

CAVITATIE

IR. M. C. MEIJER

CAVITATIE

Voordracht
gehouden bij de aanvaarding van
het ambt van lector
in de scheepsbouwkunde
aan de Technische Hogeschool te Delft
op vrijdag 6 oktober 1967
door
IR. M. C. MEIJER

Uitgeverij Waltman
Delft

*Mijne Heren Curatoren,
Mijnheer de Rector Magnificus,
Mijne Heren Leden van de Senaat,
Dames en Heren medewerkers aan de Technische Hogeschool,
Dames en Heren Studenten, en voorts U allen
die door Uw aanwezigheid blijkt geeft van Uw belangstelling.*

Het begrip cavitatie zou ik in het algemeen willen definiëren als het vóórkomen in een vloeistof van met gas of damp gevulde holten voorzover deze ontstaan, in stand gehouden worden en verdwijnen als gevolg van dynamische verschijnselen.

Met damp en gas gevulde holten kunnen door verschillende oorzaken in een vloeistof voorkomen. In de eerste plaats kunnen gasbellen in de vloeistof worden gebracht door blazen of door het vloeistofoppervlak ruw te verstoren. Ook kan bijvoorbeeld door een versnelde vloeistofstroming gas worden aangezogen dat dan in de vorm van bellen door de stroming wordt meegevoerd. Hoewel het ontstaan van de bellen hier een hydrodynamische achtergrond kan hebben, kunnen we niet spreken van cavitatie, omdat de holten niet door de stroming in stand worden gehouden en ook hun uiteindelijke verdwijnen niet een gevolg is van hydrodynamische verschijnselen.

Een tweede mogelijkheid waardoor holten in een vloeistof kunnen voorkomen bestaat bij het verwarmen van de vloeistof. Hierbij zullen gasbellen ontstaan als de verzadigingsgrens van gasoplossingen wordt overschreden, terwijl na het bereiken van het kookpunt door verdamping opnieuw bellen tot ontwikkeling komen. Drukverlaging bij constante temperatuur laat geheel analoge verschijnselen zien.

Geschiedt de drukvermindering statisch, dan zullen we de holten als bellen moeten aanduiden. Is de drukvermindering evenwel door stroming van de vloeistof teweeggebracht, dan hebben we met cavitatie te doen. Cavitatie kan ook veroorzaakt worden door akoestische drukvariaties, een aspect dat in deze voordracht niet zal worden beschouwd.

Met opzet heb ik in het voorgaande aan gassen en damp gelijke waarde-toegekend in tegenstelling tot hetgeen in dit opzicht gebruikelijk is. Als regel wordt namelijk bij de definiëring van cavitatie slechts over damp gesproken en wordt de rol van de gassen als een onvermijdelijke compli-

catie naar het tweede plan geschoven. Mijns Inziens is dit niet juist omdat gas en damp altijd gemengd in de holten voorkomen.

Gewoonlijk is er evenwel een duidelijke overheersing van de damp, tenzij de gevormde caviteit in verbinding staat met een gasreservoir waardoor het gas (meestal lucht) de overhand krijgt. In dat geval is men gaan spreken van „ventilatie”.

Het woord „ventilatie” is van Amerikaanse oorsprong en vooronderstelt dat toegevoerde lucht ook weer afgevoerd wordt. Dit is eigenlijk weer fout, want holten die gebieden met minimum druk vertegenwoordigen, worden in eerste instantie slechts met de lucht opgevuld. Dat er door instabiliteiten in de stroming ook lucht wordt afgevoerd verandert niets aan het principe. Van Engelse zijde is er dan ook veelvuldig op aangedrongen om niet van ventilatie, maar van beluchting (aeration) te spreken. Technici blijken soms weinig gevoelig te zijn voor de taalzuiverheid en het is dus „ventilatie” gebleven.

Na het voorgaande zal het duidelijk zijn dat ik het onderscheid tussen cavitatie en ventilatie minder scherp wil stellen en daarom onder ventilatie eigenlijk beluchte cavitatie versta.

