

DR. IR. J. D. VAN MANEN

HET WETENSCHAPPELIJK
ONDERZOEK
VAN DE VOORTSTUWING VAN
SCHEPEN

TECHNISCHE UNIVERSITEIT
Laboratorium voor
Scheepshydronechanica
Archief
Mekelweg 2, 2628 CD Delft
Tel.: 015 - 788873 - Fax: 015 - 781833

B. WOLTERS GRONINGEN 1962

K5/76

HET WETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK
VAN DE
VOORTSTUWING VAN SCHEPEN

HET WETENSCHAPPELIJK
ONDERZOEK
VAN DE VOORTSTUWING VAN
SCHEPEN

REDE

UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING
VAN HET AMBT VAN BUITENGEWOON HOOGLERAAR
IN DE SCHEEPSBOUWKUNDE
AAN DE TECHNISCHE HOOGESCHOOL
TE DELFT

OP WOENSDAG 7 NOVEMBER 1962

DOOR

DR. IR. J. D. VAN MANEN

f 1,50

J. B. WOLTERS GRONINGEN

1962

*Mijne Heren Curatoren,
Dames en Heren Hoogleraren, Lectoren, Leden van de Wetenschappelijke Staf en
andere medewerkers aan deze Hogeschool,
Dames en Heren studenten en voorts Gij allen, die door Uw aanwezigheid van Uw
belangstelling blijk geeft.*

Zeer geachte Toehoorders,

Vele toekomstige hoogleraren zullen zich in de periode tussen uitnodiging en benoeming willen verdiepen in een beschrijving van de hun wachtende taak. Het gedenkboek geschreven ter gelegenheid van het 50-jarig bestaan van de Technische Hogeschool biedt voor dit doel boeiende lectuur. Na lezing van deze bundel opstellen laat men dan wel eens spelenderwijs zijn gedachten gaan over de ingenieursopleiding, waarvoor de uitnodiging geldt. In dit geval de opleiding tot scheepsbouwkundig ingenieur.

Het ontwerp en de constructie van een schip, de inrichting van een werf, het technisch verantwoord rederen van een schip en het technisch wetenschappelijk onderzoek op het gebied van scheepsmechanica en hydrodynamica stellen uiteenlopende eisen aan de kennis van een scheepsbouwkundig ingenieur.

Internationaal heersen er verschillende meningen over de wijze, waarop deze ingenieurs moeten worden opgeleid.

Een symposium over dit onderwerp werd enige jaren geleden gehouden voor de Royal Institution of Naval Architects. Verschillen in opvatting heersten er tussen Engeland en Nederland over het tijdstip van praktisch werken en de hoeveelheid te verrichten scheepsbouwkundig tekenwerk.

Interessant is een vergelijking van de Amerikaanse en de Europese opleiding. De hoge kwaliteit van de „post graduate” cursussen aan enige Amerikaanse instituten zoals M.I.T., University of California en Michigan is hierbij opmerkelijk. Dit „post graduate” werk spitst zich toe op onderwerpen, die zich lenen tot een bewerking in de universiteitslaboratoria, voornamelijk op het gebied van de scheepsmechanica en scheeps-hydrodynamica. De selectieve werking van het baccalaureaat en de langere studieduur zijn belangrijke redenen voor het niveau van deze „post-graduate” cursussen.

Indien wij de situatie hier in Delft beschouwen, dan wijzen de nieuwe

scheepsbouw-laboratoria met hun groeiende staf en de in 1961 ingestelde leerstoel in de theoretische scheepsbouwkunde naast de reeds gevestigde ontwerp-technische en bedrijfseconomische sectoren van de Onderafdeling Scheepsbouwkunde op een ontwikkeling, die een goed compromis lijkt te vormen voor de eisen gesteld door de Europese scheepsbouw-industrie.

Veel is er op genoemd symposium gediscussieerd over de wijze waarop meer studenten gestimuleerd kunnen worden de scheepsbouwkundige studie te gaan volgen. Een recept bleek hier niet voor samen te stellen. Een gelukkige omstandigheid, onafhankelijk van organisatie en kwaliteit van de opleiding, blijft echter de aantrekkingskracht, die schepen op een ieder blijken uit te oefenen.

Het onderwerp, waarop mijn activiteiten aan de Technische Hogeschool zich voor een groot deel zullen concentreren, betreft de voortstuwing van schepen. Dit onderdeel van de scheepsbouwkunde mist weliswaar het indrukwekkende van een machtige scheepsromp in aanbouw, een tewaterlating of een schip in zeegang, doch is wel essentieel voor het schip.

In deze oratie wil ik in het bijzonder aandacht besteden aan het technisch wetenschappelijk onderzoek van de scheepsvoortstuw. Dit wetenschappelijk onderzoek is te onderscheiden in een ontwerp-technisch, een experimenteel en een theoretisch gedeelte.

Bij het ontwerp-technische deel is de verleiding groot enige woorden te wijden aan de uitvinder, de voortbrenger van de originele gedachte. Deze denker behoeft niet bij voorbaat een gespecialiseerd academicus te zijn. Dit blijkt wel duidelijk uit een zinsnede van Troost's rede bij de aanvaarding van zijn hoogleraarsambt. Zijn persoonlijke ervaringen in de ontmoetingen met uitvinders van scheepsvoortstuwvarieerden van kastelein tot kloosterling. Mijn ervaringen zijn niet in zulke bloemrijke extremen weer te geven.

