

LABORATORIUM VOOR SCHEEPSBOUWKUNDE

TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT



OVER DE VAAREIGENSCHAPPEN VAN PLANERENDE MOTORBOTEN.

door

Ir. J.J. v.d. Bosch.



Symposium 14e Hiswa tentoonstelling
10-11 maart 1969

Inhoud.

1. Inleiding.
2. Iets over de drukverdeling.
3. De weerstand.
4. Porpoising.
5. Planeren in zeegang.
6. Verantwoording.
7. Bibliografie.

Lijst van figuren.

- 2.1. De dynamische en statische druk.
- 2.2. Planerende vlakke plaat.
- 2.3. De draadjes geven de stromingsrichting aan.
- 2.4. Stromingspatroon en drukverdeling bij de planerende vlakke plaat.
- 2.5. De verdeling van het gewicht van een planerend vaartuig over de lift en de waterverplaatsing. (model 63).

- 3.1. De samenstelling van de weerstand.
- 3.2. Het wrijvingsoppervlak en de invalshoek van een planerend vaartuig. (model 63).
- 3.3. Vergelijking van de gemeten weerstand en de berekende weerstand. (model 63).
- 3.4. De optimale invalshoek.

- 4.1. Stabiliteitsgrenzen met betrekking tot "porpoising".

- 5.1. De vorm van de modellen 84 en 85.
- 5.2. Het natte oppervlak, model 85, $F \approx 3$.
- 5.3. De stijging en het natte oppervlak in vlak water.
- 5.4. De invalshoek en de weerstand in vlak water.
- 5.5. De gemiddelde stijging in regelmatige golven.
- 5.6. De gemiddelde invalshoek in regelmatige golven.
- 5.7. De weerstand in regelmatige golven.
- 5.8. De domp-amplituden in regelmatige golven.
- 5.9. De stamp-amplituden in regelmatige golven.
- 5.10. Registraties van verticale versnellingen op 0.1 L van voren
Regelmatige golven.
- 5.11. Optredende verticale versnellingen op 0.1 L van voren.
Regelmatige golven.

Lijst van symbolen.

A	Projektie van het bodemvlak binnen de kniklijn op het basisvlak.
$C_f = \frac{R_f}{\frac{1}{2}\rho V^2 S}$	Coëfficiënt van de wrijvingsweerstand
$C_{L_b} = \frac{\Delta}{\frac{1}{2}\rho V^2 b^2}$	"Lift"coëfficiënt gebaseerd op de breedte b.
$F_v = \frac{V}{\sqrt{gV^1/3}}$	Getal van Froude gebaseerd op het scheepsgewicht ($\Delta = \rho g V$)
G	Zwaartepunt van het schip
L	Lengte van de projektie A
R	Totale weerstand
R_f	Wrijvingsweerstand
S	Effektief nat oppervlak
T	Kracht evenwijdig aan de kiellijn
V	Scheepssnelheid
a_f	Vertikale versnelling op 0.1 L vanaf de voorkant van A
b	Breedte van het planerende vlak
$b_m = \frac{A}{L}$	Gemiddelde breedte van het bodemvlak
b_x	Plaatselijke breedte van het bodemvlak
g	Versnelling van de zwaartekracht
p	Druk
v	Plaatselijke snelheid
x	Fraktie van L
z	Afstand onder het ongestoorde wateroppervlak
z_G	Vertikale verplaatsing van het scheepszwaartepunt (naar boven is negatief)
z_a	Domp-amplitude
Δ	Scheepsgewicht
V	Volume van de waterverplaatsing bij stilliggend schip
α	Invalshoek
β	Vlaktilling
θ_a	Stamp-amplitude
λ	Golflengte
ρ	Dichtheid van het water
ζ_a	Golf-amplitude

Over de vaareigenschappen van planerende motorboten.

1. Inleiding.

Fundamenteel onderzoek op het gebied van de hydrodynamica van planerende oppervlakken is niet nieuw. Gedurende meer dan een halve eeuw heeft men een schat aan gegevens verzameld over de drukverdeling en de daarmee gepaard gaande lift en weerstand van stationair planerende vlakke platen en prisma's. Dit onderzoek kwam voornamelijk voort uit de problemen samenhangende met het starten en landen van watervliegtuigen. Ook de niet-stationaire krachten die optreden als vlakke platen en wiggen of anders gevormde lichamen op het water vallen vormden een punt van studie en staan ook nu nog volop in de belangstelling. Hoewel men vaak in staat is geweest op grond van theoretische overwegingen bepaalde verschijnselen aannemelijk te maken, is het nog steeds niet mogelijk de drukverdeling onder een stationair planerend vlak voldoende nauwkeurig theoretisch te berekenen. Gelukkig heeft men zo langzamerhand voldoende experimenteel materiaal verzameld om de weerstand van een planerend schip met een redelijke nauwkeurigheid te kunnen schatten, als de rompvorm tenminste niet te sterk van de normale vormen afwijkt.

Als de snelheid van planerende boten groot wordt treedt het verschijnsel "porpoising" naar voren, een oscillatie in het langsscheepse vlak, die in kalm water optreedt. Dit verschijnsel was ook al lang bekend en het werd al vroeg theoretisch verklaard. Toch heeft men het ook hierbij niet zonder experimenteel onderzoek kunnen stellen.

Een gebied dat, wat betreft onderzoek, erg misdeeld is, is het gedrag van planerende schepen op zee. Systematisch werk is niet verricht, of althans niet gepubliceerd. De problemen zijn complex en onoverzichtelijk.

Uit de weinige modelproeven die uitgevoerd zijn, zijn slechts voorzichtig globale conclusies te trekken, en vaak is het zeer moeilijk om verband te leggen tussen waargenomen verschijnselen en de vermoedelijke oorzaken daarvan. Op dit gebied kan de samenspraak tussen mensen met ervaring op zee en de mensen van wie het werk op het terrein van de hydrodynamica ligt, zo nuttig zijn. Objectieve waarneming en zorgvuldige beschrijving van het gedrag van planerende schepen op zee kan veel bijdragen tot een beter begrip hiervan.

2. Iets over de drukverdeling.

Bij de beschouwing van stromingsverschijnselen bij een schip is het vaak handig om zich voor te stellen dat de beschouwer in het schip heeft plaats genomen en het water aan zich voorbij ziet stromen. Het is voor hem alsof het schip een vast punt is in een snelstromende rivier. Het schip vormt voor het water een hindernis. Het water wordt hierdoor op het ene punt vertraagd, terwijl het op een andere plaats langs de hindernis schiet. Daardoor is de druk die door het water op de scheepshuid uitgeoefend wordt van punt tot punt verschillend. Men kan aantonen dat deze druk afhankelijk is van de snelheid waarmee het water op het schip aan komt stromen, dat is dus de scheepssnelheid, en de snelheid waarmee het water langs een punt van de huid stroomt. De druk op die plaats is ook nog afhankelijk van de diepte van het punt onder het oorspronkelijke ongestoorde waterniveau. (zie figuur 2.1). Men kan dit verband in de volgende vorm schrijven: (afgeleid van de vergelijking van Bernouilli)

$$p = \frac{1}{2}\rho(V^2 - v^2) + \rho gz \quad (1)$$

Hierin is:

- g de versnelling van de zwaartekracht
- p de druk
- V de scheepssnelheid
- v de plaatselijke snelheid, t.o.v. het schip.
- z de afstand onder het oorspronkelijke waterniveau
- ρ de dichtheid van het water, d.i. de massa per eenheid van volume

De eerste term is afhankelijk van de snelheden en wordt de dynamische druk genoemd. De tweede term noemt men de statische druk.

De figuren 2.2. en 2.3. zijn twee foto's van een planerende perspex plaat. Over het voorste gedeelte van de plaat schiet het water in een dun vlies naar voren. Het wordt door de wrijving langs de onderzijde van de plaat afgeremd waardoor het vlies niet intact blijft. De dikte van het vlies is zeer klein en dus is ook de massa van het water dat naar voren stroomt zeer klein. De krachten die door dit beetje water op de plaat uitgeoefend worden, zijn verwaarloosbaar.

Over het achtergedeelte van de plaat is de stroming naar achteren gericht. Op de scheiding van de voorwaartse en achterwaartse stroming is de stroomsnelheid v gelijk aan nul; de dynamische druk is hier maximaal en gelijk aan $\frac{1}{2}\rho V^2$. Dit noemt men de stuwdruk. Midden over de plaat gezien ziet de drukverdeling er ongeveer uit zoals onderin figuur 2.4. getekend is.

Een dergelijke drukverdeling bestaat ook onder het vlak van een planerend vaartuig, hoewel door de iets ingewikkelder vorm ook het stromingspatroon en de daarbij behorende drukverdeling ingewikkelder zijn. Als de spanten V-vormig zijn, is de maximale druk op de stuwlijn niet zo hoog als bij de vlakke plaat, omdat de stroming niet geheel tot stilstand komt maar altijd nog een snelheidskomponent langs het vlak over houdt. Hoe steiler de spantvorm hoe lager de dynamische druk is.

Het besproken vlies dat als buiswater zichtbaar is, wordt bij schepen met V-spanten naar opzij geworpen, en in het Engels de "whisker-spray" genoemd. De plaats waar dit vlies lijkt te ontstaan, ligt iets voor de stuwlijn en heet de "spray-root". Het buiswater dat ontstaat aan het einde van de stuwlijn in de zijde van het vlak noemt men de "main-spray". De "main-spray" vormt bij een model vaak grote holle blazen. Bij het werkelijke schip wordt de "main-spray" echter in fijne druppels uiteen geslagen.

Het scheepsgewicht wordt gedragen door de verticale komponent van de som van alle kleine drukkrachtjes die door het water uitgeoefend worden op de huid van van het schip. Deze verticale kracht bestaat weer uit twee delen. Het eerste deel komt voort uit de dynamische druk en wordt de lift genoemd. De andere term, die zijn oorsprong vindt in de statische druk, is de waterverplaatsing. Bij langzame schepen is de lift erg klein en is alleen de waterverplaatsing belangrijk. Bij planerende schepen is de lift belangrijker naarmate de snelheid groter is. Toch komt het zelden voor dat de waterverplaatsing geheel te verwaarlozen is.

In figuur 2.5. is een voorbeeld gegeven van de verdeling van het scheepsgewicht over de lift en de waterverplaatsing. Duidelijk is te zien dat bij lage snelheden de lift negatief is; het schip zinkt dus dieper in het water. Pas als de stroming zonder wervels aan de onderkant van de spiegel loslaat zakt het schip niet verder. Als de snelheid groter wordt neemt de lift snel toe tot ook de zijde van de boot geheel vrij is van het water en de romp slechts rust op het bodemvlak. Dit punt kan men definiëren als het begin van volledig planeren, omdat hierna, bij nog hoger snelheid, het beeld in wezen niet meer verandert. In het voorbeeld dat in figuur 2.5. gegeven is wordt bij deze snelheid het scheepsgewicht voor ongeveer de helft door de lift gedragen. Het aandeel van de lift stijgt relatief langzaam bij het opvoeren van de snelheid, omdat de invalshoek daalt. Bij kleine invalshoeken wordt het water onder het vlak niet zo sterk naar beneden gestuwd.

Als intermezzo een kleine toelichting op het gebruik van de parameter $F_V = \frac{V}{\sqrt{g\nabla^{1/3}}}$. Een gebruikelijke en bruikbare manier om de snelheid van een schip in dimensieloze vorm te geven is het getal van Froude: $F_n = \frac{V}{\sqrt{gL_{WL}}}$. Voor een planerend schip waarvan de lengte van de waterlijn zo afhankelijk is van de snelheid, heeft men gezocht naar een formulering die onafhankelijk is van de lengte. Sommigen gebruiken de uitdrukking $F_b = \frac{V}{\sqrt{gb}}$ waarin b de breedte van het bodemvlak is. De breedte van de waterlijn is meestal wel ongeveer gelijk aan de breedte van het bodemvlak. Anderen gebruiken als maatgevende lengte de derdemachtswortel uit het volume van de waterverplaatsing van het stilliggende schip: $F_V = \frac{V}{\sqrt{g\nabla^{1/3}}}$. Dit volume is eigenlijk een maat voor het scheepsgewicht. Het voordeel van deze formulering is dat men verschillende schepen direct kan vergelijken op basis van het scheepsgewicht, een uitgangspunt voor het ontwerp.

Het schip moet niet slechts gedragen worden door de druk op de bodem, maar ook moet de drukverdeling zich aanpassen aan de ligging van het scheepszwaartepunt, zodat het schip onder het totaal van de uitwendige krachten in evenwicht is.

De eerste die op dit gebied uitgebreide proeven nam was Sottorf [1][2], die reeds veertig jaar geleden nauwkeurige waarnemingen deed van de weerstand, de lift en de drukverdeling. Deze eerste metingen betroffen vlakke planerende platen. Later zijn de series uitgebreid met prisma's en platen met holle spantvormen.

In latere jaren zijn er veel meer proeven gedaan, waarvan b.v. Shuford een samenvatting geeft [3].

3. De weerstand.

De weerstand van een volledig planerend schip bestaat voornamelijk uit twee componenten. Dit wordt getoond aan de hand van het eenvoudige beeld van de vlakke plaat, getekend in figuur 3.1. De kracht op de vlakke bodem bestaat uit de normale component N, dat is de resultante van alle drukkrachten, en de kracht T die gevormd wordt door de wrijving van het water langs het vlak. De samengestelde kracht P kan ontbonden worden in een weerstand R en de opwaartse kracht die gelijk moet zijn aan het scheepsgewicht en daarom hier met Δ aangeduid wordt. Uit de figuur is het volgende verband af te leiden:

$$R = \Delta t g + \frac{T}{\cos \alpha} \quad (2)$$

waarin de invalshoek α de hoek voorstelt tussen het ongestoorde wateroppervlak en de plaat, of bij een schip de bodem. Voor kleine invalshoeken, en α is altijd klein, kan men zeggen dat $\cos \alpha = 1$ is. De formule kan nu geschreven worden als:

$$\frac{R}{\Delta} = \text{tg} \alpha + \frac{T}{\Delta} \quad (3)$$

waarin de weerstand dus als fraktie van het scheepsgewicht gegeven is.

De twee termen zijn van geheel verschillende aard. De eerste, die uit de drukkrachten voortkomt is slechts in zóverre van de snelheid afhankelijk als de invalshoek snelheidsafhankelijk is. Dat betekent dat in het gebied van volledig planeren deze weerstand afneemt met de snelheid omdat de invalshoek afneemt. De kracht T is bij benadering gelijk aan de wrijvingsweerstand van een vlakke rechthoekige plaat, die in zijn eigen vlak met de beschouwde snelheid door het water gesleept wordt. Daarbij wordt aangenomen dat de lengte en het oppervlak van de plaat even groot zijn als de gemiddelde lengte en het oppervlak van het werkzame natte oppervlak. Het gedeelte van de bodem dat door de "whisker-spray" bestreken wordt, wordt over het algemeen verwaarloosd.

De wrijvingsweerstand van een vlakke plaat kan berekend worden met de formule:

$$R_f = C_f \cdot \frac{1}{2} \rho V^2 S \quad (4)$$

waarin de coefficient C_f van het getal van Reynolds afhankelijk is.*

Zowel C_f als S worden langzaam kleiner bij het hoger worden van de snelheid. Deze daling is echter lang niet voldoende om de invloed van V^2 op de weerstand te compenseren. De wrijvingsweerstand neemt dus sterk toe met de snelheid.

In figuur 3.2. zijn, voor het bootje dat reeds eerder tot voorbeeld heeft gediend, het werkzame wrijvingsoppervlak en de invalshoek gegeven. In figuur 3.3. wordt getoond in hoeverre de berekening volgens de formules (3) en (4) overeen komt met de meetresultaten.

*

Een eenvoudige benadering is:

$$C_f = \frac{0,075}{(10 \log R_n - 2)^2}$$

waarin $R_n = \frac{V \cdot L_m}{\nu}$ en L_m de gemiddelde lengte van het nat oppervlak voorstelt. Gebruikelijke waarden van de kinematische viscositeitscoefficient zijn:

$$\text{zoet water } 15^\circ \text{ C: } \nu = 1,14 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sec}^{-1}$$

$$\text{zee water } 15^\circ \text{ C: } \nu = 1,19 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sec}^{-1}$$

In het gebied van volledig planeren blijkt inderdaad de overeenstemming goed te zijn, vooral als men daarbij in ogenschouw neemt dat de luchtweerstand en de weerstand van de spraystrip langs de kim verwaarloosd zijn.

