



VLEUGELKIELEN IN GOLVEN

Prof.ir. J. Gerritsma en
ir. J.A. Keuning

Rapportno. 693-P

oktober 1985

publicatie in de Waterkampioen,



Delft University of Technology
Ship Hydromechanics Laboratory
Mekelweg 2
2628 CD DELFT
The Netherlands
Phone 015 -786882

Vleugelkielen in golven

Het modelonderzoek naar de eigenschappen van een aantal verschillende kielen voor zeiljachten, zoals dat in de Delftse Sleeptank is uitgevoerd, werd onlangs afgesloten met een aantal proeven in golven. Het doel van die proeven was een vergelijking van het tweetal vleugelkielen en een "gewone" diepe kiel in zeegang ten aanzien van de verticale bewegingen, en de extra weerstand die het varen in golven met zich mee zou kunnen brengen.

De Scheel kiel is niet in dit onderzoek betrokken. Op theoretische gronden mag worden aangenomen dat deze kiel noch de bewegingen noch de weerstand van het jacht in golven zal beïnvloeden, zodat deze niet wezenlijk zal afwijken van de "gewone" diepe kiel.

Voor elk van de drie kiel-romp configuraties is een reeks proeven uitgevoerd om de weerstand in enkelvoudige (regelmatige) golven, met golflengten variërend van $3/4$ tot $2\ 1/2$ maal de scheepslengte en golfhoogten, overeenkomend met 0.35 tot 0.50 meter op ware grootte, te bepalen.

Dergelijke golfcondities komen op zee niet voor: het golvend oppervlak van de zee is onregelmatig en de gemiddelde hoogte zal vaak aanzienlijk groter zijn.

De resultaten van dergelijke proeven worden dan ook gebruikt om het gedrag van het jacht in meer realistische zeegang te berekenen, als gegevens over die zeegang bekend zijn in de vorm van het zogenaamde golfspectrum. Deze methoden zijn met ware grootte proeven op zee geverifieerd en gebleken is dat het gedrag van schepen en andere maritieme objecten in onregelmatige golven, waarvan het spectrum gegeven is, met voldoende nauwkeurigheid bepaald kan worden

Bij zo'n spectrum denkt men de zee te zijn opgebouwd uit vele enkelvoudig golfcomponenten en de resulterende bewegingen van het schip kan men dan berekenen door de responsies op elk van die samenstellende golfcomponenten bij elkaar op te tellen. Vandaar de proeven in regelmatige golven. Zie figuur 3.

In figuur 4 zijn de bewegingskarakteristieken voor de verticale bewegingen, het stampen θ (een oscillerende beweging om een dwarsscheepse as door het gewichtszwaartepunt van het schip, zie figuur 3) en het dompen Z (een oscillerende verticale beweging van het gewichtszwaartepunt, zie figuur 4) gegeven voor de jachten met de twee vleugelkielen en de normale diepe kiel, de IOR kiel.

Uit deze figuur blijkt dat binnen de experimentele nauwkeurigheid de stampbeweging niet door vleugels aan de kiel beïnvloed wordt. Dat geldt zowel voor de "matige" vleugelkiel I, als voor de meer extreme vleugelkiel II.

De dompbeweging wordt iets beïnvloed door de demping die de vleugels bij de verticale beweging ten opzichte van het water ondervinden. De totale demping van kiel met vleugels plus de romp is groter, zoals ook straks zal blijken, en dat resulteert in een iets kleinere verticale beweging van het jacht. Het verschil is echter niet groot (max 5%).

De karakteristiek van de extra weerstand in golven is gegeven in Figuur 5.

Uit deze karakteristiek blijkt dat de extra weerstand in golven bij de vleugelkielen groter is dan voor een normale kiel. Vooral in golven waarvan de lengte kleiner is dan $1 \frac{1}{4}$ maal de scheepslengte is deze verhoogde weerstand van belang, maar dat is aan de hand van deze figuur moeilijk te relativeren, omdat het hier de karakteristieken in regelmatige golven betreft.

Dat is ook het geval voor de karakteristieken van het stampen en het dompen die in Figuur 4 zijn gegeven.

Daarom is met deze gegevens nu de extra weerstand en de domp- en stampbeweging in zeegang berekend, waarvan het spectrum bekend is. Het bleek dat de stampbeweging niet meetbaar beïnvloed wordt door de vleugels aan de kiel. Er is een 2-4% reductie van de verticale of dompbeweging in 't geval van de extreme vleugelkiel II; voor de meer gematigde vleugelkiel is dat 1-2%, waarbij de invloed in alle gevallen groter is, naarmate de golfhoogte toeneemt.

De extra weerstand in golven is voor elk van de drie romp-kiel combinaties in Tabel I gegeven.

De beschouwde golfspectra zijn in die Tabel gekarakteriseerd door een soort gemiddelde golfhoogte van de zeegang die men de significante golfhoogte $\bar{H}_{1/3}$ noemt en een gemiddelde periode T_1 .

De berekening gaat er vanuit dat de golven recht van voren inkomen en dat de snelheid van het jacht 8 knopen is. Voor andere scheepslengten dan het hier onderzochte 62' jacht moet deze snelheid met de wortel uit het lengte-quotient vermenigvuldigd worden.

Tabel I
Extra weerstand in golven in kN

| $\bar{H}_{1/3}$ m | T_1 (s) | Diepe kiel | Wing I | Wing II |
|----------------------|--------------|------------|--------|---------|
| 0.5 | 4.0 | 0.37 | 0.40 | 0.44 |
| 1.0 | 4.5 | 1.04 | 1.15 | 1.24 |
| 1.5 | 4.9 | 1.77 | 1.97 | 2.14 |
| 2.0 | 5.3 | 2.46 | 2.68 | 2.92 |
| 2.5 | 5.8 | 2.72 | 3.04 | 3.30 |

Uit de Tabel blijkt dat die extra weerstand sterk afhankelijk is van de significante golfhoogte en gemiddelde periode.

Aan de wind zeilend bij een snelheid van 8 knopen is de weerstand in vlak water, inclusief de invloed van de hellingshoek en de drifthoek van het jacht 3.77 kN, waarbij we eenvoudigheidshalve de geringe verschillen in weerstand tussen de verschillende kielvormen (+ 5%) buiten beschouwing laten.

De extra weerstand in golven is voor de beide vleugelkielen meer dan voor de gewone diepe kiel.

Met de gegevens uit Tabel 1 is een schatting gemaakt van de daaruit volgende snelheids verschillen.

Als het jacht met de diepe kiel in golven met $H_{1/3} = 2.5$ m een snelheid van 8 knopen zou bereiken, dan is dat voor Wing I ongeveer 7.9 knopen en voor Wing II 7.8 knopen.

Voor $\bar{H}_{1/3} = 1.5$ m verliezen Wing I en Wing II met respectievelijk 0.075 knoop en 0.15 knoop.

Deze verschillen worden groter als de snelheid van het jacht bij dezelfde zee condities afneemt, want de weerstand in vlak water neemt af maar de extra weerstand door zeegolven nauwelijks.

Deze is vrijwel gelijk voor een snelheid van 6, 7 of 8 knopen in dezelfde zeegang. In dat geval neemt het verlies van de beide vleugelkielen t.o.v. de diepe kiel snel toe, namelijk bij 7 knoop respectievelijk 0.2 en 0.4 knoop en bij 6 knoop tot respectievelijk 0.4 en 0.6 knoop.