Het lijkt gewenst om nog iets dieper in te gaan op de dynamica van de stroming, die immers volgens de gegeven definitie zowel voor het ontstaan als voor de instandhouding en het verdwijnen van de cavitatie verantwoordelijk is. Hierbij wil ik om meer in de sfeer van de scheepsbouwkunde te blijven, niet steeds spreken over vloeistoffen en gassen maar meer over water en lucht. Men bedenke echter dat het besprokene in principe voor alle vloeistoffen en gassen geldt.

Een zich door het water bewegend lichaam of een lichaam dat door water wordt omstroomd, zal water verplaatsen, zodat snelheden worden geïnduceerd en waterdeeltjes gekromde banen moeten volgen. Als gevolg van de eindige massa van een klein waterdeeltje zal dit aan een centrifugaalkracht worden onderworpen als zo'n kromme baan wordt doorlopen. Eén van de krachten die een radiale verplaatsing tengevolge van de centrifugaalkracht trachten tegen te gaan wordt gevormd door een drukverschil in die zin, dat de hogere druk buiten en de lagere druk binnen de kromming optreedt. Het is gemakkelijk te begrijpen dat de grootste drukverschillen optreden waar de kromming het sterkst is.

Zo is het ook te begrijpen dat als het water gedwongen wordt om een zeer scherpe hoek te stromen, in het hoekpunt de druk zeer laag wordt zodat hier gemakkelijk gas uit de oplossing kan treden en verdamping kan ontstaan.

De holten die in de gebieden van lage druk binnen de gekromde stroomlijnen zijn ontstaan nemen ruimte in, waardoor de stroming zich aan de holten moet aanpassen. De begrenzing tussen water en holte zal een zodanige vorm gaan innemen dat de druk langs deze begrenzing constant is en gelijk is aan de druk in de holte. Omdat deze lager is dan de druk in het omringende water kan de kromming van de begrenzing in beginsel niet van teken veranderen. Dit heeft tot gevolg dat de holte inderdaad door het water omsloten wordt, voorzover hij geen contact maakt met het omstroomde lichaam.

Een dergelijke holte die ter plaatse van een sterke kromming is ontstaan en in evenwicht is met zijn omgeving en als zodanig als het ware is toegevoegd aan het omstroomde lichaam, noemt de Amerikaan een „steady state cavity”. In onze taal zou dit kunnen zijn: een „vaste” of „gebonden” caviteit. Gebruikelijk is echter het verschijnsel met de naam „vliescavitatie” (Engels „sheet cavitation”) aan te duiden. Deze benaming is ontleend aan de vorm waarin deze soort cavitatie optreedt aan de bladen van scheepsschroeven, die inderdaad als met een vlies overtrokken schijnen te zijn. De „steady state cavity” komt echter ook voor in de vorm van een dikke sigaar of een windzak, reden waarom ik de Amerikaanse benaming gelukkiger vind.

Deze caviteit houdt op te bestaan als de stromingstoestand zodanig verandert dat een evenwicht niet langer mogelijk is. Dit gebeurt als de omgevingsdruk voldoende toeneemt of als de snelheden voldoende verminderen.

Ook als er geen omstroming van een scherpe rand plaatsvindt, maar als de druk meer geleidelijk langs het oppervlak van een lichaam vermindert, kan cavitatie optreden. In dat geval is de overeenkomst met koken duidelijker. In de vloeistof zijn altijd microscopisch kleine gasbelletjes aanwezig die, vastgehecht aan relatief zware stofdeeltjes, zwevend in de vloeistof verblijven. Een groeien van de belletjes volgens de wet van Boyle en Gay-Lussac wordt tegengewerkt door de oppervlakte spanning die in de scheiding tussen vloeistof en gas werkzaam is, terwijl verdamping wordt bemoeilijkt door de zeer kleine afmeting van het oppervlak. Als echter de druk in de vloeistof tot onder de dampdruk is gedaald, wordt het evenwicht van krachten verbroken en kunnen de belletjes explosief in omvang toenemen waardoor vrij grote bellen ontstaan die door de stroming worden meegevoerd, ook als zij in het materiaal van het omstroomde lichaam zijn ontstaan. De zienswijze van de explosief toenemende

belletjes is min of meer kwantitatief ontwikkeld door *Johnson* en *Eisenberg*.