Een planerend vlak lijkt, wat de drukverdeling aan de onderzijde betreft, zeer veel op een vleugel. Net als bij een vleugel is de lift praktisch evenredig met de invalshoek en met het vleugeloppervlak. Voor een planerend schip betekent dit dat bij een konstante opwaartse kracht (= scheepsgewicht) en snelheid het dragend oppervlak kleiner moet worden naarmate de invalshoek groter wordt. Dit heeft tot gevolg dat de term $\frac{T}{\Delta}$ kleiner wordt naarmate $\text{tg}\alpha$ groter wordt, en omgekeerd. Dit wekt het vermoeden dat er een bepaalde invalshoek moet wezen waarbij de weerstand minimaal is. Dat blijkt ook zo te zijn; die optimale invalshoek bedraagt 4 à 5 graden, afhankelijk van de vorm van het schip. Voor schepen met een kleine vlak-tilling is de optimale hoek iets kleiner dan voor schepen met steile spanten.

In figuur 3.4. is de vergelijking gemaakt voor enige planerende vlakken (schepen) met verschillende vlaktilling, onder overigens gelijke omstandigheden. De weerstand-gewicht verhouding is gegeven als functie van de invalshoek. Voor kleine vlaktilling ligt het optimum bij ongeveer vier graden. Bij de grootste vlaktilling bij een hoek van iets meer dan vijf graden. Het is opmerkelijk hoe steil de weerstandskrommen stijgen bij kleine invalshoeken.

Om een geringe weerstand te krijgen is het wenselijk om bij een heel matige invalshoek het wrijvingsoppervlak zo klein mogelijk te maken. Grote lift geeft een klein oppervlak. Aangezien het hoge-druk gebied rond de stuwlijn het meeste bijdraagt tot de lift, is het wenselijk om dit gebied zo groot mogelijk te maken en het oppervlak, daar waar de druk laag is weg te nemen. Dus hoe breder en korter het schip hoe kleiner de weerstand. Een grote aspektverhouding leidt blijkbaar tot grote lift-weerstand verhoudingen.* Het is jammer dat het korte, platte, brede en lichte schip, dat uit weerstandsoogpunt zo goed zou zijn, faalt op bewogen water.

*

De aspektverhouding kan men hier het best definiëren als de verhouding tussen de breedte en de gemiddelde lengte van het wrijvingsoppervlak. (d.i. ook het dragende deel van het bodemvlak).

$$\text{De aspektverhouding is dus: } AR = \frac{b^2}{S} \quad (5)$$

Ook in kalm water zijn de mogelijkheden zeer beperkt omdat bij hoge snelheden instabiliteiten aan het licht treden die zo'n boot ongeschikt maken. Hierover handelt het volgende hoofdstuk.

Publikaties waarin veel gegevens over de weerstand zijn samengevat, en die voor praktisch gebruik geschikt zijn, zijn verschenen aan de hand van o.a.: Murray [4], Savitsky [5], Davidson en Suarez [6], Clement en Blount [7], en Hadler [8].

4. Porpoising.

Dit Engelse woord dat afgeleid is van porpoise, wat dolfijn betekent, beschrijft aanschouwelijk een verschijnsel dat moeilijker te vermijden zal blijken naargelang de sloopssnelheden hoger worden. Het bestaat uit een ritmische beweging in het vertikale langsvlak, die zich afspeelt in vlak water. Het is alsof het schip met een duidelijke periode steeds als een dolfijn gedeeltelijk uit het water opspringt. De periode is kort; hoogstens enkele seconden. Deze oscillatie is een samenspel van een stamp- en een dompbeweging waarbij de onderlinge beïnvloeding zo is dat de beweging voortdurend onderhouden wordt, of zelfs aan kan groeien. De daarvoor benodigde energie wordt aan de voortstuwing onttrokken.

Men werd voor het eerst op het verschijnsel geattendeerd bij het bouwen van watervliegtuigen. Perring en Glauert [9], zagen in 1933 kans er een theoretische verklaring voor te geven, die door Perring in hetzelfde jaar ook toegepast werd op snelle motorboten [10]. Hiermee was echter nog geen algemene praktische oplossing van het probleem gevonden, want voor het gebruik van de theoretische methode waren numerieke gegevens nodig die slechts op tijdrovende wijze experimenteel bepaald konden worden. Gelukkig bleek later uit proeven met planerende vlakken [11] dat de grens tussen stabiel planeren en het fenomeen "porpoising" slechts van een paar grootheden afhing, n.l. van de vlaktilling, de invalshoek en de liftcoëfficiënt. Deze grens is in de loop der jaren experimenteel vastgelegd. [12]. De uitkomsten van een serie proeven zijn in figuur 4.1. samengevat. Van enige prismatische oppervlakken met een konstante vlaktilling werden de grenzen bepaald. Een punt in de figuur is bepaald door een waarde van de invalshoek en een waarde van de liftcoëfficiënt, zoals die door Savitsky gebruikt wordt:

$$C_{L_b} = \frac{\Delta}{\frac{1}{2} V^2 b^2} \quad (6)$$

De parameter $\sqrt{\frac{C_{Lb}}{2}}$ kan geschreven worden als $\frac{K}{V \cdot b}$ waarin $K = \sqrt{\frac{\Delta}{\rho}}$.
 Voor een bepaald scheepsgewicht ligt de waarde van K vast.

Hoe hoger de snelheid en hoe groter de breedte van het planerende vlak hoe kleiner de invalshoek moet wezen om in het stabiele gebied te blijven. Bij schepen waarvan de weerstand relatief klein is, lichte brede platte schepen, is het gevaar van porpoising het grootst. Als het optreedt ligt de remedie voor de hand; het verminderen van de invalshoek. Dit kan tot gevolg hebben dat de invalshoek aanzienlijk kleiner moet wezen dan de, uit het oogpunt van de weerstand optimale hoek.

Schepen met grote vlaktilling staan er in dit opzicht gunstig voor.

Het verminderen van de invalshoek kan geschieden door het verplaatsen van het gewichtszwaartepunt naar voren, iets dat bij bestaande schepen niet altijd eenvoudig zal blijken te zijn. Een tweede mogelijkheid is het aanbren- gen van een wiggetje onder het achtereinde van het vlak, of een flap aan de spiegel. Een kleine flap onder een hoek van slechts enkele graden heeft alleen aanzienlijk effect. Een overdrijving kan bij hoge snelheden gevaar- lijk zijn omdat het schip neiging krijgt voorover te duiken.

De scheepsvorm die men zou wensen om bij hoge snelheden stabiel te planeren wijkt volkomen af van de vorm die men zou kiezen uit het oogpunt van de weerstand.

Kleine weerstand: grote breedte, kleine vlaktilling, licht.

Stabiele vorm: kleine breedte, grote vlaktilling, niet te licht.

5. Planeren in zeegang.

Zoveel litteratuur als er te vinden is over het planeren op onbewogen water, zo weinig is er gepubliceerd over de eigenschappen van planerende boten in golven, hoewel de belangstelling hiervoor de laatste jaren sterk toegenomen is. Het varen met hoge snelheden in niet al te kleine schepen heeft alleen zin op ruim water. Dat betekent in ons Atlantische klimaat waar het gedurende het grootste deel van het jaar waait, dat we bijna altijd met golven te maken hebben. Voor planerende schepen die per definitie gebonden zijn aan het wateroppervlak heeft de golfing van dat oppervlak zo'n overheersende invloed op het gehele gedrag van het schip dat het weinig zin heeft veel aandacht te besteden aan de weerstand in vlak water, omdat de eigenschappen in zeegang terdege beschouwd zijn. Het merkwaardige is echter dat de ontwikkeling van planerende schepen die ook in zeegang

hun snelheid kunnen behouden nog maar nauwelijks is begonnen. Men kan zich afvragen wat men eigenlijk kan verlangen van een goede boot op zee.

Enkele belangrijke punten zijn:

1. geringe bewegingen,
2. geringe stootbelastingen en de daarmee gepaard gaande vertikale versnellingen,
3. geringe waterovername,
4. niet te groot vermogen.

De stootbelastingen en de daaruit voortvloeiende vertikale versnellingen zijn meestal bepalend voor de snelheid waarmee in zeegang tegen de golven in gevaren kan worden. De hevigheid van de klappen die de bodem ondervindt zijn afhankelijk van de vorm en de stand van de rompedeelten die op het wateroppervlak neerkomen. En natuurlijk ook van de snelheid waarmee dit gebeurt.

Het probleem van de vermindering van deze impulsbelastingen kan men op twee manieren benaderen. De eerste weg is te trachten spantvormen te vinden waarbij de optredende krachten binnen de perken blijven. Enig succes heeft men daarbij wel gehad. Als men een wig (V-spant) op het water laat vallen dan zijn de drukken die ontstaan bij het neerkomen afhankelijk van de top-hoek van de wig. Een wig met een kleine tophoek (V-spant met grote vlak-tilling) ondervindt aanmerkelijk lagere drukken dan een stompe wig. De introductie van de sterke V-vormige spantdoorsneden is dus een logisch gevolg van het zoeken naar goede spantvormen.

De tweede wijze van benadering is gericht op het beperken van de vertikale bewegingen van het schip en vooral van de snelheid van de romp ten opzichte van het bewegende wateroppervlak. De drukken die ontstaan zijn evenredig met het kwadraat van de relatieve intreesnelheid, een beperking hiervan kan dus aanzienlijke winst opleveren. Dit is overigens niet het enige winstpunt van de bewegingsbeperkingen; de boot blijft ook droger en het efficiënt werken aan boord wordt door het rustige gedrag van het schip zeer bevorderd. Helaas is dit gebied van onderzoek nog praktisch onbetreden. Wel is komen vast te staan dat de oppervlakkige beoordeling van de zeewaardigheid van planerende boten met de spantvormen als enige basis, op zijn minst genomen een hachelijke zaak is [13].

Ter illustratie zullen als voorbeeld enkele resultaten van modelproeven getoond worden, waaruit blijkt dat de samenhang tussen de vorm van het schip en zijn gedrag in golven gecompliceerd is. Het betreft hier een serie experimenten die uitgevoerd zijn met twee modellen waarvan alleen de vlaktilling verschilde. De hoofdafmetingen, het gewicht, de ligging van het zwaarte-

punt en de vorm van de horizontale projectie van de kimlijn waren voor beide modellen hetzelfde. De vlaktiling in het achterschip bedroeg bij het ene model $12\frac{1}{2}$ graad (model 84) en bij het andere 25 graden (model 85). De proeven in vlak water behelsden de normale metingen: de weerstand, de trimhoek, de stijging van het model en het nat oppervlak. Dit laatste wordt bepaald aan de hand van foto's die van onder water van het model genomen worden. In figuur 5.2. wordt zo'n foto getoond. De gemiddelde lengte van het oppervlak dient ter bepaling van het getal van Reynolds. De meetresultaten zijn samengevat in de figuren 5.3. en 5.4. Een korte bespreking sluit mooi aan op het behandelde in het hoofdstuk over de weerstand. Tevens zijn er in de waarnemingen enige aanknopingspunten te vinden voor het verschil in gedrag in golven dat de modellen vertoonden.

Tengevolge van de kleine liftcoëfficiënt die inherent is aan de diepe V-vorm komt model 85 niet zo hoog uit het water als het veel plattere model 84. Daarmee gaat natuurlijk samen dat het nat oppervlak groter is zoals ook in figuur 5.3. te zien is. Aangezien bij model 85 de dynamische druk op de stuwlijn geringer is wordt het modelgewicht meer gelijkmatig over de lengte gedragen. De invalshoek is daardoor kleiner.

In dit geval is dat gunstig; bij model 85 ligt de invalshoek veel dichterbij de optimale hoek dan bij het platte model, dat vermoedelijk gebaat zou zijn bij een voorlijker ligging van het zwaartepunt. Het resultaat is dat het verschil in weerstand nu kleiner is dan een directe vergelijking van de spantvorm zou doen vermoeden. (figuur 5.4.).

De kleine invalshoek van model 85, tesamen met de relatief kleine stijging van het gehele model, maken dat het voorschip veel minder hoog boven het wateroppervlak uitkomt dan bij model 84 het geval is.

De metingen in regelmatige golven behelsden in de eerste plaats de gemiddelde weerstand, invalshoek en stijging. Deze resultaten kunnen direct vergeleken worden met die in vlak water. In de tweede plaats werden de domp- en stampamplituden gemeten en de verticale versnellingen.

De versnellingen werden op twee plaatsen gemeten, namelijk op $0,1 L$ vanaf de voorzijde van het bodemvlak en op $0,4 L$. Met L wordt de lengte van het bodemvlak bedoeld.

Uit de veelheid van resultaten is een selectie gemaakt die de verschijnselen goed karakteriseert. Voor al deze voorbeelden bedroeg de golfhoogte $\frac{1}{25}$ van L . In figuur 5.5. wordt de gemiddelde stijging van de beide modellen getoond en in figuur 5.6. ziet men de invalshoeken. Het verloop

hiervan is in grote trekken hetzelfde als in kalm water; alleen blijkt dat vooral model 84 gemiddeld toch nog hoger uit het water komt dan in kalm water.

In figuur 5.7. worden de gemiddelde weerstanden vergeleken. Merkwaardig is dat bij $\lambda/L = 1,2$ het plattere schip in een bepaald snelheidsgebied een kleinere gemiddelde weerstand heeft dan in kalm water. De oorzaak hiervan staat niet vast, maar de indruk bestond dat telkens als de bodem het water trof de stand van het model zodanig was dat de impuls een component naar voren had. Dit verschijnsel werd ook opgemerkt bij andere golflengten. Bij het model met de diepe V-spanten werd het niet opgemerkt.

De snelheden van beide modellen waren niet extreem hoog, hoewel beide volledig planeerden. De algemene tendens is dat de toegevoegde weerstand afneemt bij hogere snelheden. Uit de figuren krijgt men een enigszins overdreven indruk van de grootte van de toegevoegde weerstand. Dat komt doordat in regelmatige golven van deze lengte alles veel heftiger verloopt dan in een onregelmatige zee, waar de vele golven van verschillende lengten een vereffenende invloed hebben.

In figuur 5.8. worden de dompamplituden gegeven, dat zijn de amplituden van de oscillerende verticale verplaatsingen. Ze zijn in de figuur gepresenteerd in een dimensieloze vorm die verkregen is door de verplaatsingen te delen door de golfamplituden. Aangezien in eerste benadering de bewegingen evenredig zullen zijn met de golfhoogte, geeft deze dimensieloze vorm het karakter goed weer, zodat een goede vergelijking van verschillende modellen mogelijk is. Bij hoge snelheid is voor de korte golven de beweging klein omdat de frekwentie waarmee het schip de golven ontmoet veel hoger is dan de eigen dompfrekwentie van het schip. Voor lange golven echter kan de beweging nog aanzienlijk zijn. In het hoge snelheidsgebied beweegt het diepe V-model minder dan zijn plattere konkurrent. Dit geldt voor alle golflengten en het zal daarom ook voor onregelmatige golven gelden.

In figuur 5.9. wordt een dergelijke vergelijking gemaakt voor de stampamplituden. De dimensieloze vorm is hier wat ingewikkelder van opbouw. Het algemene karakter van de krommen is hetzelfde als in de vorige figuur. De beweging van het diepe-V model is voor alle golflengten gunstiger.

Het belangrijkste onderwerp is natuurlijk de vergelijking van de verticale versnellingen. Enige voorbeelden van registraties van de optredende versnellingen worden getoond in figuur 5.10. Bij het verloop van zo'n versnelling zijn eigenlijk twee, soms duidelijke, soms wat minder duidelijke facetten te onderscheiden. Het eerste is een keurig oscillerende lijn geheel in overeenstemming met de zichtbare praktisch sinusvormige beweging van

het schip. Het tweede verschijnsel is het plotseling sterk stijgen van de versnelling tengevolge van de klap op het water. Merkwaardig is dat de diepe-V boot zich in dit opzicht zoveel gemoedelijker gedraagt dan de andere. Hoewel ook bij dit model de versnelling vrij snel stijgt is er toch eigenlijk geen sprake van een werkelijke stoot.

De registraties geven slechts een voorbeeld. Een uitgebreider beeld krijgt men uit figuur 5.11. Voor hoge snelheden zijn de versnellingen in het voorschip van de platte boot 4 tot 5 maal zo hoog als bij het zich veel rustiger gedragende schip met diepe V-spanten. De metingen in het voorschip geven de verschillen tussen de twee modellen wel duidelijker te zien dan de metingen op 0,4 Lp maar toch waren ook op deze plaats de versnellingen bij model 84 nog 2 à 3 maal zo hoog als bij model 85.

In onregelmatige golven werd het verschil in het gedrag van de beide modellen zoals dit in regelmatige golven tot uiting was gekomen, bevestigd. Model 85 vertoonde aanmerkelijk kleinere bewegingen en piekversnellingen ten koste van een wat hogere weerstand.

Een planerend schip met een grote vlaktilling heeft de neiging het buiswater hoog op te gooien. Dit kan echter met een sprayrail afdoende bezworen worden.