De grotere weerstand in golven is het gevolg van een aantal factoren. In de eerste plaats veroorzaken de vleugels geïnduceerde weerstand. Immers de vleugel die in verticale richting op en neer gaat door- dat het jacht in zeegang een oscillerende verticale beweging uitvoert produceert lift en daarmee gaat gepaard een geïnduceerde weerstand die de totale weerstand van de romp-vleugel kiel combinatie vergroot.

Daarnaast dempt de vleugel de dompbeweging enigszins zoals uit Figuur 2 bleek zodat gemiddeld de relatieve verticale beweging van het water ten opzicht van de romp toeneemt. De romp produceert daardoor meer dempingsgolven, die op hun beurt de weerstand van het jacht bij het varen in golven verhogen.

Daar staat tegenover dat de oscillerende vleugel óók een voortstuwende kracht levert zodat uiteindelijk de karakteristiek van de extra weerstand in golven, zoals die in Figuur 2 is gegeven, op te vatten is als het uiteindelijke resultaat van al deze factoren. De vleugels zijn, wat de weerstand in zeegang betreft, niet voordelig.

Een ander aspect van de vergrote demping is de verandering van de dynamische eigenschappen met name van de verticale bewegingen in golven.

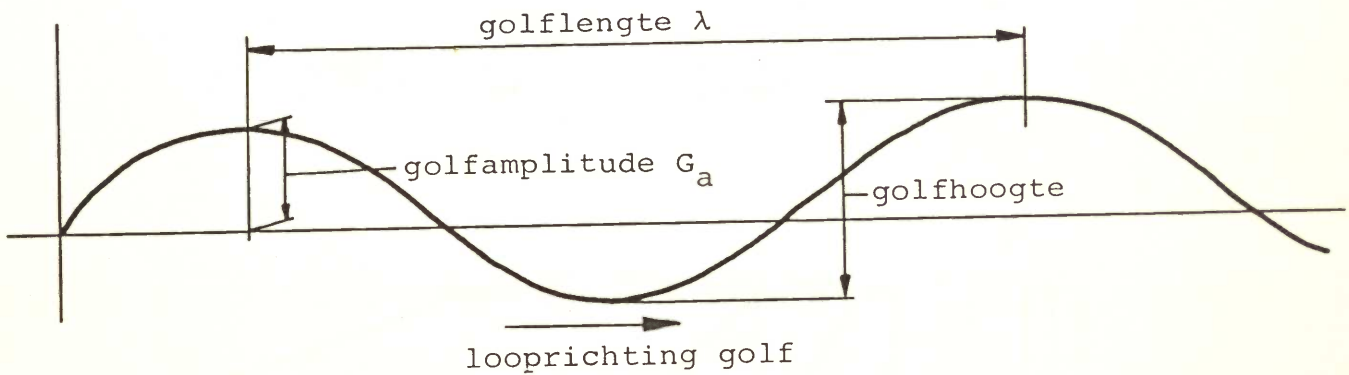
Onder andere voor dit doel is een reeks zogenaamde oscillatie proeven uitgevoerd, waarbij het model een gedwongen harmonische beweging wordt opgelegd.

Zowel een dompbeweging, als een stampbeweging zijn beschouwd, weer bij een snelheid overeenkomend met 8 knopen.

Uit de proeven blijkt dat de vleugels hoofdzakelijk de dompbeweging enigszinds beïnvloeden:

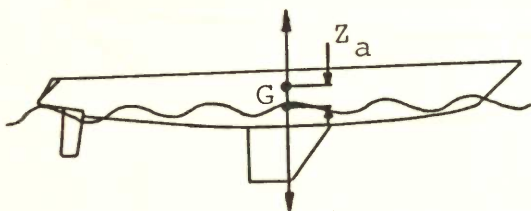
de demping van de vertikale beweging neemt toe en de hoeveelheid meebewegend water (de hydrodynamische massa) wordt ook groter. De totale schijnbare massa van het jacht neemt daardoor toe en het gecombineerde effect kan aan boord het gevoel geven in een iets groter schip te varen, hetgeen de ervaring schijnt te zijn van mensen die met vleugelkielen in golven gevaren hebben.

Figuur 1. Regelmatige golf.



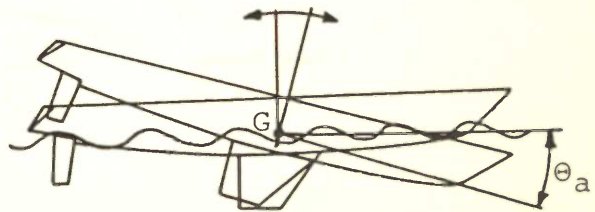
t.g.v. het varen in koppelgolven treden de volgende reacties op van het schip:

