

Eigendom van
Westvlaamse Economisch-Studiebureau
Brugge reeks / Boek

MINISTERIE VAN LANDBOUW
Bestuur voor Landbouwkundig Onderzoek
Kommissie
voor Toegepast Wetenschappelijk Onderzoek in de Zeevisserij
(Voorzitter : F. LIEVENS, directeur-generaal)

Instituut voor Zeewetenschappelijk onderzoek
Institute for Marine Scientific Research
Prinses Elisabethlaan 69
8401 Bredene - Belgium - Tel. 059/80 37 15

GRONDSLAGEN
voor
MODELONDERZOEK
van
VISTUIG

door
A. VAN MIDDELEM

Werkgroep «Techniek in de Zeevisserij»
Voorzitter : P. HOVART

January 1965

No 16

MINISTERIE VAN LANDBOUW
Bestuur voor Landbouwkundig Onderzoek
Kommissie
voor Toegepast Wetenschappelijk Onderzoek in de Zeevisserij
(Voorzitter : F. LIEVENS, directeur-generaal)

GRONDSLAGEN
voor
MODELONDERZOEK
van
VISTUIG

door
A. VAN MIDDELEM

Werkgroep «Techniek in de Zeevisserij»
Voorzitter : P. HOVART

I N H O U D S O P G A V E .

=====

Inleiding

Hoofdstuk I : Algemene modelwetten.	blz 3
& 1. Wet van Newton	blz 3
& 2. Wet van Froude	blz 9
& 3. Wet van Reynolds	blz 13
Hoofdstuk II : Formules van Kawakami.	blz 19
& 1. Veronderstellingen	blz 20
& 2. Analyse van de krachten en op- stellen van de formules	blz 21
A. Schijnbaar gewicht van het netwerk	blz 21
B. Weerstand van het net in een stroom	blz 25
C. Gelijkvormigheidsvoorwaarden. . .	blz 29
D. Modelwetten voor kabels	blz 34
E. Modelwetten voor vlotter, ballast- gewichten, enz.	blz 37
F. Ongelijke schalen in horizontale en verticale richting	blz 39
G. Invloed van de golven	blz 43
Hoofdstuk III : Praktische besluiten.	blz 51

I N L E I D I N G .

De studie van het vistuig vormt een uitermate zeer belangrijk onderzoekingsdomein omdat het tot doel heeft het bepalen van het best geschikte en meest efficiënte vistuig.

Uiteraard zou dergelijk onderzoek moeten uitgaan van vistuig op bedrijfsgrootte. Dit levert echter ernstige moeilijkheden op. Het onderzoek op objecten valt bijzonder duur uit en is daarenboven zeer ingewikkeld. Verder is het praktisch zeer moeilijk rechtstreeks observaties en onderwatermetingen uit te voeren. Tenslotte geven de registrerende onderwaterinstrumenten slechts een aanduiding van een beperkt aantal factoren.

Om deze moeilijkheden te ondervangen, kan men zijn toevlucht nemen tot de studie op modellen.

Bij het modelonderzoek hangt de waarde van de metingen voor een groot gedeelte af van het voldoen aan voorwaarden, die verband houden met de verschillende onderlinge schaalverhoudingen, o.m. de lengteschaal, de snelheidschaal of snelheidsverhouding, de krachtenschaal enz. Het geheel van deze verhoudingen, alsmede hun verder wiskundige uitwerking, kunnen samengevat worden onder de benaming "modelwetten".

Onderhavige studie is een eerste bijdrage tot de kennis en het inzicht in deze wetten en omvat twee delen, met name (a) de algemene modelwetten (Newton, Froude, Reynolds) en (b) de specifieke modelwetten voor vistuig (Kawakami). In een derde deel zijn onder vorm van een synthese, de praktische besluiten voor het onderzoek opgenomen.

De studie vormt een theoretische benadering van de problematiek van het modelonderzoek met vistuig. Zij is te beschouwen als een handleiding voor proeven op modellen en wil een bestaande leente aan dergelijke Nederlandse taalige werken aanvullen.

De studie vormt echter ook de grondslag van het verder onderzoek : de proefnemingen zullen namelijk moeten uitwijzen of de gestelde voorwaarden steeds vervuld kunnen worden.

Hoofdstuk I. - Algemene modelwetten (1).

De grondslagen van de modelwetten zijn vervat in de wetten van Newton, Froude en Reynolds.

De wet van Newton is een algemene wet uit de mechanica en veronderstelt bij modelproeven een geometrische en mechanische gelijkvormigheid.

De wet van Froude is een toepassing van de wet van Newton voor het bijzondere geval, waarbij enkel de zwaartekracht een rol speelt.

De wet van Reynolds tenslotte heeft ook de wet van Newton als basis, doch gaat uit van verschijnselen die alleen aan de wrijving onderworpen zijn.

§ 1. Wet van Newton.

De basiswet, die in aanmerking komt om de gegevens bekomen uit modelproeven te kunnen herleiden tot de werkelijkheid, vormt de wet van Newton.

Deze wet is een algemene wet uit de mechanica en veronderstelt bij toepassing op modelproeven volgende voorwaarden :

(a) objekt en model moeten geometrisch gelijkvormig zijn (2), teneinde een gelijkvormige stroming bij objekt en model te bekomen,

(1) Dr. Ir. W.P.A. Van Lammeren. - Weerstand en voortstuwing van schepen, deel II. Amsterdam - De "Technische Boekhandel" H. Stam, 1944.

(2) Onder objekt wordt verstaan het voorwerp op ware grootte en wordt aangeduid met indice 1, terwijl het model het objekt op schaal voorstelt en weergegeven wordt door indice 2.

(b) de krachten die optreden bij objekt en model moeten mechanisch gelijkvormig verlopen, d.w.z. dat ieder waterdeeltje of -massa in het model een weg moet volgen die geometrisch gelijkvormig is aan de weg van het overeenkomstig waterdeeltje of -massa in het objekt.

Wanneer aan deze voorwaarden voldaan is, zal de tijd-kracht-weg verhouding in het model een exacte weergave zijn van deze verhouding in het objekt. De vergelijkingen die tot de modelwetten leiden, kunnen dan als volgt opgesteld worden.

1. De fundamentele vergelijking van de mechanica luidt :

$$\begin{aligned} \text{Kracht} &= \text{Massa} \times \text{Versnelling of} \\ K &= M \cdot a \end{aligned} \quad (1)$$

De verandering van snelheid per tijdseenheid, of versnelling, (a) kan echter ook voorgesteld worden door :

$$a = \frac{dv}{dt}$$

waarbij v = snelheid in m/sec,

t = tijd in seconden,

beide gegevens onder een oneindig kleine verandering of onder een differentiaal vorm gesteld.

voor het objekt wordt de versnelling :

$$a_1 = \frac{dv_1}{dt_1}$$

$$\text{Nu is : } v = \frac{dL}{dt}$$

waarin

dL = een oneindig kleine lengte in meter,

dt = een oneindig kleine tijd in seconden.

Met betrekking tot het objekt geeft dit :

$$v_1 = \frac{dL_1}{dt_1}$$

zodat

$$a_1 = \frac{dv_1}{dt_1} = \frac{d^2L_1}{dt_1^2}$$

De vergelijking (1) wordt voor het objekt :

$$K_1 = M_1 \frac{d^2L_1}{dt_1^2} \quad (2)$$

en voor het model :

$$K_2 = M_2 \frac{d^2L_2}{dt_2^2} \quad (3)$$

2. Om de verhouding van de verschillende grootheden (K, M, a, v, L enz.) te kunnen bepalen, is het begrip "schaal" onontbeerlijk. Er kan voorgesteld worden door :

$$S_L = \text{lengteschaal} = \frac{L_2}{L_1} \quad (4)$$

$$S_t = \text{tijdschaal} = \frac{t_2}{t_1} \quad (5)$$

$$S_K = \text{krachtenschaal} = \frac{K_2}{K_1} \quad (6)$$

$$S_M = \text{massaschaal} = \frac{M_2}{M_1} \quad (7)$$

De verhouding van de krachten objekt - model luidt dan :

$$\frac{K_2}{k_1} = \frac{M_2 a_2}{M_1 a_1} = \frac{M_2 \frac{d^2 L_2}{d t_2^2}}{M_1 \frac{d^2 L_1}{d t_1^2}} = \frac{M_2}{M_1} \cdot \frac{d^2 L_2}{d^2 L_1} \cdot \frac{d t_1^2}{d t_2^2} \quad (8)$$

Bij invoering van de verschillende schalen, die door de formules (4), (5), (6) en (7) worden uitgedrukt, kan formule (8) als volgt geschreven worden :

$$S_K = S_M \cdot S_L \cdot \frac{1}{S_t^2} \quad (9)$$

Uit deze vergelijking kan worden afgeleid dat slechts drie schalen willekeurig kunnen worden gekozen en dat de vierde schaal door (9) mathematisch is vastgelegd.

3. Met het oog op de verdere uitwerking van de formules moeten de begrippen soortelijke massa (ρ) en soortelijk gewicht (γ) ingevoerd worden. Hierbij zijn volgende betrekkingen van belang :

$$\text{gewicht} = \text{volume} \times \text{soortelijk gewicht} \quad (G = v \cdot \gamma) \quad (10)$$

$$\text{massa} = \text{volume} \times \text{specifieke massa} \quad (M = V \cdot \rho) \quad (11)$$

$$\text{kracht} = \text{massa} \times \text{versnelling} \quad (K = M \cdot a) \quad (12)$$

$$\text{gewicht} = \text{massa} \times \text{zwaartever snelling} \quad (G = M \cdot g) \quad (13)$$

De verhouding van de betrekkingen (10) en (11) geeft :

$$\frac{G}{M} = \frac{\gamma}{\rho} \quad (14)$$

$$\text{Volgens (13) is } \frac{G}{M} = g \quad (15)$$

zodat
$$g = \frac{\gamma}{\rho} \quad \text{of} \quad \rho = \frac{\gamma}{g} \quad (16)$$

De massadichtheid of specifieke massa wordt aldus de verhouding van het soortelijk gewicht tot de zwaarteversnelling.

De dichtheid of dichtheid (δ) van een vaste stof of vloeistof is de verhouding van de massa (M) van deze stof tot de massa (M_w) van eenzelfde volume water ; het volume water wordt genomen bij zijn grootste soortelijk gewicht (4°C).

$$\delta = \frac{M}{M_w} \quad (17)$$

Volgens (11) is

$$M_w = V \cdot \rho_w \quad \text{of} \quad \frac{M}{M_w} = \frac{\rho}{\rho_w} \quad (18)$$

zodat

$$\delta = \frac{\rho}{\rho_w}$$

$$\text{Nu is } S_M = \frac{M_2}{M_1} = \frac{\rho_2 \cdot V_2}{\rho_1 \cdot V_1} \quad (19)$$

en daar $\frac{V_2}{V_1} = \frac{L_2^3}{L_1^3} = S_L^3$ wordt

$$S_M = \frac{\rho_2}{\rho_1} \cdot S_L^3 \quad (20)$$

Door vervanging van (20) in (9) bekomt men :

$$S_K = \frac{\rho_2}{\rho_1} \cdot S_L^3 \cdot S_L \cdot \frac{1}{S_t^2}$$

of

$$S_K = \int_1^2 \cdot \frac{S_L^4}{S_t^2}$$

$$S_K = \int_1^2 \cdot S_L^2 \cdot \frac{S_L^2}{S_t^2} \quad (21)$$

Wanneer de waarden van S_L , S_t en S_M vervangen worden volgens (4), (5) en (6) krijgt men :

$$\frac{K_2}{K_1} = \int_1^2 \cdot \frac{L_2^2}{L_1^2} \cdot \frac{v_2^2}{v_1^2} = \int_1^2 \cdot \frac{F_2}{F_1} \cdot \frac{v_2^2}{v_1^2} \quad (22)$$

want $L_1 = v_1 t_1$ en $L_2 = v_2 t_2$

Door substitutie van de waarden van het object en het model respectievelijk in het linker- en het rechterlid, wordt :

$$\frac{K_1}{\int_1 F_1 v_1^2} = \frac{K_2}{\int_2 F_2 v_2^2}$$

Dit betekent dat de verhouding $\frac{K}{\int F v^2}$ zowel voor object als model dezelfde waarde moet hebben nl. :

$$\frac{K}{\int F v^2} = \text{Constante} \quad (23)$$

De uitdrukking (23) is geldig voor alle krachten, die betrekking hebben op de beweging van overeenkomstige massa's o.m. zwaartekrachten, inertiekrachten, inwendige wrijvingskrachten, kapilaire krachten, elasticiteitskrachten, enz.

§ 2. Wet van Froude.

Bij de modelwetten kan een **bijzonder** geval beschouwd worden, waarbij, enkel onder de werking van de zwaartekracht en met uitsluiting van alle andere krachten (taaiheidskrachten, viscositeitskrachten) en storende nevenverschijnselen, de mechanische verschijnselen gelijkvormig verlopen bij objekt en model. In deze veronderstelling dienen voor objekt en model enkel de zwaartekrachten, die dan gewichtskrachten zijn, vergeleken te worden met de traagheids- of inertiekrachten.

1. De zwaartekracht is gelijk aan het produkt van de massa met de zwaarteversnelling of

$$K = M \cdot g = \rho \cdot V \cdot g \quad (24)$$

Bij toepassing van (20) en (24) op model en objekt verkrijgt men :

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \cdot S_L^3 \quad (25)$$

Bij gelijk medium ($\rho_2 = \rho_1$) is de verhouding van krachten van model en objekt rechtstreeks evenredig met de derde macht van de lengteschaal.

Bij vervanging van K in (23) bekomt men na uitwerking :

$$\frac{L \cdot g}{v^2} = \text{Constante} \quad (26)$$

Verder volgt uit (26)

$$\frac{v}{\sqrt{Lg}} = F_r \text{ of het getal van Froude } (*) \quad (27)$$

(*) Daar de wet van Froude afgeleid is uit de wet van Newton, waarbij verondersteld wordt dat de verschijnselen zich mechanisch gelijkvormig voordoen, verlopen de verschijnselen die gekenmerkt worden door eenzelfde getal van Froude eveneens mechanisch gelijkvormig.

Het getal van Froude is dimensieloos, daar enerzijds $\sqrt{L \cdot g}$ als dimensie heeft $\sqrt{\text{m.m/sec}^2} = \text{m/sec}$ en anderzijds v eveneens weergegeven wordt in m/sec :

2. Bij toepassing van (26) op objekt en model bekomt men :

$$\frac{L_1 g}{v_1^2} = \frac{L_2 g}{v_2^2} = \text{Constante}$$

Daar g eveneens constant is, wordt :

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{\sqrt{L_2}}{\sqrt{L_1}} \quad \text{of}$$

$$S_v = \sqrt{S_L} \quad (28)$$

Gezien $S_v = \frac{S_L}{S_t}$ geeft formule (28)

$$S_t = \sqrt{S_L} \quad (29)$$

Uit de formule (28) volgt, dat bij twee verschijnselen, die aan de aardoppervlakte enkel onder de invloed van de zwaartekracht mechanisch gelijkvormig verlopen, de verhouding van de overeenkomstige snelheden van het objekt en het geometrisch gelijkvormig model rechtstreeks evenredig is met de verhouding van de vierkantswortel uit de lengteschaal, m.a.w. rechtstreeks evenredig met de verhouding van de vierkantswortel uit de overeenkomstige lineaire afmetingen van objekt en model (modelwet van Froude).

