

SNELLE DEPLACEMENTSSCHEPEN IN ZEEGANG

**Lezing gehouden door W. Beukelman
voor het KIVI op 25 april 1985 te
Den Haag**

Rapportnr. 754-P

Lezing voor het KIVI gehouden op 25 april 1985 te Den Haag.

Geachte toehoorders,

Sinds een tiental jaren kunnen met redelijk resultaat de bewegingen van een schip ten gevolge van golven berekend worden voor normale sloopssnelheden, d.w.z. $F_n < 0.3$. Hiertoe wordt gebruik gemaakt van een berekeningsmodel, de zgn. "**strip theorie**", waarin de snelheidsinvloed op verschillende wijzen ingevoerd kan worden.

Ook bij normale snelheden is verschil te zien tussen de diverse methoden waarop de snelheidsinvloed verdisconteerd is. Bij toenemende snelheid worden deze verschillen echter steeds groter.

Het onderzoek naar het zeegangsgedrag van "**De serie snelle deplacementsschepen**" uitgevoerd bij het MARIN in Wageningen bood een unieke gelegenheid om deze snelheidsinvloed te testen en onderling te vergelijken voor snelheden die lagen tussen $F_n = 0.5$ en $F_n = 1.1$.

Voor diegenen onder U die niet zo bekend zijn op dit terrein is het van belang eerst heel in het kort iets te vertellen over de berekeningsmethoden. Hierbij zullen we ons beperken tot de verticale bewegingen, het dompen d.w.z. de zuiver verticale beweging van het schip en het stampen d.w.z. de rotatie van het schip om een dwarsscheepse as door het gewichtszwaartepunt. Meestal komen deze bewegingen gecombineerde voor.

Om deze bewegingen te kunnen berekenen worden bewegingsvergelijkingen opgesteld voor elk van deze bewegingen zoals die hieronder volgen:

Bewegingsvergelijkingen

Dompen (Heave)

$$\begin{aligned}(a + \rho V)\ddot{z} + b\dot{z} + cz - d\ddot{\theta} - e\dot{\theta} - g\theta &= F_a \cos(\omega_e t + \epsilon_{F\zeta}) \\ &= F_a \cos \epsilon_{F\zeta} \cos \omega_e t - \\ &F_a \sin \epsilon_{F\zeta} \sin \omega_e t\end{aligned}$$

Stampen (Pitch)

$$(A + k^2_{yy}\rho\nabla)\ddot{\theta} + B\dot{\theta} + C\theta - D\ddot{z} - E\dot{z} - Gz = M_a \cos(\omega_e t + \epsilon_{My})$$
$$= M_a \cos \epsilon_{M\zeta} \cos \omega_e t -$$
$$M_a \sin \epsilon_{M\zeta} \sin \omega_e t$$

- waarin : ρ = specifieke dichtheid van water
 ∇ = volume van het verplaatste water
 k_{yy} = langsscheepse massa traagheidsstraal
 $a-g$ } hydrodynamische coëfficiënten
 $A-G$

bijvoorbeeld voor $V = 0$: $a = \int_L m' dx$ met m' = toegevoegde massa per lengte eenheid

$$b = \int_L N' dx \text{ met } N' = \text{dempingscoëfficiënt per lengte eenheid}$$

$$c = 2\rho g \int_L Y_w dx \text{ met } \int_L Y_w dx = \text{waterlijn oppervl.}$$

golf : $\zeta = \zeta_a \cos \omega_e t$

dompen : $z = z_a \cos(\omega_e t + \epsilon_{z\zeta})$

stampen: $\theta = \theta_a \cos(\omega_e t + \epsilon_{\theta\zeta})$

Aan de rechterzijde van deze bewegingsvergelijkingen ziet U de opwekkende golfkracht of het opwekkende golfmoment.

Aan het eind van de bewegingsvergelijkingen ziet U hoe de verschillende bewegingen worden weergegeven d.w.z. zoeker

urnell in 1937 gelijkt de toegevoegde massa m' en demping N' afhan- de golfbeweging ζ , zeta volgens een cosinus functie - de dompbeweging z met faseverschil $\epsilon_{z\zeta}$ t.o.v. de golf - cilindre- de stampbeweging θ theta met faseverschil $\epsilon_{\theta\zeta}$ t.o.v. - hierbij de golf. - rings an

De linkerzijden van de bewegingsvergelijkingen bestaan uit hydrodynamische coëfficiënten voor de bewegingscomponenten en de afgeleide daarvan

$$\left. \begin{array}{l} a - g \\ A - G \end{array} \right\}$$

Deze hydrodynamische coëfficiënten zijn opgebouwd uit een toegevoegde massa en/of een dempingscoëfficiënt. De toegevoegde massa en demping voor het gehele schip worden gevonden door deze eerst te bepalen voor een doorsnede of scheepssectie (m' en N') en daarna te integreren over de scheeps lengte L .

Bijvoorbeeld:

$$\text{Voor } V = 0 \quad a = \int_L m' dx$$

$$b = \int_L N' dx$$

De snelheidsinvloed kan nu op twee manieren ingevoerd worden als extra waarde toegevoegd aan de verschillende hydrodynamische coëfficiënten.

In **versie 1** worden alleen termen toegevoegd met $V \frac{dm'}{dx}$ d.w.z. de afgeleide van de toegevoegde massa per lengte eenheid naar de lengte.

In **versie 2** worden termen toegevoegd met $V \frac{dm'}{dx}$ en $V \frac{dN'}{dx}$ d.w.z. ook de afgeleide van de dempingscoëfficiënt per lengte eenheid naar de lengte.

Belangrijk is om de toegevoegde massa m' en demping N' per sectie of wel per lengte eenheid te kunnen bepalen. Theoretisch is het als eerste aan de Engelse onderzoeker Ursell in 1957 gelukt om de toegevoegde massa m' en demping N' afhankelijk van de frequentie te bepalen voor een cirkelcylinder die voor de helft ingedompeld (de cylinderas ligt hierbij in het wateroppervlak) oscillaties uitvoert met geringe amplitude.

Om voor een scheepssectie deze toegevoegde massa en demping te kunnen bepalen worden **conforme transformaties** uitgevoerd van de eenheidscirkel naar de contour van de scheepssectie. Zo'n algemene transformatieformule wordt hieronder weergegeven.

