

MINISTERIE VAN LANDBOUW  
Bestuur voor Landbouwkundig Onderzoek  
Commissie voor T.W.O.Z.  
(Voorzitter : F. LIEVENS, Directeur-Generaal)

---

BEREKENINGSMETHODES  
bij  
VERGELIJKEND BORDENONDERZOEK  
op  
MODEL

---

Ir. W. ARTEEL

Werkgroep "Techniek in de Zeevisserij"

Juli 1967

## I N L E I D I N G

---

In het rapport "Dynamisch Modelonderzoek op Twee Typen Visborden" werd er op gewezen, dat het praktisch niet mogelijk was de vereiste factoren rechtstreeks op te meten, omdat dit onder water diende te geschieden. Daarom werd een verband gezocht tussen de vereiste, moeilijk meetbare factoren en een aantal andere factoren, die (op het vaartuig) wel meetbaar waren.

De vereiste factoren om borden in hun dynamische gedragingen te beoordelen zijn :

- 1) de weerstand van het bord ( $W_b$ ),
- 2) de zijdelingse scheerkracht ( $Z_b$ ) en
- 3) de scheerhoek ( $\alpha_s$ )

Teneinde deze factoren toch te kunnen bepalen, werden metingen op volgende elementen uitgevoerd :

- 1) de totale trekkracht van borden en net (T),
- 2) de weerstand van het net (N),
- 3) de openingshoek van de kabels ( $2\beta'$ ) en
- 4) de snelheid (v)

Het onderhavig rapport beoogt de analyse van de vereiste factoren, alsmede het bepalen van het verband tussen deze factoren en de gemeten factoren.

Een bijkomende betrachting van dit rapport is de samenhang in het gedragingspatroon van het vistuig met formules vast te leggen.

Bij de analyse worden enkele veronderstellingen gemaakt. Deze veronderstellingen zijn op een logische gedachtengang gebaseerd en zullen in de loop van de uiteenzettingen voldoende toegelicht worden om hun invoering te rechtvaardigen. Deze veronderstellingen kunnen natuurlijk een bepaald percentage van de werkelijkheid afwijken, maar dit zal waarschijnlijk niet te hoog liggen daar het gaat om een logische veronderstelling.

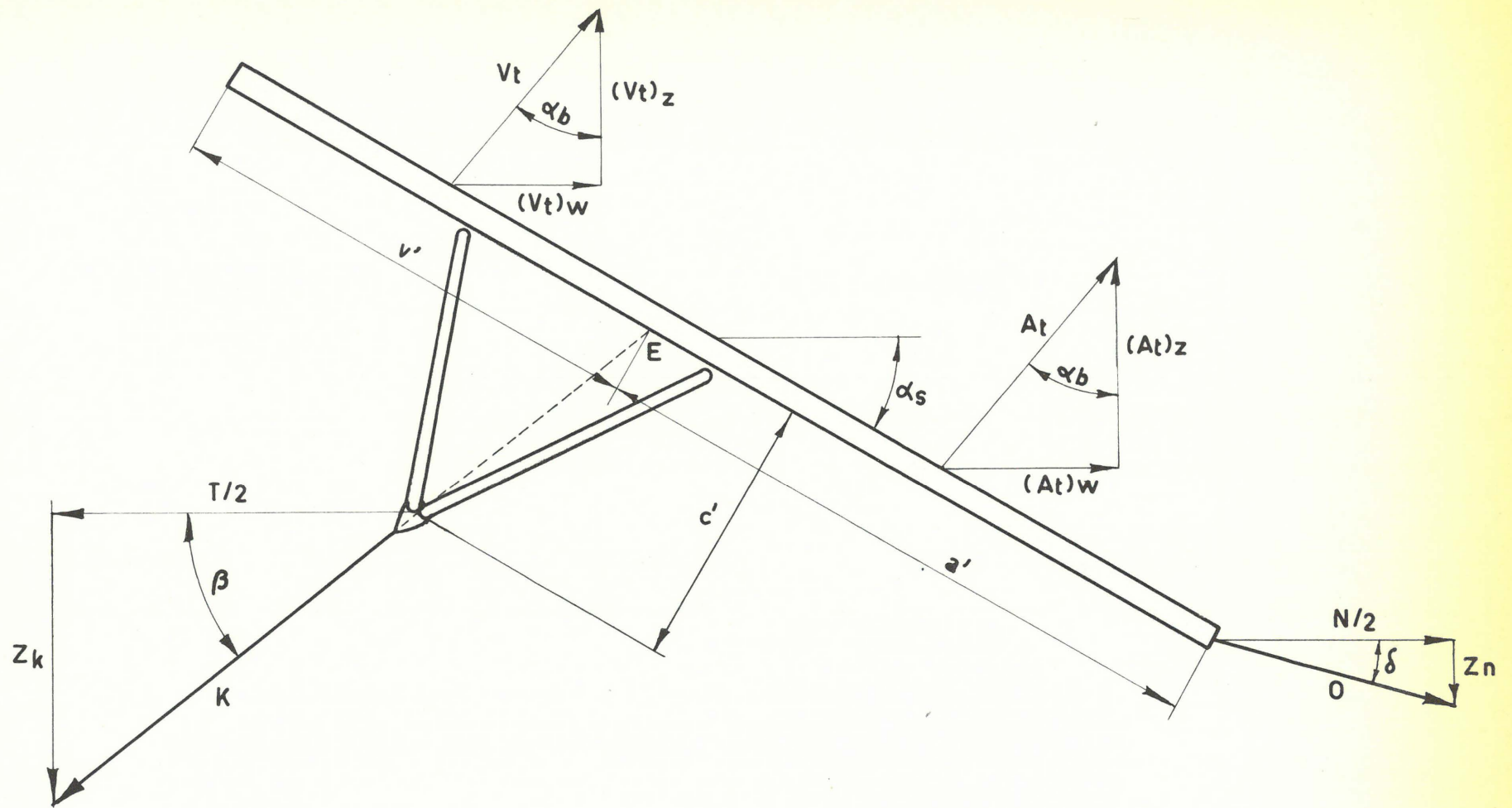
In elk geval ligt het in de bedoeling de veronderstellingen in een verder onderzoeksprogramma in te lassen, zodat de juiste waarden zullen kunnen bepaald worden, waaraan de huidige veronderstellingen getoetst zullen worden.

Er moet hier echter onmiddellijk aan toegevoegd worden dat hier de veronderstellingen de gewenste waarden slechts gedeeltelijk beïnvloeden, zodat een eventuele afwijking van de werkelijkheid dan nog maar gedeeltelijk zijn invloed heeft op het uiteindelijke resultaat.

#### HOOFDSTUK I.- Evenwichtsvergelijking volgens de vaar- richting.

---

De berekeningen die de analyse van de factoren uitmaken, kunnen best gevolgd worden aan de hand van een eenvoudige figuur. De figuur 1 stelt een bovenzicht van een rechts visbord voor, waaraan de trekkabel en de oplanger bevestigd zijn. De verklaring van



Figuur 1.

KRACHTVERDELING OP VISBORD

de gebruikte symbolen kan gevonden worden in een symbolenlijst achteraan.

De krachten die op het bord inwerken zijn, behalve zijn eigen weerstand in de stroming en het slijk, de trekkracht in de kabel en de belasting in de oplangers als gevolg van de netweerstand.

In een evenwichtspositie moet de som van de krachten, volgens een bepaalde richting geprojecteerd, gelijk zijn aan nul.

De projectie volgens de vaarrichting levert volgende betrekking op :

$$(V_t + A_t)_w = T/2 - N/2 \quad (1)$$

Hierbij zijn de waarden van T en N gemakkelijk te bepalen door trekmetingen aan boord van het vaartuig.

Voor  $T/2$  kan de helft genomen worden van de opgemeten waarden van de trekkracht bij de normale sleepproeven met borden. Hierbij wordt de weerstand van de trekkabels in het water verwaarloosd, maar dit blijkt aanneembaar daar deze waarde kleiner is dan de gewenste nauwkeurigheid bij de trekmetingen van 0,5 kg (diameter kabel = 3 mm).

De waarden  $N/2$  werden bepaald door het net achteraf, afzonderlijk aan een korrestok met schaatsen te bevestigen, met een opening die overeenkwam met de voordien opgemeten opening van het net. Voor deze netopening werd aldus de weerstand van het net en de korrestok bepaald in functie van de snelheid. Analoge proeven werden nader uitgevoerd met de korrestok zonder net.

Het verschil tussen de weerstand van korrestok met net en de weerstand van korrestok zonder net geeft de gewenste netweerstand  $N$  volgens de vaarrichting voor de overeenstemmende opening van het net als bij de sleepproeven met de borden.

Nu volgt uit overwegingen in verband met de gewichtsverdeling bij het net en uit het feit dat de zware onderpees en de buikzijde ( $\pm 2/5$  net) over de bodem (in het slijk) gesleept worden, dat mag worden aangenomen dat de onderste oplangers 90 % van de totale netweerstand opnemen, terwijl de bovenste slechts 10 % ervan te verwerken krijgen.

In vergelijking (1) is het rechter lid dus te bepalen door eenvoudige trekmetingen en hoekmetingen. Dit geeft tenslotte de totale bordweerstand volgens de vaarrichting.

## HOOFDSTUK II.- Horizontale evenwichtsvergelijking loodrecht op de vaarrichting.

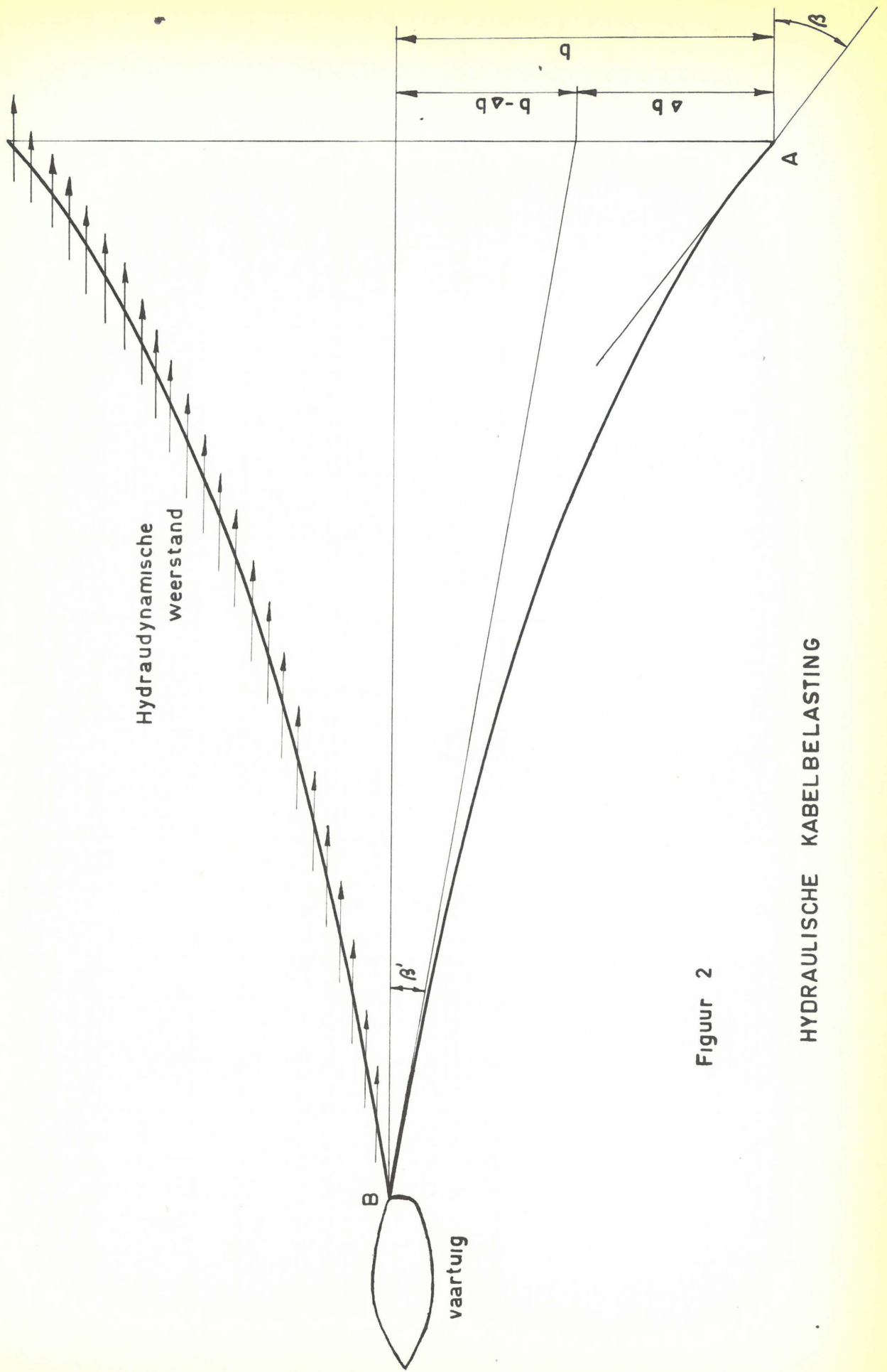
---

### A. De evenwichtsvergelijking.

Uit figuur 1 kan eveneens, volgens de richting loodrecht op de vaarrichting, een evenwichtsvergelijking opgesteld worden :

$$(V_t + A_t)_z = Z_k + Z_n \quad (2)$$

Hierin zijn alle waarden onbekend en zij blijken niet eenvoudig door rechtstreekse metingen bepaald te kunnen worden. Daarom is het noodzakelijk andere betrekkingen op te stellen waarin



Figuur 2

HYDRAULISCHE KABELBELASTING

alleen gekende factoren of factoren die kunnen bepaald worden, voorkomen.