dompen

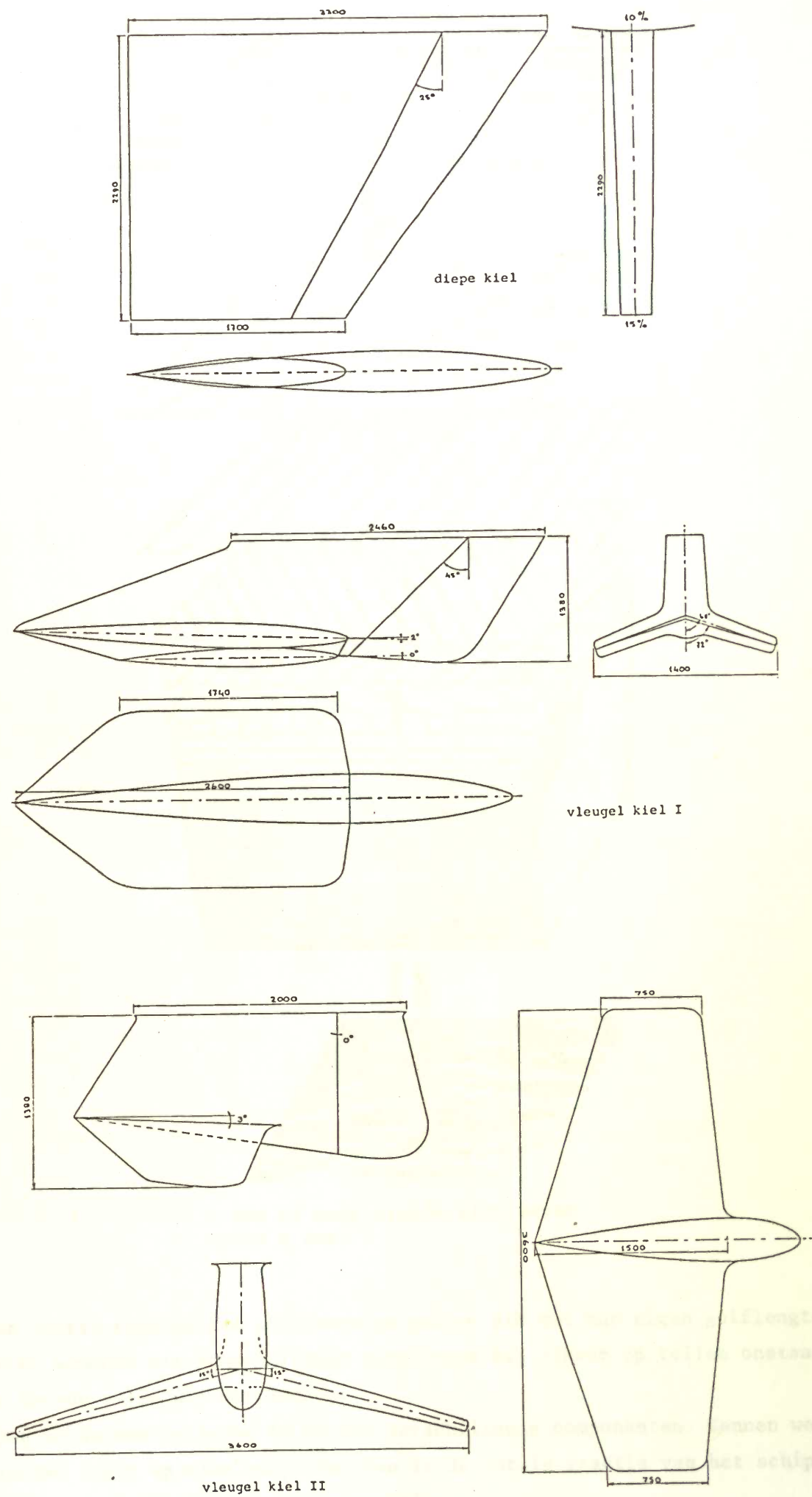


op en neer gaande beweging van het schip.
 Z_a = amplitude domp beweging

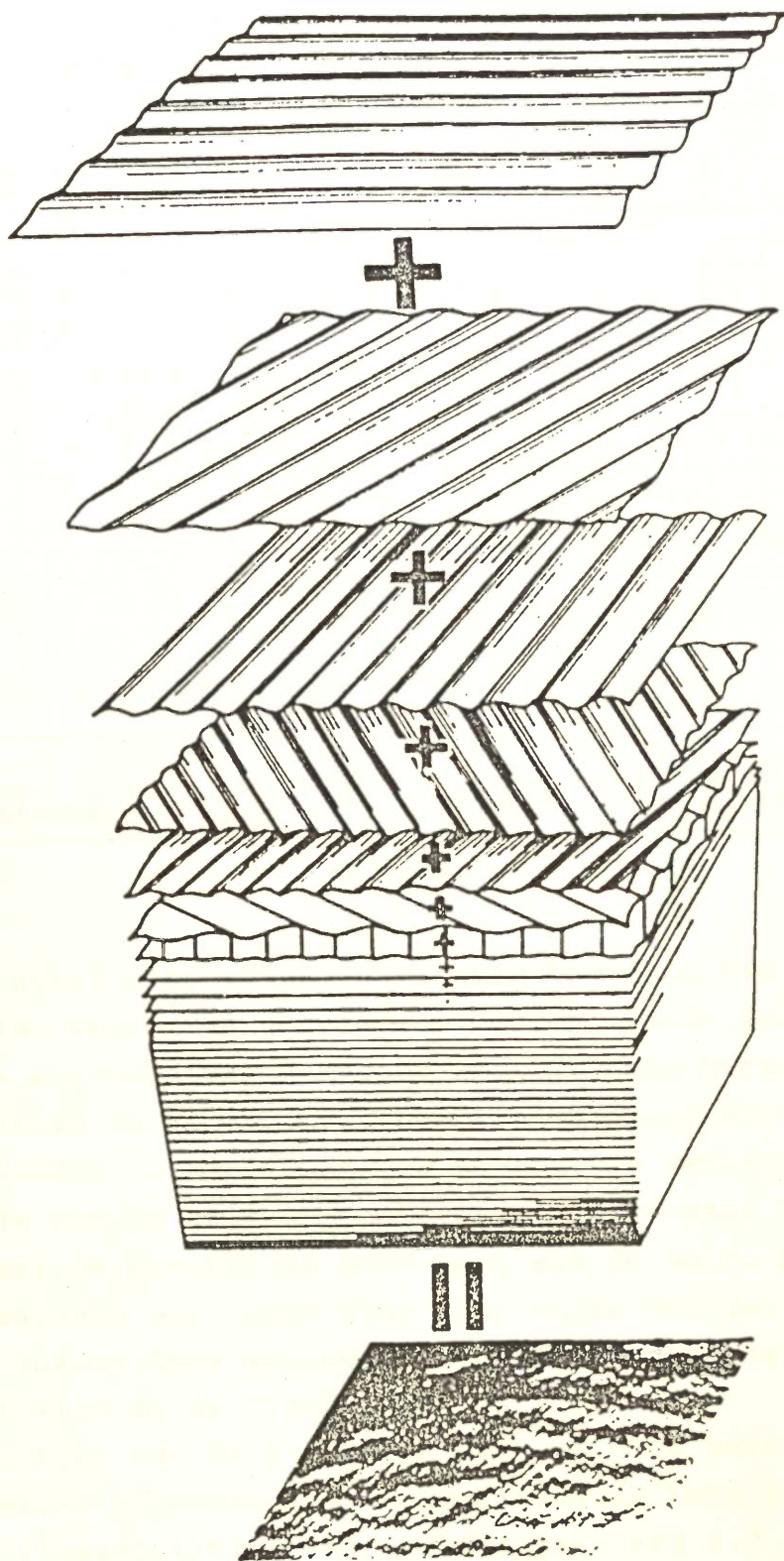
stampen



rotatie langsscheeps van het jacht om dwarsscheepse as.
 θ_a = amplitude stamphoek



Figuur 2. Geometrie van de drie onderzochte kielen, boven de gewone diepe kiel onder de twee ondiepe kielen met winglets.



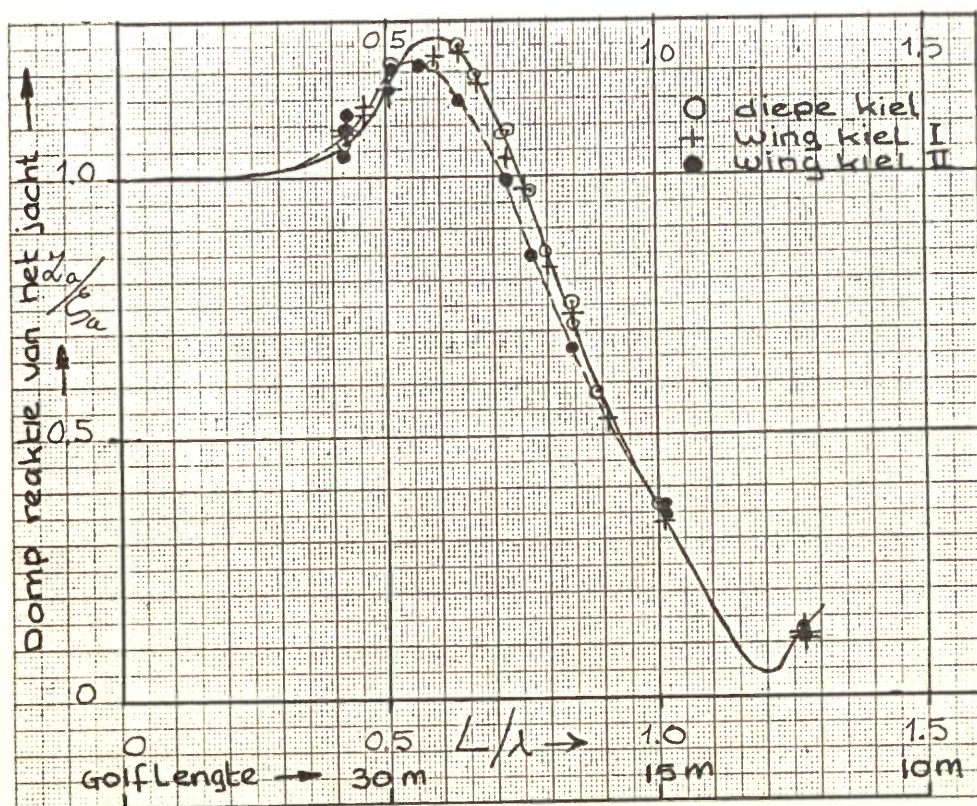
A sum of many simple sine waves
makes a sea.

