

MODELONDERZOEK MEETPUNT SLENAKEN

("Flat-V triangular profile weir")

Nota 40

LABORATORIUM VOOR
HYDRAULICA EN AFVOERHYDROLOGIE
LANDBOUWHOGESCHOOL
Juni 1977
Herzien mei 1979
(77-52)

VOORWOORD BIJ DE HERZIENE UITGAVE MEI 1979

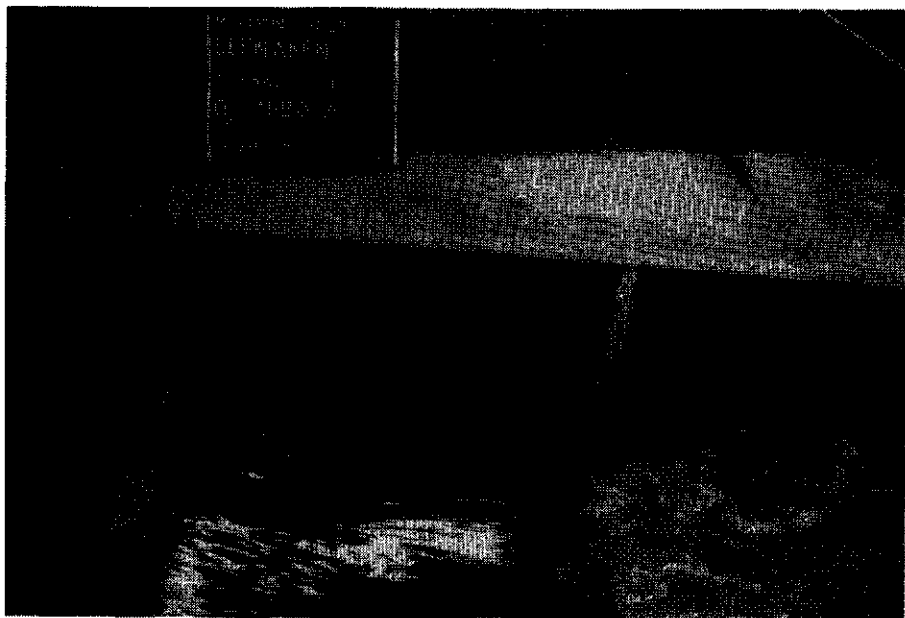
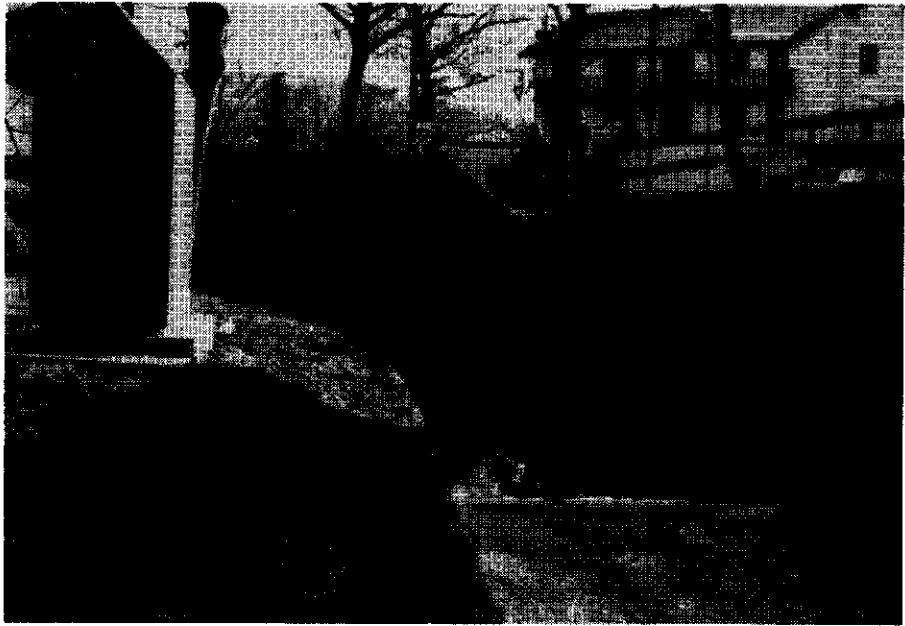
Wegens een systematisch verschil tussen een 7-tal veldmetingen en de laboratoriumijking werden de prototype maten in december 1978 gecontroleerd. Hierbij kwam een storende fout in de beschikbaar gestelde tekening van de stuwkruin aan het licht. Een en ander maakte een herijking noodzakelijk. De nog resterende verschillen tussen modelijking en prototype meting kunnen worden verklaard uit onvolkomenheden bij de veldmetingen.

INHOUD:

blz.