De volgende betrekkingen kunnen een oplossing brengen :

$$Z_k = T/2 \operatorname{tg} \beta \quad (3)$$

$$Z_n = N/2 \operatorname{tg} \delta \quad (4)$$

Hierin zijn  $T/2$  en  $N/2$  reeds gekende grootheden, zodat tenslotte het probleem herleid wordt tot het bepalen van de hoeken  $\beta$  en  $\delta$ . Deze waarden volgen respectievelijk uit de kabelvorm en uit de belastingsverdeling op de pees.

#### B. De vorm van de trekkabels in horizontaal plan.

Niettegenstaande de spanning is de vorm van de trekkabels niet rechtlijnig. Inderdaad, de spanning is niet de enige belasting op de trekkabels, ook de hydrodynamische weerstand van de kabels, hoe gering ook t.o.v. de trekspanning, heeft een belangrijke invloed op de vorm van de kabels.

In figuur 2 is deze vorm weergegeven. Uit reden van symmetrie zijn de twee kabelvormen gelijk.

De in het punt B samenkomende kabels vormen er met de symmetrie-as de hoek  $\beta$  die gemakkelijk te meten is. Deze hoek  $\beta'$  is kleiner dan de hoek  $\beta$  in het punt A die bepaald zou moeten worden.

Door deze uitspringende vorm van de kabels is de afstand tussen de borden  $2b$ , dus 2 maal  $\Delta b$  groter dan de afstand volgens



het verlengde van de raaklijnen aan de kabels in B, nl.  $2(b - \Delta b)$ . De waarde van  $\Delta b$  blijkt functie te zijn van verschillende factoren, waaronder voornamelijk de snelheid, de kabellengte, de kabeldiameter, de kabelsamenstelling en de diepte van het water dienen vermeld te worden.

Voor normaal voorkomende gevallen van kabellengte en net-opening heeft P.C. Crewe (1) door proefnemingen bepaald, dat  $\Delta b$  met een goede benadering kan gelijk gesteld worden aan 15 % van de afstand  $(b - \Delta b)$ , berekend volgens de raaklijnen in B. Voor wat betreft de vorm van de kabels, die te wijten is aan de stroming van het water tegen en rond de kabel mag, zoals dit bij het bepalen van de vorm van de pees uitvoerig behandeld is (2), verondersteld worden, dat het hier om een belasting gaat die gelijkmatig over de openingsbreedte verdeeld is, zodat de kabelvorm een kromme van de tweede graad is met als vergelijking in een oordeelkundig gekozen assenkruis :

$$y = a x^2 \quad (5)$$

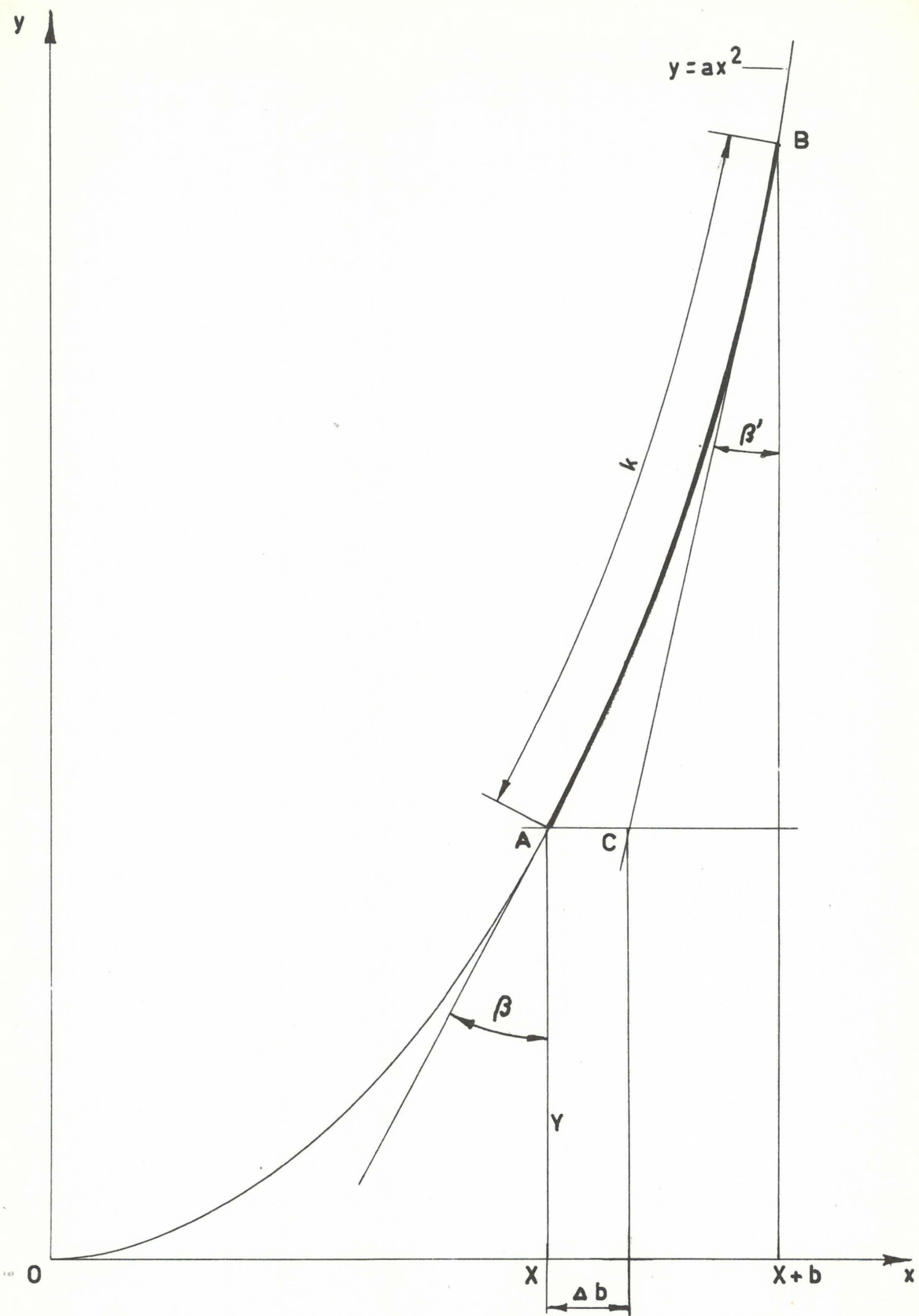
Hierin is  $a$  een onbekende waarde, die echter bepaald kan worden door de kennis van de kabellengte en de hoek  $\beta'$ .

Figuur 3 stelt een kromme voor die aan de vergelijking (5) voldoet. Op de figuur is een stuk AB aangegeven dat de kabel voorstelt, te beginnen van in B bij het vaartuig, tot in A bij het bord.

---

(1) P.R. Crewe : Some of the General Engeneering Principles of Trawl Gear Design - Modern Fishing Gear of the World 2 - blz. 171.

(2) Zie blz. 8.



Figuur 3

VERBAND  $\beta'$ - $\beta$  BIJ KABELVORM

Aan dit laatste punt werd de absis  $X$  toegekend, zodat de absis van  $B$  wordt  $X + b$ , gezien de horizontale afstand tussen de borden  $2b$  is.

Indien  $Y$  de ordinaat van het punt  $A$  voorstelt dan is zijn waarde :

$$Y = a X^2 \quad (6)$$

Door de afstand  $BC$  gelijk te stellen aan  $k$ , wat een zeer kleine, verwaarloosbare fout inhoudt, gezien  $\Delta b$  slechts 15 % van  $b - \Delta b$  is en de kabellengte  $k$  bijna 10 maal zo groot is als de afstand  $b$ , bekomt men voor de ordinaat  $B$  :

$$Y + k \cos \beta' = a (X + b)^2 \quad (7)$$

Deze laatste twee betrekkingen geven aanleiding tot een nieuwe vergelijking :

$$k \cos \beta' = 2 a X b + a b^2 \quad (8)$$

Als nu de helling van de raaklijn in  $B$  beschouwd wordt, dan is deze enerzijds gelijk aan  $\cotg \beta'$  en anderzijds de eerste afgeleide van de betrekking (5) voor  $x = X + b$ , of m.a.w. :

$$\cotg \beta' = 2a (X + b) \quad (9)$$

Door deze betrekking (9) met  $b$  te vermenigvuldigen en daarvan de betrekking (8) af te trekken, kan de waarde van  $a$  bepaald worden :

$$a = \frac{b \cotg \beta' - k \cos \beta'}{b^2} \quad (10)$$

Door de kennis van  $k$  en  $\beta'$  kan  $b - \Delta b$  berekend worden, waardoor volgens de gegevens uit de literatuur ook  $b$  bepaald kan worden (1).

De vergelijking (10) geeft de waarde van  $a$  voor de vergelijking (5); verder is de kabelvorm volledig bepaald, zodat ook de vereiste waarde van  $\beta$  berekend kan worden door de betrekking:

$$\cotg \beta = 2 a X \quad (11)$$

of rekening houdend met formule (9)

$$\cotg \beta = \cotg \beta' - 2 a b \quad (12)$$

Aldus zijn in verband met  $Z_k$  alle waarden gekend en kan overgegaan worden tot het bepalen van  $Z_n$ .

C. De vorm van de boven- en onderpees.

Voor het bepalen van  $Z_n$  moet de waarde van de hoek  $\delta$  van de bovenste en onderste oplanger bepaald worden. Dit is mogelijk uit de kennis van de horizontale afstand van de borden, de lengte van de oplangers en pees en de belastingsverdeling op de pees.

