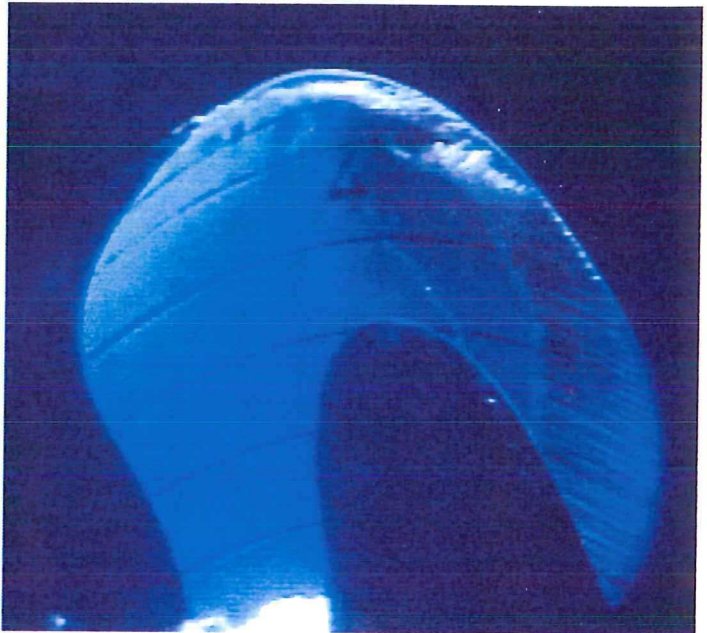


Krachten op een vakgebied in beweging

Voortstuwing en Weerstand van Schepen

Intreerede
17 april 2002

Prof. dr. ir. T.J.C. van Terwisga



Krachten op een vakgebied in beweging

Voortstuwing en Weerstand van Schepen

prof. dr. ir. T.J.C. van Terwisga

Krachten op een vakgebied in beweging

Voortstuwing en Weerstand van Schepen

Rede,

uitgesproken ter gelegenheid van de
openbare aanvaarding van het ambt van
buitengewoon hoogleraar in het vakgebied
Weerstand en Voortstuwing van Schepen
aan de faculteit Ontwerp, Constructie en
Productie van de Technische Universiteit
Delft, op 17 april 2002

door

prof. dr. ir. T.J.C. van Terwisga

Omslagfoto: Het fascinerende spel van twee caviterende 'leading edge' wervels op een schroefblad

*Mijnheer de Rector Magnificus,
leden van het College van Bestuur,
collegae hoogleraren, docenten en medewerkers van de universiteit,
dames en heren studenten,
familieleden, vrienden en collega's van buiten deze universiteit,
zeer gewaardeerde toehoorders,*

dames en heren,

1. Inleiding

Socrates, een van de bekendste Griekse filosofen, is onsterfelijk geworden door zijn stijl van filosoferen en debatteren. Hij was een meester in het stellen van de juiste vraag op het juiste moment. Een ander kenmerk van de man is dat hij niets opgeschreven heeft. Een stijl van handelen die mij verfrissend voorkomt in deze tijd waar er meer mensen lijken te zijn die publiceren, hiertoe aangespoord door de ietwat gekunstelde citatie index, dan mensen die de tijd nemen om die publicaties goed te lezen.

Geïnspireerd door Socrates, zal deze rede vooral gestuurd worden door vragen waar dit zinvol is. Vragen waarop ik u soms een deelantwoord zal geven. Het grote voordeel van de vragende wijs is dat we in staat zijn een globaal beeld te schetsen van de status van het vakgebied (Voortstuwung en Weerstand van Schepen), zonder daarbij de beschikbare tijd te overschrijden en te veel van uw concentratievermogen te vragen. Een bijkomend voordeel is dat gedurende de hele rede uw eigen kennis en denkvermogen geprikkeld wordt om het beeld volledig te maken. Hierdoor zal, naar ik hoop het gedachtegoed ook beter bij u blijven hangen. En een derde, zo mogelijk nog groter voordeel is dat ik geen adequaat antwoord heb op alle vragen.

Tussen al deze vraagtekens door zal ik de contouren schetsen van mijn visie op de toekomst van de wetenschap en techniek, van de markt, en van het onderwijs op het vakgebied. Elementen die stuk voor stuk noodzakelijk zijn voor innovaties in de bedrijfstak.

Naast een stijlfiguur van Socrates, gebruik ik in deze rede een gevolg van de tweede hoofdwet van Newton; actie is min reactie. Er is pas weerstand als er voortstuwung is. En als de voortstuwung groter is dan de weerstand, dan zien we het object waarop deze krachten werken versnellen. Ik gebruik dit voorbeeld graag als beeldspraak voor de dynamiek op het totale vakgebied "Voortstuwung en Weerstand van Schepen" en zal u laten zien dat we met dit vakgebied in een stroomversnelling zijn beland.

2. Maatschappij en markt gedreven ontwikkelingen

Is niet dé drijfveer voor technologische vernieuwing de maatschappelijke behoefte? Door de nog immer voortgaande mondialisering van de economie zal de behoefte aan goederen en personenvervoer vermoedelijk alleen maar toenemen of zullen de eisen die hieraan gesteld worden veranderen. Op kleinere schaal wordt dit geïllustreerd door de verwachting dat het goederentransport in Europa de komende 10 jaar met 100% zal toenemen, en dat dit zal leiden tot een stijging van ca. 25% van het aantal vrachtwagens op de weg, wanneer er geen maatregelen genomen worden (G. Lodewijks [2001]). Het dichtslibben van de belangrijkste verkeersslagaders en de ruimte die er is om het rendement van transport over water te verbeteren, zijn niet mis te verstane tekenen die het belang van de scheepvaart duiden. Het belang van de scheepvaart wordt verder ondersteund door de waarneembare publieke onvrede over de groei van het vrachtvervoer over de weg, de hierdoor ontstane veiligheidsrisico's voor personenvervoer en de milieuoverlast (zie bijv. het vrachtvervoer door de alpen). Deze behoefte creëert een drijfveer naar technologische vernieuwing, die in deze groeiende markt nog vele malen sterker is dan in een zich consoliderende markt.

Welke criteria sturen deze marktontwikkelingen? De belangrijkste zal ik hier kort uiteen zetten.

Beheersing van financiële risico's. In onze uitdijende kapitalistische maatschappij zijn de ontwikkelingen voor een belangrijk deel financieel gedreven. Bij elk initiatief, bij elk project zal een groeiende vraag zijn naar de financiële beheersbaarheid van de ontwikkeling. Dit geldt niet alleen voor projecten die zich bedienen van conventionele technologie, maar in nog sterkere mate voor ontwikkelingsprojecten waar de financiële risico's immers groter zijn. De Maritieme Techniek moet hierop inspelen. Niet alleen door verbeterde performance predicties te maken, maar ook bij elke methodiek aan te geven wat de te verwachten betrouwbaarheid van die predictie zal zijn. De predicties zullen verder, meer dan nu het geval is, betrekking moeten hebben op de werkelijke omstandigheden die het schip gedurende haar leven kan verwachten, en niet slechts op een of enkele proeftocht omstandigheden die een abstracte weergave van de werkelijkheid zijn. Nu al is er een groeiende behoefte waarneembaar naar simulatiemodellen die de praktijk beter benaderen.