Figuur 3

Door een groot aantal regelmatige sinusvormige golven elk met hun eigen golflengte en golfhoogte en komende uit verschillende richtingen bij elkaar op tellen ontstaat het beeld van de zee zoals wij dat kennen.

Omgekeerd mogen we de zee ontleden in al die verschillende componenten. Kennen we de reactie van het schip op elke component dan is de totale reactie van het schip op de zee de som van al die afzonderlijke reacties.

Derhalve kan bij de proeven volstaan worden met het meten van de reactie van het schip op regelmatige golven met gegeven golflengte en golfhoogte.

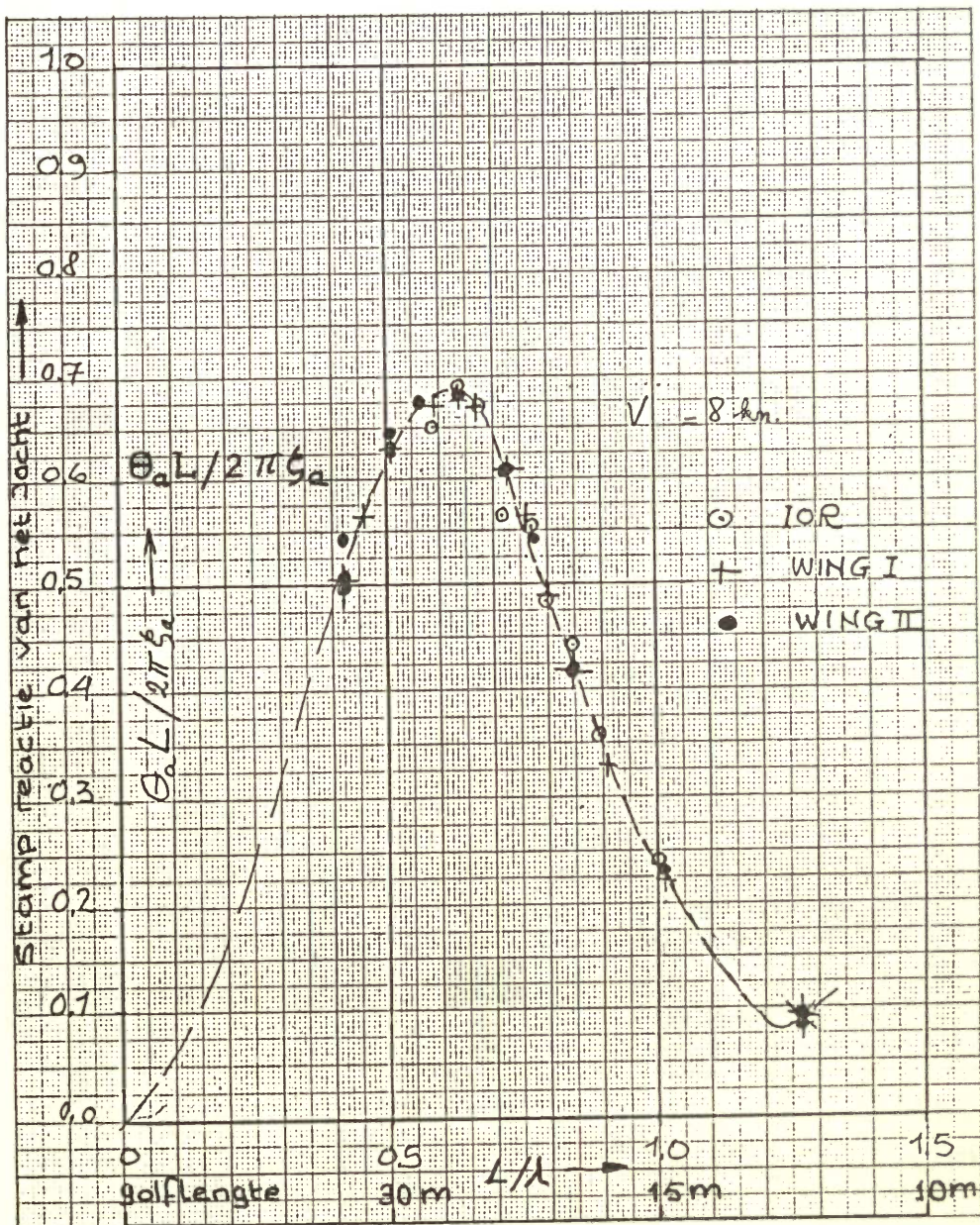


$L = 15.20 \text{ m}$.

Figuur 4A

In deze figuur staat uitgezet de verticale beweging van het jacht (het dompen) als reactie op golven van verschillende lengten. Bij een voorwaartse snelheid van 8 knopen voor de drie verschillende kielen. Horizontaal staat uit de scheepslengte/golflengte verhouding en vertikaal de amplitude van de reactie gedeeld door de golfamplitude van de golf. Bij zéér lang golven gaat het schip de golven volgen: de reactie is even hoog als de golf. Bij heel korte golven reageert het jacht niet meer op de golven: de reactie gaat naar nul. Tussen deze extreme situaties in gedraagt het schip zich volgens de lijn in de Figuur.

Uit de figuur blijkt dat de vleugel-kielen de domp beweging van het jacht enigszins beïnvloeden: de amplitude is iets lager voor de jachten met vleugel-kielen voor golflengten van 1.0 tot 2.0 keer de scheepslengte.