---

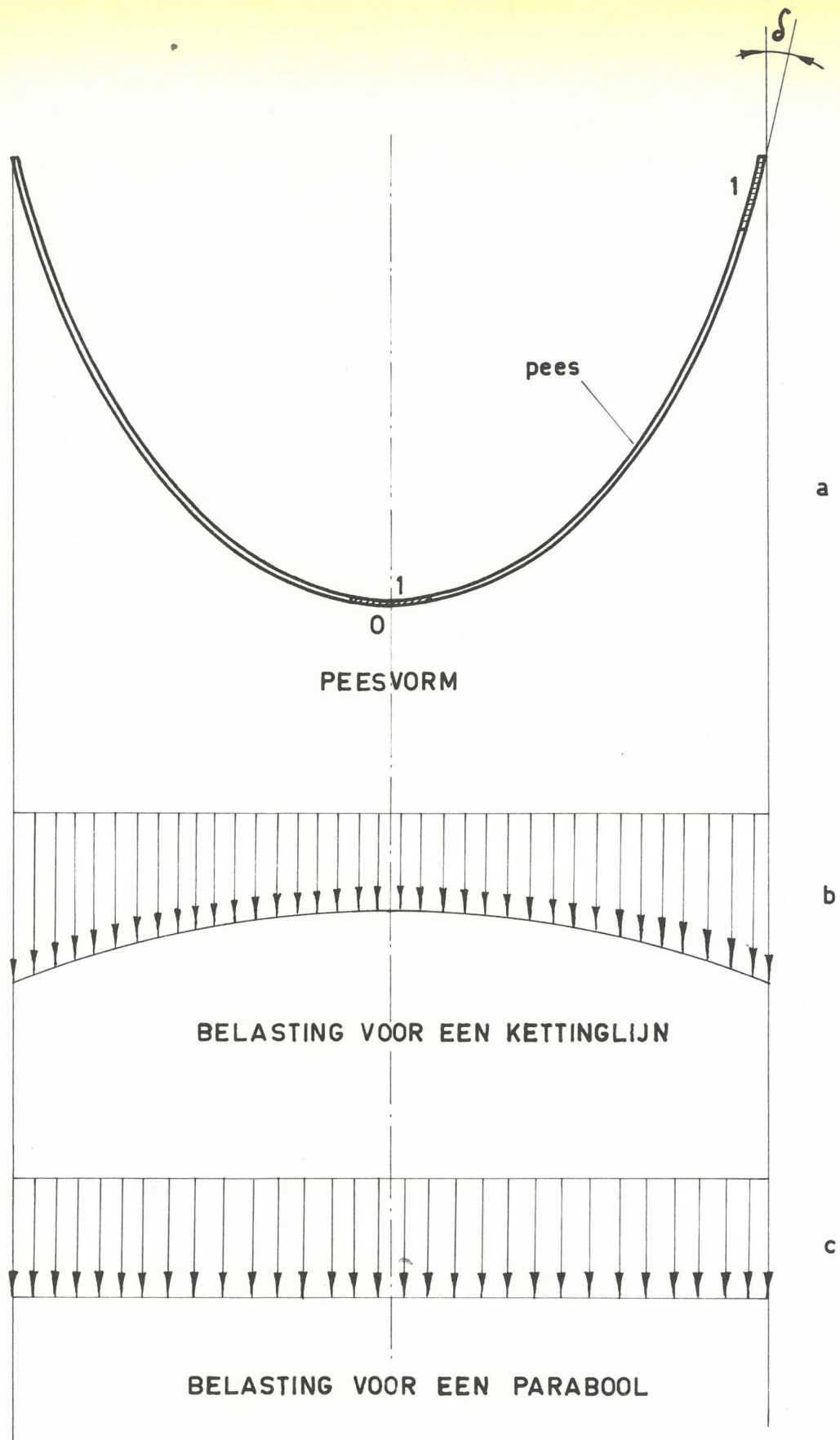
(1) Zie blz. 6.

De belastingsverdeling en de vorm van de pees zijn twee grootheden die aan elkaar gebonden zijn. P.R. Crewe veronderstelt de peesvorm als een kettinglijn. Een dergelijke vorm vereist een eenparig verdeelde belasting over de pees"lengte", zodanig dat volgens de breedte een belastingsverdeling bekomen wordt die weergegeven is in figuur 4 b. Dit betekent dat, tengevolge van de slijkweerstand en de weerstand van een trechtersvormig net, de weerstand van een eenheidslengte in het midden van de pees en de weerstand van een eenheidslengte bij de oplanger even groot is, hetgeen moeilijk kan worden aangenomen.

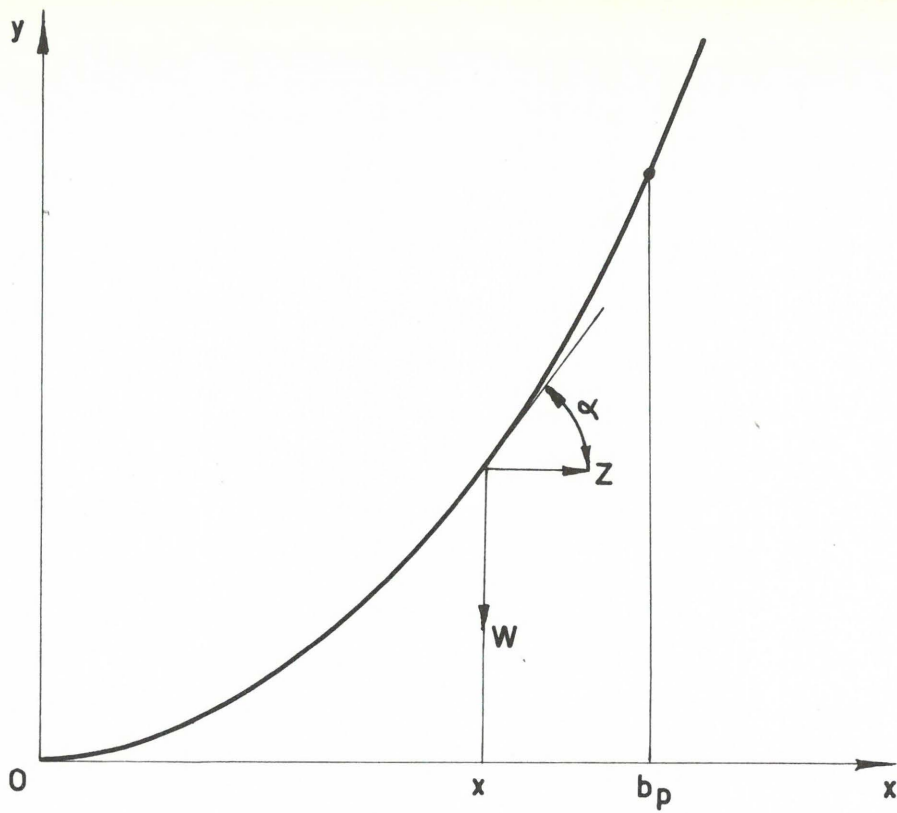
Inderdaad is bij de oplanger de pees schuin t.o.v. de vaarrichting en zal een eenheidslengte daar minder belast zijn dan een eenheidslengte, loodrecht op de vaarrichting, zoals in het midden van de pees. Dit betekent dat de belasting over de breedte eerder eenparig zal verdeeld zijn, zoals in figuur 4 c voorgesteld.

Een dergelijke belastingsverdeling brengt een vorm teweeg die geen kettinglijn is, maar waarvan de vergelijking kan worden bepaald in de veronderstelling dat de zijdelingse komponente konstant blijft:

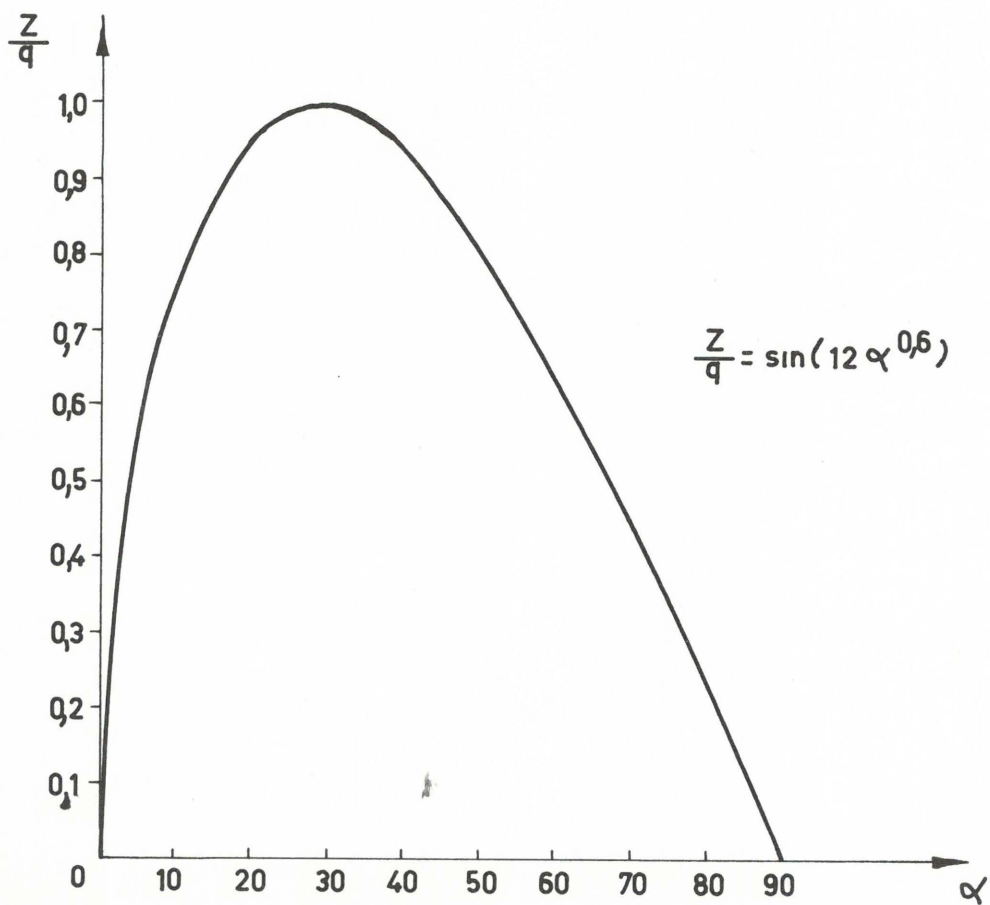
Deze laatste veronderstelling is echter niet juist, daar de zijdelingse komponente varieert langs de gebogen pees. Deze variatie kan als volgt aangegeven worden : indien  $\alpha$  de helling van de pees genoemd wordt (zie figuur 5), voor  $\alpha = 0$  is er geen zijdelingse komponente, dus  $Z = 0$  ; eveneens voor  $\alpha = 90^\circ$  is de zijdelingse komponente nul. Het is algemeen bekend dat een dergelijke zijdelingse komponente een maximum heeft bij een waarde van  $\alpha$  die kleiner is dan  $45^\circ$ , zijnde bv.  $30^\circ$ . Het verloop van  $Z$  in functie



Figuur 4



Figuur 5 TOTALE PEESBELASTING



Figuur 6 ZIJDELINGSE BELASTINGSVERDELING OP DE PEES

van  $\alpha$  is voorgesteld door figuur 6 en kan door volgende vergelijking weergegeven worden :

$$Z = q \sin (12 \alpha^{0,6}) \quad (13)$$

waarin  $q$  een funktie is van de totale zijdelingse weerstand van de pees, die op zijn beurt funktie is van de samenstelling en het gewicht van de pees, alsook van de bodemgesteldheid en de netweerstand.

In de huidige stand van het onderzoek zijn echter onvoldoende gegevens voorhanden en kan eenvoudigheidshalve verondersteld worden dat de komponente  $Z$  een konstante is.

De vorm van de pees wordt dan ook bepaald door een eenparig verdeelde weerstandsbelasting over de breedte en een konstante zijdelingse komponente. Dit blijkt reeds een verbetering te zijn t.o.v. de kettinglijn, omdat, zoals reeds werd uiteengezet, een eenparig verdeelde weerstand over de breedte blijkbaar meer de werkelijkheid benaderd dan de weerstandsverdeling van de kettinglijn, waarbij de zijdelingse komponente ook konstant is.

De vergelijking van de pees volgt uit het volgende : daar de helling van de raaklijn in een bepaald punt van de kromme bepaald wordt door de inwerkende krachten, kunnen volgende gelijkheden opgesteld worden :

$$\operatorname{tg} \alpha = y' = \frac{W}{Z} = \frac{p}{Z} x = 2ax \quad (14)$$



De waarde  $p/Z$  is een konstante waarde, omdat  $P$  en  $Z$  konstanten zijn.

Door integratie van de vergelijking  $y' = 2ax$  en door de keuze van het assenkruis (figuur 5), bekomt men tenslotte als vergelijking voor de pees :

$$y = ax^2 \quad (15)$$

De vergelijking komt overeen met formule (5) voor de vorm der trekkabels.

