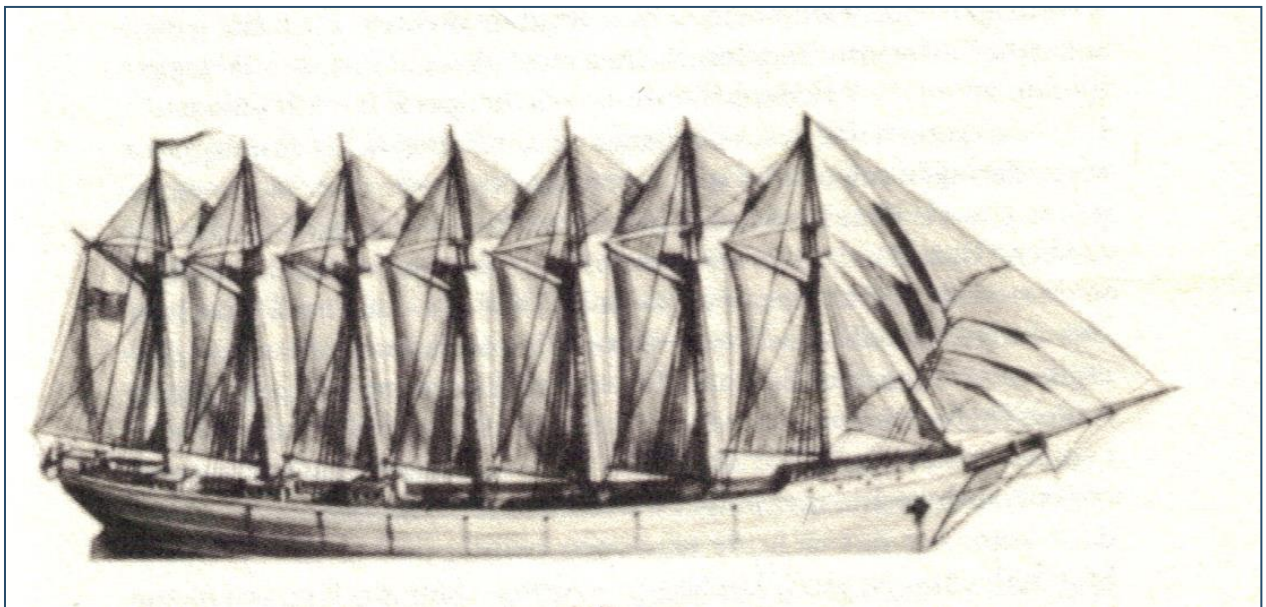


Fig. 4. Thomas Lawson.

In de vroege ochtend van vrijdag 13 december 1907 zonk vlakbij de Scilly Eilanden in Het Kanaal het zeilschip Thomas W. Lawson. Alle opvarenden, behalve de kapitein en een bemanningslid, kwamen hierbij om het leven. Dit was niet zomaar een schipbreuk op vrijdag de 13^e en de Thomas Lawson was niet zomaar een schip: het was iets heel bijzonders. Het

was een schitterend schip, een enorm zeven mastschip. Een klipper. Het moest kunnen concurreren met de nieuwe stoomschepen, die de zeilschepen uit de zeevrachtvaart begonnen te verdringen. De Thomas Lawson, in 1902 gebouwd door de Fore River Ship and Engine Building Company in Quincy, Massachusetts, kon bij een flinke wind een snelheid bereiken van 22 knopen (zeemijl /uur; of 41,5 km/uur; zeemijl is de lengte van een meridiaan minuut; de Hollandse zeemijl was 5,6 km). Maar deze snelheid ging ten koste van de wendbaarheid: het schip liet zich bijzonder moeilijk sturen. Het was bovendien zo instabiel, dat het in een hevige storm kapseisde terwijl het voor anker lag. Het zojuist geschetste drama. Een ooggetuige zei dat het schip, toen het 's morgens werd gevonden, deed denken aan de rug van een walvis... de grote romp lag op zijn zij en werd overspoeld door de zee. Niemand heeft ooit meer geprobeerd een sneller zeilend vrachtschip te ontwerpen. Het tijdstip van de handelszeilvaart eindigde met de Thomas Lawson – de stoomschepen namen bezit van de zeeën. De Thomas Lawson was een tragisch voorbeeld van wat er op de markt gebeurt wanneer een technische grens is bereikt. Klippers (tussen 1840 en 1850 in gebruik gekomen type van houten/laten stalen zeilschip met scherpe boeg en enigszins gestroomlijnde romp; afgeleid van clipper/scherp voorwerp) naderden 50 tot 60 jaar voordat de Thomas Lawson zou uitvaren al duidelijk de grenzen van hun mogelijkheden. Omstreeks 1850 dus hadden de zeilschepen hun natuurlijke snelheidsgrenzen bereikt, vooropgesteld dat zij wendbaar moesten blijven. En dat was de Thomas Lawson juist niet. Hier raken we ook even aan de opmerkelijke effecten van innovatie en hoe processen verlopen. Het was al vroeg duidelijk waar de grenzen van de groei lagen in de zeil scheepvaart. Toch wordt de Thomas Lawson 50 jaar later nog gebouwd. Het duurde dus 50 jaar voordat de stoomschepen de zeilschepen verdrongen. Dit verschijnsel is heel herkenbaar daar waar de grenzen van een technologie worden bereikt. Het is dan een kwestie van tijd voordat de technologische discontinuïteit zich in volle hevigheid aandient. Er waren al alternatieven voor de zeilvaart zoals de stoomvaart, die rond 1840 ingang begon te vinden. Deze kwestie van tijd van een technologische doorbraak wordt anno 2013 anders ingeschat. Hoewel het laatste woord hierover wel nooit gezegd zal worden. Zeer lezenswaardig is wat dit betreft het artikel in The Economist van 2013-01-12: "Briefing Innovation pessimism. Has the ideas machine broken down?". De beschikbaarheid en toegankelijkheid van informatie speelt hierbij een belangrijke rol.

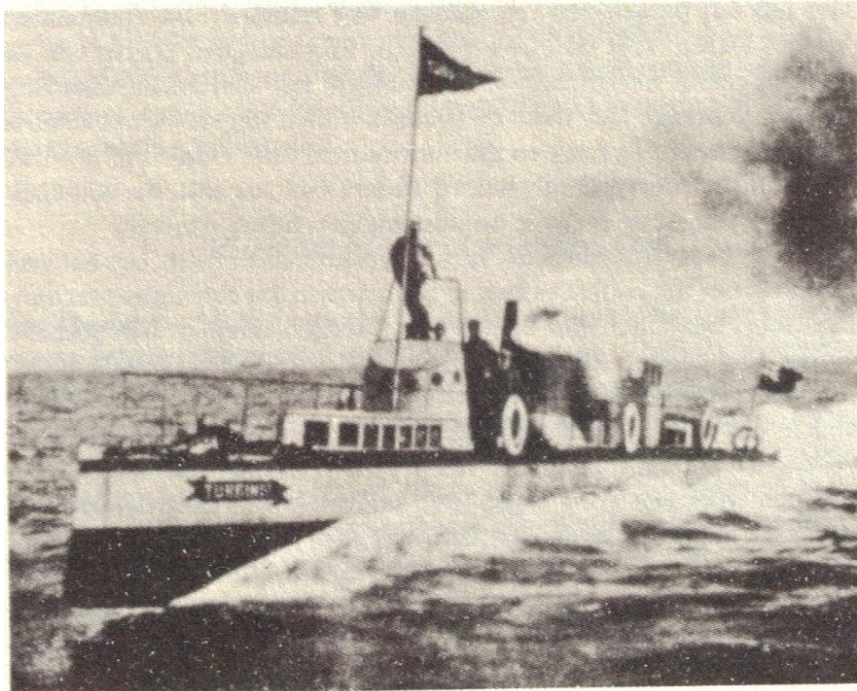


Fig.5. Turbina.

Ook de aandrijving door middel van turbines, in plaats van de zuigerstoommachine, zoals toegepast op het Engelse schip Turbina vond ingang, wel is waar experimenteel, maar de veranderingen waren duidelijk zichtbaar. Het was ook bekend dat deze schepen veel sneller konden varen dan zeilschepen en dat daarom hun doorbraak onvermijdelijk was. We spreken wel over discontinuïteit. En dat lijkt ook vaak zo. Maar van uit de bewezen technologie, in dit geval zeilen, wordt de tegenaanval ingezet. Succesvolle verdedigers voegen vaak elementen van de nieuwe technologie aan de oude technologie toe. Het letterlijk voorbeeld hiervan is het inbouwen van een stoommachine in een zeilschip. Een tijd lang waren deze zogenaamde hybride schepen kosten effectiever dan de zuivere zeilschepen of stoomschepen. Hybriden waren bijna 100 jaar in bedrijf. Zo lag de situatie, toen de Thomas Lawson werd ontworpen, gebouwd en in de vaart gebracht. Het was een experiment dat tot mislukken was gedoemd. We spreken dus over discontinuïteit, maar doorbraaktijden van 50 jaar komen veel voor. De toepassing van elektriciteit is daarvan ook een voorbeeld.

De voortstuwing: het onderzoek

Stoomschepen werden het dus. Een totaal andere voortstuwing dan zeilen. Voortstuwing, het begrip/woord is al een paar keer gevallen. Wat wil dit nu zeggen? Het begrip geeft aan dat we een kracht op het schip moeten uitoefenen om het te laten bewegen. Waarom is dat zo? Het schip, de bewegende romp, ondervindt een tegenwerkende kracht tengevolge van de beweging van de romp door het water. Deze tegenwerkende kracht noemen we weerstand en deze is opgebouwd uit twee componenten: de golfweerstand en de wrijvingsweerstand.

Deze verschijnselen worden bestudeerd/onderzocht in de hydrodynamica. Aerodynamica en aerodynamisch zijn waarschijnlijk meer bekende begrippen dan hydrodynamica en hydrodynamisch. Dit komt waarschijnlijk omdat de begrippen aerodynamica en aerodynamisch verbonden zijn met het stroomlijnen van het populaire vervoersmiddel auto. De aerodynamica behandelt bijvoorbeeld de wisselwerking tussen de bewegende auto en de omringende lucht. De hydrodynamica behandelt onder andere de wisselwerking tussen vloeistoffen en vaste lichamen zoals een bewegende scheepsromp. Dus zolang er sprake is van beweging. Dit in tegenstelling tot hydrostatica. De hydrostatica behandelt onder andere de wisselwerking tussen vloeistoffen en vaste lichamen voor zover deze vloeistoffen en vaste lichamen zich in toestand van relatieve rust bevinden.