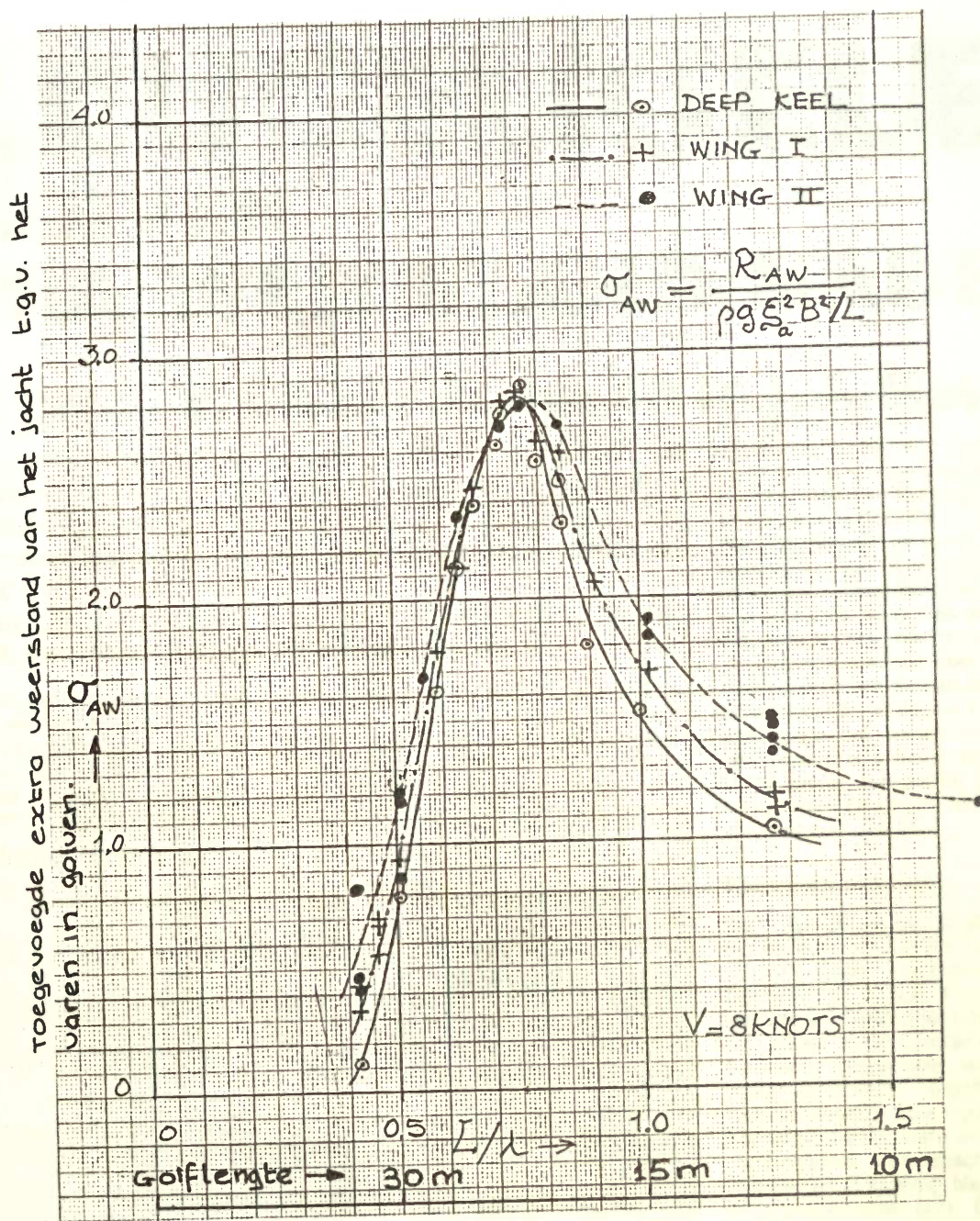


Figuur 4B

In deze figuur staat de rotatie om een dwarsscheepse as door het zwaartepunt van het jacht (het stampen) uitgezet als functie van de scheepslengte/golflengte verhouding, bij eveneens een snelheid van 8 knoop van het jacht tegen de golven in.

De stamp beweging gaat bij hele lange golven en hele korte golven naar nul. Bij golflengte van 1.0 tot 2.0 maal de scheepslengte stampt het jacht aanzienlijk.

De verschillen tussen de kielen onderling zijn minimaal: de vleugel kielen beïnvloeden het stampen nauwelijks of niet.



Figuur 5

De extra weerstand die het jacht ondervindt ten gevolge van het varen in golven staat hier uitgezet op basis van de golflengte-scheepslengete verhouding van de golf waar het schip in vaart. Voor golven langer dan 2 keer de scheepslengete is die verhoging minimaal, voor golven met een lengte van circa 1.5 maal de scheepslengete is die toename maximaal en voor kortere golven gaat het naar een bepaalde waarde. De presentatie is dimensieloos: de extra weerstand is gedeeld door de golfhoopte van de golf in het kwadraat en enkele constante grootheden. Duidelijk is de grotere weerstands toename van de vleugel kielen in vooral de kortere golven te zien: Hoe groter de vleugels hoe groter de weerstands toename. Omdat dat specifiek geldt voor de kortere golven lengten veroorzaakt dat in een echte zee, waarin deze golflengten altijd ruim vertegenwoordigd zijn, een wezenlijk weerstands verschil tussen het jacht met de diepe kiel en de vleugel kielen.

VLEUGELKIELEN IN GOLVEN EXTRA WEERSTAND NADELIG

door: prof. ir. J. Gerritsma en ir. J.A. Keuning

Precies een jaar geleden (Waterkampioen 5-1985) schreven we uitgebreid over kielen en dan met name vleugelkielen. Aanleiding was de controverse tussen een aantal experts over het nut van deze vleugelkielen voor toerjachten en het daaropvolgende sleeptankonderzoek aan de TH in Delft.

Dat onderzoek geschiedde toen uitsluitend op vlak water; nu dan de ervaringen met dit soort drijfbeperkers in zeevang.

Om het geheugen wat op te frissen, gaan we even terug in de tijd. Om precies te zijn naar 1983 toen voor de kust van het Amerikaanse Newport de Aussies met de Australia II er voor het eerst in de geschie-

denis in slaagden de zo fel begeerde America's Cup uit handen van de Yankees te halen. Het geheime wapen daarbij was de in het Maritiem Research Instituut Nederland (MARIN) te Wageningen beproefde

vleugelkiel. Deze kiel combineerde een gunstige lift-weerstandverhouding (drijf beperking) met een gunstige plaats van de ballast (betere stabiliteit).

De verschillende experts, waaronder de twee vaders van de oorspronkelijke Australia II-kiel, ir. Sloof (NRL) en ir. van Oossanen (MARIN), waren zo onder de indruk, dat gedacht werd hier tevens de oplossing gevonden te hebben voor toerzeilers, die met behoud van de aan-de-windse eigenschappen, een ondiepere kiel (wat een vergroting van het vaargebied betekent) wensen. Al snel verschenen de eerste vleugelkielen onder een aantal gerenommeerde toerjachten. Een trend die op de dag van vandaag nog doorzet.

Het eerste onderzoek

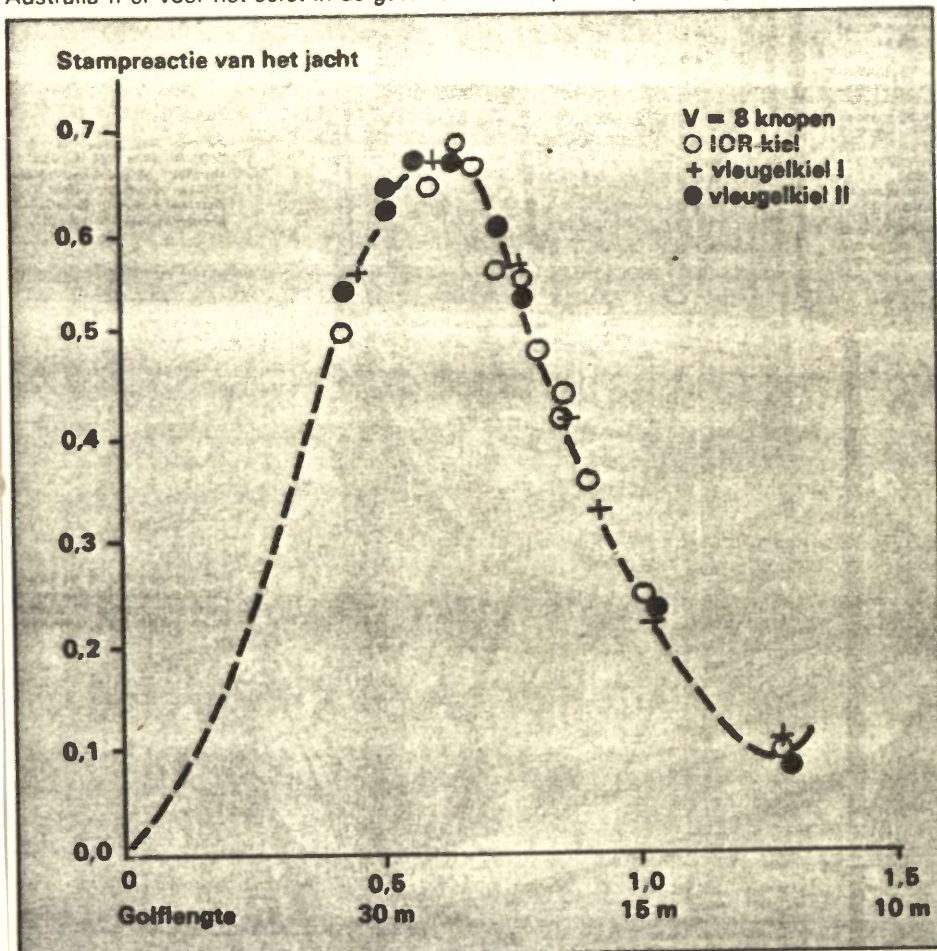
Zoals gezegd besloot de afdeling Scheepshydronechanica van de Technische Hogeschool in Delft op initiatief van prof. ir. J. Gerritsma en ir. J.A. Keuning een aantal kielvormen, waaronder twee vleugelkielen, met elkaar in de sleeptank te vergelijken. Deze twee vleugelkielen werden door de al eerder genoemde ir. Sloof en ir. van Oossanen ontworpen (zie figuur 3).