Om de waarde van de coëfficiënt  $a$  te bepalen, beschikt men hier echter over andere gegevens dan bij de trekkabel, met name zijn deze gegevens nu de lengte van de pees en de openingsbreedte van de pees.

In feite moet de openingsbreedte van de pees nog bepaald worden, omdat het net aan de borden bevestigd is met oplangers van lengte  $o$  en omdat het bord onder een bepaalde hoek  $\alpha$  staat. Voor borden weet men dat  $\alpha$  nabij  $30^\circ$  is, zodat daarmee de afstand tussen de achterzijde van de borden gelijk mag genomen worden aan de afstand tussen de samenkomende punten van de beugelknieën (figuur 7), die door de waarde  $2b$  voorgesteld wordt en reeds gekend is.

Voor de pees blijft aldus een openingsbreedte van :

$$2b_p = 2b - 2 \cdot o \cdot \sin \alpha \quad (16)$$

Hierin is  $\delta$  een onbekende waarde, maar kan eenvoudig door opeenvolgende benaderingen juist bepaald worden. Door ondervinding kan de juiste  $\delta$ -waarde gemakkelijk geschat worden, zodat de berekening van  $\delta$  achteraf tenslotte slechts een controle is of ten hoogste een kleine correctie vereist.

Om deze controle en correctie te kunnen uitvoeren, moet eerst de waarde van de coëfficiënt  $a$  van de vergelijking (15) bepaald worden. Dit gebeurt door de uitdrukking van de lengte van de pees uit te werken als volgt :

$$s = \int_0^{b_p} \sqrt{1 + y'^2} dx$$

$$s = \int_0^{b_p} \sqrt{1 + 4a^2 x^2} dx$$

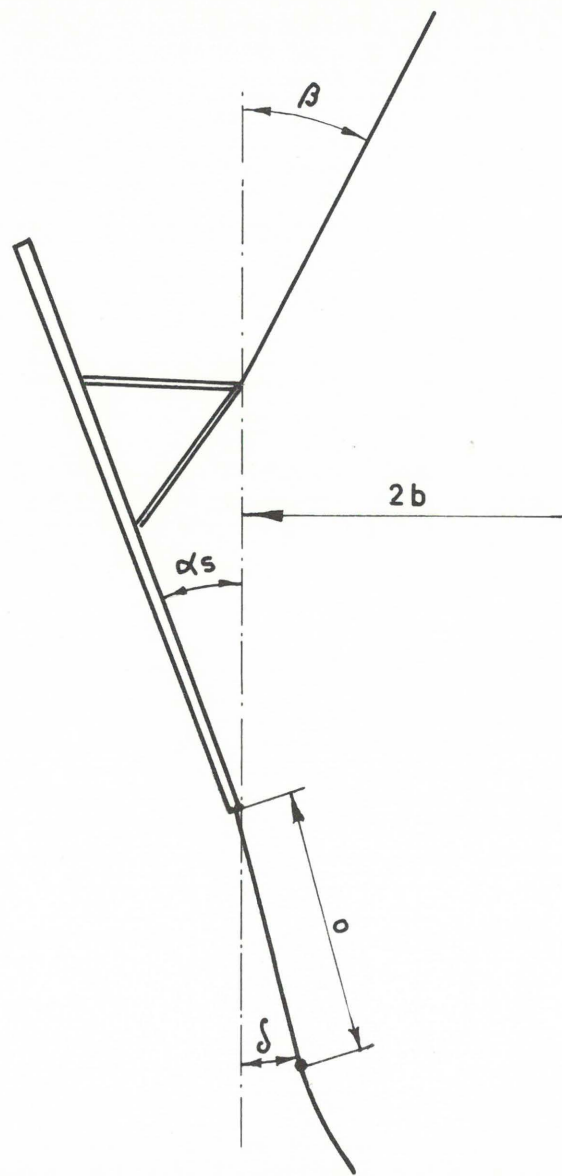
$$s = \frac{1}{4a} \left[ 2ax \sqrt{1 + 4a^2 x^2} + \arg \operatorname{sh} 2ax \right]_0^{b_p}$$

$$2s = \frac{1}{2a} \left[ 2ab_p \sqrt{1 + 4a^2 b_p^2} + \arg \operatorname{sh} 2ab_p \right] \quad (17)$$

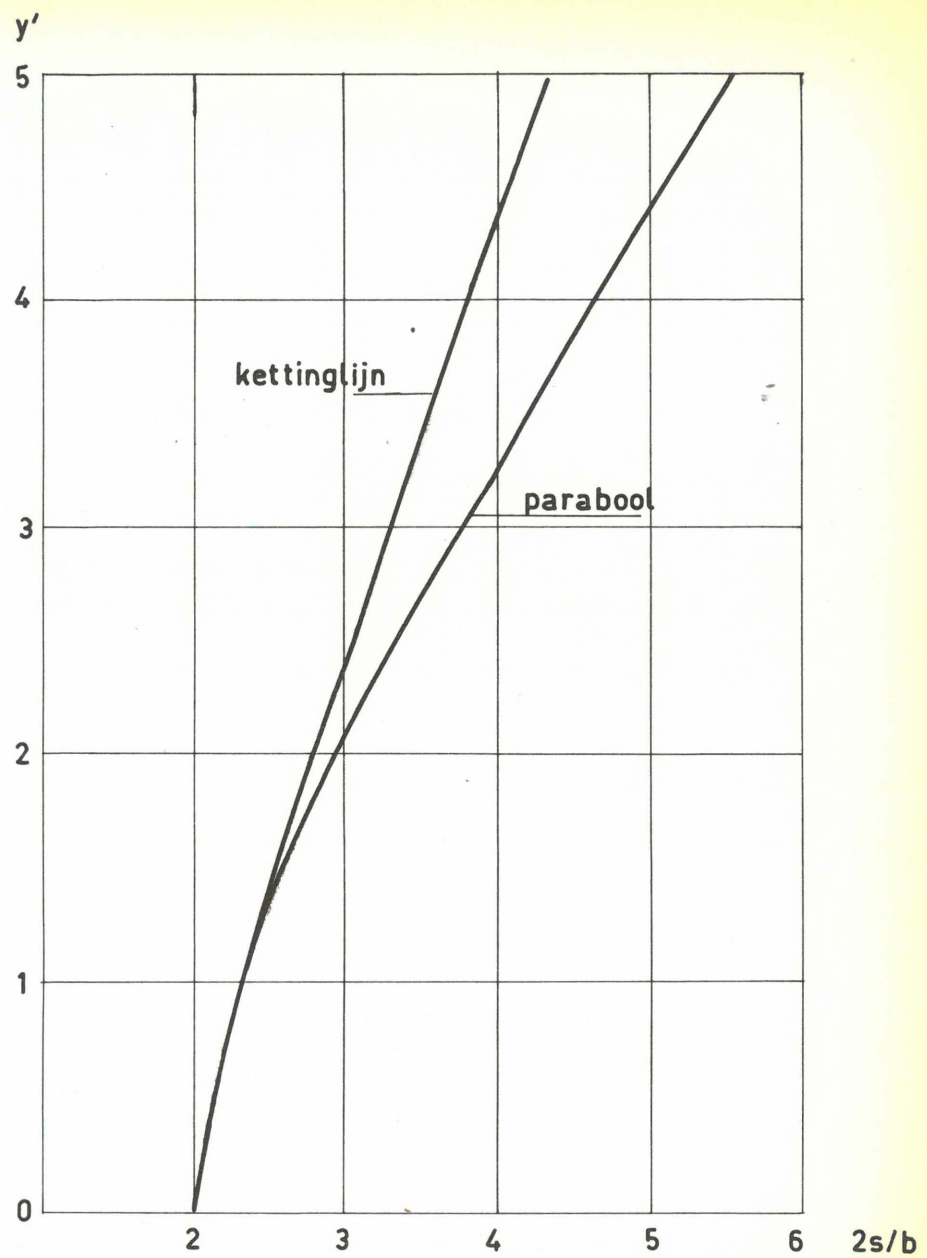
Hierin zijn  $2s$  en  $b_p$  gekende waarden, zodat de waarde van  $a$  bepaald kan worden. Dit gebeurt best aan de hand van een grafiek  $s/b_p = f(ab_p)$ , gezien de nogal ingewikkelde vorm van de vergelijking.

Nu  $a$  uit vergelijking (17) gekend is, geeft de vergelijking (18) de waarde van  $\delta$  :

$$\cotg \delta = 2ab_p \quad (18)$$



Figuur 7



Figuur 8

Het verschil tussen de richtingscoëfficiënten van de oplangers in het geval van een parabolische of een kettinglijnform van de pees wordt weergegeven in figuur 8.

Voor de parabool geldt :

$$2s/b = \frac{1}{y'} \left[ y' \sqrt{1 + y'^2} + \arg \operatorname{sh} y' \right] \quad (19)$$

terwijl voor de kettinglijn :

$$2 \frac{s}{b} = \frac{2 y'}{\arg \operatorname{sh} y'} \quad (20)$$

Om in de formules en in de werkwijze meer inzicht te krijgen is het nuttig een cijfervoorbeeld aan te halen.

Wanneer voor een bepaalde toestand :

- kabellengte  $k = 7,5$  m
- openingshoek van de kabels bij het vaartuig  $2\beta' = 12,6^\circ$
- de lengte van de onderpees  $2s_o = 3,50$  m
- de lengte van de bovenpees  $2s_b = 2,30$  m
- de lengte van de 4 oplangers  $o = 0,40$  m

dan kan gevraagd worden naar de waarde van de hoek  $\delta_o$  en  $\delta_b$

Vooreerst dient de horizontale afstand tussen de borden berekend te worden :

$$b - \Delta b = 7,5 \times \operatorname{tg} 6,3^\circ = 0,825 \text{ m}$$

$$b = 1,15 \times 0,825 = 0,95 \text{ m}$$

1. Onderpees.

Voor de onderpees doet men een keuze voor  $\delta_o$ , teneinde de waarde van  $2b_o$  te kunnen bepalen.

Deze eerste keus is bijvoorbeeld  $\delta_o = 15^\circ$ , dan bekomt men voor  $2b_o$

$$2b_o = 1,9 - 2 \times 0,40 \times \sin 15^\circ = 1,693 \text{ m}$$

Uit vergelijking (18) volgt, door de keuze van  $\delta_o$ , een waarde van  $a = 2,21 \text{ m}^{-1}$ , omdat  $\cotg \delta_o = 3,74$ . Controle aan de hand van vergelijking (17) gebeurt nu als volgt :

$$2s = \frac{1}{4,42} \left[ 3,74 \times 3,88 + 2,03 \right] = 3,74 \text{ m}$$

Aldus blijkt de eerste keus van  $\delta_o$  niet goed en moet overgegaan worden tot een tweede keuze, nl.  $\delta_o = 16^\circ$  en dan volgt volledig analoog :

$$2b_o = 1,9 - 2 \times 0,40 \times \sin 16^\circ = 1,679 \text{ m}$$

$$\cotg \delta_o = 3,5$$

$$a = 2,08 \text{ m}^{-1}$$

$$2s = \frac{1}{4,16} \left[ 12,9 + 1,97 \right] = 3,57 \text{ m}$$

Dit is een waarde dicht bij de lengte van de onderpees, zodat mag aangenomen worden dat  $\delta_o = 16^\circ$ .

2. Bovenpees.

Voor de bovenpees zal  $\delta_b$  een grotere waarde aannemen, daar de bovenpees korter is.