Transformatie van de scheepssectie naar de eenheidscirkel

Algemeen: $w = a \left\{ \xi + \sum_{n=0}^{\infty} a_{2n+1} \xi^{-(2n+1)} \right\}$

Complexe coördinaten $\left\{ \begin{array}{l} \xi = \text{punt op de eenheidscirkel} \\ w = \text{punt op de contour van de scheepssectie} \end{array} \right.$

$a =$ transformatiecoëfficiënt

Voor **Lewis-transformatie** $n = 1$ d.w.z.

alleen a_1 en a_3 afhankelijk van

sectieoppervlak en B/T - verhouding

Voor **Close - fit transformatie** $n > 1$

In dit geval $n = 9$

Als $n = 1$ wordt de scheepssectie met twee coëfficiënten a_1 en a_3 benaderd en spreekt men van een zgn. **Lewis-transformatie**.

Om deze coëfficiënten te kunnen bepalen dienen het sectieoppervlak en de breedte-diepgang verhouding van de sectie bekend te zijn.

Hoewel de benadering van de contour van de scheepssectie met deze Lewis-transformatie niet voor elke sectie even fraai is zijn de uiteindelijke resultaten, m' en N' , meestal goed bruikbaar.

Voor een meer nauwkeurige benadering van de sectie contour wordt gebruik gemaakt van een zgn. **Close - fit transformatie**. In dit geval is $n > 1$.

Voor dit onderzoek is zowel een Lewis-transformatie als een Close-fit transformatie beschouwd.

Voor deze Close-fit transformatie was $n = 9$. De spantvorm is hierdoor praktisch reëel benaderd.

Als voor de verschillende scheepssecties de toegevoegde massa en demping bekend zijn kan zoals gezegd door integratie over de scheeps lengte de hydrodynamische coëfficiënt voor het gehele schip bepaald worden.

De gedeelten tussen twee secties worden hierbij als konstant, dus als een cylinder of **strip** beschouwd. Vandaar de benaming **striptheorie**.

Met behulp van de strip-theorie kunnen nu de verschillende primaire bewegingen als dompen en stampen worden berekend, maar ook daarvan afgeleid de verticale versnelling, de relatieve beweging van een bepaald punt op het schip t.o.v. het wateroppervlak en de extra weerstand of toegevoegde weerstand in golven.

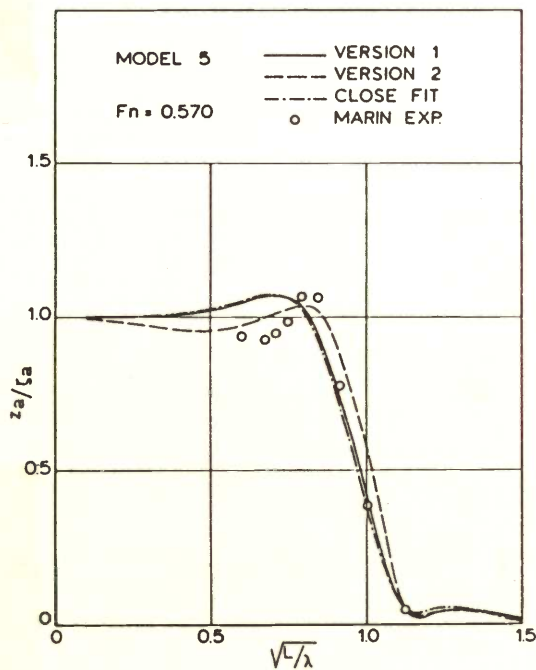
De berekening van deze weerstandstoename in golven is uitgevoerd volgens een methode van Prof. Gerritsma en ondergetekende. Deze methode is gebaseerd op de relatie tussen de uitgezonden dempingsenergie in de door het schip opgewekte golven en de energie die verricht wordt voor de beweging van het schip ten opzichte van het wateroppervlak. Ook hierbij wordt gebruik gemaakt van de strip-theorie.

In het algemeen wordt gesteld dat voor toepassing van de strip-theorie de volgende veronderstellingen gelden:

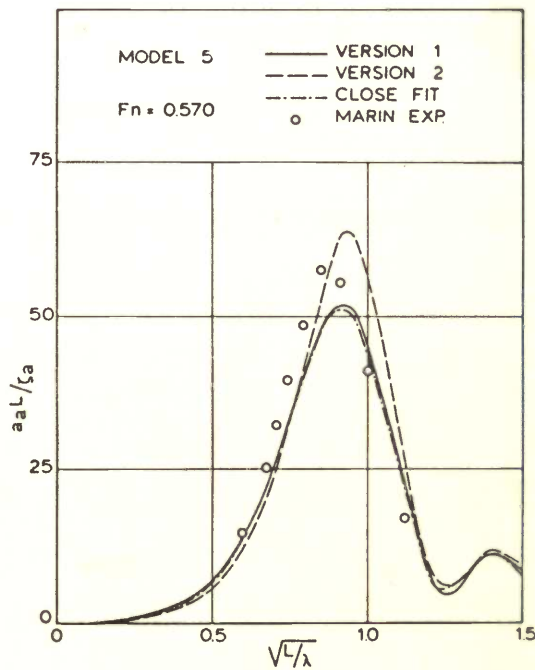
1. Het schip moet slank zijn met slechts een geleidelijke verandering van de scheepsvorm in de langs-scheepse richting.
2. De bewegingsfrequentie moet niet te laag of te hoog zijn.
3. De voorwaartse scheepssnelheid moet laag zijn.

In het verleden zijn reeds onderzoeken uitgevoerd om de grenzen vast te stellen waarbinnen de strip-theorie kan worden toegepast voor de eerste twee voorwaarden.

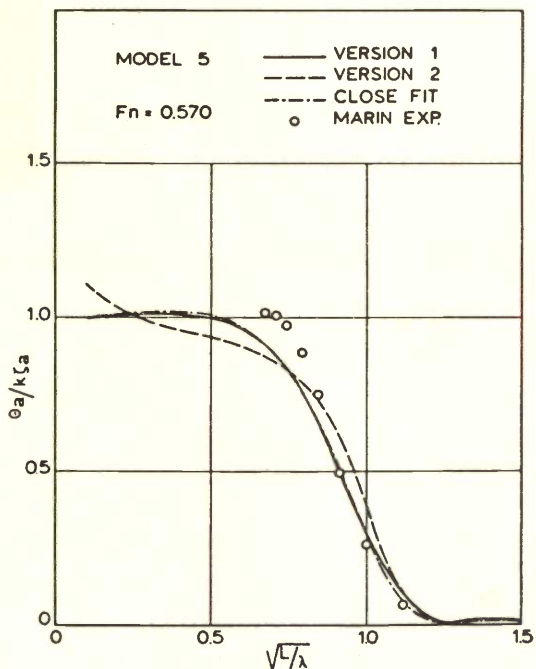
Voor het hier beschouwde onderzoek is vooral van belang de derde voorwaarde vanwege de hoge scheepssnelheden (zie onderstaande figuur).