Bij de beschouwde scheepsvormen bleek dat in verschillende opzichten een aanmerkelijke verbetering van het gedrag in golven werd bereikt door het vergroten van de vlaktilling. Het is verleidelijk om aan de hand hiervan dit resultaat te generaliseren en alle schepen met grote vlaktilling betere eigenschappen toe te schrijven dan alle andere. Een kritische beoordeling toont echter dat de bereikte verbetering een gevolg is van een heel kompleks van factoren die misschien in andere gevallen helemaal niet ter sprake komen. De factoren die kunnen hebben bijgedragen tot de drastische vermindering van de versnellingen zijn daarom hier nog eens samengevat.

- a. De gemiddelde invalshoek van het diepe-V model was aanmerkelijk kleiner dan van het andere model. Verschillende onderzoekers merkten op dat een verkleining van de invalshoek in het algemeen een vermindering van de versnellingen te weeg brengt.
- b. Aangezien zowel de invalshoek als de stijging klein zou zijn bij het diepe-V model komt het voorschip niet zo hoog uit het water. Daar ook de bewegingen klein zijn gebeurt het minder vaak dan bij het platte model, dat belangrijke delen van het vlak boven het water uitkomen.

- c. Door de geringe verticale bewegingen van het voorschip van het diepe-V model is ook de snelheid waarmee dit in het water komt gering.
- d. Als het voorschip in het water komt zijn de drukken die ontstaan bij grote vlaktilling kleiner dan bij kleine vlaktilling bij dezelfde valsnelheid.
- e. Het is mogelijk dat er nog een oorzaak is aan te wijzen voor de lage versnellingen. Dat is de fase van de bewegingen ten opzichte van de golf. Er zijn wel enige aanwijzingen dat er in dit opzicht verschillen bestonden tussen de twee modellen. Een aanwijzing vormden bijvoorbeeld de verschillen in de toegevoegde weerstand. Zekerheid hierover bestaat er echter niet omdat het met de gebruikte apparatuur niet mogelijk was de fasen voldoende nauwkeurig te meten.

Uit dit relaas moge blijken dat het voor de juiste beoordeling van het gedrag in zeegang noodzakelijk is het gehele complex van bewegingen te beschouwen, die samenhangen met de vorm van de gehele romp en niet slechts met de spantvorm.

6. Verantwoording.

De proeven die in het laatste deel besproken werden, werden uitgevoerd door het Laboratorium voor Scheepsbouwkunde van de Technische Hogeschool te Delft, op initiatief van Ir. O. Bussemaker.

7. Bibliografie.

1. Sottorf, W.
"Versuche mit Gleitflächen"
Werft, Reederei, Hafen, Nov. 1929.
2. Sottorf, W.
"Experiments with Planing Surfaces"
NACA TM 661, 1932
NACA TM 739, 1934
3. Shuford, C.L.
"A theoretical and Experimental Study of Planing Surface
including Effects of Cross Section and Plan Form".
NACA Report 1355, 1958.
4. Murray, A.B.
"The hydrodynamics of Planing Hulls"
Trans. SNAME. Vol. 5 , 1950.
5. Savitsky, D.
"Hydrodynamic Design of Planing Hulls"
Marine Technology. Vol.1, nr.1, oct.1964.
6. Davidson, K.S.M. en Suarez, A.
"Tests of Twenty Related Models of V-Bottom Motor Boats,
EMB Series 50".
DTMB Report R-47, Mrt. 1949.
7. Clement, E.P. en Blount, D.L.
"Resistance Tests of a Systematic Series of Planing Hull Forms".
Trans. SNAME Vol.71, 1963.
8. Hadler, J.B.
"The prediction of Power Performance on Planing Craft".
Trans. SNAME. Vol.74, 1966.

9. Perring, W.G.A. en Glauert, H.
"Stability on the Water of a Seaplane in the Planing Condition"
ARC, TR 42 Sept. 1933.
10. Perring, W.G.A.
"The Porpoising of High-Speed Motor-Boats".
Trans. INA, 1933.
11. Sottorf, W.
"Systematic Model Researches on the Stability of the DVL Series
of Float Designs".
NACA. TM 1254, Dec. 1949.
12. Day, J.P. en Haag, R.J.
"Planing Boat Porpoising"
Thesis Webb Institute of Naval Architecture, May 1952.
13. Mater, P.R. van
"Behaviour of Three Planing Boat Designs in Calm and Rough Water".
Davidson Laboratory Report 854, Aug. 1963.

$$p = \frac{1}{2} \rho (V^2 - v^2) + \rho g z$$

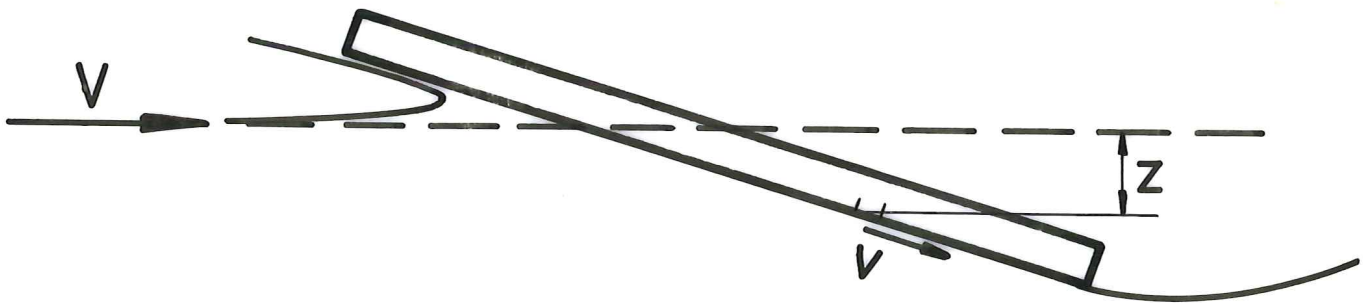


Fig. 2.1. De dynamische en statische druk



Fig.2.2. Planerende vlakke plaat



Fig.2.3. De draadjes geven de stromingsrichting aan

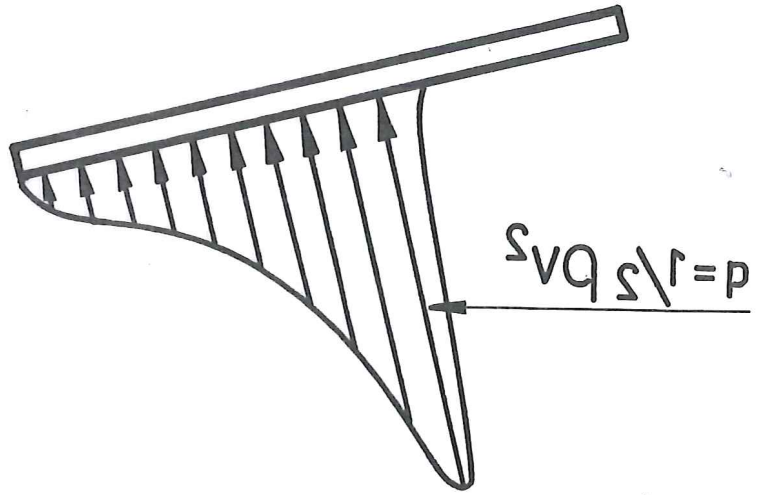


Fig. 2.4. Stroomingspatroon en drukverdeling bij de plaserende vlakke plaat

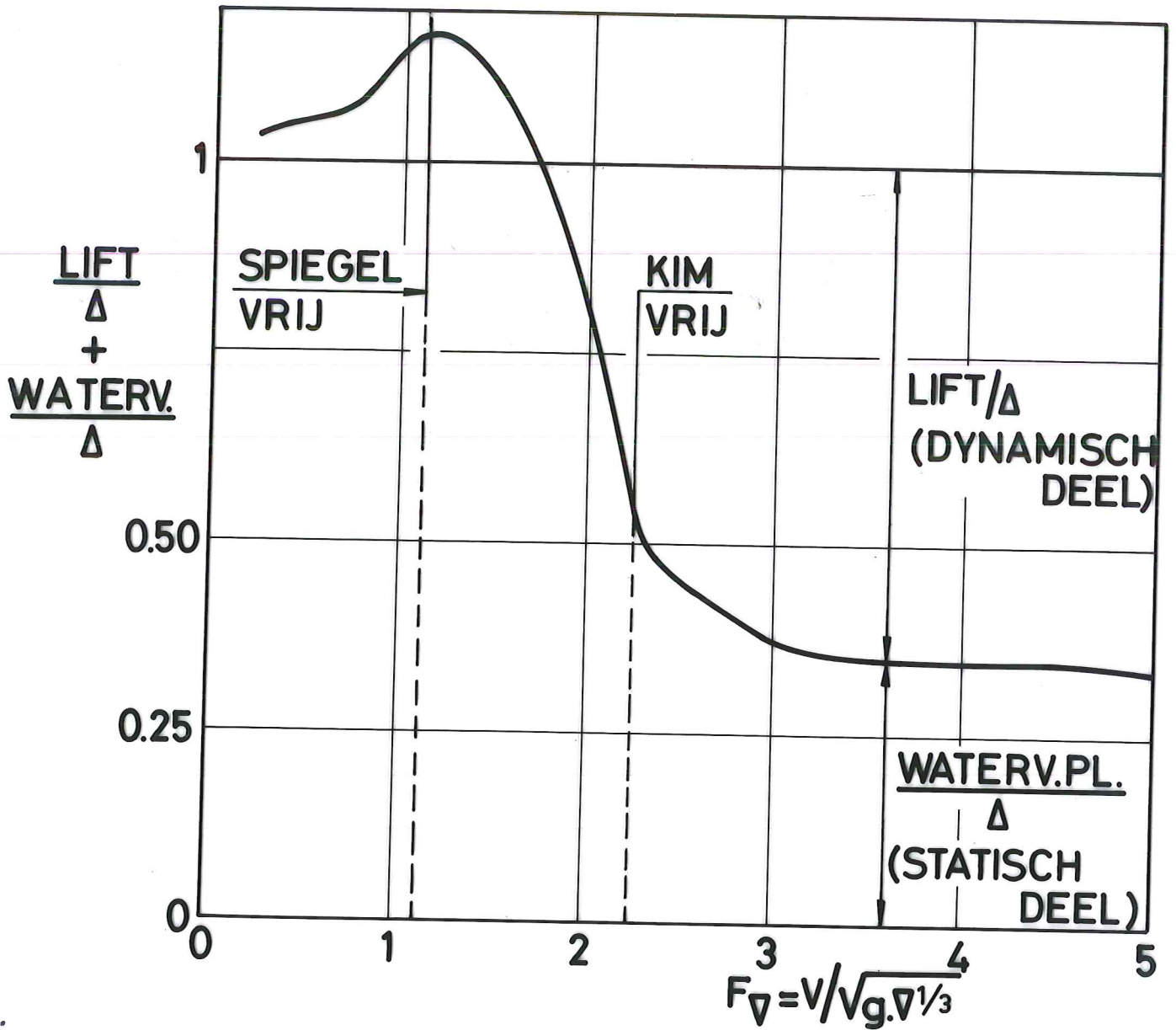
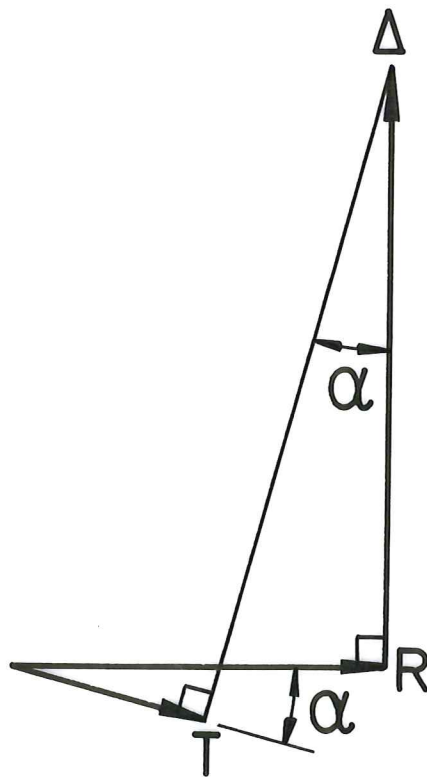
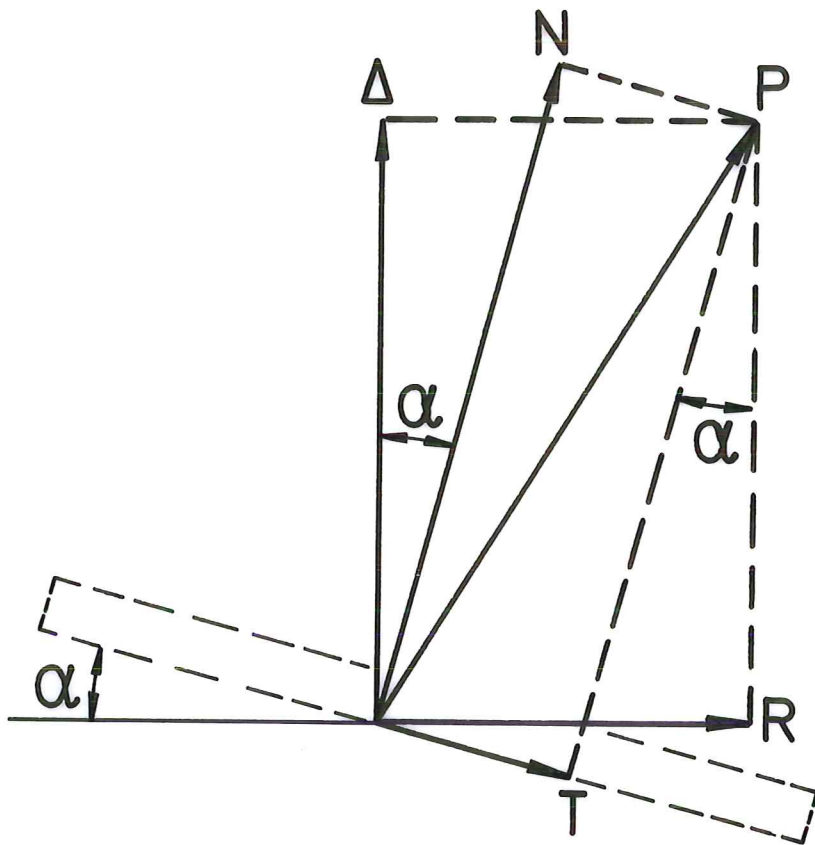


Fig. 2.5. De verdeling van het gewicht van een planerend vaartuig over de lift en de waterverplaatsing (model 63).



$$R = \Delta \operatorname{Tg} \alpha + T / \cos \alpha$$

Fig.3.1. De samenstelling van de weerstand

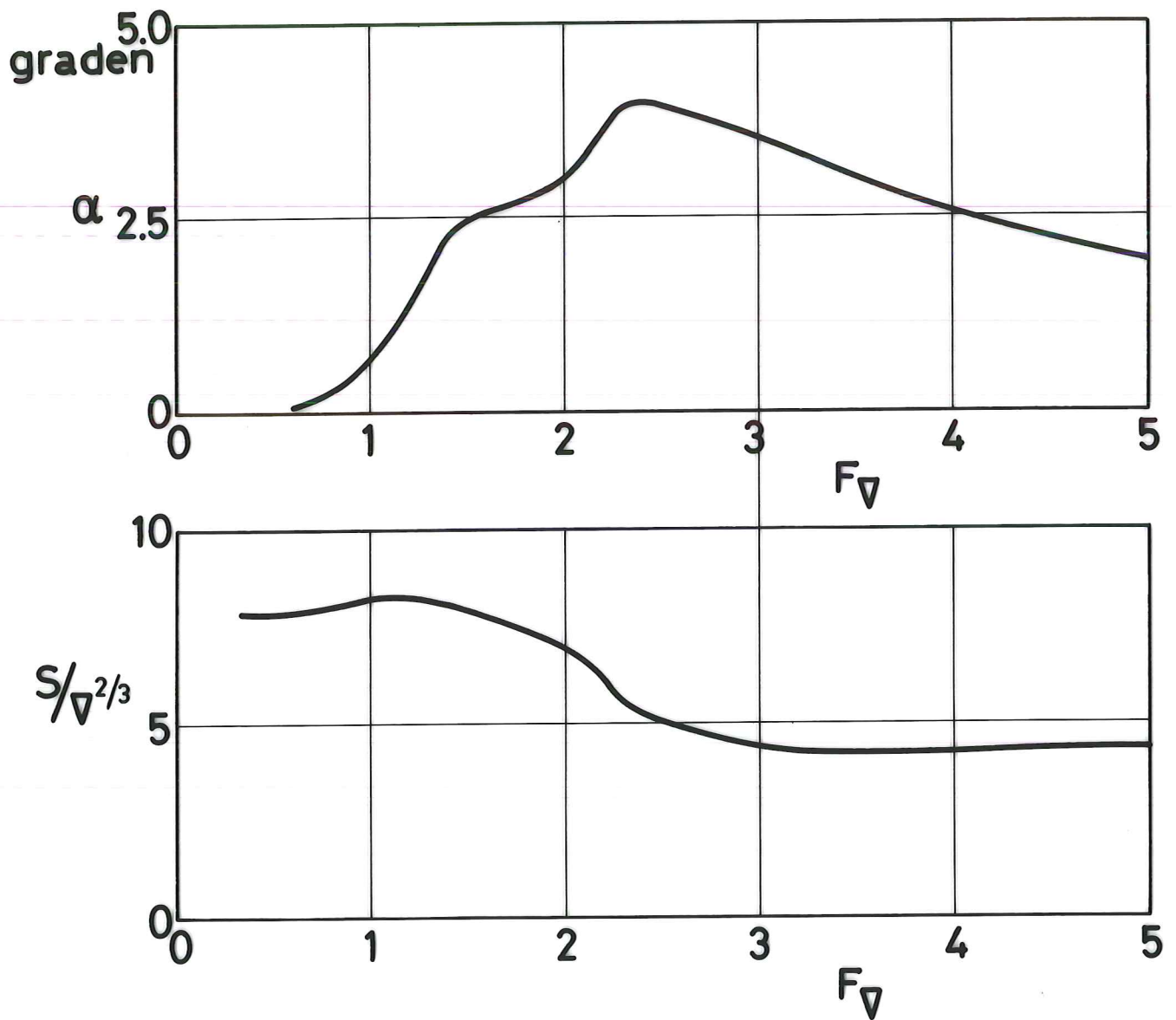


Fig. 3.2. Het wrijvingsoppervlak en de invalshoek van een planerend vaartuig (model 63).