Als referentiekiel werd uitgegaan van een conventionele high-aspect (smal en diep) IOR-kiel en al spoedig bleek dat deze nog altijd onovertroffen bleef. De prestaties van de vleugelkielen ten opzichte van de andere drie ondiepe kielen bleken verwaarloosbaar klein, althans vanuit de optiek van een toerzeiler. Bovendien was het nog maar de vraag of deze kleine verbeteringen in prestaties wel opwegen tegen een aantal nadelen, waaronder een hogere kostprijs en een grotere kwetsbaarheid.

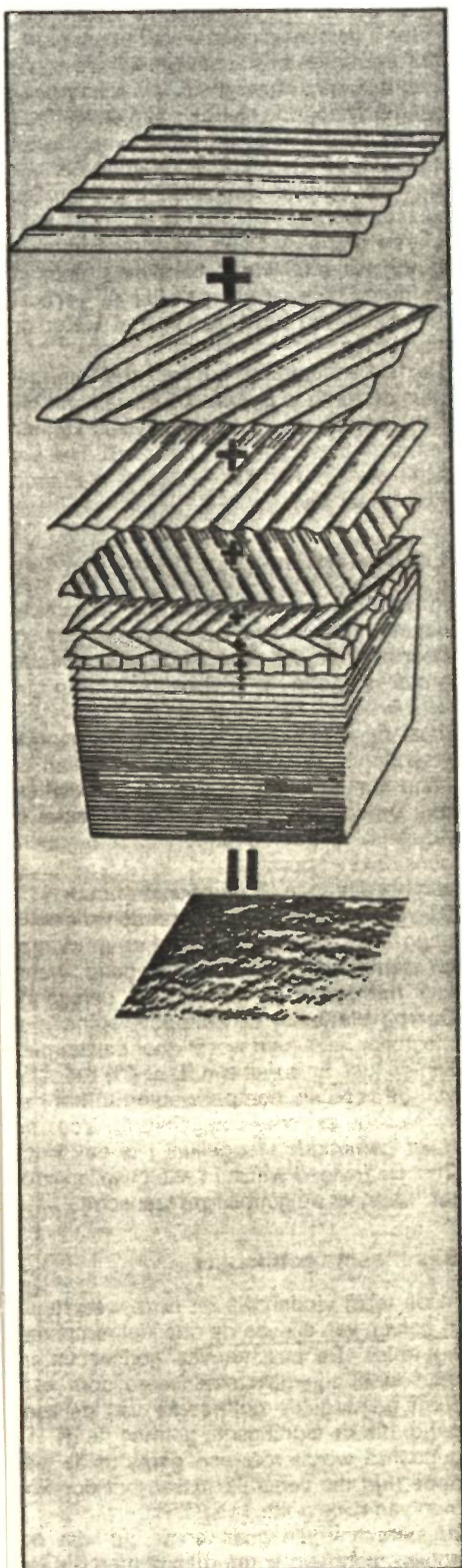
Een ander belangrijk aspect, dat door tijd nood (het onderzoek moest voor een Amerikaans Symposium in 1985 afgerond zijn) buiten beschouwing bleef, was het gedrag van jachten met vleugelkielen in zeevang. Juist voor de groep zeilers, die belangstelling voor deze kiel hebben, een belangrijke vraag. Daarom nu hebben prof. Gerritsma en ir. Keuning een vervolgonderzoek opgezet, waarbij dit aspect wel uitgebreid onder de loep is genomen.

Het vervolgonderzoek

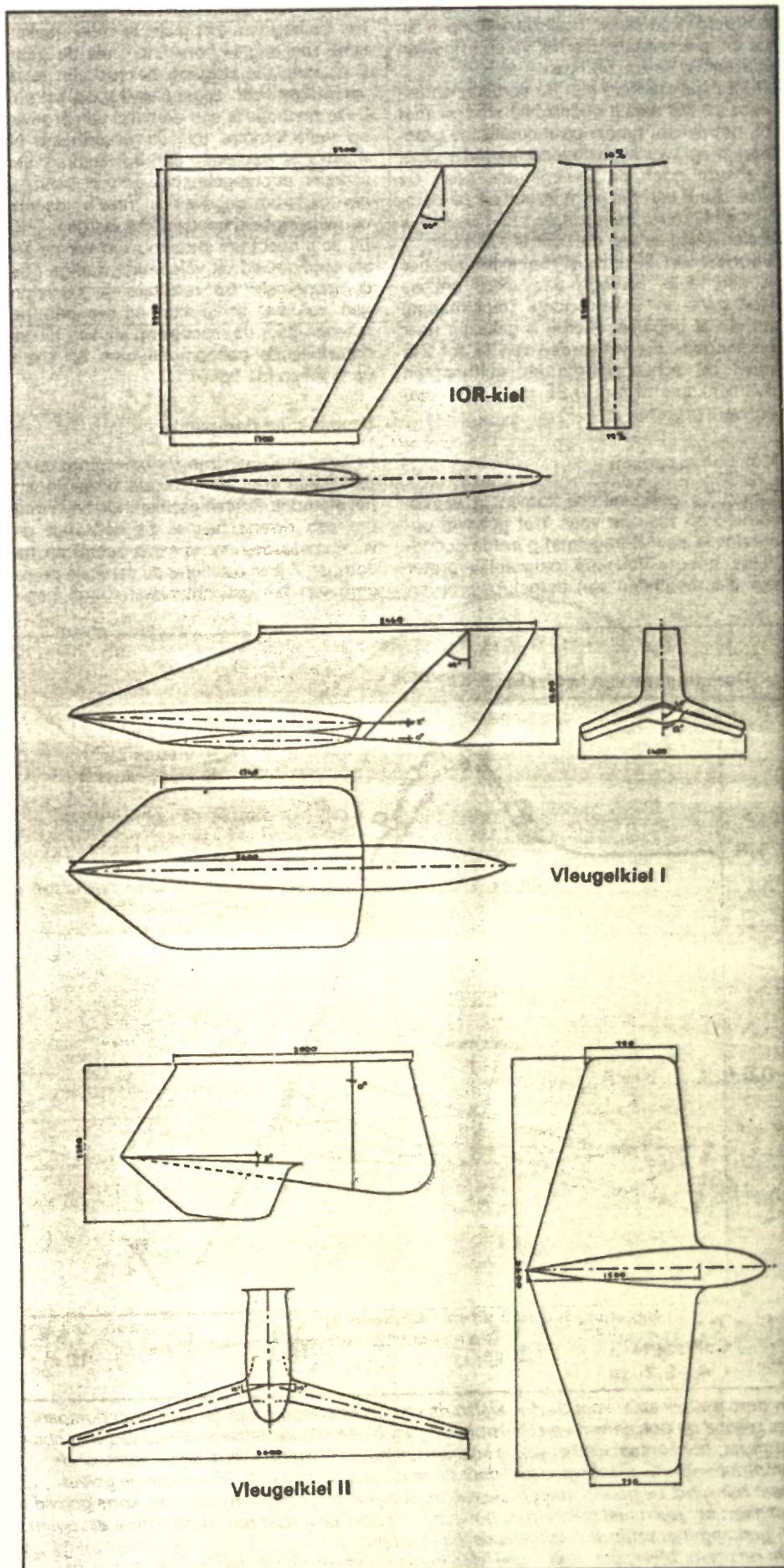
Bij dit tweede onderzoek werd alleen naar de twee vleugelkielen - en als referentie - de IOR-kiel gekeken. Het doel van de proe-