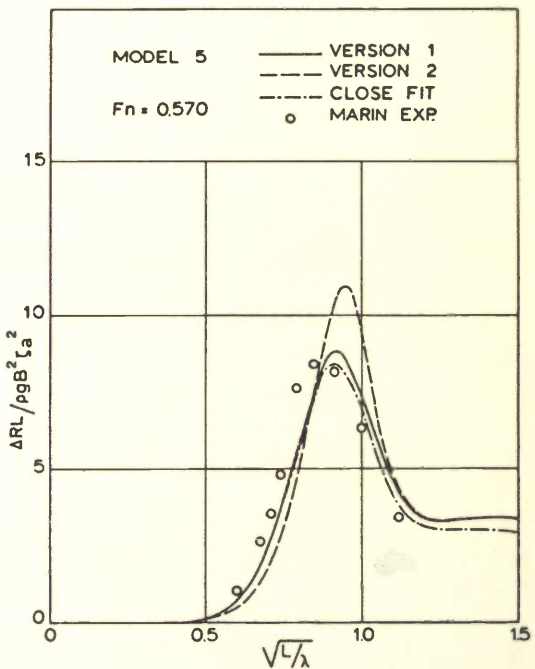
Correlation of measurement to computation for heave transfer functions



Correlation of measurement to computation for acceleration transfer functions



Correlation of measurement to computation for pitch transfer functions



Correlation of measurement to computation for wave added resistance transfer functions

In deze figuur ziet U voor $F_n = 0.57$ de berekeningsresultaten vergeleken met de meetresultaten van het MARIN, die als cirkels zijn aangegeven. De berekeningen zijn uitgevoerd met het computerprogramma **TRIAL** van de vakgroep Hydronautica van de Technische Hogeschool te Delft. Links boven is de verhouding domp - golfamplitude uitgezet en links onder de verhouding stamphoekamplitude - maximale golfhelling $k\zeta_a$, alles op basis van de wortel uit de scheepslengte - golf-lengte verhouding.

De berekeningen zijn als volgt weergegeven:

Lewis-transformatie en versie 1 als een getrokken lijn.

Lewis-transformatie en versie 2 als een streeplijn.
Close-fit transformatie en versie 1 als een streepstip lijn.

Rechts boven is dimensieloos de amplitude van de verticale versnelling op ord. 19 uitgezet en rechts onder eveneens dimensieloos de weerstandstoename in de golf.

Uit deze figuur blijkt dat er goede overeenstemming is tussen de metingen en de berekeningen volgens versie 1 - Lewis-transformatie en Close-fit.

Het verschil tussen beide laatst genoemde is betrekkelijk gering.

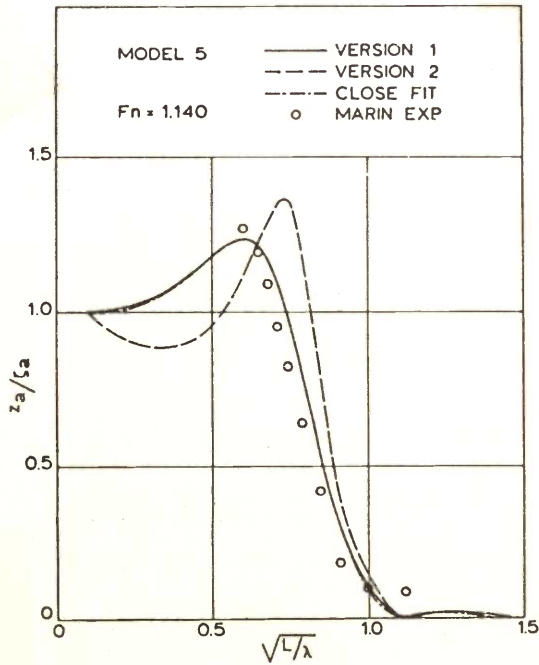
Alleen versie 2 toont te hoge waarden vooral voor de verticale versnelling en de weerstandstoename.

Voor de zeer hoge snelheid $F_n = 1.140$ blijkt uit deze figuur (zie bladzijde 8) weer dat er maar weinig verschil is tussen de berekening volgens versie 1 - Lewis-transformatie en Close-fit.

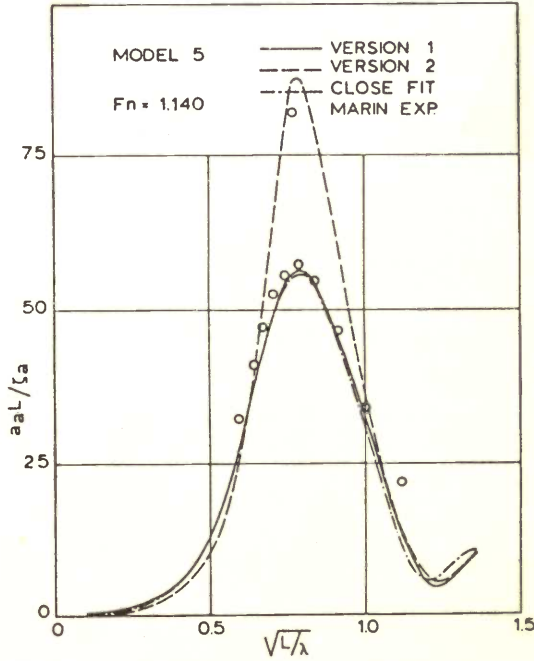
De te hoge voorspelling van versie 2 komt nu voor alle parameters duidelijk naar voren.