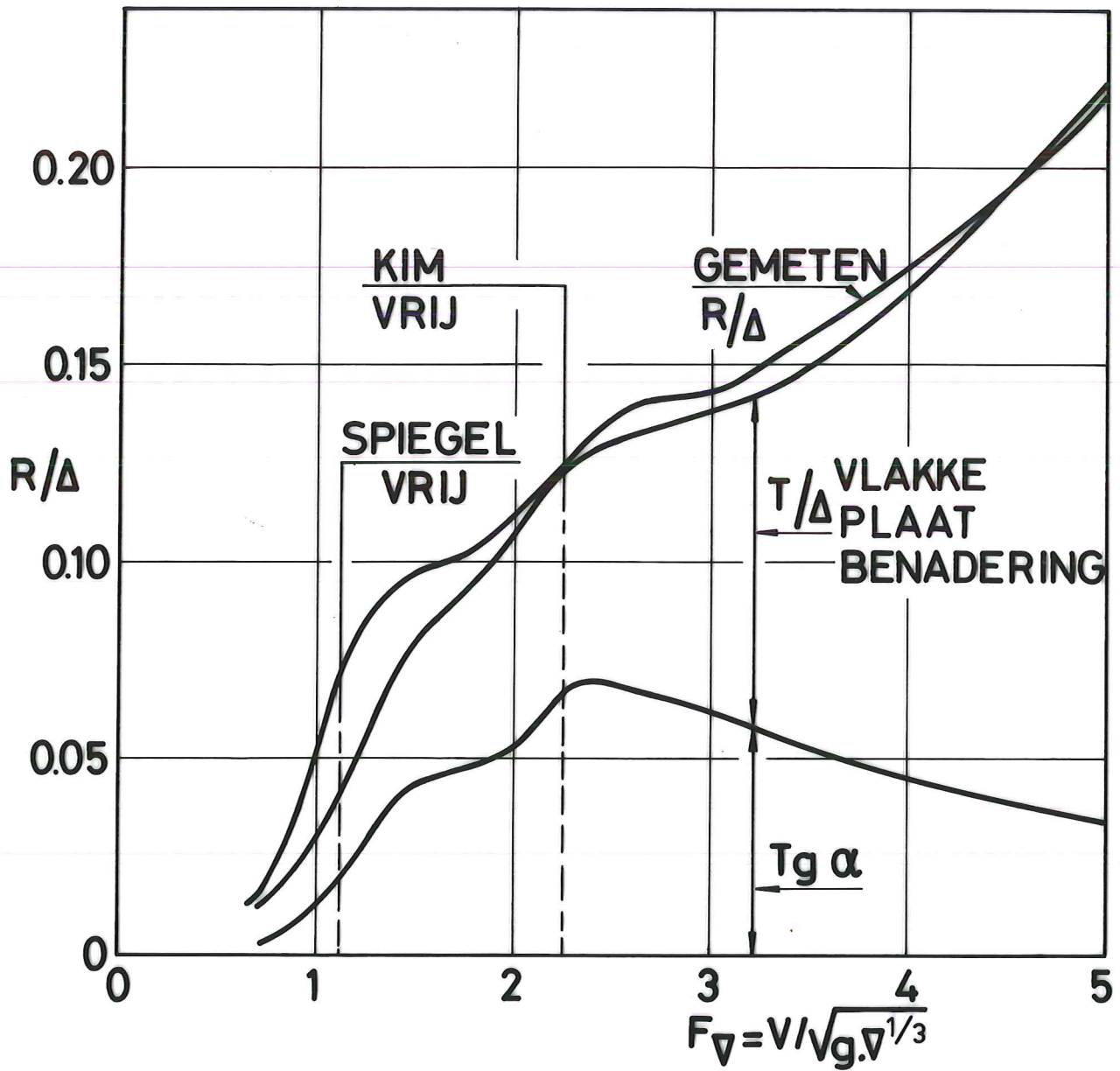


Fig. 3.3. Vergelijking van de gemeten weerstand en de berekende weerstand (model 63).

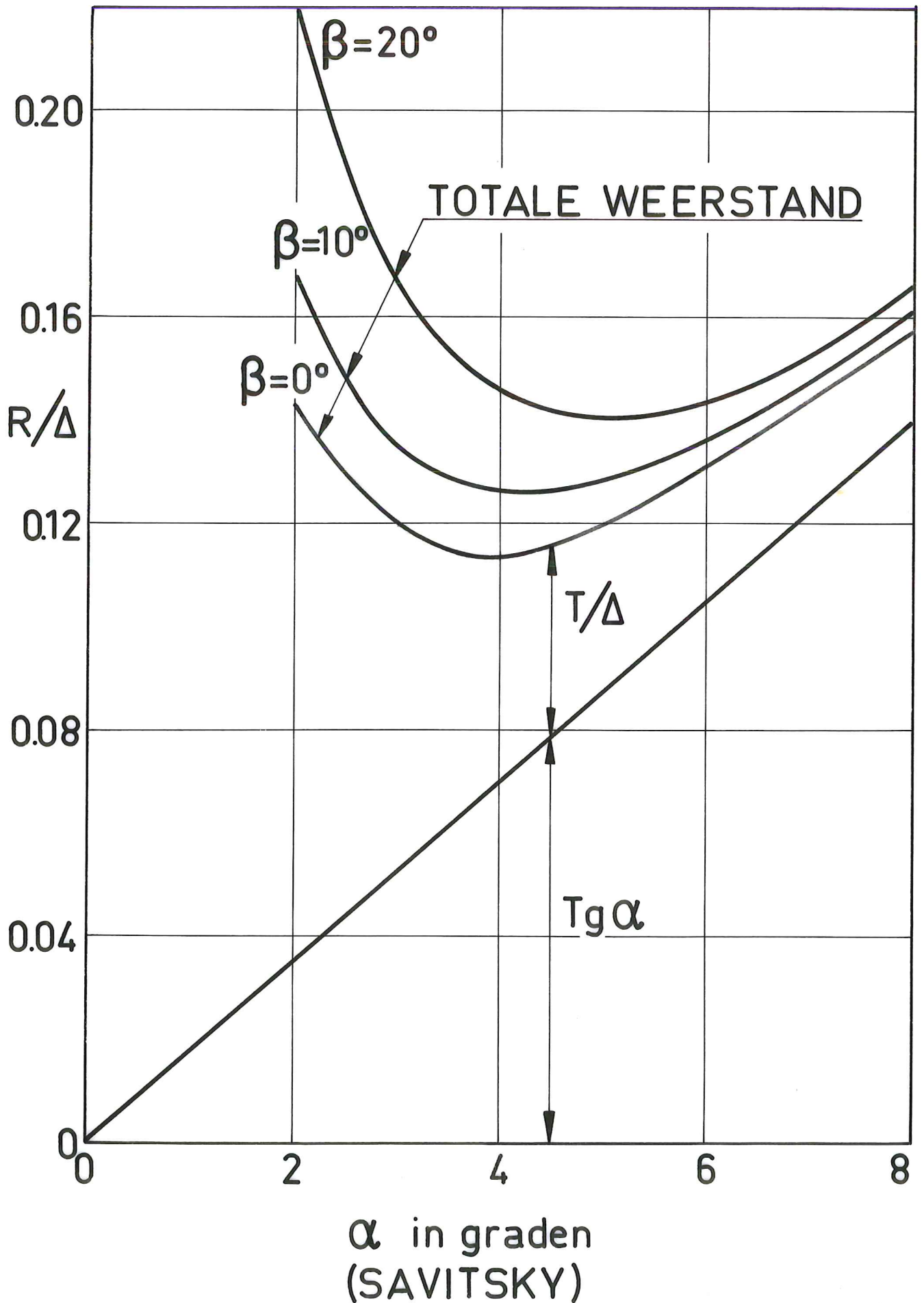


Fig.3.4. De optimale invalshoek

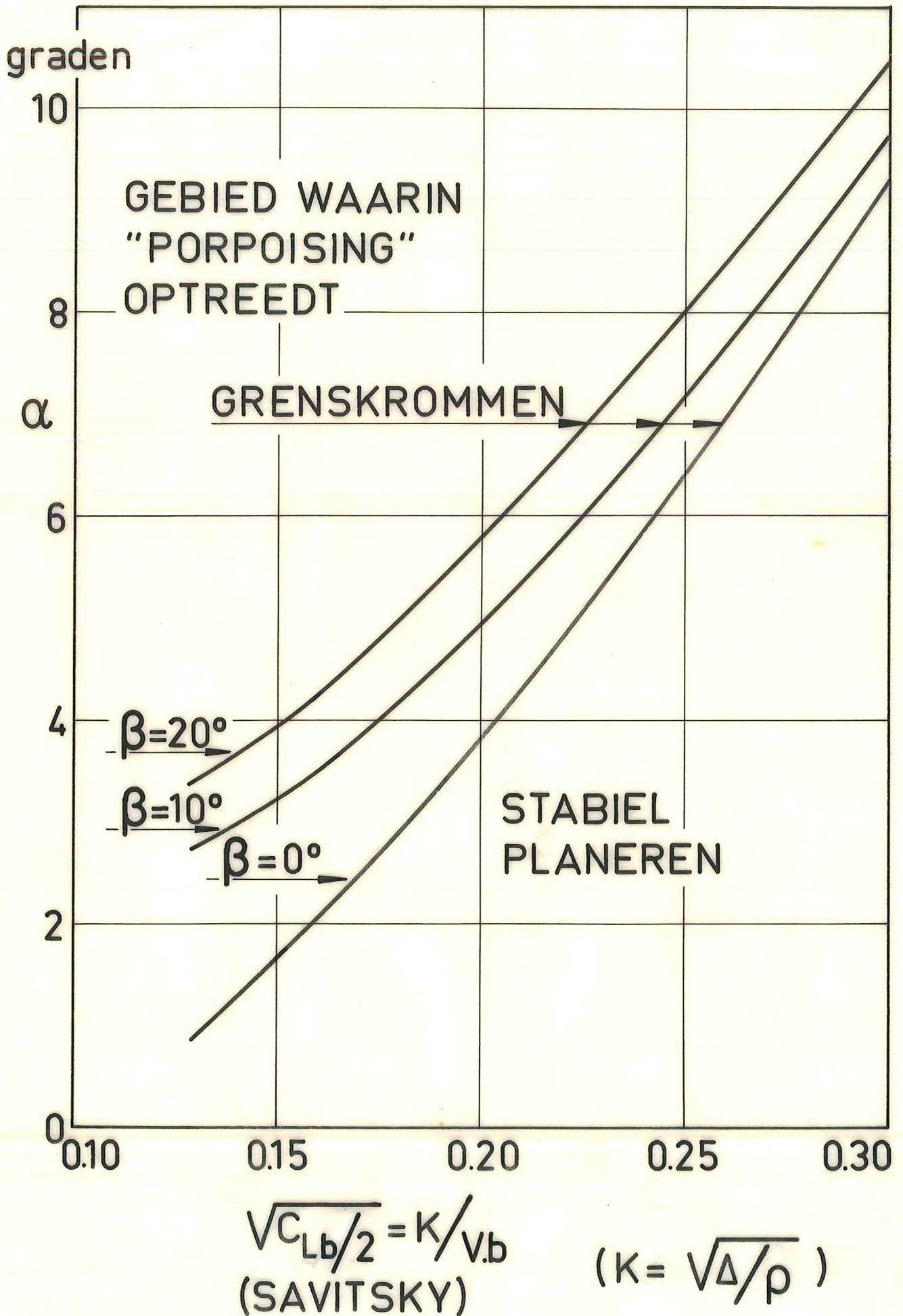


Fig.4.1. Stabiliteitsgrenzen met betrekking tot "Porpoising"

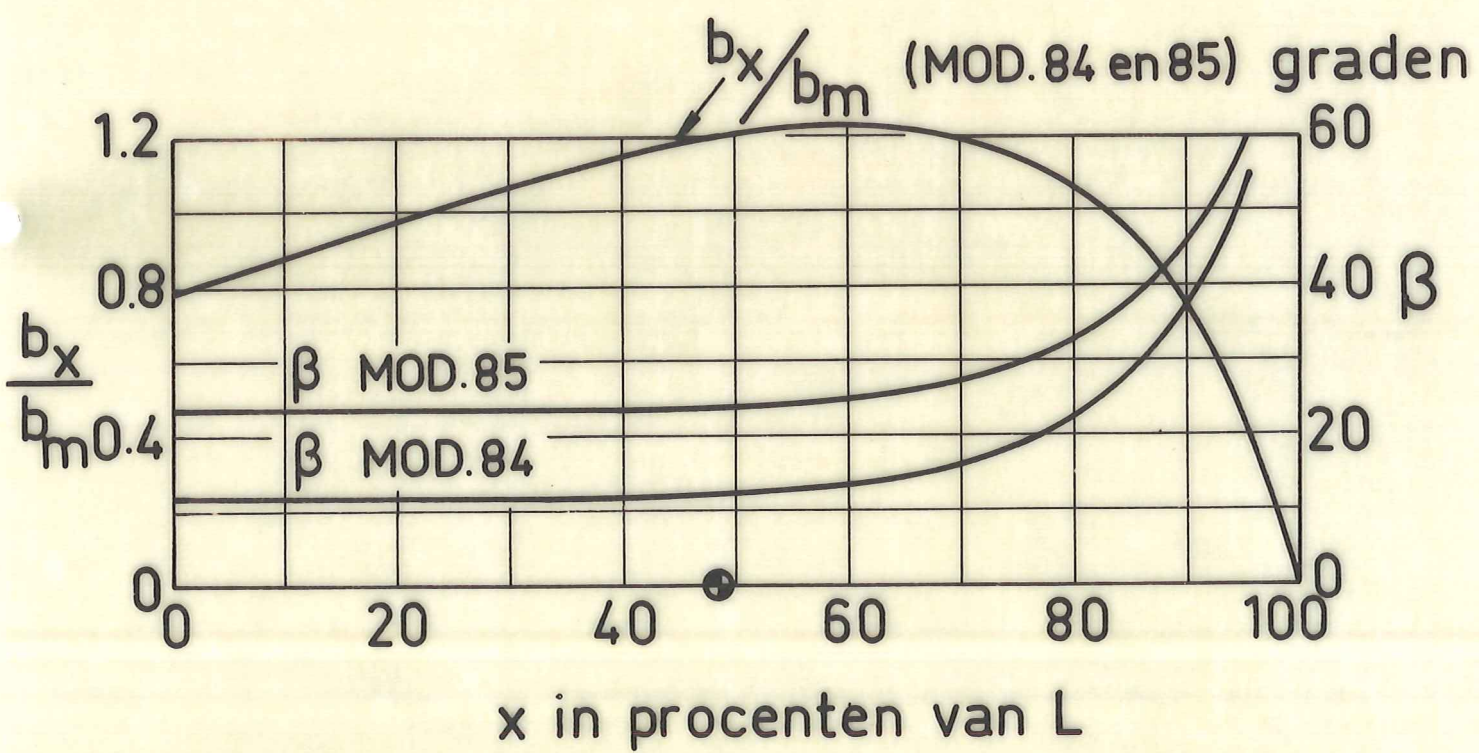
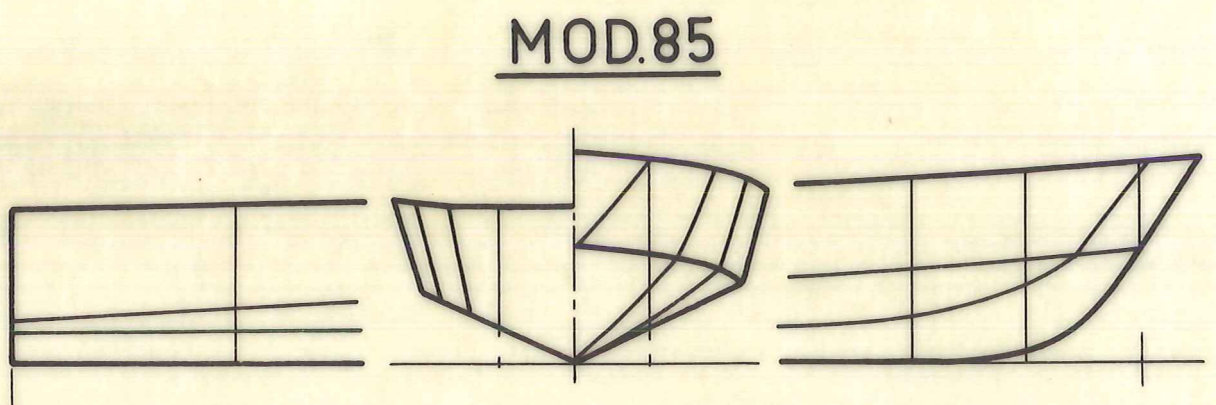
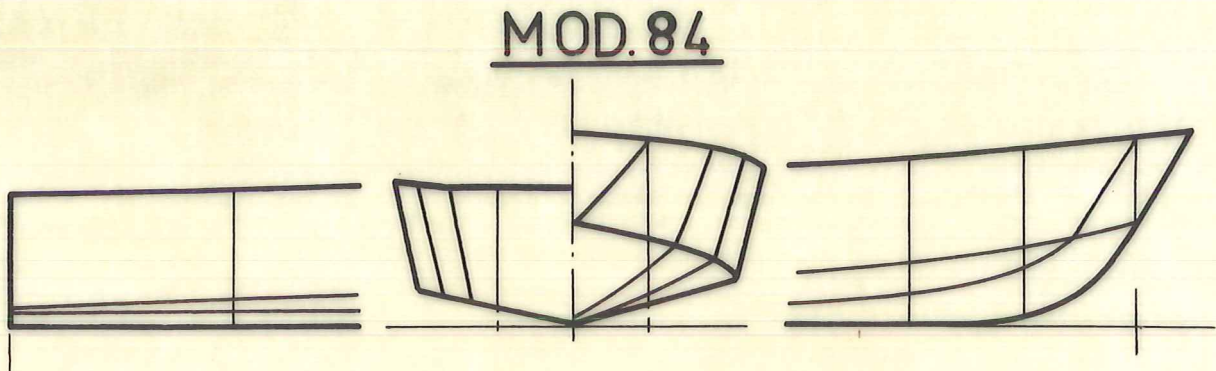