Wederom wordt door het toegenomen volume de waterstroming beïnvloed zodat een groot aantal bellen tezamen een geheel overeenkomstig stromingsbeeld kan doen ontstaan als het geval is bij de gebonden cavitatie. We spreken in dit geval van bellen-cavitatie. Door toevoeging van lucht in het cavitatie gebied kan men de bellen doen samensmelten tot een (geventileerde) gebonden caviteit.

In de stroming meegevoerde cavitatiebellen komen vroeg of laat in een gebied met toenemende druk; wat er dan gebeurt is nog niet helemaal duidelijk. De oudste theorie is afkomstig van *Rayleigh* die de aanwezigheid van gassen negeerde en daardoor tot de conclusie kwam dat door condensatie van de damp, het volume van de belletjes met toenemende snelheid afnam waardoor in een oneindig klein punt de belwand met eindige snelheid samenklapte. Hieruit werd het optreden van zeer hoge spanningen in de vloeistof geconcludeerd. Deze theorie diende om de zo gevreesde materiaalbeschadiging, de cavitatie-erosie te verklaren.

De implosietheorie van *Rayleigh*, in ons land gepropageerd door van *Iterson*, heeft lang stand gehouden. Pas de laatste jaren zijn er nieuwe theorieën tot ontwikkeling gekomen. In de eerste plaats moet ik het werk van *Ellis* noemen die met behulp van „LASER“-technieken samenklappende cavitatiebellen heeft gefotografeerd. *Ellis* kwam tot de slotsom dat de bel niet geheel verdwijnt. Dit lijkt inderdaad juist als men bedenkt dat er gassen aanwezig zijn die niet zo snel in het water kunnen oplossen. Op de foto's van *Ellis* is te zien dat een heel dunne straal water door het beloppervlak schiet en het materiaal loodrecht treft. Door een berekening trachtte *Ellis*, geholpen door *Benjamin*, aan te tonen dat de straal krachtig genoeg moest zijn om het materiaal te beschadigen. Hierbij houdt *Ellis* rekening met een schatting van *Knapp*, dat slechts één op de dertigduizend belletjes het materiaaloppervlak treft.

Aan de waarnemingen van *Ellis* kan niet worden getwijfeld, wèl aan zijn conclusies die niet erg overtuigend en geen verklaring geven voor alle voorkomende vormen van schade. Van groot belang lijken in dit verband recente onderzoeken van *Van Wijngaarden* waarin langs wiskundige weg werd aangetoond dat het gezamenlijk samenklappen van vele belletjes in de nabijheid van een materiaaloppervlak een drukstoot teweegbrengt die verantwoordelijk kan worden gehouden voor ernstige mechanische schade.

Naast de vaste cavitatie en de bellencavitatie kennen we nog een derde vorm die „wolkencavitatie“ wordt genoemd. Hoewel slechts de bellen-

cavitatie theorieën heeft opgeleverd in verband met de erosie verschijnselen en het ombuigen van schroefbladkanten, is het de laatste cavitatievorm die men tegenwoordig het meeste vreest. De naam is verbonden aan het aanzien dat doet denken aan wolkenlulers. Het is niet altijd duidelijk of men inderdaad met een derde soort cavitatie te maken heeft, of dat het gaat om voorbijgaande groepen belletjes. Ik ben ertoe geneigd om te geloven dat dit laatste vaak het geval is. Er is echter wel degelijk een derde soort die in bepaalde gevallen het aanzien van wolken kan hebben. Ik zal het met de naam „wervelcavitatie” aanduiden.