Als we zien naar de vergelijking met de metingen blijkt nu

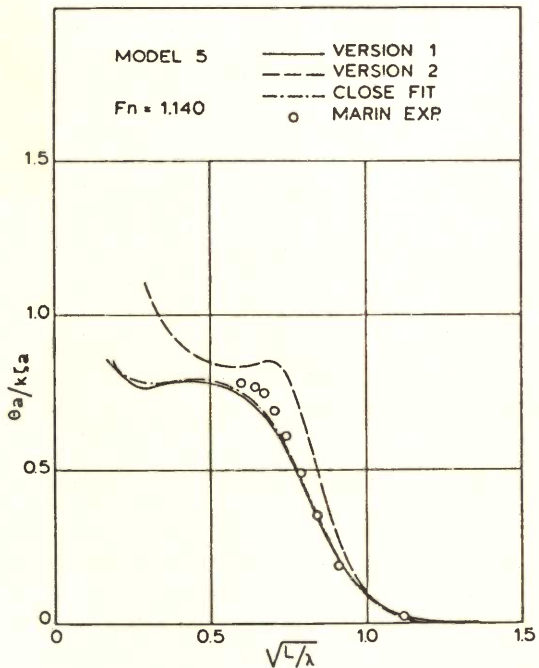
dat voor de weerstandstoename de afwijking tussen metingen en berekeningen heel duidelijk wordt.



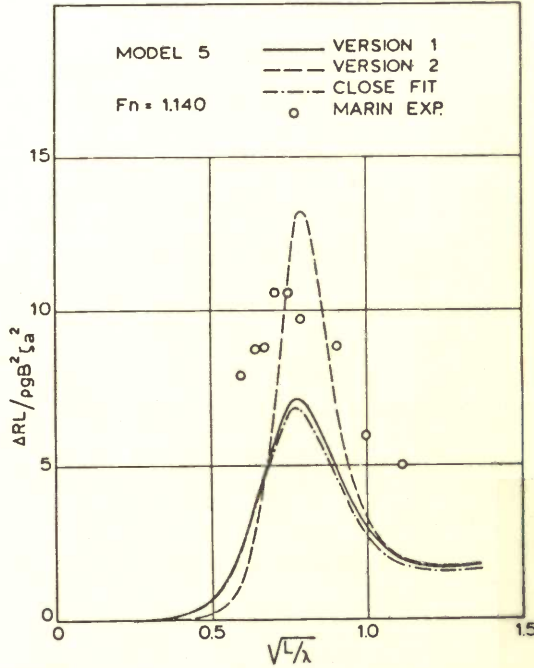
Correlation of measurement to computation for heave transfer functions



Correlation of measurement to computation for acceleration transfer functions



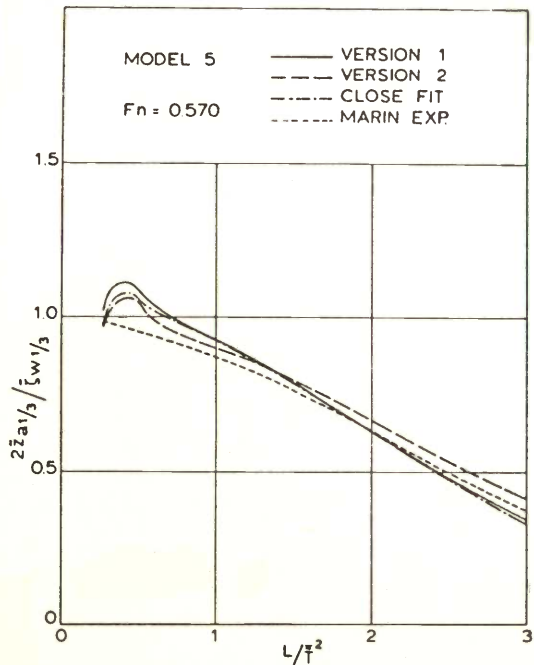
Correlation of measurement to computation for pitch transfer functions



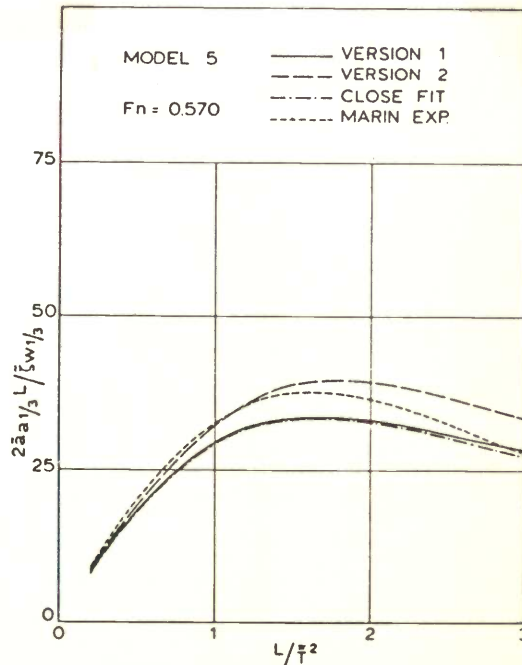
Correlation of measurement to computation for wave added resistance transfer functions

In de figuur op bladzijde 9 ziet U nog de resultaten voor de onregelmatige zee met betrekking tot dezelfde parameters. Ook hier is een afwijking te constateren tussen berekeningen

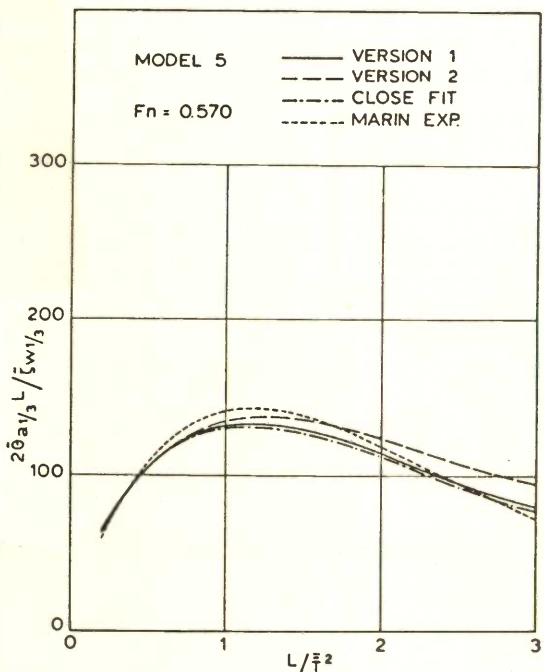
en metingen voor de weerstandstoename.