Fig. 5.1. De vorm van de modellen 84 en 85



Fig.5.2. Het natte oppervlak, model 85, $F \sim 3$.

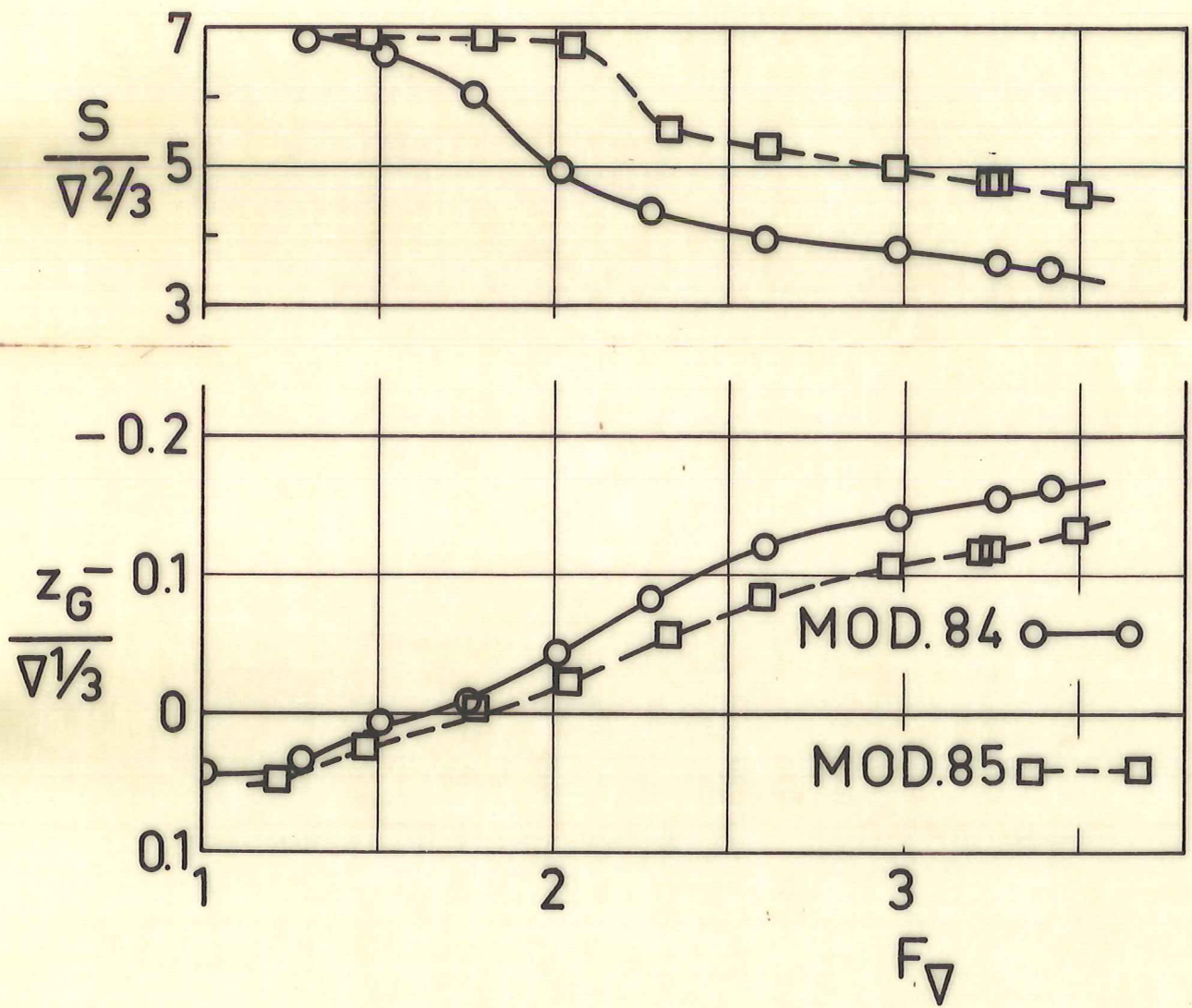


Fig. 5.3. De stijging en het natte oppervlak in vlak water

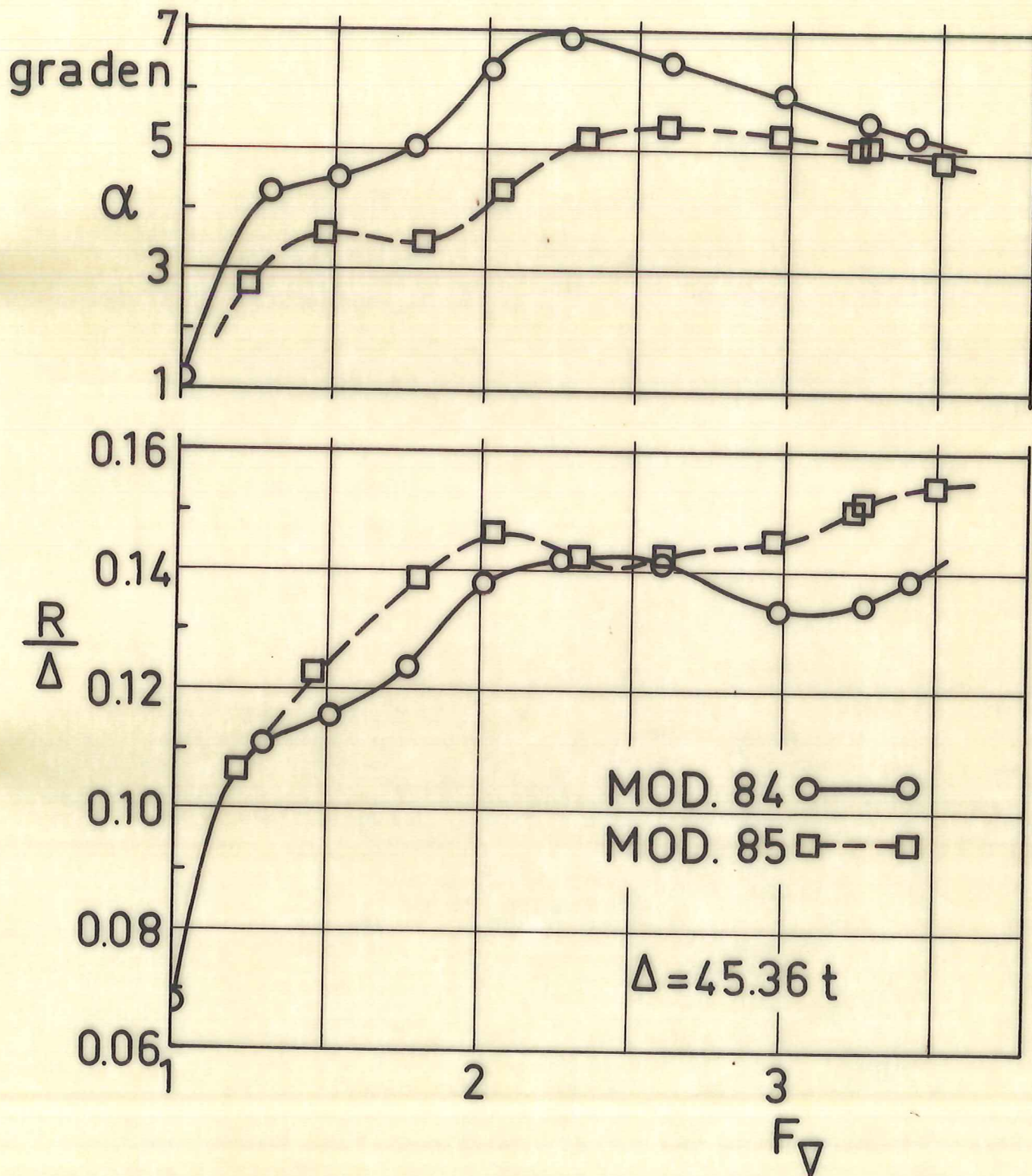


Fig.5.4. De invalshoek en de weerstand in vlak water