Wel ben ik dikwijls geïmponeerd geraakt door de gedrevenheid van deze „onderzoekers” met hun zelf vervaardigde modellen, waarmee zij soms zelfs proeven nemen in een daartoe geschikt gemaakte badkuip. In de gesprekken met deze uitvinders is het meestal bijzonder moeilijk hun visie in technisch aanvaarde begrippen te vertalen en daaruit de redenen af te leiden waarom toepassing in vele gevallen weinig zin zal hebben.

Robert Taggart schreef in 1957 een overzicht van de ontwikkeling van de scheepsvoortstuw. Het doel van Taggart's publicatie was de enorme hoeveelheid ideeën, die op het gebied van ongebruikelijke methoden van

voortstuwijng gedurende de laatste eeuwen naar voren zijn gebracht, nogmaals op hun verdiensten te beoordeelen. Zijn verwachting is, dat enige van deze ideeën met de huidige technologische mogelijkheden voor moderne scheepstypen uitvoerbaar worden en mogelijk voordelen bieden. De soms overdreven waarde, die aan een hoog rendement wordt gegeven, heeft dikwijls de andere gunstige eigenschappen van een bijzondere voortstuwjer geen kans gegeven om tot ontwikkeling te komen.

Een aanhaling uit Taggart's boek wil ik U niet onthouden. Het is de geschiedenis uit de jaren '20 van Anton Flettner, directeur van een Rijnvaartrederij in Frankfurt. Zijn doel was de wind op een meer efficiënte wijze te benutten dan ooit tevoren bij zeilschepen het geval was geweest. Flettner's idee was het schip uit te rusten met grote verticale cilindrische rotoren, die op het dek stonden. Door het „Magnus Effect" zou door de rotatie bij een dwarswind een voorwaarts gerichte stuwkracht op de rotoren ontstaan.

Flettner ging met zijn idee naar Prandtl, Betz en Ackeret in Göttingen. Evenwel om slechts ontmoedigd te worden. Deze geleerden hadden namelijk juist een onderzoek afgesloten, waaruit bleek, dat door grenslaag beïnvloeding bij een profiel of cylinder een verticaal op de stroming gerichte kracht (lift) verkregen kan worden. Uit dit onderzoek bleek tevens, dat het stromingsbeeld van een roterende cylinder en van een cylinder behandeld volgens Ackeret's methode een treffende overeenstemming vertoonden. De specialisten overtuigden Flettner, dat Ackeret's benadering meer kans van slagen zou hebben. Flettner ging op hun voorstellen in. Een serie proefnemingen werd opgezet. De moeilijkheden kwamen en het project werd tenslotte stopgezet. Flettner keerde naar zijn originele idee van het rotorschip terug. Hij verbouwde een driemastschoener, de „Buckau". De twee rotoren waren bijna 13 meter hoog en hadden een diameter van 3 meter. Het aantal omwentelingen bedroeg 750 per minuut. Op de proeftocht werden bevredigende resultaten behaald.

Verschillende andere schepen werden volgens het rotorprincipe uitgevoerd en tochten over de Atlantische Oceaan werden volbracht.

Deze korte historie van een ontmoeting tussen een uitvinder en specialisten verhaalt ons enigszins hoe verschillend de aard kan zijn van de meer systematisch ingestelde onderzoeker en de zeer nauw op zijn doel ingestelde uitvinder.

Flettner's rotoren verdwenen weer uit de toepassing. Von Kármán voerde later een zeilboot uit volgens Ackeret's principes.

Tot zover Flettner en de uitvinders.

De belangrijkste ontwerp-technische vraag is wel:

„Aan welke eisen dient de scheepsvoortstuwcr te voldoen?” Naast een hoog nuttig effect worden voorwaarden gesteld ten aanzien van cavitatie-erosie-gevaar, trillingshinder en de bedrijfszekerheid. Het vervelende van deze voorwaarden is, dat wij nooit aan alle tegelijkertijd kunnen voldoen. In de meeste gevallen kan een rendementsverbetering behaald worden ten koste van de veiligheid tegen cavitatiebeschadigingen.

Voor ijsbrekers zal de bedrijfszekerheid prevaleren ten opzichte van het rendement. Bij grote tankers en duwbotten spelen de stopeigenschappen van de voortstuwcr een steeds belangrijker rol. Daarnaast neemt de voortstuwcr bij de manoeuvreerbaarheid een belangrijke plaats in, hetzij in combinatie met het roer, hetzij als voortstuwcr zelf. In het laatste geval denken wij aan de Voith-Schneider propeller, de Schottel propeller met haakse asoverbrenging en het Kort straalbuisroer.

Het zal duidelijk zijn dat Taggart's overzicht van voortstuwingsmid-delen zeer actueel is, gelet op de groeiende moeilijkheden van trillingen opgewekt door de scheepsschroef en het toekomstbeeld van draagvleugel-boten, luchtkussenboten, met kernenergie voortgestuwde onderzeeërs, half ondergedompelde vaartuigen en andere niet gangbare scheepstypen.