Een schip dat met een zekere snelheid door het water(de vloeistof) vaart ondervindt van dat water een tegenwerkende kracht, genaamd de weerstand. Naarmate de snelheid van het schip toeneemt, zal, als regel, ook de weerstand toenemen. De snelheid van het schip zal constant blijven als de aandrijvende kracht(stuwkracht) even groot is als de tegenwerkende kracht(weerstand). Er is dan sprake van een dynamisch evenwicht. Teneinde een schip, met een gegeven aandrijvende kracht, een zo hoog mogelijke snelheid te laten behalen dient de weerstand zo laag mogelijk te zijn. Omdat de weerstand dus van groot belang is voor de te behalen snelheid is er veel onderzoek gedaan om de snelheid te kunnen voorspellen. De totale weerstand die een in het water varende romp ondervindt wordt op gesplitst in de 2 eerder genoemde componenten. Deze componenten zijn:

- Golfvormende weerstand;
- Wrijvingsweerstand.

Beide typen van weerstand worden bepaald door de vorm van het schip ende snelheid waarmee gevaren wordt.

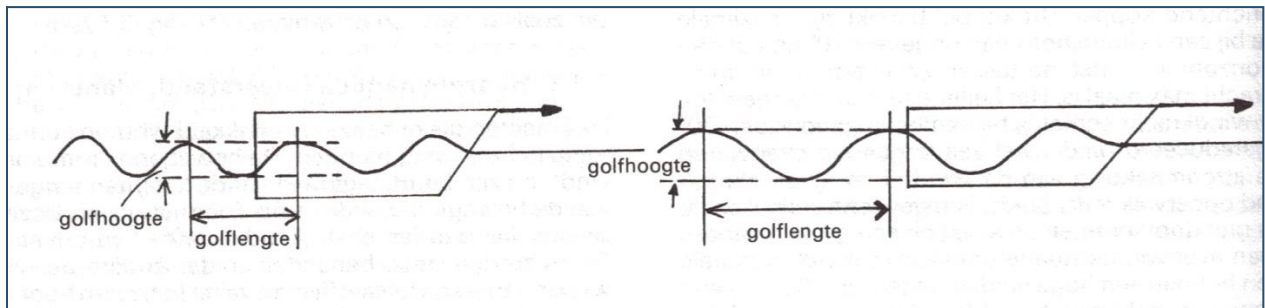


Fig.6. De golf weerstand.

Een bewegend schip wekt een golfsysteem op. Er ontstaat een V-vormig golfpatroon bestaande uit een boeggolf, een hekgolf en dwars golven. Dit hebben we allemaal wel eens gezien van een langsvarend schip. In dit golf systeem zit energie. De energie, benodigd om dit golf systeem op te wekken wordt geleverd door het schip. Hoe sneller een schip vaart, des te groter wordt de golf vormende weerstand. De theorie voor de golf weerstand is door William Froude rond 1870 vertaald naar de praktische toepassing voor het ontwerp van schepen. Onder bepaalde omstandigheden kan de golfweerstand van een schip worden verminderd. Dit wordt bereikt door aan de voorkant van het schip een bolvormig lichaam toe te voegen. Een duidelijke toepassing van een hydrodynamische beschouwing van Bernoulli(1700-1790), een Japanse uitvinding en een Nederlandse toepassing(innovatie).

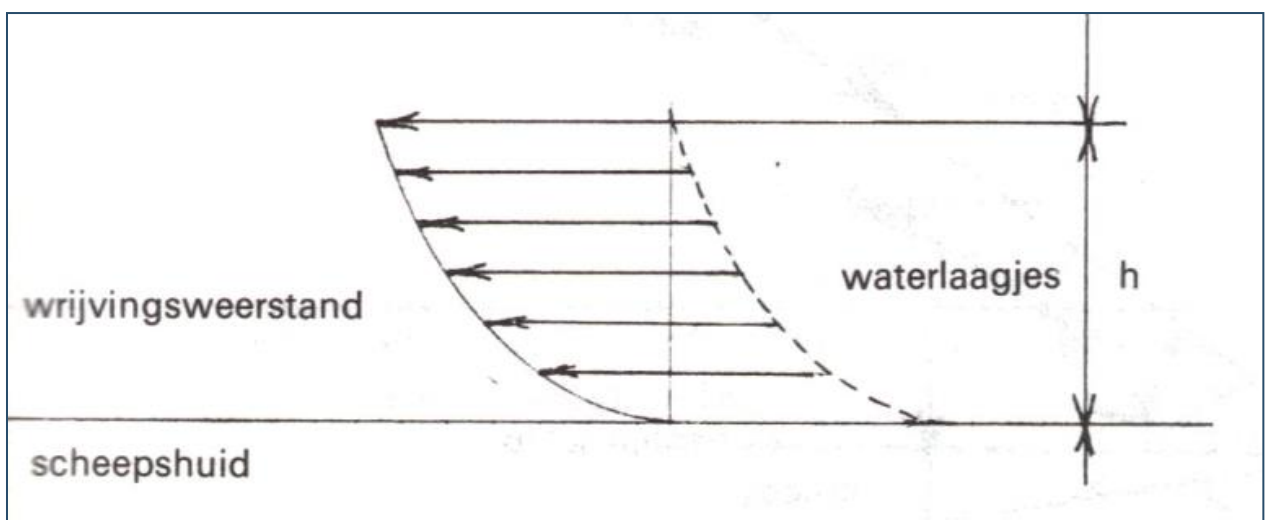


Fig.7. Wrijvingsweerstand.

De andere component van de weerstand, welke niet zo zichtbaar is als de golfweerstand, is de wrijvingsweerstand. Het water wordt door de scheepsromp afgeremd. Aan de romp kleeft als het ware een laagje water dat zelf ook weer een naastgelegen laagje meeneemt. Zo ontstaat de wrijvingskracht. De wrijvingsweerstand is evenredig met het kwadraat van de snelheid.

De hydrodynamische kennis is van groot belang om schepen te kunnen ontwerpen. Vroeger, meer dan 150 jaar geleden, was deze kennis hoofdzakelijk gebaseerd op praktijk ervaring overgedragen van vader op zoon. Waarom iets werkte of niet werkte werd nauwelijks begrepen.

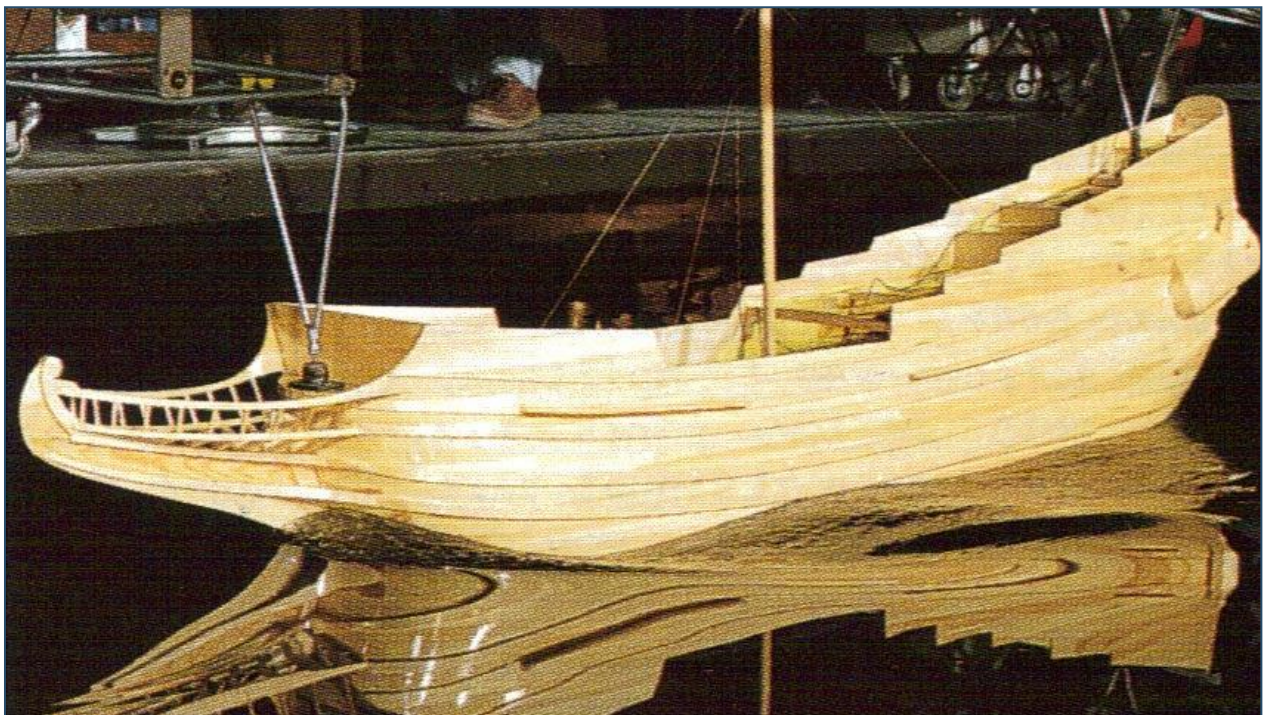


Fig.8. Model van de Batavia.

Ondanks dat waren er veel succesvolle scheepsbouwers. Een voorbeeld van zo'n schip is de Batavia(17^e eeuw). Het schip werd ontworpen om een bepaalde vracht bij een bepaalde snelheid(gegeven de wind) te vervoeren.

Het ontwerp van het schip was dus hoofdzakelijk gebaseerd op ervaring en slechts de stabiliteit(hydrostatica) was onderwerp van wetenschappelijk onderzoek gerelateerd aan de scheepsbouw. De kennis van stabiliteit van schepen is vitaal voor de scheepvaart. Sommige scheepsrampen, zoals die van de Thomas Lawson, maar ook die van recentere datum voor de kust van Zeebrugge in 1987 en november 2007 toen het schip ACIT III omsloeg bij het

eiland Sulawesi (Het sloeg om nadat passagiers op het dak waren geklommen om beter bereik met hun mobiele telefoons te hebben. Het schip raakte uit balans en kapseisde. Uiterst wrang: om de moderne technologie te gebruiken, vergeet men de oude wetenschap van de hydrostatica) tonen op schrijnende wijze aan wat er kan gebeuren als een schip niet meer stabiel is. Stabiliteit is onderdeel van de hydrostatica, welke voor het eerst bestudeerd werd door Archimedes (287 v. C. – 212 v. C.). Niet alleen wordt de hydrostatica ab ovo (Latijn, het zou eigenlijk in het Grieks moeten). Het werk van Archimedes heeft ons echter via het Arabisch en van daaruit in het Latijn vertaald, bereikt) uitgevonden en gegrondvest, dit gebeurt daarenboven met hoge wiskundige strengheid en elegantie. Ook vandaag nog zijn de diepgang en – ronduit – genialiteit van Archimedes' studie over drijvende lichamen indrukwekkend. Niet alleen Archimedes' boek "Van drijvende Lichamen" is het eerste werk waarin wiskunde en natuurkunde hand in hand gaan. Deze Griekse methodologische innovatie beheerst tot vandaag aan de dag de fysica. De persoon die de fakkel van Archimedes overnam was Simon Stevin (1548-1620). Stevin behandelde specifiek de stabiliteit van schepen (ladders op schepen in verband met de oorlogsvoering. Dus hoe hoog mochten ladders reiken?). Zijn werk bereikt echter niet het niveau van Archimedes. Waarom gaat het nu eigenlijk? Slaait een schip gemakkelijk om, is een schip wiebelig? Allemaal zaken die we goed kennen bij onze huidige plezier schepen, zeiljachten etc. Het gaat erom de omstandigheden te kennen waaronder een scheefliggend schip zich gemakkelijk opricht of niet. Hier werd dus in het verre verleden al aan gerekend. Ook Christiaan Huygens (1629-1695) heeft zich met deze materie bezig gehouden. Deze bereikte het niveau van Archimedes wel, maar dit ter zijde. Dit theoretisch werk was van groot belang bij het ontwerp van schepen. Maar voor de ontwikkeling van een theorie voor de weerstand van schepen ging het anders.

