

DEBIETMETING IN EEN RIOOLBUIS
MET BEHULP VAN EEN U-VORMIGE VERNAUWING

Ir. R.H. Pitlo
Ing. A. Dommerholt

Nota 41

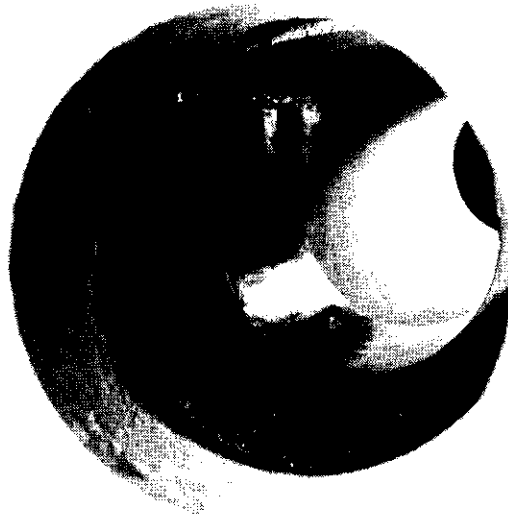
Laboratorium voor
Hydraulica en Afvoerhydrologie
Landbouwhogeschool
oktober 1977
75-52

INHOUD

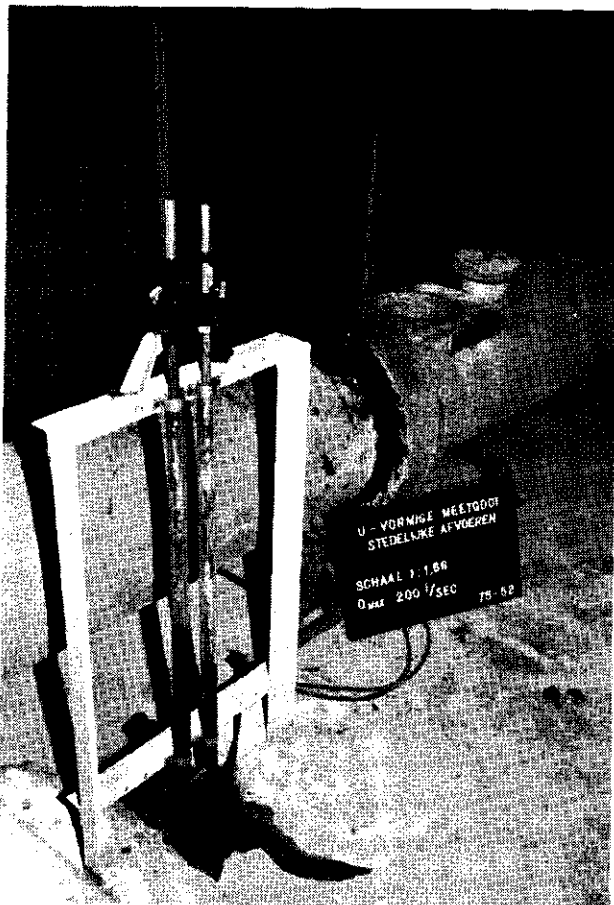
	<u>pag.</u>
1. Inleiding	1
2. Vooronderzoek	1
3. Laboratoriumonderzoek	1
3.1. Meetopstelling	1
3.2. Meetschema	3
4. Bespreking meetresultaten	3
4.1. Formule van Smoot (U.S.G.S.)	4
4.1.1. Horizontale buis	5
4.1.2. Hellende buis	7
4.2. Formule van Bos	8
4.3. I.S.O. formule	9
4.4. Gestuwde afvoeren	11
4.5. Bubble gauge metingen	11
5. Conclusies en aanbevelingen	12
6. Literatuur	13
7. Lijst van symbolen	14

BIJLAGEN

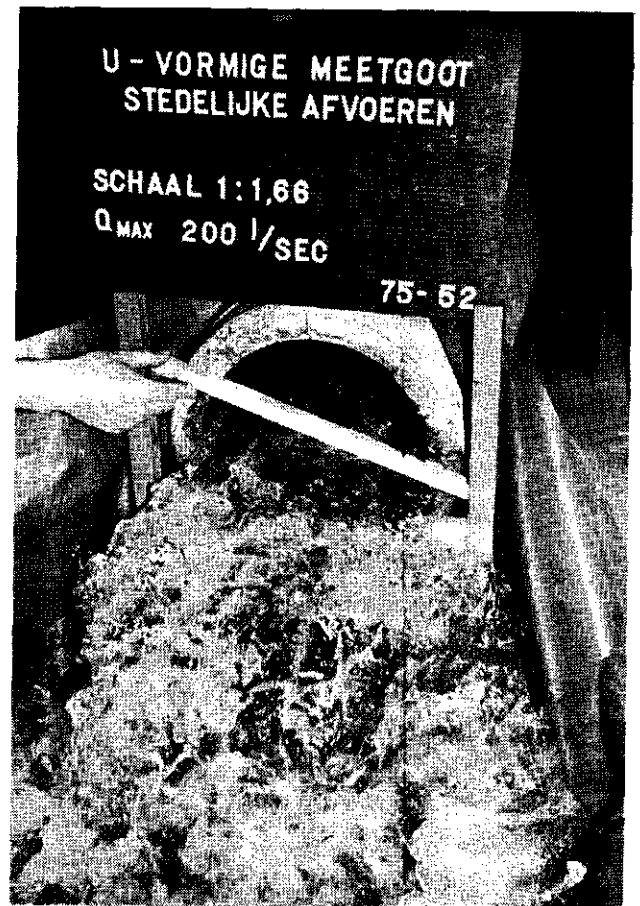
I. Tabel formule Bos	I-1
II. Berekening C_u en C_v I.S.O. formule	II-1
III. Meetcijfers	III-1



Model U-vormige meetgoot, aangebracht in buis \varnothing 0.3 m.



Meetopstelling, de vernauwing bevindt zich onder de inspectie-opening rechts.



Aanbrengen van latjes voor het nabootsen van gestuwde afvoeren.

1. INLEIDING

Bij de studie van neerslag-afvoerrelaties in stedelijke gebieden kan het gewenst zijn om de afvoer in het rioleringsstelsel te meten. Een meetopstelling hiervoor werd door Smoot e.a.¹⁾ beschreven. Het betreft een U-vormige meetgoot welke in een rioolbuis kan worden geplaatst. Ook in andere publicaties -Bos²⁾ en I.S.O.³⁾- worden afvoerrelaties gegeven voor meetgoten met een U-vormig dwarsprofiel.

Om de bruikbaarheid van de door Smoot beschreven meetinrichting te onderzoeken en de gegeven afvoerrelaties te controleren, werd in het Hydraulica Laboratorium van de Landbouwhogeschool te Wageningen de door Smoot beschreven meetgoot voor twee buismaten geijkt. De metingen werden verricht door A.C.H. te Pas, ir. C.W. Winkel en ing. A. Dommerholt. De berekeningen werden uitgevoerd door ing. A. Dommerholt. Het onderzoek stond onder leiding van ir. R.H. Pitlo.

2. VOORONDERZOEK

Tijdens een vooronderzoek werd een aantal metingen verricht aan een U-vormige meetgoot die was geplaatst in een horizontale rioolbuis met een cirkelvormige doorsnede en een diameter van 0,5 meter. Het beschikbare debiet bleek onvoldoende om ook proeven te kunnen verrichten waarbij de buis onder een helling was geplaatst of waarbij de geheel gevulde buis onder overdruk afvoert. Het onderzoek werd daarom voortgezet aan een kleinere rioolbuis met een diameter van 0,3 meter. De resultaten van het vooronderzoek⁴⁾ zijn voor zover van belang in dit verslag opgenomen.

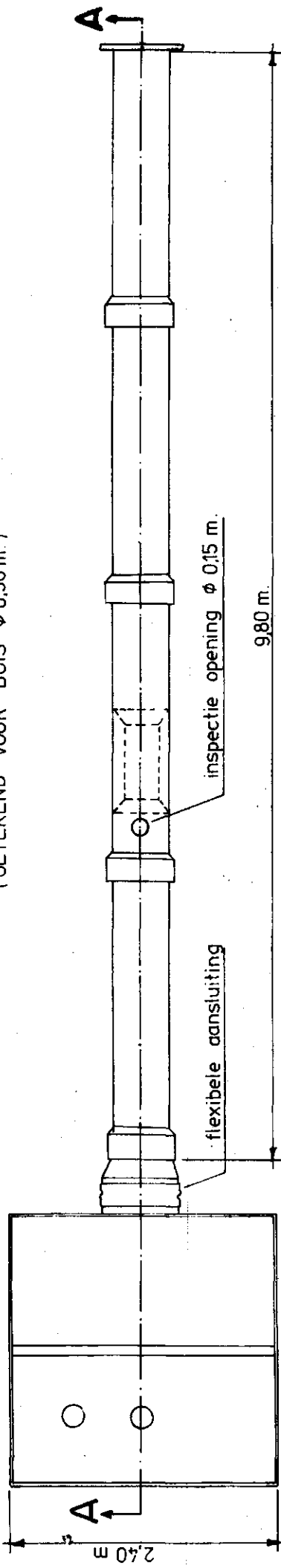
3. LABORATORIUMONDERZOEK

3.1. Meetopstelling

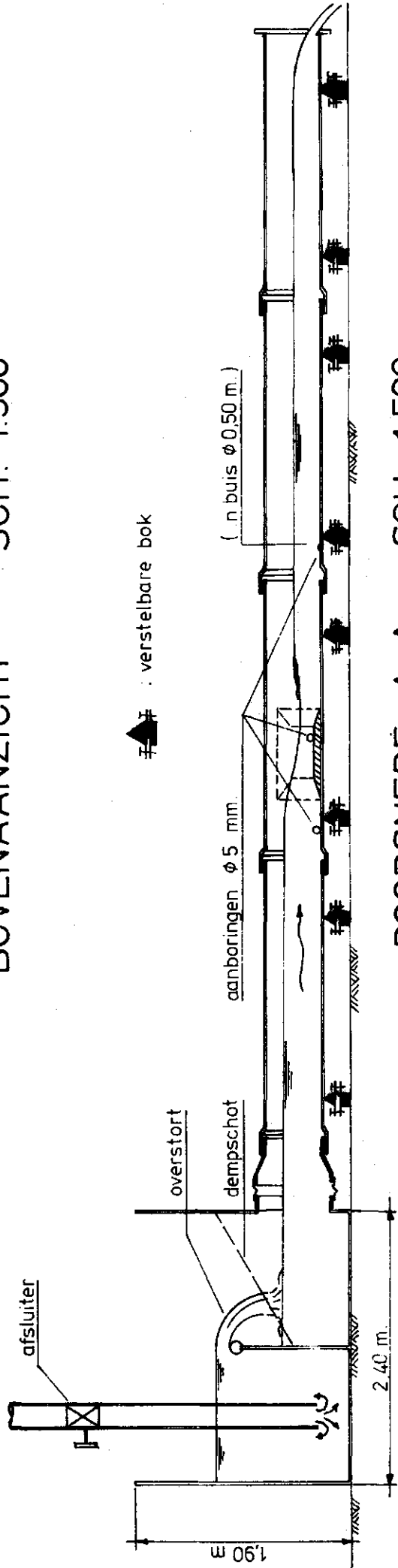
De U-vormige meetgoten resp. voor de buizen \emptyset 0,5 m (vooronderzoek) en \emptyset 0,3 m werden vervaardigd van P.V.C. De meetgoot voor de buis \emptyset 0,3 m werd voorzien van een laag verf. De meetopstelling is weergegeven in fig. 1. Aan de in- en uitstroomzijde is de constructie van de meetgoot die werd gebruikt bij het vooronderzoek (buis \emptyset 0,5 m) iets verschillend van het model dat door Smoot werd geijkt en dat ook in de buis \emptyset 0,3 m werd gebruikt. De verschillen beperken zich tot een iets andere afschui-

FIGUUR 1 MEETOPSTELLING

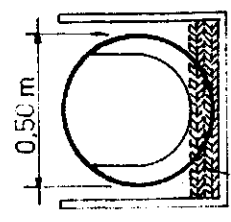
(GETEKEND VOOR BUIS ϕ 0,50 m.)