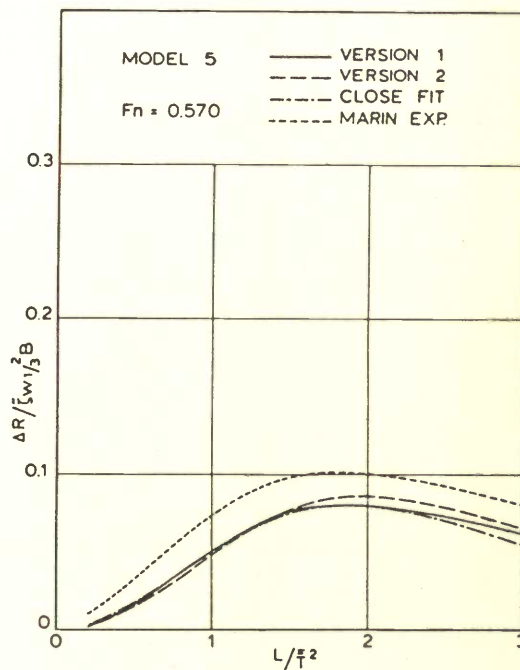
Correlation of irregular transfer functions measured and computed for heave



Correlation of irregular transfer functions measured and computed for accelerations



Correlation of irregular transfer functions measured and computed for pitch



Correlation of irregular transfer functions measured and computed for wave added resistance

Voor alle andere modellen zijn ook berekeningen uitgevoerd maar alleen volgens versie 1 - Lewis transformatie en vergeleken met de metingen van MARIN.

Hieruit komt duidelijk de volgende tendens naar voren voor

MODEL 5 (VERSION I)

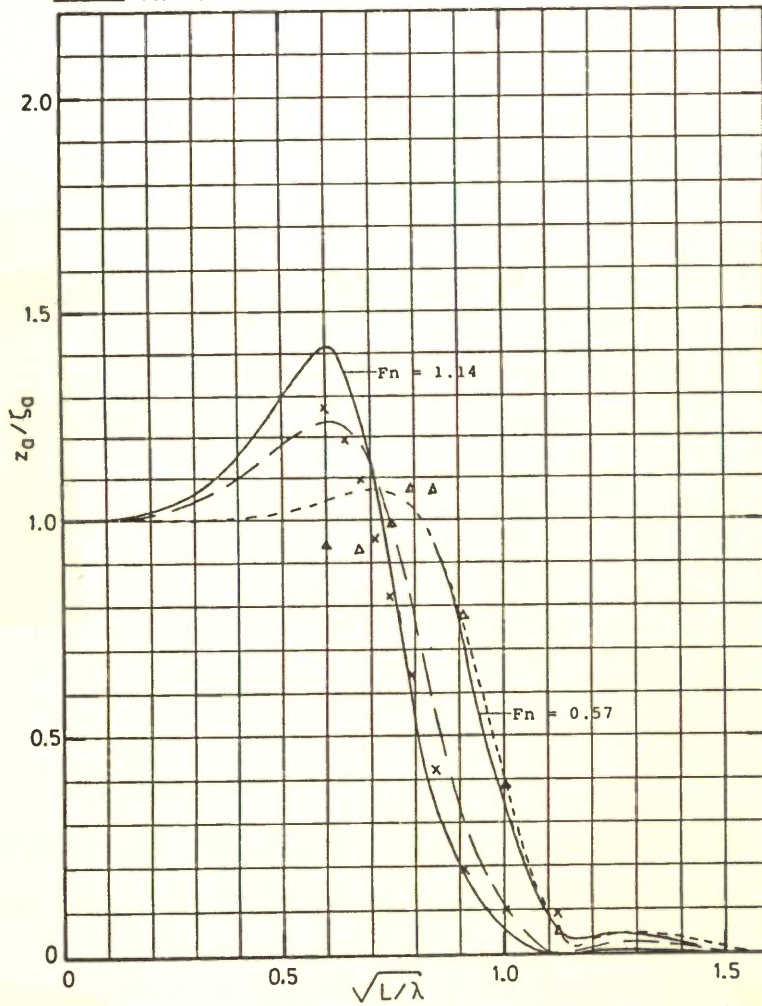
Regular waves

HEAVE: z_a/ζ_a

Δ $F_n = 0.57$ } Experiment MARIN
 x $F_n = 1.14$ }

----- $F_n = 0.57$ } Calculation without wave profile
 _____ $F_n = 1.14$ }

————— $F_n = 0.57$ and $F_n = 1.14$: Calculation with wave profile



Δ = ζ_a gemeten waarde bij lage snelheid met daar-
 bij berekende berekeningen; kleine streepjes-
 lijn voor een ingevoerd waterlijn oppervlak
 bij snelheid nul en een getrokken lijn voor
 dat bij een gemeten golfprofiel.

het gebruik van de Strip-theorie bij hoge snelheden.

Er is goede overeenkomst tussen metingen en berekeningen voorzover het de absolute bewegingen betreft d.w.z. de domp- en stampbeweging en de vertikale versnelling. Boven $F_n = 0.57$ blijkt echter geen goede overeenstemming meer voor de relatieve bewegingen en de weerstandstoename in golven.

Deze laatste hangt volgens het berekeningsmodel af van het kwadraat van de relatieve bewegingen.

In eerste instantie werd verondersteld dat deze afwijkingen verklaard konden worden doordat bij hoge snelheid het wateroppervlak langs het schip sterk verandert door de golfvorming ten gevolge van die hoge snelheid.

Het blijkt echter dat als in de berekeningen de bij die hoge snelheid gemeten waterlijn wordt ingevoerd er toch geen duidelijke verbeteringen ontstaan. Toch roept dit wel allerlei problemen op omdat het displacement behorend bij deze gemeten waterlijn sterk verandert en bovendien een liftkracht optreedt bij die hoge snelheid.

Ook de invloed van de zgn. **dynamic swell up** kan belangrijk zijn. Hieronder wordt verstaan het verschijnsel dat het water omhoog gestuwd wordt bij verticale bewegingen van het schip t.o.v. het wateroppervlak.