Ondanks het feit dat er al sinds duizenden jaren schepen worden gebouwd, is het voorspellen van de weerstand van een schip (hydrodynamica) eigenlijk pas actueel geworden toen slaven en zeilen vervangen werden door machines. Maar nog tot zo'n 150 jaar terug was ervaring de basis voor het ontwerp van een schip. Scheepsbouwers zijn altijd geconfronteerd met de vraag: hoe weet je van te voren dat het schip zal voldoen aan de eisen? De relatie tussen de hoofd afmetingen van een schip (lengte, breedte en diepgang: de waterlijnen), de vorm van de romp en de vaareigenschappen werden niet of nauwelijks ondersteund door theoretisch en experimenteel onderzoek. De idee zou kunnen bestaan dat er pas echt werk van onderzoek werd gemaakt bij de ontwikkeling van de eerste stoomschepen. Om de snelheid van een schip te beoordelen bij een gegeven motor (stoommachine) is het noodzakelijk om de weerstand te kennen. Fulton construeerde het eerste stoomschip in 1807. Toch werden vóór die tijd al wetenschappelijk studies gedaan naar de beweging van schepen.

De eerste studie gewijd aan beweging van lichamen in water werd geschreven door Leonardo da Vinci (1458-1519). Dit document is 300 jaar later boven “water” gekomen. In 1687 was Isaac Newton de eerste die een opzet maakte voor de theorie over de weerstand van een bewegend schip in water. Deze studie is gepubliceerd in De Principia. In 1749 ontwikkelde Euler een theorie voor de stroming rond een schip. Toch gebruikten de scheepsbouwers niet of nauwelijks de resultaten van de wetenschap. Dit had waarschijnlijk ook te maken met het feit dat de experimenten en de theorie ongeschikt waren om de prestaties van een schip op ware grootte te voorspellen. Een volledige verklaring is dit waarschijnlijk niet. De toepassing van de wetenschap en de ontwikkeling van de natuurkunde kwam pas op gang na de renaissance en de verlichting.

Laboratoriumproeven/modeltesten met schaalmodellen van schepen werden omstreeks het begin van de 2^e helft van de 19^e eeuw voor het eerst uitgevoerd. Dus zoals nu windtunnelproeven worden gedaan met auto's.



Fig. 9. Sleptest met scheepsmodel.

Deze sleeptesten – het schaalmodel werd door het water gesleept – werden uitgevoerd om de weerstand welke het schip op ware grootte ondervindt, te bepalen. Deze methode faalde omdat geen zinvolle conclusies uit deze metingen konden worden getrokken. Deze conclusie kan natuurlijk alleen maar worden getrokken als men over metingen op ware grootte, dus het echte schip, beschikte. Metingen op ware grootte, in die dagen, moeten zeer onnauwkeurig zijn geweest. Maar waarschijnlijk waren de fouten in de voorspellingen uit modelmetingen zo groot, dat de voorspelling niet zinvol was. Omstreeks deze tijd met een toenemende behoefte aan zinvolle voorspellingen, werd hout als bouw materiaal voor schepen vervangen door staal en zeilschepen door stoomschepen.



Fig.10. Scheepsschroef.

Stoomschepen, eerst voortbewogen door schep raderen, daarna door de veel efficiëntere en snellere schepsschroef. Onder de invloed van de snelle stoomschepen – de nieuwe technologie - veranderde de maatschappij aanzienlijk. Globalisering en de behoefte aan onthaasting waren aan de orde van de dag, we hebben het over 1850.

Door deze veranderingen was de eerder genoemde ervaring, overgedragen van vader op zoon, niet meer voldoende om schepen te kunnen bouwen. De ervaring voor houten schepen geldt niet voor stalen stoomschepen. Genoemde veranderingen, dus van hout naar staal en van zeilschepen naar stoomschepen, waren van groot belang want wezenlijke vragen moesten beantwoord worden, zoals hoeveel vermogen moet de stoommachine leveren om het schip de gewenste snelheid te laten varen? Het was uiteraard te duur om eerst het schip te bouwen en dan uit de praktijk te constateren dat het al of niet goed was. Het idee om toch schaalmodellen te gebruiken drong zich steeds sterker op. Het probleem was om het gat tussen de wetenschap en de praktische toepassing te vullen. Door deze duidelijke behoefte werd voldoende creativiteit geprikkeld om dit gat te overbruggen en de wetenschap te gaan toepassen. Het was William Froude(datum) die een praktische methode, om schaalproeven zinvol te laten zijn, uitvond op basis van de toen vigerende wetenschappelijke inzichten.

Hoe ging dit in zijn werk? Zoals we eerder hebben gezien bestaat de weerstand van een schip uit twee delen: de golfweerstand en de wrijvingsweerstand.

Om model/laboratorium proeven zinvol te laten zijn, leidde Froude de schaalregels af waaraan de proef moest voldoen om zinvol voorspellingen te doen voor de ware grootte. Echter, de schaalregel voor de golfweerstand is een andere dan voor de wrijvingsweerstand. Als men bij de proef aan de schaalregel voor de golfweerstand voldeed, wist men dat van de totale weerstand die gemeten werd de golfweerstand correct werd gesimuleerd maar de wrijvingsweerstand niet. Beide vormen van weerstand kunnen ook niet apart worden gemeten. In het jargon heet het niet voldoen aan de schaalregels: “schaaleffecten”. Voor de duidelijkheid: de verhouding van de dimensies tussen het schip en het model schip wordt schaal genoemd. Vandaar de uitdrukking schaal effecten. Echter met behulp van de wrijvingstheorie uit de hydrodynamica kunnen correctiefactoren worden afgeleid. Froude heeft dit voorgesteld en uitgevoerd.

Het voorbeeld van Froude om een sleeptank(de eerste) - een bak met water erin waardoor het model werd voortgesleept - te bouwen, werd opgevolgd door de bouw van een tweede sleeptank in Nederland ten behoeve van de Nederlandse Marine. Als sleeptank werd een onderhoudsdok van de marine gebruikt. Deze faciliteit werd in 1873 in gebruik genomen en deed dienst tot ongeveer 1900. Er werden veel proeven gedaan voor de Nederlandse

Marine, maar ook modellen van commerciële schepen werden getest om de optimale vorm vast te stellen.

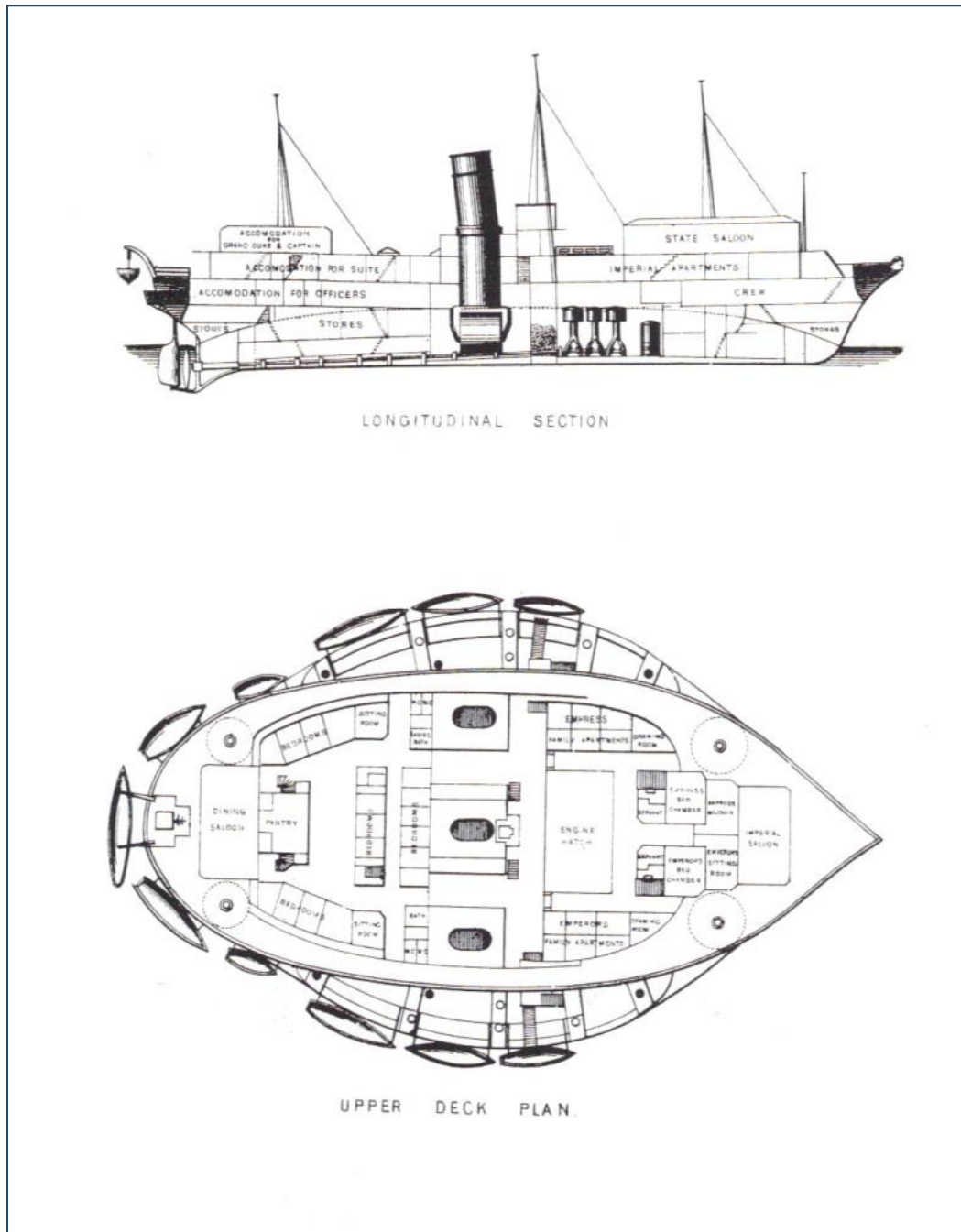


Fig. 11.Livadia.