Verheugend is, dat de interesse van Marine-zijde groot is voor al deze problemen en de resultaten van dit wetenschappelijk onderzoek kunnen slechts verfrissend zijn voor de ontwikkeling van de koopvaardis-schepen. Steeds weer zal bij de keuze van de voortstuwcr van bestaande of nog te ontwikkelen scheepstypen een compromis getroffen moeten worden tussen rendement, cavitatiegevaar, trillingshinder, bedrijfszekerheid, stop- en manoeuvreereigenschappen en niet te vergeten de prijs.

Dat de conventionele scheepsschroef reeds ruim een eeuw vrijwel de alleenheerschappij onder de voortstuwcrs voert, geeft wel een duidelijk beeld van haar superieure kwaliteiten.

Na deze ontwerp-technische opmerkingen zou ik over willen stappen op het experimentele en theoretische deel van het onderzoek van de scheepsvoortstuwcr.

De ontwikkeling van de schroefbladtheorie heeft gelijke tred gehouden met de toepassing van de exacte wetenschappen.

Aanvankelijk werd de schroefwerking verklaard met het „draadstang en moer” principe. Het op papier te behalen rendement gelijk 100 per cent wekte echter geen bevrediging. De impuls-theorie leerde ons het snelheidsveld geïnduceerd door de schroef kennen. De schroefbladelementtheorie gaf een inzicht in de krachten op een schroefbladstrip op een zekere

straal. Hoewel deze theorieën een duidelijk beeld gaven van de werkwijze van de schroef was een ontwerp volgens deze theorieën niet goed mogelijk.

In de jaren na 1920 ontwikkelden voornamelijk de Duitsers, zoals Betz, Prandtl, Helmboldt en later Lerbs de wervelijtheorie voor scheepsschroeven.

Deze theorie gaf zowel het krachterspel op de schroefbladelementen als de door de schroef opgewekte snelheden aan. De schroefbladen werden vervangen gedacht door één dragende wervel met de bijbehorende schroefvormig afgaande wervels. Dit hydrodynamische model van de scheepsschroef is het uitgangspunt voor vele theoretische onderzoeken geweest.

Goldstein onderzocht het effect van het eindig aantal schroefbladen, Tachmindji de invloed van de schroefnaaf. Enige onderzoekers hielden zich ook bezig met de bepaling van die radiale belastingsverdeling over de schroefbladen, die leidde tot een maximaal rendement.

De keuze van de radiale belastingsverdeling is van bijzonder belang bij een aanpassing van de schroef aan het snelheidsveld achter het schip. Het samenspel tussen schip en schroef komt hier duidelijk naar voren. De in de grenslaag van een schip aanwezige kinetische energie kan door de schroef gedeeltelijk worden teruggewonnen. Dit is wel de belangrijkste reden waarom de schroef achter het schip is opgesteld. Door nu op die plaatsen, waar de meeste energie in de grenslaag aanwezig is, de schroef zwaar te belasten kan een zo gunstig mogelijke wisselwerking tussen schip en schroef worden verkregen.

De grenslaag van een 150 meter lang schip heeft bij een snelheid van 15 knoop een dikte ter plaatse van de schroef van ca 1,5 meter. De zwaardere belasting van de schroef uit zich dan ook voornamelijk aan de aan de naaf gelegen bladgedeelten. Bij normale zeegaande vrachtschepen bedraagt de winst in energie uit de grenslaag ca 15 à 20 percent van het benodigde machinevermogen.

Het theoretische onderzoek van de scheepsschroef is steeds gepaard gegaan met experimenten. Verschillende laboratoria hebben met systematisch gevarieerde schroefmodellen proefnemingen uitgevoerd. De resultaten werden met dimensieloze grootheden in bruikbare ontwerpdiagrammen weergegeven. Het experimentele onderzoek bleef met deze resultaten het theoretische onderzoek, wat betreft de directe informatie voor het ontwerp, ver voor. In het bijzonder verkregen de door Troost en Van Lammeren opgezette Wageningen-schroefseries grote bekendheid in de internationale scheepsbouwwereld. De doelmatige keuze van de

schroefbladvorm, de instructieve wijze waarop de resultaten in diagramvorm waren gebracht, en niet in het minst het feit, dat de schroeven ontworpen met deze gegevens achter het schip voldeden aan de bestekseisen, waren de redenen tot dit succes.

Gedurende de 2e wereldoorlog kreeg de wervellijntheorie een nieuwe injectie. En weer uit Duitsland. Ludwig en Ginzl breidden de wervellijntheorie uit. Zij berekenden de kromming van de stroming ter plaatse van de wervellijn en veronderstelden dat deze kromming langs de schroefbladprofielen gelegen op zekere radii constant was. Hun uitbreiding van de schroeftheorie en de grote hoeveelheid gegevens voor tweedimensionale profielen uit de Amerikaanse N.A.C.A.-rapporten deden de toepassing van de wervellijntheorie bij het schroefontwerp herleven. De belangrijkste reden hiervoor was, dat de hogere scheepssnelheden en de grotere machine-vermogens een nauwkeuriger berekening van het cavitatiegevaar bij de schroefschroef noodzakelijk maakten. De systematische experimentele resultaten konden hier geen uitsluitsel over geven. De wervellijntheorie gaf op iedere straal van de schroefbladen informatie over de liftverdeling langs het schroefblad.