BOVENAANZICHT SCH: 1:500



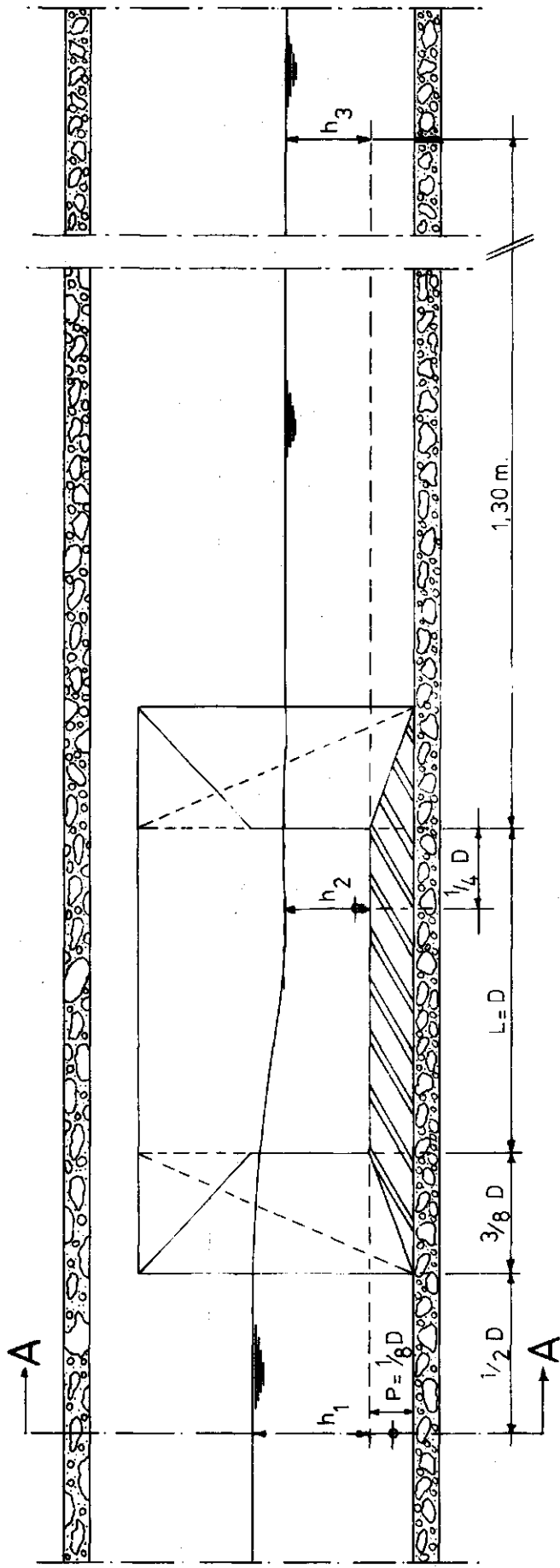
DOORSNEDE A-A SCH: 1:500



DETAIL
UITSTROOM-OPENING
SCH: 1:250

stapelbare matjes

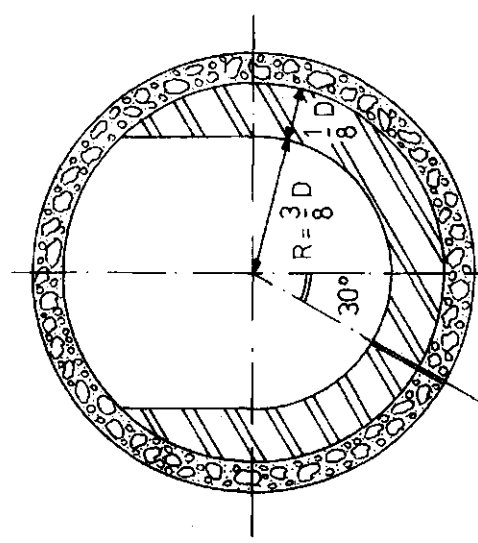
U - VORMIGE MEETGOOT, STEDELIJKE AFVOEREN	Nr. 77 - 4 - '10
LANDBOUWHOGESCHOOL	D.D. JUNI '77
HYDRAULICA	Project 75 - 52
LABORATORIUM	Gez.
Blad - 1 van 1	Maten: zie tek
Rev.:	Schaal zie tek
Omschr.: aanzicht en doorsnede	File K



VERTICALE LANGDOORSNEDE

FIGUUR 2

(GETEKEND VOOR BUIS MET $D=0,50$)



DOORSNEDE A-A

U - VORMIGE MEETGOOT	STEDELIJKE AFVOEREN	Nr. 77 - 4 - 11
LANDBOUWHOGESCHOOL		D.D. JUNI '77
HYDRAULICA	LABORATORIUM	Project 75 - 52
Blad - 1 van 2	Maten: in m	Schaal 1 10
Rev.:	Omschr.: doorsneden	File K

ning aan de bovenzijde (zie fig. 2, hierin is de uitvoering voor de buis \emptyset 0,5 m gestippeld). Alleen bij grote debieten zouden de uitkomsten van het vooronderzoek hierdoor iets kunnen afwijken van de overige metingen. De resultaten van het vooronderzoek (\emptyset 0,5 m) kunnen door toepassing van de Froude-schaalwet voor korte versnellingsgebieden worden vergeleken met de resultaten van de metingen aan de \emptyset 0,3 m buis (fig. 3 en bijlage III-1). Hieruit blijkt inderdaad dat het vooronderzoek maar een deel van het interessante meettraject kon bestrijken. Verder toont deze vergelijking geen significante afwijking bij toepassing van de Froude-schaalwet. Een schijnbare tendens naar relatief iets grotere afvoeren bij een grotere buisdiameter zou kunnen duiden op een verlaagde relatieve invloed van de wandwrijving zoals die ook in de later te behandelen I.S.O.-formule tot uitdrukking wordt gebracht.

Het half cirkelvormige gedeelte van de U-vormige vernauwing heeft een straal R gelijk aan $3/8$ van de buisdiameter D . Het laagste gedeelte van de "kruin" van de vernauwing moet dus op een hoogte $p = 1/8 D$ boven de onderzijde van de rioolbuis liggen. Bij de buis \emptyset 0,5 m dus op 0,0625 m en bij de buis \emptyset 0,3 m op 0,0375 m boven de buisbodem. Ten gevolge van het conische inwendige verloop van de betonbuizen werden na installatie van de modellen in de beide rioolbuizen afwijkingen van de genoemde maten gevonden. Bij de buis \emptyset 0,5 m bedroeg p 0,0628 m, terwijl in deze buis de kruin van het model bovendien iets bleek te hellen. Het hoogste punt van de kruin bevond zich bij horizontale ligging van de buis nabij het benedenstroomse uiteinde. Dit punt werd als nulpunt voor de overstorthoogte genomen.

Bij de buis \emptyset 0,3 m bedraagt de "theoretische" kruinhoogte (p) 0,0375 m. In werkelijkheid werd 0,0400 m gevonden. Ook de straal R bleek bij de buis \emptyset 0,3 m iets kleiner te zijn dan $3/8 D$ nl. 0,1105 m i.p.v. 0,1125 m. Deze kleine onderlinge afwijkingen in de geometrie van de \emptyset 0,3 m en de \emptyset 0,5 m opstellingen hebben blijkens de bijgevoegde "schaalvergelijking" (fig. 3) geen storende invloed wat betreft de geldigheid van de onderzoeksresultaten voor meetvernauwingen in andere buisdiameters.

Voor het meten van de waterpeilen in de rioolbuis en in de vernauwing werden enkele gaten in de buiswand geboord (zie fig. 2). Eén op $1/2 D$ bovenstrooms van de vernauwing (h_1), één in de keel (h_2) en (uitsluitend in de buis \emptyset 0,5 m) één op 1,3 m benedenstrooms van de vernauwing (h_3).

De waterpeilen werden gemeten in peilbuizen met behulp van peilnaalden welke op 0,1 mm nauwkeurig konden worden afgelezen. Tijdens het voor-

onderzoek (buis \emptyset 0,5 m) werd bovendien een zgn. "bubble gauge" geïnstalleerd bij de meetpunten h_1 en h_2 . In een aantal gevallen werden de waterpeilen bij deze opstelling zowel met de bubble gauge als met peilnaalden afgelezen. De uitkomsten werden vergeleken.

N.B. De waterpeilen werden telkens gemeten t.o.v. het hoogste punt van de stuwkruin.

Het benodigde water voor de proeven werd vanuit het laboratoriumcircuit via een inloopbak in de rioolbuis geleid. Aan de uitstroomzijde van de buis kon met behulp van stapelbare latjes de waterstand in de buis trapsgewijze worden verhoogd (zie fig. 1).

Het uitstromende debiet werd telkens volumetrisch bepaald.

De rioolbuis \emptyset 0,3 m kon met behulp van in hoogte verstelbare bokken onder verschillende hellingen worden geplaatst.

3.2. Meetschema

In het onderstaande overzicht zijn de uitgevoerde metingen aan beide modellen weergegeven, de meetcijfers zijn vermeld in bijlage III.

Buisdiameter (m)	Buishelling (in %)				
	0	0,5	1,0	1,5	2,5
0,5	+	-	-	-	-
0,3	+	+	+	+	+

+ = wel onderzocht

- = niet onderzocht

In alle gevallen werden naast vrije uitstroming ook een aantal gestuwde afvoeren onderzocht. In de buis \emptyset 0,5 m werd hiertoe een extra meetaansluiting (h_3) aangebracht; in de buis \emptyset 0,3 m werd volstaan met het aflezen van h_1 en h_2 . In één geval werd een serie van 15 metingen uitgevoerd zowel met een bubble gauge als met een peilnaald. Er werd vooral gelet op de reproduceerbaarheid en de lineariteit van de bubble gauge.

4. BESPREKING MEETRESULTATEN

De uit de literatuur bekende afvoerformules voor U-vormige meetgoten werden aan de hand van de verkregen meetresultaten onderzocht. De uitkomsten werden onderling vergeleken. In de figuren 3 t/m 7 is het verband tussen het debiet Q en de waterpeilen h_1 en h_2 weergegeven.

In de meetopstelling bleek een nauwkeurige meting van de waterstanden alleen mogelijk zolang $h_1 + p < D$ (dus stroming met een vrije waterspiegel) of bij volledig gevulde buis (Venturi stroming). In het overgangsgebied tussen deze beide stromingstypen (bijna volle buis) treden sterke schommelingen van de waterstand op, doordat af en toe lucht wordt aangezogen. Peilverschillen van meer dan 0,1 m werden gevonden bij gelijk debiet. Verder werden in dit overgangsgebied hysteresis verschijnselen gevonden (zie figuren 3 t/m 7 de punten h (stijgend) en h (dalend)). h_{stijgend} wil zeggen, dat h telkens werd afgelezen na een verhoging van het debiet; h_{dalend} na een verlaging van het debiet. Nauwkeurige debietmeting is in dit overgangsgebied onmogelijk.

4.1. Formule van Smoot (U.S.G.S.)

Smoot, Davidian en Billings geven voor een U-vormige meetgoot omgerekend naar het metrische stelsel de volgende afvoerformules voor een vrije waterspiegel en stromend water ($Fr < 1$):

A. Helling (S) $< 0,02$ (= 2%) en $(\frac{d^4}{D} + \frac{\beta \Delta z}{dt}) \geq 0,3$:

$$Q = 0,50191 \sqrt{g} \left(\frac{d^4}{D} + \frac{\beta \Delta z}{dt} - 0,191 \right)^{1,7564} \cdot D^{5/2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \quad \dots (1)$$

Voor $S < 0,02$ en $(\frac{d^4}{D} + \frac{\beta \Delta z}{dt}) < 0,3$:

$$Q = 0,2021 \sqrt{g} \left(\frac{d^4}{D} + \frac{\beta \Delta z}{dt} - 0,177 \right)^{1,3784} \cdot D^{5/2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \quad \dots (2)$$

B. Helling (S) $\geq 0,02$:

$$Q = 0,1893 \sqrt{g} \left(\frac{d^4}{D} + \frac{\beta \Delta z}{dt} \right)^{2,708} \cdot a \cdot D^{5/2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \quad \dots (3)$$

Hierin is $a = 2,15 + 9,4943 \cdot 10^{11} (S - 0,008)^{6,7562}$.

C. Voor stroming waarbij de buis bijna vol is:

$$Q = \{ 0,4582 + \sqrt{|0,590 - D10D|} \cdot 0,18945 \} \sqrt{g} \cdot D^{5/2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \quad \dots (4)$$

D. Voor stroming door een volle buis (Venturi stroming) tenslotte:

$$Q = 1,0113 \sqrt{g} \left(\frac{\Delta h}{D} \right)^{0,517} \cdot D^{5/2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \quad \dots (5)$$

De betekenis van de symbolen in vorengenoemde formules is als volgt:

Fr	: getal van Froude ($Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot A/B}}$)
Q	: debiet ($m^3 s^{-1}$)
D	: buisdiameter (m)
$\frac{\beta \Delta z}{dt}$: 1,6282.S, een "constante" afhankelijk van vormgeving en helling. Over de fysische betekenis van deze factor kon nog geen informatie worden verkregen.
S	: helling van de buis, % (-)
$d_4 (= h_1 + p)$: de waterhoogte in de aanvoerbuis gemeten ter plaatse van h_1 (m)
h_1	: "overstort" hoogte (m)
p	: hoogte van de kruin t.o.v. buisbodem ter plaatse van h_1 (m)
$d_{10} (= h_2)$: de waterhoogte boven de kruin van de vernauwing gemeten <u>ter plaatse</u> van h_2 (m)
a	: een "constante" afhankelijk van de buishelling (zie formule (3))
D10D	: d_{10}/D
$ 0,590 - D10D $: absolute waarde van $(0,590 - D10D)$
Δh	: $h_1 - h_2$ (m).

4.1.1. Horizontale buis

In het geval dat de buis horizontaal is geplaatst ($S = 0$) zou bij gebruik van formule (1) of (2) de term $\frac{\beta \Delta z}{dt}$ gelijk worden aan nul. Bij substitutie van $Q = 0$ levert $h_1 (= d_4 - p)$ dan nog een zekere waarde op. Voor de buis $\emptyset 0,5$ m bij gebruik van formule (1) b.v.: $h_1 = 0,03$ m. Bovendien blijkt, dat bij de grenswaarde: $\frac{h_1 + p}{D} = 0,3 (= \frac{d_4}{D})$ de uitkomst van Q verschilt bij gebruik van formule (1) of (2). Bij een buis $\emptyset 0,5$ m bedraagt dit verschil ongeveer 10%. Ook voor de buis $\emptyset 0,3$ m gelden bovengenoemde discrepanties. Vergelijkt men het bij h_1 behorende berekende debiet (formule (1) of (2)) met het gemeten debiet in het model, dan blijken bij de buis $\emptyset 0,5$ m vooral voor kleine waarden van h_1 ($h_1 < 0,2 D$) grote verschillen te kunnen optreden. Afwijkingen tot ruim 50% komen voor. Indien $0,6 < \frac{h_1 + p}{D} < 1,0$, dan blijkt formule (1) van Smoot voor een buis $\emptyset 0,5$ m redelijke resultaten op te leveren. De afwijkingen t.o.v. de modelmetingen bedroegen minder dan 5%. Ook voor

de buis \emptyset 0,3 m werd een soortgelijke uitkomst gevonden:

Voor $0,45 < \frac{h_1 + p}{D} < 1,0$ bedroeg bij gebruik van formule (1) de afwijking tussen Q_{gemeten} en Q_{berekend} minder dan 5,5%.