Op dit gebied is nog veel onderzoek noodzakelijk

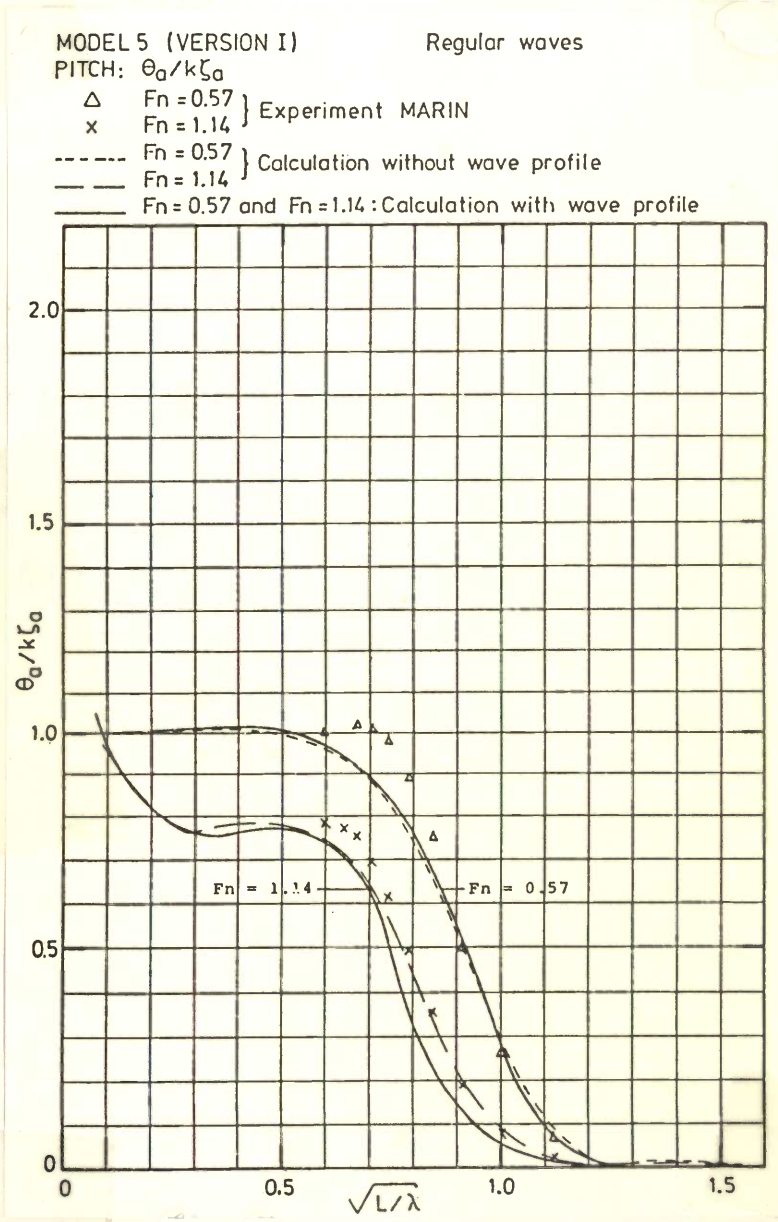
Op de figuur op bladzijde 10 ziet U voor de **dompbeweging** en twee snelheden de experimentele resultaten van MARIN vergeleken met de berekeningen volgens versie 1 voor het geval zonder en met het gemeten golfprofiel langs het schip.

Δ = de gemeten waarde bij lage snelheid met daarbij behorende berekeningen; kleine streepjeslijn voor een ingevoerd waterlijn oppervlak bij snelheid nul en een getrokken lijn voor dat bij een gemeten golfprofiel.

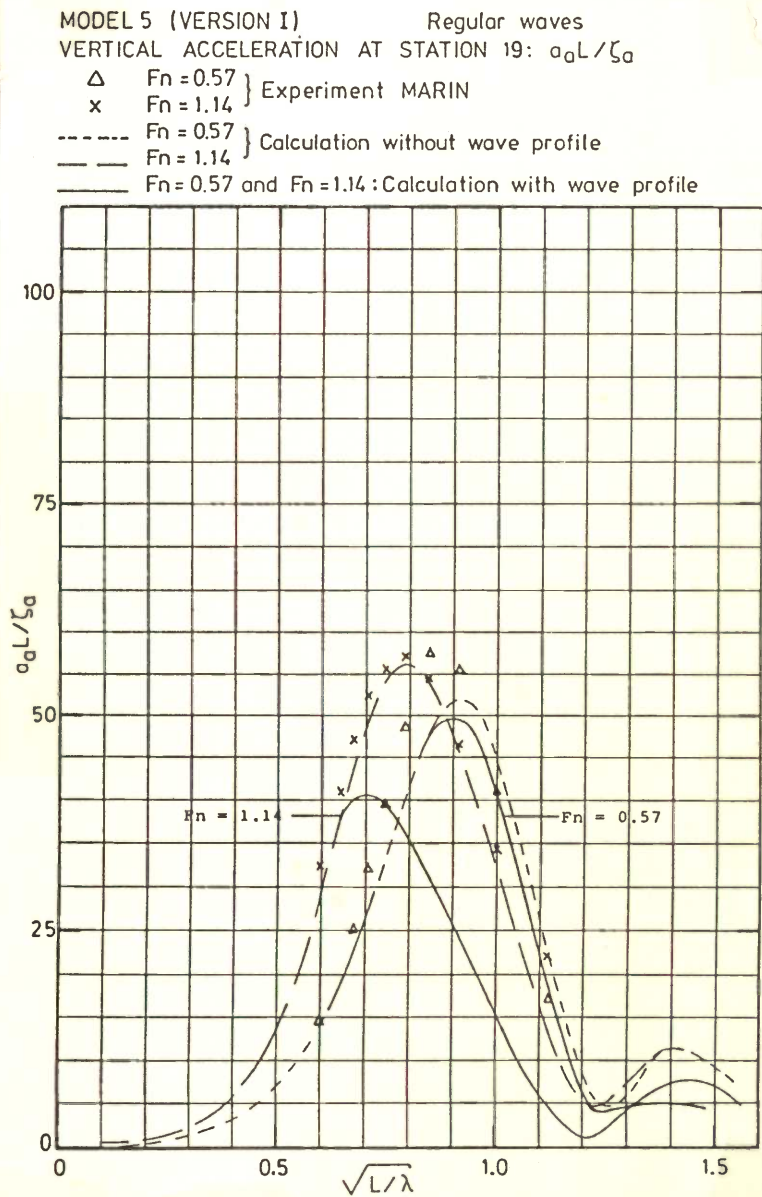
X = de gemeten waarde bij de hoge snelheid met daarbij behorende berekeningen; de grote streepjeslijn voor een ingevoerd wateroppervlak bij snelheid nul en een getrokken lijn voor dat bij een gemeten golfprofiel.

Uit deze figuur blijkt al dat introductie van het gemeten golfprofiel voor de hoge snelheid weinig verbetering oplevert.

Op de hieronder staande figuur zijn dezelfde waarnemingen en berekeningen weergegeven als in de vorige figuur, nu voor de **stampbeweging**.