Wervels treden in stromingen op als gevolg van wrijvingsverschijnselen. De vloeistof wordt plaatselijk in rotatie gebracht, dat wil zeggen dat er los van het omstroomde lichaam, waterdeeltjes om een as draaien. Dichtbij de as zal door de zeer sterke kromming van de stroomlijnen, wederom een lage druk heersen die aanleiding kan geven tot ontluchting en verdamping. De werveling kan zeer onregelmatig van structuur zijn, in welk geval van turbulentie gesproken wordt. Cavitatie van een turbulente stroming kan het aanzien van wolken hebben.

De regelmatige wervels, tipwervels genaamd, die van de toppen van schroefbladen en draagvleugels afgaan, zullen als regel zeer snel caviteren. Hiervan is gelukkig geen schade te vrezen.

Evenals bij de eerder besproken vormen kan wervelcavitatie door toevoeging van lucht worden beïnvloed. De druk in de holten zal erdoor worden verhoogd en een evenwicht zal bestaan bij een groter volume van de caviteit en een overeenkomstig gewijzigde stroming.

Bij een regelmatige tipwervel kan nog een uitzonderlijke vorm van cavitatie voorkomen die hier niet onbesproken mag blijven. Het gaat hier namelijk om het enige mij bekende geval waarin de caviteit zonder de toevoer van gassen onbestaanbaar is. Men zou het de uitzondering kunnen noemen die de regel bevestigt dat er geen wezenlijk verschil bestaat tussen dampcavitatie en ventilatie.

Voert men namelijk lucht toe in de kern van een tipwervel dan kan zich onder bepaalde omstandigheden een torpedo-achtige caviteit ontwikkelen die de lucht stroomopwaarts transporteert tot aan de oorsprong van de wervel.

Wervelcavitatie vindt zijn einde als, wederom tengevolge van wrijving, de sterkte van de wervels voldoende is afgenomen. De gassen komen dan vrij en worden in de vorm van gewone bellen door de stroming meegevoerd tot zij uiteindelijk onder de invloed van de zwaartekracht aan het vloeistofoppervlak ontwijken of anders in de vloeistof oplossen.

Om dit overzicht niet nodeloos te compliceren heb ik de stromingswetten die mede het optreden van de lage drukken regeren, niet genoemd.

Het onderzoek

In het voorgaande werd al opgemerkt dat cavitatie ernstige materiaalbeschadigingen tengevolge kan hebben. Dit is reeds voldoende reden voor onderzoek, maar er is meer: de door cavitatie gewijzigde stroming gaat gepaard met een verandering van de optredende krachten. Deze beïnvloeding te kennen is van groot belang voor de ontwerpers van scheepsschroeven, draagvleugels en alle andere toepassingen van de hydrodynamica waarbij men grote krachten wil opwekken en daardoor moeilijk het optreden van cavitatie kan vermijden.

Het onderzoek van cavitatiestromingen wordt uitgevoerd in „cavitatie-tunnels”, dat zijn in zichzelf gesloten buisconstructies waarin water wordt rondgepompt. Om de afmetingen en snelheden binnen handzame grenzen te kunnen houden moet, voor het onderzoek van dampcavitatie, het water van de buitenlucht afgesloten zijn zodat van een verlaagde omgevingsdruk kan worden uitgegaan. Voor het onderzoek van geventileerde cavitatie kan de meetplaats een vrij aan de buitenlucht grenzend oppervlak hebben.

Cavitatieonderzoek wordt, behalve met wetenschappelijke bedoelingen, veelvuldig als standaardprocedure uitgevoerd ter controle van ontwerpen, zoals van scheepsschroeven. Hoewel deze controle reeds vele jaren met succes wordt toegepast en ook wetenschappelijk onderzoek met kennelijk bruikbaar resultaat is verricht, is het duidelijk geworden dat onze kennis met betrekking tot de techniek van het onderzoek nog tekortschiet. Bij sommigen is er zelfs twijfel gerezen aan de juistheid van de toegepaste methoden.