Het maakt hierbij natuurlijk verschil uit, of men in de formules de theoretische waarde van p ($= 1/8 D$) of de in het model gemeten (werkelijk optredende) kruinhoogte (p) gebruikt. Zie voor de gemeten kruinhoogten hoofdstuk 3.1. De berekeningen in dit rapport zijn allen uitgevoerd met de in het model gemeten (dus "werkelijke") kruinhoogten.

Bij het vol raken van de aanstroombuis ("transitional flow") zou volgens Smoot formule (4) moeten opgaan. Afgezien van het ontbreken van grenzen waarbinnen de formule gebruikt mag worden bleek, dat de formule bij een buis \emptyset 0,3 m slechts voor een zeer beperkt gebied redelijke resultaten geeft. Voor $0,45 < D10D^{**}) < 0,65$ bedragen de verschillen tussen de met deze formule berekende Q en de gemeten Q meestal minder dan 5%. Door sterke schommeling van de waterstand is nauwkeurig aflezen van h_1 en h_2 echter moeilijk.

Krijgen we te maken met een geheel gevulde buis, dan dient volgens Smoot formule (5) te worden gebruikt. Voor een buis \emptyset 0,3 m kan deze formule worden geschreven als:

$$Q = 0,2909 \cdot \Delta h^{0,517} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \quad \dots (6)$$

Uit de modelmetingen werd met behulp van een regressieberekening gevonden:

$$Q = 0,2705 \cdot \Delta h^{0,517} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \quad \dots (7)$$

De in de meetopstelling bij Δh behorende debieten wijken minder dan 2% af van de met behulp van formule (7) berekende debieten. Berekent men echter een debiet met formule (6), dan is de uitkomst ongeveer 7% hoger dan volgt uit formule (7).

Uit deze resultaten valt af te leiden, dat voor een horizontale buis alleen formule (1) van Smoot (in een beperkt gebied) in overeenstemming is met de meetresultaten.

*) N.B.: bij toenemend debiet wordt $D10D$ kleiner.

4.1.2. *Hellende buis*

De formules (1) t/m (5) van Smoot zijn ook onderzocht voor een buis \emptyset 0,3 m geplaatst onder verschillende hellingen. Indien sprake is van een vrije waterspiegel, stromend water en een buishelling van minder dan 2%, dan moeten volgens Smoot de formules (1) en (2) worden gebruikt. Is S groter dan 2%, dan geldt formule (3). In het model werden de volgende hellingen onderzocht: 0,5%; 1%; 1,5% en 2,5%.

Formule (2) zal verder buiten beschouwing worden gelaten: in de 5 gevallen waarbij metingen binnen het geldigheidsgebied van formule (2) lagen, bedroegen de afwijkingen tussen de met deze formule berekende en de in de meetopstelling gemeten debieten steeds meer dan 10%.

Voor alle hellingen, dus ook die van 2,5% (!), gaf formule (1) redelijke resultaten mits de grenzen worden aangehouden die in onderstaande tabel zijn vermeld.

S	$\frac{h_1 + p}{D}$		aantal metingen met een afwijking van:			totaal	
			< 2%	2-5%	5-8%		
0,005	0,4	< "	< 1,0	9	15	-	24
0,01	0,35	< "	< 1,0	3	6	10	19
0,015	0,3	< "	< 1,0	6	14	3	23
0,025	0,35	< "	< 1,0	13	11	1	25

De debieten bij $S = 0,025$ werden ook berekend met behulp van formule (3). Het resultaat was slecht. De afwijkingen t.o.v. de gemeten debieten bedroegen tussen de 40 en 150%. Mogelijk is er in de door Smoot toegezonden afvoerformules een drukfout geslopen.

In het overgangsgebied (buis bijna vol) werkt Smoot met formule (4). In hoofdstuk 4.1.1. is voor een horizontale buis al het een en ander over deze formule vermeld. Ook bij hellende buizen werd de geldigheid van de formule gecontroleerd. Voor hellingen tot en met 1,5% en: $0,55 < D10D < 0,65$ geeft formule (4) uitkomsten die minder dan 10% afwijken van de metingen. Bij $S = 2,5\%$ bleken alleen metingen in de buurt van $D10D = 0,6$ redelijke resultaten op te leveren. Bij geheel gevulde buis moet volgens Smoot formule (5) worden gebruikt. Bij een buis met een diameter van 0,3 m wordt deze formule:

$$Q = A_6 \cdot \Delta h^{0,517} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \quad \dots (6)$$

waarin $A_6 = 0,2909$.

De waarden van A_6 die bij de verschillende hellingen met behulp van regressie berekeningen uit de metingen werden gevonden zijn hieronder weergegeven.

S	"A ₆ " voor een buis \emptyset 0,3 m
0,005	0,2607
0,01	0,2443
0,015	0,2449
0,025	0,2760
0	0,2705 (zie 4.1.1.)

Afgezien van een enkele "uitschieter" liggen de berekende debieten met behulp van formule (6) en de "A₆" waarden uit de tabel binnen enkele procenten van de gemeten debieten. Ten opzichte van de formule van Smoot zijn de afwijkingen echter veel groter: -5 tot -16%.

Uit de resultaten van dit onderzoek moet samenvattend worden geconcludeerd, dat de betrekkingen van Smoot niet algemeen toepasbaar zijn. In de praktijk zou alleen formule (1) met inachtnaam van de gevonden begrenzingen bruikbaar zijn. Een ander nadeel van de betrekkingen van Smoot is, dat afwijkingen van de maatvoering (zie hoofdstuk 3.1.) niet in de formules verwerkt kunnen worden. Met name afwijkingen in de straal R van de vernauwing kunnen invloed hebben op de berekende debieten.

4.2. Formule van Bos

Bos²⁾ leidt voor een U-vormige meetgoot twee formules af.

Voor het cirkelvormige gedeelte, dus als de kritische diepte y_c kleiner is dan $0,5 d$ of als de bovenstroomse energiehogte H_1 kleiner is dan $0,7 d$ geldt:

$$Q = C_d \cdot \frac{A_c}{d^2} \cdot d^{2,5} \sqrt{2g\left(\frac{H_1}{d} - \frac{y_c}{d}\right)} \quad \dots (8)$$

In deze formule is:

C_d = afvoercoëfficiënt (-)

A_c = oppervlak kritische doorsnede (m^2)

d = diameter van de vernauwing (= 2R) (m)

H_1 = bovenstroomse energiehogte (m)

y_c = kritische diepte in de vernauwing (m)

g = versnelling van de zwaartekracht ($m s^{-2}$)

De waarden van A_c/d^2 en y_c/d kunnen uit tabel I-1 worden afgelezen als H_1/d bekend is (zie bijlage I).

Voor $H_1 > 0,7 d$ geldt:

$$Q = C_d \cdot C_v \cdot 2d \sqrt{2g} (1/3 h_1 - 0,0358 d)^{3/2} \quad \dots (9)$$

C_v is een correctie coëfficiënt voor de snelheidshoogte bovenstrooms. Omdat $0,0358 d \ll 1/3 h_1$ geldt bij benadering: $C_v = \left(\frac{H_1}{h_1}\right)^u$, hierin is u de macht van de betrekking: $Q = a H_1^u$. Uit een regressie berekening van de metingen in het geldigheidsgebied van formule (9) werden voor de meetopstelling de volgende waarden van u gevonden:

$$\text{buis } \emptyset 0,5 \text{ m} \quad u = 1,756$$

$$\text{buis } \emptyset 0,3 \text{ m (alle hellingen)} \quad u = 1,765$$

Substitueert men in de formules (8) en (9) de gevonden meetcijfers, dan is de afvoercoëfficiënt C_d te berekenen. De resultaten van deze berekening zijn weergegeven in de figuren 8 en 9, waarin C_d is uitgezet tegen H_1/D . In figuur 8 zijn de resultaten voor de buisdiameters 0,5 en 0,3 m weergegeven bij horizontale ligging ($S = 0$). In figuur 9 zijn alle resultaten van de metingen aan de buis $\emptyset 0,3$ m uitgezet.

N.B. De formules (8) en (9) zijn alleen geldig zolang in de buis een vrije waterspiegel aanwezig is. Berekening van C_d in het traject $H_1/D > 1,0$ heeft dus geen betekenis.

4.3. I.S.O. formule

De "International Organization for Standardization" (I.S.O.)³⁾ geeft voor een U-vormige meetgoot met U-vormig aanvoerkanaal de afvoerformule:

$$Q = C_d C_v C_u \sqrt{g} (2/3 h_1)^{3/2} d \quad \dots (10)$$

Hierin is C_u een coëfficiënt die afhangt van de vormgeving van de meetgoot en de vernauwing; d is de diameter van de vernauwing ($= 2R$); C_u en C_v kunnen met behulp van grafieken en een iteratie proces worden gevonden (zie bijlage II en figuren II-1 en II-2).

De afvoercoëfficiënt C_d kan worden berekend uit:

$$C_{d_{ISO}} = \left(1 - \frac{2\delta^*}{L} \cdot \frac{L}{d}\right) \left(1 - \frac{\delta^*}{L} \cdot \frac{L}{h_1}\right)^{3/2} \quad \dots (11)$$

Hierin is

δ^* = de grenslaagverplaatsingsdikte (m)

L = lengte van de keel van de vernauwing (m)

$\frac{\delta^*}{L}$ kan met behulp van een grafiek (zie bijlage II en figuur II-3) worden bepaald. De ruwheidsfactor k kan in onderstaande tabel worden afgelezen.

Tabel: ruwheidsfactor k volgens I.S.O.³⁾

<u>Materiaal</u>	<u>k (mm)</u>
P.V.C., Perspex	0,003
Asbest cement	0,015
Roestvrij staal (gepolijst)	0,006
Gegalvaniseerd ijzer	0,15
Geschilderd glad oppervlak	0,06
Beton zeer glad afgewerkt	0,15

In de grafiek is het getal van Reynolds: $\frac{vL}{\nu} \approx \frac{L}{\nu} \left(\frac{gQ}{W_c}\right)^{1/3}$

Hierin is:

L = kruinlengte (= D) (m)

ν = kinematische viscositeit = $1,01 \times 10^{-6}$ voor 20°C ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$)

W_c = waterspiegelbreedte ter plaatse van de kritische diepte (m)

De uit formule (11) berekende waarden van $C_{d_{ISO}}$ zijn weergegeven in de figuren 8 en 9. Uit figuur 8 blijkt hoe $C_{d_{ISO}}$ afhangt van de buisdiameter. Omdat de betrekkingen (10) en (11) gelden voor een U-vormig aanvoerkanaal, terwijl de modelmetingen werden verricht in een ronde buis kunnen voor waarden van $H_1 > 0,7 d$ (dit komt overeen met $H_1/D > 0,52$) geleidelijk toenemende afwijkingen worden verwacht tussen $C_{d_{ISO}}$ en $C_{d_{Bos}}$.

Uit de figuren 8 en 9 blijkt, dat deze afwijkingen pas optreden voor $H_1/D > 0,7$. Een uitzondering vormt de uitkomst voor een helling van $0,025$ waarbij een systematische afwijking tussen $C_{d_{Bos}}$ en $C_{d_{ISO}}$ werd gevonden. Bekijken we de formules (8) t/m (10), dan blijkt niet direkt dat de afvoercoëfficiënten C_d van Bos en I.S.O. onderling mogen worden vergeleken. Formule (10) is niet zonder meer om te vormen tot formule (8) of (9). Om te onderzoeken of de C_d waarden uit de verschillende formules rechtstreeks mogen worden vergeleken werd

$$F_{\text{Bos}} = \frac{\text{formule (8) c.q. (9)}}{C_{d_{\text{Bos}}}} \text{ gedeeld door } F_{\text{ISO}} = \frac{\text{formule (10)}}{C_{d_{\text{ISO}}}} .$$

De uitkomst van $\frac{F_{\text{ISO}}}{F_{\text{Bos}}}$ moet 1 opleveren als beide C_d waarden vergelijkbaar zijn. In figuur 10 is $\frac{F_{\text{ISO}}}{F_{\text{Bos}}}$ uitgezet tegen H_1/D . Het verschil tussen F_{ISO} en F_{Bos} bedraagt $0,1 < H_1/D < 1,0$ minder dan $1\frac{1}{2}\%$. Aangenomen mag daarom worden dat $C_{d_{\text{ISO}}}$ vergelijkbaar is met $C_{d_{\text{Bos}}}$. De kleine spreiding in de gevonden punten kan ontstaan door het gebruik van fig. II-1 bij de bepaling van C_u .

Verder blijkt dat de I.S.O. formule, hoewel opgesteld voor een U-vormig aanvoerkanal, binnen de gegeven grenzen voor buizen kan worden gebruikt. Een nadeel bij het gebruik van de I.S.O. formule is de omslachtige wijze van berekenen van C_u en C_v (zie bijlage II). Het is echter mogelijk om in een concreet geval het verband tussen C_u , C_v en de andere factoren die het stromingsbeeld bepalen éénmalig vast te stellen en b.v. in tabelvorm of grafiek te verwerken.

4.4. Gestuwde afvoeren

Bij een aantal debieten werd de benedenwaterstand in de buis trapsgewijze verhoogd. Telkens na het bereiken van een evenwicht werden h_1 , h_2 en in de buis \emptyset 0,5 m ook h_3 (zie paragraaf 3.1.) afgelezen. Bij horizontale ligging van de buis \emptyset 0,5 m bleek de bovenwaterstand te worden beïnvloed bij een "verdrinkingsgraad" $H_3/H_1 > 0,85$. Opgemerkt moet worden, dat dit getal alleen een indicatieve betekenis heeft, aangezien het meetpunt h_3 op een min of meer willekeurige plaats is gekozen. Wel mag worden verwacht, dat bij kleine hellingen van de buis soortgelijke waarden zullen worden gevonden. In voorkomende gevallen is ijking gewenst. Meet men alleen de waterstanden (h_1) bovenstrooms van de meetgoot en (h_2) in de vernauwing, dan moet verdrinking worden vermeden. Wanneer het water de buis geheel vult (Venturi stroming) heeft men voor de meting weer voldoende aan h_1 en h_2 .