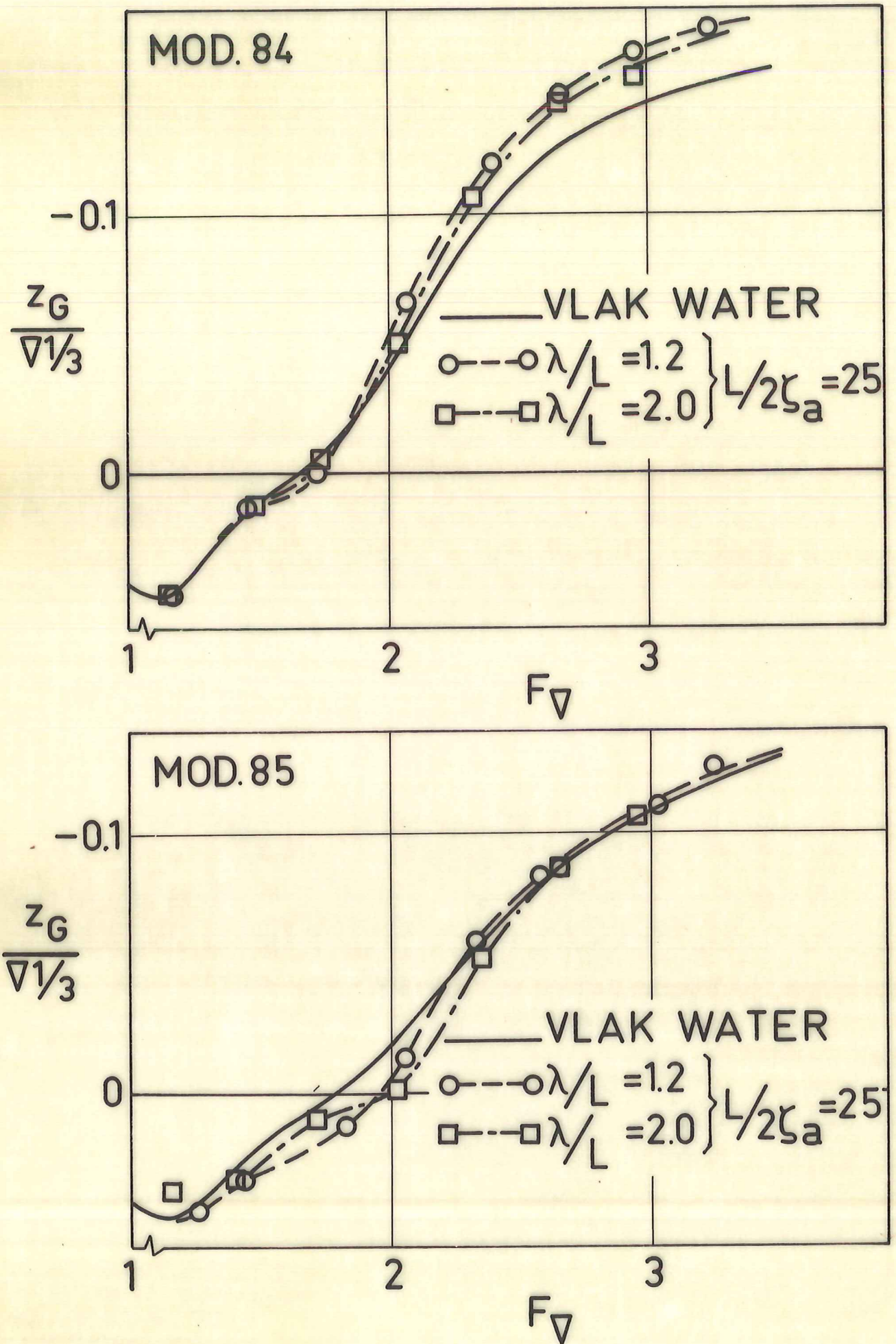


Fig.5.5. De gemiddelde stijging in regelmatige golven

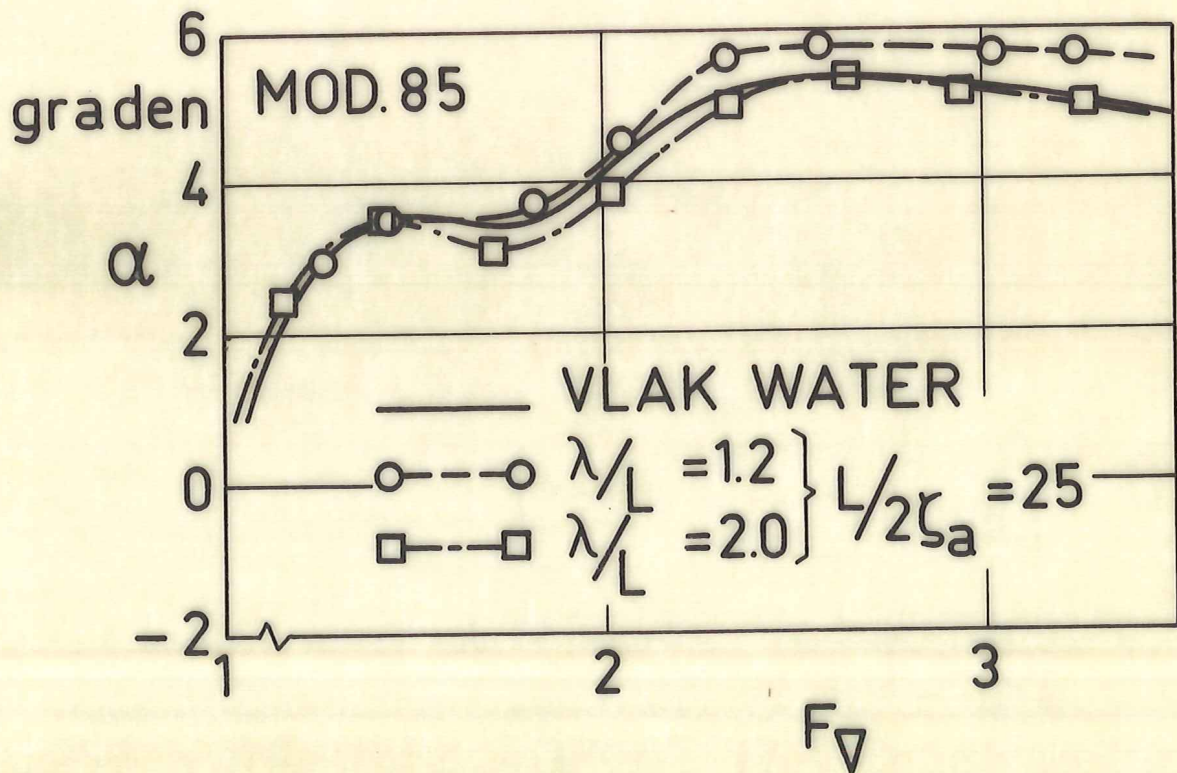
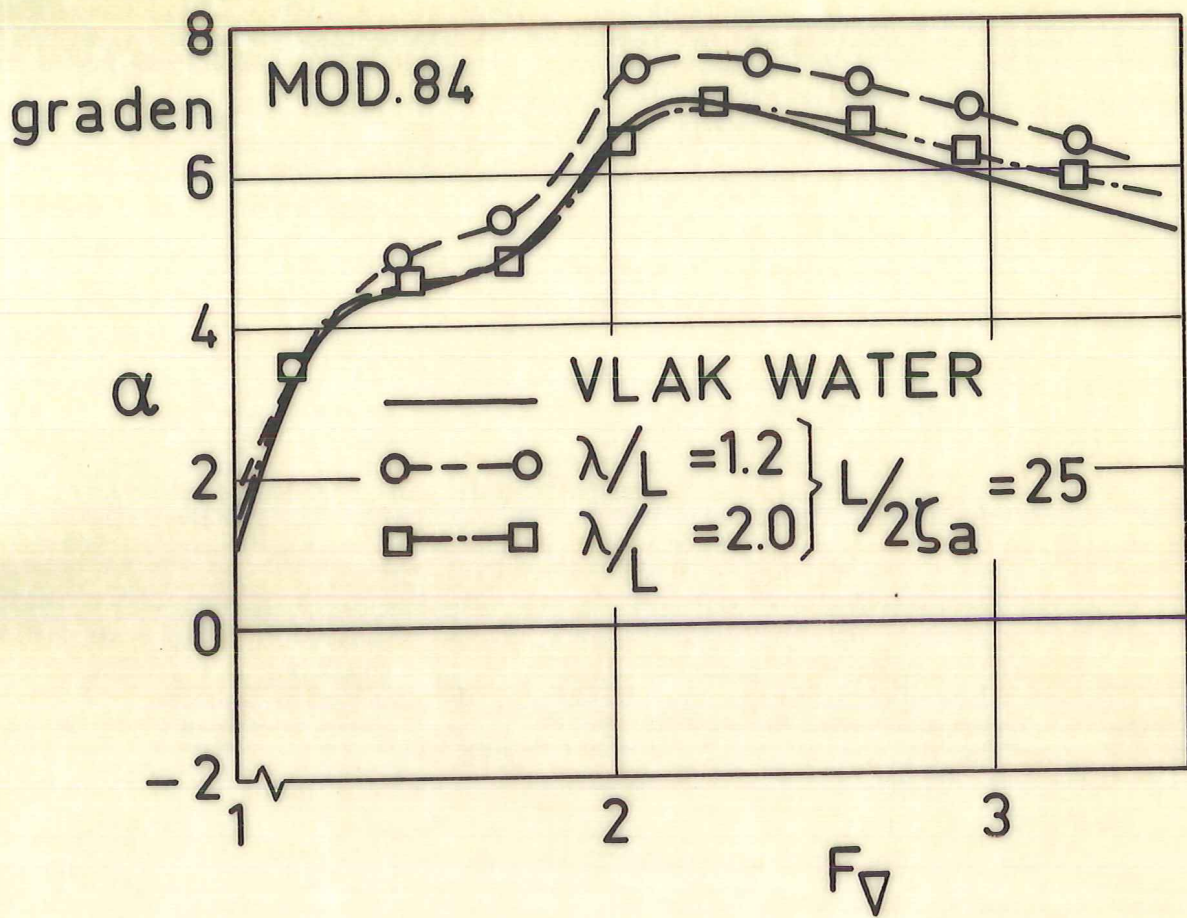


Fig.5.6. De gemiddelde invalshoek in regelmatige golven

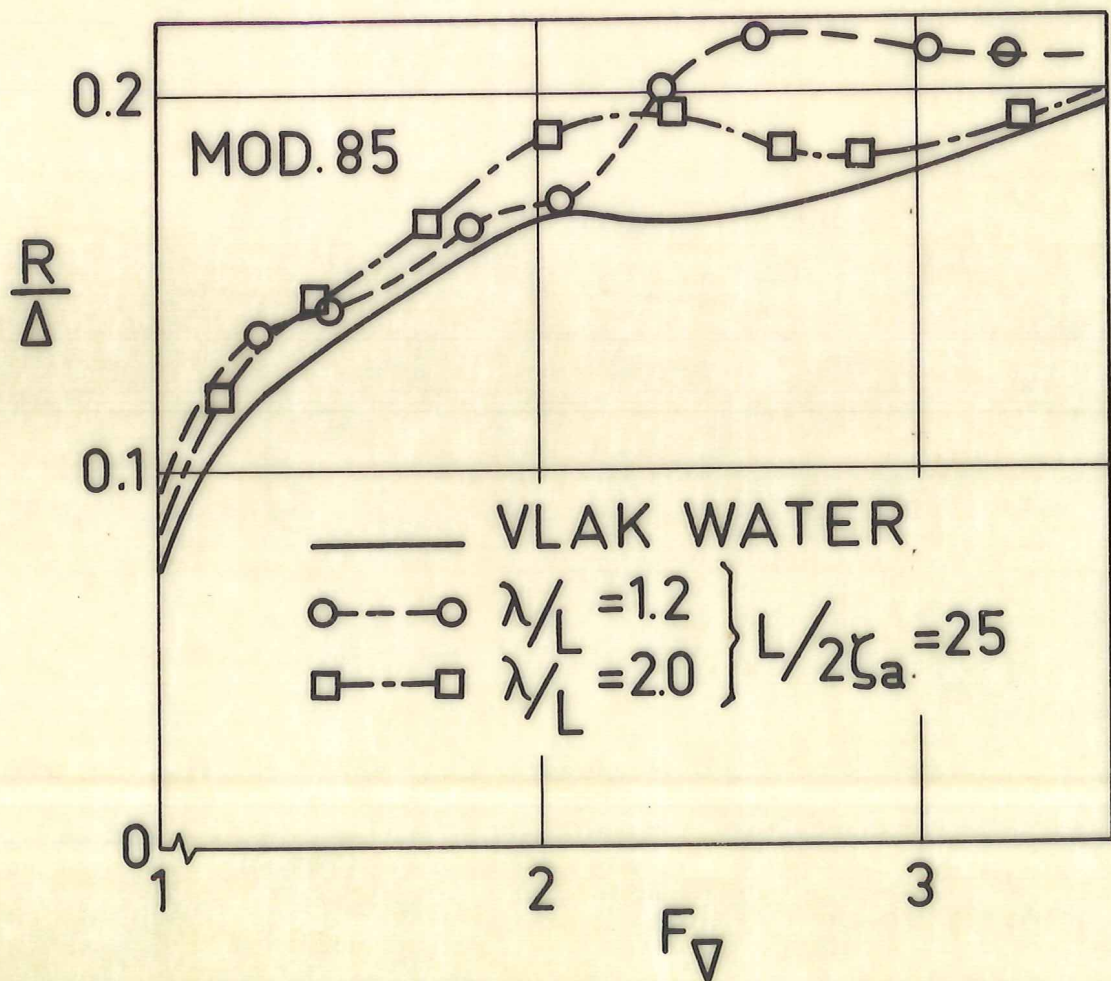
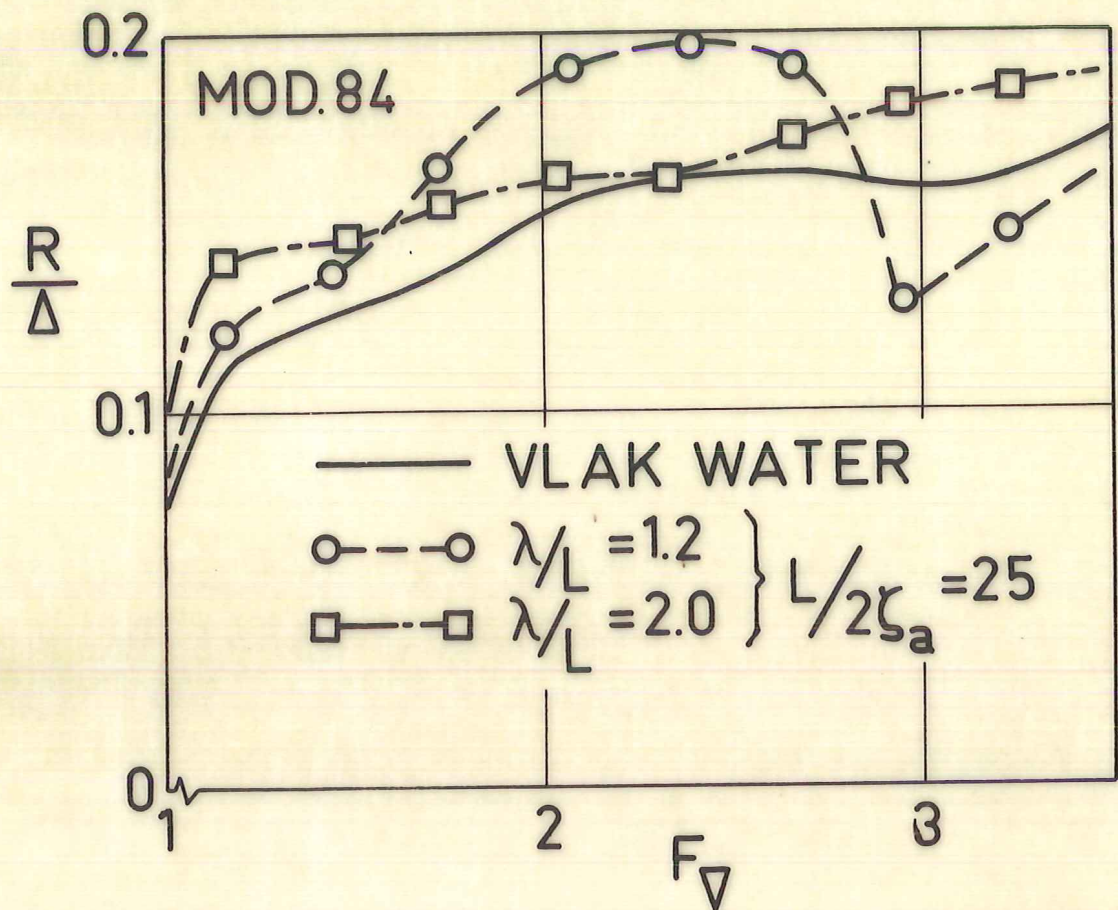