Cavitatie is een hinderlijk verschijnsel dat zich in een vloeistof kan voordoen indien de druk door een of andere oorzaak beneden de dampspanning daalt. Bij het water in de omgeving van de schroefbladen is dat dikwijls het geval. Kleine dampbelletjes ontstaan in deze lagedrukgebieden en imploderen weer in gebieden van hogere druk. Geschieden deze implosies in de nabijheid van het schroefoppervlak dan treedt erosie van het schroefmateriaal op. Hoe ernstig deze zaak kan zijn, is maar al te dikwijls zichtbaar bij de dokbeurten van de verschillende schepen. Schroeven van 5 à 6 meter diameter met een materiaalgewicht van 25 à 30 ton vertonen dikwijls moeilijk te repareren schade door cavitatie. In zeer ernstige gevallen kunnen bij snelle schepen na enige uren varen op vol vermogen vingersdikke groeven in de schroefbladen getrokken worden.

Onderzoekingen op modelschaal in een cavitatietunnel, waarbij de druk volgens een schaalwet kan worden ingesteld, lonen dan de moeite.

Een grote moeilijkheid bij dit cavitatie-onderzoek in tunnels is het simuleren van de ongelijkmatigheid van de stroming achter het schip ter plaatse van de schroef. Theoretisch was reeds bekend, dat de schroefbladen bij hun omwentelingen door de grenslaag achter het schip zulke snelheidsvariëaties ontmoeten, dat het optreden van onderdrukpieken en dientengevolge van cavitatie onvermijdelijk is. Van Lammeren bouwde in 1953 de eerste cavitatietunnel met regelbaar snelheidsveld. Al spoedig

bleek, dat bij een enkelschroefschip iedere schroef caviteerde. Verschillende typen van cavitatie werden namen gegeven al naar gelang hun uiterlijke verschijningsvorm. Bellen-, vlies- en wolken-cavitatie deden hun intrede in het vakjargon van de cavitatie-onderzoekers. Door correlatie tussen de waarnemingen van cavitatie aan het schroefmodel in de tunnel en van erosie bij de schroeven op ware grootte kon de mate van erosiegevaar als gevolg van de verschillende soorten cavitatie worden vastgesteld.

De schroef met de beste theoretische en experimentele informatie ontworpen, bleef in de cavitatietunnel echter cavitatie vertonen. De vraag ontstond nu hoe bepaalde vormen van cavitatie te vermijden waren. Een meer fundamenteel onderzoek van cavitatie was noodzakelijk. Problemen als de invloed van turbulentie en van onopgeloste luchtbelletjes (kernen) in het water op het begin en het type van cavitatie, konden niet langer door de scheepsbouwkundige proefstations uit de weg gegaan worden. De moeilijkheden bij het ontwerpen van meetapparatuur voor de bepaling van de frequenties, waarmee de verschillende snelheidsamplituden bij turbulentie optreden, zijn niet gering. Dit geldt eveneens voor het ontwerp van een methode ter bepaling van de verdeling naar aantal en grootte van de gasbelletjes in water. De bestudering van de geschiedenis van een cavitatiebelletje tijdens zijn reis langs het schroefbladprofiel vereist meer de kennis van een physicus dan van een scheepsbouwer.

Gasdiffusie en oppervlaktespanningen zijn factoren die in model-schaalwetten moeten worden vertaald.

De Amerikanen hebben na de oorlog veel op dit onderzoeksgebied gedaan. Het feit, dat cavitatie ook de bron is van onderwaterlawaai uitgestraald door de schroef en de daarmee gepaard gaande kans op detectie door vijandelijke schepen, maakte namelijk dit fundamentele onderzoek tot een urgent Marine-belang.

Strasberg, Fitzpatrick, Kermeen, Plesset, Eisenberg e.a. zijn allen Amerikaanse onderzoekers, die veel in dit onderzoek gepresteerd hebben.

De onderdrukking of afscherming van het schroeflawaai door bijzondere middelen is jammer genoeg de oorzaak dat het fundamentele cavitatieonderzoek in de U.S.A. momenteel weer iets minder met geldmiddelen en denkkraft bedeed wordt. Het Scheepsbouwkundig Proefstation te Wageningen prijst zich gelukkig sinds twee jaren een sectie „hydromechanica” rondom deze problemen van gasbellen-watermengsels aan het werk te hebben.

Het verdienstelijke werk van Geurst en Meyer hier aan de T.H. Delft

op het gebied van cavitatie aan stationaire en niet-stationaire profielen moge in dit verband ook vermeld worden.

Een andere consequentie van de ongelijkmatigheid van het snelheidsveld achter het schip is de door de schroef opgewekte wisselende krachten in de as, de schroefaskoker en het achterschip. Dit dynamische krachtenspel op de schroefbladen hangt evenals de besproken cavitatie nauw samen met de vorm van het achterschip. Bij de gebruikelijke vorm van een enkelschroefschip bevindt zich zowel onder als boven de schroefas een sector van lage instroomsnelheden. In deze gebieden treden maximale krachten op de schroefbladen op. Het product van toerental en aantal bladen bepaalt de frequentie van de harmonischen van de stuwkracht en askoppelfluctuaties. In de bewegingsvergelijkingen van het systeem schroef, as, stuwblok en voortstuwingsinstallatie zien wij naast deze opwekkende krachten, de volgende hydrodynamische grootheden voorkomen: toegevoegde massa, demping en koppelingstermen tussen de axiale en torsietrielsystemen. De bepaling van deze hydrodynamische grootheden van een gecompliceerd drie-dimensionaal lichaam als de schroef is, stuit zowel theoretisch als experimenteel op enige moeilijkheden.