Zijn de modellen van subsystemen in het simulatiemodel voldoende betrouwbaar voor realistische simulaties van het totaal systeem? Een simulatiemodel heeft immers pas zin wanneer de performance die gesimuleerd wordt ook met enige betrouwbaarheid voorspeld kan worden. Op dit punt is de laatste decennia goede vooruitgang geboekt in de voorspelling van de voortstuwingsperformance in een verscheidenheid aan operationele condities. Vragen die hiermee beantwoord kunnen worden zijn bijvoorbeeld: “*Wat is de relatie tussen motorvermogen en kans op vertraging op een lijndienst?*” en “*hoe lang blijft de voortstuwervrij van cavitatie en hoe moet ik de voortstuwervrij regelen om zo lang mogelijk cavitatievrij te varen?*” Tegelijkertijd roepen de antwoorden vragen op met betrekking tot de betrouwbaarheid van deze complexe rekenprogramma’s en de geldigheid van de gebruikte rekenmodules in een breder toepassingsgebied dan voorheen. We komen hier straks nog op terug.

Dit brengt ons bij een ander cavitatie gerelateerd vraagstuk: *Leveren de strengere eisen aan gereduceerde trillingsniveaus nog problemen op?* We praten hier vooral over trillingen die opgewekt worden door cavitatie op de propeller. Dit probleem is de laatste jaren in omvang gegroeid door een verhoging van de gemiddelde dienstnelheid van enkele knopen bij snelle ferries, RoRo’s en container feeder schepen over de afgelopen 15 jaar (Kanerva et al., [2001]). In de afgelopen 5 jaar is de ontwerpnelheid van ferries zelfs met een kleine 10 kn verhoogd naar iets onder de 35 kn. Door deze snelheidstoename en de daarmee samenhangende grotere stuwkracht per oppervlakteenheid (toegenomen stuwkrachtdichtheid), is het risico voor cavitatie geïnduceerde trillingen gegroeid. Daarbij komt nog een hoger eisenniveau van de passagiers en bemanning t.a.v. dit trillingsniveau. Soortgelijke cavitatie problemen treden op bij de grote containerschepen.

Zijn er nog andere randvoorwaarden die door de maatschappij aan de maritieme techniek gesteld worden? Jazeker, de laatste jaren krijgt de maritieme industrie in toenemende mate te maken met de overlast die veroorzaakt wordt door wash, het door het schip uitgestraalde golfsysteem, wat een risico is voor oever- en milieu beschadiging en schade aan afgemeerde schepen kan veroorzaken. Ook de emissie van schadelijke stoffen wordt en is in sommige gebieden al aan banden gelegd. Deze voorwaarden stellen nieuwe eisen aan de keuze van de rompvorm, het schroef-motor systeem alsmede ook de dagelijkse afregeling hiervan.

Is de werkomgeving en de cultuur van de hydromechanische ingenieur hiermee veranderd? Het antwoord hierop is niet moeilijk en duidt ook in de richting van een meer multidisciplinair gerichte aanpak. Er liggen hele duidelijke raakvlakken met specialismen binnen de hydromechanica, zoals zeegang en manoeuvreren. Daarnaast bestaan er samenwerkingsverbanden met onderzoekscentra binnen het J.M. Burgerscentrum. Maar ook buiten de hydromechanica liggen die raakvlakken, zoals het van oudsher bestaande verbond met de ontwerpingenieur en de constructeur, maar in toenemende mate ook met de maritieme werktuigkunde.

Laat er echter geen misverstand over bestaan dat er nog steeds problemen in de hydromechanica van het vakgebied “Voortstuwing en weerstand” bestaan waarvoor geen afdoende rekenmiddelen beschikbaar zijn, ja zelfs af en toe geen afdoende gevalideerde experimentele technieken voor bestaan. Een hardnekkig probleemgebied is dat van het cavitatie onderzoek naar erosie, geïnduceerde trillingen en inceptie. Aan een verbeterde voorspelling van door de voortstuwer geïnduceerde trillingen in het achterschip wordt op dit moment door een promovendus gewerkt. Hierbij wordt ook gekeken naar de wisselwerking tussen de dynamische respons van de constructie van het schip en het potentiaalveld in de stroming, het zgn. hydro-elastische probleem. Een ander voorbeeld van onvoldoende gevalideerde experimentele technieken zijn die voor de bepaling van de wisselwerking tussen waterjet en rompvorm. Hieraan wordt door een speciale ITTC (International Towing Tank Conference) commissie gewerkt.

Zoals zo vaak het geval is, blijken ook hier de maatschappelijke ontwikkelingen zowel een bredere, als een diepere kennis van het vakgebied noodzakelijk te maken. Een dilemma voor de R&D manager, die zich bovendien geconfronteerd ziet met een tendens van slinkende R&D budgetten. Een gelukkige bijkomstigheid voor Maritieme Techniek is, dat tegen de algemene trend in, de studentenaantallen de afgelopen jaren licht zijn gestegen.

3. Ontwikkelingen in de Technologie

Beschouwen we een schip van enige afstand, varende op zee, dan blijkt een verandering van de toestand van het water duidelijk uit het smalle witte spoor en het golfpatroon dat het schip achterlaat. Deze toestandsverandering van het water is een rechtstreeks gevolg van het krachterspel tussen water en schip. Het vakgebied der Voortstuwing en Weerstand van schepen kijkt daarbij vooral naar de beweging in het horizontale vlak, hoofdzakelijk in de langsrichting van het schip. Zij dient echter de effecten op het krachterspel in langsrichting te onderkennen die door zeegang en manoeuvres uitgeoefend worden.

Welke technologische ontwikkelingen brengen het vakgebied in beweging? Dit is zo'n vraag die gemakkelijker gesteld dan beantwoord is. Toch lijken drie ontwikkelingen van prominent belang te zijn:

- De sterke ontwikkelingen van rekentechnieken (Computational Fluid Dynamics)
- De toenemende aandacht voor operationele condities
- De recente ontwikkeling en snelle acceptatie van nieuwe concepten

De sterke ontwikkeling van rekentechnieken

Hoewel de wiskundige vergelijkingen die de stroming rondom het schip beschrijven, reeds in het begin van de 19e eeuw geformuleerd zijn door de heren Navier en Stokes, heeft het nog bijna twee eeuwen geduurd voordat wij in staat waren om deze vergelijkingen bij benadering op te lossen voor de stroming rondom een schip. En nog steeds hebben we belangrijke vereenvoudigingen nodig die bepaalde aspecten verwaarlozen.

Het is misschien opmerkelijk dat de experimentele hydro- en aërodynamica pas tot ontwikkeling kwam nadat over de wiskundige vergelijkingen van een stroming al in belangrijke mate overeenstemming bestond. d'Alembert, een bekend mathematicus uit de 18e eeuw, beklagde zich over het feit dat hij niet bij machte was om de weerstand van een eenvoudig lichaam in een stroming te bepalen. Om dit probleem aan te pakken werd door de 'Academie de Sciences de Paris' in 1775 een Commissie van Wijze mannen opgericht ter verbetering

van de vaareigenschappen van schepen. Deze commissie symboliseert de tot op heden nog steeds zo belangrijke symbiose tussen de theoretische en de experimentele stromingsleer. Zij symboliseert evenzeer de hechte relatie tussen de maritieme techniek en de stromingsleer.