Het is vermeldenswaardig dat het model van het jacht “Livadia”, Fig.11, van de Russische Tsaar ook in Amsterdam omstreeks 1878 werd getest. Omstreeks 1910 waren er zo’n 20

sleeptanks/laboratoria voor de zeevarende naties ter beschikking. Omstreeks 1900 werd de eerste Nederlandse sleeptank gesloten. Het is niet duidelijk wat precies de redenen waren om van verder gebruik af te zien. In ieder geval werd van de bouw van een nieuwe sleeptank afgezien vanwege de kosten.

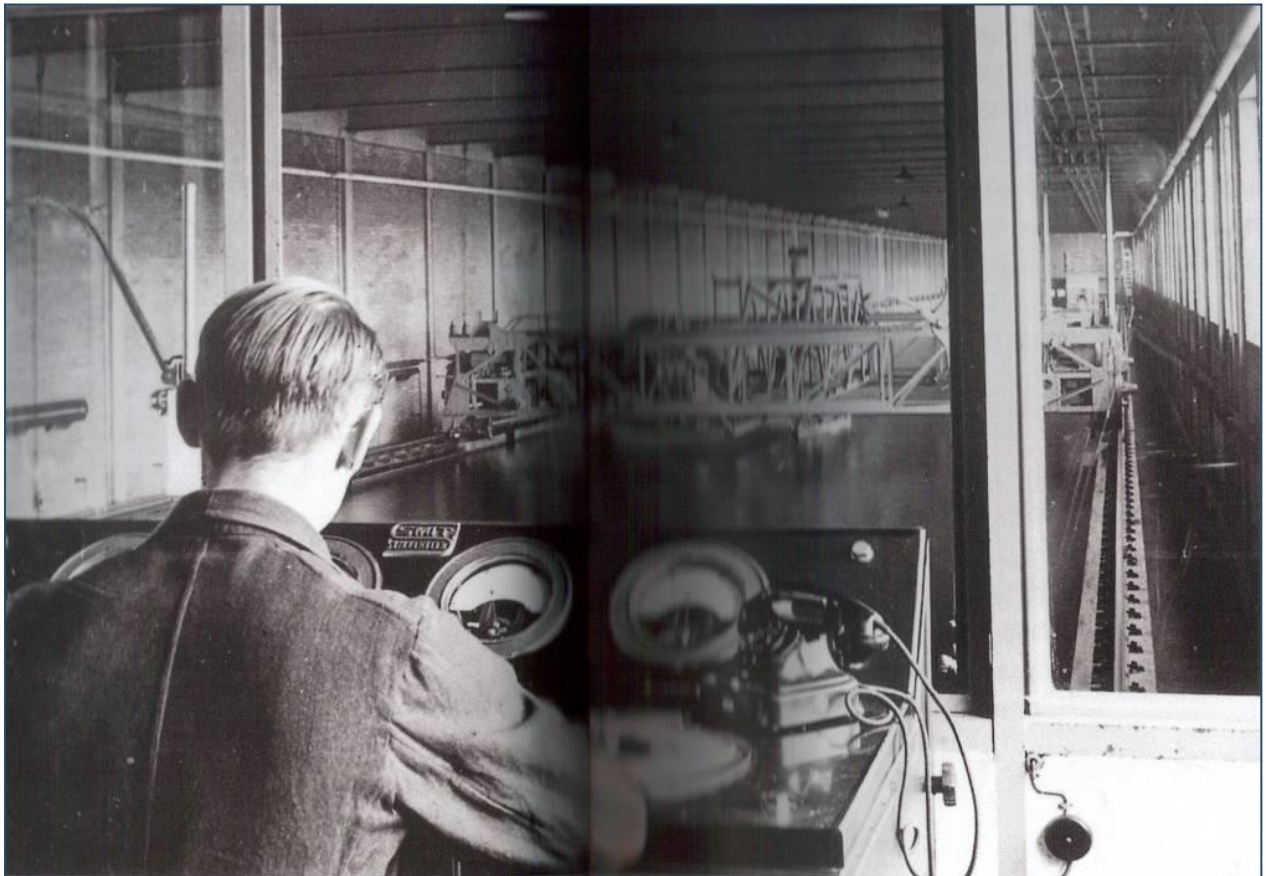


Fig.12. Sleeptank.

Toch werden er in de loop der tijd pogingen ondernomen om weer een test laboratorium te bouwen. Omstreeks 1932 was het zover en op 9 mei 1932 vond de inauguratie van Marin(toen NSP, Fig. 12) plaats. 3 Jaar nadat de Stichting daartoe was opgericht. Het Marin werd gesticht door de Nederlandse Staat, de “Stoomvaartmaatschappij Nederland”, de “Koninklijke Rotterdamse Lloyd”, de “Koninklijke Pakketvaart Maatschappij” en de “Nederlands Indische Tankstoomboot Maatschappij”.

Maken we een sprong in de tijd naar 2007, dan weten we dat Marin 75 jaar kan bestaan en dat doet ze dan ook. Er is nogal wat gebeurd in de geschiedenis van Marin. Hoe leid je een onderzoek faciliteit door de jaren heen met up’s en down’s van de scheepsbouw? De

scheepsbouw zoals wij die uit de 60'er en 70'er jaren van de vorige eeuw kennen is geheel uit Nederland verdwenen. Hoe pas je het bedrijf daarop aan? Welke ontwikkelingen worden gevolgd en welke dus niet? Alle aspecten van de scheepvaart en offshore activiteiten worden in Wageningen en een vestiging in Ede onderzocht. Experimenteel als mede theoretisch.

We richten ons op de wetenschap van de scheepsbouw en we hebben gezien dat het noodzakelijk is om te kunnen voorspellen hoe een schip zich in werkelijkheid zal gedragen. We willen bereiken dat bij simulatie in het laboratorium de werkelijkheid zo dicht mogelijk wordt benaderd.

We willen dus een aantal dingen weten/voorspellen:

- Wat is de weerstand van een schip bij de gewenste kruissnelheid;
- Welk voortstuwingsvermogen is daarvoor nodig.

De wet van behoud van ellende gaat hierbij ook op. Bij het doen van laboratorium proeven in een sleeptank hebben we last van genoemde schaaffecten. De weerstand kan niet uit een laboratorium meting gemakkelijk worden voorspeld. We hebben gezien dat we correctiefactoren moeten introduceren. Hoe goed of hoe slecht zijn deze correctiefactoren? Er rest ons slechts één weg om dat vast te stellen en wel om metingen te verrichten aan echte schepen (op ware grootte dus). Het meten onder echte - niet laboratorium - omstandigheden is geen sinecure. Een vak apart. Maar toch noodzakelijk. Zou gauw zich een gelegenheid voordeed om op ware grootte te meten maakte o.a. Marin daarvan gebruik. Marin heeft uit de modelmetingen(laboratorium), theorie en praktijk(ware grootte) een data base opgebouwd. Met behulp van deze data base, modelproeven en theorie, kunnen goede voorspellingen gedaan worden voor nieuw te bouwen schepen. Maar als we nu denken dat de wet van behoud van ellende niet meer opgaat, komen we bedrogen uit. Door allerlei nieuwe ontwikkelingen in de scheepsbouw – samenhangend met energiebesparing – zal steeds onderzoek noodzakelijk blijven.

De weerstand van een schip wordt overwonnen door de voortstuwingskracht. Deze kracht wordt geleverd door de scheepsmotor(aandrijving). Het vermogen van de motor wordt via de scheepsschroef(Fig.10) omgezet in de voortstuwingskracht welke de weerstandskracht overwint. Hoe ontstaat nu deze voortstuwingskracht? Simpel gesteld kan men een schroef opvatten als een verzameling vleugels. Een bewegende vleugel genereert draagkracht; "lift" in de vaktaal. De draagkracht wordt bij een schip omgezet in een horizontale kracht welke het schip voortduwt. Deze voortduwings/voortstuwingskracht wordt ook bij modelproeven(laboratorium) gemeten en vertaald naar de voortstuwingskracht op

werkelijke grootte. Ook voor de voortstuwingskracht geldt dat de werkelijke kracht niet exact voorspeld kan worden. Ook hier spelen schaal effecten een rol. De werkelijkheid kan niet op de juiste schaal gesimuleerd worden in het laboratorium.

Evenals voor de weerstand geldt ook voor de voortstuwing dat door een combinatie van modelproeven, theorie en metingen op ware grootte een database kan worden opgebouwd. Met behulp daarvan kunnen goede voorspellingen gedaan worden voor het benodigde vermogen van het bouwen schip en hoe de schepsschroef moet worden ontworpen.

De schepsschroef

We gaan nu wat nauwkeuriger naar de schepsschroef kijken.

We weten allemaal wat het kooppunt van water is: 100° Celcius of 212° Fahrenheit. Echter water kookt ook bij een veel lagere temperatuur als je bijv. op grote hoogte in de Himalayas vertoeft. Of in de ruimte, waarde druk nog veel lager is, ligt het kookpunt bij 0° Celcius.