3. Er kan aangestipt worden dat voor modelproeven met netten, waarbij de vergelijkingswet van Froude als grondslag genomen wordt, de verhouding van de snelheden van objekt en model zich verhouden als de vierkantswortel uit de lengteschaal, hetgeen overeenkomt met de vierkantswortel uit

hun overeenkomstige lengte. Hieruit volgt, dat de verhouding $\frac{v_2}{v_1}$ relatief klein zal zijn, zodat voor het model met kleine snelheden (v_2) zal kunnen worden gewerkt.

Van een net op ware grootte, dat gesleept wordt met een snelheid van 4 knopen, wordt een model gemaakt op schaal 1/5. De snelheid waarmee het modelnet dient gesleept te worden, kan dan als volgt berekend worden :

$$1 \text{ knoop} = 1,853 \text{ km/h of } \frac{1,853}{3,6} \text{ m/sec}$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{S_L}$$

$$S_L = 1/5 \text{ en } v_1 = 4 \times \frac{1,853}{3,6} \text{ m/sec}$$

$$v_2 = v_1 \sqrt{S_L} = \frac{4 \times 1,853}{3,6 \sqrt{5}} = \frac{4 \times 1,853}{3,6 \times 2,2361} = 0,92 \text{ m/sec}$$

of afgerond : 1 m/sec.

4. In het licht van bovenvermelde gedachtengang kan de vraag gesteld worden hoe de vermogens van objekt (N_1) en model (N_2) zich verhouden. Op basis van de mechanica is het vermogen gelijk aan kracht x afstand gedeeld door de tijd, in de veronderstelling dat kracht en afgelegde weg dezelfde werklijn hebben ; in nog kortere termen is het vermogen gelijk aan de kracht x de snelheid.

$$S_N = \frac{N_2}{N_1} = \frac{K_2 v_2}{K_1 v_1} = \frac{M_2 g v_2}{M_1 g v_1} = \frac{\int_2 V_2 g v_2}{\int_1 V_1 g v_1} \quad (30)$$

Door rekening te houden met (16) en (28),

wordt

$$S_N = \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \cdot S_L^3 \sqrt{S_L}, \text{ zodat}$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \cdot S_L^{3,5} \quad (31)$$

Voor een gelijk medium is $\gamma_1 = \gamma_2$ en dan is

$$\frac{N_2}{N_1} = S_L^{3,5} \quad (32)$$

Daar de indices 1 en 2 betrekking hebben op respektievelijk objekt en model zal $\gamma_1 = 1,025 \text{ kg/dm}^3$ voor zeewater en $\gamma_2 = 1,025$ of 1 al naar gelang het model gesleept wordt in zeewater of zoetwater.

Een voorbeeld kan een en ander duidelijk weergeven. Verondersteld wordt een garnaalvaartuig met een nominaal vermogen van 90 pk. Zij het vermogen nodig voor het slepen van het net 50 pk. Welk vermogen heeft men nodig om het modelnet te slepen dat 5 maal kleiner is dan het garnaalnet, indien er verondersteld wordt dat er in dezelfde omstandigheden gewerkt wordt ($\gamma_1 = \gamma_2 = 1,025$).

Uit formule (32) volgt dat $N_2 = N_1 \cdot S_L^{3,5}$

$$N_2 = \frac{50}{5^{3,5}} = \frac{50}{280} = 0,178 \text{ pk.}$$

Daar 1 pk = 736 Watt stemt 0,178 pk overeen met 131 Watt.

Uit formule (32) kan eveneens afgeleid worden dat het van groot belang is het model nauwkeurig te konstrueren. de eventuele fout die voortvloeit uit S_L wordt namelijk

verheven tot de 3,5de macht. In de veronderstelling dat bijvoorbeeld een fout gemaakt wordt van 1 % bij het vervaardigen van het model, dan wordt de fout van S_L in bovenvermeld voorbeeld :

$$\frac{5 \times (\pm 1)}{100} = \pm 0,05$$

$$\text{Voor een fout van } + 0,05 \text{ wordt } S_L = \frac{1}{\pm 0,05} = \frac{1}{5,05}$$

$$\text{en de waarde van } N_2 = \frac{50}{5,05^{3,5}} = \frac{50}{290} = 0,172 \text{ pk.}$$

Procentueel uitgedrukt bedraagt de fout :

$$\frac{0,178 - 0,172}{0,172} \cdot 100 = 4,0 \%$$

$$\text{Voor een fout van } - 0,05 \text{ wordt } S_L = \frac{1}{5-0,05} = \frac{1}{4,95}$$

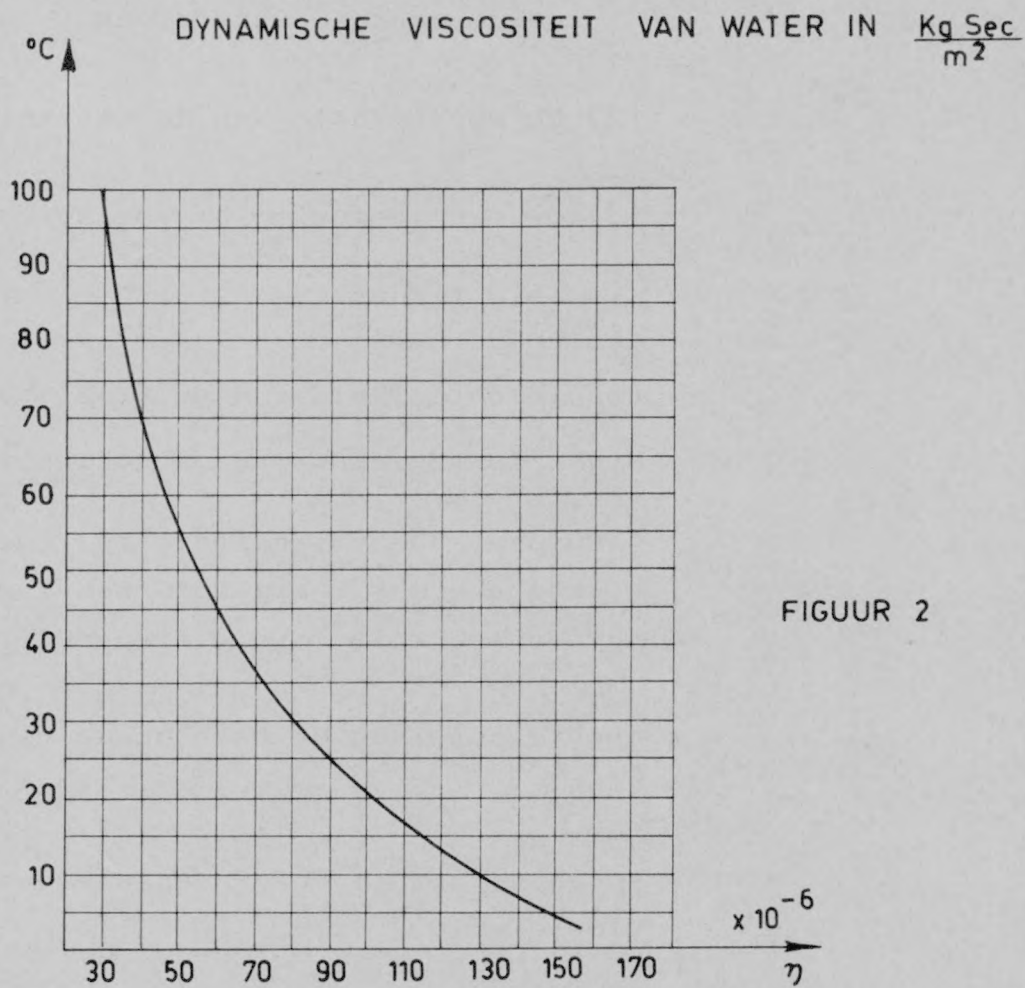
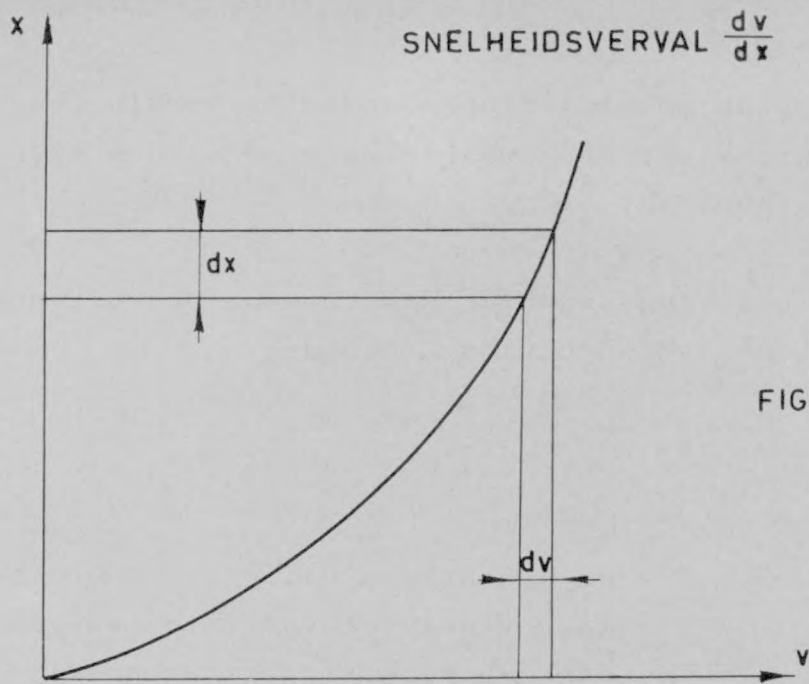
$$\text{en de waarde van } N_2 = \frac{50}{4,95^{3,5}} = \frac{50}{270} = 0,185$$

De procentuele fout wordt :

$$\frac{0,178 - 0,185}{0,185} \cdot 100 = 3,8 \%$$

§ 3. Wet van Reynolds.

Bij het opstellen van de wet van Froude werd verondersteld dat de mechanisch gelijkvormige verschijnselen alleen onderworpen werden aan de zwaartekracht ; de nevenverschijnselen (secundaire krachten) werden dan ook buiten beschouwing gelaten. Reynolds gaat uit van het feit dat de



verschijnselen enkel verlopen onder de werking van inwendige wrijvingskrachten. De zwaartekrachten worden hier niet in aanmerking genomen.

1. (a) De wrijvingskrachten worden door de volgende formule uit de hydrodynamica bepaald :

$$K = \eta \cdot A \cdot \frac{dv}{dx} \quad (33)$$

waarin K = de kracht die nodig is om een bepaalde laag vloeistof voort te bewegen en die dan ook rechtstreeks evenredig is met :

(1) de soort vloeistof, die gekenmerkt wordt door de waarde van η

(2) de oppervlakte van de vloeistoflaag en

(3) de verhouding $\frac{dv}{dx}$ of snelheidsverval

(zie figuur 1),

η = absolute taaiheid van de vloeistof uitgedrukt in $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot \text{sec}$; de absolute taaiheid

of dynamische viscositeit is functie van de temperatuur : bij 20°C bedraagt η ongeveer 100×10^{-6} (zie figuur 2),

A = oppervlakte van de beschouwde vloeistoflaag,

dv = snelheidsvariatie over een elementaire vloeistoflaag dx ,

dx = dikte van de beschouwde elementaire
vloeistoflaag.

Deze formule toegepast respektievelijk op
objekt en model geeft volgende uitdrukkingen :

$$K_1 = \eta_1 A_1 \frac{d v_1}{d x_1} \quad (34)$$

$$K_2 = \eta_2 A_2 \frac{d v_2}{d x_2} \quad (35)$$

(b) Men noemt kinematische viscositeit ν , de verhouding
van de absolute taaiheid tot de soortelijke massa of

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} = \frac{\eta \cdot g}{\gamma} \quad (36)$$

Bij 20°C bedraagt ν (die uitgedrukt wordt in
 m^2/sec) voor water ongeveer 1.

2. Het invoeren van (33) in (23) leidt tot :

$$\frac{\eta_A \frac{dv}{dx}}{\rho_A v^2} = \text{constante}$$

Daar $\frac{dv}{dx}$ dezelfde dimensies heeft als $\frac{v}{L}$ kan
gesteld worden dat :

$$\frac{\nu \frac{v}{L}}{v^2} = \text{constante of}$$

$$\frac{vL}{\nu} = \text{constante} \quad (37)$$

Bij toepassing op objekt en model bekomt men :

$$\frac{v_1 L_1}{\nu_1} = \frac{v_2 L_2}{\nu_2} \quad (38)$$

De uitdrukking (37) wordt het getal van Reynolds genoemd en is dimensieloos. In het geval dat $\nu_1 = \nu_2$, hetgeen overeenkomt met een gelijk medium, wordt (38)

$$v_1 L_1 = v_2 L_2 = \text{constante.}$$

3. De wet van Reynolds kan als volgt geformuleerd worden :
 wanneer in onsamendrukbare vloeistoffen de bewegingsverschijnselen van objekt en model, uitsluitend onder de invloed van inwendige wrijvingsverschijnselen, geometrisch gelijkvormig verlopen, zullen de uitdrukkingen $\frac{v_2 L_1}{\nu_1}$ en $\frac{v_2 L_2}{\nu_2}$ gekenmerkt worden door hetzelfde getal van Reynolds, m.a.w. de gelijkheid van het getal van Reynolds komt overeen met mechanische gelijkvormigheid van de twee verschijnselen.

Uit (34), (35) en (38) kunnen de schalen S_K , S_v en S_t bepaald worden :

$$S_K = \frac{K_2}{K_1} = \frac{\eta_2}{\eta_1} \cdot S_L^2 \cdot \frac{S_v}{S_L}$$

Daar $S_v = \frac{S_L}{S_t}$ geeft dit :

$$S_K = \frac{\eta_2}{\eta_1} \frac{S_L^2}{S_t} \quad (39)$$

$$S_v = \frac{\nu_2}{\nu_1} \frac{1}{S_L} \quad (40)$$

$$S_t = \frac{S_L}{S_v} = \frac{\nu_1}{\nu_2} \cdot S_L^2 \quad (41)$$

De formule (39) kan nog verder onder twee andere interessante vormen geschreven worden door (41) in (39) te brengen :

$$S_K = \frac{\eta_2}{\eta_1} \cdot \frac{S_L^2}{\frac{\nu_1}{\nu_2} S_L^2} = \frac{\eta_2}{\eta_1} \cdot \frac{\nu_2}{\nu_1} \quad (42)$$

en met (36) wordt dit :

$$S_K = \frac{\eta_2^2}{\eta_1^2} \cdot \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{\nu_2^2}{\nu_1^2} \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{\eta_2^2}{\eta_1^2} \cdot \frac{\delta_1}{\delta_2} = \frac{\nu_2^2}{\nu_1^2} \cdot \frac{\delta_2}{\delta_1} \quad (43)$$

Voor een gelijk medium is $\rho_1 = \rho_2$ en $\nu_1^2 = \nu_2^2$ of $S_K = 1$. De krachten zijn dan gelijk voor object en model.

4. Uit de besproken formules kan worden afgeleid dat de verhouding van de corresponderende lineaire afmetingen omgekeerd evenredig is met de overeenkomstige snelheden. Hieruit volgt, dat de wet van Reynolds t.o.v. de wet van Froude minder gunstig uitvalt voor het uitvoeren van modelproeven in de veronderstelling van een gelijk medium.