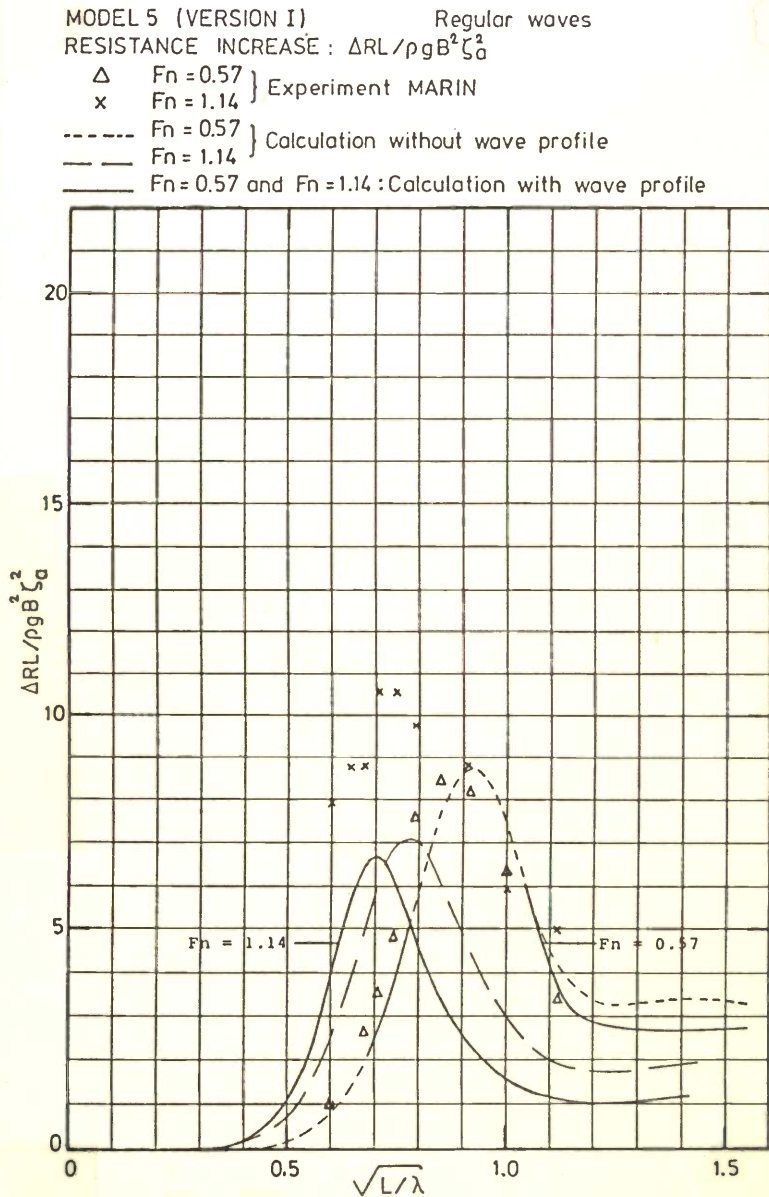


In de figuur hier onder is voor beide snelheden de **vertikale versnelling** te zien; voor de hoge snelheid blijkt dat introductie van het golfprofiel een opmerkelijke verslechtering betekent.



Een eerste analyse van de resultaten leidt tot de conclusie dat bij deze snelheden met behulp van een eenvoudige oscillatie-proef kunnen de hydrodynamische coëfficiënten worden gemeten. Deze proeven zijn uitgevoerd in het laboratorium voor Scheepshydrodynamica.

Dezelfde conclusie kan getrokken worden in de volgende figuur voor de **weerstandstoename** in golven.



Een eerste stap die gezet is om te komen tot verdere analyse van de oorzaken die bij hoge snelheden tot afwijkingen leiden is geweest een gedwongen oscillatie-proef met model no.5 bij dezelfde hoge snelheden.

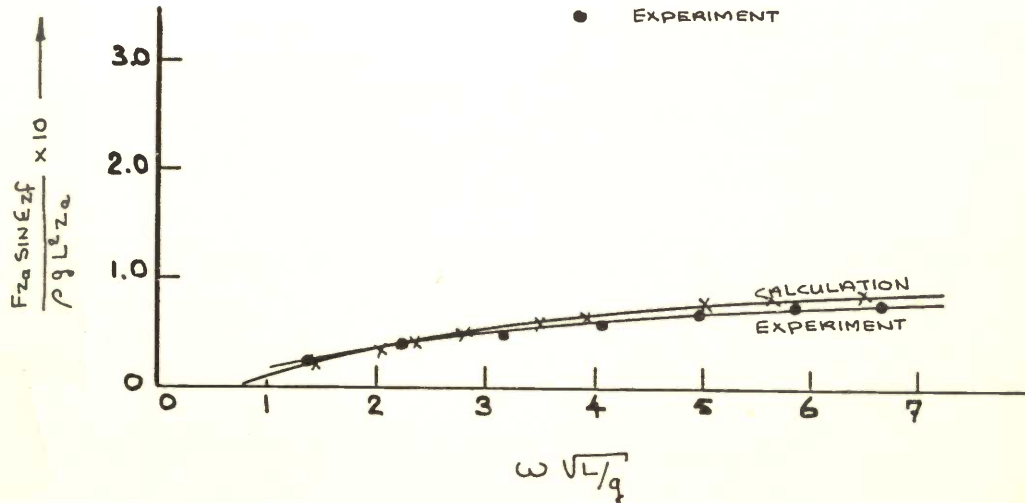
Met behulp van zo'n gedwongen oscillatie-proef kunnen de hydrodynamische coëfficiënten worden gemeten. Deze proeven zijn uitgevoerd in het Laboratorium voor Scheepshydronechanica

len voor deze snelheid nog betrekkelijk gering.