4.5. Bubble gauge metingen

Met behulp van een "bubble gauge", een drukverschilopnemer en een "Fluke" mA meter werd een aantal metingen verricht en vergeleken met de bijbehorende peilnaaldaflezingen van h_1 . Uit deze metingen bleek, dat de bubble gauge peilverschillen van $1\frac{1}{2}$ mm nog goed reproduceerbaar weer-

geeft. In figuur 11 zijn de aflezings van de bubble gauge en de peilnaald tegen elkaar uitgezet, het verband tussen deze beide aflezings blijkt lineair te verlopen.

5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Uit het onderzoek valt af te leiden dat:

- het meten van debieten in een rioolbuis met behulp van een U-vormige meetgoot over een beperkt traject mogelijk is. Bij ongestuwde afvoeren en een niet geheel gevulde aanvoerbuis ($0,35 < \frac{h_1 + p}{D} < 1,0$) kan voor hellingen $\leq 2,5\%$ gebruik worden gemaakt van formule (1) van Smoot, de formules (8) en (9) van Bos of de formules (9) en (10) van I.S.O. De afwijkingen tussen de met de genoemde formules berekende debieten en de werkelijke debieten zullen naar verwachting minder dan 10% bedragen.
- zodra het buisgedeelte benedenstrooms van de U-vormige meetgoot gevuld raakt, sterke schommelingen in de waterpeilen ontstaan. Deze schommelingen worden veroorzaakt door luchtinsluitingen. Hiernaast treden hysteresisverschijnselen op. In dit overgangsgebied is debietmeting niet mogelijk.
- bij een geheel gevulde buis (Venturi stroming) formule (6): $Q = A_6 \cdot \Delta h^{0,517}$ met goed gevolg kan worden toegepast. Voor de waarde van A_6 wordt verwezen naar hoofdstuk 4.1.2.
- gestuwde afvoeren niet mogen optreden indien gebruik wordt gemaakt van de behandelde formules. Een uitzondering hierop vormt de Venturi stroming (bij geheel gevulde buis). Aanbevolen wordt om de meetgoot zó op te stellen, dat benedenstrooms vrije uitstroming kan plaatsvinden b.v. in een put. Blijkt in de praktijk toch opstuwning voor te komen, dan is een ijking noodzakelijk.
- een bubble gauge voor praktische peilmetingen goede resultaten geeft. Voor alle meetinrichtingen te velde geldt uiteraard, dat zij reeds bij geringe mate van vervuiling zeer onnauwkeurige resultaten zullen opleveren: **DEGELIJK EN REGELMATIG ONDERHOUD IS NOODZAKELIJK.**

6. LITERATUUR

1. Smoot, G.F., Davidian, J. en Billings, R.H.,
Urban Storm Rainfall Runoff Quality Instrumentation,
I.H.D., Unesco, Paris, September 1974.
2. Bos, M.G.,
The use of long-throated flumes to measure flows in irrigation- and
drainage canals,
Agricultural Water Management, Nr. 1, 1977, Elseviers Scientific Publ. Cy.
3. International Organization for Standardization,
Standard on flumes, U.K. draft, Zurich, June 1975,
ISO TC113/WG 2 (U.K. 39) 201.
4. Pitlo, R.H.,
Debietmeting in een rioolbuis met behulp van een U-vormige meetgoot,
1e voortgangsverslag, mei 1976 (niet gepubliceerd).

7. LIJST VAN SYMBOLEN

A	= oppervlakte dwarsdoorsnede	(m ²)
A _c	= oppervlakte dwarsdoorsnede ter plaatse van kritische diepte	(m ²)
a	= "constante" in formule (3) van Smoot z.a.	
A ₆	= coëfficiënt in formule (6) Venturi stroming z.a.	
C _d	= afvoercoëfficiënt	(-)
C _u	= coëfficiënt afhankelijk van de vormgeving van de meetgoot	(-)
C _v	= correctiecoëfficiënt voor de snelheidshoogte bovenstrooms	(-)
D	= buisdiameter	(m)
d	= keeldiameter van de vernauwing	(m)
D10D, d ₄ , d ₁₀	= symbolen gebruikt in formules van Smoot z.a.	
Fr	= getal van Froude	(-)
g	= versnelling van de zwaartekracht	(m s ⁻²)
H ₁	= bovenstroomse energiehogte (= h ₁ + $\frac{v^2}{2g}$)	(m)
h ₁ , h ₂ , h ₃	= waterhoogten gemeten t.o.v. kruin meetgoot resp. bovenstrooms (1), boven de kruin (2) en benedenstrooms (3)	(m)
k	= ruwheidsmaat	(m)
L	= lengte van het prismatische gedeelte van de U-vormige vernauwing	(m)
p	= kruinhoogte boven de bodem van de aanvoerbuis	(m)
Q	= debiet	(m ³ s ⁻¹)
R	= straal van cirkelvormige vernauwing (= 3/8 D)	(m)
Re	= getal van Reynolds	(-)
S	= buis helling	(-)
\bar{v}	= gemiddelde stroomsnelheid in een dwarsdoorsnede (= $\frac{Q}{A}$)	(m s ⁻¹)
W	= waterspiegel breedte	(m)

y	= waterdiepte	(m)
Δ	= verschil tussen twee grootheden	
δ^*	= grenslaag verplaatsingsdikte	(m)
ν	= kinematische viscositeit	(m ² s ⁻¹)

Indices:

c	= ter plaatse van kritische stroming
e	= effectieve waarde, na correctie voor grenslaageffecten.

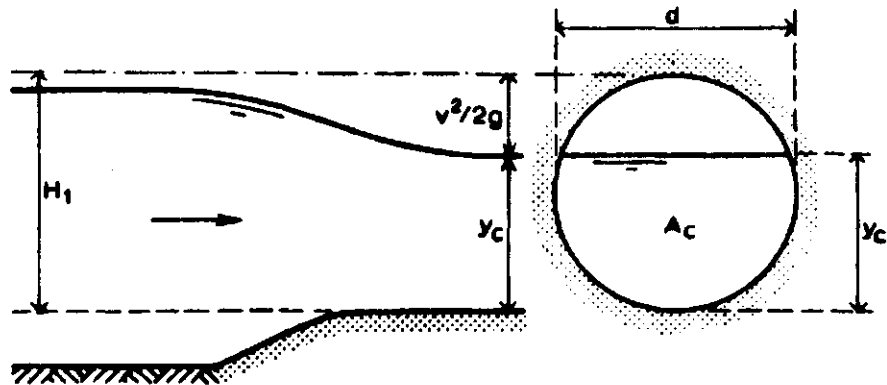
BIJLAGE I Cirkelvormige vernauwing

Tabel I-1: Verband tussen enkele grootheden uit formule (8)
van Bos (overgenomen uit lit. 2).

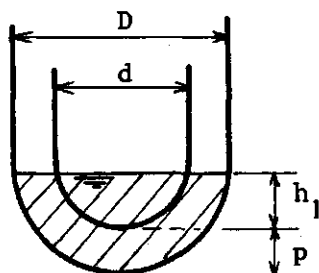
y_c/d	$\frac{v^2/2g}{d}$	H_1/d	A_c/d^2	y_c/H_1	y_c/d	$\frac{v^2/2g}{d}$	H_1/d	A_c/d^2	y_c/H_1
0.01	0.0033	0.0133	0.0013	0.752	0.41	0.1541	0.5641	0.3032	0.727
.02	.0067	.0267	.0037	.749	.42	.1586	.5786	.3130	.726
.03	.0101	.0401	.0069	.749	.43	.1631	.5931	.3229	.725
.04	.0134	.0534	.0105	.749	.44	.1676	.6076	.3328	.724
.05	.0168	.0668	.0147	.748	.45	.1723	.6223	.3428	.723
.06	.0203	.0803	.0192	.748	.46	.1769	.6369	.3527	.722
.07	.0237	.0937	.0242	.747	.47	.1817	.6517	.3627	.721
.08	.0271	.1071	.0294	.747	.48	.1865	.6665	.3727	.720
.09	.0306	.1206	.0350	.746	.49	.1914	.6814	.3827	.719
.10	.0341	.1341	.0409	.746	.50	.1964	.6964	.3927	.718
.11	.0376	.1476	.0470	.745	.51	.2014	.7114	.4027	.717
.12	.0411	.1611	.0534	.745	.52	.2065	.7265	.4127	.716
.13	.0446	.1746	.0600	.745	.53	.2117	.7417	.4227	.715
.14	.0482	.1882	.0688	.744	.54	.2170	.7570	.4327	.713
.15	.0517	.2017	.0739	.744	.55	.2224	.7724	.4426	.712
.16	.0553	.2153	.0811	.743	.56	.2279	.7879	.4526	.711
.17	.0589	.2289	.0885	.743	.57	.2335	.8035	.4625	.709
.18	.0626	.2426	.0961	.742	.58	.2393	.8193	.4724	.708
.19	.0662	.2562	.1039	.742	.59	.2451	.8351	.4822	.707
.20	.0699	.2699	.1118	.741	.60	.2511	.8511	.4920	.705
.21	.0736	.2836	.1199	.740	.61	.2572	.8672	.5018	.703
.22	.0773	.2973	.1281	.740	.62	.2635	.8835	.5115	.702
.23	.0811	.3111	.1365	.739	.63	.2699	.8999	.5212	.700
.24	.0848	.3248	.1449	.739	.64	.2765	.9165	.5308	.698
.25	.0887	.3387	.1535	.738	.65	.2833	.9333	.5404	.696
.26	.0925	.3525	.1623	.738	.66	.2902	.9502	.5499	.695
.27	.0963	.3663	.1711	.737	.67	.2974	.9674	.5594	.693
.28	.1002	.3802	.1800	.736	.68	.3048	.9848	.5687	.691
.29	.1042	.3942	.1890	.736	.69	.3125	1.0025	.5780	.688
.30	.1081	.4081	.1982	.735	.70	.3204	1.0204	.5872	.686
.31	.1121	.4221	.2074	.734	.71	.3286	1.0386	.5964	.684
.32	.1161	.4361	.2167	.734	.72	.3371	1.0571	.6054	.681
.33	.1202	.4502	.2260	.733	.73	.3459	1.0759	.6143	.679
.34	.1243	.4643	.2355	.732	.74	.3552	1.0952	.6231	.676
.35	.1284	.4784	.2450	.732	.75	.3648	1.1148	.6319	.673
.36	.1326	.4926	.2546	.731	.76	.3749	1.1349	.6405	.670
.37	.1368	.5068	.2642	.730	.77	.3855	1.1555	.6489	.666
.38	.1411	.5211	.2739	.729	.78	.3967	1.1767	.6573	.663
.39	.1454	.5354	.2836	.728	.79	.4085	1.1985	.6655	.659
.40	.1497	.5497	.2934	.728	.80	.4210	1.2210	.6735	.655

Tabel I-1 (vervolg)

y_c/d	$\frac{v^2/2g}{d}$	H_1/d	A_c/d^2	y_c/H_1
0.81	0.4343	1.2443	0.6815	0.651
.82	.4485	1.2685	.6893	.646
.83	.4638	1.2938	.6969	.641
.84	.4803	1.3203	.7043	.636
.85	.4982	1.3482	.7115	.630
.86	.5177	1.3777	.7186	.624
.87	.5392	1.4092	.7254	.617
.88	.5632	1.4432	.7320	.610
.89	.5900	1.4800	.7384	.601
.90	.6204	1.5204	.7445	.592
.91	.6555	1.5655	.7504	.581
.92	.6966	1.6166	.7560	.569
.93	.7459	1.6759	.7612	.555
.94	.8065	1.7465	.7662	.538
.95	.8841	1.8341	.7707	.518
.96	.9885	1.9485	.7749	.493
.97	1.1410	2.1110	.7785	.460
.98	1.3958	2.3758	.7817	.412
.99	1.9700	2.9600	.7841	.334
1.00	-	-	.7854	-



BIJLAGE II Berekening C_u en C_v uit de formule: $Q = C_d \cdot C_v \cdot C_u \sqrt{g} (2/3 h_1)^{3/2} d$.



In figuur II-1 is het verband weergegeven tussen C_u en H_{c_e}/d_e .

H_{c_e} = effectieve energiehogte ter plaatse van de kritische doorsnede

$$(H_{c_e} = H_c - \delta^*)$$

d_e = effectieve diameter van de keel ($d_e = d - 2\delta^*$)

d = keeldiameter

δ^* = grenslaag verplaatsingsdikte

De procedure bij de berekening van C_u en C_v is als volgt:

1. Schrijf de waarden op van d , L , D en p (L = kruinlengte, p = kruinhoogte).
2. Bereken A , het oppervlak van de natte doorsnede in het aanvoerkanaal.
3. Eerste benadering:

neem aan dat: $\frac{H_{c_e}}{d_e} = \frac{h_1}{d}$ en zoek in figuur II-1 de bijbehorende waarde van C_u .

4. Bereken: $\frac{C_u \cdot d \cdot h_1}{A}$ en zoek in figuur II-2 de waarde van C_v op.

5. Bereken H_{c_e} met de formule $\frac{H_{c_e}}{h_e} \approx \frac{H_{c_e}}{h_1} \approx C_v^{2/3}$.

Einde 1e ronde.

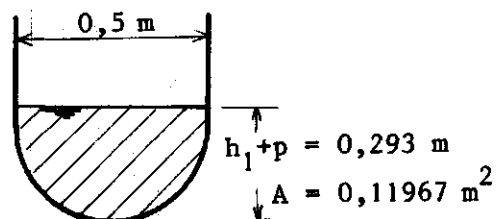
6. Neem aan dat $d_e \approx d$, bepaal $\frac{H_{c_e}}{d}$ en vindt in figuur II-1 een nieuwe waarde voor C_u .

7. Bereken $\frac{C_u \cdot d \cdot h}{A}$ en zoek in figuur II-2 een nieuwe waarde voor C_v op.

8. Bereken de bijbehorende nieuwe waarde voor H_{c_e} (zie 5.). Dit proces dient te worden herhaald tot voldoende nauwkeurigheid is bereikt.