Wanneer de verhouding van de lineaire afmetingen gelijk is aan 1/5, dan zal de snelheid van het model vijf maal groter zijn dan deze veroorzaakt door het object. Indien een schip, tijdens het vissen, het net sleept met een snelheid van 4 knopen t.o.v. de grond, dan wordt de overeenkomstige snelheid van het model in een proeftank gelijk aan $4 \times 5 = 20$ knopen of ongeveer 36 km/h.

Hieruit kan worden opgemaakt dat proeven in gelijk medium, waarbij de wrijving van overwegend belang is, niet geschikt zijn voor kleine modellen.

$\gamma_1, \rho_1, \nu_1, \nu_1$ voor zoutwater en $\gamma_2, \rho_2, \nu_2, \nu_2$ voor zoetwater, hebben ongeveer dezelfde waarde, zodat hier benaderend kan gesproken worden van een gelijk medium.

5. Voor het onderzoek van netten dient er zowel aan de wet van Froude als aan de wet van Reynolds voldaan te worden. Bij netten treden er verschillende krachten op, zoals zwaartekrachten en wrijvingskrachten. Nu houdt Reynolds alleen rekening met de wrijvingskrachten, terwijl Froude alleen de gewichtskrachten in aanmerking neemt.

In zelfde medium is volgens Froude :

$$\frac{v_1}{\sqrt{g L_1}} = \frac{v_2}{\sqrt{g L_2}} \quad \text{of} \quad \frac{v_1}{\sqrt{L_1}} = \frac{v_2}{\sqrt{L_2}}$$

en volgens Reynolds $v_1 L_1 = v_2 L_2$.

Wanneer zowel de wrijvingskrachten als de zwaartekrachten van belang zijn, moet aan beide wetten te zelfdertijd voldaan worden. Daar de uitdrukking $\frac{v}{\sqrt{L}}$ (volgens Froude) een constante is en vL (volgens Reynolds) eveneens constant is, maar verschillend van eerstgenoemde, moet voor de gelijkstelling een evenredigheidscoëfficiënt α ingevoerd worden en krijgt men :

$$\frac{v_1}{\sqrt{L_2}} = \frac{v_2}{\sqrt{L_2}} = \alpha \cdot v_1 \cdot L_1 = \alpha \cdot v_2 \cdot L_2$$

Dit geeft :

$$v_1 = v_1 \cdot \alpha \cdot \sqrt{L_1} \cdot L_1 \quad \text{of} \quad 1 = \alpha \sqrt{L_1} \cdot L_1$$

$$v_2 = v_2 \cdot \alpha \sqrt{L_2} \cdot L_2 \quad \text{of} \quad 1 = \alpha \sqrt{L_2} \cdot L_2$$

waardoor
$$\sqrt{L_1} \cdot L_1 = \sqrt{L_2} \cdot L_2$$

Dit is alleen mogelijk wanneer $L_1 = L_2$ op analoge manier krijgt men voor de snelheden $v_1 = v_2$.

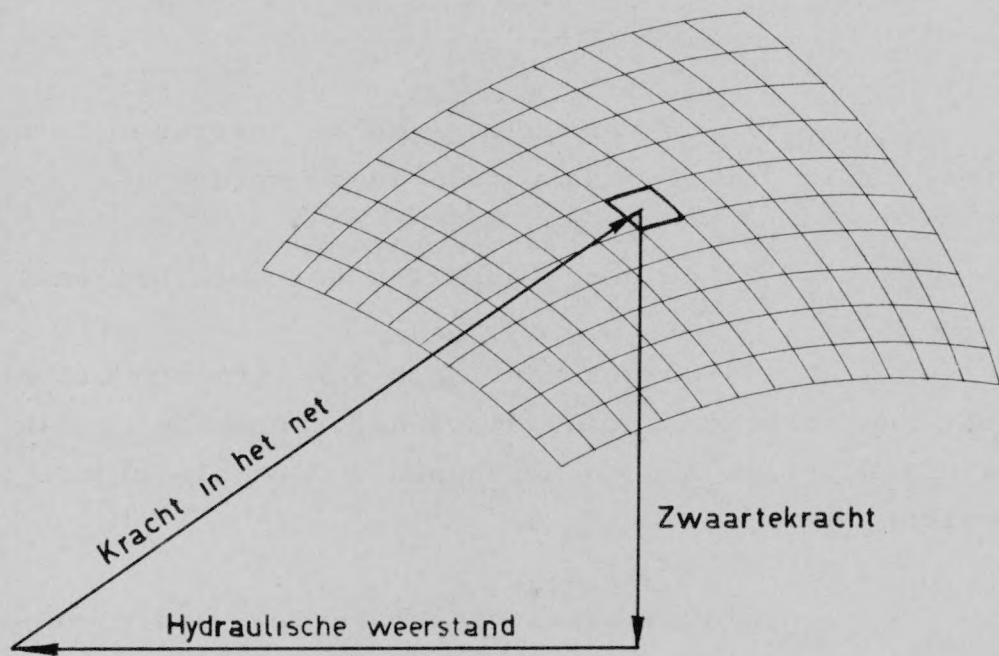
Hoofdstuk II. - Formules van Kawakami (1).

Froude en Reynolds zijn uitgegaan van de zeer algemene basiswet van Newton en hebben elk een wet opgesteld die enkel en alleen rekening houdt respectievelijk met de zwaartekrachten en de wrijvingskrachten.

Op een net werken echter niet alleen zwaartekrachten maar ook wrijvingskrachten, zodat gelijktijdig aan beide wetten moet worden voldaan. Theoretisch is dit niet mogelijk en praktisch is dit slechts uitvoerbaar binnen bepaalde grenzen (nl. in een gebied tussen laminaire en turbulente stromingen). Anderzijds houden beide wetten slechts rekening met één lengteschaal, waardoor zich moeilijkheden kunnen voordoen bij de verhouding van de garen-diameters.

Kawakami heeft formules opgebouwd die specifiek betrekking hebben op visnetten en hun optuiging. Door uit te gaan van een aantal veronderstellingen en door analyse van de krachten en factoren die op het net, de onderdelen van het net en zijn optuiging inwerken, werden een aantal formules uitgewerkt. Deze formules hebben betrekking op het schijnbaar gewicht van het netwerk, op de stromingsweerstand

(1) T. Kawakami - The theory of designing fishing nets and testing them in model, in Modern Fishing Gear of the World 2. Londen, Fishing News (Books) LTD, 1964, blz. 471-481.



FIGUUR 3

en op de trekkracht. Verder worden de modelwetten toegepast op kabels, vlotters en ballastgewichten. Tevens wordt rekening gehouden met ongelijke schaalverhoudingen in horizontale en verticale richting en met de invloed van de golven.

§ 1. Veronderstellingen.

Voor de opbouw van de formules is Kawakami uitgegaan van volgende veronderstellingen ten aanzien van het net :

- 1) de verlenging van het netgaren is nul of zodanig klein dat zij mag verwaarloosd worden ;
- 2) de netgarens zijn volkomen buigzaam ;
- 3) de veranderingen van vorm van het net geschieden zo traag dat de uitwendige krachten op elk deel afzonderlijk kunnen beschouwd worden als zijnde in evenwicht.

Bij de berekeningen worden verder enkele praktische omstandigheidsvoorwaarden aangenomen :

- 1) de studie wordt enkel doorgevoerd voor gevallen waarbij de snelheid constant is (d.w.z. de versnelling a is gelijk aan nul of te verwaarlozen klein);
- 2) er bestaat evenwicht tussen de zwaartekracht (resultante van het eigenlijk gewicht), de weerstandkracht (wrijving) en de spanning in het netwerk (zie figuur 3) ;
- 3) de wetten van Newton, die betrekking hebben op de hydrodynamische weerstand, zijn geldig voor ieder netdeeltje en onafhankelijk van het getal van Reynolds.

2. Analyse van de krachten en opstellen van de formules.

De complexiteit van het netwerk wordt onder-
vangen door het eenvoudigste deeltje van het net, nl. een
maas, als uitgangspunt te nemen.

Voor een maas werd de resultante van de
zwaartekracht (schijnbaar gewicht) berekend, werd de weer-
stand bepaald en werden de mechanische gelijkvormigheids-
voorwaarden afgeleid.

Voor de optuiging (kabels, vlotters) werd de
zwaarte- en weerstandskracht eveneens in aanmerking genomen.

Verder werden voor bijzondere lengte-breedte
verhouding van het objekt twee afzonderlijke lengteschalen
voor het model ingevoerd en tenslotte werd met de invloed
van de golven rekening gehouden.

A. Schijnbaar gewicht van het netwerk.

Onder schijnbaar gewicht wordt verstaan de
resultante van het eigenlijk gewicht (in lucht) en de op-
waartse kracht. Dit gewicht kan gevonden worden door toe-
passing van de wet van Archimedes (1).

Voor het schijnbaar gewicht van een maas moet
worden opgemerkt dat een maas uit vier benen bestaat van
gelijke lengte die op de hoeken geknoopt zijn. Eén been
behoort tot twee mazen en één knoop tot vier mazen. Dit
betekent dat voor de berekening van het schijnbaar gewicht
per maas de vier benen slechts voor de helft van het ge-
wicht in aanmerking komen en de vier knopen slechts voor
een vierde.

(1) Een lichaam dat ondergedompeld wordt in een vloeistof
ondergaat een opwaartse kracht, die gelijk is aan het
gewicht van de verplaatste vloeistof.

Het werkelijk gewicht van de benen is gelijk aan :

$$\frac{1}{2} \cdot 4 \cdot \frac{\pi D_g^2}{4} \cdot L_b \cdot p_g \cdot \gamma \quad (44)$$

terwijl het werkelijk gewicht van de knopen gelijk is aan

$$\frac{1}{4} \cdot 4 \cdot \frac{\pi D_k^2}{4} \cdot L_k \cdot p_k \cdot \gamma \quad (45)$$

waarbij :

D_g = garendiameter van het been ;

L_b = lengte been ;

$1-p_g$ = poreusheid van het garen behorend tot het been ;

L_k = lengte van het garen behorend tot de knoop ;

D_k = diameter van het garen behorend tot de knoop ;

$1-p_k$ = poreusheid van het garen behorend tot de knoop ;

γ = soortelijk gewicht van de bestaande stof ;

γ_w = soortelijk gewicht van het water.

Het gewichtsverlies in water wordt gevonden door het volume van de verplaatste vloeistof te vermenigvuldigen met het soortelijk gewicht van water. Dit verlies wordt voor een maas :

$$\frac{1}{2} \cdot 4 \cdot \frac{\pi \cdot D_g^2}{4} \cdot L_b \cdot p_g \cdot \gamma_w \quad (46)$$

en voor een knoop :

$$\frac{1}{4} \cdot 4 \cdot \frac{\pi \cdot D_k^2}{4} \cdot L_k \cdot p_k \cdot \gamma_w \quad (47)$$

Het verschil tussen het werkelijk gewicht en het gewichtsverlies in water van de benen en de knopen geeft het schijnbaar gewicht van een maas (G_s)

$$G_s = \left(2 \frac{\pi \cdot D_g^2}{4} \cdot L_b \cdot p_g + \frac{\pi \cdot D_k^2}{4} \cdot L_k \cdot p_k \right) (\gamma - \gamma_w) \quad (48)$$

Om in formule (48) de diameter van het garen van de knoop (D_k) te elimineren, moet een betrekking gezocht worden tussen deze diameter en de garendiameter D_g .

In de veronderstelling dat het soortelijk gewicht van de vezels van het getwijnd garen niet gewijzigd werd tijdens het vervaardigen van de knopen, mag, per lengte-eenheid, volgende uitdrukking geschreven worden :

$$\frac{\pi}{4} \cdot D_g^2 \cdot p_g = \frac{\pi}{4} \cdot D_k^2 \cdot p_k \quad (49)$$

of

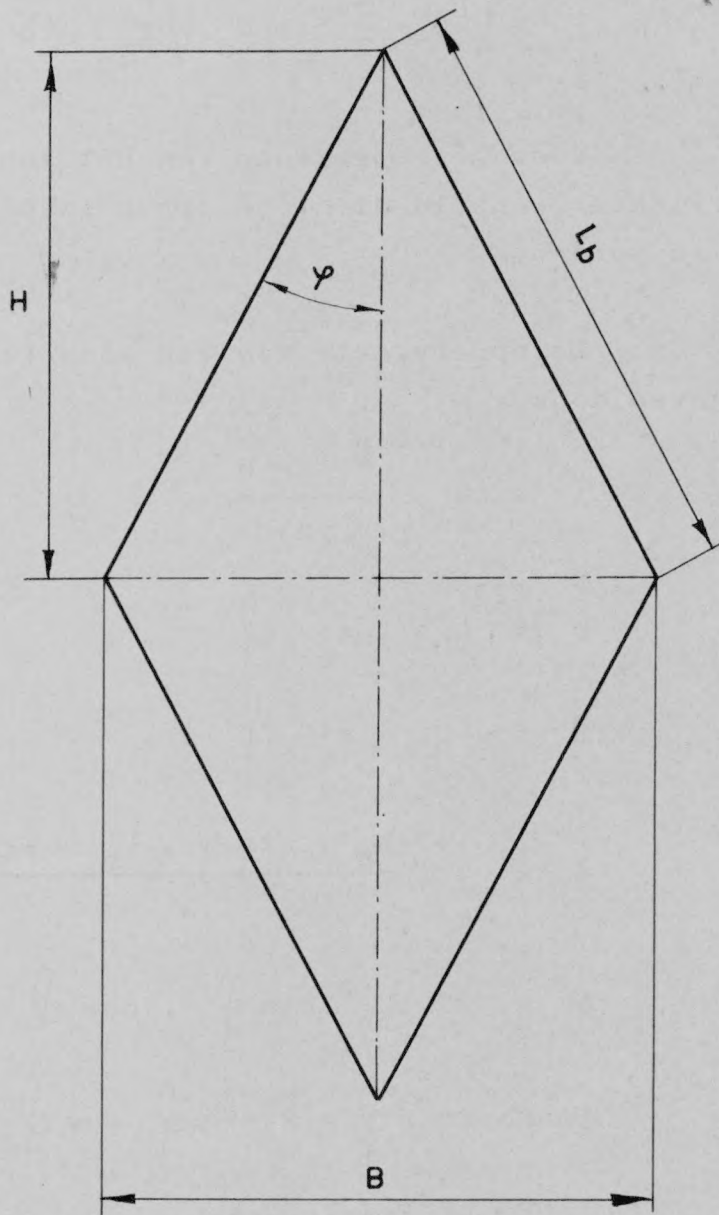
$$D_g^2 \cdot p_g = D_k^2 \cdot p_k \quad (50)$$

waaruit

$$D_k = D_g \cdot \sqrt{\frac{p_g}{p_k}} \quad (51)$$

$$\text{Nu is } L_k = k \cdot D_k \quad (52)$$

met k als constante die afhankelijk is van de soort knoop.



FIGUUR 4

Door (48) en (51) in (52) in te voeren be-
komt men :

$$G_s = \left(\frac{2\pi}{4} \cdot D_g^2 \cdot L_b \cdot p_g + \frac{\pi}{4} p_k \cdot D_g^2 \cdot \frac{p_g}{p_k} \cdot k \cdot D_k \right) (\gamma - \gamma_w)$$

$$\text{of } G_s = \frac{\pi}{2} D_g^2 \cdot p_g \left(L_b + \frac{k}{2} \cdot D_g \sqrt{\frac{p_g}{p_k}} (\gamma - \gamma_w) \right) \quad (53)$$

Voor het berekenen van het schijnbaar gewicht
per oppervlakte eenheid dient de oppervlakte van een maas
berekend te worden.