HEAVE $F_N = .57$ (DAMPING)

MODEL 5

- CALCULATION WITH WAVE PROFILE
- X " " WITHOUT " "
- EXPERIMENT

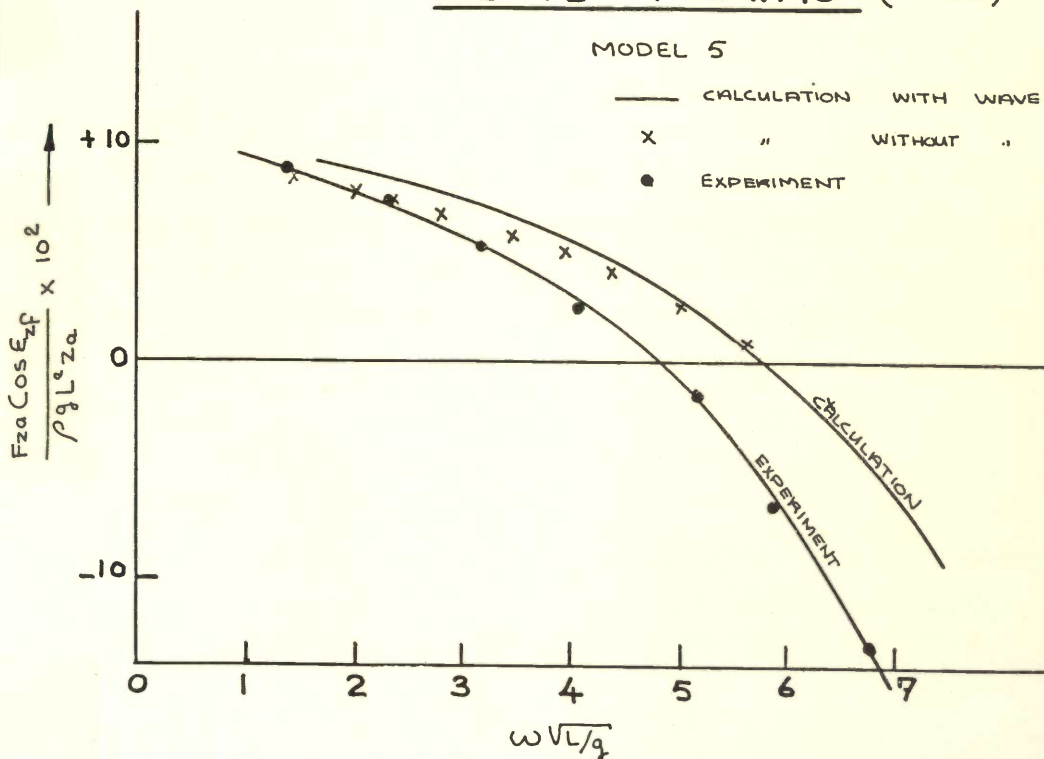


Voor de hoge snelheid neemt de afwijking tussen experiment en berekening sterk toe (zie onderstaand figuur). Dit betreft hier weer het infase gedeelte waaruit de toegevoegde massa bepaald wordt.

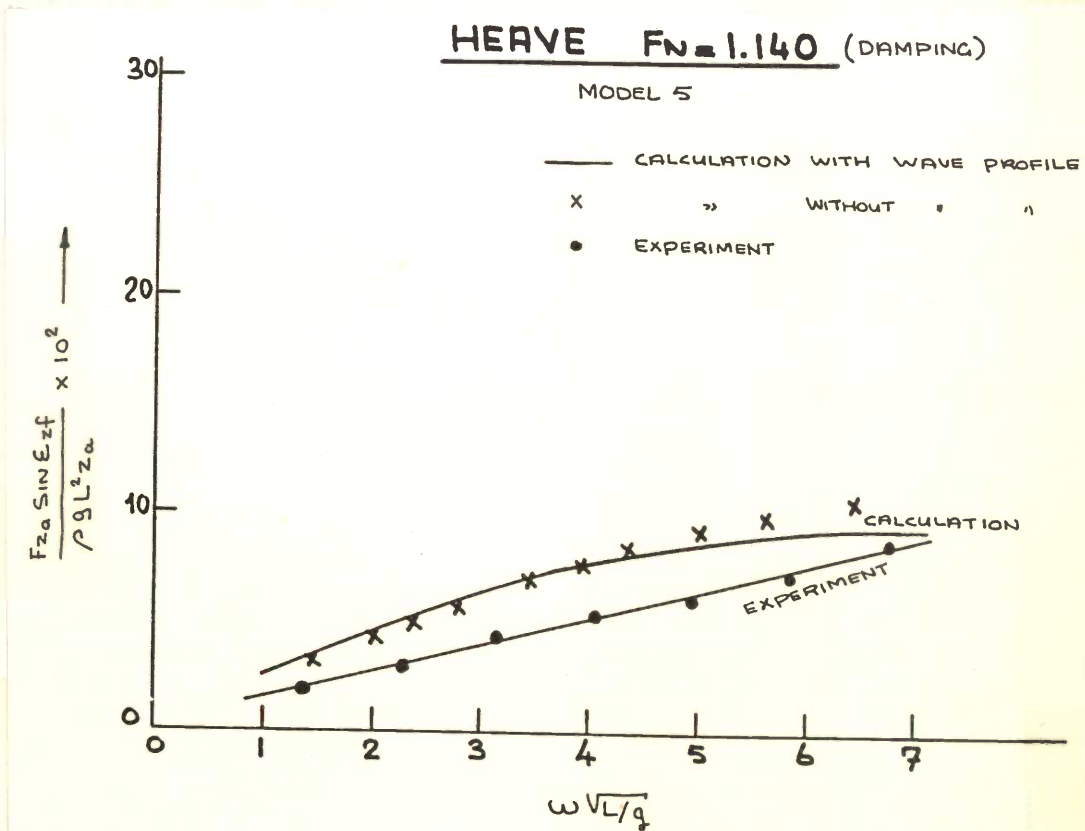
HEAVE $F_N = 1.140$ (MASS)

MODEL 5

- CALCULATION WITH WAVE PROFILE
- X " " WITHOUT " "
- EXPERIMENT



Ook voor de uitfase kracht blijkt een sterk verschil tussen de beide berekeningen en ook met de metingen voor de hoge snelheid (zie onderstaand figuur).



In de toekomst zal verder onderzoek en analyse nodig zijn om de hydrodynamische coëfficiënten, de relatieve bewegingen en de weerstandstoename in golven voor deze hoge snelheden beter te kunnen voorspellen.

Ook de afgeleide van deze parameter als bijvoorbeeld waterovername en slamming zijn dan meer betrouwbaar te bepalen. Wel is nu mogelijk om bijvoorbeeld de inzetbaarheid van snelle semi-planerende schepen te voorspellen als de verticale significante versnelling als criterium gehanteerd wordt.

Bekend is dat dit een belangrijke faktor is voor het optreden van zeeziekte.

Zo zijn onlangs parameterstudies uitgevoerd om op deze wijze te kunnen beschikken over relevante ontwerp-parameters voor

- 18 -

snelle semi-planerende schepen.

Hartelijk dank voor Uw aandacht.