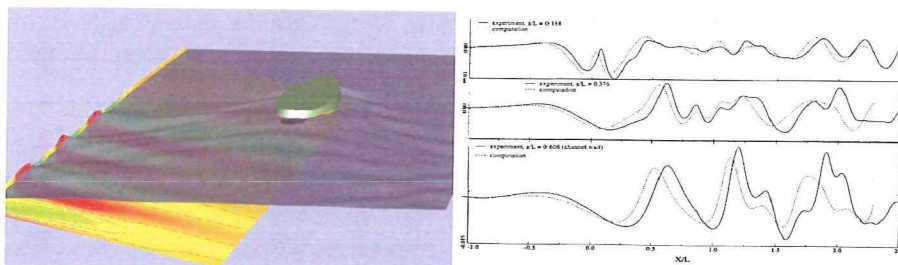
Intussen waren in de lage landen echter de eerste modelproeven al gedaan door een telg uit een belangrijke scheepsbouwersdynastie uit die tijd: Pieter van Zwijndrecht Pauluszoon. In een geschrift uit 1750 wordt reeds melding gemaakt van sleepproeven met waterlijnvormen, uit dikke planken gezaagd (Hoving en Lemmers [2001]). Dit zijn waarschijnlijk de eerste schriftelijke bewijzen van modelproeven. Een mooi voorbeeld van hoe wetenschappelijke thema's vaak volgen uit problemen door de industrie aangedragen.

Het is pas sinds het werk van William Froude (1810-1879), dat we gebruik maken van het uitgangspunt dat de scheepsweerstand ruwweg te scheiden is in een deel dat puur aan de wrijving van de stroming toe te schrijven is, en een deel dat hier onafhankelijk van is. Hiermee leiden modelproeven in het algemeen tot een min of meer betrouwbare predictie van de weerstand van het werkelijke schip.

Men zou kunnen stellen dat het oplossen van de stromingsvergelijkingen pas een zinvolle bijdrage tot het scheepsontwerp heeft kunnen leveren sinds de introductie van de panelenmethodes in de 60er jaren (zie bijv. Hess and Smith [1966]). Hierna heeft het echter nog enkele jaren geduurd voordat deze techniek geschikt was voor een analyse van een schip op het grensvlak van lucht en water. Dawson [1977] heeft een belangrijke bijdrage geleverd aan de ontwikkeling van een rekenmodel voor het uitgestraalde golfpatroon en de bijbehorende golfmakende weerstand. Vanaf de 80er jaren zijn deze codes met vrij oppervlak in toenemende mate gebruikt om in een vroeg ontwerpstadium de lijnen van het schip te optimaliseren. Inmiddels is de door Dawson gebruikte lineaire theorie verfijnd en wordt sinds enige jaren op enkele plaatsen in de wereld gebruik gemaakt van niet lineaire modellen. Deze niet lineaire modellen hebben als voordeel dat ze een beter beeld geven van de dynamische trim en inzinking van het schip, alsmede van het golfpatroon (m.n. het divergerende golfpatroon). Hierdoor is het onderscheidingsvermogen van de methode groter en kunnen details beter geoptimaliseerd worden.

Een mooi voorbeeld van een toepassing van dit programma is gegeven in het Europese LIUTO project, waarbij in samenwerking tussen MARIN en de Universiteit van Napels een waterbus voor Venetië is ontwikkeld (Raven et al.

[1998]). Eisen die aan dit vaartuij gesteld werden waren een minimale golfvorming bij lage snelheden in ondiep water en een minimale weerstand bij de hogere snelheden. Het voor ondiep water en variabele diepte aangepaste programma RAPID toonde een adequate overeenstemming met modelproeven (Fig. 1). Bij de afdeling Maritieme Techniek wordt nu een rekenprogramma ontwikkeld waarmee de bewegingen en de krachten kunnen worden uitgerekend op in insteekhavens afgemeerde schep en bij het passeren van een schip.



Figuur 1 Berekend golfpatroon en validatie hiervan voor een waterbus in een kanaal met variabele diepte (Raven et al. [1998])

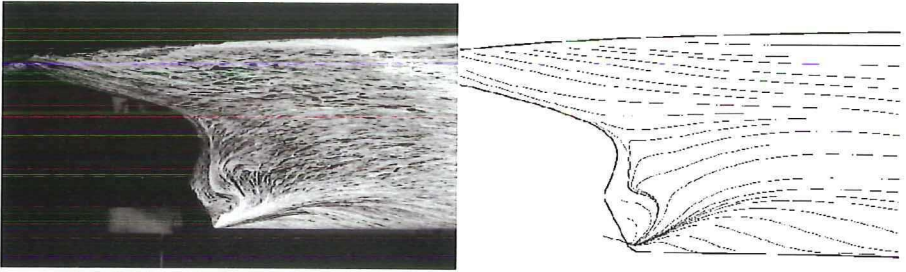
Het hier genoemde panelenprogramma blijft een vereenvoudiging van de werkelijkheid. Een van de belangrijkste nadelen van dit programma is dat het de viscositeit in de stroming verwaarloost. Een vereenvoudiging die in het voorschip vaak nog wel praktische resultaten geeft, maar die in het achterschip vaak tot onrealistische resultaten leidt. Om hier toch zinvolle resultaten te verkrijgen zijn er jarenlang pogingen gedaan om de viskeuze stroming op een relatief eenvoudige manier met analytische technieken te voorspellen. Wellicht het bekendste voorbeeld hiervan is de dunne grenslaagtheorie, die de beperkende aanname in zich had dat de drukgradiënt loodrecht op de huid door de grenslaag heen constant moest blijven. Voor de veelal dikkere grenslagen in het achterschip is deze vereenvoudiging echter niet meer houdbaar. Bovendien is deze methode niet in staat om door gebieden met een losgelaten grenslaagstroming heen te rekenen. Dit noopte de ontwerper tot empirische predicties en modelproeven om het ontwerp te optimaliseren en de vermogenskarakteristiek van het schip te bepalen. Zogenaamde verfproeven (Fig. 2) of tuft tests worden dan gebruikt om aan te geven of, en zo ja waar, er loslating van de viskeuze grenslaag (op modelschaal) optrad. Overige theorieën waren de zgn. integraalmethoden, waarbij analytische oplossingen zo goed mogelijk gecombineerd worden met empirische correctiefactoren. Ook deze

integraalmethoden schoten te kort bij de analyse van dikkere grenslagen en losgelaten stromingen.

Met de komst van krachtiger computers werd eindelijk de weg geopend naar een numerieke oplossing van de Navier Stokes vergelijkingen. Het oplossen van het grote stelsel vergelijkingen voor een grid van typisch zo'n 500 duizend tot een miljoen roosterzellen is geen arbitraire wiskundige handeling. Talloze oplossingsstrategieën zijn dan ook voorgesteld, met grote onderlinge verschillen. Verschillen die vooral tot uitdrukking komen in de oplossing van een samendrukbare stroming zoals dat in de vliegtuigbouw gebruikelijk is, en in een niet samendrukbare stroming, waardoor het stelsel van vergelijkingen slechter geconditioneerd is en derhalve moeilijker is op te lossen.