De rotatie om een dwarsscheepse as door het zwaartepunt van het jacht (het stampen) uitgezet als functie van de scheepslengte-golflengteverhouding, bij eveneens een snelheid van 8 knopen van het jacht tegen de golven in. De stampbeweging gaat 'bij hele lange golven en hele korte golven naar nul; bij golflengten van 1,0 tot 2,0 maal de scheepslengte stampt het jacht aanzienlijk. De verschillen tussen de kielen onderling zijn minimaal: de vleugelkielen beïnvloeden het stampen nauwelijks of niet.



Figuur 1: door een aantal regelmatige (sinusvormige) golven, elk met hun eigen golflengte en golfhoogte en komende uit verschillende richtingen, bij elkaar op te tellen, ontstaat het beeld van de zee, zoals wij dat kennen. Omgekeerd mogen we de zee ontleden in al die componenten. Kennen we de reactie van een schip op elke component, dan is de totale reactie van het schip de som van al die afzonderlijke reacties. Daarom kan bij proeven worden volstaan met het meten van de reactie van het schip op regelmatige golven met een gegeven golfhoogte en een gegeven golflengte.



Figuur 3: de geometrie van de drie in het vervolgonderzoek bekeken kielen; boven de gewone diepe (IOR) kiel; daaronder de twee ondiepe kielen met vleugels.

ven was een vergelijking van deze kielen in zeegang, van de verticale bewegingen en de extra weerstand die het varen in golven met zich mee zou brengen.

De Scheel-kiel (die met de verdikte onderkant uit het eerste onderzoek) werd er niet bij betrokken, omdat op theoretische gronden mag worden aangenomen, dat deze kielvorm noch de bewegingen, noch de weerstand van het jacht in golven zal beïnvloeden, zodat de resultaten niet wezenlijk zullen afwijken van die van de IOR-kiel.

Voor elk van de drie kiel-rompconfiguraties is een reeks proeven uitgevoerd om de weerstand in enkelvoudige (regelmatige) golven te bepalen. Hierbij is gekeken naar golflengtes, die varieerden van $\frac{3}{4}$ tot $2\frac{1}{2}$ maal de scheepslengte en golfhoogten overeenkomend met 0,35 tot 0,50 meter op ware grootte.

Het golfspectrum

Dergelijke golfcondities komen in werkelijkheid op zee niet voor. Het golvend oppervlak is daar onregelmatig en de gemiddelde hoogte zal vaak aanzienlijk groter zijn. De resultaten van dergelijke proeven

worden dan ook uitsluitend gebruikt om het gedrag van het jacht in meer realistische zeegang te berekenen, als de gegevens over die zeegang bekend zijn in de vorm van het zogeheten golfspectrum. Deze methode is aan de hand van proeven op ware grootte op zee geverifieerd en daarbij is gebleken dat het gedrag van schepen in onregelmatige golven, waarvan het spectrum gegeven is, met voldoende nauwkeurigheid bepaald kan worden.

Bij zo'n spectrum beschouwen we de zee als opgebouwd uit vele enkelvoudige golfcomponenten. De resulterende bewegingen van het schip kunnen we dan berekenen door de reacties op elk van die samenstellende golfcomponenten bij elkaar op te tellen (zie figuur 1).

Stampen en dompen

In twee grafieken zijn de bewegingskarakteristieken voor de verticale bewegingen, het stampen \emptyset (een oscillerende beweging om een dwarsscheepse as door het gewichtszwaartepunt van het schip) en het dompen Z (een oscillerende verticale beweging van het gewichtszwaartepunt) gege-

ven voor de drie onderzochte kielen. In figuur 2 de bewegingen waar het om gaat.

Uit figuur 4b blijkt, dat binnen de experimentele nauwkeurigheid, de stampbeweging niet door de vleugels aan de kiel beïnvloed wordt. Dat geldt zowel voor de matige vleugelkiel I (de Slooff-kiel), als voor de meer extreme vleugelkiel II (de van Oosaaenen-kiel).

Uit de grafieken blijkt, dat de dompbeweging wel iets wordt beïnvloed door de demping, die de vleugels bij de verticale beweging ten opzichte van het water ondervinden.

De totale demping van kiel met vleugels plus de romp is groter, zoals straks zal blijken, en dat resulteert in een iets kleinere verticale beweging van het jacht. Het verschil met de IOR-kiel is echter niet groot (maximaal 5%).

Extra weerstand

In de derde grafiek vinden we de karakteristiek van de extra weerstand in golven. Daaruit blijkt dat deze bij de vleugelkielen groter is dan bij de IOR-kiel. Vooral in golven, waarvan de lengte kleiner is dan $1\frac{1}{4}$ maal de scheepslengte is deze verhoogde weerstand van belang, maar dat is aan de hand van deze figuur moeilijk te relativeren, omdat het hier de karakteristieken in regelmatige golven betreft. Dat is overigens ook het geval voor de karakteristieken van het stampen en dompen uit figuur 4.

Daarom nu is vervolgens met de verkregen gegevens de extra weerstand en de dompen stampbeweging in een zeegang, waarvan het spectrum bekend is, berekend. Daarbij bleek dat de stampbeweging niet meetbaar beïnvloed wordt door de vleugels aan de kiel. Er is wel een 2 tot 4% reductie van de verticale dompbeweging in het geval van de extreme vleugelkiel II. Voor de meer gematigde vleugelkiel I is dat 1 tot 2%. De invloed wordt in alle gevallen groter, wanneer de golfhoogte toeneemt.