De oppervlakte van een maas (zie figuur 4)
wordt gegeven door :

$$A = 4 \cdot \frac{\frac{B}{2} \times H}{2}$$

waarbij $H = L_b \cdot \cos \varphi$

$$\frac{B}{2} = L_b \cdot \sin \varphi$$

zodat $A = 4 \cdot \frac{L_b \cdot \sin \varphi \cdot L_b \cos \varphi}{2}$

of $A = 2 \cdot L_b^2 \sin \varphi \cdot \cos \varphi \quad (54)$

Daar $\sin 2\varphi = 2 \sin \varphi \cos \varphi$ wordt :

$$A = L_b^2 \cdot \sin 2\varphi \quad (55)$$

2φ is de hoek gevormd door twee benen, in de richting van
de beweging.

Het schijnbaar gewicht per eenheid van oppervlakte (g_s) wordt gegeven door deling van (53) door (55).

$$g_s = \frac{G_s}{A} = \frac{\pi D_g^2 \cdot P_g}{2 L_b^2 \sin 2\varphi} \left(L_b + \frac{k}{2} \cdot \sqrt{\frac{P_g}{P_k}} \cdot D_g \right) (\gamma - \gamma_w) \text{ of}$$

$$g_s = \frac{\pi P_g}{2 \cdot \sin 2\varphi} \left(\frac{D_g}{L_b} + \frac{k}{2} \sqrt{\frac{P_g}{P_k}} \cdot \frac{D_g^2}{L_b^2} \right) D_g (\gamma - \gamma_w) \quad (56)$$

$$\text{of } g_s = f_1 (\varphi) \left(\frac{D_g}{L_b} + \frac{k}{2} \sqrt{\frac{P_g}{P_k}} \cdot \frac{D_g^2}{L_b^2} \right) D_g (\gamma - \gamma_w) \quad (57)$$

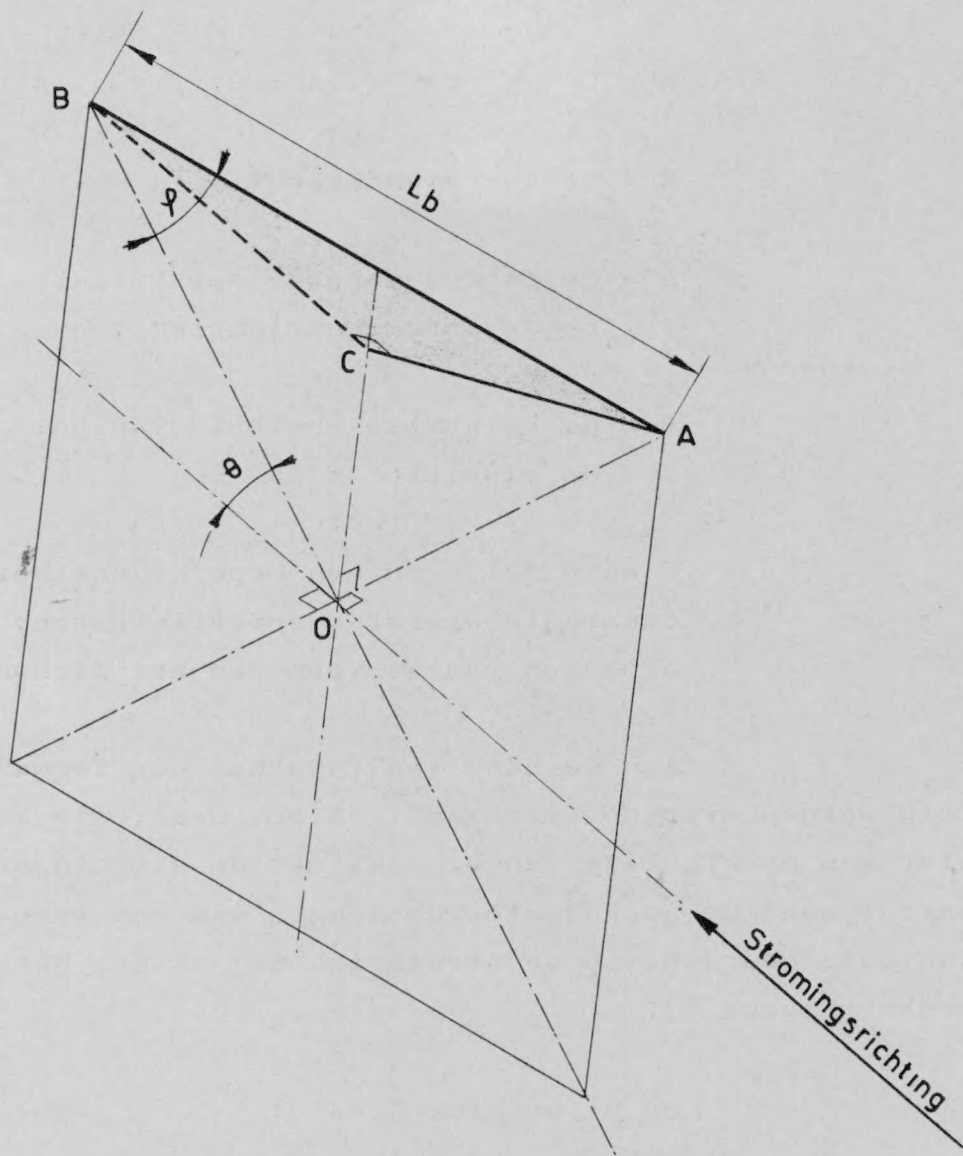
$$\text{met } f_1 (\varphi) = \frac{P_g \pi}{2 \sin 2\varphi}$$

Aan de hand van formule (57) kan het totaal schijnbaar gewicht van het net berekend worden. De overgang van het gewicht per maas naar het gewicht per oppervlakte eenheid heeft als voordeel dat de onderlinge vergelijking van de visnetten mogelijk wordt.

Aan deze berekening is echter nog een moeilijkheid verbonden, nl. de kennis van de stand van het net en die in (57) weergegeven is door $f_1 (\varphi)$. De reële betekenis van dit bezwaar zal bij het modelonderzoek moeten worden nagegaan.

B. Weerstand van het net in een stroom (stromingsweerstand).

Een lichaam dat zich in een stroom van een vloeistof bevindt, wordt onderworpen aan een hydrodynamische kracht. De krachten die op een dergelijk lichaam uitgeoefend worden, zijn afhankelijk van de soort vloeistof,



FIGUUR 5

het weerstandbiedend oppervlak, alsook van het vierkant van de snelheid.

Algemeen geldt :

$$R = C \cdot \gamma_w \cdot v^2 \cdot A = C_1 \cdot v^2 \cdot A \quad (59)$$

R = de weerstandkracht ;

A = de geprojecteerde oppervlakte loodrecht op de stromingsrichting ;

v = de relatieve snelheid van het net t.o.v. de vloeistof ;

C en C_1 zijn in een beperkt snelheidsgebied constante weerstandscoefficienten, die echter afhangen van de vorm van het lichaam.

Aan de hand van (59) kan een formule opgesteld worden over de weerstand van een maas, die in het water een hoek gelijk aan θ maakt met de stromingsrichting. Daartoe moet de geprojecteerde lengte van een been op een vlak dat loodrecht op de stroomrichting staat, berekend worden (figuur 5).

De uitwerking geeft :

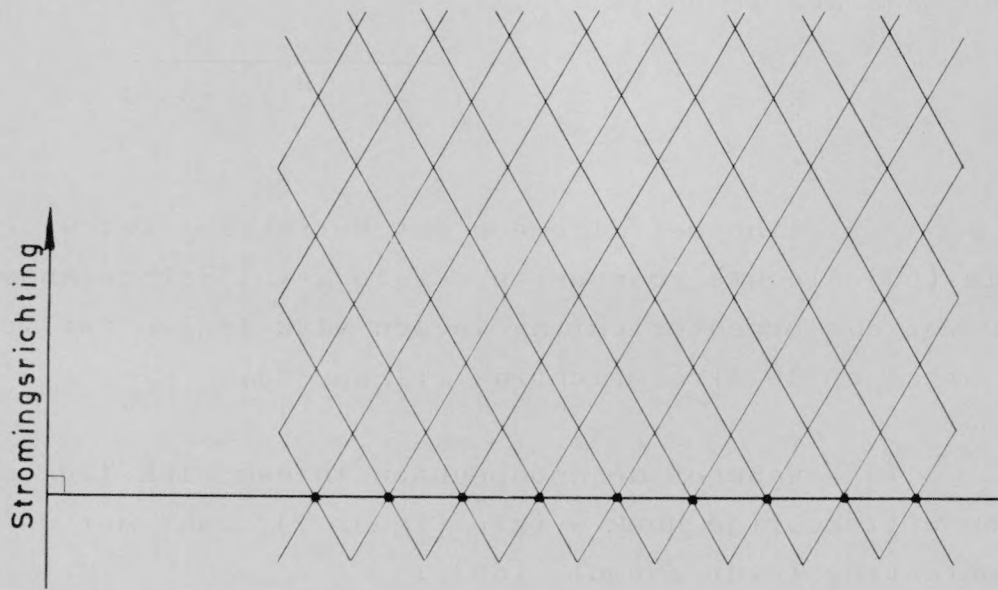
$$CA = \sqrt{OC^2 + OA^2}$$

$$OC = OB \sin \theta = L_b \cdot \cos \varphi \cdot \sin \theta$$

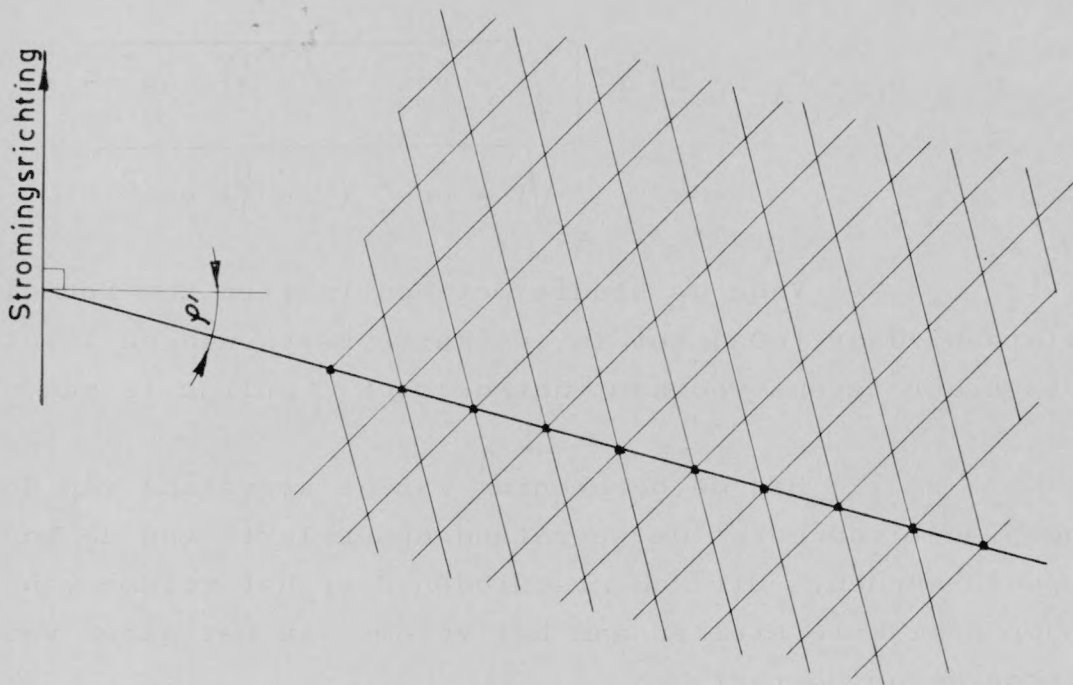
$$OA = L_b \cdot \sin \varphi$$

$$CA = L_b \sqrt{\cos^2 \varphi \sin^2 \theta + \sin^2 \varphi}$$

$$= L_b \sqrt{1 - \cos^2 \varphi \cdot \cos^2 \theta}$$



FIGUUR 6



FIGUUR 7

Voor de weerstandskracht van de vier benen van een maas heeft men :

$$R_b = 4 \cdot \frac{1}{2} C_1 L_b \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} \cdot \cos^2 \theta \cdot D_g v^2 \quad (60)$$

Alhoewel algemeen met betrekking tot θ , geldt formule (60) slechts voor het speciale geval dat de knooppunten volgens breedterichting in een vlak liggen dat loodrecht staat op de stroomrichting (figuur 6).

Wanneer de knooppunten in een vlak liggen dat een willekeurige hoek θ (zie figuur 7) maakt met de stroomrichting luidt formule (60) :

$$R_b = 2 \frac{1}{2} C_1 L_b \sqrt{1 - \cos^2(\varphi' + \varphi)} \cdot \cos^2 \theta D_g \cdot v^2 +$$

$$2 \frac{1}{2} C_1 L_b \sqrt{1 - \cos^2(\varphi' - \varphi)} \cdot \cos^2 \theta D_g v^2$$

$$R_b = C_1 L_b D_g v^2 \left[\sqrt{1 - \cos^2(\varphi' + \varphi) \cos^2 \theta} + \sqrt{1 - \cos^2(\varphi' - \varphi) \cos^2 \theta} \right] \quad (60a)$$

Voor de studie met modelnetten kan formule 60 volstaan, daar (60a) tot ingewikkelde berekeningen leidt en het verder tevens voorkomt dat de hoek φ' gelijk is aan nul.

Bij de berekening van de weerstand van de knoop moet vooreerst de weerstandsoppervlakte van de knoop bepaald worden. Dit kan geschieden door het volume van een knoop gelijk te stellen aan het volume van het garen waaruit de knoop bestaat.

$$V_k = L_k \cdot \frac{\pi D_k^2}{4} \quad (61)$$

In (61) kunnen L_k en D_k vervangen worden door hun waarden uit de formules (51) en (52)

$$\begin{aligned}
 V_k &= k \cdot D_k \cdot \frac{\gamma}{4} \cdot D_g^2 \cdot \frac{P_g}{P_k} \\
 V_k &= k \cdot D_g \cdot \sqrt{\frac{P_g}{P_k}} \cdot \frac{\gamma}{4} \cdot D_g^2 \cdot \frac{P_g}{P_k} \\
 V_k &= k \cdot \frac{\gamma}{4} \cdot D_g^3 \cdot \frac{P_g}{P_k} \cdot \sqrt{\frac{P_g}{P_k}} \\
 V_k &= k \frac{\gamma}{4} \cdot D_g^3 \cdot \left(\frac{P_g}{P_k} \right)^{1,5} \quad (62)
 \end{aligned}$$

Bij de overgang van het volume van de knoop naar de geprojecteerde oppervlakte volstaat het de $2/3$ macht van dit volume te nemen. Het volume van een lichaam is namelijk evenredig met de derde macht van zijn lineaire afmetingen, zodat de machtsverheffing van $2/3$ van dit volume neerkomt op een kwadraat die bijgevolg een oppervlakte voorstelt.