Pas sinds de negentiger jaren wordt op enige schaal gebruik gemaakt van zgn. RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes) solvers die in staat zijn de viskeuze stromingsvergelijkingen van de stroming rondom achterschip op te lossen. Op dit moment is een tiental bekende RANS codes beschikbaar voor dit werk. Een aantal die ontworpen zijn voor generieke omstromingsproblemen en een aantal specifiek ontwikkeld voor de voorspelling van de omstroming van de scheepsromp. Op het MARIN is hiertoe sinds de 80er jaren aan het programma PARNASSOS gewerkt, met een oplossingsstrategie die gekozen is voor dit specifieke probleem (Hoekstra [1999]). Uit een vergelijkend onderzoek met een viertal andere codes is gebleken dat deze ontwikkeling de beste overeenkomst met de modelproeven gaf te zien, en bovendien als een van de eerste codes in staat bleek te zijn de berekening voor ware grootte uit te voeren.

Figuur 2 toont een vergelijking van het stroomlijnpatroon op de romp van een tanker, bepaald uit verfproeven en berekend met PARNASSOS. Hieruit is duidelijk de goede overeenkomst te zien in de voorspelling van stroomlijn oriëntatie en loslatingsgebieden van de grenslaag. In de buurt van de kimstraat is de 3 dimensionale loslatinglijn te zien die aanleiding geeft tot een kimwervel. Boven de kim is in het achterschip het 2 dimensionale loslatinggebied waar te nemen. Achter de plaats waar een verdichting van stroomlijnen te zien is treedt hierbij loslating op met een retourstroming van achter naar voren.



Figuur 2 Stroomlijnpatroon uit verproef en een PARNASSOS berekening op de huid van een tanker (Hoekstra {1999})

Deze rekencodes worden in toenemende mate gebruikt voor een voorspelling en analyse van het snelheidsveld waarin de propeller opereert. Voor de voorspelling van de weerstand van het schip worden ze (nog) niet gebruikt door een te lage betrouwbaarheid van de desbetreffende resultaten.

Het traditionele experimentele onderzoek naar de weerstands- en voortstuwingseigenschappen van een schip blijft dus een belangrijke bijdrage leveren aan de voorspelling van de voortstuwingskarakteristiek van het schip. Modelproeven leveren een andere zekerheid dan RANS berekeningen. Door de geometrische gelijkvormigheid en de toepassing van hetzelfde medium als op ware grootte, worden impliciet allerlei verschijnselen meegenomen, die niet of onvoldoende in rekenmodellen gemodelleerd zijn. Ik doel hierbij vooral op loslatingverschijnselen, interactieverschijnselen tussen romp en voortstuwder of tussen viskeuze stroming en vrij oppervlak stroming. Bovendien is een experiment relatief eenvoudig in vergelijking met berekeningen met complexe invoer en codes waardoor de robuustheid van het experiment groter is. Een belangrijk probleem bij modelproeven blijft echter de correctie van schaafeffecten voor de voorspelling van het gedrag op ware grootte. Het ligt voor de hand dat bij de omschaling van model naar ware grootte, in toenemende mate gebruik gemaakt gaat worden van de resultaten uit de RANS berekeningen.

Een van de belangrijkste verdiensten van de betere rekenmiddelen, is de mogelijkheid tot een snellere en diepere exploratie van de ontwerpruimte die de ontwerper tot zijn of haar beschikking heeft. Dit levert een belangrijke vernieuwingsimpuls aan de industrie.

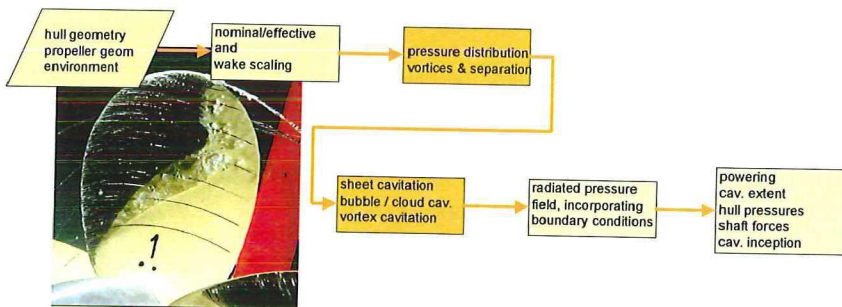
Het zojuist aangehaalde snelheidsveld waarin de voorstuwer werkt is een belangrijke input voor de schroefontwerper. Naast de motorkarakteristiek, bepaalt het snelheidsveld het toeren-vermogen verband en ook het cavitatie- en trillingsgedrag van de schroef. Zoals zojuist al gesteld is, wordt dit trillingsgedrag van de schroef immer belangrijker, en daarmee de voorspelling van omstroming en cavitatiegedrag van de schroef. De grenzen van het schroefontwerp zijn bereikt en dezen bepalen in toenemende mate, via eisen aan het snelheidsveld, de geometrie van het achterschip.

Wie wel eens naar cavitatie op een schroef gekeken heeft, zal hier mogelijk net zo door gefascineerd zijn als ik. Het is een verschijnsel dat zich slecht laat omschrijven, zoals beeldende kunst ook altijd tekort gedaan wordt wanneer dit met platte tekst wordt beschreven. Ik laat u hier een korte video opname zien van een van de meest gecompliceerde vormen van cavitatie, de propeller-hull vortex. Een vorm van cavitatie die vermeden moet worden gezien zijn enorme instationaire excitatie van schroef en schip en de cavitatie erosie die het met zich mee brengt.

Bij marineschepen dienen ook lichtere vormen van wervelcavitatie aan de bladtip zo lang mogelijk vermeden te worden. Een meerjarig onderzoek uitgevoerd door het MARIN, de Nederlandse en de Amerikaanse marine heeft aangetoond dat rekenmethodieken nog niet in staat zijn om beginnende wervelcavitatie te voorspellen, en dat een gecombineerde rekenkundige/experimentele techniek succesvol is bij het optimaliseren van het schroefontwerp (Van Terwisga et al. [1999]).

Maar ook andere vormen van cavitatie dienen vaak vermeden, of tenminste gecontroleerd te worden. Een zo'n vorm is vliescavitatie (zie fig. 3). Dit is een van de vormen van cavitatie die het meest voorkomt en waar we nu reeds stationaire berekeningen aan kunnen doen. Hierbij wordt vaak het 3 D beeld opgebouwd uit 2 D berekeningen. Een vereenvoudiging die door het sterke 3D karakter van vliescavitatie niet verantwoord lijkt te zijn, maar meer geboren is uit de beperking van de beschikbare middelen en kennis.

Dit brengt ons bij de eerste van de drie speerpunten van het onderzoek aan de leerstoel: *De voorspelling van cavitatie, en in eerste instantie van vliescavitatie*. Hiertoe bestaat binnen het J.M. Burgerscentrum een goede samenwerking met de Universiteit Twente.



Figuur 3 Elementen in de voorspelling van cavitatie en haar gevolgen

Cavitatie kan leiden tot ernstige trillingshinder en schade op propeller en roer. In extreme gevallen kan cavitatie bovendien de performance van de voortstuwer aantasten. Het is vooral hierom dat voorspelling van het totale cavitatie beeld zo belangrijk is. Op het gebied van de berekening van trillingshinder door cavitatie zijn we verder dan op het gebied van cavitatie erosie. Maar zelfs bij trillingshinder berekening, past een grote mate van bescheidenheid als het gaat om berekende voorspellingen. Een van de belangrijkste redenen hiervoor is dat trillingshinder het resultaat is van een groot aantal verschijnselen die eerst voorspeld moeten worden, aler we met de uiteindelijke trillingshinder berekening kunnen starten. De hele keten van berekeningen is afgebeeld in Figuur 3. Dat zelfs in deze elementen nog belangrijke foutbronnen zitten is aangetoond door een vergelijking van 11 programma's van 8 vooraanstaande researchinstituten door de Propulsor Committee van de 19e International Towing Tank Conference (ITTC [1990]). Zij demonstreerde dat in de bladfrequente drukfluctuaties van de niet caviterende schroef nog een spreiding in resultaten te zien is van $\pm 50\%$ en concludeerde daaruit dat het dragende vlak probleem van de schroef nog niet is opgelost, ondanks het vele werk dat hier sinds de 60er jaren aan verricht is.