De ongelijkmatigheid van de stroming ter plaatse van de schroef is van zodanige vorm dat de resulterende kracht op de schroef niet gecentreerd is in het hart van de schroefas en zelfs niet evenwijdig aan deze as gericht is. Hierdoor ontstaan naast de reeds genoemde stuwkracht- en askoppelvariatië dwarskrachten en buigende momenten op het schroefasuiteinde. De combinatie van deze krachten met de roterende schroef veroorzaken een Coriolis-effect.

Voor degenen geïnteresseerd in mechanische problemen wordt het nu met recht aardig. Deze aardigheid gaat echter niet op voor de bedrijfszekerheid in de praktijk. Deze vrije krachten kunnen namelijk bij machinevermogens van 16000 pk, normaal voor grote tankers, funest zijn voor de schroefaskoker. In het bijzonder bij schroeven met een oneven bladaantal, bijvoorbeeld vijf bladen.

Het is Wereldsma gelukt een meetinstrument te vervaardigen waarmee de zes dynamische krachten- en koppelcomponenten aan een schroefmodel in een ongelijkmatig snelheidsveld gemeten kunnen worden.

Een as met een hoge eigen frequentie ten opzichte van de te meten frequenties en voorzien van ca 90 rekstrookjes vormt het gevelement van deze meetopstelling.

Gedurende de laatste 10 jaren is door de mogelijkheid van het uitvoeren van berekeningen op elektronische digitale rekenmachines een nieuwe ontwikkeling in de schroeftheorieën merkbaar.

Leibs maakte de wervellijntheorie voor sloopschroeven universeel toepasbaar voor elke radiale belastingsverdeling. Deze berekeningsmethode werd door het David Taylor Model Basin geprogrammeerd voor de „Univac”, één van hun grote elektronische rekenmachines.

Experimenten met schroefmodellen ontworpen volgens deze verfijnde theorieën toonden echter aan dat nog steeds empirische factoren noodzakelijk waren om de schroef aan haar ontwerpisen te laten voldoen. De omstandigheden waren rijp om de sprong te wagen een wervelvlaktheorie voor sloopschroeven te ontwikkelen. Het schroefblad werd niet meer door één dragende wervellijn vervangen maar door een dragend wervelvlak. Het hydrodynamische model is hierdoor vrijwel volmaakt. Drukverdelingsberekeningen langs de schroefbladen of het omgekeerde geval: berekeningen van de schroefbladeometrie bij voorgeschreven drukverdeling worden voor het stationaire geval van peripheriaal gelijkmatige stroming mogelijk. In de U.S.A., Japan, Engeland en Nederland werden dergelijke berekeningsmethoden ontwikkeld voor toepassing op rekenmachines. Sparenberg en Bakker slaagden er in een wervelvlaktheorie voor sloopschroeven voor berekening vatbaar te maken op de X-1 computer te Wageningen. Systematische berekeningsresultaten zijn op het onlangs gehouden Symposium van het Office of Naval Research te Washington in een lezing gepubliceerd.

Met deze schets van de problemen van de sloopschroef hoop ik U enigszins een indruk gegeven te hebben welke aanverwante technische wetenschappen reeds hun toepassing vinden in het onderzoek van de sloopvoortstuwer.

De schets kan uiteraard niet bogen op volledigheid. Niet behandeld zijn bijvoorbeeld het hydro-elastische verschijnsel van zingende sloopschroeven, de sterkteberekening van de sloopschroef volgens de schalen-theorie als aangegeven door Cohen, het materiaalonderzoek op erosiebestendigheid.

Zoals in het begin reeds gememoreerd bestaan vele methoden om een schip voort te stuwten. Met enige beschouwingen over andere voortstuwters dan de sloopschroef wil ik dit overzicht over het wetenschappelijk onderzoek van de sloopvoortstuwning afronden.

Het schoepenrad werd reeds omstreeks 1850 verdrongen door de sloopschroef bij zeegaande schepen. De zware constructie en de gevoeligheid voor diepgangsveranderingen, hetzij door belading hetzij door zeegang, waren hiervoor de belangrijkste redenen. In de binnenvaart, in het bijzonder bij geringe waterdiepte bij passagiersschepen waarvan de diep-

gang vrijwel constant is, kan het rad nog met succes worden toegepast. Verbluffend hoge voortstuwingsrendementen worden in deze gevallen nog door toepassing van raderen behaald.

De schroef ommanteld door een ring van draagvleugelvormige doorsnede, die bevestigd is aan de scheepsromp, is de voortstuwder, die de laatste jaren snel haar toepassingsgebied uitbreidt. Dit „schroef + straalbuis” systeem, uitgevonden door Kort, is het onderwerp van uitgebreide onderzoeken in de verschillende laboratoria.

Aanvankelijk leek het toepassingsgebied van deze voortstuwder zich te beperken tot scheepstypen waarbij de belasting van de voortstuwders zeer hoog is. Wij denken hierbij aan sleepboten, binnenvaartschepen en tankers. De straalbuis voorkomt namelijk de vrije drukuitwisseling aan de schroefbladtoppen. De ommantelde schroef is daardoor veel meer als een axiale pomp op te vatten. De bijzonder hoge rendementen van axiale pompen van 90 percent en hoger moge ik bekend veronderstellen. De straalbuis zelf vormt een hydrodynamisch geheel met deze schroef.