Daarom ligt de 1e keus ook hoger, nl.  $\delta_b = 30^\circ$

$$2b_b = 1,9 - 2 \times 0,40 \times \sin 30^\circ = 1,50 \text{ m}$$

$$\cotg \delta_b = 1,735$$

$$a = 1,16 \text{ m}^{-1}$$

$$2s = \frac{1}{2,32} \left[ 2 + 1,049 \right] = 1,315 \text{ m}$$

Dit maakt een tamelijk grote afwijking uit, vandaar de tweede keus :  $\delta_b = 25^\circ$

$$2b_b = 1,9 - 2 \times 0,40 \times \sin 25^\circ = 1,56 \text{ m}$$

$$\cotg \delta_b = 2,15$$

$$a = 1,38 \text{ m}^{-1}$$

$$2s = \frac{1}{2,76} \left[ 5,1 + 1,51 \right] = 2,40 \text{ m}$$

Dit wordt nu een te grote waarde, zodat  $\delta_b = 26^\circ$ , de derde keus uitmaakt.

$$2b_b = 1,9 - 2 \times 0,40 \times \sin 26^\circ = 1,55 \text{ m}$$

$$\cotg \delta_b = 2,05$$

$$a = 1,32 \text{ m}^{-1}$$

$$2s = \frac{1}{2,64} \left[ 4,67 + 1,47 \right] = 2,32 \text{ m}$$

Deze waarde is voldoende dicht bij de lengte van de bovenpees, zodat  $\delta_b = 26^\circ$  gesteld mag worden.

De gevraagde waarden worden aldus :

$$\delta_o = 16^\circ$$

$$\delta_b = 26^\circ$$

#### D. De scheerkracht van de borden.

Zoals reeds werd opgemerkt, bedraagt de belasting van de onderpees naar schatting 90 % van de netweerstand en deze van de bovenpees 10 %. Dit betekent dat de waarde van  $Z_n$  bestaat uit twee delen, waarvan de vorm gegeven wordt door de betrekking (4), zodat :

$$Z_n = 0,9 N/2 \operatorname{tg} \delta_o + 0,1 N/2 \operatorname{tg} \delta_b \quad (21)$$

Daar er slechts één trekkabel is, waarvan de vorm gekend is, wordt  $Z_k$  gegeven door de betrekking (3).

Het is de scheerwerking van de borden die de twee vermelde krachten in evenwicht houdt, hetgeen de formule (2) zeer duidelijk illustreert. Daarin kunnen nu alle waarden van het tweede lid bepaald worden, zodat dit tenslotte de scheerkracht van de borden oplevert.

#### E. Bepaling van het "bordrendement".

De uitdrukking van een rendement is de verhouding waarvan de teller het nuttige deel bevat, terwijl de noemer de geleverde waarde bevat.

Voor een bord, waarvan het doel is het net horizontaal open te houden, is de nuttige komponente zonder twijfel de scheerkracht van het bord. De kracht die geleverd wordt, is de totale weerstand van het bord en net, omdat deze laatste door de motor van het vaartuig dient voortgebracht te worden.

In een formule uitgedrukt betekent dit dus :

$$\frac{(A_t + V_t) z}{T/2} \quad (22)$$

Het is dan ook zonder meer duidelijk dat alle factoren die de teller kunnen groter maken, gunstig zijn voor het rendement ; het komt er op aan de optimumwaarde van de scheerhoek  $\alpha_s$  te vinden, alsook op de vorm en de konstruktie van het bord in te werken.

Door de waarde van de noemer te verkleinen, stijgt het rendement eveneens. In deze noemer zit de weerstand van het bord en de weerstand van het net. Om de bordweerstand te laten dalen, gelden dezelfde invloedsfactoren als voor het stijgen van de waarden in de teller.

Om de netweerstand te doen dalen, is eveneens een onderzoek noodzakelijk om alle invloedsfactoren op deze weerstand kwantitatief te bepalen en daaruit de nodige aanpassingen af te leiden.

In deze studie werd het bordrendement slechts ter controle berekend.



## HOOFDSTUK III.- Bepalen van de scheerhoek van de borden.

A. Benaderende methode.

In horizontaal plan gezien (figuur 1), verdeelt het punt E, dat niets anders is dan het snijpunt van het verlengde van de trek-kabel met het visbord, het bord in een deel vooraan ( $v'$ ) en een deel achteraan ( $a'$ ). De krachten op het deel  $v'$  geven een moment rond het ogenblikkelijk rotatiepunt E die de hoek  $\alpha_s$  doet toenemen, terwijl op het deel  $a'$  een moment inwerkt die  $\alpha_s$  doet afnemen. In de evenwichtspositie zijn deze twee momenten gelijk.

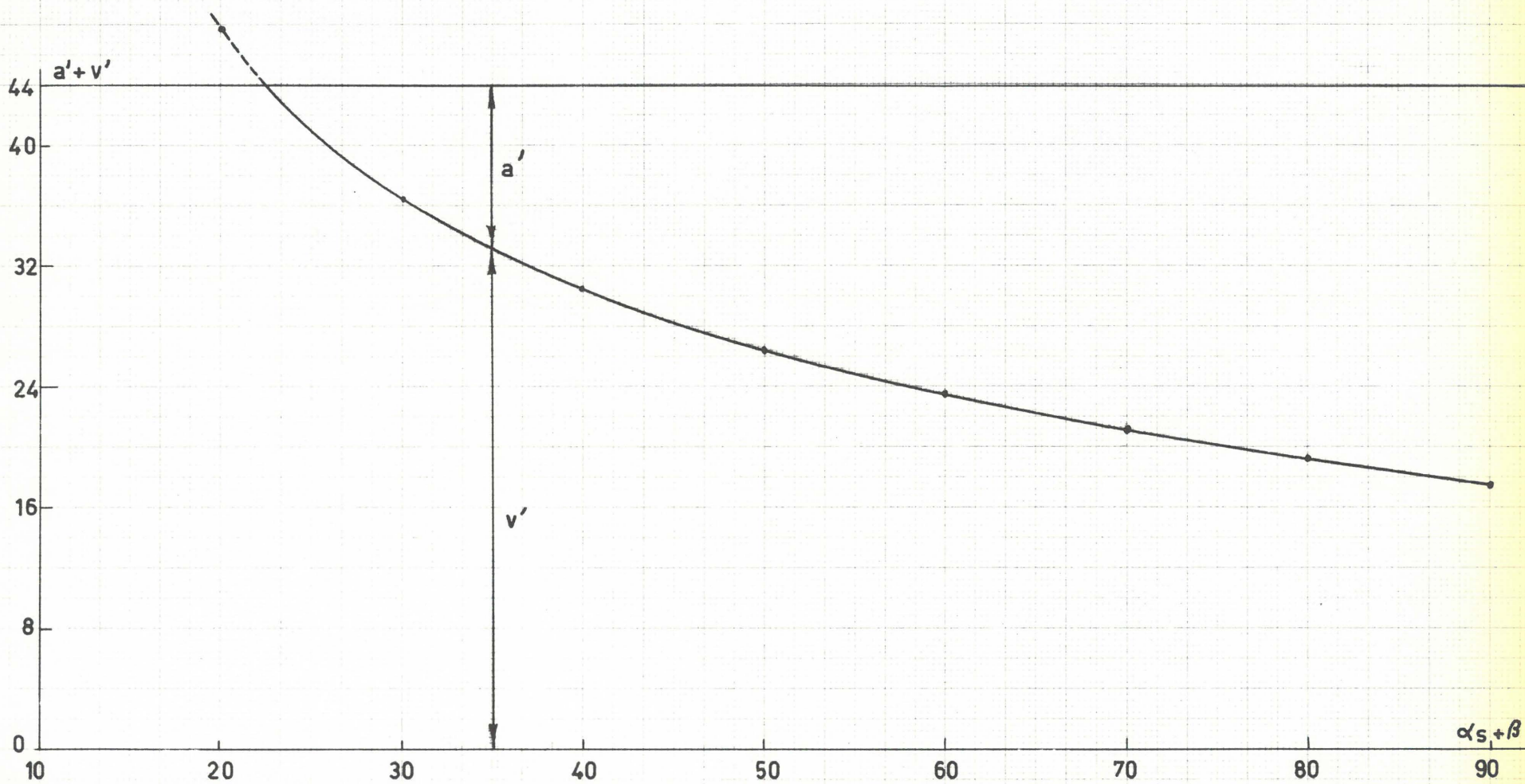
Aldus bestaat er een verband tussen de verdeling  $v'$  en  $a'$  en de hoeken  $\alpha_s$  en  $\beta$ . Dit verband wordt in de volgende formule uitgedrukt.

$$v' = v'_{90} + c' \cdot \cotg (\alpha_s + \beta) \quad (23)$$

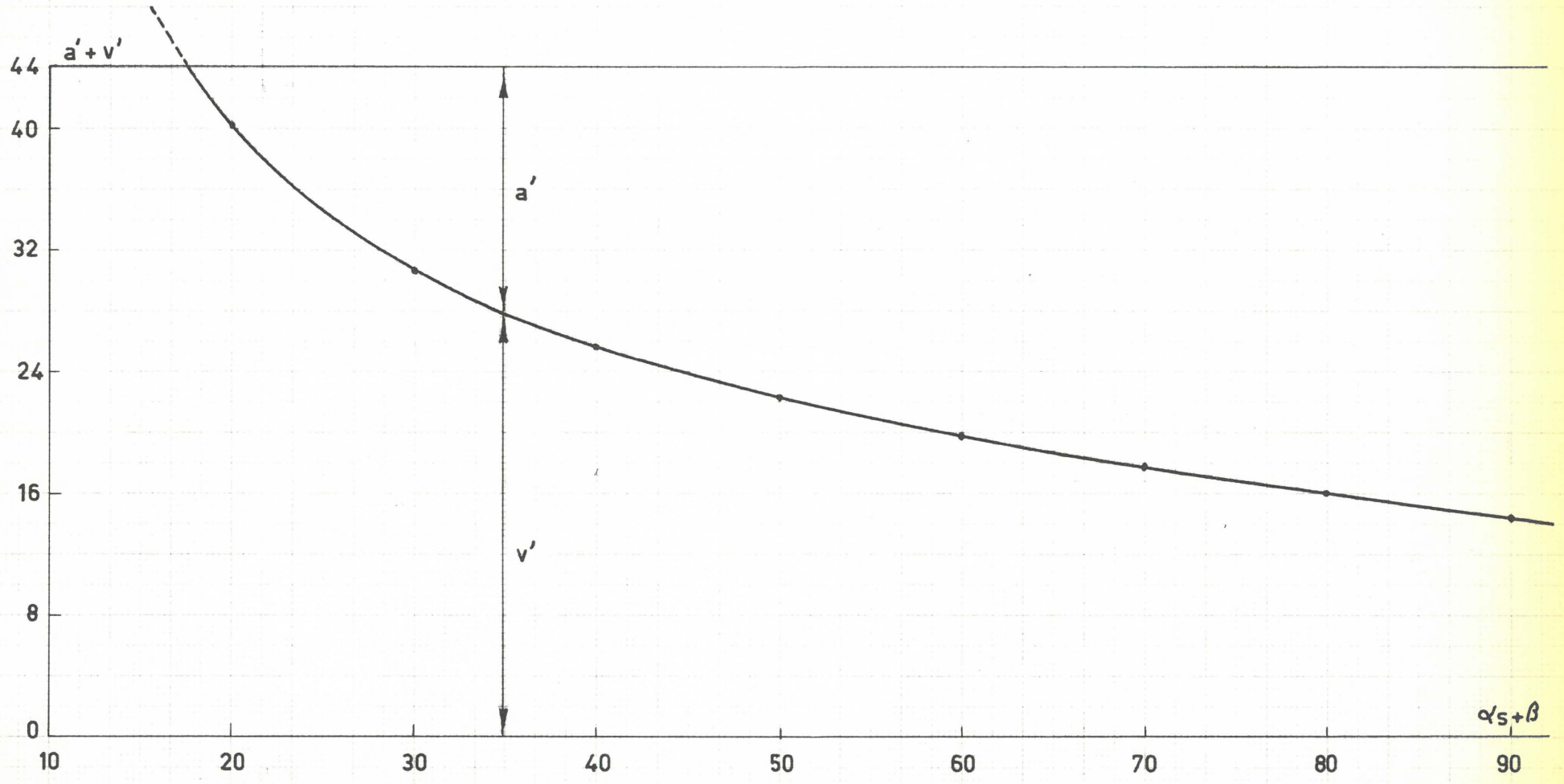
In de grafieken I en II worden respectievelijk de waarden voorgesteld voor het gewone en het nieuwe bord op model.

Met de gegevens die thans ter beschikking zijn, is het mogelijk door opeenvolgende benaderingen de waarden van  $\alpha_s$ ,  $A_t$  en  $V_t$  te bepalen.