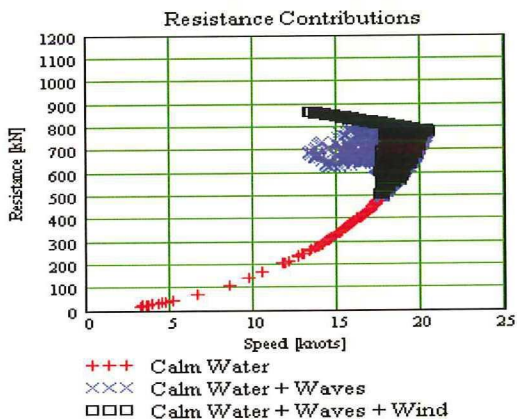
Uit de maatschappelijke behoefte om trillingshinder niveaus te controleren en te verminderen, en uit de hiervoor geschetste moeilijkheid om hieraan betrouwbare voorspellingen te doen, moge het duidelijk zijn dat dit een terrein is voor getalenteerde hydrodynamici die nog het vermogen bezitten zich niet te laten afleiden door de oprukkende zapcultuur. Ik verwijs hier naar de intreerede van prof. dr. Wim Veen, hoogleraar didactiek en onderwijsontwikkeling [2001].

Toenemende aandacht voor operationele condities

Met het beschikbaar komen van betere rekenmiddelen, gloort ook de mogelijkheid om reeds in het ontwerpstadium rekening te houden met de werkelijke omstandigheden waarin het schip komt te opereren. Traditioneel worden deze omstandigheden vertaald naar abstracte ideale condities, die het schip in haar leven nauwelijks zal tegenkomen. Alweer is deze vertaalslag geboren uit vooral de beperking van voorspellende technieken, meer dan uit de werkelijke behoefte. Men zou dit "lantaarnpaal ontwikkeling" kunnen noemen; Zoeken naar het fietssleuteltje in het licht van de lantaarnpaal, omdat het buiten deze cirkel toch niet te vinden is.

Voorbeelden van gereedschappen die het mogelijk maken om in een vroeg stadium aan het schip in operationele condities te rekenen zijn het reissimulatie programma GULLIVER en het propeller cavitatie programma PEASE, die beiden op het MARIN ontwikkeld worden en in de voorhoede van wereldwijde ontwikkelingen mee doen. Binnen deze programma's blijkt ook duidelijk de noodzaak om de verworvenheden van verschillende disciplines te combineren. Zo spelen manoeuvreren en het gedrag in zegang naast het traditionele voortstuwingsprobleem een belangrijke rol. Maar ook een juiste modellering van de motoren en haar regelingen en, voor zover mogelijk, van de mens wordt belangrijk.

Figuur 4 toont de weerstandscomponenten en stuwkracht van realisaties in een reissimulatie (Dallinga and Pinkster [2001]). Het voorbeeld betreft een ferry die opereert op de route Santander in Spanje naar Plymouth in Engeland over een periode van 5 jaar. Afvaarten zijn om de andere dag. Realisaties van de performance zijn met tijdstappen van 2 uur berekend. De vlak water weerstand is bepaald voor

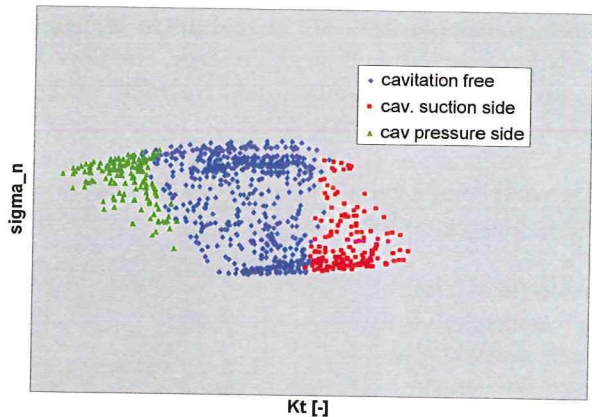


Figuur 4 Realisaties van de weerstandscomponenten in een reissimulatie (Dallinga en Pinkster [2001])

ideale proeftochtomstandigheden. De som van de drie weerstandscomponenten is in alle gevallen gelijk aan de geleverde stuwkracht (gecorrigeerd voor zoggetal). In een aantal gevallen zien we dat de geleverde stuwkracht niet maximaal geweest is. Dit is veroorzaakt door het bewust terugnemen van snelheid door de bemanning tegen het eind van de trip om op het gewenste tijdstip aan te komen.

De realisaties in Figuur 4 zijn gebaseerd op een quasi stationaire aanpak van de voortstuwcr performance, d.w.z. dat versnellingstermen en dempingstermen hierin verwaarloosd zijn. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen of en wanneer deze vereenvoudigingen tot ontoelaatbare fouten in de volgehouden snelheid of de motorperformance leiden. Ook is de motorkarakteristiek onder instationaire en overbelaste omstandigheden slechts summier gemodelleerd.

Een voorbeeld van een meer gedetailleerde operationele analyse in dienstomstandigheden is gegeven in Figuur 5. In dit zgn. instationaire cavitatie inceptiedigram is voor het schip in golven aangegeven bij welke dimensieloze stuwkracht en welk dimensieloze toerental de schroef begint te cavitieren. Alle punten die in deze figuur geplot zijn zijn realisaties van een totale periode van 15 min, waarbij voor elke seconde de bewegingsvergelijkingen van schip en schroef zijn opgelost. Hoewel in dit simulatiegereedschap



Figuur 5 Cavitatie inceptie diagram van een schip in achterinkomende golven (Sea State 4)

veel meer detail van het voortstuwingsysteem is gemodelleerd, zitten ook hierin nog een groot aantal aannames en vereenvoudigingen. Verificatie en validatie van dergelijke simulatieprogramma's zijn tijdrovende activiteiten waarbij een multidisciplinaire aanpak een eerste voorwaarde is voor succes.

Naast het overschrijden van vakgebiedsgrenzen worden hierin eveneens de grenzen overschreden van de rekenmiddelen die nog in stationaire, ideale condities een acceptabele betrouwbaarheid hadden. Het verkennen van deze grenzen en het verbeteren van de predictiegereedschappen levert voor de komende decennia een uitdaging voor technici.