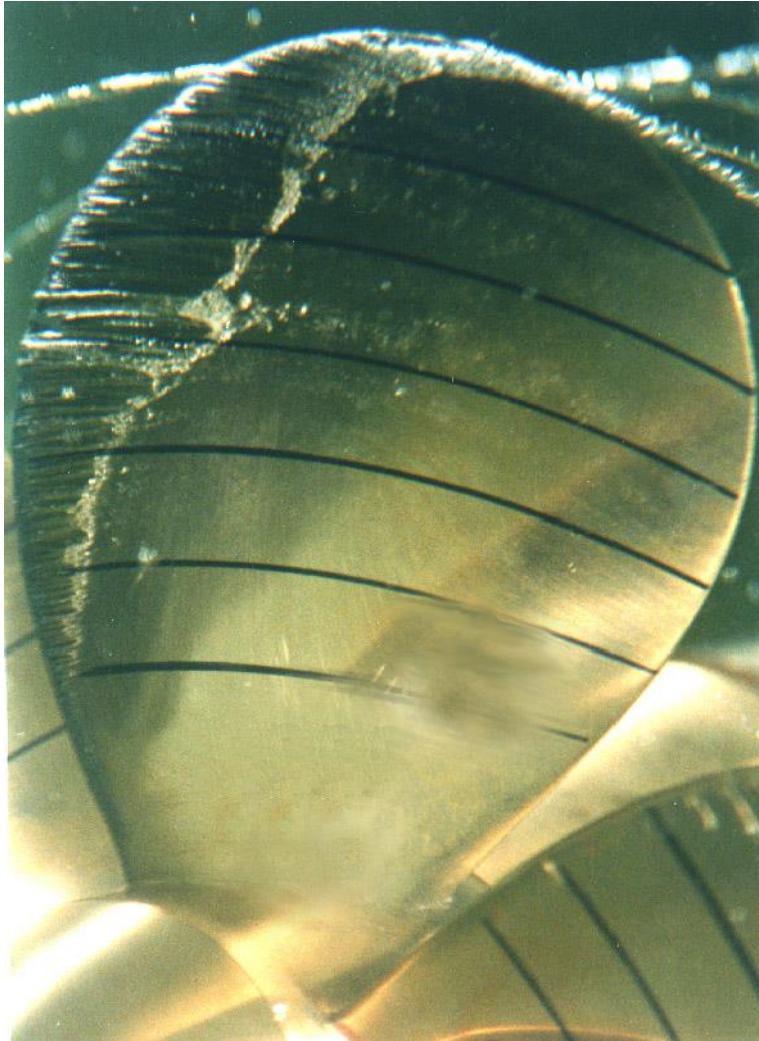


Fig.13. Cavitatie.

Maar op en achter een draaiende schepsschroef kookt het water. Een vorm van koken zonder pannen. De eenvoudigste uitleg van cavitatie – want daar gaat het over – is koud koken, veroorzaakt door de zeer sterke drukverlaging voor een schroef draaiende met hoge

snelheid. Overigens wordt de eerder genoemde lift, voortstuwingskracht, veroorzaakt door deze sterk verlaagde druk. Koken is in dit geval een hydrodynamisch probleem dat de deskundigen al meer dan een eeuw bezig houdt. Want waterdamp is een slecht medium om de schroef voldoende grip te laten verkrijgen om de voortstuwing te leveren. Echter, het is niet alleen dit aspect maar ook de trillingen en schade aan de schepsschroef welke door cavitatie kan ontstaan.

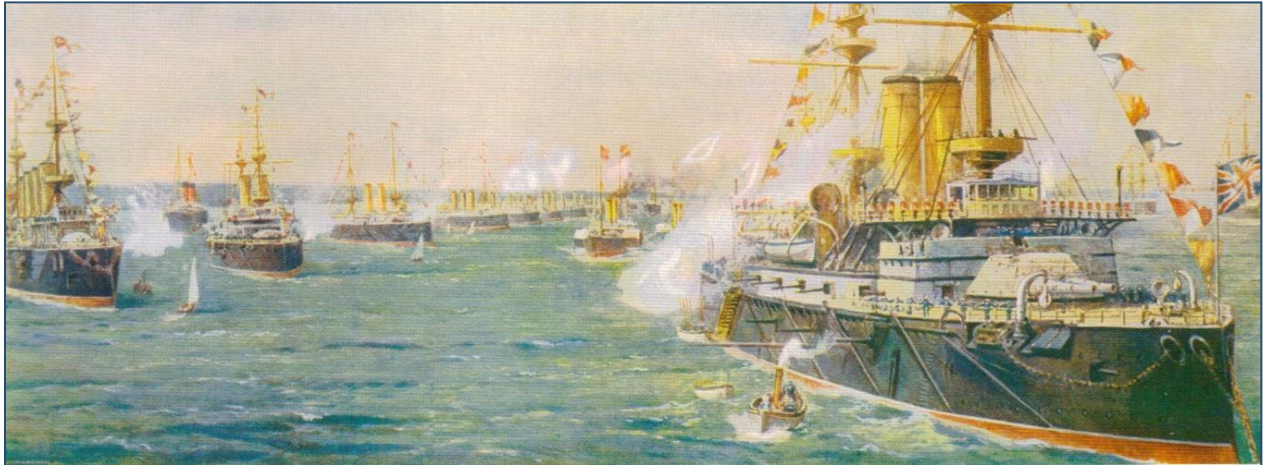


Fig.14. Turbina, 1897.

Terug in de tijd. Het is 26 juni 1897 ruim 110 jaar geleden en duizenden mensen hebben zich verzameld voor de jaarlijkse Royal Navy vlootshow. De show wordt al sinds de 14^e eeuw gehouden. Deze vlootshow is speciaal en mooier dan de voorgaande versies. Het is tevens de viering van Queen's Victoria 60^{ste} regeringsjubileum. 160 Machtige oorlogsschepen zijn te zien door de toeschouwers. 4 Rijen breed en elk 25 mijlen lang. Inderdaad een spectaculair gezicht. Jachten en passagiersschepen vervoeren vele buitenlandse hoogwaardigheidsbekleders en Europese royalties om getuige te zijn van het schouwspel. Het Koninklijke jacht Victoria vervoert de Prince of Wales voorafgegaan door het Trinity House jacht Irene. De Enchantress vervoert de Lords van de Admiraliteit, terwijl de Danube het gehele House of Lords aan boord heeft. Het ontzagwekkende Cunard Lines Campania heeft alle leden van de House of Commons aan boord, terwijl de Eldorado de buitenlandse hoogwaardigheidsbekleders aan boord heeft. De uitzondering is Prins Heinrich van Pruisen, die met zijn eigen schip de König Wilhelm is gekomen. Dan verschijnt Prince Edward – de Prince of Wales- en klonken de eerste tonen van God save the Queen. Maar dan? Een klein schip schiet door de linies met een duizeling wekkende snelheid van 30 knopen. Veel sneller dan waar enig schip toe instaat is in die dagen. Toeschouwers hebben plezier als een

patrouille vaartuig achteloos eruit gevaren wordt en bijna zinkt in het zog van de indringer. Het snelle schip vaart zo dicht langs een oorlogsschip dat de sloep tegen de wand slaat. De Prince of Wales vond het zo aardig dat hij om een herhaling vroeg. Het schip was de Turbina, welke we al eerder zijn tegen gekomen toen innovatie in de scheepsbouw aan de orde was. De Turbina was het snelste schip ter wereld. Het schip verschilde totaal van de toenmalige oorlogsschepen. Het werd aangedreven door een stoomturbine, het toekomstige aandrijfmiddel van de oorlogsschepen. Het schip was het geesteskind van Charles Parson, die voortborduurde op het werk van de Zweedse ingenieur Gustaf de Laval. Niet dat het in één keer zo voortreffelijk ging met de eerste proeven met het schip. Vóór 1897 zeker niet. Het schip presteerde in eerste instantie ver onder de ontwerp specificaties. Dus vóór dat Parsons de spectaculaire show voor de Prince of Wales kon uitvoeren. We moeten ons realiseren dat hij het slachtoffer was van een totaal nieuw verschijnsel. Wie had er tot in die tijd ooit van cavitatie gehoord? Zeilschepen hadden er uiteraard geen last van en de toenmalige stoomschepen voeren zo langzaam dat het verschijnsel cavitatie ook niet optrad. Niet alleen had Parsons de snelheidsgrens verlegd maar hij ontdekte ook een verschijnsel uit de natuurkunde. En terwijl de ingenieurs van vandaag schepen bouwen welke sneller kunnen varen dan de Turbina, is het mysterie van cavitatie nu nog steeds niet geheel opgelost.

Natuurlijk is er vooruitgang geboekt. Cavitatie wordt nu veel beter begrepen dan in de tijd van Parsons. Maar eerst weer terug naar de tijd van Parsons. Want hij moest uiteraard de bron van de storing vaststellen. De eerste vraag die hij zich stelde was of het aan de turbine of aan de schroef van het schip lag. Hij vond al snel dat het aan de schroef lag en beschreef het verschijnsel als een soort vacuüm achter het schroefblad. En uit een publicatie 2 jaar eerder (Thornycraft, 1895) vond hij het noodzakelijke bewijs: als een schroef een bepaalde voortstuwingsdrempel overschreed, ontstond er een vacuüm dat door Froude cavitatie werd genoemd. De voortstuwingskracht waar Turbina toe in staat was overschreed deze drempel met een factor 5! Pas na veel experimenteren met de scheepsschroef kwam Parsons op de snelheid van 30 knopen welke hij zo spectaculair demonstreerde gedurende de vlootshow in 1897. Parsons ontwierp ook de eerste testopstelling in het laboratorium. De toepassing van de stoomturbine als aandrijving in die dagen werd dus gefrustreerd door cavitatie.

Vandaag weten we dat het cavitatie probleem meer omvat dan alleen de snelheid of beter de snelheidsbeperking van het schip. In de 50-er jaren van de vorige eeuw wisten we dat snelheid slechts één van de problemen was. Geluid, trillingen van het schip en erosie van de schroef zijn andere problemen. Trillingen, drukfluctuaties op de romp en geluid waren zeer vervelend voor commerciële schepen. Echter voor marine schepen was het effect nog meer desastreus. In de 60-er jaren werd het probleem nog uitgebreid door het verschijnen van de eerste super tankers. Bij de verdere ontwikkeling van snelle schepen werd het van groot

belang om het probleem van cavitatie verder te beheersen. De problemen worden nog meer actueel met de komst van de grotere en snellere containerschepen. Nederland Distributieland.

Er komt dus geen eind aan de problemen. En daar zijn we aan gewend. Samengevat zijn de problemen van cavitatie – kookverschijnselen bij scheepsschroeven - :

- Trillingen;
- Geluid;
- Erosie.



Fig.15. Cavitatie en Erosie.

Achteraf weten we natuurlijk alles, maar toen in de 50er jaren schepen gedokt werden en erosie werd geconstateerd, lag er nog niet direct een verbinding met cavitatie. Maar met snellere en grotere schepen kwam erosie steeds vaker voor.

Erosie als verschijnsel in het landschap is voor ons duidelijk maar erosie van een scheepsschroef ligt niet direct voor de hand. Hoe ontstaat dit nu? Dit heeft alles te maken

met de verschijningsvormen van cavitatie. Erosie ontstaat doordat kleine damp/cavitatie belletjes in elkaar klappen en schokgolven(golven met relatief grote druk verschillen) opwekken welke op het schroefblad letterlijk het metaal(brons) uit het oppervlak rukt.