Door het door de schroef opgewekte snelheidsveld met bijbehorende contractie van het schroefwater ontstaan liftkrachten op het straalbuisprofiel. Bij voldoende zware belasting en een juiste vormgeving van het ringprofiel leveren deze liftkrachten een component in de vaartrichting.

Bij een sleepboot, die op de plaats ligt te trekken worden door straalbuis en schroef vrijwel even grote trekkrachten geleverd.

Systematische experimenten, waarbij de hoofdafmetingen van het straalbuisprofiel werden gevarieerd, wezen uit dat het toepassingsgebied bij een doelmatige keuze van de geometrie van de ring aanzienlijk kon worden uitgebreid.

In recente onderzoeken te Wageningen voor de ontwikkeling van een achterscheepsvorm van een enkelschroefschip, waarbij het cavitatie- en trillingsgevaar als gevolg van de ongelijkmatige stroming tot een minimum beperkt zou worden, speelt de „schroef + straalbuis” een belangrijke rol. Deze voortstuwder in combinatie met een sigaarvormig „Hogner”-achterschip biedt voor grote tankers vele voordelen.

Resultaten van modelproeven hebben aangetoond, dat aanzienlijke verbeteringen ten aanzien van cavitatie- en trillingshinder bereikt kunnen worden, terwijl tevens een besparing in machinevermogen voor gelijke snelheidseisen mogelijk blijkt. Constructieve problemen, in het bijzonder wat betreft de bevestiging van de ring aan de scheepsromp, houden op dit ogenblik een spoedige toepassing op ware grootte tegen.

De toepassingsmogelijkheden van deze ommantelde schroeven schijnen uit operationele gronden voor vele Marine-projecten groot. Cavitatie-

vertraging, ruisafscherming, grenslaagafzuiging zijn alle hydrodynamische methoden, die door aanwezigheid van een straalbuis om de schroef veel eenvoudiger uitvoerbaar worden dan bij niet-ommantelde schroeven.

Een recent onderzoek door de U.S. Navy aan het Nederlandsch Scheepsbouwkundig Proefstation opgedragen, betreft een ommantelde schroef met een zeer grote naaf. Twee van deze voortstuwers zouden bij een onderzeeër op $\frac{1}{4}$ van de lengte uit de stevens om de romp kunnen worden opgesteld.

De naaf wordt door de romp van de onderzeeër gevormd en bedraagt ca 80 percent van de buitendiameter van de propeller. De schroef heeft veel bladen, twaalf of meer en draagt meer het karakter van een compressor. Door cyclische spoedverstelling van de bladen zou de voortstuwcr door een peripheriaal ongelijkmatig verdeelde liftkracht dwarskrachten ter besturing van de onderzeeër op kunnen wekken.

De uitvoering van deze ommantelde schroef met grote naaf kan mogelijk de bevestigingsmoeilijkheden van de „schroef + straalbuis” voortstuwcr bij de grote tankers voorzien van een sigaarvormig achterschip verkleinen.

Een zeer afwijkende groep van voortstuwcrs wordt gevormd door de kantelbladpropellers. De Voith-Schneider propeller, bij vele veerponten om hun bijzonder goede manoeuvreereigenschappen toegepast, vormt hier de belangrijkste representant in de practijk. Een aantal verticaal opgestelde bladen roteren om een verticale as. Door een speciaal verstelmecanisme ondergaat elk blad een kanteling waarbij de normalen op de bladen steeds door één excentrisch van de rotatieas gelegen punt gaan. De ligging van dit excentrische punt ten opzichte van de rotatieas, de rotatierichting en de richting van waaruit de voortstuwcr door het water wordt aangestroomd, bepalen de grootte en de richting van de kracht opgewekt door de voortstuwcr. Deze kracht kan dus zowel voorwaarts, achterwaarts als dwarsscheeps gericht zijn. De zeer goede manoeuvreereigenschappen zijn hiermede verklaard. Bij de tot nu toe uitgevoerde kantelbladpropellers ligt het excentrische punt binnen of op de cirkel, beschreven door de roterende bladen. De bladen beschrijven bij hun gecombineerde rotatie en translatie een verkorte cycloïde of in het geval van op de bladcirkel gelegen excentriciteit een cycloïde. De rendementen van deze voortstuwcr zijn in het algemeen niet hoog. Interessant onderzoeksgebied wordt gevormd door het geval waarbij de excentriciteit buiten de bladcirkel gelegen is. De bladen beschrijven dan een verlengde cycloïde, een kwispelende beweging, die zeer nabij de

voortstuwning als van vissen komt. Dit geval kan zich voordoen bij zeer hoge scheepssnelheden en mogelijk biedt daar de kantelbladpropeller uit een oogpunt van rendement weer vooruitzichten.

Belangwekkende bijzondere uitvoeringsvormen van de gewone schroefschroef zijn de verstelbare schroef en de supercaviterende schroef.

De meest sprekende voordelen van de verstelbare schroef liggen in het operationele vlak van het schip. Het manoeuvreren en stoppen bij één draaiingsrichting van de motor en de automatiseringsmogelijkheden door rechtstreekse bediening van het voortstuwingsmechanisme vanaf de brug zijn mogelijkheden, die in de naaste toekomst ook voor de toepassing bij grotere machinevermogens voor normale zeegaande schepen kunnen pleiten.