BIJLAGE II (vervolg)

Voorbeeld:



Gegeven:

$$h_1 = 0,2275 \text{ m} \quad (p = 0,0655)$$

$$d = 0,375 \text{ m}$$

$$g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$$

$$\delta^* = 0,001^5 \text{ m.}$$

	Eerste benadering	Tweede	Derde	Eindwaarde
H_{c_e}/d_e	$h_1/d = 0,6067$	0,6421	0,6429	0,6433
(figuur II-1) C_u	0,75	0,759	0,760	0,760
$C_u \cdot h_1 \cdot d/A$	0,5346	0,5410	0,5418	0,5418
(figuur II-2) C_v	1,073	1,075	1,076	1,076
H_{c_e}	0,2395	0,2398	0,2399	0,2399

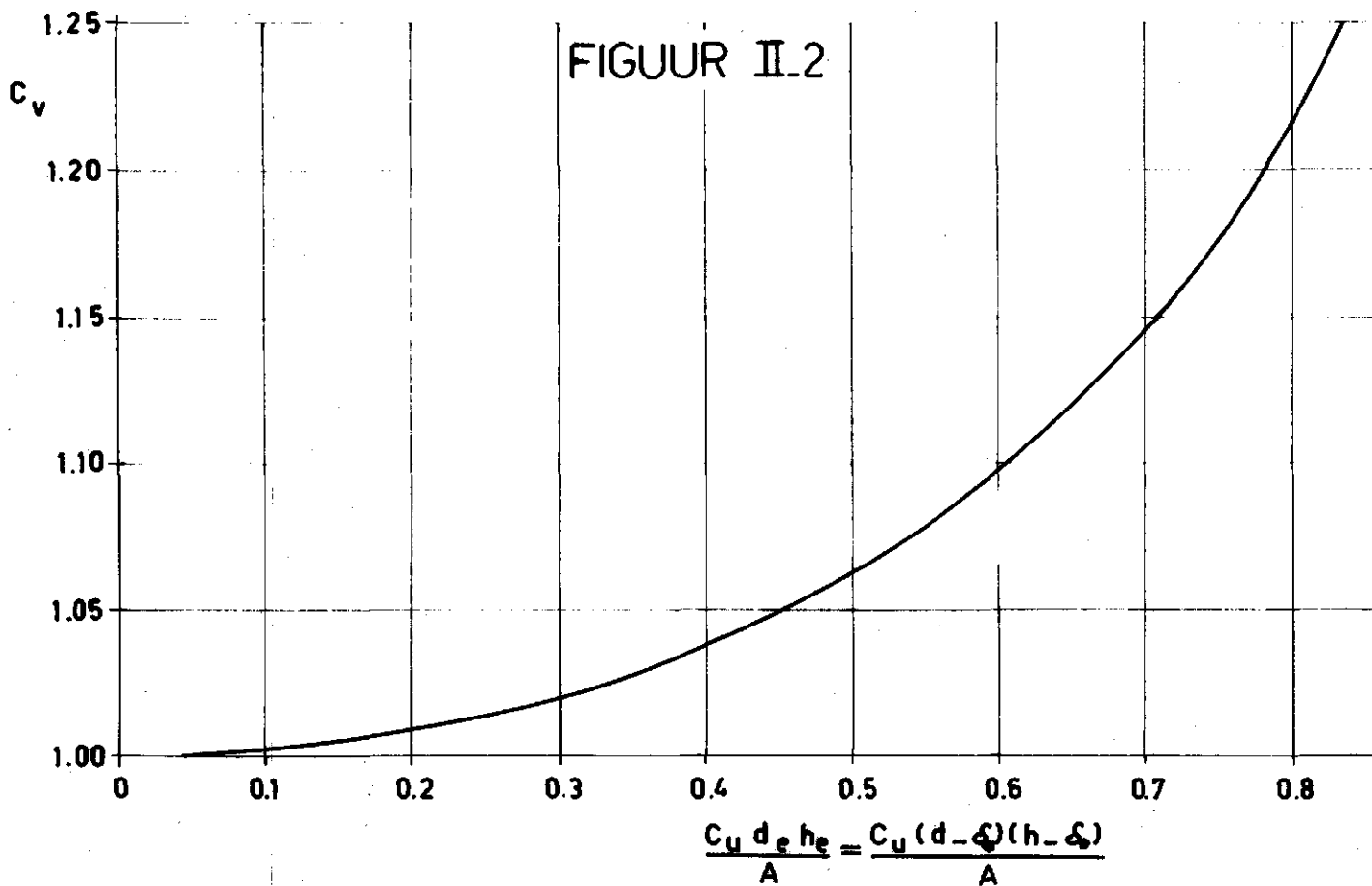
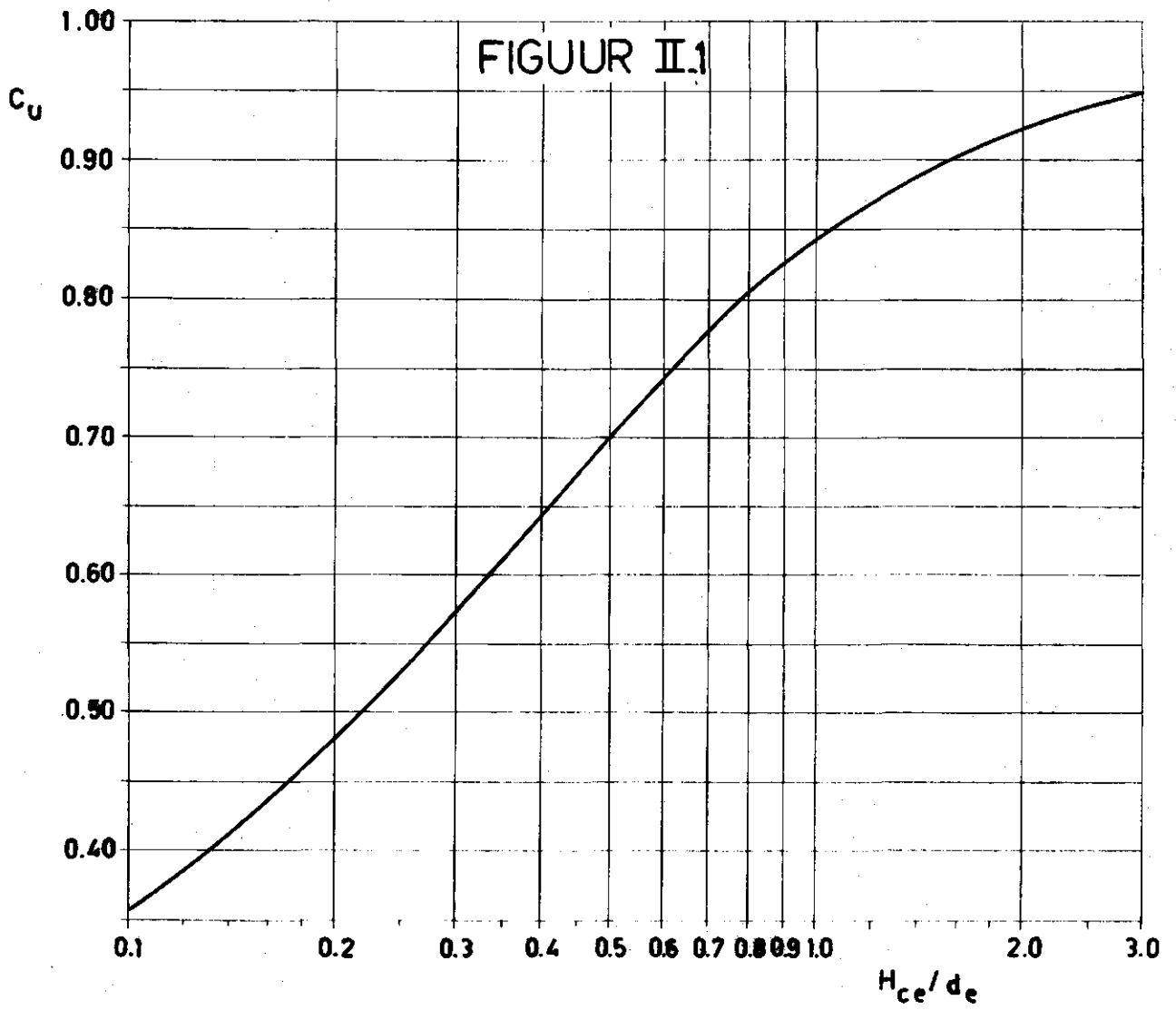
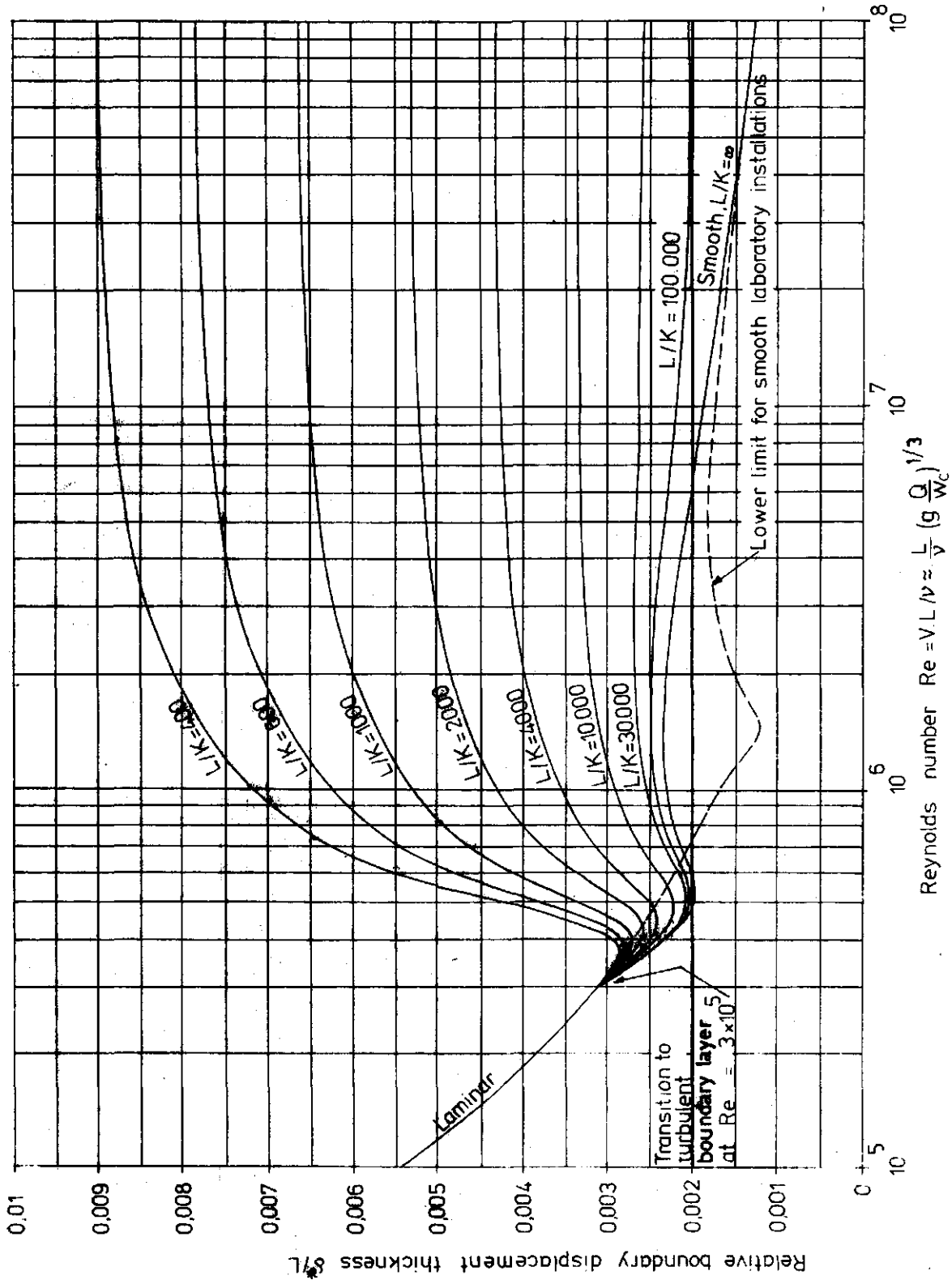


FIGURE II-3



Relative boundary layer displacement thickness.