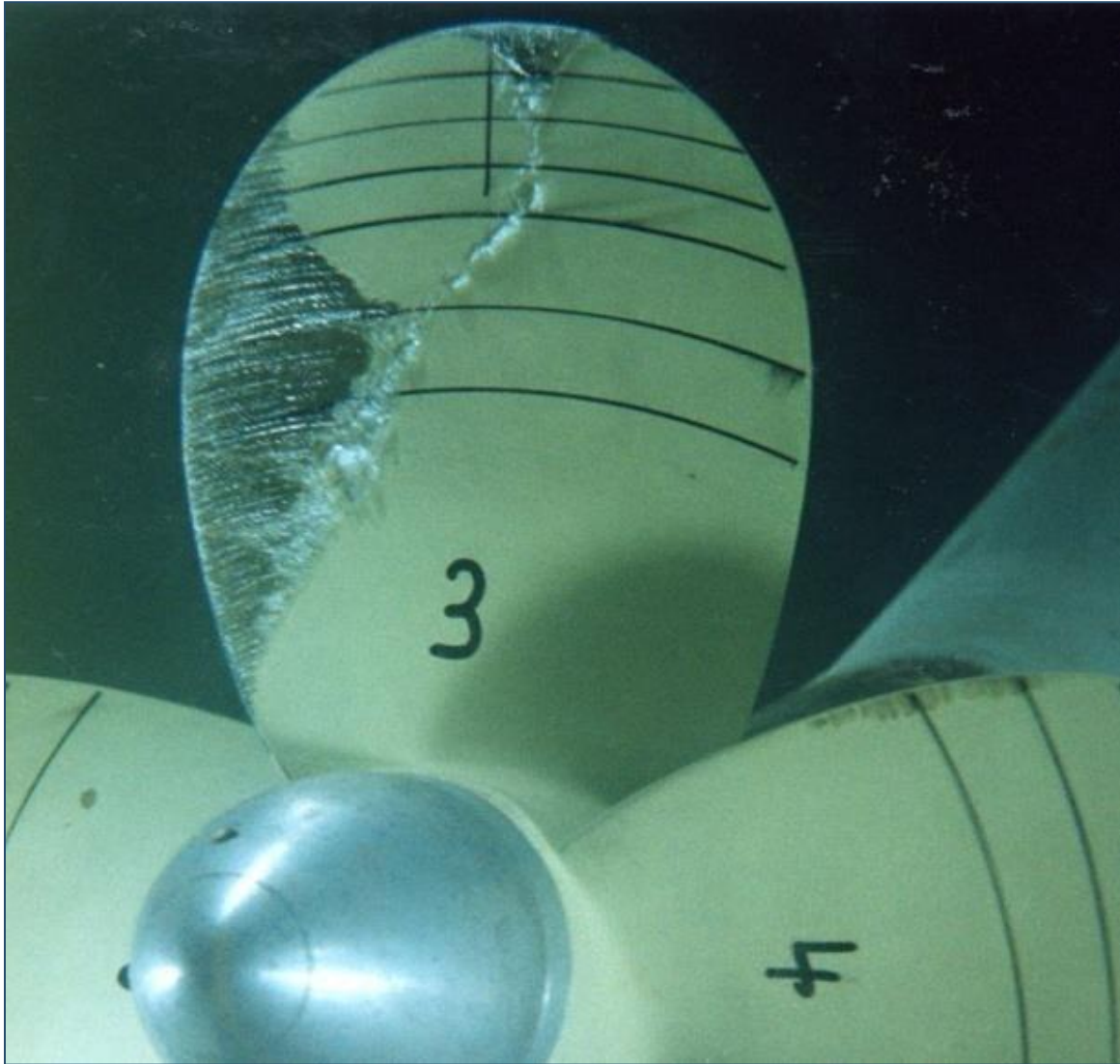


Fig.16. Cavitatie en Trillingen.

De cavitatie, caviteit, of volume damp op het schroefblad fluctueert met het draaien van de scheepsschroef. Het groeien en het krimpen van de caviteit veroorzaakt drukfluctuaties in het water om de schroef(denk ook maar aan de drukgolven in de waterleiding thuis bij het draaien van de wasmachine). Dit manifesteert zich op grote afstand van het schip als geluid en dichtbij door trillingen van het schip. De trillingen kunnen zo gevaarlijk/onaangenaam

worden dat het schip met een lagere snelheid moet gaan varen dan de snelheid waarvoor het schip is ontworpen. Dit speelde vooral in de 60er en 70 er jaren van de vorige eeuw. Grote containerschepen voeren met een snelheid van 25 knopen waarbij het gehele vermogen van de scheepsmotoren overgebracht werd op een schroef met een diameter van wel 10 meter. Vandaag aan de dag is alleen al doordat ook naar de brandstof kosten wordt gekeken, snelheid van minder belang in relatie tot de brandstof efficiëntie. Kosten optimalisatie. Met als resultaat dat daardoor het trillingsprobleem minder groot is. Maar is het cavitatie probleem minder? Zeker niet. Een scheepsschroef ondervindt ook weerstand. En dat kost ook brandstof. Gelet op de brandstof efficiëntie worden daarom scheepsschroeven anders ontworpen (slankere schroefbladen) met als gevolg meer kans op erosie. Het ontwerp van de scheepsschroef wordt zo geoptimaliseerd dat enige cavitatie acceptabel is.

Hoe komen we aan die kennis? Onderzoek en ontwikkeling vormen de basis van het ontwerp van de scheepsschroef net zoals bij het ontwerp van de vorm van het schip waarbij de schroef wordt toegepast. In fig. 16 is een voorbeeld te zien van cavitatie op een model schroef.

Hoe ziet cavitatie eruit op ware grootte? Klik op onderstaande link en je kijkt door een venster in de achtersteven van een schip bovenop de scheepsschroef en de wervel cavitatie. Een gedeelte van het roer is zichtbaar.²

<https://leennoordzij.files.wordpress.com/2015/01/full-scale1.mpg>

Ook is een video opname van de zijkant gemaakt. Klik op onderstaande link voor de video:

<https://leennoordzij.files.wordpress.com/2015/01/full-scale11.mpg>

² Na op de link geklikt te hebben, ga naar Dropbox en sla de video op. Daarna kan de video in Dropbox worden afgespeeld.

Cavitatie

We gaan nu wat dieper op cavitatie in.

Sinds de 50er jaren van de vorige eeuw is cavitatie op schepsschroeven een volwassen onderzoeksgebied. Cavitation verschijnt in verschillende vormen:

- Vlies cavitatie;
- Bellen cavitatie;
- Vortex of wervel cavitatie.

We kijken nu naar de drie genoemde vormen van cavitatie. In de volgende figuren, 17 tot en met 19, worden deze vormen van cavitatie weergegeven. De modelschroeven welke hier getoond worden zijn zo ontworpen dat deze een bepaalde cavitatie vorm vertonen.

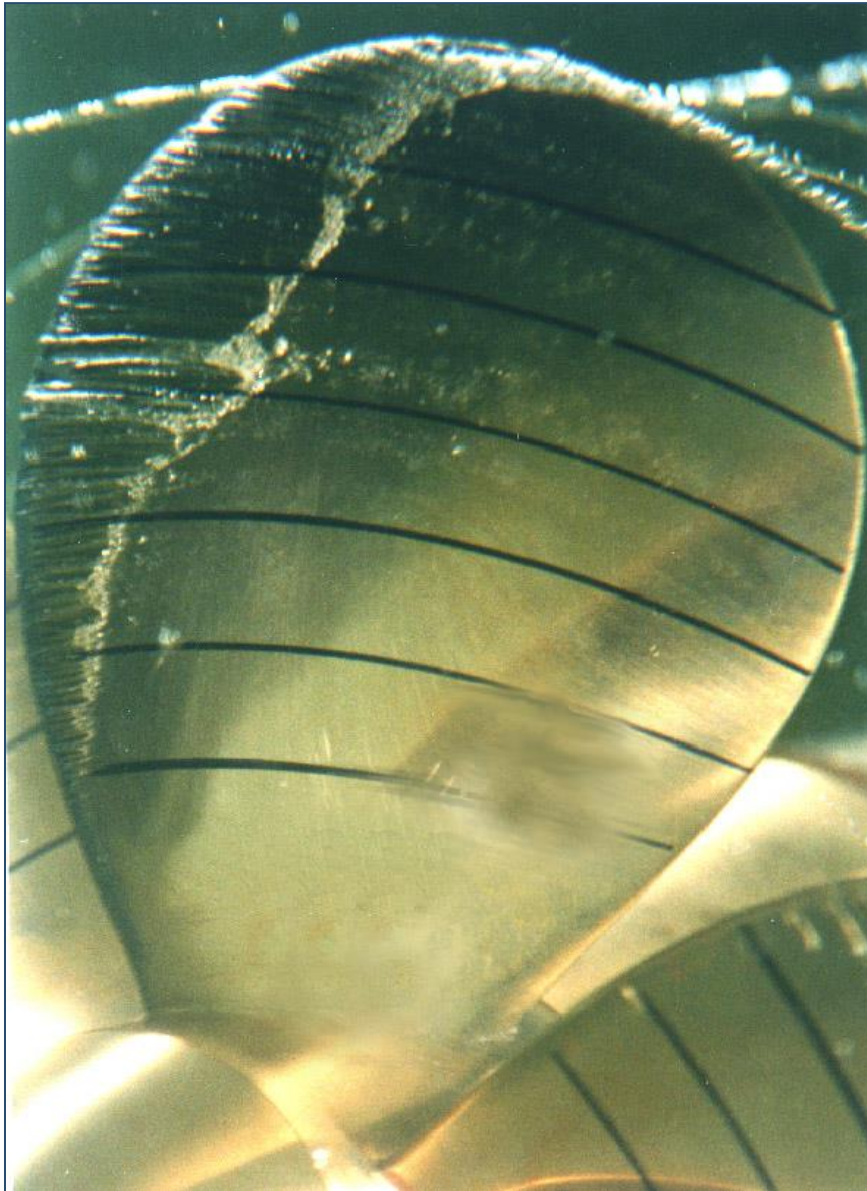


Fig.17. Vlies Cavitatie.

Overigens is in Fig.17 ook de wervel cavitatie te zien.