Voor de knoop speelt de stromingsrichting geen rol, zodat de weerstand per maas, hetzij vier maal de weerstand van $1/4$ knoop, als volgt kan worden voorgesteld :

$$R_k = 4 \cdot \frac{1}{4} \cdot C_3 \left[\frac{\gamma_k}{4} \cdot \left(\frac{P_g}{P_k} \right)^{1,5} \cdot D_g^3 \right]^{2/3} v^2 = C_2 \cdot D_g^2 \cdot v^2 \quad (63)$$

C_3 en C_2 houden respectievelijk rekening met de soort knoop en de manier van vastsnieren van de knoop. Uit (60) en (63) volgen tenslotte de totale weerstand per maas :

$$R_\theta = (2 \cdot C_1 \cdot L_b \cdot D_g \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} \cos^2 \theta + C_2 \cdot D_g^2) v^2 \quad (64)$$

of per eenheid oppervlakte netwerk.

$$r_{\theta} = \frac{2 \cdot C_1 \cdot L_b \cdot D_g \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} \cos^2 \theta + C_2 \cdot D_g^2}{L_b^2 \sin 2 \varphi} \cdot v^2 \quad (65)$$

$$\text{voor } \theta = 0^\circ \text{ wordt } r_0 = \frac{2 \cdot C_1 \cdot L_b \cdot D_g \sin \varphi + C_2 \cdot D_g^2}{L_b^2 \cdot \sin 2 \varphi} \cdot v^2 \text{ en} \quad (66)$$

$$\text{voor } \theta = 90^\circ \text{ is } r_{90^\circ} = \frac{2 \cdot C_1 \cdot L_b \cdot D_g + C_2 \cdot D_g^2}{L_b^2 \cdot \sin 2 \varphi} \cdot v^2 \quad (67)$$

C. Gelijkvormigheidsvoorwaarden.

Objekt en model dienen mechanisch en geometrisch gelijkvormig te zijn. In de veronderstelling dat objekt en model onderverdeeld zijn in een gelijk aantal overeenkomstige bestanddelen en de verdeling zelfs nog verder doorgevoerd wordt, zullen de deeltjes zodanig klein zijn dat zij als een plat vlak mogen beschouwd worden. Het is dan ook op deze deeltjes dat de studie doorgevoerd wordt. De uiterlijke vorm en gedraging van het net zal enkel en alleen bepaald worden door de optredende krachten, op voorwaarde dat het materieel waaruit het netwerk vervaardigd is volledig buigzaam is.

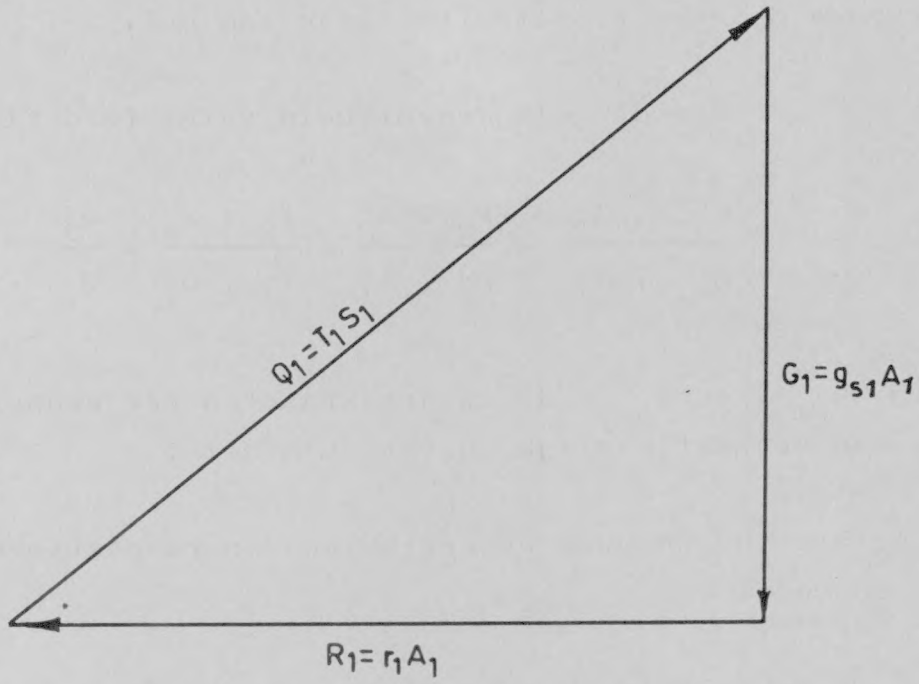
In geval van geometrische gelijkvormigheid bekomt men :

$$\varphi_1 = \varphi_2 \quad (68)$$

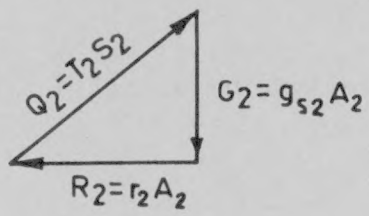
De gelijkheid van de gedraging t.o.v. de stroom wordt uitgedrukt door de volgende betrekking :

$$\theta_1 = \theta_2 \quad (69)$$

OBJECT



MODEL



FIGUUR 8

Gezien een toestand van statisch evenwicht beschouwd wordt, zal de krachtenveelhoek een gesloten driehoek vormen met een resultante gelijk aan nul.

Uit de gelijkvormigheid volgt (zie figuur 8) :

$$\frac{g_{s2} \cdot A_2}{g_{s1} \cdot A_1} = \frac{r_2 \cdot A_2}{r_1 \cdot A_1} = \frac{T_2 \cdot S_2}{T_1 \cdot S_1} = \frac{Q_2}{Q_1} \quad (70)$$

waarbij: g_{s1} en g_{s2} = de zwaartekrachten per eenheid oppervlakte van respektievelijk objekt en model ;

A_1 en A_2 = de beschouwde oppervlakten van respektievelijk objekt en model ;

r_1 en r_2 = de wrijvingskrachten per eenheid oppervlakte van respektievelijk objekt en model ;

T_1 en T_2 = de krachten per eenheid lengte van respektievelijk objekt en model ;

S_1 en S_2 = de omtrek van het netdeeltje van respektievelijk objekt en model ;

Q_1 en Q_2 = de totale krachten uitgeoefend respektievelijk op objekt en model.

Vooraleer in formule (70) de waarden te vervangen, kunnen volgende gelijkheden vooropgesteld worden :

(i) voor een gelijk soort garen is $p_{g1} = p_{g2}$

of

$$\frac{\pi p_{g1}}{2 \sin^2 \varphi_1} = \frac{\pi p_{g2}}{2 \sin^2 \varphi_2} \quad (71)$$

(ii) voor een gelijk type knopen geldt (gezien 51 en 52) :

$$\frac{L_{1k}}{D_{1k}} \cdot \frac{D_{1k}}{D_{1g}} = \frac{L_{2k}}{D_{2k}} \cdot \frac{D_{2k}}{D_{2g}}$$

of

$$k_1 \sqrt{\frac{P_{g1}}{P_{k1}}} = k_2 \sqrt{\frac{P_{g2}}{P_{k2}}} \quad (72)$$

De substitutie van ϵ_s uit (56) in (70) geeft :

$$\frac{L_2^2 \frac{\pi P_{g2}}{2 \sin^2 \varphi_2} \left[\frac{D_{g2}}{L_{b2}} + \frac{k_2}{2} \sqrt{\frac{P_{g2}}{P_{k2}}} \cdot \frac{D_{g2}^2}{L_{b2}^2} \right] D_{g2} (\varphi_2 - \varphi_w)}{L_1^2 \frac{\pi P_{g1}}{2 \sin^2 \varphi_1} \left[\frac{D_{g1}}{L_{b1}} + \frac{k_1}{2} \sqrt{\frac{P_{g1}}{P_{k1}}} \cdot \frac{D_{g1}^2}{L_{b1}^2} \right] D_{g1} (\varphi_1 - \varphi_w)} = \frac{L_2 T_2}{L_1 T_1} = \frac{Q_2}{Q_1} \quad (73)$$

Door (71) in aanmerking te nemen wordt dit :

$$\frac{L_2^2 \left[\frac{D_{g2}}{L_{b2}} + \frac{k_2}{2} \sqrt{\frac{P_{g2}}{P_{k2}}} \cdot \frac{D_{g2}^2}{L_{b2}^2} \right] D_{g2} (\varphi_2 - \varphi_w)}{L_1^2 \left[\frac{D_{g1}}{L_{b1}} + \frac{k_1}{2} \sqrt{\frac{P_{g1}}{P_{k1}}} \cdot \frac{D_{g1}^2}{L_{b1}^2} \right] D_{g1} (\varphi_1 - \varphi_w)} = \frac{L_2}{L_1} \cdot \frac{T_2}{T_1} = \frac{Q_2}{Q_1} \quad (74)$$

De vervanging van r gegeven door (65) in (70)

levert :

$$\frac{L_2^2 \cdot \frac{2C_1 L_{b2} D_{g2} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_2 \cdot \cos^2 \theta_2 + C_2 D_{g2}^2}}{L_{b2}^2 \sin 2\varphi_2} \cdot v_2^2}{L_1^2 \cdot \frac{2C_1 L_{b1} D_{g1} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_1 \cdot \cos^2 \theta_1 + C_2 D_{g1}^2}}{L_{b1}^2 \sin 2\varphi_1} \cdot v_1^2} = \frac{L_2 T_2}{L_1 T_1} = \frac{Q_2}{Q_1} \quad (75)$$

Met (68) bekomt men :

$$\frac{L_2^2 \left[2C_1 \frac{D_{g2}}{L_{b2}} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_2 \cos^2 \theta_2} + C_2 \left(\frac{D_{g2}}{L_{b2}} \right)^2 \right] v_2^2}{L_1^2 \left[2C_1 \frac{D_{g1}}{L_{b1}} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_1 \cos^2 \theta_1} + C_2 \left(\frac{D_{g1}}{L_{b1}} \right)^2 \right] v_1^2} = \frac{L_2 T_2}{L_1 T_1} = \frac{Q_2}{Q_1} \quad (76)$$

Indien ook nog aan de volgende voorwaarden voldaan wordt :

$$\frac{D_{g1}}{L_{b1}} = \frac{D_{g2}}{L_{b2}} \quad (77)$$

hetgeen betekent dat de diameter van het garen, respektievelijk van objekt en model, evenredig vermindert met de afmetingen van de maas, worden (74) en (76), rekening houdend met (72), respektievelijk :

$$\frac{L_2^2 D_{g2} (\gamma_2 - \gamma_w)}{L_1^2 D_{g1} (\gamma_1 - \gamma_w)} = \frac{L_2 T_2}{L_1 T_1} = \frac{Q_2}{Q_1} \quad (78)$$

$$\frac{L_2^2 v_2^2}{L_1^2 v_1^2} = \frac{L_2 T_2}{L_1 T_1} = \frac{Q_2}{Q_1} \quad (79)$$

Uiteindelijk worden in (78) en (79) de gelijkvormigheidsvoorwaarden bekomen van objekt en model voor de afmetingen, de snelheden, de krachten en de soortelijke gewichten.

Door het invoeren van de schalen :

$$S_L = \frac{L_2}{L_1} ; S_D = \frac{D_{g2}}{D_{g1}} ; S_V = \frac{v_2}{v_1} ; S_T = \frac{T_2}{T_1} ; S_Q = \frac{Q_2}{Q_1} \quad (80)$$

kunnen de gelijkvormigheidsvoorwaarden nog eenvoudiger voorgesteld worden :

$$(77) \text{ geeft} \quad S_L = S_D$$

$$(78) \text{ wordt} \quad S_L^3 \frac{(\gamma_2 - \gamma_w)}{(\gamma_1 - \gamma_w)} = S_L S_T = S_Q \quad (81)$$

$$\text{en (79)} \quad S_L^2 S_V^2 = S_L S_T = S_Q \quad (82)$$

Wanneer in een gelijk medium wordt gewerkt, d.w.z. $\frac{\gamma_2 - \gamma_w}{\gamma_1 - \gamma_w} = 1$ en vertrokken wordt van een aangenomen lengte schaal S_L , dan geven de gelijkvormigheidsvoorwaarden als praktische resultaten :

$$S_T = S_L^2 \quad (83)$$

$$S_V = \sqrt{\frac{S_T}{S_L}} = \sqrt{S_L} \quad (84)$$

$$S_Q = S_T S_L = S_L^3 \quad (85)$$

Dit betekent dat bij modelonderzoek de schalen van de snelheden en krachten afgeleid kunnen worden uit de lengteschaal.

Men kan opmerken dat in formule (84) de schaal van de snelheid aan dezelfde betrekking voldoet als bij de wet van Froude.

D. Modelwetten voor kabels.

Ten einde mechanische en geometrische gelijkvormigheid te bekomen aan de kabels voor objekt en model, is het noodzakelijk dat de verhouding van de optredende krachten gelijk is voor elk overeenkomstig deel.

De optredende krachten bij de kabels zijn :

(a) de zwaartekracht, rekening houdend met het schijnbaar gewicht ;

(b) de hydrodynamische kracht, tengevolge van de stroming (stromingsweerstand) ;

(c) de trekkracht in de kabel.

1. Het schijnbaar gewicht van de kabel per lengte-eenheid.

Er kan gesteld worden dat :

$$g_s = \frac{\pi D_k^2}{4} (\gamma - \gamma_w) \quad (86)$$

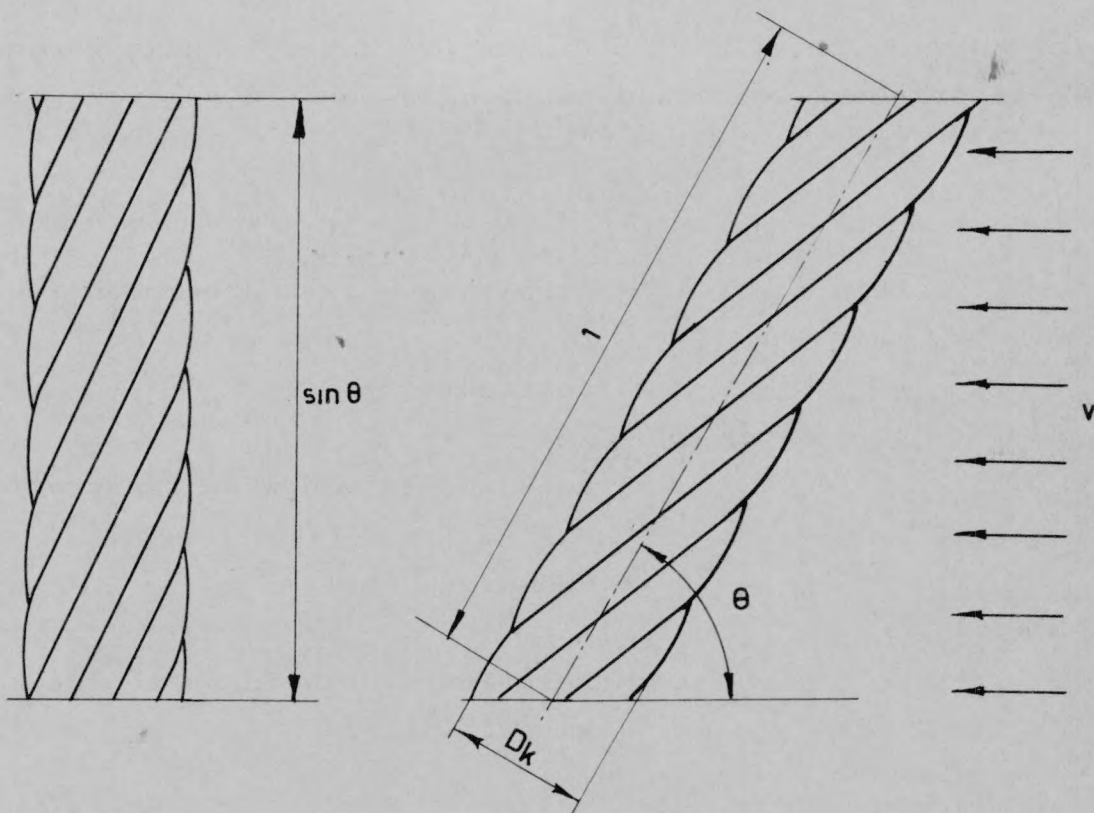
waarin

g_s = schijnbaar gewicht per lengte-eenheid,

D_k = diameter van de kabel,

γ = soortelijk gewicht van de kabel,

γ_w = soortelijk gewicht van het water.