De supercaviterende schroef is een schroeftype, dat door een politiek getinte berichtgeving in de nieuwsbladen de belangstelling heeft getrokken. De scheepssnelheden, waarbij aan toepassing van dit schroeftype, waarvan de schroefbladen volledig met cavitatie zijn overtrokken, wordt gedacht zijn zeer hoog. Dusdanig hoog, 40 knoop en hoger, dat toepassing slechts bij in ontwikkeling zijnde scheepstypen als draagvleugel- en luchtkussenboten interessant kan zijn. Experimenten trekken bovendien de theoretisch berekende rendementswaarden weer in twijfel.

Tot slot van deze bijzondere voortstuwingsmiddelen een korte opmerking over twee voortstuwingswijzen, die uit een oogpunt van onderzoek boeiend zijn. Toepassing schijnt nog verre.

De eerste is de waterramjet. Hierbij wordt in een jet, die bestaat uit een instroomdiffusor, een menggedeelte en een supersoon uitstroomstuk, fijn verdeelde luchtbelletjes in het water gepompt. De bedoeling is, dat deze kleine luchtbelletjes met het water een homogeen mengsel vormen en in zo grote volume-eenheden worden toegevoegd, dat na de mengkamer een grote snelheidstoename van het luchtbellens-watermengsel ten opzichte van het water voor de mengkamer ontstaat. Uit het impulsverschil aan de in- en uitrede van de jet volgt de stuwkracht van de waterramjet. Het systeem is niet zelfstartend. Bij een snelheid nul weten de ingepompte luchtbelletjes nog niet welke kant zij op willen gaan.

De geluidssnelheid van het gasbellens-watermengsel kan afnemen tot 20 meter/sec., vandaar de supersonische uitlaat van de jet. Proefnemingen in Amerika en Nederland wijzen uit, dat we niet te optimistisch moeten zijn over het rendement. Evenwel voor zeer hoge scheepssnelheden biedt deze wijze van voortstuwning zonder roterende delen ontwerp-technische voordelen, die voortzetting van het onderzoek rechtvaardigen.

De tweede is de magneto-hydrodynamische voortstuwning. Owen Phillips,

U.S.A., heeft in een recente publicatie enige cijfers gegeven over deze zeer progressieve voortstuwingswijze. Een periodiek veranderlijk magnetisch veld opgewekt in het schip veroorzaakt elektrische stromen in het geleidende zeewater. De reactiekrachten op het schip kunnen zo gericht zijn, dat het schip voortgestuwd wordt. Ook deze revolutionaire gedachte ten aanzien van de hegemonie van de conventionele scheepsschroef moet niet hoog worden aangeslagen. Uit een oogpunt van het vermijden van trillingen en cavitatie aantrekkelijk, evenwel door de slechte geleidbaarheid van zeewater gedoemd tot zeer lage rendementen. Owen Phillips berekende voor een 180 meter lange onderzeeër bij een snelheid van 10 knoop een rendement van 8 percent.

Ik hoop U met dit overzicht een indruk gegeven te hebben van de sfeer van het wetenschappelijk onderzoek van de scheepsvortstuwning.

Zeër geachte Toehoorders,

Bij de aanvaarding van mijn ambt moge ik mijn eerbiedige dank be-
tuigen aan Hare Majesteit de Koningin, die mij tot buitengewoon hoog-
leraar aan deze Technische Hogeschool heeft willen benoemen.

Mijne Heren Curatoren,

Zeër erkentelijk ben ik U voor het vertrouwen, dat uit Uw voordracht tot deze benoeming blijkt. Gaarne geef ik U de verzekering, dat ik mijn beste krachten zal inzetten ten behoeve van het onderwijs en het onder-
zoekingswerk aan deze Hogeschool. Ik hoop op deze wijze het door U in mij gestelde vertrouwen waardig te tonen.

Dames en Heren Hoogleraren,

Ik beschouw het als een groot voorrecht in Uw midden te worden opge-
nomen. Ik hoop met U op vruchtbare wijze te mogen samenwerken in
onze gemeenschappelijke taak. Dit des te meer nu het onderzoekingswerk
in de scheepsbouw een meer gedifferentieerd wetenschappelijk karakter
gaat dragen.

Mijne Heren Leden van de Afdeling Scheepsbouwkunde en Vliegtuigbouwkunde.

Het toetreden tot Uw Afdeling om onderwijs te geven in de weerstand en voortstuwing van schepen stel ik zeer op prijs. Gezien het karakter van de momenteel in ontwikkeling zijnde snelle scheepstypen hoop ik, dat er in de toekomst tijd en mankracht beschikbaar zal zijn voor gedachtenwisselingen voor eventueel gemeenschappelijke projecten.

Hooggeachte ambtgenoten van de Onder-Afdeling Scheepsbouwkunde, De wijze, waarop U, hooggeachte Jaeger en Bonebakker, als mijn vroegere leermeesters mij als collega in Uw midden hebt opgenomen, heeft mij bijzonder veel genoegen gedaan. Voor een deel zullen mijn werkzaamheden als lid van Uw Onder-Afdeling het karakter kunnen dragen van samenwerking tussen het Nederlandsch Scheepsbouwkundig Proefstation te Wageningen en de Scheepsbouwkundige Laboratoria van deze Technische Hogeschool. Ik hoop, dat deze samenwerking een gunstige inwerking mag hebben op de bereidheid van de scheepsbouw-industrie ons gecoördineerd researchprogramma blijvend te ondersteunen.