BIJLAGE III Meetcijfers

D = 0,5 m

S = 0

Q (m ³ s ⁻¹)	h ₁ (m)	h ₂ (m)	omgerekend op: 0,3 m	
			Q x 0,279	h ₁ x 0,6
0,00180	0,0405	-	0,0005022	0,0293
0,00293	0,0504	0,0383	0,0008175	0,03024
0,00322	0,0535	0,0398	0,0008984	0,0321
0,00758	0,0815	0,0567	0,002115	0,0489
0,0166	0,1013	0,0687	0,004631	0,06078
0,0179	0,1259	0,0838	0,004994	0,07554
0,0192	0,1314	0,0872	0,005357	0,07884
0,0200	0,1338	0,0887	0,00558	0,08028
0,0274	0,1569	0,1033	0,007645	0,09414
0,0276	0,1585	0,1037	0,00770	0,0951
0,0312	0,1685	0,1094	0,00870	0,1011
0,0332	0,1731	0,1126	0,00893	0,10386
0,0389	0,1873	0,1204	0,01085	0,11238
0,0440	0,1999	0,1275	0,01228	0,11994
0,0562	0,2275	0,1428	0,01568	0,1365
0,0619	0,2395	0,1526	0,01727	0,1437
0,0654	0,2482	0,1699	0,01825	0,14892
0,0709	0,2581	0,1627	0,01978	0,15486
0,0750	0,2661	0,1673	0,02093	0,15966
0,0805	0,2768	0,1707	0,02246	0,16608
0,0845	0,2841	0,1759	0,02358	0,17046
0,0940	0,3015	0,1847	0,02623	0,1809
0,1029	0,3160	0,1940	0,02871	0,1896
0,1108	0,3282	0,2020	0,03091	0,19692
0,1205	0,3431	0,2193	0,03362	0,20586
0,1328	0,3607	0,2214	0,03705	0,21642
0,1442	0,3754	0,2508	0,04023	0,22524
0,1599	0,3936	0,2520	0,04461	0,23616
0,1655	0,3987	0,2519	0,04617	0,23922
0,1757	0,4123	0,2622	0,04902	0,24738
0,1838	0,4247	0,2737	0,05128	0,25482
0,1880	0,4348	0,2876	0,05245	0,26088

BIJLAGE III (vervolg)

D = 0,3 m

S = 0

Q (m ³ s ⁻¹)	h ₁ (m)	h ₂ (m)	Q (m ³ s ⁻¹)	h ₁ (m)	h ₂ (m)
0,0061	0,0860	0,0532	0,1027	0,2853	0,1399
0,0073	0,0946	0,0574	0,1083	0,2943	0,1285
0,0141	0,1323	0,0779	0,1137	0,2773	0,0918
0,0182	0,1513	0,0881	0,1140	0,2843	0,0938
0,0220	0,1676	0,0971	0,1150	0,2679	0,0633 *
0,0349	0,2134	0,1216	0,1242	0,3028	0,0830 *
0,0355	0,2155	0,1229	0,1248	0,2736	0,0582 *
0,0362	0,2173	0,1226	0,1262	0,2785	0,0571
0,0442	0,2394	0,1369	0,1360	0,2798	0,0117 *
0,0444	0,2407	0,1369	0,1362	0,2778	0,0162
0,0499	0,2576	0,1458 *	0,1378	0,2953	0,0223
0,0535	0,2607	0,1478	0,1425	0,2761	-0,0166 *
0,0549	0,2642	0,1492 *	0,1529	0,2945	-0,0479
0,0550	0,2655	0,1565 *	0,1607	0,2933	-0,0704 *
0,0564	0,2667	0,1531	0,1629	0,3067	-0,0827 *
0,0602	0,2648	0,1668 *	0,1673	0,3107	-0,0804
0,0615	0,2772	0,1554	0,1686	0,3121	-0,0866
0,0688	0,2712	0,1674 *	0,1690	0,3186	-0,0884
0,0718	0,2968	0,1540	0,1762	0,3386	-0,0907
0,0778	0,2750	0,1625 *			
0,0792	0,3098	0,1526			
0,0792	0,2825	0,1602			
0,0798	0,2803	0,1598 *			
0,0840	0,2614	0,1581 *			
0,0866	0,2874	0,1525 *			
0,0897	0,2668	0,1461 *			
0,0929	0,2651	0,1409 *			
0,1012	0,2650	0,1112 *			
0,1019	0,2655	0,1166 *			

* = dalend (zie tekst hoofdstuk 4)

BIJLAGE III (vervolg)

D = 0,3 m

S = 0,005

Q (m ³ s ⁻¹)	h ₁ (m)	h ₂ (m)	Q (m ³ s ⁻¹)	h ₁ (m)	h ₂ (m)
0,00094	0,0336	0,0182	0,0689	0,2822	0,1554
0,00140	0,0406	0,0227	0,0698	0,2843	0,1556
0,00192	0,0477	0,0269	0,0734	0,2895	0,1544
0,00289	0,0583	0,0333	0,0760	0,2934	0,1538
0,0033	0,0639	0,0360	0,0764	0,2937	0,1543 *
0,0052	0,0754	0,0452	0,0899	0,3154	0,1473 *
0,0073	0,0935	0,0536	0,0963	0,3278	0,1409
0,0090	0,1041	0,0595	0,1011	0,3355	0,1352 *
0,0114	0,1176	0,0669	0,1015	0,3192	0,1372 *
0,0133	0,1269	0,0721	0,1024	0,2856	0,1257 *
0,0173	0,1455	0,0825	0,1028	0,3333	0,1338
0,0206	0,1592	0,0898	0,1122	0,3255	0,1193
0,0251	0,1777	0,0996	0,1127	0,3249	0,1194 *
0,0285	0,1900	0,1058	0,1171	0,3051	0,0574 *
0,0295	0,1925	0,1073	0,1186	0,3355	0,1064
0,0312	0,1987	0,1104	0,1263	0,3159	0,0353 *
0,0323	0,2018	0,1121	0,1264	0,3473	0,0905
0,0356	0,2128	0,1180	0,1300	0,3205	0,0276 *
0,0358	0,2123	0,1182 *	0,1351	0,3528	0,0732
0,0397	0,2251	0,1248	0,1481	0,3377	-0,0110 *
0,0436	0,2355	0,1311	0,1484	0,3773	0,0420
0,0473	0,2444	0,1362	0,1489	0,3425	-0,0234
0,0486	0,2475	0,1382 *	0,1576	0,3506	-0,0455
0,0512	0,2536	0,1404	0,1673	0,3550	-0,0630
0,0539	0,2598	0,1478	0,1686	0,3581	-0,0627
0,0547	0,2618	0,1505 *	0,1746	0,3640	-0,0824
0,0575	0,2654	0,1517	0,1811	0,3683	-0,1059
0,0626	0,2720	0,1556 *	0,1814	0,3701	-0,1026
0,0628	0,2748	0,1548	0,1891	0,3823	-0,1446

* = dalend

BIJLAGE III (vervolg)

D = 0,3 m

S = 0,010

Q (m ³ s ⁻¹)	h ₁ (m)	h ₂ (m)	Q (m ³ s ⁻¹)	h ₁ (m)	h ₂ (m)
0,0010	0,0629	0,0292	0,0950	0,3379	0,1400 *
0,0029	0,0690	0,0327	0,0997	0,3409	0,1393
0,0042	0,0799	0,0420	0,1024	0,3522	0,1346
0,0067	0,0996	0,0507	0,1079	0,3554	0,1280
0,0085	0,1109	0,0571	0,1085	0,3641	0,1280 *
0,0117	0,1275	0,0673	0,1088	0,3651	0,1279
0,0150	0,1454	0,0761	0,1129	0,3743	0,1222 *
0,0189	0,1628	0,0857	0,1167	0,3837	0,1170
0,0216	0,1735	0,0914	0,1217	0,3963	0,1090 *
0,0251	0,1880	0,0991	0,1242	0,4025	0,1051
0,0290	0,2008	0,1061	0,1274	0,3234	0,0275 *
0,0362	0,2257	0,1192	0,1310	0,4182	0,0962
0,0431	0,2442	0,1295 *	0,1340	0,3355	0,0099 *
0,0447	0,2488	0,1321	0,1382	0,4288	0,0789
0,0453	0,2511	0,1333	0,1413	0,4274	0,0617
0,0500	0,2587	0,1375	0,1419	0,3421	-0,0092 *
0,0533	0,2692	0,1437	0,1485	0,3538	-0,0325 *
0,0548	0,2694	0,1485 *	0,1490	0,4489	0,0611
0,0628	0,2841	0,1539	0,1513	0,3567	-0,0381
0,0642	0,2857	0,1544	0,1540	0,3654	-0,0554 *
0,0646	0,2867	0,1591 *	0,1582	0,3794	-0,0674
0,0671	0,2906	0,1548	0,1607	0,3758	-0,0720 *
0,0731	0,2987	0,1555	0,1653	0,3800	-0,0850
0,0811	0,3112	0,1522	0,1672	0,3842	-0,0780
0,0821	0,3154	0,1495 *	0,1685	0,3795	-0,0915
0,0827	0,3141	0,1507	0,1693	0,3860	-0,1010
0,0909	0,3280	0,1455	0,1840	0,4136	-0,1510

* = dalend

BIJLAGE III (vervolg)

D = 0,3 m

S = 0,015

Q (m ³ s ⁻¹)	h ₁ (m)	h ₂ (m)	Q (m ³ s ⁻¹)	h ₁ (m)	h ₂ (m)
0,0004	0,0235	0,0080	0,0987	0,3330	0,1351 *
0,0024	0,0541	0,0280	0,1002	0,3350	0,1333
0,0064	0,0872	0,0471	0,1081	0,3510	0,1262
0,0077	0,0956	0,0520	0,1124	0,3619	0,1210 *
0,0086	0,1014	0,0554	0,1162	0,3703	0,1146
0,0099	0,1086	0,0594	0,1201	0,3848	0,1070 *
0,0112	0,1159	0,0631	0,1236	0,3873	0,1053
0,0123	0,1218	0,0663	0,1309	0,3989	0,0924
0,0139	0,1295	0,0708	0,1329	0,4017	0,0881 *
0,0164	0,1410	0,0771	0,1362	0,3988	0,0781
0,0196	0,1548	0,0846	0,1450	0,4027	0,0600 *
0,0223	0,1700	0,0926	0,1492	0,3990	0,0414
0,0270	0,1833	0,1000	0,1513	0,4098	0,0347
0,0337	0,2048	0,1115 *	0,1523	0,4391	0,0458 *
0,0383	0,2197	0,1190	0,1584	0,4164	0,0289
0,0444	0,2372	0,1295	0,1632	0,3733	-0,1138
0,0463	0,2411	0,1322 *	0,1664	0,4218	0,0168
0,0512	0,2527	0,1379	0,1673	0,4342	0,0273 *
0,0531	0,2562	0,1402 *	0,1675	0,3735	-0,1238
0,0555	0,2610	0,1430	0,1714	0,3802	-0,1296
0,0578	0,2646	0,1480	0,1722	0,3799	-0,1364 *
0,0621	0,2717	0,1504	0,1748	0,3827	-0,1398
0,0646	0,2755	0,1513	0,1791	0,3833	-0,1525
0,0696	0,2820	0,1525 *	0,1837	0,3989	-0,1898
0,0766	0,2934	0,1509			
0,0809	0,2999	0,1498 *			
0,0828	0,3034	0,1478			
0,0832	0,3038	0,1483 *			
0,0916	0,3191	0,1415			

* = dalend

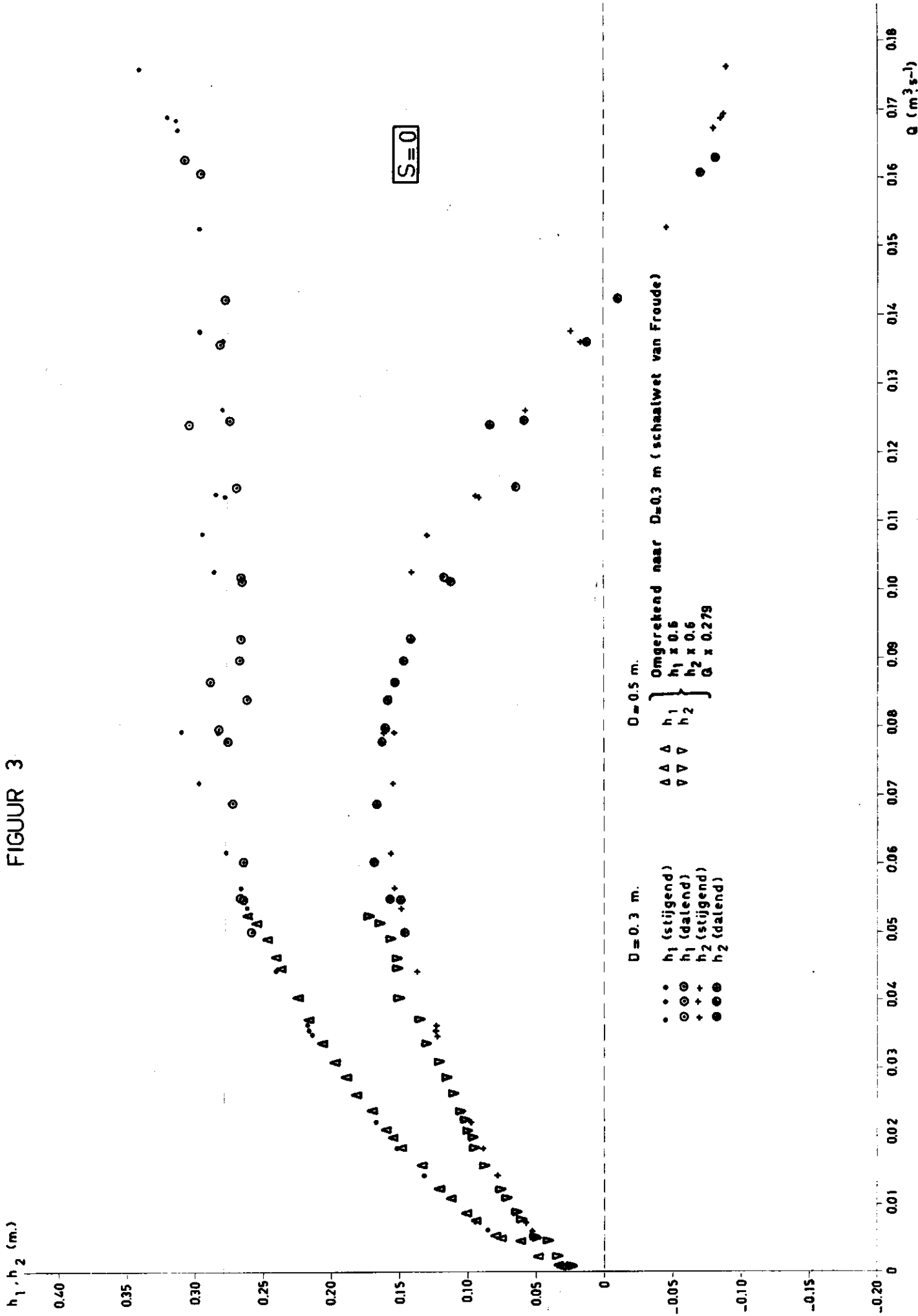
BIJLAGE III (vervolg)