FIGUUR 9

Deze formule is opgesteld op basis van de uiteenzetting over het schijnbaar gewicht van het netwerk (1).

2. De stromingsweerstand per lengte-eenheid.

Uit figuur (9) kan opgemaakt worden dat de stromingsweerstand per lengte-eenheid gegeven wordt door :

$$r = C_4 \sin \theta \cdot D_k \cdot v^2 \quad (87)$$

waarbij : r = stromingsweerstand per lengte-eenheid,

C_4 = constante,

θ = hoek tussen voorwerp en stromingsrichting,

D_k = diameter kabel,

v = relatieve snelheid tussen de kabel en het water.

3. Gelijkvormigheidsvoorwaarden.

Door het invoeren van de trekkracht Q in de kabel zelf en in acht nemend de mechanische gelijkvormigheid, uit de gelijkvormige driehoeken, met behulp van formule (82), volgende vergelijkingen opgesteld worden :

$$\frac{L_{k2} \varepsilon_{s2}}{L_{k1} \varepsilon_{s1}} = \frac{L_{k2} r_2}{L_{k1} r_1} = \frac{Q_{22}}{Q_{11}} = \frac{Q_2}{Q_1} = S_L^2 S_v^2 \quad (88)$$

waarin : Q_{22} en Q_{11} = de krachten per lengte-eenheid respectievelijk voor model en objekt, bij de veronderstelling dat de belasting gelijkmatig is.

(1) Zie blz. 21.

L_{k2} en L_{k1} = de lengten van de kabels.

Het vervangen van g_s en r uit (86) en (87) in (88) leidt tot :

$$\frac{L_{k2}}{L_{k1}} \cdot \frac{D_{k2}^2 (\gamma_2 - \gamma_w)}{D_{k1}^2 (\gamma_1 - \gamma_w)} = \frac{L_{k2}}{L_{k1}} \cdot \frac{\sin \theta_2 D_{k2}}{\sin \theta_1 D_{k1}} \cdot \frac{v_2^2}{v_1^2} = \frac{Q_{22}}{Q_{11}} = \frac{Q_2}{Q_1} = S_L^2 \cdot S_V^2 \quad (89)$$

De geometrische gelijkvormigheidsvoorwaarde heeft tot gevolg dat $\theta_2 = \theta_1$, zodat in (89) verder nog $\sin \theta_1$ en $\sin \theta_2$ kunnen worden geschrapt.

Door de schalen :

$$S_{Lk} = \frac{L_{k2}}{L_{k1}} ; \quad S_{Dk} = \frac{D_{k2}}{D_{k1}} ; \quad S_V = \frac{v_2}{v_1} ; \quad S_Q = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{Q_{11}}{Q_{22}} \quad (90)$$

kunnen de gelijkvormigheidsvoorwaarden eenvoudig weergegeven worden door :

$$S_{Lk} \cdot S_{Dk}^2 \frac{(\gamma_2 - \gamma_w)}{(\gamma_1 - \gamma_w)} = S_{Lk} \cdot S_{Dk} \cdot S_V^2 = S_L^2 S_V^2 \quad (91)$$

wanneer opnieuw de praktische voorwaarde $\frac{\gamma_2 - \gamma_w}{\gamma_1 - \gamma_w} = 1$ onder ogen genomen wordt (1), kunnen, vertrekkend van de lengteschaal S_L (van het net) de onbekende schalen bepaald worden :

$$S_{Lk} \cdot S_{Dk} = S_L^2 \quad (92)$$

$$S_{Dk} = S_V^2 \quad (93)$$

(1) Zie blz. 33.

Daar de snelheid van het net en de kabels dezelfde is, mag op grond van (84) :

$$S_{Dk} = S_L \quad (94)$$

$$S_{Lk} = S_L \quad (95)$$

Uit (94) en (95) komt naar voren dat bij modelonderzoek dezelfde schalen voor het netwerk en de kabels genomen moeten worden.

E. Modelwetten voor vlotters, ballastge-

wichten enz.

Ten einde een gepaste netopening te verzekeren, worden op de bovenpees van het net een aantal vlotters aangebracht. Deze vlotters worden over het algemeen gelijkmatig verdeeld over de ganse peeslengte. Het aantal varieert volgens de grootte, alsook volgens het soort net. De pelagische netten bijvoorbeeld hebben meestal een grote lichting, b.v. 40 à 60 vlotters van ca 4 liter per vlotter. Verder wordt het loodzeel voorzien van een ketting, die in bochtjes aangebracht wordt. Tenslotte worden op de hoeken en aan de oplangers van pelagische netten ballastgewichten aangebracht. Dit alles brengt mede dat ook voor de vlotters, ballastgewichten, enz. modelwetten moeten worden opgesteld.

Hiertoe moeten formules opgebouwd worden over het schijnbaar gewicht en de stromingsweerstand om uiteindelijk de gelijkvormigheidsvoorwaarden te kunnen bepalen.

1. Schijnbaar gewicht per lengte-eenheid.

Het schijnbaar gewicht per lengte-eenheid pees kan worden weergegeven door :

$$g_s = c_5 \cdot d^3 (\gamma - \gamma_w) n \quad (96)$$

waarin : $c_5 = \text{constante} \left(= \frac{\pi}{6} \text{ voor een bol} \right)$

$d = \text{diameter van een vlotter,}$

$\gamma = \text{soortelijk gewicht vlotter,}$

$n = \text{aantal vlotters per lengte-eenheid pees.}$

Deze formule kan opnieuw gevonden worden door toepassing van de theorie over het schijnbaar gewicht van het netwerk (1)

2. Stromingsweerstand.

Per lengte-eenheid m.a.w. voor n vlotters, wordt de stromingsweerstand bekomen door :

$$r = c_6 d^2 v^2 n \quad (97)$$

waarbij : $c_6 = \text{constante}$

$v = \text{relatieve snelheid van de vlotter t.o.v. het water of snelheid van het net.}$

3. Gelijkvormigheidsvoorwaarden.

Uit de verhouding van de zwaartekracht en de weerstand voor objekt en model volgen de gelijkvormigheidsvoorwaarden nl. :

(1) Zie blz. 21.

$$\frac{d_2^3 (\gamma_2 - \gamma_w) \cdot n_2}{d_1^3 (\gamma_1 - \gamma_w) \cdot n_1} = \frac{d_2^2 v_2^2 \cdot n_2}{d_1^2 v_1^2 \cdot n_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{Q_2}{Q_1} = S_L S_v^2 \quad (98)$$

Als nieuwe schalen bij deze vlotters zijn in te voeren :

$$S_d = \frac{d_2}{d_1} \quad S_n = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\text{zodat : } S_d^3 \frac{(\gamma_2 - \gamma_w)}{(\gamma_1 - \gamma_w)} S_n = S_d^2 \cdot S_v^2 S_n = S_Q = S_L S_v^2 \quad (99)$$

Nu kunnen weer de nieuw ingevoerde en onbekende schalen bepaald worden, rekening houdend met het feit dat zowel in werkelijkheid als bij modelproeven in eenzelfde medium wordt gewerkt, d.w.z. $\frac{\gamma_2 - \gamma_w}{\gamma_1 - \gamma_w} = 1$ zodat :

$$S_d^2 S_n = S_L \quad (100)$$

$$S_d = S_v^2 \quad (101)$$

De snelheid van de vlotters is dezelfde als deze van het net, vermits de vlotters en het net eenzelfde voorwerp uitmaken. Aldus worden de nieuwe schalen :

$$S_d = S_L \quad (102)$$

$$S_n = \frac{1}{S_L} \quad (103)$$

F. Ongelijke schalen in horizontale en
vertikale richting.

Bij bepaalde netten (bv. drijfnetten) kunnen de horizontale afmetingen veel groter zijn dan de verticale

afmetingen, zodat het noodzakelijk is de horizontale en verti-
kale schaal verschillend te kiezen.

Als schalen worden ingevoerd :

$$\frac{L_{h2}}{L_{h1}} = S_H \text{ voor de horizontale lengte-} \quad (104)$$

schaal,

$$\frac{L_{v2}}{L_{v1}} = S_V \text{ voor de vertikale lengte-} \quad (105)$$

schaal,

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{L_{h2} \cdot L_{v2}}{L_{h1} \cdot L_{v1}} = S_H \cdot S_V \text{ voor de oppervlakte-} \quad (106)$$

schaal,

$$\frac{v_2}{v_1} = S_V \text{ voor de snelheidschaal} \quad (107)$$

In horizontale richting zijn de zwaarte-
krachten gelijk aan nul, zodat door gebruik te maken van
(70) en (75) men als gelijkvormigheidsvoorwaarden bekomt :

$$\frac{\sin 2\varphi_1 \cdot L_{h2} \cdot L_{v2} \left[2C_1 \frac{D_{g2}}{L_{b2}} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_2 \cos^2 \theta_2} + C_2 \left(\frac{D_{g2}}{L_{b2}} \right)^2 \right] v_2^2}{\sin 2\varphi_2 \cdot L_{h1} \cdot L_{v1} \left[2C_1 \frac{D_{g1}}{L_{b1}} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_1 \cos^2 \theta_1} + C_2 \left(\frac{D_{g1}}{L_{b1}} \right)^2 \right] v_1^2} =$$

$$\frac{L_{v2} \cdot T_{h2}}{L_{v1} \cdot T_{h1}} = \frac{Q_{h2}}{Q_{h1}} \quad (108)$$

Er zijn evenwel zwaartekrachten in verticale richting zodat uit (73) volgt :

$$\frac{p_{g2} \sin 2\varphi_1}{p_{g1} \sin 2\varphi_2} \cdot \frac{L_{h2} \cdot L_{v2} \left[\frac{D_{g2}}{L_{b2}} + \frac{k_2}{2} \sqrt{\frac{p_{g2}}{p_{k2}}} \left(\frac{D_{g2}}{L_{b2}} \right)^2 \right]}{L_{h1} \cdot L_{v1} \left[\frac{D_{g1}}{L_{b1}} + \frac{k_1}{2} \sqrt{\frac{p_{g1}}{p_{k1}}} \frac{D_{g1}}{L_{b1}} \right]^2} D_{g2} (\gamma_2 - \gamma_w) =$$

$$\frac{\sin 2\varphi_1 L_{h2} L_{v2} \left[2C_1 \frac{D_{g2}}{L_{b2}} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_2 \cos^2 \theta_2} + C_2 \left(\frac{D_{g2}}{L_{b2}} \right)^2 \right] v_2^2}{\sin 2\varphi_2 L_{h1} L_{v1} \left[2C_1 \frac{D_{g1}}{L_{b1}} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_1 \cos^2 \theta_1} + C_2 \left(\frac{D_{g1}}{L_{b1}} \right)^2 \right] v_1^2} =$$

$$\frac{L_{h2}}{L_{h1}} \cdot \frac{T_{v2}}{T_{v1}} = \frac{Q_{v2}}{Q_{v1}} \quad (109)$$

Wanneer het aantal mazen bij het model herleid wordt, zodanig dat $\varphi_1 = \varphi_2$, en wanneer daarbij de voorwaarden van de betrekkingen uitgedrukt in (69), (71) en (72) aangenomen worden, wordt (108) :

$$\frac{L_{h2} \cdot L_{v2} \cdot v_2^2}{L_{h1} \cdot L_{v1} \cdot v_1^2} = \frac{L_{v2} \cdot T_{h2}}{L_{v1} \cdot T_{h1}} = \frac{Q_{h2}}{Q_{h1}} \quad (110)$$

of

$$S_H \cdot S_V \cdot \frac{v_2^2}{v_1^2} = S_V \cdot \frac{T_{h2}}{T_{h1}} = \frac{Q_{h2}}{Q_{h1}} \quad (111)$$

De formule (109) luidt dan :

$$\frac{L_{h2} \cdot L_{v2}}{L_{h1} \cdot L_{v2}} \cdot \frac{D_{g2}}{D_{g1}} \cdot \frac{(\gamma_2 - \gamma_w)}{(\gamma_1 - \gamma_w)} = \frac{L_{h2} L_{v2} v_2^2}{L_{h1} L_{v1} v_1^2} = \frac{L_{h2} T_{v2}}{L_{h1} T_{v1}} = \frac{Q_{v2}}{Q_{v1}} \quad (112)$$

$$\text{of } S_H \cdot S_V \frac{D_{g2}}{D_{g1}} \frac{(\gamma_2 - \gamma_w)}{(\gamma_1 - \gamma_w)} = S_H \cdot S_V \cdot \frac{v_2^2}{v_1^2} = S_H \cdot \frac{T_{v2}}{T_{v1}} = \frac{Q_{v2}}{Q_{v1}} \quad (113)$$

Uitgaande van de horizontale en verticale lengteschalen kunnen de onbekende verhoudingen van de snelheid van trekkracht en van garendiameter berekend worden :

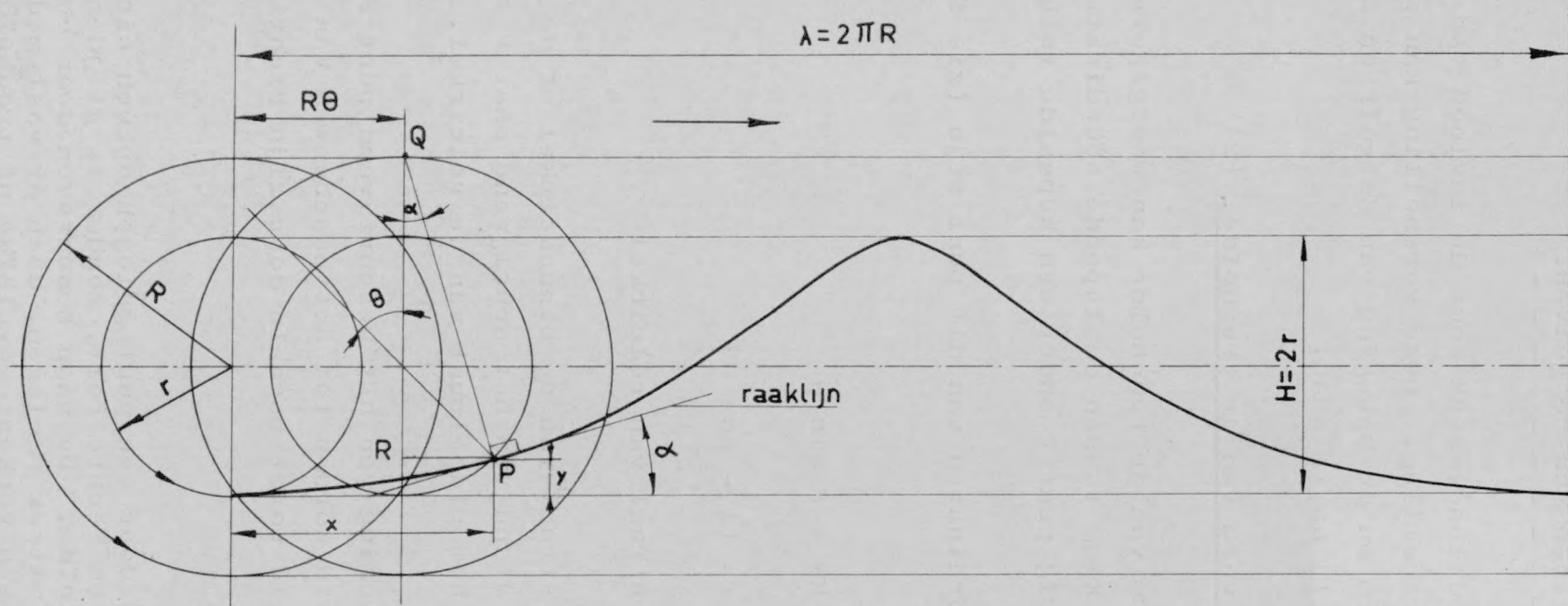
$$\frac{T_{h2}}{T_{h1}} = S_H \cdot S_V^2 \quad (114)$$

$$\frac{T_{v2}}{T_{v1}} = S_V \cdot S_V^2 \quad (115)$$

$$\frac{D_{g2}}{D_{g1}} = S_V^2 \quad (116)$$

$$\frac{Q_{h2}}{Q_{h1}} = S_V \cdot S_H \cdot S_V^2 \quad (117)$$

$$\frac{Q_{v2}}{Q_{v1}} = S_H \cdot S_V \cdot S_V^2 \quad (118)$$



FIGUUR 10

G. Invloed van de golven.

Bij modelonderzoek komt de invloed van de golven neer op een versnelling. Deze versnelling kan worden bestudeerd door de vorm en de beweging van de golf en meer bepaald de trochoïde (1) na te gaan.