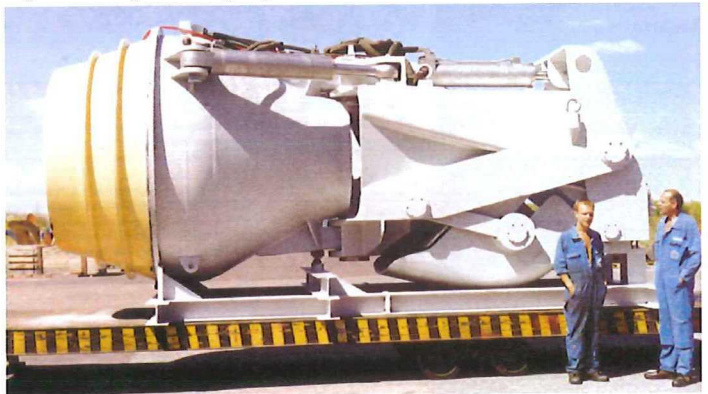
Het is mede hierom dat onderzoek aan simulatietools de tweede van de drie speerpunten van de leerstoel is.

Ontwikkeling en acceptatie van nieuwe concepten

Een belangrijke impuls aan de ontwikkeling van de maritieme techniek is te danken aan de ontwikkeling en acceptatie van nieuwe rompvorm en voortstuw concepten. Naar mijn overtuiging is de snelle acceptatie van deze concepten te danken aan betere ontwerp en productietechnieken. Door betere ontwerptechnieken worden de risico's van het nieuwe concept eerder voorzien en op hun waarde geschat waardoor de ontwikkeling financieel gezien beter beheersbaar is. Door betere productietechnieken, waarbij zowel het productiemanagement als de gebruikte techniek bedoeld wordt, worden de ontwikkelingskosten bovendien lager. Hierdoor wordt het financiële risico van nieuwe ontwikkelingen geringer, waardoor een groter aantal nieuwe concepten ook economisch haalbaar is.

Als voorbeelden van geslaagde ontwikkelingen op het gebied van voortstuwing wil ik graag de waterjet en de podded propeller noemen.

In de 60er jaren is aanvankelijk veel ontwikkeling en onderzoek verricht aan waterjet voortstuwing (figuur 6) door de Amerikaanse marine, waarbij voor het ontwerp van de pomp gebruik is gemaakt van de



Figuur 6 Waterjet voortstuw

technologie die beschikbaar kwam uit de ontwikkeling van brandstof-pompen voor de ruimtevaart industrie. Nadat er een dip in de ontwikkeling in de 70er jaren optrad, werd het concept van de waterjet in de 80er jaren door de industrie opgepakt, en is het nu een voortstuwer die vooral veel gebruikt wordt op snelle ferries, patrouille vaartuigen en werkschepen. De moderne marines zijn geïnteresseerd vanwege de mogelijkheden tot verdere reductie van het uitgestraalde geluid door de voortstuwer. Op dit moment worden waterjet voortstuwers ontwikkeld die tot 50 MW op een as kunnen absorberen. Om u hier iets bij voor te stellen moet u zich bedenken dat één zo'n waterjet een gemiddeld 25 m wedstrijdzwembad in een tijdsbestek van een 6.5 sec volledig kan vullen.

De podded propeller heeft zicht vooral in de afgelopen 10 jaar sterk ontwikkeld. Eind 80er jaren ontwikkelden de Finse werf Kvaerner-Masa in samenwerking met ABB Industry een steerable thruster waarbij een elektromotor van ca. 1.5 MW in de pod juist voor de schroef geplaatst werd. In de laatste jaren hebben deze voortstuwers zich bewezen op een snel toenemende aantal cruiseschepen. De sterke vermindering van cavitatie op de schroef en hierdoor

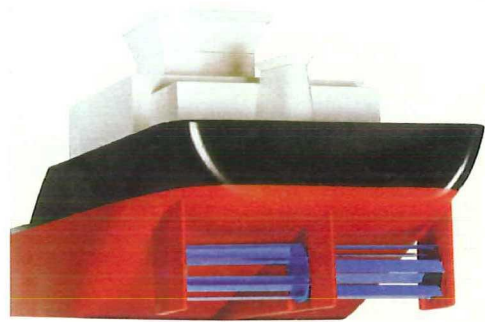


Figuur 7 Podded propellers op een cruise schip

geïnduceerde trillingen hebben tot een nieuwe comfort standaard geleid. Door een grote mate in flexibiliteit in positionering van voortstuwer en de machinekamer, operatie en layout, wordt deze voortstuwer ook in toenemende mate gebruikt voor vollere schepen en containerschepen. Naast een vermogensbesparing, levert deze voortstuwer bovendien nog een beter manoeuvreergedrag op. Op dit moment worden podded propellers door de industrie aangeboden die een vermogen tot 30MW kunnen absorberen. Een tot de verbeelding sprekend project is dat van de Queen Mary II, die uitgerust zal worden met 4 podded propellers. Dit schip zal 350 m lang worden en zal zo hoog worden als een flatgebouw met 20 verdiepingen. "Zij zal de gratie en

elegance uit vervlogen tijden naar de toekomst dragen" zoals de directeur van Cunard Line zegt

Als voorbeeld van een tragere ontwikkeling noem ik hier graag het voorbeeld van het Whale Tail Wheel. Een ontwerp dat appelleert aan het aloude adagium dat een voorstuwer met een groot oppervlak en trage watersnelheden een maximaal rendement moet hebben (van Manen en Van Terwisga [1996]). Het lijkt erop dat de financiële risico's groter zijn dan die welke de industrie of financiers lijken te willen dragen. Toch lijkt de kans groot dat het vooral een kwestie is van tijd voordat deze voortstuwer in elk geval voor de binnenvaart gebruikt gaat worden. Een verbetering van het voortstuwingsrendement van ca. 50% voor een conventioneel voortgestuwd binnenvaartschip tot ca. 75% voor een WTW aangedreven binnenvaartschip lijkt realistisch te zijn. Deze prognose is gebaseerd op rekenmodellen die gevalideerd zijn met modelproeven aan de voortstuwer.



Figuur 8 Whale Tail Wheel voortstuwer

Naast ontwikkelingen aan de voortstuwer zijn er ook ontwikkelingen aan de romp van het schip geweest. Belangrijke ontwikkelingen van de afgelopen twee decennia op dit gebied zijn de opkomst van de snelle multiromp schepen. Hierbij kunt u denken aan bijvoorbeeld de HSS die een geregelde dienst onderhoud tussen Hoek van Holland en Harwich. Maar ook aan trimaran rompen waarmee de Engelse Marine momenteel experimenteert en aan de verlengde monohull. Dit zgn. Enlarged Ship Concept is een schoolvoorbeeld van door nieuwsgierigheid gedreven onderzoek. In eerste instantie is dit concept beproefd in het Laboratorium voor scheepshydronechanica van de Afd. Maritieme Techniek. Naar aanleiding van een eerste evaluatie is het concept verder ontwikkeld in samenwerking met de sectie Ontwerpen van Schepen. Na enkele publicaties hierover is het onder de aandacht gebracht van de Koninklijke Marine en Scheepswerf Damen. Deze laatste heeft inmiddels 7 van deze schepen gebouwd en verkocht, o.a. als kustwachtschepen in de West en als douanevaartuig voor de Britse Douane.