D = 0,3 m

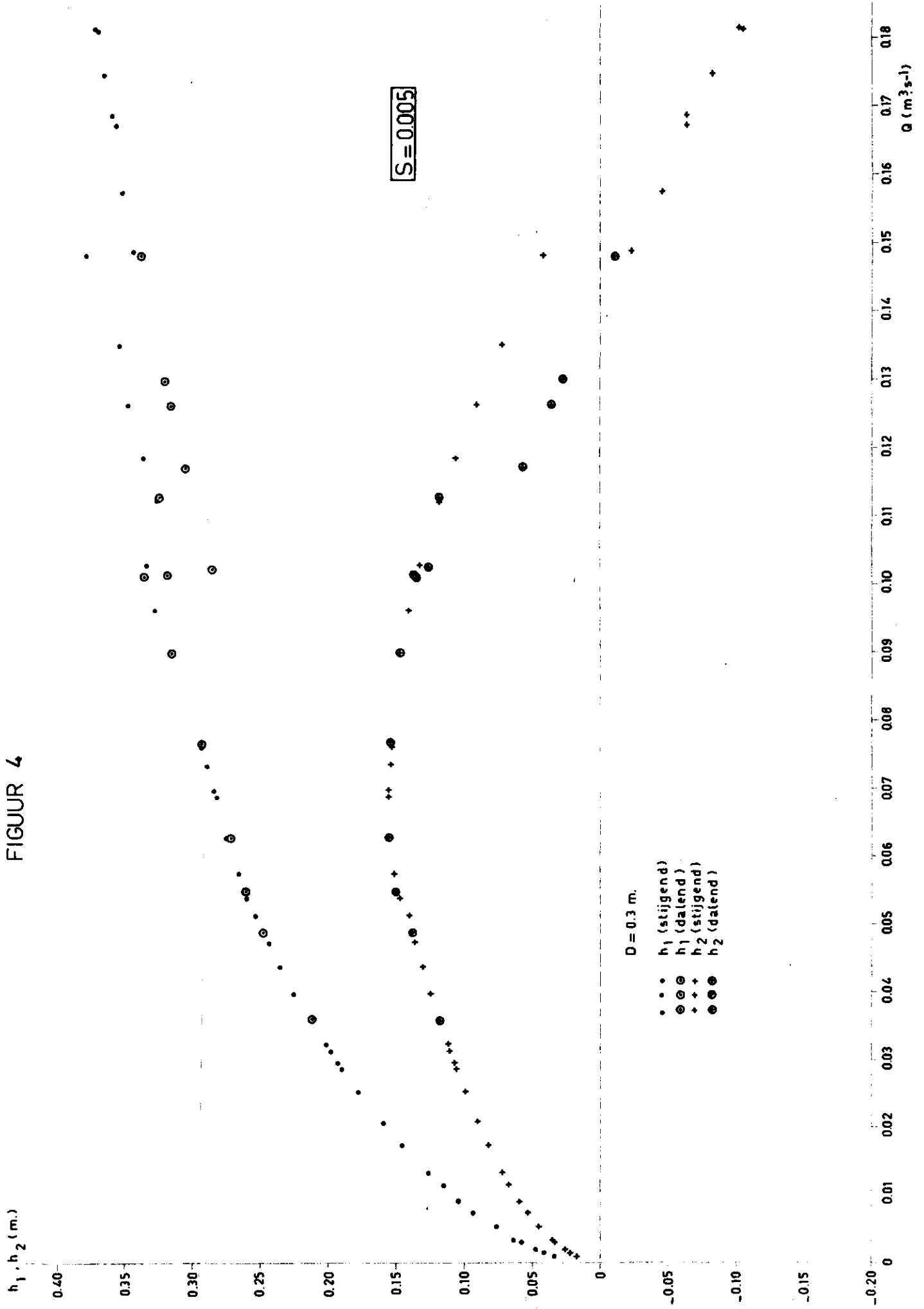
S = 0,025

Q (m ³ s ⁻¹)	h ₁ (m)	h ₂ (m)
0,0040	0,0653	0,0354
0,0092	0,0992	0,0554
0,0138	0,1238	0,0686
0,0189	0,1470	0,0811
0,0195	0,1497	0,0830
0,0248	0,1715	0,0905
0,0249	0,1709	0,0931
0,0298	0,1892	0,1007
0,0307	0,1905	0,1047
0,0314	0,1929	0,1054
0,0359	0,2085	0,1103
0,0379	0,2130	0,1160
0,0421	0,2268	0,1194
0,0449	0,2342	0,1254
0,0485	0,2444	0,1280
0,0508	0,2482	0,1328
0,0511	0,2491	0,1333
0,0517	0,2499	0,1333
0,0552	0,2594	0,1351
0,0594	0,2667	0,1420
0,0625	0,2721	0,1430
0,0654	0,2770	0,1472
0,0694	0,2830	0,1429
0,0708	0,2868	0,1464
0,0760	0,2980	0,1441
0,0762	0,2931	0,1448
0,0830	0,3114	0,1395
0,0880	0,3240	0,1362
0,0962	0,3330	0,1310
0,1372	0,1740	-0,0750
0,1522	0,1890	-0,1290