1. De vorm van de trochoïde. (2)

De vorm van de trochoïde kan weergegeven worden door een betrekking tussen de lopende coördinaten x en y van een willekeurig punt P onder een bepaalde rolhoek θ .

De coördinaten van dit punt zijn (zie figuur 10) :

$$x = R\theta + r \sin \theta \quad (119)$$

$$y = r (1 - \cos \theta) \quad (120)$$

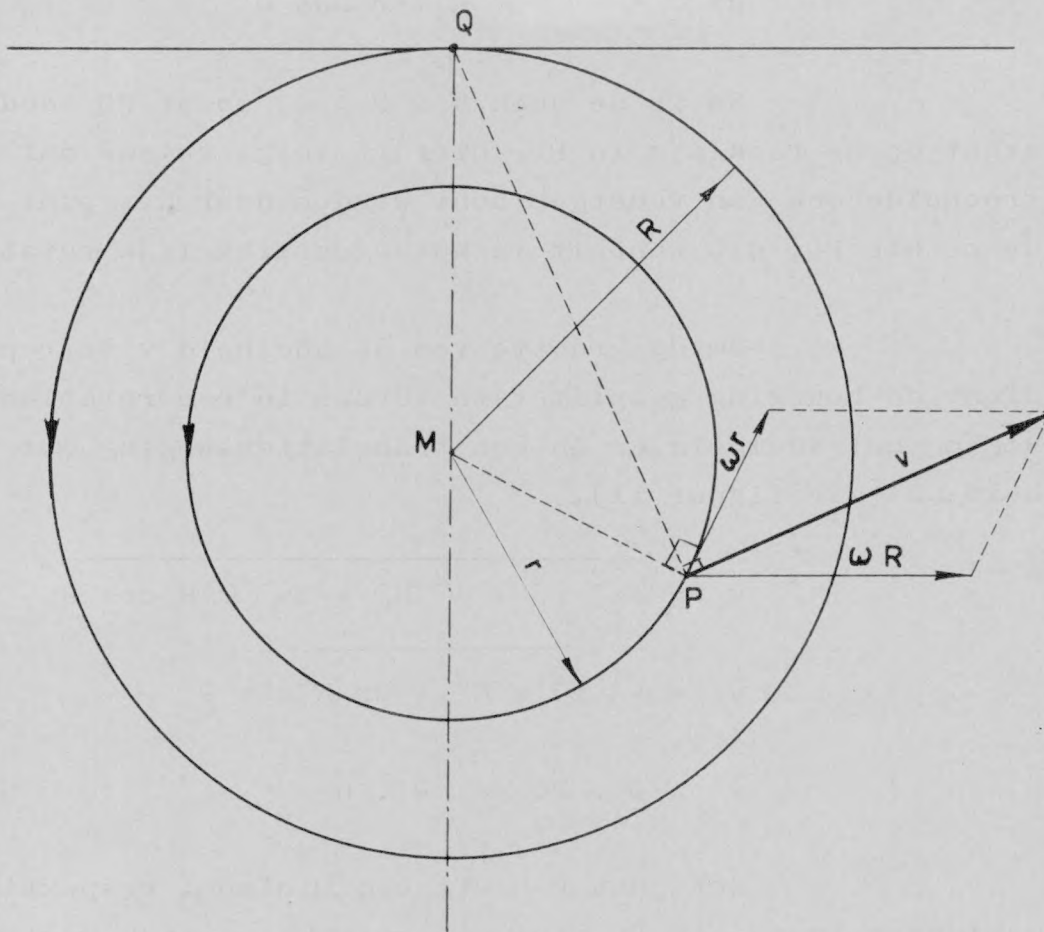
waarin : R = straal van rolcirkel

r = straal van de binnencirkel of de afstand van het schrijvend punt P tot het middelpunt van de rolcirkel.

De beweging van het beschrijvend punt P van de trochoïde kan herleid worden tot het beschouwen van zijn snelheid. Deze snelheid wordt bepaald door zijn richting en zijn grootte.

(1) De baan beschreven door een punt gelegen op een cirkelomtrek, die over een rechte rolt, zonder te glijden, noemt men een cycloïde. De baan beschreven door een punt binnen deze cirkelomtrek gelegen, doch er vast mede verbonden, noemt men een verkorte cycloïde of trochoïde en heeft als golflengte $\lambda = 2\pi R$

(2) Zie blz. 3 (1)



FIGUUR 11

De richting is gelegen volgens de raaklijn aan de trochoïde in het beschouwde punt en wordt gevonden door y af te leiden naar x :

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{r \sin \theta}{R + r \cos \theta} \quad (121)$$

Nu is de hoek $R Q P = \alpha$, zodat PQ loodrecht staat op de raaklijn in P . Hieruit volgt tevens dat de trochoïde ook kan voortgebracht worden door het punt P van de rechte PQ , die wentelt in het ogenblikkelijk rotatiepunt Q .

Om de grootte van de snelheid v te bepalen dient de beweging gesplitst te worden in een rotatiebeweging met snelheid ωr en een translatiebeweging met snelheid ωR (zie figuur 11).

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{\omega^2 r^2 + \omega^2 R^2 + 2\omega^2 r R \cos \theta} \\ v &= \omega \sqrt{r^2 + R^2 + 2r R \cos \theta} \\ v &= \omega \cdot PQ = \omega \cdot n \end{aligned} \quad (122)$$

Het punt P heeft een minimum, respektievelijk maximumsnelheid als PQ minimum, respektievelijk maximum is, gezien ω constant is.

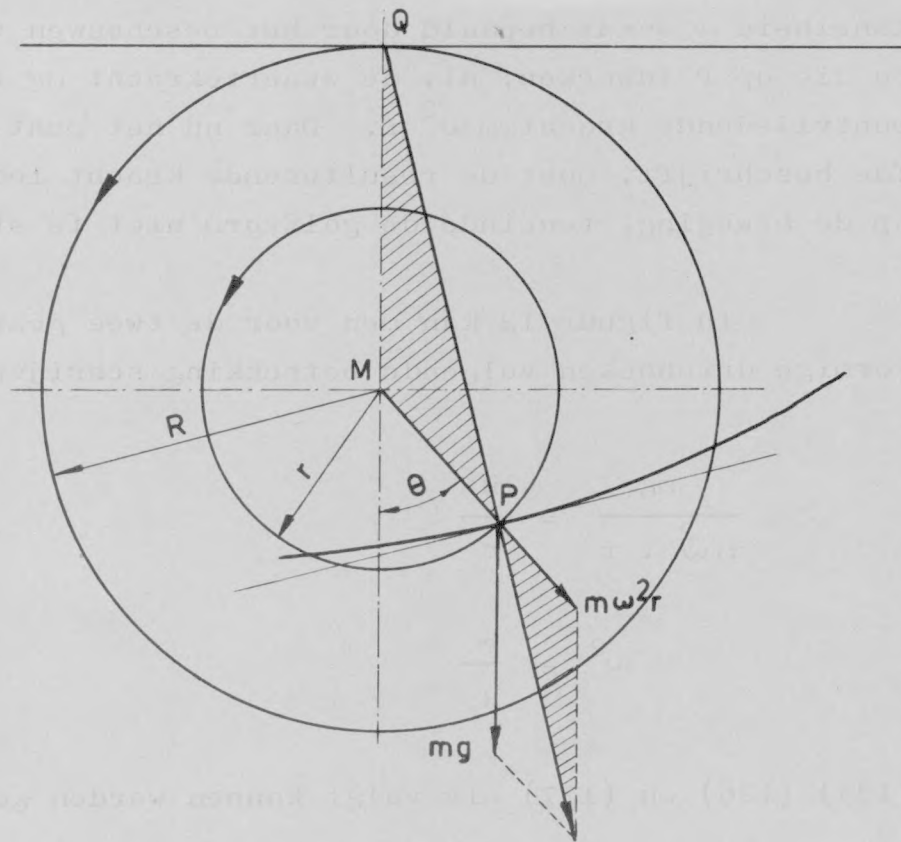
$$v_{\min} = \omega (R - r) \quad (123)$$

$$v_{\max} = \omega (R + r) \quad (124)$$

3. Snelheid van de golf.

De snelheid van de golf is de translatiesnelheid en wordt gegeven door :

$$c = \omega R = \omega \frac{\lambda}{2\pi} \quad (125)$$



FIGUUR 12

De golfperiode is dan :

$$T = \frac{2\pi R}{c} = \frac{2\pi}{\omega} \quad (126)$$

De hoeksnelheid ω wordt bepaald door het beschouwen van de krachten die op P inwerken, nl. de zwaartekracht mg en de middelpuntvliedende kracht $m\omega^2 r$. Daar nu het punt P de trochoïde beschrijft, moet de resulterende kracht loodrecht staan op de beweging, teneinde de golfvorm niet te storen.

In figuur 12 kan men voor de twee gearceerde gelijkvormige driehoeken volgende betrekking schrijven :

$$\frac{mg}{m\omega^2 \cdot r} = \frac{R}{r}$$

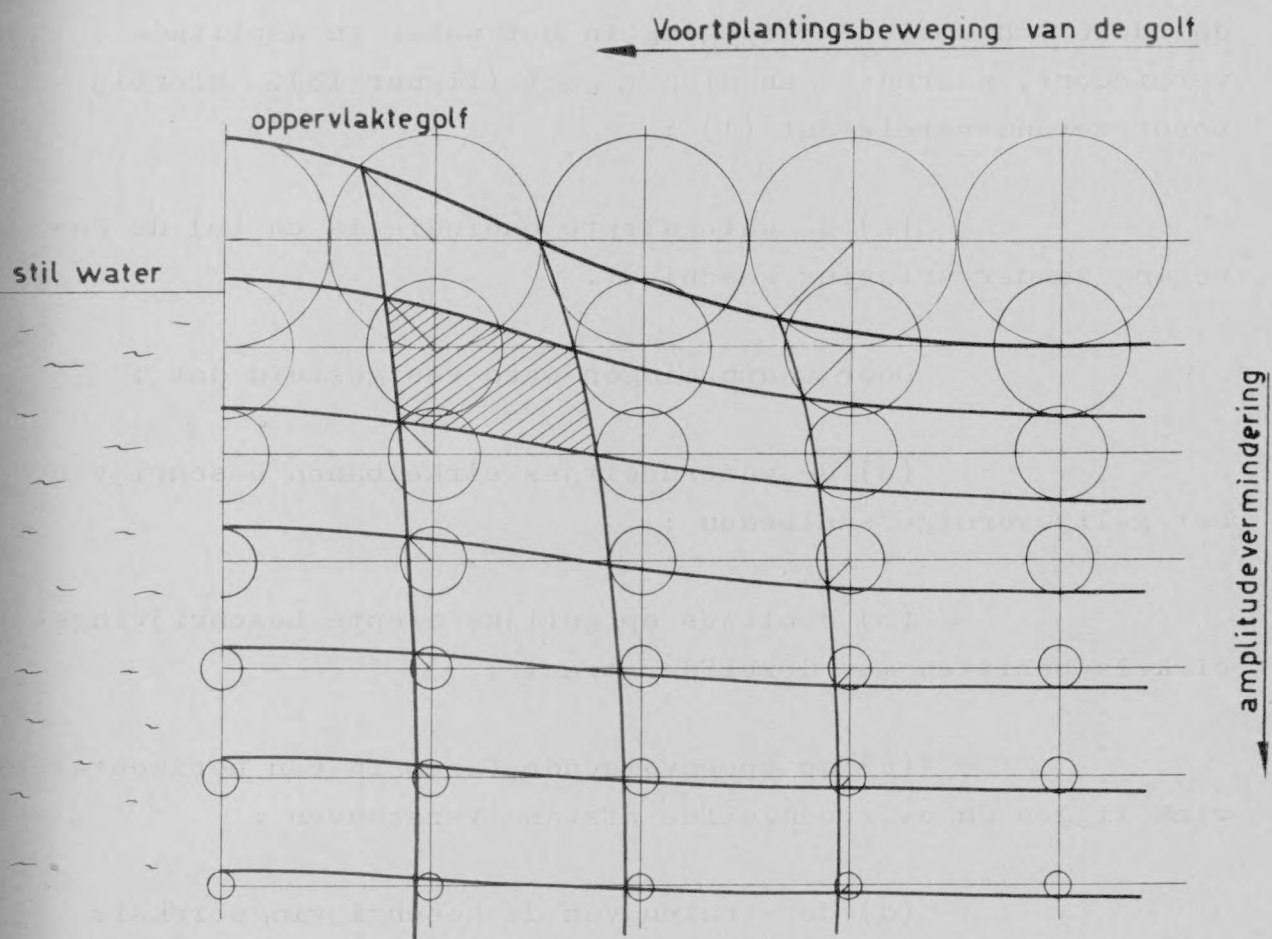
of
$$\omega^2 = \frac{g}{R} \quad (127)$$

zodat (125) (126) en (127) als volgt kunnen worden geschreven :

$$c = \sqrt{\frac{g}{R}} \cdot R = \sqrt{g \cdot R} = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} \approx 1,25 \text{ m/sec} \quad (128)$$

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{g}{R}}} = 2\pi \frac{R}{g} = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g}} \approx 0,8 \sqrt{\lambda} \text{ sec} \quad (129)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{R}} = \sqrt{\frac{2\pi g}{\lambda}} = \frac{7,85}{\sqrt{\lambda}} \text{ rad/sec} \quad (130)$$



FIGUUR 13

Bovenstaande formules hebben betrekking op een golf aan de oppervlakte van het water. Het is duidelijk dat deze schommelende beweging in het water in amplitude vermindert, naarmate men dieper gaat (figuur 13). Hierbij wordt verondersteld dat (1) :

(a) de waterdiepte oneindig is en (b) de beweging zonder wrijving geschiedt.