Daarnaast koester ik, geïnspireerd door Uw vooruitstrevende wetenschappelijke instelling, de hoop dat in de toekomst het onderzoekswerk van de scheepsvoortstuwing aan de Technische Hogeschool in toenemende mate belangstelling zal genieten. Dat ik naast mij in de sector scheepshydrodynamica mijn jaargenoot Gerritsma aantref, is wel een zeer prettige gewaarwording. Onze specialismen zouden zeer goed als complementair kunnen worden betiteld en als zodanig is slechts het allerbeste uit deze samenwerking te verwachten.

Hooggeachte Van Lammeren,

De grootheid, die U getoond hebt door op Uw leeftijd na een elfjarige ambtsperiode in Delft Uw tijd gekomen te achten en plaats te maken voor de door U zelf groot gebrachte opvolger, zal slechts zeer weinigen gegeven zijn.

Ik ben U hier zeer dankbaar voor. Het is nog een pijler onder de goede samenwerking tussen directeur en onderdirecteur, zo deze samenwerking dit nog nodig mocht hebben.

Hooggeachte Troost,

Dat U, mijn leermeester, promotor en oud-directeur, hier aanwezig bent stel ik bijzonder op prijs. De eerste wankel schreden, die ik als grasgroen ingenieur op het pad van het wetenschappelijk onderzoek heb gezet, werden door U geleid. Ik heb daar steeds de meest prettige en dankbare herinneringen aan over gehouden.

Hooggeachte Timman,

Dat de regelmatige contacten, die wij reeds ruim 10 jaar op het gebied van het technisch wetenschappelijk onderzoek hebben, zich zullen uitbreiden tot het werkterrein van deze Technische Hogeschool verheugt mij ten zeerste. Deze uitbreiding kan de gemeenschappelijke sfeer, waarin wij onze liefhebberijen en ambities beleven alleen maar ten goede komen.

Hooggeachte Heren Voorzitter en Leden van de Raad van Beheer van de Stichting „Het Nederlandsch Scheepsbouwkundig Proefstation”,

Uw aanwezigheid bij deze plechtigheid is voor U iets vanzelfsprekends. Dit is kenmerkend voor de bijzonder goede samenwerking tussen Uw Raad en de directie van het proefstation. Uw medeleven in de wetenschappelijke activiteiten van het proefstation werkt bijzonder stimulerend op de goede geest van de onderzoekers te Wageningen.

Dat U mij, na mijn eminente voorgangers Troost en Van Lammeren, eveneens in de gelegenheid hebt willen stellen het buitengewoon hoogleraarschap in de scheepsbouwkunde te aanvaarden is slechts een facet van dit medeleven.

Op deze plaats in de gelegenheid te zijn mijn gevoelens van grote dankbaarheid aan U uit te spreken doet mij zeer veel genoegen.

Waarde Koning, Lap en overige medewerkers aan het Nederlandsch Scheepsbouwkundig Proefstation,

Dat U mij in de toekomst één dag in de week aan het proefstation zult moeten missen heeft zijn voor- en nadelen. Ik hoop echter, dat de prettige samenwerking, die ik steeds van U ondervonden heb, aan inhoud wint door mijn nieuwe bezigheden hier te Delft. Slechts dan heeft dit buitengewoon hoogleraarschap ook voor het proefstation een gewenste uitwerking.

Mijne Heren Vertegenwoordigers van de Koninklijke Marine, de Rederijen en Scheepswerven,

Met veel genoegen aanschouw ik hier Uw aanwezigheid in zo groten getale. Ik ben U hiervoor zeer erkentelijk. De belangstelling, niet alleen in financiën uitgedrukt, die U steeds weer voor het wetenschappelijk onderzoek in scheepsbouw en scheepvaart toont, is een sterke stimulans voor ons wetenschappelijke onderzoekers. Ik hoop, dat in de toekomst onze arbeid resultaten zal opleveren, die deze warme belangstelling niet doet verflauwen. Op mijn medewerking in deze kunt U rekenen.

Mijne Dames en Heren Leden van de wetenschappelijke, technische en administratieve staf van de Onder-Afdeling der Scheepsbouwkunde,

De wijze, waarop gij mij op mijn wensen bent tegemoet getreden, doet mij vermoeden, dat Uw aanwezigheid mijn Delftse werkzaamheden in de toekomst stellig zullen veraangenameu.

Mijne Heren Studenten,

Traditiegetrouw richt ik het laatst het woord tot U. De stof, die ik U ga doceren behoeft een theoretische behandeling en leent zich, zoals vele docenten geneigd zijn met hun vak te doen, bij uitstek tot een overbelasting van het leerprogramma. Daar echter U, scheepsbouwstudenten, allen bij mij in de leer moet gaan, zullen ook mijn colleges gericht zijn op een compromis. Welbekend begrip in de scheepsbouwkunde. Dit compromis wordt bepaald door het feit, dat U ingenieur wilt worden en als zodanig theorieën en methoden opgezet door specialisten moet leren toepassen of ontwikkelen voor de aan U gestelde problemen.

Moge een enkeling onder U geen genoegen nemen met dit compromis en als afstudeerrichting de voortstuwing van schepen kiezen.

Ik heb gezegd.