In een openhartige Inleiding gaf *Professor van Manen* tijdens een symposium in Trondheim een overzicht van gebreken die het cavitatieonderzoek vertoont. Mij ten dele hierop baserend zal ik enige onbevredigende punten opsommen:

1. Bij het bepalen van de stromingstoestand waarbij cavitatie-inceptie (dat is het begin van cavitatie) optreedt aan een willekeurig lichaam, worden sterk verschillende resultaten verkregen in verschillende laboratoria.
2. Het is gebleken dat in sommige gevallen waarbij een scheepsschroef

in de tunnel cavitatievrij leek te zijn, in de praktijk erosie optrad, terwijl in andere gevallen waarbij geen cavitatiehinder werd gevonden, de modelproef het ergste deed vrezem.

3. Het is nog niet mogelijk gebleken om de eigenschappen van een super-caviterende schroef, zoals die voor draagvleugelboten wordt gebruikt, uit de resultaten van een modelproef te voorspellen.
4. Zelfs bij zeer eenvoudige tweedimensionale of rotatiesymmetrische stromingen met volledig ontwikkelde cavitatie, weet men niet hoe de resultaten gecorrigeerd behoren te worden voor de invloed van de tunnelwanden.

De moeilijkheden met betrekking tot de cavitatie-inceptie meent men vrij algemeen te moeten wijten aan de volgende punten:

- 1.1 Gebrek aan kennis van de microscopische samenstelling van het gebruikte water dat in elk laboratorium kan verschillen.
- 1.2 De gebrekkigheid van de middelen die ter beschikking staan voor het bepalen van het vrije luchtgehalte van het water en de afmetingen van zwevende gasbelletjes.
- 1.3 Het gebrekkige waarnemen van de eerste Incidatie van het optreden van cavitatie.
- 1.4 Een onvoldoend nauwkeurige vormgeving van de modellen en verschillen in ruwheid van het oppervlak.

In verband met de fouten in de voorspelling van het optreden van materiaalschade gaan de gedachten momenteel uit naar vermeerdering van de kennis van instationaire verschijnselen. Het is namelijk gebleken dat alleen in een inhomogene stroming in de tunnelaan schroefmodellen erosie kan worden verkregen.

De supercaviterende schroef is een moderne ontwikkeling die enige toelichting behoeft. Bij zeer snelle schepen zoals draagvleugelboten, moet een hoge stuwkracht worden opgewekt door kleine voortstuwers. Dit houdt in dat een hoog drukverschil en daardoor een sterk ontwikkelde cavitatie moeten worden aanvaard. De zuigzijde van de bladen wordt geheel door een cavitatievlies overtrokken waardoor in dit gebied voor erosie niet behoeft te worden gevreesd, als we afzien van overgangsverschijnselen bij het versnellen van het vaartuig. Het optreden van erosie aan de drukzijde blijft hier buiten beschouwing. Het probleem is gelegen in het bepalen van de stuwkracht en het askoppel, dat bij lange na niet betrouwbaar blijkt te zijn. Gevreesd wordt, dat de invloed van de wanden bij het modelonderzoek in de tunnel, hieraan debet is. Om hiervan meer

te weten te komen heeft men teruggerepen naar minder gecompliceerde stromingen met volledig ontwikkelde cavitatie. Hiermee ben ik bij het vierde, onbevredigend genoemde, punt, aangeland.

Ik ben van mening dat dit laatste punt verreweg het belangrijkste is en dat de oplossing hiervan voor een belangrijk deel de oplossing van de andere problemen kan blijken te zijn.

Stromingsmetingen in cavitatietunnels worden uitgevoerd volgens de methoden die ook in lage-snelheids-windtunnels worden toegepast. De verschillen tussen de stromende media zijn niet van belang daar in beide gevallen onsamendrukbaarheid mag worden aangenomen; pas als het aandeel van de cavitatie gaat tellen, is er sprake van principiële verschillen. De verschillen in dichtheid en viscositeit van water en lucht hebben wel praktische invloed, die ik hier niet nader zal verklaren.