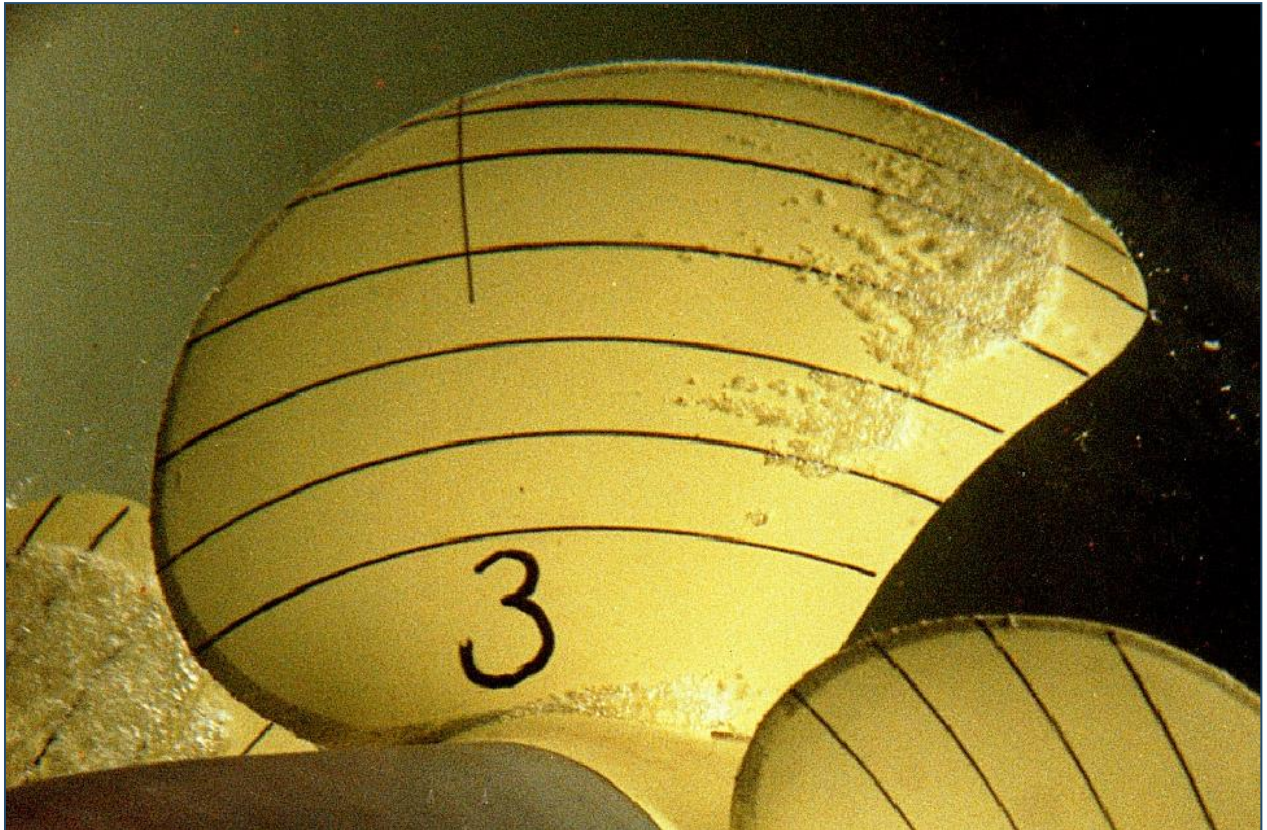


Fig.18.Bellen Cavitatie.

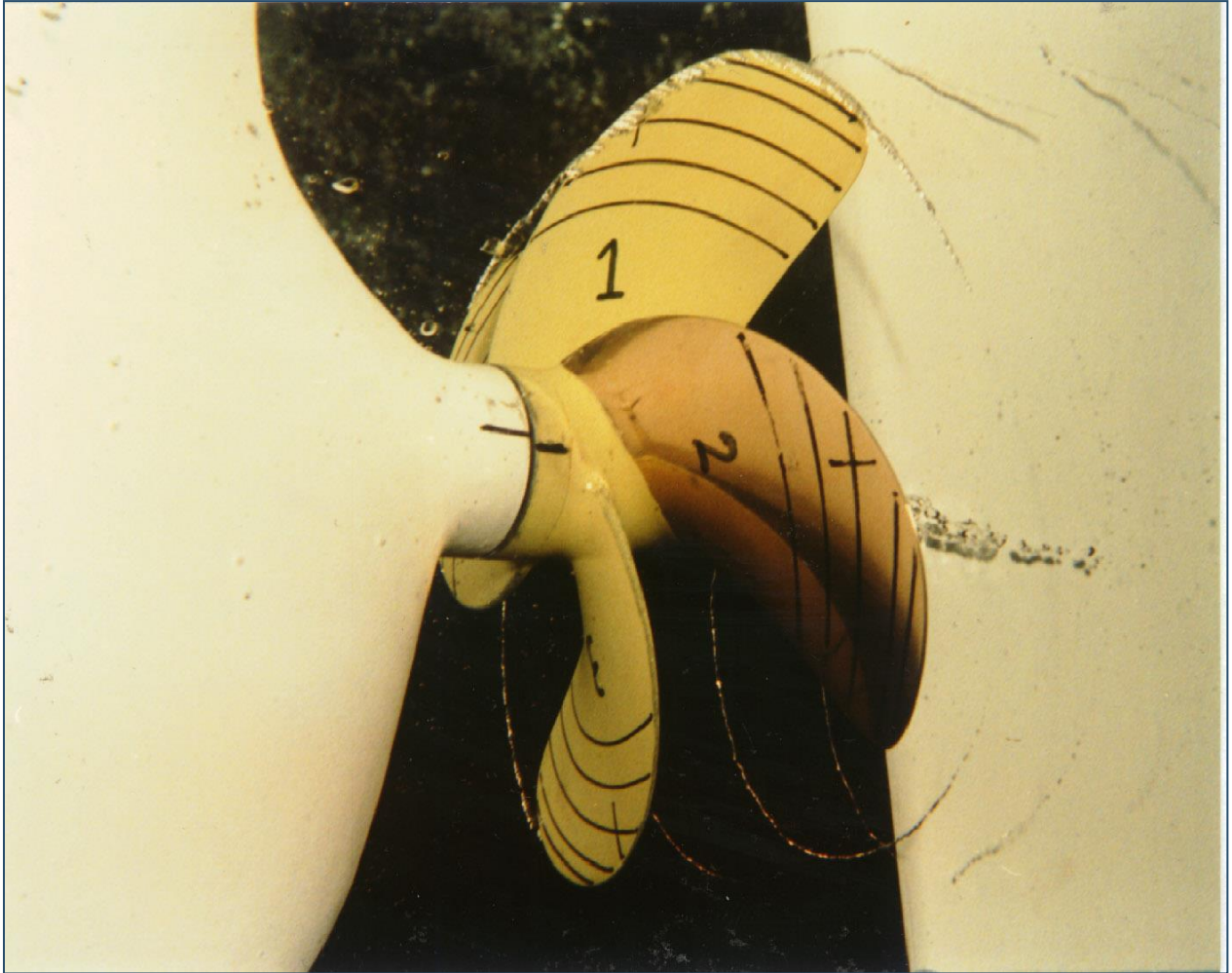


Fig.19.Wervel Cavitatie.

Ook is in Fig.19 een mengvorm, overigens gering, van cavitatie te zien. Echter, voor onderzoek, theoretisch alsmede experimenteel, zijn schroeven te ontwerpen en te gebruiken om de drie genoemde vormen van cavitatie te onderzoeken.

Cavitatie onderzoek



Fig.20.Cavitatie onderzoek.

Het onderzoek in de laboratoria is er op gericht om een schroef te ontwerpen, zodanig, dat bij acceptabele cavitatie, het schip op ware grootte voldoet aan de ontwerp specificaties. Daartoe wordt het eerste ontwerp van de scheepsschroef op schaal getest in het laboratorium. Voor de correcte uitvoering van de proeven moeten de omstandigheden bij de laboratorium proef in hydrodynamische – en hydrostatiche zin dezelfde zijn als op ware grootte.

Het scheepsmodel of laboratorium model wordt in een sleeptank, zoals eerder genoemd, getest. Dan weten we uit de hydrostatica(drukverdeling) dat de proeven niet goed worden

uitgevoerd. Daartoe zijn in het verleden nieuwe laboratorium faciliteiten ontwikkeld. De eerste is de cavitatie tunnel.

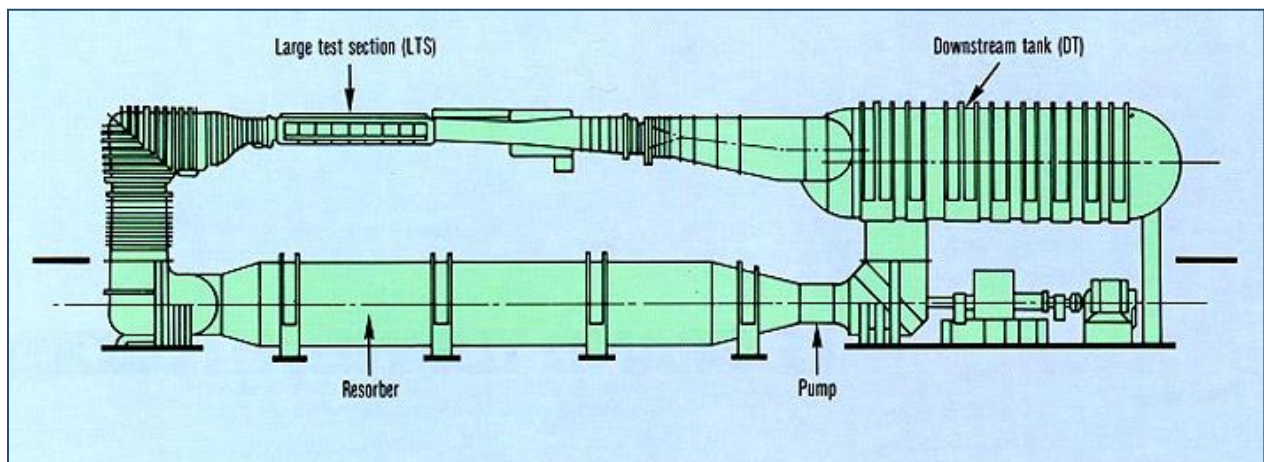


Fig.21.Cavitatie tunnel.

Parsons heeft de aanzet tot de ontwikkeling van dergelijke onderzoeksfaciliteiten. De moderne cavitatie tunnel ziet eruit als weergegeven in Fig.21. In principe een gesloten doorlopend kanaal waar de snelheid van het water en de druk kan worden gevarieerd. Proeven in dergelijke tunnels en op ware grootte gaven veel inzicht in het ontstaan van cavitatie erosie.

Door op onderstaande link te klikken wordt een video gestart³ waarop cavitatie op een vleugelprofiel en op modelschroeven wordt getoond:

<https://leennoordzij.files.wordpress.com/2015/01/part2.mpg>

Echter, net zoals bij het meten van de weerstand bij schaalmodellen had men bij cavitatie proeven last van schaal effecten. De juiste hydrodynamische omstandigheden konden niet worden gesimuleerd. Want het gaat bij cavitatie niet alleen om erosie, maar ook om de trillingen opgewekt door de caverende schroef. De cavitatie tunnels zoals die 30 á 40 jaar geleden werden gebruikt, waren ongeschikt om deze proeven te doen. Ongeschikt om schroef ontwerpen te beoordelen en te verbeteren. Daartoe is in Nederland in de 70er jaren een grote test faciliteit gebouwd door het Marin: De Vacuümtank.