Deze berekeningen zijn echter tamelijk omslachtig en tijdrovend, zodat deze gedeeltelijk vervangen werden door een statische opstelling met opeenvolgende keuzen en aanpassingen. Dit kan verduidelijkt worden met een cijfervoorbeeld.



GRAFIEK I VERLOOP  $v' = f(\alpha_s + \beta)$  GEWONE BORD



GRAFIEK II

VERLOOP  $v' = f(\alpha_s + \beta)$

NIEUW BORD

Vooreerst moet nog opgemerkt worden dat, vermits de waarden van  $(A_t + V_t)_w$  en  $(A_t + V_t)_z$  gekend zijn, zeer gemakkelijk de waarde van  $A_t + V_t$  en van  $\alpha_b$  bepaald kunnen worden. De volgende formules geven deze waarden :

$$\operatorname{tg} \alpha_b = \frac{(A_t + V_t)_w}{(A_t + V_t)_z} \quad (24)$$

$$A_t + V_t = \frac{(A_t + V_t)_w}{\sin \alpha_b} \quad (25)$$

Nu wordt een keuze van  $\alpha_s$  gedaan, zegge  $(\alpha_s)_1$ , zodat de waarde  $(\alpha_s)_1 + \beta$  kan bepaald worden, gezien  $\beta$  een gekende waarde is. Op de grafiek I (of II) wordt de overeenkomende waarde van  $v'$  en  $a'$  afgelezen.

Eenvoudigheidshalve wordt ondersteld dat :

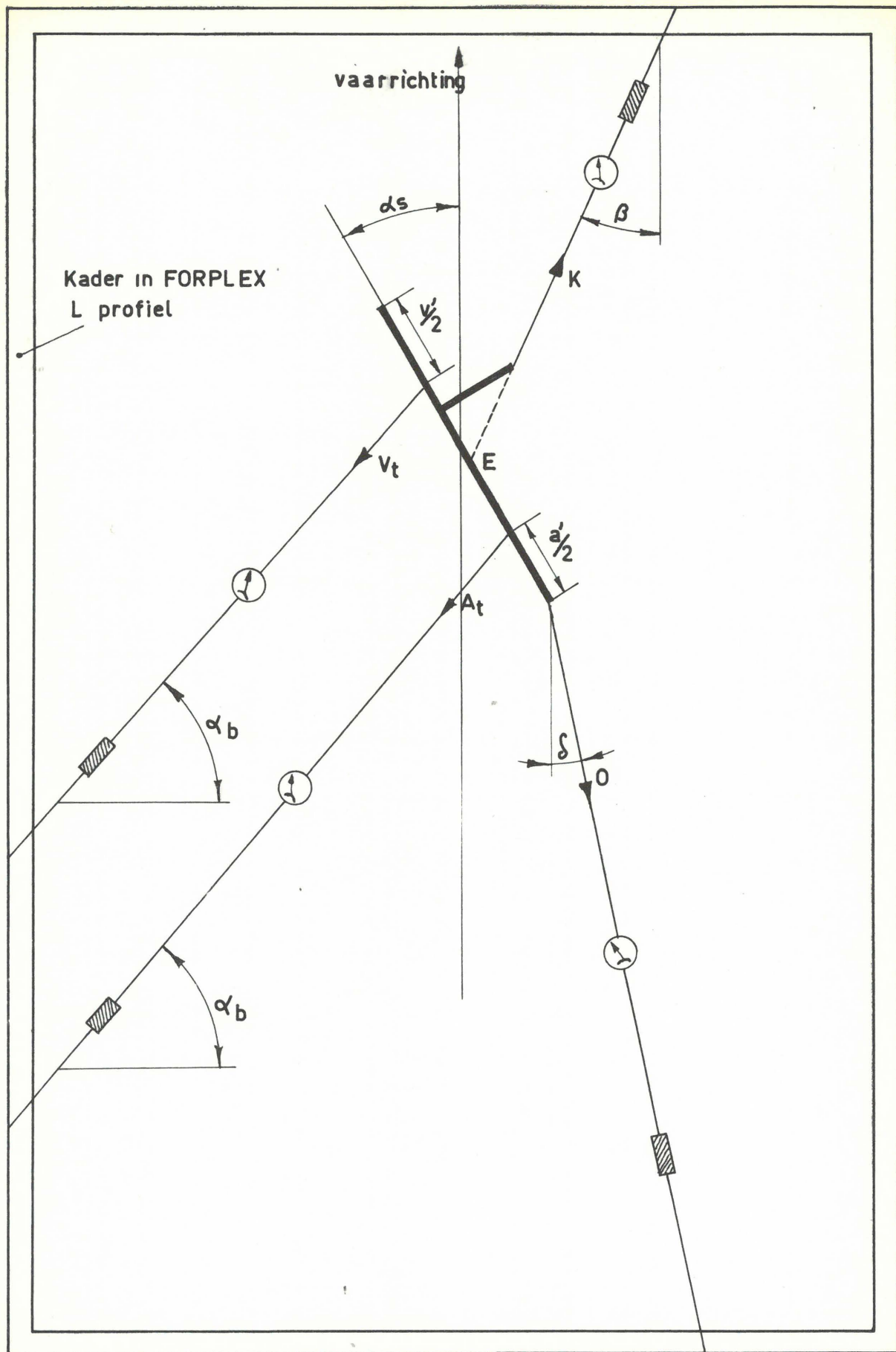
$$\frac{A_t}{V_t} = \frac{a'}{v'} \quad (x) \quad (26)$$

Daar de som  $A_t + V_t$  gekend is en door formule (26) de verhouding van de termen, kunnen deze termen bepaald worden.

Dit betekent dat overeenkomstig de keuze  $(\alpha_s)_1$ , de waarden van  $a'$ ,  $v'$ ,  $A_t$  en  $V_t$  bepaald kunnen worden.

---

(x) Na de kennis van het aangrijpingspunt van  $(A_t + V_t)$ , zal verder een aanpassing ingevoerd worden.



Figuur 9 STATISCHE OPSTELLING BORD

Het aangrijpingspunt van de krachten  $A_t$  en  $V_t$  zijn in verband met formule (26) gelegen in het midden der overeenkomstige delen  $a'$  en  $v'$ .

Er zijn voldoende gegevens voorhanden om de belastings-toestand in een statische opstelling te verwezenlijken. Figuur 9 geeft een voorstelling van deze statische opstelling.

De figuur in vette lijn, midden in het vaste raam R, stelt het bord voor, waarvan de afmetingen overeenstemmen met deze van het model. Het vaste raam R is vervaardigd uit L-profielen van het type FORPLEX.

In dit raam is het eenvoudig de hoeken  $\beta$ ,  $\delta$  en  $\alpha_b$  in te stellen. Verder is het bij middel van spanwijken ook mogelijk de gewenste waarden van  $K$ ,  $O$ ,  $A_t$  en  $V_t$  in te stellen.

Voor de gekende waarden en de berekende waarden die bij de keus van  $(\alpha_s)_1$  horen, wordt deze statische opstelling uitgevoerd en de daarbijhorende waarde van  $\alpha_s$  opgemeten.

Deze hoek  $\alpha_s$  kan nu overeenstemmen met de waarde  $(\alpha_s)_1$  en dan is dit de waarde van de scheerhoek die met de bepaalde belasting overeenstemt.

Hoogst waarschijnlijk echter zal de gemeten waarde van de scheerhoek een waarde hebben van  $(\alpha_s)_2$  die verschilt van  $(\alpha_s)_1$ , hetgeen betekent dat de eerste keus dus niet goed was.

Daarom wordt een nieuwe keuze  $(\alpha_s)_3$  gedaan, gelegen tussen  $(\alpha_s)_1$  en  $(\alpha_s)_2$ , waarmee een nieuwe waarde  $(\alpha_s)_3 + \beta$

en bijgevolg ook een nieuwe verdeling  $a'$  en  $v'$  overeenstemt. Dit levert dan ook andere waarden op voor  $A_t$  en  $V_t$  en uit de statische opstelling die daaraan beantwoordt volgt een nieuwe waarde voor de scheerhoek die ofwel  $(\alpha_s)_3$  is, ofwel een andere waarde  $(\alpha_s)_4$ .

In ieder geval staat vast dat, indien een waarde  $(\alpha_s)_4$  bekomen wordt, het verschil  $(\alpha_s)_4 - (\alpha_s)_3$  merkkelijk kleiner zal zijn dan  $(\alpha_s)_2 - (\alpha_s)_1$ . Een derde keuze voor  $\alpha_s$  kan echter noodzakelijk zijn.

Door deze opstelling bekomt men aldus betrekkelijk vlug een waarde van de scheerhoek  $\alpha_s$ .

Een voorbeeld kan dit illustreren.

Opgemeten werden bij een snelheid van 0,65 m/sec :

- de hoek  $\beta' = 6,3^\circ$
  - de kabellengte  $k = 7,5$  m
  - de trekkracht  $T = 11,3$  kg
  - de netweerstand  $N = 8,16$  kg
- 
- de afmetingen van het bord
 

-	$a' + v' = 44$ cm
-	$v'_{90} = 17,4$ cm
-	$c' = 11$ cm
  - de afmetingen van het net
 

-	$2s_b = 2,30$ m
-	$2s_o = 3,50$ m

De bedoeling is de scheerhoek  $\alpha_s$  te berekenen.

Zoals in het eerste voorbeeld (1) geeft een waarde van  $\beta' = 6,3^\circ$  met kabellengte 7,5 m een waarde van  $b = 0,95$  m, met overeenkomstige hoeken.

$$\delta_o = 16^\circ$$

$$\delta_b = 26^\circ$$

Daar de onderste oplanger 90 % van de netbelasting opneemt en de bovenste oplanger 10 %, kan de hoek  $\delta$  van de resultante  $O$  van de belasting in de bovenste en de onderste oplanger bepaald worden door de formule :

$$\cos \delta = 0,9 \cos \delta_o + 0,1 \cos \delta_b \quad (27)$$

hetgeen voor het voorbeeld een waarde oplevert van :

$$\cos \delta = 0,864 + 0,09 = 0,954$$

$$\delta = 18^\circ$$

De waarde van de hoek  $\beta$  kan aan de hand van formules (10) en (12) bepaald worden :

$$(10) \text{ geeft } a = \frac{0,95 \times 9,06 - 7,5 \times 0,994}{0,9} = 1,29 \text{ m}^{-1}$$

$$(12) \text{ geeft vervolgens } \cotg \beta = 9,06 - 2,45 = 6,61 \text{ of}$$

$$\beta = 8,6^\circ$$

---

(1) Zie blz. 13.



Nu kunnen verder berekend worden :

$$(1) (V_t + A_t)_w = 1,57 \text{ kg}$$

$$(3) Z_k = 5,65 \times 0,151 = 0,85 \text{ kg}$$

$$(21) Z_n = 4,08 \times 0,9 \times 0,286 + 0,408 \times 0,486 = 1,25 \text{ kg}$$

$$(2) (V_t + A_t)_z = 2,1 \text{ kg}$$

$$(24) \text{tg } \alpha_b = 0,75 \text{ of } \alpha_b = 36,9^\circ$$

$$(25) A_t + V_t = 2,62 \text{ kg}$$

De eerste keus van  $\alpha_s$  is  $30^\circ$ , zodat  $\alpha_s + \beta = 38,6^\circ$ ,  
 waarvoor grafiek I geeft :

$$v' = 31,2 \text{ cm}$$

$$a' = 12,8 \text{ cm}$$

$$(26) \text{ geeft } \frac{A_t}{V_t} = 0,41, \text{ waardoor}$$

$$V_t = \frac{2,62}{1,41} = 1,86 \text{ kg}$$

$$A_t = 2,62 - 1,86 = 0,76 \text{ kg}$$

Om voldoende gegevens voor de statische opstelling te  
 bekomen dienen nog berekend te worden :

$$K = \frac{T/2}{\cos \beta} = \frac{5,65}{0,989} = 5,7 \text{ kg}$$

$$O = \frac{N/2}{\cos \delta} = \frac{4,08}{0,95} = 4,3 \text{ kg}$$

De statische opstelling waarin alle gegevens en berekende waarden in acht genomen werden, geeft een hoek  $\alpha_s = 30,5^\circ$ .