Fig. 5.7. De weerstand in regelmatige golven

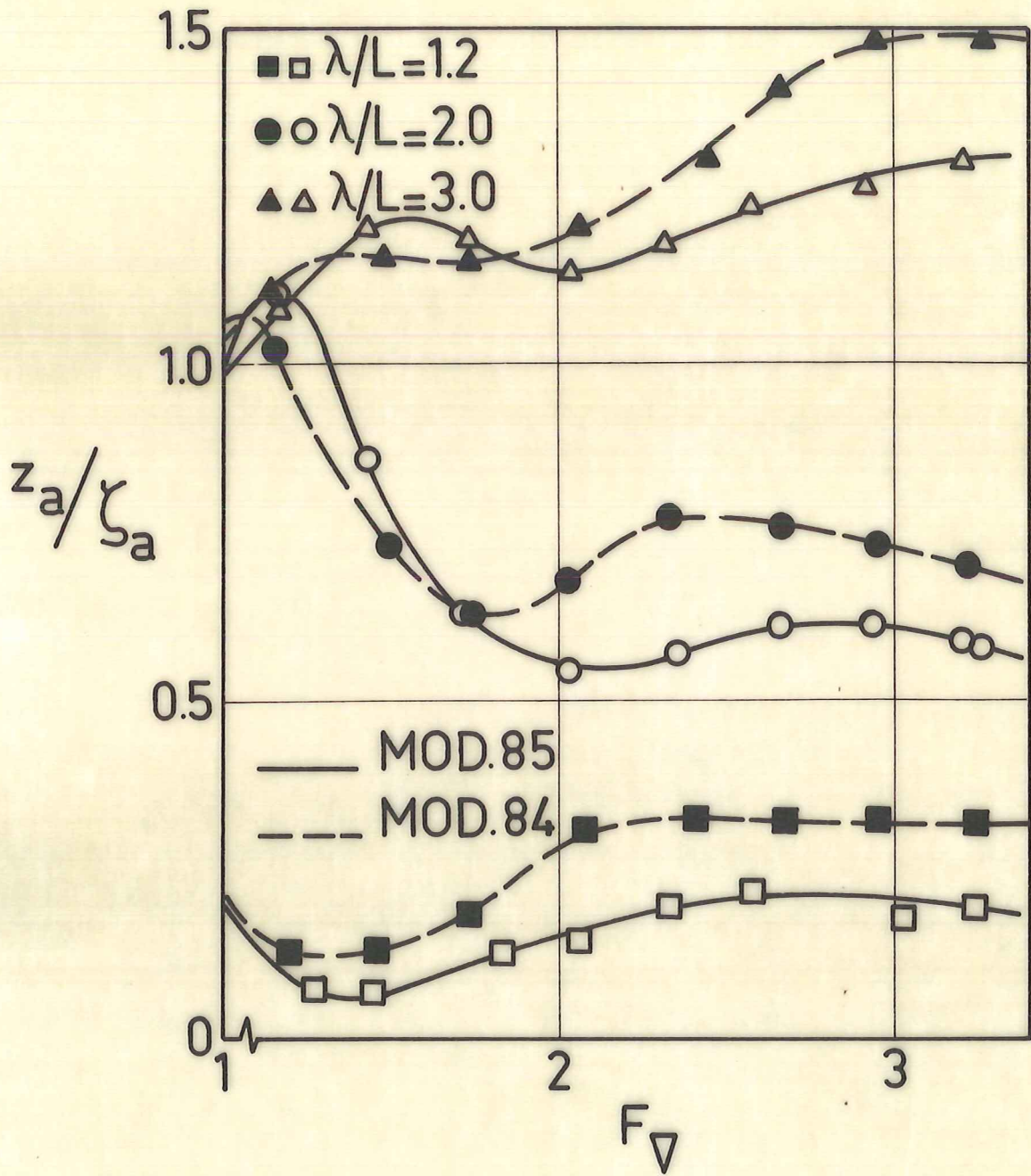


Fig. 5.8. De damp-amplituden in regelmatige golven

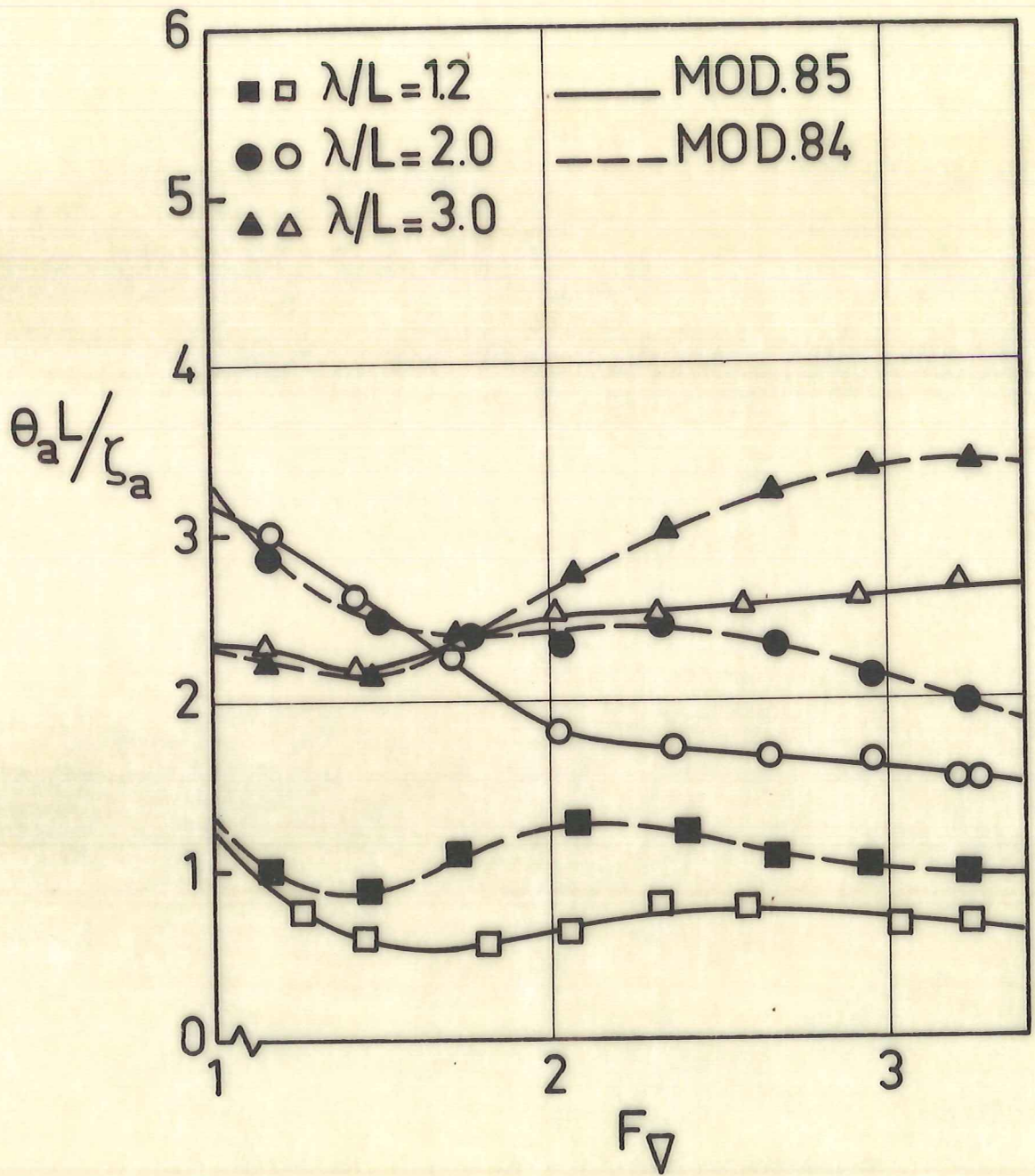


Fig.5.9. De stamp-amplituden in regelmatige golven

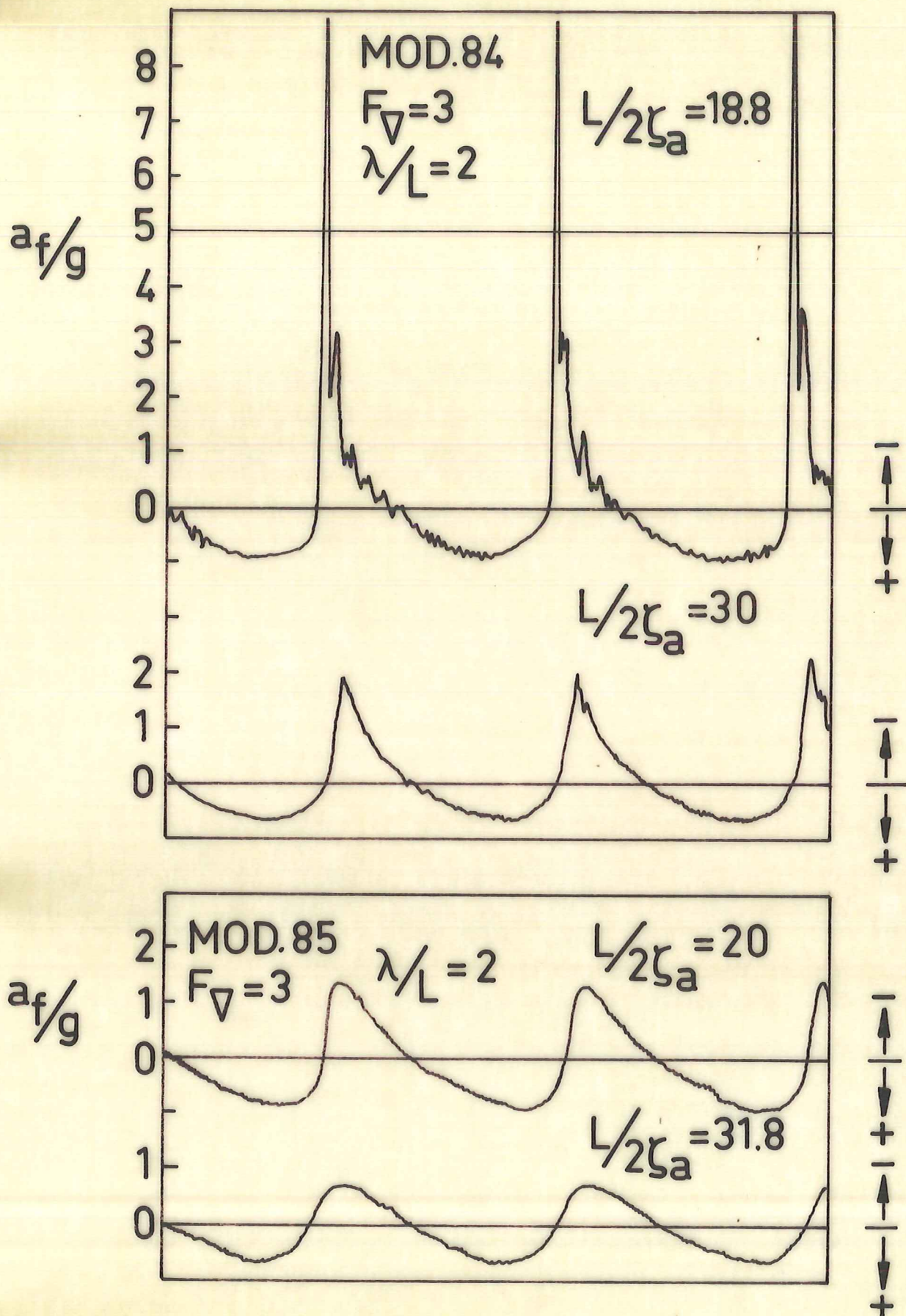


Fig.5.10. Registraties van verticale versnellingen op 0.1 L van voren
 Regelmatige golven

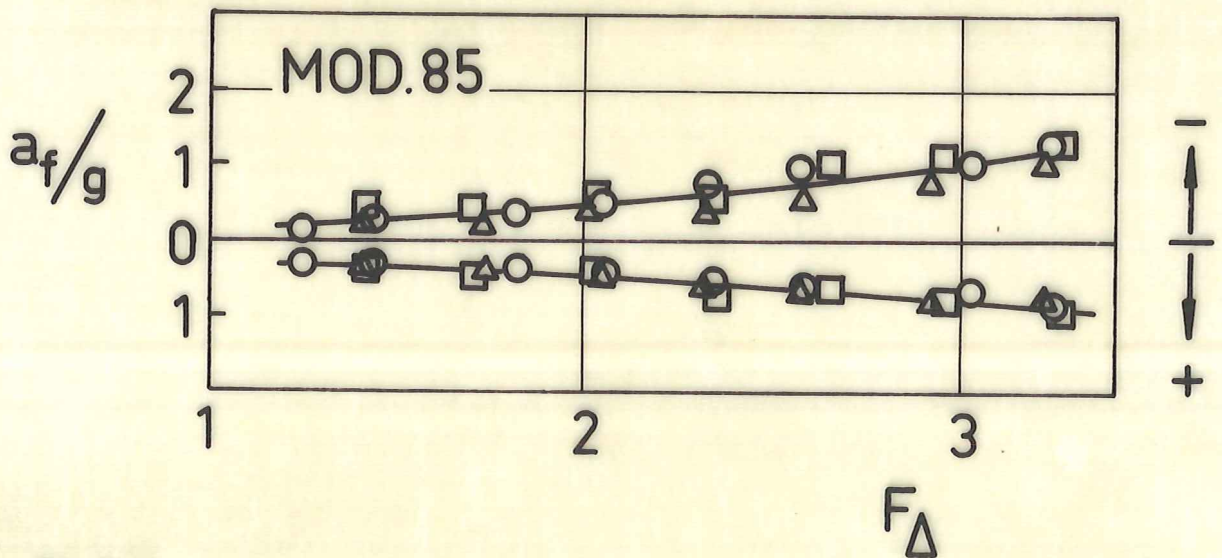
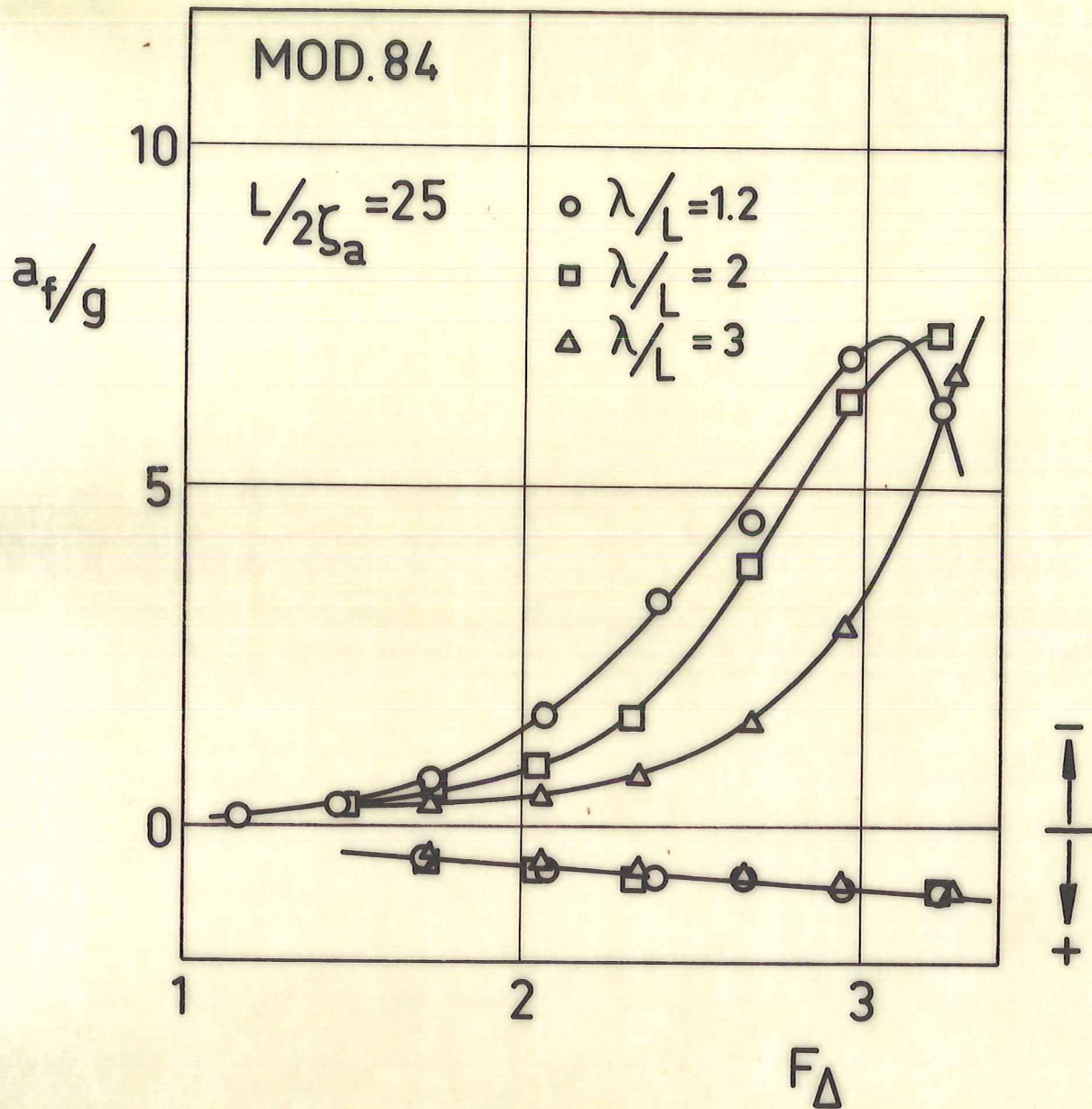


Fig.5.11. Optredende vertikale versnellingen op 0.1 L van voren
 Regelmatige golven

Vragen gesteld aan Ir. J.J. v.d. Bosch.

Vraag van Ir. O. Bussemaker.

Hoe staat het met het schaaffect bij voortstuwingsproeven met modellen van planerende schepen?

Antwoord:

Voor zover ik weet is slechts eenmaal een publicatie verschenen, waarin de resultaten werden getoond van voortstuwingsproeven op ware grootte en op modelschaal [14]. De correlatie bleek in dit geval niet zo goed te zijn en de auteurs van het artikel hebben veel moeite gedaan om een verklaring te vinden voor dit falen. Een duidelijke verklaring is evenwel niet gevonden, en dus werd het woord schaaffect gebruikt om de verschillen te dekken. Toch is dat natuurlijk bijzonder onbevredigend omdat daarmee geen fysieke verklaring werd gegeven van de geconstateerde afwijkingen. Nu moet gezegd worden dat het type schip bijzonder ongelukkig gekozen was; een oud landingbootje met een aantal aanhangsels van twijfelachtig allooi, een soort berghouten die het weer aanliggen van de spray moest voorkomen en een flap aan de spiegel die tijdens een gedeelte van de proeven omhoog geklapt was. Dergelijke aanhangsels kunnen een bron zijn van schaaffect, als de loslatingspunten niet goed gefixeerd zijn.

Uit dit antwoord kunt U de conclusie trekken dat er betrekkelijk weinig over schaaffecten bekend is, hetgeen ook samenhangt met de moeilijkheden van een voortstuwingsproef met een model van een planerend schip en met het schip zelf.

Vraag van de heer Ch. Hitters.

U sprak over hoge en lage snelheidsgebieden; kunt U deze gebieden kwantificeren?

Antwoord:

Ter illustratie van het antwoord zijn de twee figuren 6.1. en 6.2. getekend. In figuur 6.1. zijn krommen te zien van de weerstand-gewicht verhouding voor een model bij drie verschillende modelgewichten, hetgeen aangegeven is door de parameter $\frac{A}{\sqrt{2/3}}$. A is het oppervlak van de projectie van het bodemvlak op het basisvlak van de kiellijn. Een kleine waarde van $\frac{A}{\sqrt{2/3}}$ komt dus overeen met een groot gewicht. Opvallend is in de figuur dat voor het snelheidsgebied van $1 < F_{\sqrt{}} < 3$ de waarde van $\frac{R}{\Delta}$ sterk varieert met het scheepsgewicht. In figuur 6.2. is de invloed te zien die de langsscheepse ligging van het zwaartepunt heeft op $\frac{R}{\Delta}$.

Hoewel deze invloed niet zo groot is als van het gewicht is hij wel weer het meest merkbaar in het gebied van $1 < F_{\nabla} < 3$. Het is ook dit gebied waarin zich al die overgangseffecten afspelen zoals het loslaten van de stroming aan de spiegel en aan de kim.

Nu valt een groot gedeelte van de min of meer snelle jachten die tegenwoordig gebouwd worden net midden in dit gebied dat zo gevoelig is voor de belading. Aangezien de berekeningen van het gewicht en de plaats van het zwaartepunt zelden voldoende nauwkeurig uitgevoerd worden, en ook de eigenaren van de jachten nogal wat gewicht aan boord plegen te brengen, kan men nog wel eens voor onprettige verrassingen komen te staan.

Het gebied van $3 < F_{\nabla} < 4$ is daarentegen veel minder gevoelig voor de belading, al vraagt een zwaarder schip natuurlijk wel altijd meer vermogen.

Een bijkomstig voordeel van het ontwerpen voor een snelheid overeenkomende met een getal van Froude $F_{\nabla} > 2,5$ is dat men meestal een schroef kan gebruiken met een hoog rendement.

Ik zou het snelheidsgebied boven $F_{\nabla} \sim 3$ het hoge snelheidsgebied willen noemen. Voor een schip met een gewicht van ongeveer 8 ton komt $F_{\nabla} = 3$ overeen met een snelheid van $\pm 13,3$ m/sec of ± 26 kn of ± 48 km/u.

Vraag van de heer A. Tienpont.

Zijn U proeven bekend over het gedrag van draagvleugenboten in golfslag?

Zo ja, hoe was het gedrag van deze schepen in golven?

Antwoord:

Inderdaad zijn er met draagvleugenboten vrij veel proeven in golven uitgevoerd en ook zijn er goede theoretische beschrijvingen van het gedrag in golven gegeven. Enkele publicaties vindt U in de literatuurlijst. [15] [16] [17] [18] [19] [20].

In het kort kan ik daarover het volgende vertellen. De bewegingen zijn afhankelijk van het gebruikte systeem. Men kan ruwweg twee systemen onderscheiden, n.l. het passieve of ongeregelde systeem waarbij de stabiliteit verkregen wordt doordat bij grotere indompeling het vleugeloppervlak groter wordt, en het actieve systeem waarbij de vleugel geheel ondergedompeld is. Bij het tweede systeem wordt een vergroting van de lift verkregen door bijvoorbeeld een verandering van de invalshoek.