³ Nadat de video is opgeslagen in Dropbox.



Fig.22.Vacuümtank. Opname van het inwendige.

In Fig.22 wordt het inwendige van de Vacuüm tank getoond. De wagen waarmee het model van het schip wordt gesleept wordt hier getoond. De breedte van het aanzicht is ongeveer 18 meter.

Via onderstaande link is een video opname te zien van een modelschroef gemonteerd achter een scheepsmodel dat in de vacuümtank gesleept wordt:

<https://leennoordzij.files.wordpress.com/2015/01/model.avi>

In fig.23 is te zien waar het scheepsmodel zich bevindt.

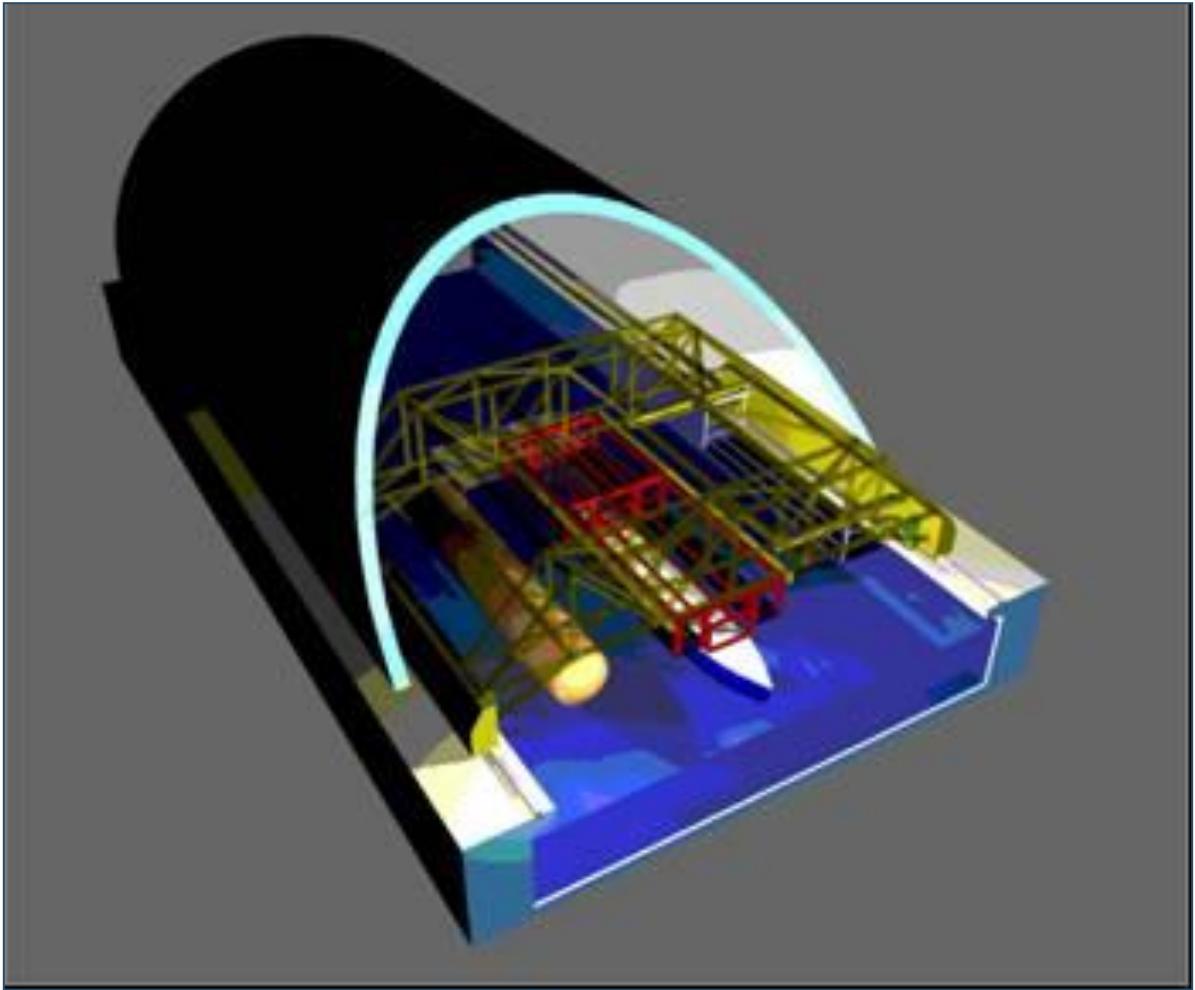


Fig.23. Schematische voorstelling van de Vacuümtank. Zie Fig.22.

In Fig.23 wordt het inwendige van de Vacuüm tank nog eens in schematische vorm weergegeven. De sleepwagen en het scheepsmodel worden getoond.

In Fig. 24 een indruk van het uitwendige van de tank. Vergelijk de auto's met de gele scheepsmodellen.



Fig.24. De Vacuüm tank. De lengte van de tank is ca. 200m.

Een compleet scheepsmodel met caviterende schroef kan in deze sleeptank worden getest. Maar ook hier worden de hydrodynamische omstandigheden niet exact gesimuleerd. Dus zijn de omstandigheden niet gelijk aan die op ware grootte. Door het gevorderde theoretische onderzoek aan cavitatie weet men door een aantal kunstgrepen de ware grootte omstandigheden te simuleren. Is alles nu zo opgezet dat uit de laboratorium proeven de juiste cavitatie patronen voor ware grootte kunnen worden voorspeld? Dit blijkt niet zo te zijn. Wat is het geval? Van de 3 cavitatie soorten: bellen cavitatie, vlies cavitatie en tip wervel cavitatie kan de laatste niet goed worden voorspeld. Door gebruik te maken van

gegevens uit ware grootte metingen kon een praktische regel ontwikkeld worden voor het begin van tip wervel cavitatie (inceptie).

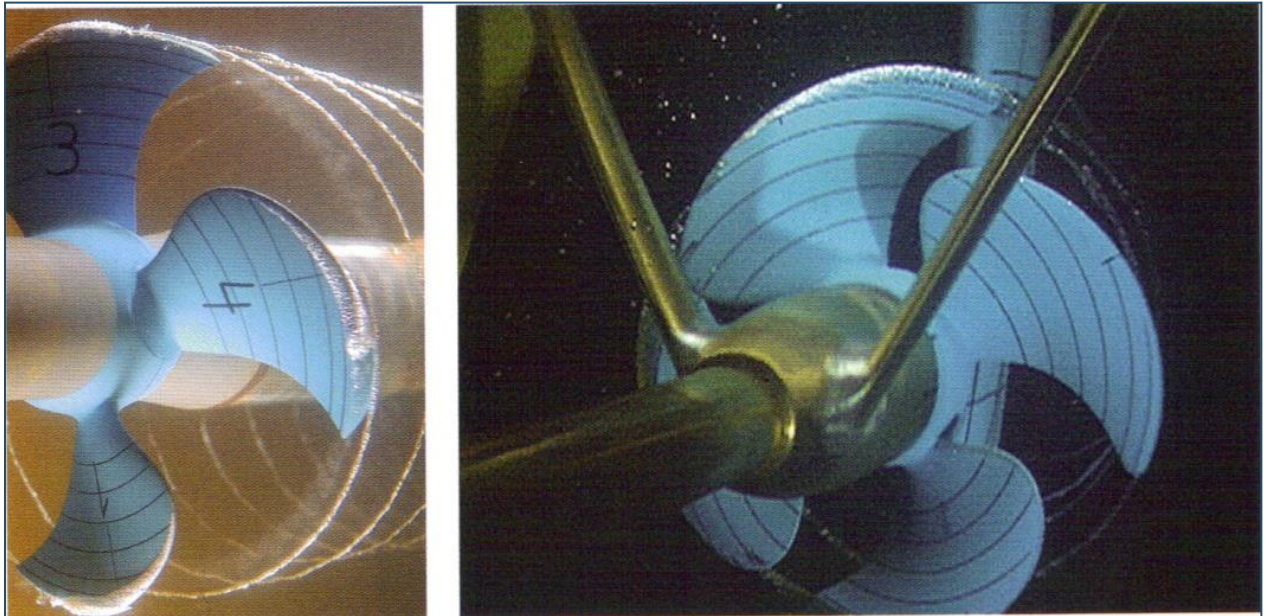


Fig.25. Tipwervel cavitatie.

Echter, ook nu zijn alle problemen niet opgelost. Het is gebleken dat de tip wervel cavitatie meer bijdraagt aan het trillen - en erger nog het resoneren – van het schip dan ooit is gedacht. Een mooi nieuw onderzoeksgebied voor de hydrodynamicus.

Het onderzoek voor de scheepsbouw wordt tegenwoordig in sterke mate ondersteund met computer simulatie gebaseerd op numeriek wiskundige modellen (Computational Fluid Dynamics). Het grote voordeel hiervan is dat het aantal proeven dat voor een bepaald scheepsontworp of andere off-shore constructie moet worden gedaan, afneemt.

Ook de Vacuümtank is inmiddels gerenoveerd en aangepast. Er zijn golf opwekkers ingebouwd om nog meer effecten op cavitatie te kunnen onderzoeken. In 2012 is deze aanpassing gerealiseerd.

De auteur was van 1973-1979 werkzaam bij het Marin.

Literatuur

Braudel, F. *Beschaving, Economie en kapitalisme (15^e – 18^e eeuw)*. Uitgeverij Contact, Amsterdam 1990.

Foster, F. *Innovatie: de aanval is de beste verdediging*. Uitgeverij Veen, Utrecht 1987.

Groothedde, G. J., Meurs, F. en Veltmeijer, H. *Pride, 75 years of maritime research at Marin*, 2006. Marin, Wageningen 2006.

Heijnen, K. en Tolsma, P. *Zeilen*. Uitgeverij Hollandia, Baarn 1988.

Kuiper, G. *Cavitation Inception on Ship Propeller Models*. PHD Thesis, Wageningen 1981.

Marin Jubilee 1992, *Developments in Marine Technology*.

Marin, *An introduction to cavitation, vibration and noise*.

Nijss, T. de en Beukers, E. *Geschiedenis van Holland tot 1572. Deel 1*. Uitgeverij Verloren, Hilversum, 2002.

Woude, A. van der. *Een nieuwe wereld*. Uitgeverij Bakker, Amsterdam 2006.

-