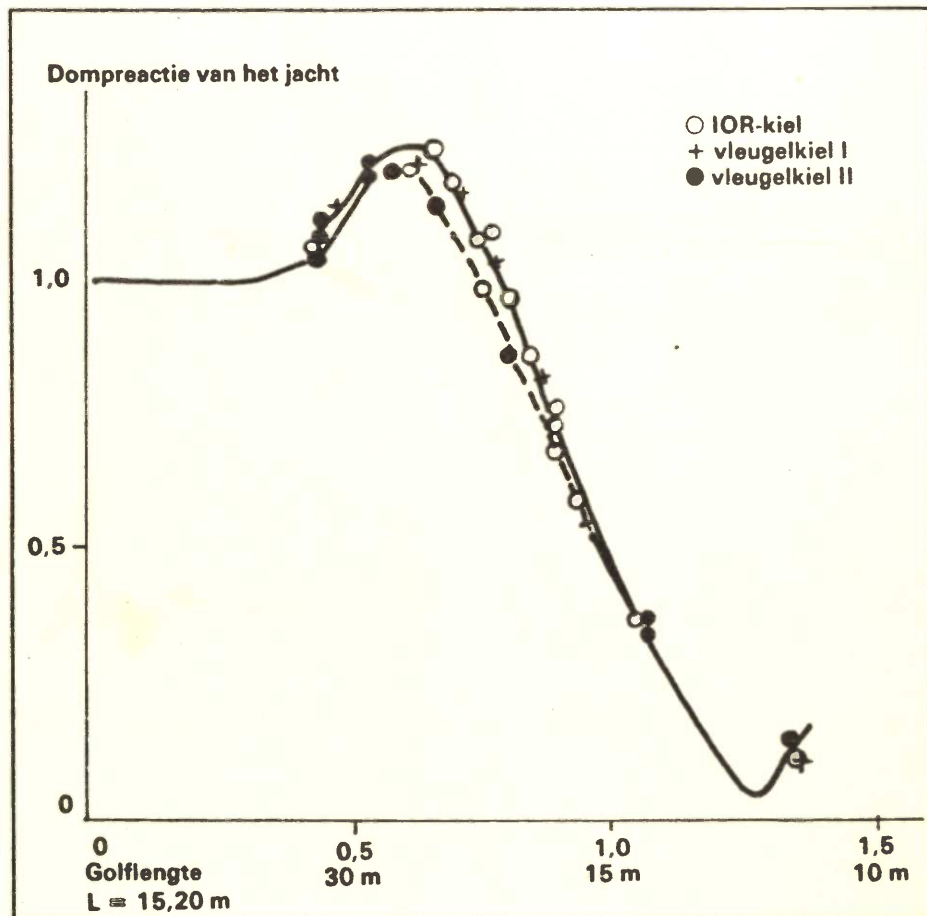
Significante golfhoogte

In de tabel vinden we de extra weerstand in golven van elk van de drie kiel-rompconfiguraties. De beschouwde golfspectra in deze tabel zijn gekarakteriseerd door een soort gemiddelde golfhoogte van de zeegang, die de significante golfhoogte ($H \frac{1}{2}$) genoemd wordt met een gemiddelde periode (tijd die verstrijkt tussen het doorkomen van twee golftoppen) T1.

De berekeningen gaan ervan uit, dat de golven recht van voren inkomen en dat de snelheid van het jacht acht knopen bedraagt. Voor andere scheepslengten dan het hier onderzochte, 19,25 meter lange, jacht moet deze snelheid met de wortel uit het lengte-quotient vermenigvuldigd worden.

Uit de tabel blijkt dat die extra weerstand sterk afhankelijk is van de significante golfhoogte en de gemiddelde periode.

Aan-de-wind zeilend met een snelheid van acht knopen is de weerstand in vlak water, inclusief de invloed van de hellingshoek en de drifthoek van het jacht 3,77 kN (kilonewton), waarbij we eenvoudigheidshalve



In deze grafiek staat voor de drie kielen de verticale beweging van het jacht (het dompen) als reactie op golven van verschillende lengten bij een voorwaartse snelheid van 8 knopen uitgezet; horizontaal vinden we de scheepslengte-golflengteverhouding en verticaal de amplitude van de reactie gedeeld door de amplitude van de golf. Bij zeer lange golven gaat het schip de golven volgen: de reactie is even hoog als de golf. Bij heel korte golven reageert het jacht niet meer op de golven: de reactie gaat naar nul. Tussen deze extremen in gedraagt het schip zich volgens de lijn in de grafiek.

Uit de figuur blijkt, dat de vleugelkielen de dompbeweging van het jacht enigszins beïnvloeden: de amplitude is iets lager voor jachten met vleugelkielen voor golflengten van 1,0 tot 2,0 keer de scheepslengte.

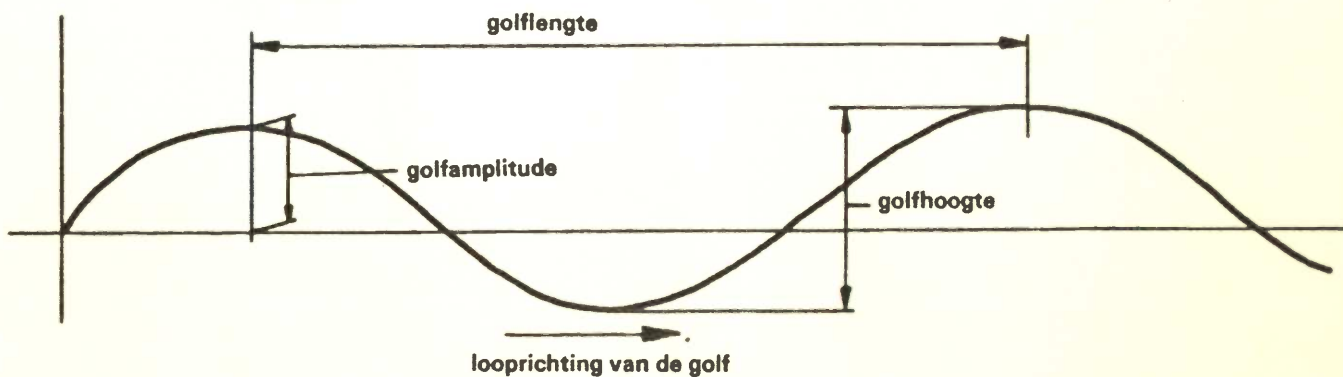
| Extra weerstand in golven in kN | | | | |
|---------------------------------|--------|----------|---------------|----------------|
| H ½ (m) | T1 (s) | IOR-kiel | Vleugelkiel I | Vleugelkiel II |
| 0.5 | 4.0 | 0.37 | 0.40 | 0.44 |
| 1.0 | 4.5 | 1.04 | 1.15 | 1.24 |
| 1.5 | 4.9 | 1.77 | 1.97 | 2.14 |
| 2.0 | 5.3 | 2.46 | 2.68 | 2.92 |
| 2.5 | 5.8 | 2.72 | 3.04 | 3.30 |

de geringe verschillen in weerstand tussen de verschillende kielvormen (circa 5%) buiten beschouwing laten. De extra weerstand in golven is voor de beide vleugelkielen meer dan voor de gewone diepe kiel.

Snelheidsverschillen

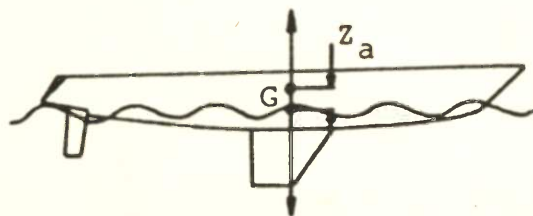
Met de gegevens uit tabel I is een schatting gemaakt van de daaruit volgende snelheidsverschillen.

Wanneer het jacht met de IOR-kiel in golven met $H \frac{1}{2} = 2\frac{1}{2}$ m een snelheid van 8



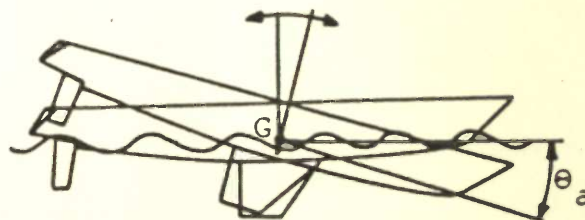
Ten gevolge van het varen in koggolven treden de volgende reacties op van het schip:

dompen



Op en neer gaande beweging van het schip.
 Z_a = amplitude dombeweging

stampen



Langsscheepse rotatie van het jacht om een dwarsscheepse as.
 θ_a = amplitude stamphoek

Een schematische voorstelling van een enkelvoudige golf en de hierdoor opgewekte domp- en stampbeweging.