De in de tunnel te onderzoeken stroming heeft in de scheepsbouwkunde, evenals bij de vliegtuigbouw het geval is, bijna altijd betrekking op een in de praktijk vrijwel onbegrensde ruimte waarin zich een lichaam bevindt. De nauwe begrenzing door de tunnelwanden die noodgedwongen moet worden geaccepteerd, vormt een duidelijk verschil met de praktijk, waarvoor gecorrigeerd moet worden.

Als basis van vergelijking van de stromingen gelden de snelheid en de statische druk in het oneindige, dus in de ongestoorde stroming. Hiervoor worden in de tunnel de waarden aangehouden die op de meetplaats worden gemeten in afwezigheid van het model. Omdat tijdens het experiment het model aanwezig is, worden de waarden afgeleid van metingen in een punt waar men aanneemt dat geen invloed van het model wordt ondervonden. De waarden in dit punt worden vooral zonder model gekijkt.

De stroming om een lichaam tussen evenwijdige vlakke wanden kan vervangen gedacht worden door een stroming in een vrije ruimte waarbij de wanden als spiegels fungeren die het lichaam en elkaar oneindige aantallen malen reflecteren. Voor enkele eenvoudige configuraties van stromingen en voor meer ingewikkelde combinaties hiervan kan men de verschillen berekenen die bestaan tussen het gespiegelde en het vrije stromingsveld. De aldus berekende verschillen worden gebruikt om de resultaten van de tunnelmetingen te corrigeren. In gevallen waarin de afstand tot de wanden voldoende groot is ten opzichte van de afmetingen van het omstroomde lichaam en waarbij de vorm van het lichaam niet door cavitatie afhankelijk is van de stroming, is deze methode zeer bruikbaar gebleken.

De geschetste werkwijze gaat als het ware uit van de toestand in het oneindige tussen de wanden en corrigeert de stroming ter plaatse van het lichaam. We kunnen dit ook omdraaien en uitgaan van de stroming om het lichaam en onderzoeken of een correctie van de stromingsparameters (op oneindig) mogelijk is. Een dergelijke gedachtengang steunt op de volgende overwegingen:

1. Als een zinvol experiment tussen wanden mogelijk is dan moet de stroming in de onmiddellijke omgeving van het beschouwde lichaam vergelijkbaar zijn met de stroming in de onmiddellijke omgeving van het lichaam als het zich in het vrij veld bevindt. Hoe de stroming ter plaatse van de wanden is, is hierbij niet interessant.
2. In vergelijkbare omstandigheden behoeven de stromingsparameters in het oneindige tussen wanden en in het vrij veld niet gelijk te zijn.

Vergelijkbaarheid van een ideale stroming in de directe omgeving van het model is identiek aan vergelijkbaarheid van de drukverdeling; dit volgt onder andere uit de wet van Bernoulli, die het verband regelt dat tussen drukken en snelheden bestaat. Het is deze drukverdeling die in principe aan het lichaam kan worden gemeten. Door het bepalen van de omstandigheden waaronder de drukverdelingen bij verschillend grote modellen vergelijkbaar zijn en door vergelijking met theoretisch berekende toestanden, is waarschijnlijk een meet- of correctie-methode te vinden die ook voor cavitatiestromingen aanvaardbaar is.

De geschetste gedachtengang heeft een sterk empirische achtergrond die ik meen U niet te mogen onthouden.

Door Wu van het California Institute of Technology was een zogenaamde „vrije stroomlijn-theorie” ontwikkeld voor de berekening van de door een tweedimensionale draagvleugelstroming in volledig cavitierende toestand opgewekte krachten. Een experimentele verificatie van deze theorie werd door mij deels in Californië, deels in Delft uitgevoerd met behulp van drukverdelingsmetingen, omdat op deze wijze de meest gedetailleerde toetsing mogelijk is. De gemeten drukverdelingen werden op de gebruikelijke manier dimensieloos gemaakt en op basis van het cavitatiegetal met de theorie vergeleken. De proefondervindelijke resultaten bleken vrij belangrijk af te wijken van de theoretische. Omdat geen correctie was toegepast voor de invloed van de tunnelwanden, was hiermee nog niet aangetoond dat de theorie, die geldt voor een onbegrensde stroming, verworpen moest worden.