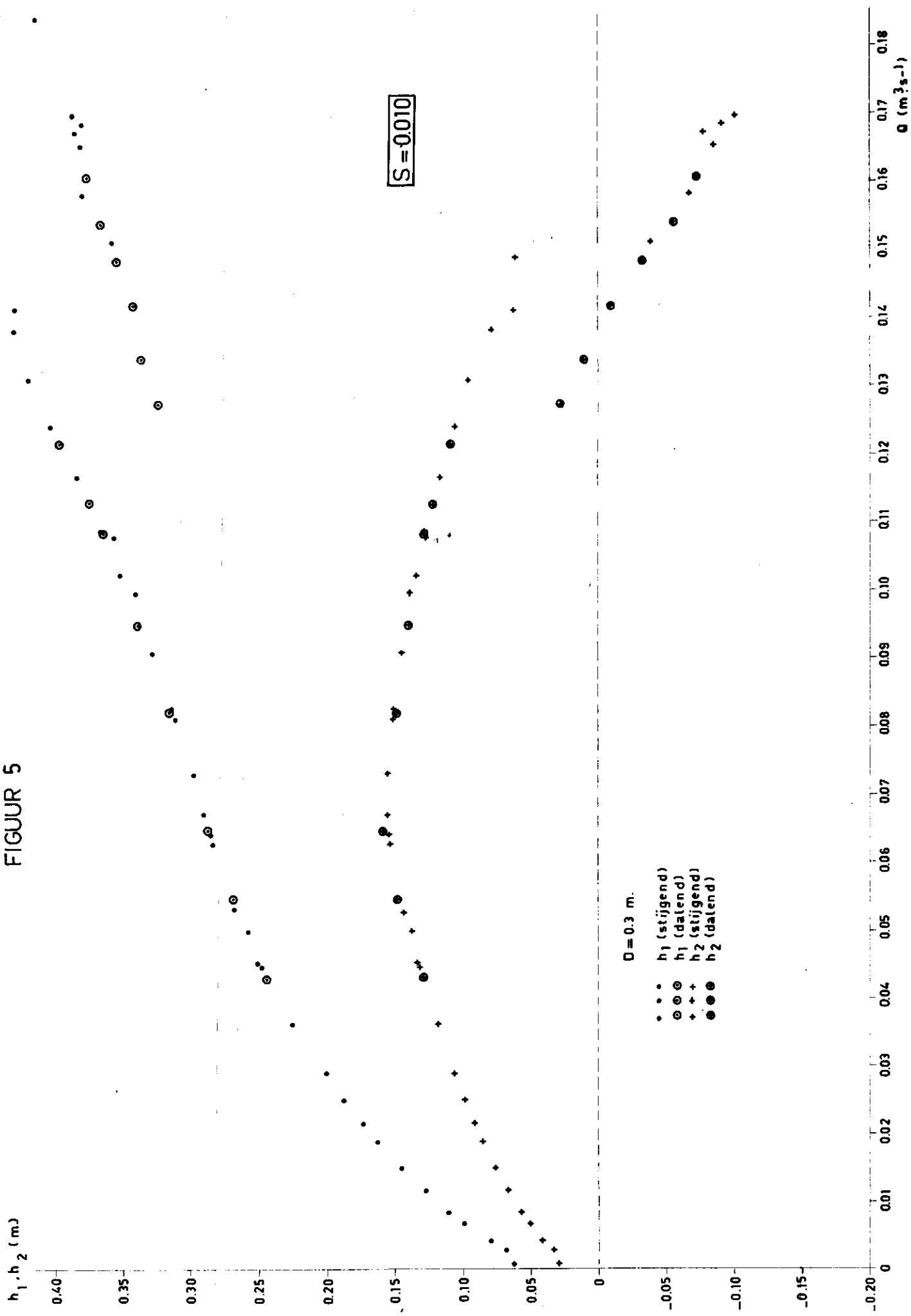
FIGUUR 3



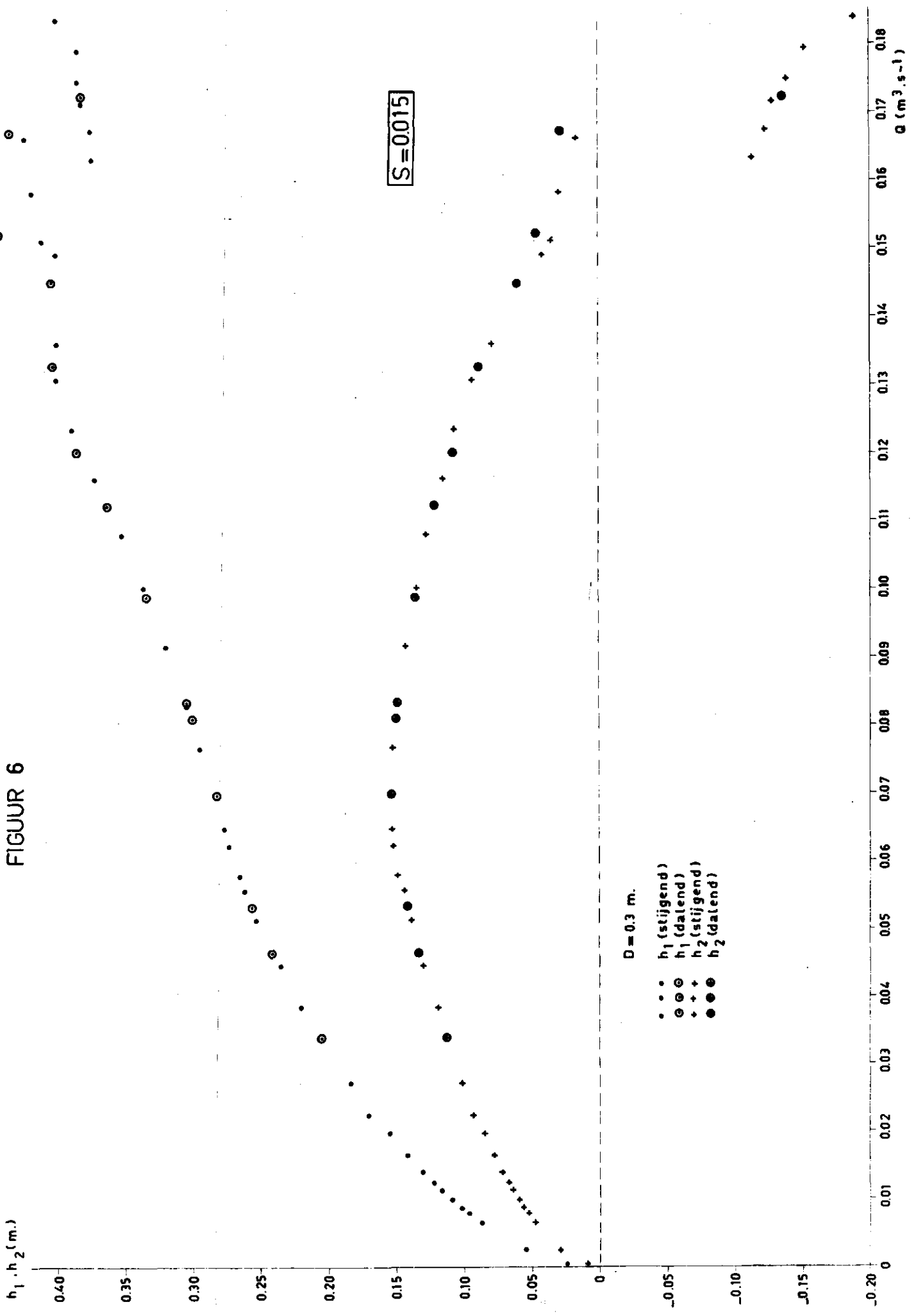
FIGUUR 4



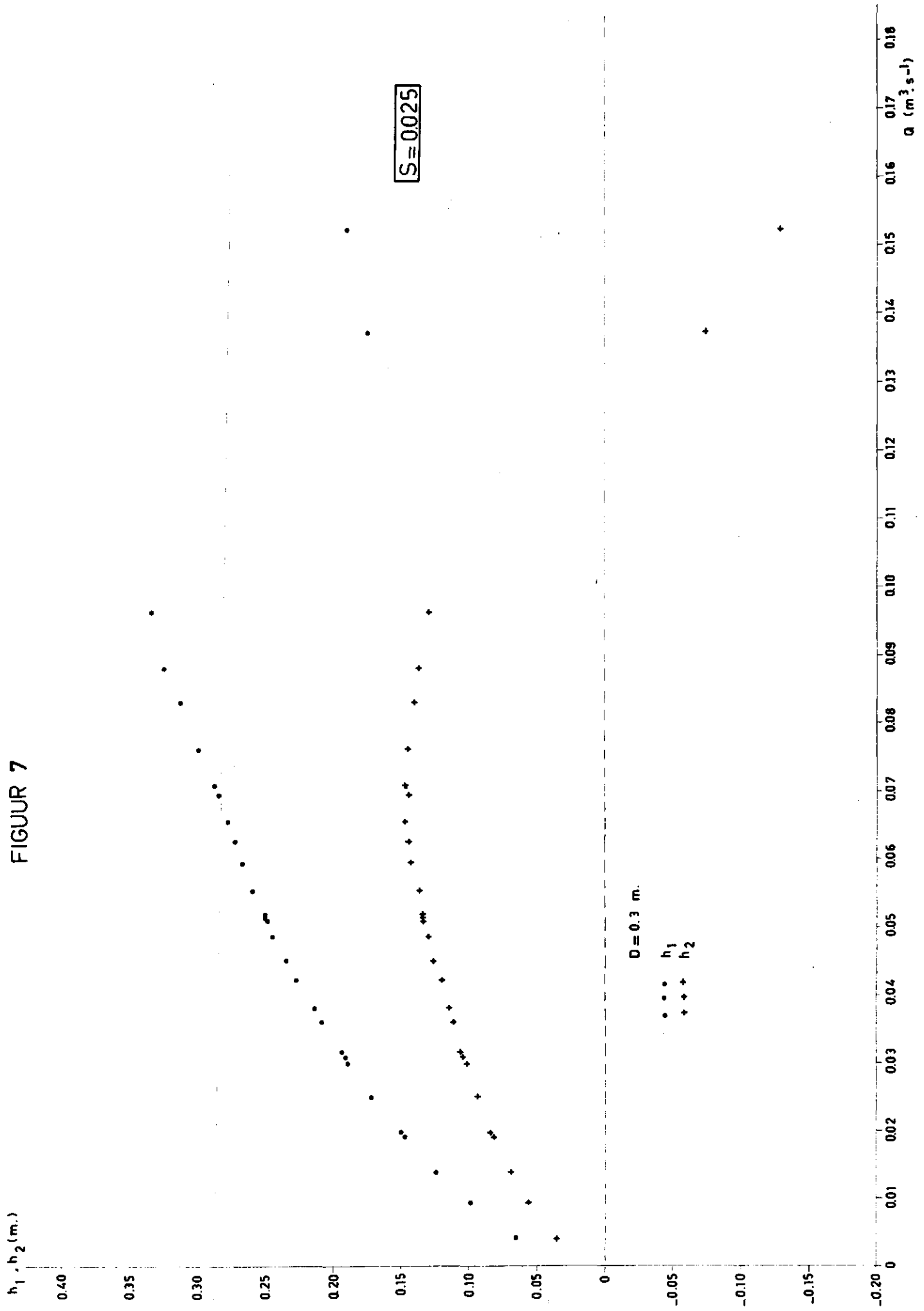
FIGUR 5



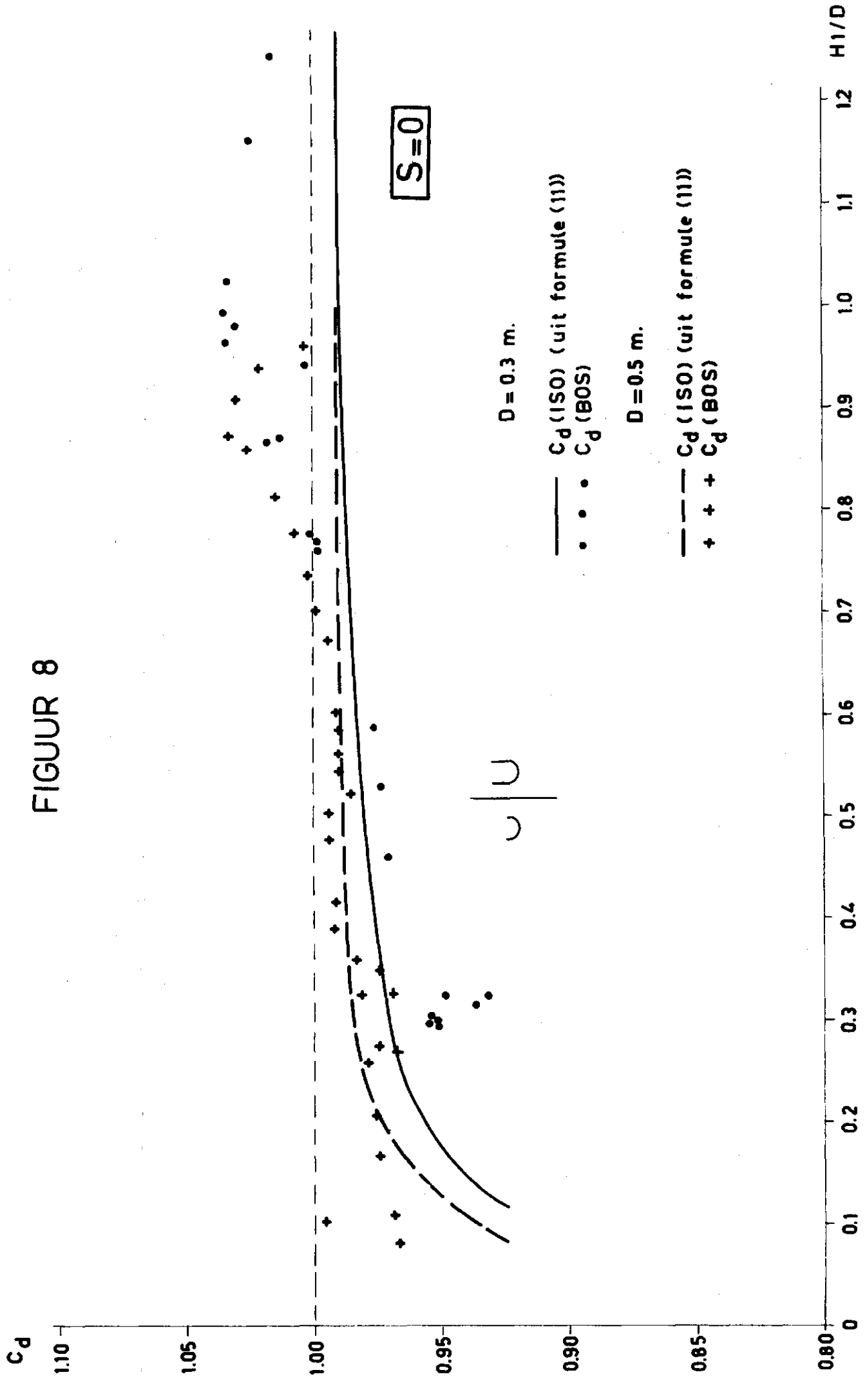
FIGUR 6



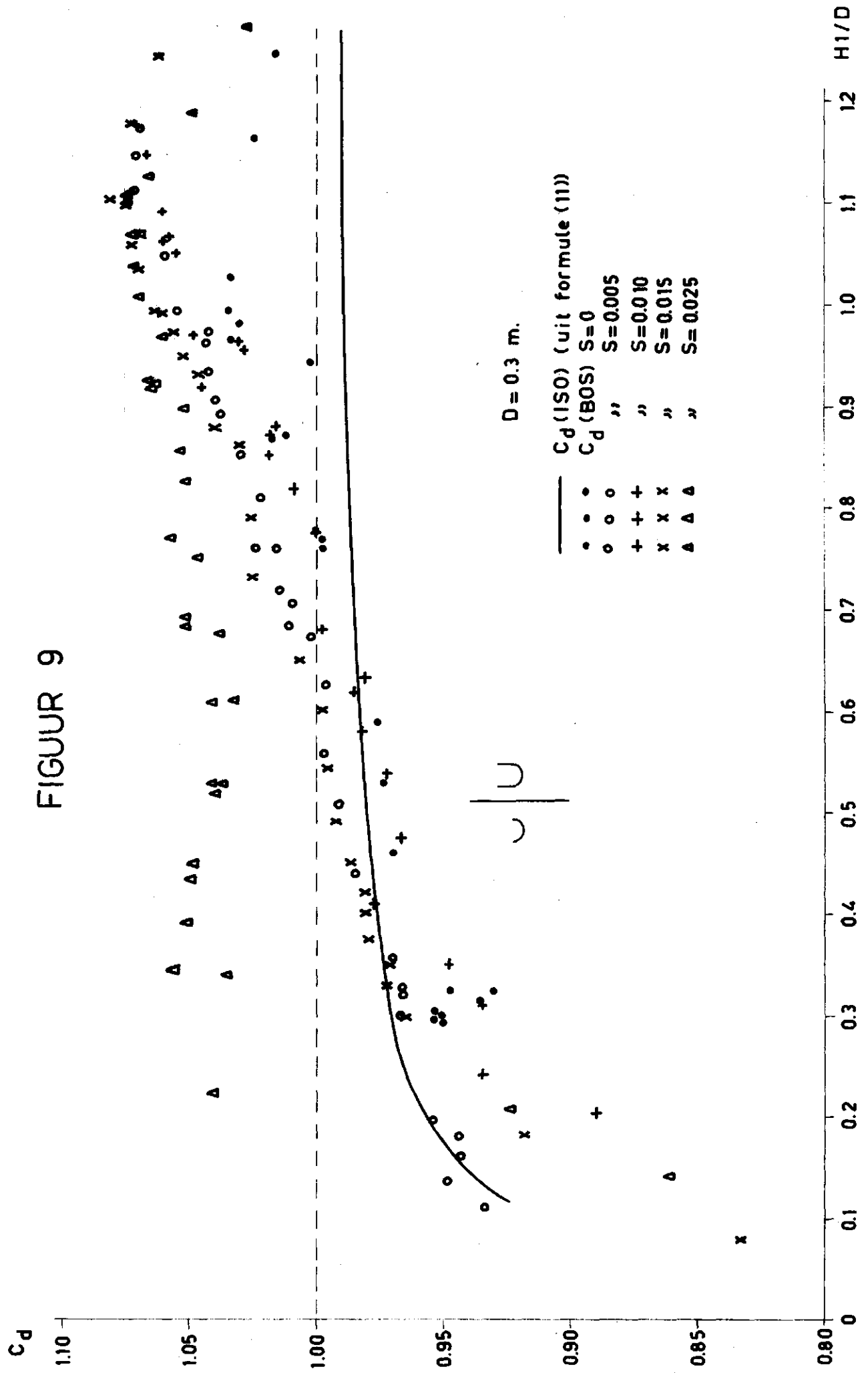
FIGUR 7



FIGUUR 8

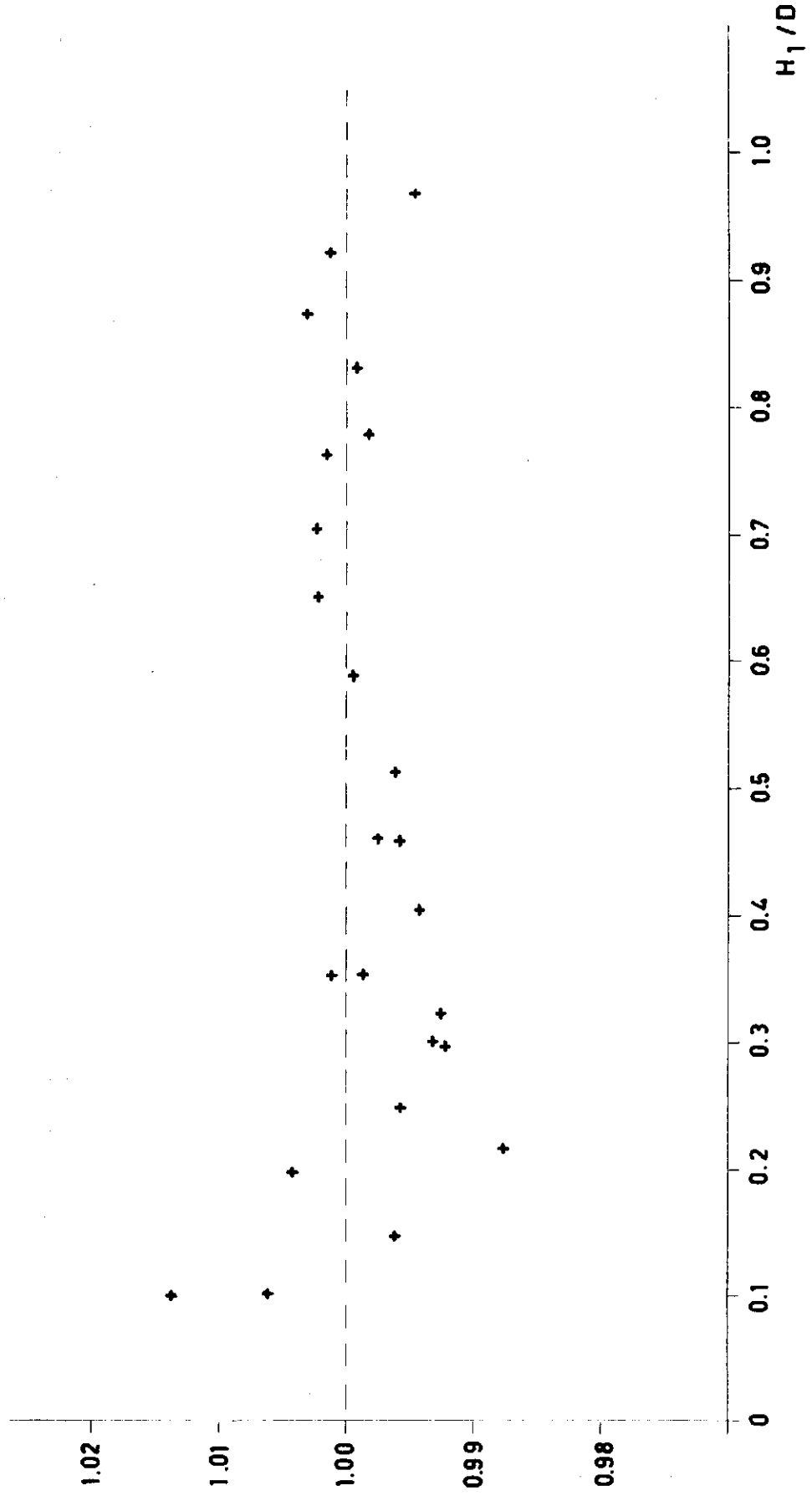


FIGUUR 9



f_{ISO}/f_{BOS}

FIGUUR 10



FIGUR 11

BUBBLE GAUGE
(mA. op^mFluke-meter)