*Figuur 9 Kustwachtvaartuig volgens het Enlarged Ship Concept
(copyright Flying Focus)*

Een van de belangrijkste ontwikkelingen is mogelijk de vernieuwde aandacht voor luchtgesmeerde schepen. Hierbij wordt getracht het totale vermogen dat benodigd is voor de voortstuwing van het schip te verminderen door lucht te blazen in de onmiddellijke nabijheid van de scheepshuid. Hiervoor zijn enkele mogelijkheden denkbaar: Men kan het schip voorzien van luchtkamers, waarbij er actief een luchtlaag in stand gehouden wordt tussen de waterstroming en het plafond van de luchtkamer. Hierbij dient de luchtkamer op een goede manier in de rompvorm geïntegreerd te worden om zinvolle vermogensbesparingen te realiseren. Bij modelproeven op het MARIN in de eerste helft van de 90er jaren is aangetoond dat met luchtkamers een reductie van de totale weerstand (op ware grootte) in de orde grootte van 30-40 % realiseerbaar was. Uit experimenteel onderzoek bleek eveneens dat in het ontwerp zorgvuldigheid noodzakelijk was om dergelijke weerstandsreducties te realiseren. Wanneer de luchtkamer niet zorgvuldig wordt geïntegreerd in het rompontwerp, blijkt dat een weerstandsreductie kan veranderen in een weerstandsvermeerdering. Deze conclusies over het effect van luchtkamers zijn in recent onderzoek nog eens bevestigd.

Er zijn echter nog andere, wellicht praktischer technieken om de wrijvingsweerstand te verminderen. Uit recent onderzoek in Japan uitgevoerd blijkt dat de wrijvingsweerstand met zo'n 80% gereduceerd kan worden door het ventileren van de stroming met zgn. "microbubbles" lucht. Hierbij wordt

een gordijn van luchtbelletjes met een diameter die kleiner is dan 1 mm in de grenslaag geblazen. Voordeel van deze methode is dat deze gebruikt kan worden voor een willekeurig oriëntatie van het vlak waarlangs de belletjes geblazen worden. Nadeel is dat er een relatief grote volumestroom lucht voor nodig is, in de orde van $1000 \text{ m}^3/\text{min}$ voor een schip bij een benodigd vermogen van enkele procenten van het totale voortstuwingsvermogen (Kato [1999]).

Een andere veelbelovende techniek werkt met een hydrofobe coating, waarbij een luchtfilm wordt gecreëerd tussen de romp van het schip en de stroming. Hiermee werd een reductie van de wrijvingsweerstand over het behandelde bodemoppervlak bereikt van ca. 80% op modelschaal, bij een realistische vaarsnelheid van een tanker ($Fr=0.15$). Voordeel van deze techniek is dat een aanmerkelijk kleinere volumestroom lucht nodig is (orde van $10 \text{ m}^3/\text{min}$). Nadeel is echter dat deze techniek alleen op bodemvlakken gebruikt kan worden (Fukuda et al. [2000]).

Naast onderzoek in Japan wordt op dit moment onderzoek naar wrijvingsweerstandreductie d.m.v. luchtsmering in de Verenigde Staten uitgevoerd (o.a. bij Michigan University) en in Nederland bij het MARIN.

De tot op heden bemoedigende resultaten, het belang voor de economie van het schip alsmede het onlangs opgestarte Nederlandse EET Project hebben ertoe geleid dat dit het derde van de drie kerngebieden van onderzoek is bij de leerstoel.

4. Onderwijs en Onderzoek

In het voorgaande heb ik de maatschappelijke en technologische ontwikkeling geschetst in de maritieme techniek, en meer in het bijzonder van de “Voortstuwing en weerstand van schepen”. *Hoe zou de Technische Universiteit Delft hier nu bij moeten aansluiten?*

Uitgaande van het belang van de maritieme sector voor de Nederlandse economie (het aandeel van maritieme sector aan de totale Nederlandse export bedraagt ca. 5.5% (Wijnolst, [2000])), en haar betekenis voor de Nederlandse infrastructuur als transportland, leidt het geen twijfel dat deze sector een universitaire opleiding behoeft. De afdeling Maritieme Techniek vervult deze functie. In recente beoordelingen door visitatiecommissies is deze opleiding eveneens als goed beoordeeld. Dit is vooral een aanmoediging voor verdere verbetering van het studieprogramma, eerder dan een compliment dat leidt tot een misplaatst gevoel van zelfgenoegzaamheid. Ik wil hier ook graag de waardering van de visitatiecommissie benadrukken voor de experimentele faciliteiten van de afdeling. Op weinig andere universiteiten in de wereld kan de complexiteit van de toegepaste stromingsleer zo aanschouwelijk en begrijpelijk gedemonstreerd worden als hier in Delft. Waardering voor de studierichting blijkt ook uit de lichte stijging van het aantal aankomende studenten over de afgelopen 10 jaar, terwijl bij veel andere studierichtingen de studentenaantallen tanende zijn. Dit jaar zijn er bij de voorinschrijving zelfs 44% meer aanmeldingen dan in het vorige jaar.

Voor het zojuist geschetste vakgebied in beweging, is een aanvoer van hoogwaardig maritieme ingenieurs een noodzakelijke voorwaarde voor verdere ontwikkeling. Hoogwaardige ingenieurs die zich, gezien de ontwikkelingen, zowel in de breedte als in de diepte moeten kunnen ontwikkelen. Ingenieurs die hoogwaardige kennis weten om te zetten in innovatieve producten en processen, noodzakelijk voor het behoud van een maritieme industrie, ingebed in een moderne kennis-economie. Deze vooral door de industrie gedreven behoefte zou men de korte termijn behoefte van de maatschappij kunnen noemen.

De meer lange termijn gerichte behoefte is die van het grensverleggend onderzoek naar het gebruik van fysische mechanismen (zoals luchtsmering) en die van grensverleggende ontwikkeling van gereedschappen, noodzakelijk voor nieuwe concepten en zich ontwikkelende gebruikseisen. Deze langere termijn ontwikkelingen beslaan een typische periode van ca. 10 jaar, en leiden niet altijd tot een bruikbare bijdrage aan de economie. Om deze reden wordt deze lange termijn ontwikkeling niet direct door het bedrijfsleven gefinancierd. Eveneens heeft het Maritiem Research Instituut Nederland in haar beleid aangegeven dat de risicodragende lange termijn ontwikkelingen aan de Universiteit dienen plaats te vinden. Hier draagt de universiteit een belangrijke verantwoordelijkheid. Haar invulling hiervan dient in de onderzoeksportefeuille van de afdeling duidelijke herkenbaar te zijn. Ik hoop, dat met de bovenomschreven drie speerpunten, de invulling op hoofdlijnen voor wat betreft de leerstoel "Voortstuwing en weerstand", duidelijk geworden is. Door mijn functie bij het MARIN, verwacht ik in staat te zijn om samen met mijn omgeving, een goede verdeling te vinden van het onderzoek tussen enerzijds het universitaire onderzoek en anderzijds het meer toegepaste onderzoek bij het MARIN.

In het afgelopen half uur heeft u mijn visie op een drietal technologie terreinen kunnen horen. Op het terrein van wetenschap en technologie verwacht ik vooral een doorbraak in het beheersen van twee-fasenstromingen. Hierdoor zal het transport rendement van schepen drastisch kunnen stijgen (orde grootte 30%) bij een beter comfort aan boord door een betere beheersing van trillingen. Daarnaast verwacht ik dat de prijs/prestatie verhouding van schepen beter zal worden door ontwikkelingen in "Design For Service" en het zgn. "Simulation Based Design". Dat dit snel kan leiden tot nieuwe en verbeterde concepten heb ik aan de hand van voorbeelden geïllustreerd.