Door waarnemingen werd vastgesteld dat :

(a) de waterdeeltjes cirkelbanen beschrijven met gelijkvormige snelheden ;

(b) deeltjes op gelijke diepte beschrijvingscirkels bezitten met dezelfde straal ;

(c) de opeenvolgende fazen in een horizontale vlak liggen en over eenzelfde afstand verschoven ;

(d) de stralen van de beschrijvingscirkels in verticale richting exponentieel afnemen, volgende formule :

$$r = r_0 \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot z}{\lambda}} \quad (131)$$

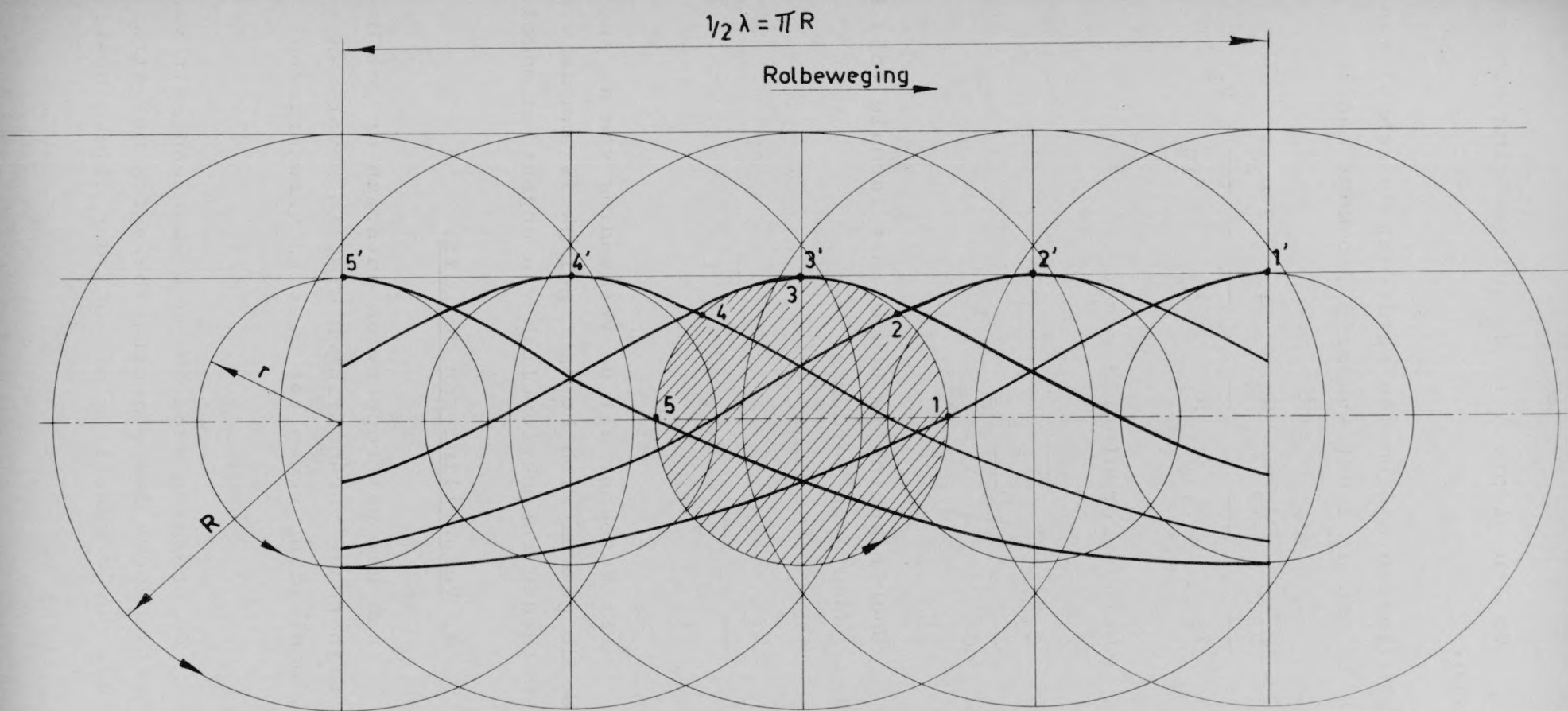
(hierin is r_0 de straal van de cirkel voor een diepte $z = 0$);

(e) de deeltjes op eenzelfde verticale, dezelfde fase hebben.

Uit 131 kan men afleiden dat voor een diepte $z = \lambda$ nog slechts een straal overblijft met als waarde :

$$r = r_0 \cdot e^{-2\pi} = 0,0019 r_0 \approx \frac{2}{1000} \cdot r_0 \quad (132)$$

(1) W. Henschke - Schiffbautechnisches Handbuch, Band I -
Berlijn - VEB Verlag Technik - 1957, blz. 234.



FIGUUR 14

Op een diepte λ is de golfbeweging dan ook te verwaarlozen.

Indien aangenomen wordt dat de schaal van de golven gelijk is aan de lengteschaal S_L , bekent men :

$$\frac{z_2}{z_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{r_{20}}{r_{10}} = S_L \quad (133)$$

Uit de formule 128 wordt :

$$\frac{c_2}{c_1} = \sqrt{\frac{\lambda_2}{\lambda_1}} = \sqrt{S_L} \quad (134)$$

Door rekening te houden met formule (85) kan (134) als volgt geschreven worden :

$$\frac{c_2}{c_1} = \frac{v_2}{v_1} = S_v = \sqrt{S_L} \quad (135)$$

Dit betekent dat de verhouding van de snelheden waarmede de golven zich bewegen gelijk is aan de verhouding van snelheden respektievelijk van objekt en model.

4. Versnelling van de golf.

Aan het wateroppervlak ontstaan er golfbewegingen met bijhorende versnellingen die, in geval van zware netoptuiging, aanleiding geven tot niet te verwaarlozen krachten.

De beweging van een punt waar een golf voorbij komt is niets anders dan een cirkelbeweging met straal r (zie figuur 14). De versnelling die bij dergelijke beweging

optreedt, is $a = \omega^2 \cdot r$, of rekening houdend met (130) :

$$a = \omega^2 r = \frac{(7,85)^2}{\lambda} r \quad (136)$$

Uit formule (133) krijgt men dan :

$$S_a = \frac{d_2}{d_1} = \frac{r_2 \lambda_1}{r_1 \lambda_2} = 1 \quad (137)$$

hetgeen erop wijst dat de versnellingen van de golven, zowel bij model als in de werkelijkheid dezelfde zijn, onafhankelijk van de grootte der golven.

Indien de invloed van de golven toegepast wordt op één of ander vistuig en de hydrodynamische weerstand ten gevolge van de lage snelheid mag verwaarloosd worden t.o.v. het schijnbaar gewicht van de materialen, zal het schijnbaar gewicht per lengte-eenheid uitgedrukt worden door de hiernavolgende formule :

$$C_\gamma \cdot n \cdot D_s^3 (\gamma - \gamma_w) \quad (138)$$

D_s = een maat voor de lineaire afmetingen van het voorwerp,

n = aantal voorwerpen per lengte-eenheid.

Om een lichaam, dat zich in een vloeistof bevindt, te versnellen, is het niet voldoende een kracht uit te oefenen ($K = ma$) die gelijk is aan het produkt van massa en versnelling, gezien rekening moet worden gehouden met een supplementaire kracht, die nodig is om de massa van de vloeistof te versnellen. Deze bijkomende kracht zal afhangen van de vorm van het lichaam, alsook van de stromingsrichting van de vloeistof. Deze supplementaire kracht kan

in aanmerking genomen worden door te veronderstellen dat de massa van het beschouwde lichaam vermeerderd wordt met een bedrag dat evenredig is met het produkt van het soortelijk gewicht van de vloeistof en het volume van het lichaam.

De traagheidskracht per lengte-eenheid wordt nu voorgesteld door :

$$C_8 D_s^3 (\gamma + p\gamma_w) n \cdot a \quad (139)$$

waarin : p = een waarde afhankelijk van de vorm van het lichaam en de stromingsrichting,

$$C_8 D_s^3 \cdot \gamma \cdot a \cdot n \text{ gewicht per lengte-eenheid,}$$

$$C_8 D_s^3 \cdot \gamma_w \cdot a \cdot n \text{ gewicht van de verplaatste vloeistof per lengte-eenheid.}$$

Door rekening te houden met (98) krijgt men :

$$\frac{D_{s2}^3 (\gamma_2 - \gamma_w) n_2}{D_{s1}^3 (\gamma_1 - \gamma_w) n_1} = \frac{D_{s2}^3 (\gamma_2 + p\gamma_w) a_2 n_2}{D_{s1}^3 (\gamma_1 + p\gamma_w) a_1 n_1} = \frac{T_2}{T_1} = S_L \cdot S_V^2 \quad (140)$$

Deze formule kan vereenvoudigd worden indien voor objekt en model hetzelfde materiaal genomen wordt, zodat $\gamma_1 = \gamma_2$ en bijgevolg aan de volgende vergelijkingen kan voldaan worden :

$$\frac{\gamma_2 - \gamma_w}{\gamma_1 - \gamma_w} = \frac{\gamma_2 + p\gamma_w}{\gamma_1 + p\gamma_w} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1} = \frac{\gamma_w}{\gamma_w} = 1 \quad (141)$$

Uit (140) kan worden afgeleid :

$$\frac{D_{s2}^3}{D_{s1}^3} \cdot S_n = \frac{D_{s2}^3}{D_{s1}^3} \cdot 1 \cdot 1 \cdot S_n = \frac{T_2}{T} = S_L \cdot S_v^2 \quad (142)$$

of

$$\frac{D_{s2}^3}{D_{s1}^3} = \frac{S_L \cdot S_v^2}{S_n} \quad (143)$$

Daar nu $S_v^2 = S_L$, bekort men :

$$\frac{D_{s2}^3}{D_{s1}^3} = \frac{S_L^2}{S_n} \quad (144)$$

Indien aan de voorwaarde $n_2 L_2 = n_1 L_1$ voldaan wordt, d.w.z. dat er over de totale lengte (L_1) van het objekt en (L_2) van het model eenzelfde aantal voorwerpen voorkomen, bekort men :

$$\frac{n_2 L_2}{n_1 L_1} = 1 \quad (145)$$

of

$$S_n = \frac{1}{S_L} \quad (146)$$

Door substitutie van (146) in (144) wordt volgende betrekking opgesteld :

$$\frac{D_{s2}}{D_{s1}} = S_L \quad (147)$$

Uit de formule (147) kan men afleiden dat voor voorwerpen die aan golfbewegingen onderworpen zijn dezelfde lengteschaal mag genomen worden, op voorwaarde dat :

1. materialen gebruikt worden met eenzelfde soortelijk gewicht, respektievelijk voor objekt en model ;
2. over de totale beschouwde lengte eenzelfde hoeveelheid voorwerpen aanwezig zijn.

Hoofdstuk III. - Praktische besluiten.

Uit de studie van de algemene en specifieke modelwetten kunnen volgende besluiten afgeleid worden :

1. De basiswet die in aanmerking komt om de gegevens bekomen uit modelproeven te kunnen herleiden tot de werkelijkheid, vormt de wet van Newton.

Deze wet is een algemene wet uit de mechanica en veronderstelt bij modelproeven een geometrische en mechanische gelijkvormigheid.

Uiteraard is deze wet voor modelonderzoek op vistuig slechts van indirekte betekenis, nl. voor een globale verificatie tussen gegevens over kracht, massa, snelheid van objekt en model.

2. Voor modellen waarbij alleen rekening wordt gehouden met de zwaartekracht moet de wet van Froude genomen worden.

Deze wet is gunstig ten aanzien van de waarnemingstijd en het vermogen om het model te slepen.

Uit de wet van Froude volgt immers :

a) dat de snelheid van het model daalt met de vierkantswortel uit de lengteschaal, zodat de waarnemingstijd voor de proef in een kanaal relatief groot uitvalt,

b) dat het nodige vermogen om een model te slepen aanzienlijk daalt, nl. met de $3,5^{\text{de}}$ macht van de lengteschaal.

De wet van Froude vereist echter een zeer grote afwerkingsnauwkeurigheid van het model (vorm en lengte), vermits een kleine fout een belangrijke afwijking teweeg brengt ten aanzien van het vermogen.

3. Wanneer bij modelonderzoek enkel rekening wordt gehouden met wrijvingskrachten moet de wet van Reynolds toegepast worden.

De wet van Reynolds heeft voor modelonderzoek evenwel een tweetal bezwaren :

a) de snelheid voor het model stijgt omgekeerd evenredig met de lengte-schaal, hetgeen een onvoldoende waarnemingstijd tot gevolg heeft of een proefkanaal van zeer grote lengte veronderstelt,

b) als gevolg van die verhoogde snelheid wordt een groter vermogen door het model in vergelijking met het objekt opgeslorpt.

4. Vermits bij modelonderzoek zowel zwaartekrachten als wrijvingskrachten optreden moet zowel aan de wet van Froude als aan deze van Reynolds voldaan worden. In de praktijk moet dit tot moeilijkheden leiden, die als volgt te ondervangen zijn.

Uitgaande van werkelijke snelheden beneden de 6 knopen (10 km/uur), komt, volgens de wet van Froude, de snelheid van het model beneden de 2 knopen (circa 3 km/uur) te liggen, vermits $S_v = \sqrt{S_L}$ ($S_L = 1/10$). Bij dergelijke snelheden is de wrijving uiterst klein, zodat met de wet van Reynolds geen rekening moet worden gehouden. Overigens de invloed van de wrijving kan gecorrigeerd worden door een correctiefactor, die uit de ervaring kan gegeven worden.

Bij bepaalde proefnemingen op netonderdelen komt het echter voor dat de wrijving van overwegend belang is in vergelijking met het gewicht. In dit geval houdt men rekening met de wet van Reynolds en dient de invloed van het gewicht afzonderlijk bepaald te worden. Hiervoor kan eveneens een correctiefactor uit de ondervinding aangewend worden.

5. De wetten van Kawakami hebben specifiek betrekking op visnetten en hun optuiging en houden rekening met speciale omstandigheden die zich bij het vistuig voordoen.

Op grond van enkele voorwaarden en veronderstellingen (t.o.v. het net en de stroming) en door analyse van de krachten en factoren die op het net en zijn onderdelen inwerken, heeft Kawakami een aantal formules opgesteld. Deze formules hebben betrekking op het schijnbaar gewicht van het net, de stromingsweerstand en de trekkracht die door gelijkvormigheidsvoorwaarden verbonden worden.

Het reële voordeel van de formules van Kawakami ligt voor een groot deel vervat in de mogelijkheid die bestaat de schaal van de garendiameters verschillend te nemen van de lengteschaal van het net, met daarbij eventueel zelfs een derde schaal voor de maasafmetingen. Dit

betekent dat voor de garendiameters van het model een schaal genomen kan worden die onafhankelijk is van de lengteschaal die men voor het model aanneemt.

Ook de verschillende horizontale en vertikale schalen zijn in bepaalde gevallen bijzonder interessant, daar zij leiden tot afmetingen voor het model die praktisch zijn om proefnemingen uit te voeren.

De formules van Kawakami werden in de studie echter theoretisch bestudeerd en proefnemingen in het proefkanaal zullen moeten aantonen in hoever de verhoudingen concreet opgaan.

Januari 1965.