Tot nu toe is het passieve systeem commercieel het belangrijkste geweest (Supramar, Russische draagvleugelboten).

In het algemeen zijn bij dit soort schepen de bewegingen in golven op de kop iets minder hevig dan bij planerende schepen en vooral het uitblijven van stoten maakt het varen comfortabeler. De vaart met de voortplantingsrichting van de golven mee kan in hoge lange golven moeilijkheden geven omdat de orbitaalbeweging van de waterdeeltjes in de golven een vermindering van de lift veroorzaakt hetgeen in extreme gevallen kan leiden tot een "crashlanding". Het gevaar is te verminderen door het toepassen van een stijve vleugelconfiguratie waarmee een systeem bedoeld wordt waarbij de lift zeer sterk stijgt bij een vergroting van de indompeling. Bij de Supramar boten ziet men dit geïllustreerd in de sterk overhangende en de naar boven toe zeer breed wordende vleugels. Een nadeel van de stijve configuratie is dat de bewegingen in golven van voren weer heftiger worden.

In de Verenigde Staten en Canada is veel onderzoek gedaan aan het tweede type, waarbij de vleugel geheel ondergedompeld is en de invalshoek of de welving (flappen) geregeld worden door een servosysteem dat zijn informatie ontvangt van een sensor die het wateroppervlak voor aan het schip aftast. Naar ik meen gebeurt dat bij de Amerikaanse schepen op acoustische wijze, maar het kan ook mechanisch, zoals het systeem van de Engelsman Hook laat zien.

De geregelde systemen bieden in principe veel meer mogelijkheden. Ze zijn echter duur.

Volgens de berichten zijn de bewegingen van deze schepen veel geringer dan van de boten met ongeregelde vleugels. Moeilijkheden met achterin komende golven kunnen vermeden worden.

Vraag van de heer A.J. van Wijk.

Kunt U aangeven hoe een "waterjet" moet functioneren? Bedoeld is de stand van de uitlaat en de richting van de stuwkracht.

Antwoord:

Het is moeilijk om een algemeen antwoord op deze vraag te geven. Welke richting van de stuwstraal optimaal is hangt af van het schip en de snelheid. In zekere zin kan de stuwstraal de trim van het schip corrigeren als dat nodig is. Als het gaat om een planerend schip varend met een optimale trimhoek van bijv. 4 graden, dan heeft het zin de straal onder een hoek van ongeveer 6 graden met de kiellijn van het schip naar beneden te richten. De stuwkracht krijgt daardoor een opwaarts gerichte component die een gunstige invloed heeft op de weerstand.

Vraag van onbekende vraagsteller.

Welk verband bestaat er tussen de afmetingen van een aan te brengen trimvlak en de afmetingen van het vaartuig?

Bedoelt U met 2 à 3 graden helling van het trimvlak een hoek t.o.v. de waterlijn of t.o.v. het vlak?

Antwoord:

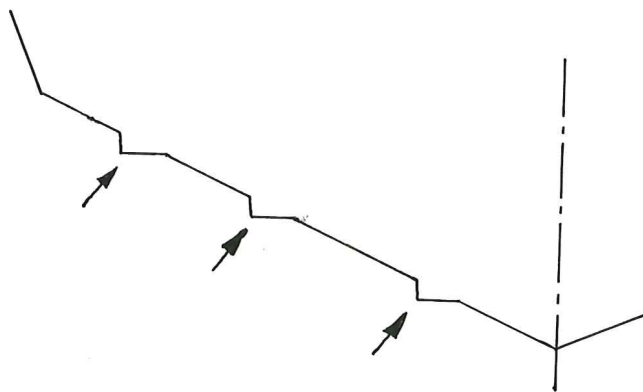
Wat betreft de afmetingen van een trimvlak kan ik zeggen dat het het gunstigst is het trimvlak over de volle breedte van de spiegel aan te brengen.

Wat betreft de lengte, geloof ik dat ongeveer drie procent van de scheepslengte voldoende is, hoewel ik niet kan zeggen of dat nu juist de optimale maat is.

De genoemde hoek van 2 à 3 graden is de hoek t.o.v. het bodemvlak.

Vraag a van de heer Leemhuis:

Wat voor invloed hebben in onderstaande figuur aangegeven stringers op de weerstand?



Vraag b van de heer Takens:

Zou U kunnen zeggen of er een onderzoek heeft plaats gevonden en is gepubliceerd over het gebruik van "spray rails" langsscheeps op het vlak en de invloed daarvan op dwarsscheepse stabiliteit, snelheid, koersstabiliteit, lift, trimhoek?

Antwoord op de vragen a en b:

De werking van de "sprayrails" is gecompliceerd. Mij zijn slechts twee publicaties hierover bekend, die beide overigens betrekkelijk nietszeggend zijn. Vast staat dat bij niet zeer hoge snelheden de "sprayrails" alleen de "spray" afbuigen en verder wat extra weerstand geven. Bij werkelijk hoge snelheden hebben ze wel enige invloed op het gedrag van het schip.

Op de weerstand, doordat het nat oppervlak iets kleiner wordt als de stroming loslaat aan een rail binnen de kim. Dit heeft waarschijnlijk ook enige invloed op de trimhoek, die misschien gemiddeld iets groter zal worden, waardoor het nat oppervlak nog kleiner wordt. De dwarsscheepse stabiliteit voor kleine hoeken wordt kleiner en ik kan me voorstellen dat in extreme gevallen het schip neiging krijgt op één oor te gaan varen. Dit geldt dus bij rechtuitvarend schip. In de bocht ligt de zaak anders. Stel dat men met een planerend schip met V-spanten een bocht naar bijv. bakboord wil maken. Men geeft b.b. roer waardoor de achterzijde van het schip naar stuurboord gedrukt wordt en het gehele schip in een "sideslip" naar de stuurboordzijde komt. Daardoor wordt de invalshoek op de b.b. zijde van het vlak kleiner, en op de s.b. zijde groter, waardoor de opwaartse kracht op de b.b. zijde minder wordt en op de s.b. zijde groter. Het schip gaat dus hellen naar de binnenzijde van de bocht. Aangezien de s.b. zijde van het vlak steiler komt te staan, wordt de opwaartse component van de kracht op dit deel van het vlak ook kleiner. Het schip krijgt dus de neiging dieper te zinken op het b.b. deel van het vlak. Als dit proces zo ver gaat dat het convexe deel aan de voorzijde van het vlak in het water komt dan vermindert de lift nog meer en wordt de helling naar b.b. nog groter. Door de sprayrails wordt de neiging tot hellen verminderd doordat de vlakke onderzijden van de rails een grotere invalshoek krijgen door de combinatie van helling en "sideslip".

Vragen van de heer J.A.M. Kramer
oorspronkelijk aan Ir. A.W. Ruys gesteld

Vraag 1.

Uit bij het ontwerpen van motorjachten verkregen ervaring kan ik vrij goed schatten of een motorjacht zijn spiegel al of niet "droog zal varen.

Bestaan hiervoor echter formules of andere gegevens?

Antwoord:

Bij schepen met een duidelijke scherpe afscheiding tussen de spiegel en het vlak, zal de snelheid waarbij de spiegel droog komt overeenkomen met een getal van Froude iets groter dan $\frac{V}{L} = 0,4$. Het corresponderende getal van Froude, betrokken op het scheepsgewicht is dan ongeveer $F_V \sim 0,9 \text{ à } 1,1$ afhankelijk van de slankheidsgraad. Erg nauwkeurig is dit gegeven echter niet.

Vraag 2.

Bestaat er voor verschillende getallen van Froude in het nare gebied waarin de meeste jachten zitten (echter onder het planeergebied) een "ideale" verdeling van de waterverplaatsing over de lengte en een ideale positie van F (in lengte)?

Antwoord:

Zover ik weet is er geen geschrift waarin dit direct panklaar te vinden is. Wel zijn er enkele publicaties waaruit na het nodige graafwerk vermoedelijk wel iets te halen is. [5] [6] [21] [22]

Uitbreiding bibliografie.

- 14 Blount, D.L., Stuntz, G.R., Gregory, D.L., Frome, M.J.
"Correlation of Full-Scale Trials and Model Tests for a Small
Planing Boat"
Trans. R.I.N.A. Vol. 111 1969
- 15 Kaplan, P. en Jacobs, W.R.
"Dynamic Performance of Scaled Surface-Piercing Hydrofoil Craft in
Waves"
Davidson Laboratory Report 704 June 1959
- 16 Kaplan, P.
"Longitudinal Stability and Motions of a Tandem Hydrofoil System
in a Regular Seaway"
Davidson Laboratory Report 517 December 1959
- 17 Leehey, P. en Steele, J.M.
"Experimental and Theoretical Studies of Hydrofoil Configurations in
Regular Waves"
D.T.M.B. Report 1140 1957
- 18 Bernicker, R.P.
"Hydrofoil Motions in Irregular Seas"
Davidson Laboratory Report 909 November 1962
- 19 Bernicker, R.P.
"Heaving and Pitching Motions of Superventilated Hydrofoil Craft in
Irregular Seas"
Davidson Laboratory Report 958 June 1963
- 20 Walderhaug, H. Aa.
"A Note on Seakindliness of Hydrofoil Vessels as Influenced by Foil
Characteristics and Centre of Gravity Position"
Norwegian Ship Model Experimental Tank
Publication No. 90 November 1965

- 21 Nordström, H.F.
"Some Tests with Models of Small Vessels"
Medd. Statens Skeppsprovninganstalt Nr. 19, 1951
- 22 de Groot, D.
"Weerstand en Voortstuwing van Motorboten"
Publ. no. 93 NSP 1951
ISP Vol. 2 no. 6 1955
Schip en Werf maart 1951

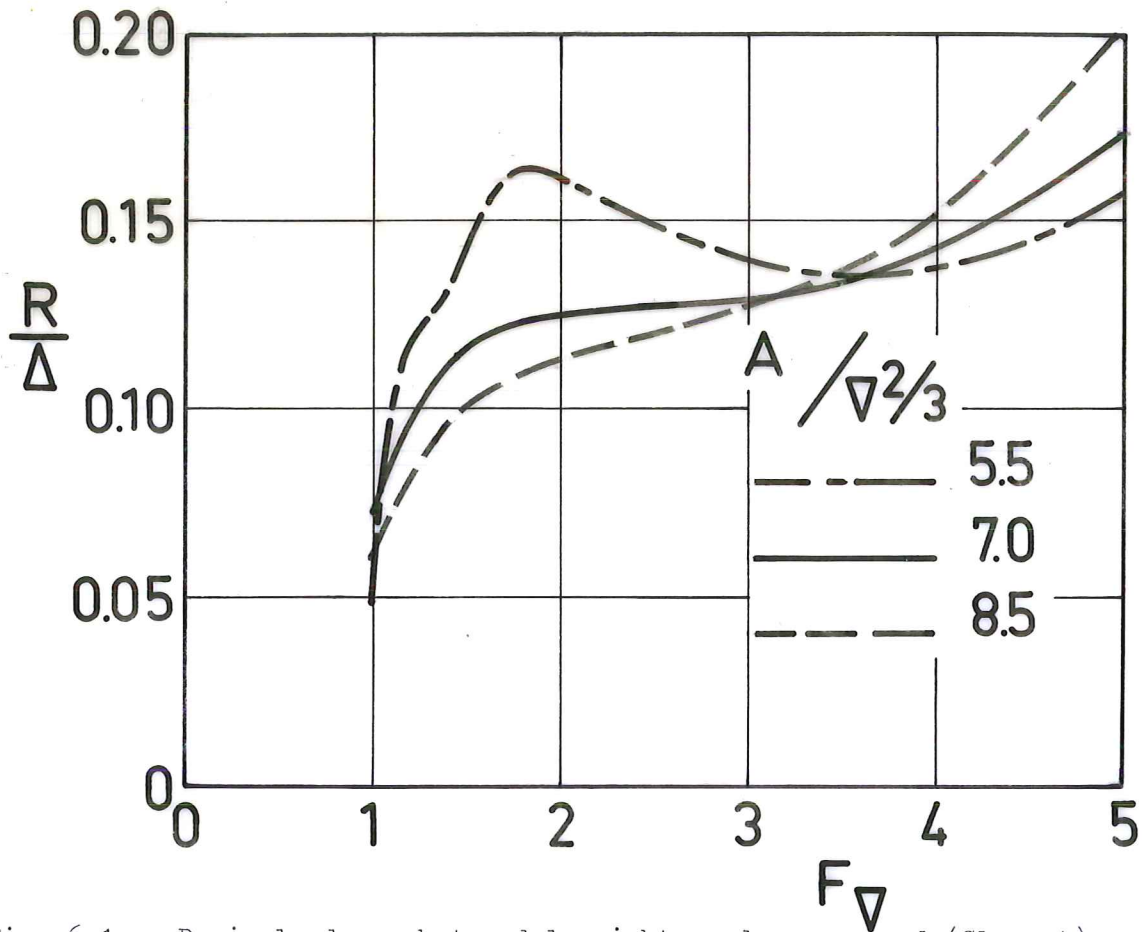


Fig. 6.1. De invloed van het modelgewicht op de weerstand (Clement)

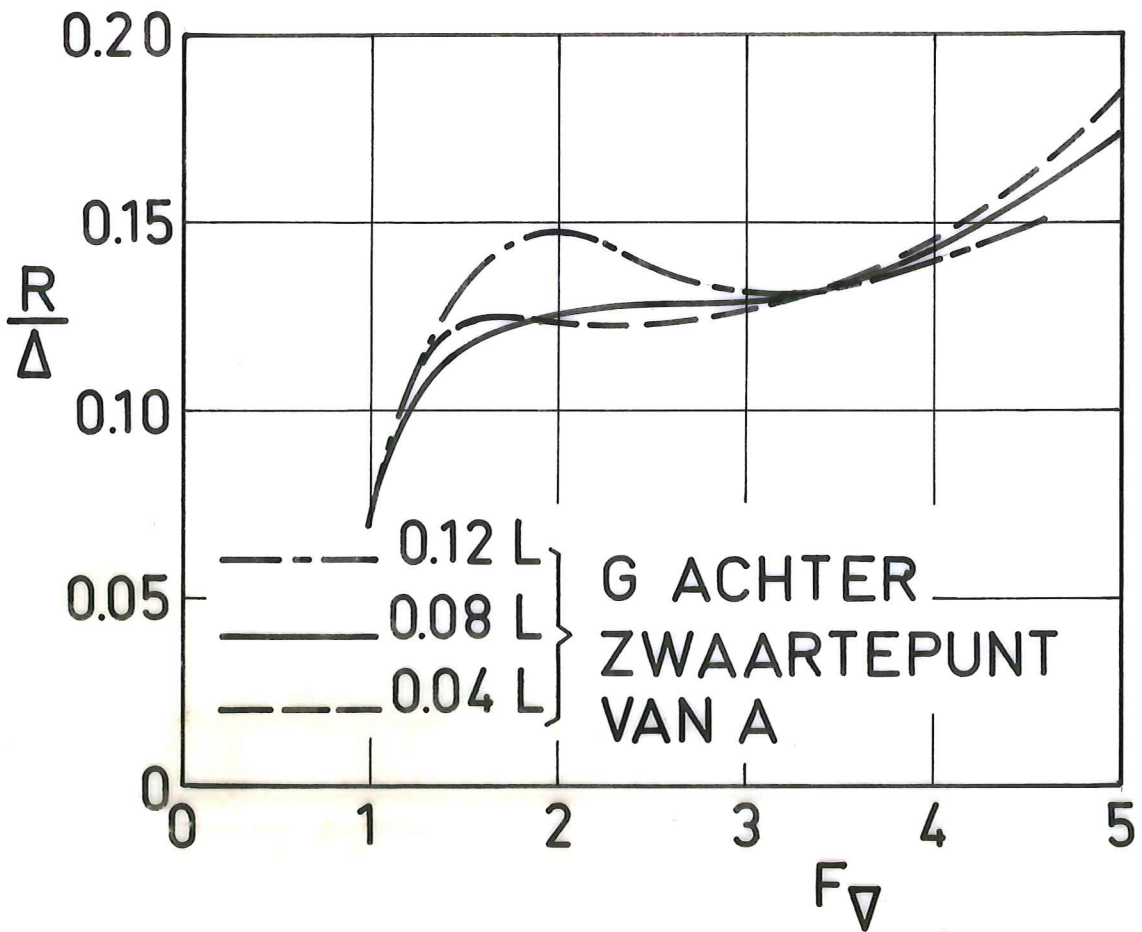


Fig. 6.2. De invloed van de ligging van het gewichtszwaartepunt op de weerstand (Clement)

$$A / \Delta^{2/3} = 7.0$$