Een inzicht in de invloed van de wanden kon worden verkregen door een aantal proeven te herhalen met profielen van verschillende afmetin-

gen, waardoor de wandinvloed kon worden gevarieerd. Bovendien kon de drukverdeling langs één der wanden van de tunnel worden gemeten om de invloed na te gaan van een wijziging van de definitie van de stromingsparameters in de tunnel. Het bleek nu dat het mogelijk was om door wijziging van de stromingsparameters de, voor een bepaalde toestand geldende drukverdelingen van profielen van verschillende grootte, met elkaar en met de theorie in overeenstemming te brengen.

Dit resultaat geeft mij aanleiding om te stellen dat de wanden van de tunnel bij de gebruikelijke verhoudingen weinig invloed hebben op de stroming in de directe nabijheid van het model, maar dat een correctie of een nieuwe definitie nodig is voor de stromingsparameters in de tunnel.

Wie bekend is met de gebruikelijke wandinvloed-correcties zal misschien van mening zijn dat mijn zienswijze weinig of niet verschilt van de conventionele. Dat dit voor cavitatiestromingen niet opgaat kan blijken uit het volgende: Volgens de conventionele zienswijze leidt de invloed van de wanden tot een verschijnsel dat men „choking” van de tunnel heeft genoemd. Hierbij heeft het cavitatiegetal (dat de stromingstoestand bij cavitatie bepaalt) een minimumwaarde die groter is dan nul. In een onbegrensd stromingsveld is nul het minimum en bij groter wordende invloed van de wanden treedt „choking” op bij een steeds hoger cavitatiegetal. Dat wil zeggen dat in een tunnel de extreme cavitatietoestanden niet kunnen worden onderzocht. Bij de eerder genoemde experimenten is echter gebleken dat de theoretische drukverdeling (die dus geldt voor een onbegrensd stroming) behorende bij het cavitatiegetal nul, juist samenvalt met de experimentele drukverdelingen waarbij het minimum cavitatiegetal was bereikt; „choking” komt dus overeen met het cavitatiegetal nul. Hieruit blijkt dus wel dat de twee zienswijzen tot verschillende conclusies leiden voorzover het gaat om cavitatiestromingen.

Bij de praktische uitvoering van een onderzoek is gebleken dat het aanbeveling verdient om de gemeten drukken of krachten dimensieloos te maken met behulp van de snelheid die heerst langs de rand van de caviteit; dat is de grootste in de stroming voorkomende snelheid. Deze snelheid kan worden afgeleid van de, in de caviteit gemeten druk. Op deze wijze houdt men de resultaten in eerste instantie onafhankelijk van de nog onzekere parameters op oneindig.

Voor de bepaling van de parameters zal een theorie moeten worden gezocht. Zolang deze niet beschikbaar is, zal men zijn toevlucht moeten nemen tot het doen van metingen aan modelfamilies of men zal gedwongen

zijn een zeer grote tunnel of een zeer klein model te gebruiken.

Het ziet er naar uit dat een meetmethode met een goede theoretische achtergrond mogelijk is voor tweedimensionale draagvleugelstromingen als men de liftkracht en de circulatie (langs de tunnelwanden) kan bepalen. Afgezien van mogelijk nodige correcties van invalshoek en „camber” leidt de wet van Kutta-Joukovski tot een waarde voor de snelheid in het oneindige, waarna de vergelijking van Bernoulli een waarde voor de statische druk oplevert.

Eerder heb ik gesteld dat de oplossing van het wandinvloed-probleem goeddeels de oplossing van de andere problemen kan betekenen. Dit is misschien wat bout gezegd, maar het zal duidelijk zijn dat correctie van de stromingsparameters en daardoor van het cavitatiegetal, invloed moet hebben op alle cavitatietunnel problemen.