Een tweede keus blijkt hier dus reeds overbodig te zijn, zodat mag aangenomen worden dat  $\alpha_s = 30,5^\circ$ .

B. Bepalen van het aangrijpingspunt  $A_t + V_t$ .

Daar de krachten  $K$ ,  $O$  en  $V_t + A_t$  elkaar in evenwicht houden, moet hun vektoriële som niet alleen gelijk zijn aan nul, maar daarbij moeten zij nog door hetzelfde punt gaan. Dit laatste feit levert een middel op om het aangrijpingspunt van  $V_t + A_t$  te bepalen.

De figuur 10 stelt een assenkruis voor, waarin de projectie van het bovenzicht van het linkse bord aangebracht is op de positieve  $y$  - as, en wel zo met de hiel in de oorsprong. Ook de krachten met de overeenstemmende hoeken zijn aangebracht.

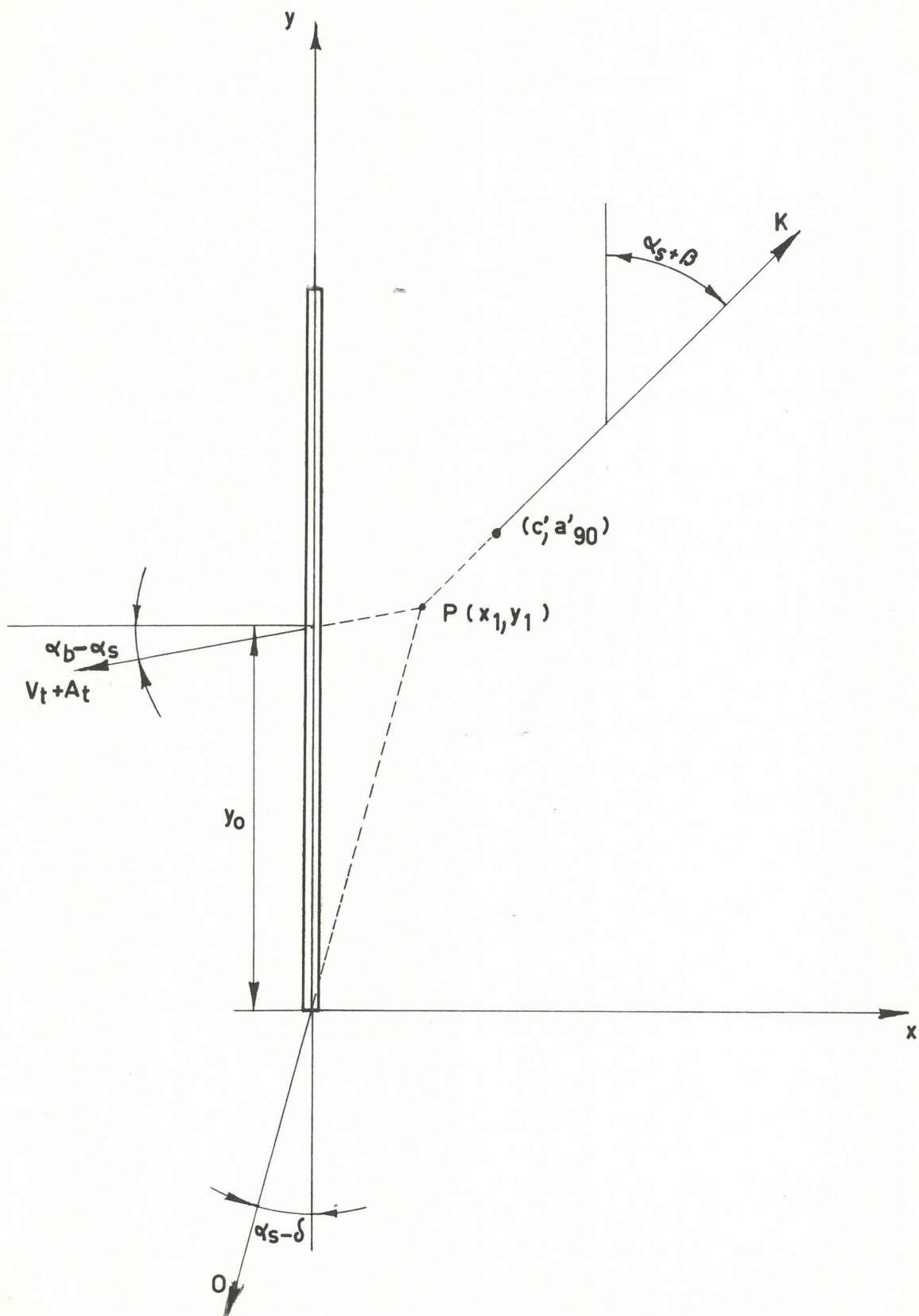
Een eerste stap bestaat erin het snijpunt  $P$  van de krachtlijnen van  $K$  en  $O$  te bepalen.

Deze rechten hebben respectievelijk als vergelijking :

$$y - a'_{90} = \left[ \cotg (\alpha_s + \beta) \right] (x - c) \quad (28)$$

$$y = \left[ \cotg (\alpha_s - \delta) \right] x \quad (29)$$

De coördinaten van  $P$  zijn  $x_1$  en  $y_1$  en hebben als waarde :



Figuur 10 BEPALEN VAN AANGRIJPINGSPUNT BORDWEERSTAND

$$x_1 = \frac{a'_{90} - c \cdot \cotg(\alpha_s + \beta)}{\cotg(\alpha_s - \delta) - \cotg(\alpha_s + \beta)} \quad (30)$$

$$y_1 = \left[ \cotg(\alpha_s - \delta) \right] x_1 \quad (31)$$

Van de werklijn van de kracht  $V_t + A_t$  is dus een punt P en de richtingscoëfficiënt gekend, zodat een vergelijking wordt :

$$y - y_1 = \left[ \text{tg}(\alpha_b - \alpha_s) \right] (x - x_1) \quad (32)$$

Het snijpunt van deze rechte met de  $y$  - as is niets anders dan het gezochte aangrijppingspunt van  $V_t + A_t$ , waarvan de waarde is :

$$y_0 = y_1 - x_1 \text{tg}(\alpha_b - \alpha_s)$$

of rekening houdend met (31)

$$y_0 = x_1 \left[ \cotg(\alpha_s - \delta) - \text{tg}(\alpha_b - \alpha_s) \right] \quad (33)$$

### C. Nauwkeuriger methode.

Bij voorgaande berekening van  $\alpha_s$  werd, zoals formule (26) illustreert, verondersteld dat de weerstand van het bord gelijkmatig verdeeld was over de lengte  $a' + v'$ . Daar dit in feite niet helemaal juist is, zal nu even dieper op deze belastingsverdeling ingegaan worden.

Eerst en vooral zijn twee delen te onderscheiden, nl. de zuiver hydrodynamische weerstand en de weerstand van het slijk.

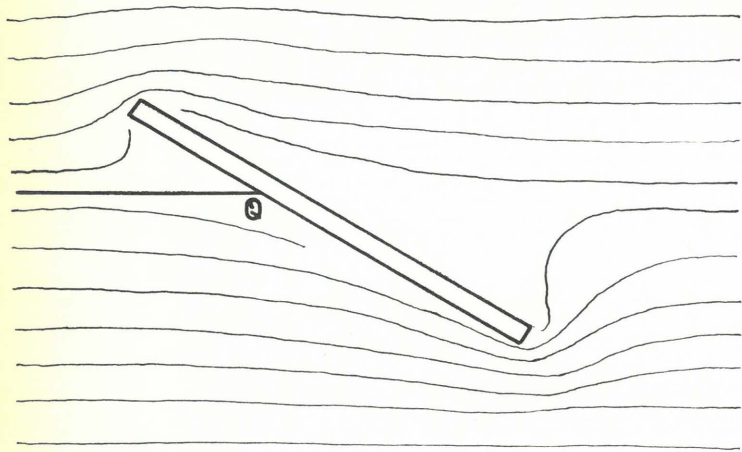
De hydrodynamische weerstand, die teweeggebracht wordt door de beweging van het bord in het water kan aan de hand van figuur (11a) nader beschouwd worden.

De stroming rond het bord gaat uiteraard gemakkelijker rond de achterkant dan rond de voorkant, omdat de stroomlijnen aan de voorkant korter omgebogen worden. Vandaar dat de stroomlijn die een scheidingslijn vormt tussen de stroomlijnen die rond de voorkant afdraaien en deze die rond de achterkant afdraaien, dicht bij de voorkant ligt dan bij de achterkant.

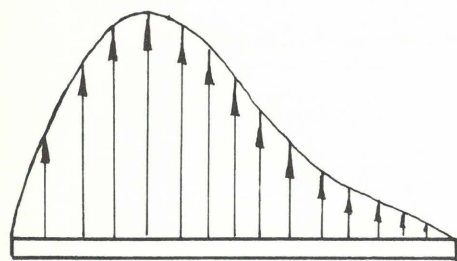
De kinetische energie van deze scheidingsstroomlijn die eindigt in het punt Q, wordt volledig omgezet in potentiële of drukenergie, zodat op deze plaats de hoogste druk heerst. Naar de uiteinden van het bord toe wordt de beweging van het water minder en minder gehinderd en wordt er aldus minder en minder kinetische energie omgezet in potentiële. Dit betekent dat de druk naar de randen toe daalt ; figuur (11b) geeft van dit drukverloop langs het bord een kwalitatief beeld.

Aan de achterzijde van het bord komen de stroomlijnen weer naar elkaar toe onder invloed van de daar ontstane onderdruk. Hierbij ontstaat wervelvormig wat een energieverlies betekent en door aanpassing van de bordkonstruktie zoveel mogelijk vermeden moet worden.

De verdeling van deze onderdruk over de lengte van het bord zal een ander verloop hebben dan het drukverloop op de voorzijde.



(a)

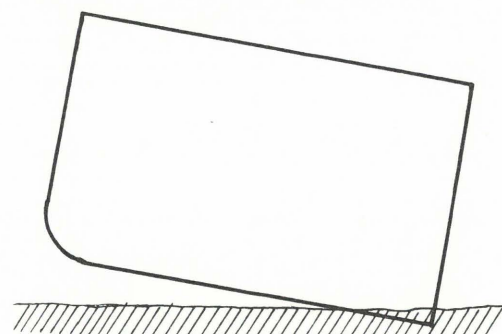


Q

(b)

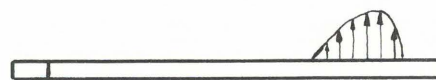
Figuur 11

HYDRAULISCHE BORDWEERSTAND



Slijkbodem

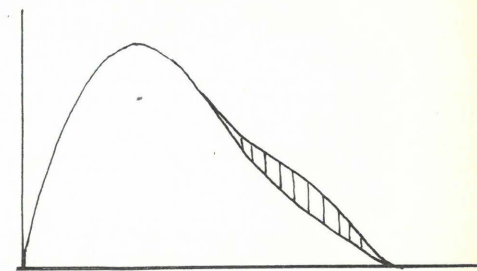
(a)



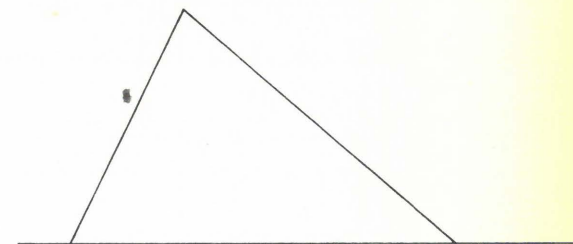
(b)

Figuur 12

SLIJKWEERSTAND BORD



(a)



(b)