5. Tenslotte

Graag richt ik mij tenslotte tot het management van deze universiteit. Ik dank u voor het in mij gestelde vertrouwen. Het is voor mij een uitdaging en een eer om een zinvolle invulling te geven aan de leerstoel "Voortstuwung en Weerstand van Schepen". Ik zal dit op eigen wijze doen, hierin mede geïnspireerd door mijn voorgangers, prof. Dick van Manen en prof. Gert Kuiper.

Ik ben me de laatste maanden bewust geworden van de budgettaire beperkingen en de cultuur van korte termijn financiële verantwoording. In mijn ogen zou het onderzoeksbeleid van de universiteit echter niet uitsluitend door de industrie en de korte termijn financiële argumentatie gestuurd moeten worden. *Is het immers niet waar dat veel belangrijke ontwikkelingen en ontdekkingen zich onttrokken aan de planning van de R&D manager? En is het niet waar dat belangrijke doorbraken vooral konden ontstaan door nieuwsgierigheid en enthousiasme van de individuele wetenschapper, hierin gestimuleerd door de voorwaarden die hiervoor door zijn werkgever of omgeving waren geschapen?* Ik ben het daarmee volstrekt eens met de analyse die prof. Vugts in dit verband heeft gemaakt in zijn afscheidsrede (Vugts [2001]), waarin hij bovendien nog stelt; "Toevallige factoren spelen ook vaak een opvallende en niet geringe rol". Ik vraag u: "Wees in uw beleid behoedzaam met de erfenis die u beheert. Met de kennis die door de eeuwen heen is opgebouwd en die nog dagelijks leidt tot verbeterde werktuigen. En laat hierin voldoende ruimte voor het individuele talent."

Vervolgens richt ik mij graag tot de studenten die geïnteresseerd zijn in maritieme techniek. Ik hoop dat het mij gelukt is respectievelijk zal lukken om jullie dezelfde interesse voor het vak bij te brengen die mijn voorgangers ooit bij mij hebben weten wakker te maken. Als het antwoord hierop bevestigend is, dan nodig ik jullie graag uit om eens een afspraak te maken om te praten over een mogelijke specialisatie als afronding van jullie studie. Als het antwoord ontkennend is, dan wens ik jullie veel sterkte met de gekozen richting en hoop dat je goede associaties hebt met de vakken die je tijdens je studie van mijn leerstoel hebt gehad. Wanneer dit laatste ook niet het geval mocht zijn, dan verzoek ik je vriendelijk om de tijd te nemen om dit met mij of

de staf te communiceren. Deze dialoog wordt hogelijk gewaardeerd en zal een belangrijke verbetering leveren aan de kwaliteit van het onderwijs.

Naast alle vragen hier gesteld en soms beantwoord, zijn er ook enkele zekerheden. En de belangrijkste zekerheid is misschien wel de liefde voor het vakgebied stromingsleer en maritieme techniek, die ik met zoveel collega's en studenten deel. En als u dan zou vragen waar die liefde vandaan komt, dan zou ik u het antwoord geven dat mijn broer op een soortgelijke vraag gaf: *“Kijk maar naar een varende schip. Dan is het toch wel duidelijk?”*

Tot slot spreek ik graag een eenvoudig maar welgemeend dankwoord uit;

Aan mijn collega's, op het MARIN. Dank voor jullie bijdrage aan de stimulerende werkomgeving aldaar en jullie bijdragen aan mijn taken hier. Ik realiseer mij als geen ander, dat ik hier sta dankzij de plezierige samenwerking met jullie.

Aan mijn collega's op de TU Delft en die van het J.M. Burgerscentrum. Dank voor de open ontvangst die ik heb ondervonden. Jullie gastvrijheid maakt dat ik mijn deeltaak in Delft met enthousiasme vervul. De bos bloemen die jullie toevalligerwijs op onze trouwdag aan ons stuurden als felicitatie met de benoeming, hebben mijn vrouw kortstondig verbaasd over zoveel vermeende attentie van mij.

Lieve Jacintha, Sypke en Fraukje. Jullie vormen de basis van waaruit ik kan werken en jullie geven me de energie om dit te doen. Een woord van dank hier is niet voldoende. Ik beloof jullie om met niet aflatende aandacht het smalle en dynamische evenwicht te blijven zoeken tussen gezinsleven, werk en gezondheid.

Ik heb gezegd.

REFERENTIES

- Biskoup, B.A. et al.; "Report of the propulsor committee"; 19th International Towing Tank Conference, Madrid, Spain, 1990
- Dallinga, R.P. en Pinkster, D.J.; 'Seakeeping in Ship Design', KNVTS Timmer Lezing, Nov. 2001
- Dawson, C.W.; "A practical computer method for solving ship-wave problems", 2nd Int. Conf. on Numerical Ship Hydrodynamics, Berkeley, USA, 1977
- Fukuda, K. et al.; "Frictional drag reduction with air lubricant over a super-water-repellent surface", Journal of Marine Science and Technology, No. 5, 2000
- Hess, J.L. and Smith, A.M.O.; "Calculation of potential flow about arbitrary bodies", Progress in Aeronautical Sciences, Vol. 8, Pergamon Press, 1966
- Hoekstra, M; 'Numerical Simulation of ship stern flows with a space-marching Navier-Stokes method', PhD thesis, Delft University of Technology, 7-10-1999
- Hoving, A.J. and Lemmers, A.A.; 'In tekening gebracht - De achttiende eeuwse scheepsbouwers en hun ontwerpmethoden', uitgebracht door De Bataafsche Leeuw, Amsterdam 2001, ISBN 90-6707 5418
- Kanerva, M. et al.; 'The future of ship design', compiled by Deltamarin Ltd. Finland, published by MPI Group, UK, 2001
- Kato, H.; "Skin friction reduction by microbubbles", 1st Symposium on smart control of turbulence, 1999
- Lodewijks, G.; "Transport en Logistiek, Hoe? Zo!", Intreerede aan de Techn. Universiteit Delft, 12-12-'01

Raven, H.C.; 'A solution method for the nonlinear ship wave resistance problem', PhD thesis, Delft University of Technology, 19-6-1996

Raven, H.C., Van Hees, M., Miranda, S. and Pensa, C.; "A new hull form for a Venice urban transport waterbus; Design, experimental and computational optimisation", Developments in Marine Technology, 11 - Practical Design of Ships and Mobile Units', Elsevier Science BV, 1998

Van Manen, J.D. and Van Terwisga, T.; 'A new way of simulating Whale Tail Propulsion', 21st Symposium on Naval Hydrodynamics, Trondheim, June 1996

Van Terwisga, T., Kuiper, G and Van Rijsbergen, M.X.; 'On experimental techniques for the determination of tip vortex cavitation on ship propellers', Proceedings of the 1999 ASME/JSME Fluids Engineering Division Summer Meeting, July 18-23, San Francisco, California

Van Terwisga, T., Quadvlieg, F and Valkhof, H; "Steerable Propulsion Units: Hydrodynamic issues and design consequences", Paper on the occasion of the 80th anniversary of Schottel GmbH & Co, August 11, 2001

Veen, W.; "Leidend leren", Intreerede leerstoel didactiek en onderwijsontwikkeling, 15-12-2001

Vugts, J.H.; 'Ter zee, te land en in de lucht', Afscheidsrede TUDelft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, 2 nov. 2001

Wijnolst, N; 'Nederland, "Maritime Valley of the World"', Persconferentie Nieuwspoor, 13 april 2000