Graag wil ik in dit verband nog wijzen op een specifiek scheepsbouwkundig probleem dat vroeger de gemoederen nogal in beweging heeft gebracht maar dat tegenwoordig wel als afgedaan wordt beschouwd. Het gaat hier om de snelheidsbepaling bij schroefonderzoek in een homogeen snelheidsveld.

Er van uitgaande dat het toerental van een schroef niet gecorrigeerd behoeft te worden voor wandinvloed, constateert men dat de stuwkracht en het askoppel niet gelijktijdig in overeenstemming zijn met de waarden die in de sleeptank (dus in een minder begrensde veld) worden gemeten. De besproken tweedimensionale proeven doen vermoeden dat de drukverdelingen wel met elkaar in overeenstemming gebracht moeten kunnen worden, zodat stuwkracht en askoppel beide correct moeten worden geacht. Het ziet er naar uit dat we onze overtuiging zullen moeten hezien, dat het toerental niet voor de wandinvloed behoeft te worden gecorrigeerd.

Geachte Toehoorders,

Ik heb U enige problemen geschetst die van direct belang zijn voor de scheepsbouwkunde, maar ook door andere vakgebieden worden gevoeld. Een aandeel te leveren in de oplossing ervan, acht ik mijn belangrijkste taak in de komende jaren.

Bij de aanvaarding van mijn ambt spreek ik mijn welgemeende dank uit jegens Hare Majesteit de Koningin die mij tot lector aan deze Technische Hogeschool heeft benoemd.

Mijne Heren Curatoren,

Voor het vertrouwen dat U, blijkens Uw voordracht, in mij stelt, ben ik U zeer erkentelijk.

Mijne Heren Hoogleraren,

Uw voorspraak heeft mede geleid tot mijn benoeming. Ik dank U hiervoor zeer.

Hooggeleerde Gerritsma,

Aanvaarding van het ambt als lector, mij bij Koninklijk besluit geschonken, houdt voor mij ook in: aanvaarding van het besluit van de minister van Onderwijs en Wetenschappen waarin U als mijn leidsman bent aangewezen.

Het is mij bij onze bezoeken in het buitenland en ook hier bij gesprekken met buitenlandse gasten opgevallen dat Uw leiding niet slechts wordt geaccepteerd door Uw eigen medewerkers en studenten, maar ook door op Uw terrein vooraanstaande buitenlanders die Uw inzicht en Uw adviezen naar waarde weten te schatten.

In dit licht is het te begrijpen dat het mij niet moeilijk valt om mij opnieuw aan Uw toezicht te onderwerpen. U te danken voor Uw in het verleden gegeven leiding is voor mij een aangename plicht.

Hooggeëerde Ouders,

Uw zorg en toewijding en Uw opofferingen zijn de grond waarin de boom gegroeid is waarvan ik thans de vruchten mag plukken. Ik neem de vrijheid om U bij deze gelegenheid de dank te geven die U meer dan ieder ander toekomt.

Dames en Heren Medewerkers van de Onderafdeling der Scheepsbouwkunde,

Ik heb steeds in een bijzonder prettige sfeer met U mogen samenwerken. Ik hoop dat de verandering van mijn positie hierin geen wijziging zal brengen.

Mevrouw, Mijne Heren Medewerkers van het Laboratorium voor Scheepsbouwkunde,

Het werk dat wij samen nu reeds vele jaren verrichten heeft veel Internationale belangstelling getrokken. Het is niet toevallig dat zoveel Amerikanen en Japanners bij ons gastvrijheid hebben gevraagd. Onze naam hebben wij niet in de laatste plaats te danken aan Uw werk dat slechts tot stand kon komen in de goede sfeer die ons laboratorium steeds heeft gekenmerkt.

Mijne Heren Studenten,

Door mijn speurwerktaak zijn mijn contacten met U in het verleden beperkt gebleven. Wijzigingen in het studieprogramma moeten in de toekomst een sterkere band tussen ons mogelijk maken. Verwezenlijking hiervan is echter geheel afhankelijk van Uw belangstelling voor de problemen van de voortstuwing van schepen, waarvan de cavitatie er één is.

Ik dank U voor Uw belangstelling.