Figuur 13

TOTALE BORDWEERSTAND

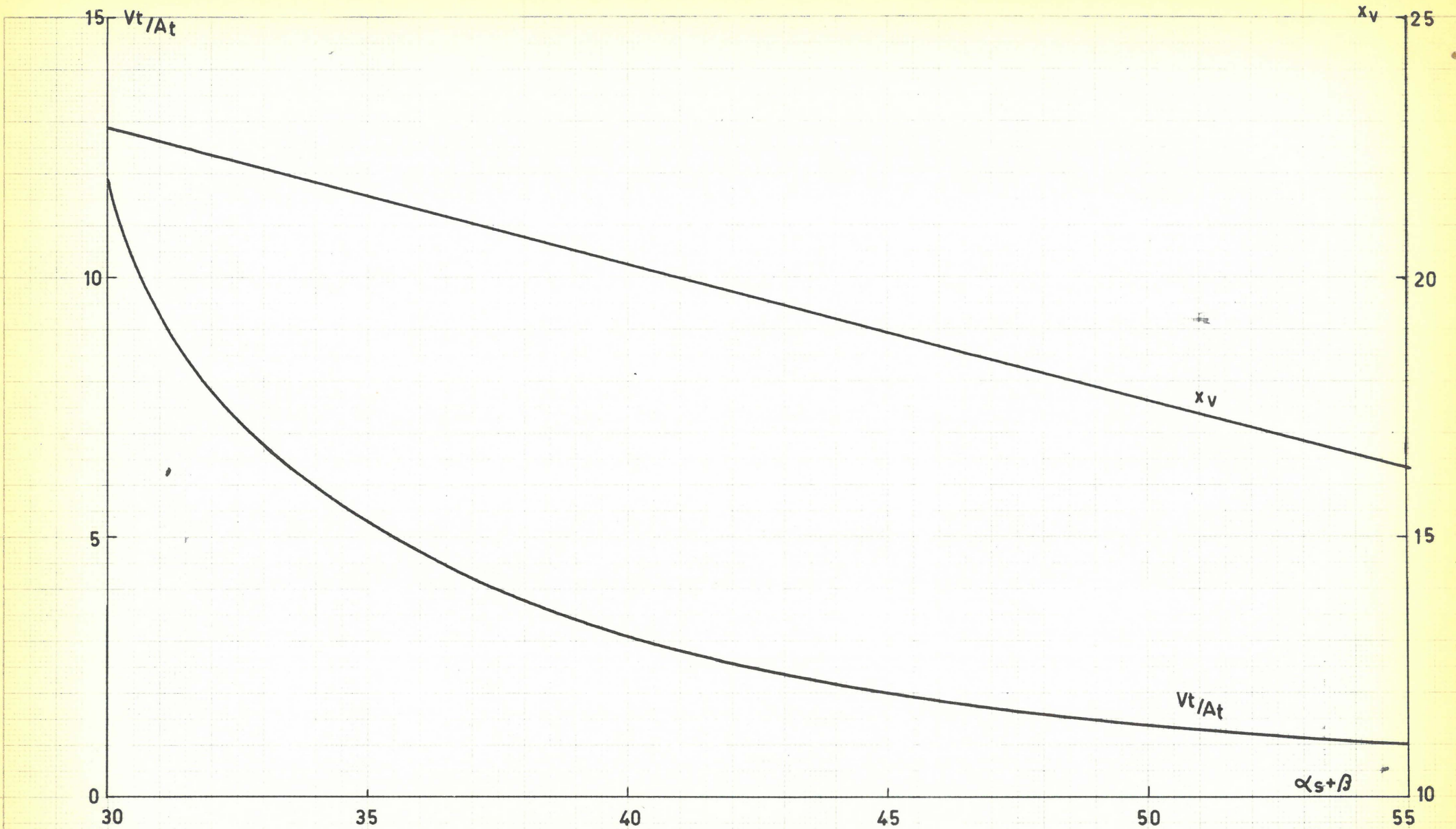
Aldus zal de resultante van het drukverloop en het onderdrukverloop, wat de totale hydrodynamische weerstand uitmaakt, hoogstwaarschijnlijk een maximum vertonen dat t.o.v. het punt Q meer naar het midden zal gelegen zijn. Dit wordt niet alleen bepaald door de vorm van het verloop, maar ook door de verhouding van de absolute waarden van het druk- en onderdrukverloop, iets wat door verdere proefnemingen kan bepaald worden.

De slijkweerstand heeft, alhoewel het hier om een meer vaste materie gaat, een analoog verloop, indien het bord zich vlak op de bodem bevindt.

Er dient echter rekening gehouden te worden met het feit dat, volgens de kabellengte en de snelheid, het bord meer of minder op zijn hiel kan gesleept worden, zodat de diepte van het bord in het slijk toeneemt naar de hiel toe.

Hierbij ontstaat dan ook een belangrijke afwijking van de verdeling van de slijkweerstand langs het bord, zoals figuur 12 illustreert.

De superpositie van de hydrodynamische weerstand en de slijkweerstand heeft bijgevolg een verloop zoals in figuur 13 a wordt voorgesteld en die eenvoudigheidshalve kan benaderd worden door figuur 13 b. Dit is een eenparig toenemende verdeling van de belasting tot een maximum met een daarop volgende eenparige afname. De onbekende is nu echter nog de plaats van dit maximum. Het blijkt logisch daarvoor de berekende  $y_0$  waarde aan te nemen, omdat deze waarde alsook de nieuwe resultante praktisch dicht bij de helft van  $a' + v'$  gelegen is,



GRAFIEK III

VERLOOP VAN  $x_v$  EN  $V_t/A_t$  ALS  $f(\alpha_s + \beta)$  VOOR

$\left\{ \begin{array}{l} k = 7,5 \\ \text{GEWONE BORD} \end{array} \right.$



Om gemakkelijk werken mogelijk te maken, werden grafieken opgemaakt die het verloop van  $V_t/A_t$  weergegeven in functie van  $\alpha_s + \beta$  voor ieder van de gevallen. Dit laat toe, bij de keuzen van  $\alpha_s$ , voor de bepaling van  $A_t$  en  $V_t$  veel rekenwerk uit te sparen.

Ook voor het bepalen van het aangrijppingspunt van  $V_t$  was het aangewezen een grafiek in functie van  $\alpha_s + \beta$  op te maken. Voor de deelkracht  $A_t$  lag het aangrijppingspunt, gezien het verloop, op  $2/3 a'$  van de achterzijde van het bord.

De grafiek III stelt het verloop voor van  $V_t/A_t$  en van het aangrijppingspunt van  $V_t$ , aangeduid als  $x_V$ , voor het geval van het gewone bord met kabellengte 7,5 m.

Ter illustratie volgt nu de toepassing van de nauwkeurige methode op hetzelfde cijfervoorbeeld dat reeds behandeld werd (1).

Vooreerst dient het aangrijppingspunt van  $A_t + V_t$  bepaald te worden, hetgeen eenvoudig geschiedt aan de hand van formules (30) en (33) met  $\alpha_s = 30,59$

$$x_1 = \frac{26,6 - 11 \times 1,235}{4,52 - 1,235} = \frac{13}{3,285} = 3,95 \text{ cm}$$

$$y_0 = 3,95 (4,52 - 0,1065) = 17,4 \text{ cm}$$

Op een dergelijke manier werden alle  $y_0$  waarden voor verschillende snelheden bepaald bij kabellengte 7,5 m. Het reken-

---

(1) Zie blz. 22.

kundige gemiddelde van deze waarden, zijnde  $y_0 = 16,9$  cm, wordt aangenomen om de grafiek III op te maken.

Daarop kan afgelezen worden voor  $\alpha_s = 30^\circ$  (1e keus)

$$V_t/A_t = 3,5$$

$$x_V = 20,7 \text{ cm}$$

De kennis van de som  $V_t + A_t$  levert aldus verder afzonderlijk op :

$$A_t = \frac{2,62}{45} = 0,585 \text{ kg}$$

$$V_t = 2,62 - 0,585 = 2,035 \text{ kg}$$

De aangrijpingspunten voor deze krachten zijn :

$$x_A = 2/3 a' = 8,55 \text{ cm}$$

$$x_V = 20,7 \text{ cm}$$

Om de statische opstelling te maken, zijn nu alle gegevens voor handen, en dit levert voor de scheerhoek een waarde  $\alpha_s = 28^\circ$  op.

Het is bijgevolg noodzakelijk een nieuwe keus te doen, nl.  $\alpha_s = 28,5^\circ$ .

$$V_t/A_t = 4,15$$

$$A_t = 0,51 \text{ kg}$$

$$V_t = 2,11 \text{ kg}$$

$$x_A = 8 \text{ cm}$$

$$x_V = 21,2 \text{ cm}$$

En met deze waarden geeft de statische opstelling een overeenkomstige waarde  $\alpha_s = 28,5^\circ$ .

## SYMBOLENLIJST.



De gebruikte symbolen kunnen in de regel als volgt ingedeeld worden. Hoofdletters stellen punten of krachten voor, terwijl lengten met een kleine letter aangeduid zijn. Voor hoeken werd, zoals algemeen gebruikelijk, een griekse letter gebruikt. Bij sommige symbolen hoort een indice, die over het algemeen voor zichzelf verklarend is, vermits het de beginletter is van het behandelde voorwerp.

Krachten.

$K$  : trekspanning in de kabel.

$T/2$  : komponente van  $K$  evenwijdig met de vaarrichting.

$Z_K$  : komponente van  $K$  horizontaal en loodrecht op de vaarrichting.

$O$  : trekspanning in de oplangers.

$N/2$  : komponente van  $O$  evenwijdig met de vaarrichting.

$Z_n$  : komponente van  $O$  horizontaal en loodrecht op de vaarrichting.

$V_t + A_t$  : totale (hydrodynamisch en slijk) weerstand op het visbord.

$V_t$  : totale weerstand op het voorste gedeelte van het visbord.  
(zie figuur 1)

$A_t$  : totale weerstand op het achterste gedeelte van het visbord.  
(zie figuur 1)

$(V_t)_w$  : komponente van  $V_t$  volgens de vaarrichting.

$(A_t)_w$  : komponente van  $A_t$  volgens de vaarrichting.

$W_b$  :  $(V_t)_w + (A_t)_w = (V_t + A_t)_w$

$(V_t)_z$  : komponente van  $V_t$ , horizontaal en loodrecht op de vaarrichting.

$(A_t)_z$  : komponente van  $A_t$ , horizontaal en loodrecht op de vaarrichting

$$Z_b = (V_t)_z + (A_t)_z = (V_t + A_t)_z$$

### Lengten.

k : kabellengte.

o : lengte oplangers.

2b : horizontale afstand tussen de beugelkniëen.

$2b_p$  : horizontale openingsbreedte van de pees (in 't algemeen).

$2b_o$  : horizontale openingsbreedte van de onderpees.

$2b_b$  : horizontale openingsbreedte van de bovenpees.

$v' + a'$  : lengte van het visbord.

$v'$  : lengte van het voorste gedeelte van het bord (zie figuur 1).

$a'$  : lengte van het achterste gedeelte van het bord (zie figuur 1).

$v'_{90}$  : waarde van  $v'$  voor  $\alpha_s + \beta = 90^\circ$ .

$a'_{90}$  : waarde van  $a'$  voor  $\alpha_s + \beta = 90^\circ$ .

$c'$  : afstand van het samenkomend punt der beugelkniëen tot het bord.

$y_o$  : afstand vanaf de achterzijde van het bord tot het aangrijpingspunt van  $V_t + A_t$ .

$2s_o$  : totale lengte van de onderpees.

$2s_b$  : totale lengte van de bovenpees.

d : diepte van het water.

v : snelheid van het vistuig over de bodem.

### Hoeken.

$\beta$  : hoek tussen de werklijnen van K en T/2 (horizontale projekten).

$\beta'$  : halve openingshoek der kabels.

$\delta$  : hoek tussen de werklijnen van O en N/2 (horizontale projekten).

$\delta_o$  : hoek tussen onderste oplanger en vaarrichting.

- $\delta_b$  : hoek tussen bovenste oplanger en vaarrichting.  
 $\alpha_b$  : hoek tussen  $V_t$  en  $(V_t)_z$  [analoog voor  $A_t$  en  $(A_t)_z$ ]  
 $\alpha_s$  : scheerhoek van het bord.  
 $\chi$  : hellingshoek van de trekkabel met het horizontaal vlak.