1.	<u>Inleiding</u>	1
2.	<u>Modelonderzoek</u>	1
2.1	De afvoerrelatie voor ongestuwde afvoeren.	1
2.2	De afvoerrelatie voor gestuwde afvoeren.	3
2.3	Sediment	4
2.4	Veldafvoermetingen	5
2.5	Nauwkeurigheid van de debietmetingen	6
3.	<u>Samenvatting en conclusies</u>	9
4.	Literatuur	10
Bijlage 1	Meetcijfers + nauwkeurighedscontrôle.	11
Bijlage 2	Meetcijfers gestuwde afvoeren.	12
Bijlage 3	Afvoermeting 1 februari 1977	14

7 Figuren



1. INLEIDING

Nabij de Belgische grens werd in de Gulp te Slenaken (Zd. Limburg) door Rijkswaterstaat een meetstuw gebouwd van het type "Flat-V triangular profile weir". Op verzoek van genoemde Dienst werd in het Laboratorium voor Hydraulica en Afvoerhydrologie van de Landbouwhogeschool te Wageningen een schaalmodel van de meetstuw geijkt. De afvoergegevens zullen ook worden gebruikt door de "Studiegroep Gulp". Bij deze studiegroep is de meetstuw bekend als: meetpunt F9. Tekeningen van de meetstuw werden door Rijkswaterstaat beschikbaar gesteld. De metingen in het laboratorium werden verricht door J. Bennink. Het onderzoek stond onder leiding van Ir. R.H. Pitlo.

2. MODELONDERZOEK

2.1. De afvoerrelatie voor ongestuwde afvoeren

In figuur 1 is de situatie bij het meetpunt weergegeven. De figuren 2 en 3 geven enkele details weer. De stuw is gebouwd benedenstrooms van een bocht. De aanstroming naar de stuw is hierdoor asymmetrisch. Vooral bij grote debieten kan daardoor een afwijking van het verband optreden tussen Q en de overstorthoogte (h_1), zoals dat uit de literatuur bekend is.

White ¹⁾ geeft als afvoerrelatie voor ongestuwde afvoeren:

$$Q = C_D^{4/5} \sqrt{g} \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} H_{1e}^{5/2} \quad \dots \dots (1)$$

waarbij $H_{1e} < H'$

Hierin is:

Q = debiet ($m^3 s^{-1}$)

C_D = afvoercoëfficiënt (-)

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

θ = tophoek driehoekig dwarsprofiel ($^\circ$)

(hier is $\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = 10,285$)

H_1 = bovenstroomse energiehogte (m)

$H_{1e} = H_1 - K_h$

K_h = correctiefactor voor schaaffecten (volgens White ¹⁾ = 0,0008 m)

H' = hoogteverschil tussen het laagste punt (midden stuwkruin)
en het hoogste punt van de stuwkruin (hier $0,15^5$ m)

Formule (1) geldt voor een driehoekig dwarsprofiel van de kruin. Zodra H_{1e} groter wordt dan H' krijgen we te maken met een samengesteld dwarsprofiel. Hiervoor kan worden afgeleid:

$$Q = C_D^{4/5} \sqrt{g} \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} H_{1e}^{5/2} \left\{ 1 - \left(1 - \frac{H'}{H_{1e}} \right)^{5/2} \right\} \dots (2)$$

waarbij $H_{1e} > H'$

Het verband tussen het debiet Q en de overstorthoogte van de stuw zoals dit uit het modelonderzoek werd gevonden, is weergegeven in figuur 4 (voor de meetcijfers zie bijlage 1).

In het model werd een extra meetpunt voor de bepaling van de overstorthoogte (h_1) aangebracht aan de linkeroever (dus in de buitenbocht, zie figuur 1). De overstorthoogten gemeten aan de linkeroever (gestippeld in figuur 4) zijn voor debieten hoger dan ongeveer 100 l/sec in werkelijkheid steeds groter dan aan de rechteroever, bij 3000 l/sec bedraagt het verschil meer dan 1 cm.

In deze nota zijn voor alle berekeningen de overstorthoogten gebruikt zoals die gemeten zijn aan de rechteroever, dus overeenkomstig de werkelijke situatie. Het verband tussen de overstorthoogte h_1 en effectieve bovenstroomse energiehoogte H_{1e} kan worden afgeleid uit Bijlage 1.

Met behulp van de formules (1) en (2) werd vervolgens de afvoercoëfficiënt C_D berekend. In figuur 5 is deze coëfficiënt uitgezet tegen de dimensieloze grootte H_{1e}/H' . In deze figuur is tevens de door White gevonden relatie weergegeven. De overeenkomst tussen beide metingen is vrij goed. Voor $h_{1e}/H' < 1$ (driehoekig profiel en formule 1) bedraagt het verschil tussen de door White gevonden waarden van C_D en de eigen metingen minder dan 2%.

Voor $1 < H_{1e}/H' < 1,75$ (formule 2) bedraagt het verschil minder dan 3%.

Boven $H_{1e}/H' = 1,75$ geeft White geen uitkomsten voor C_D .

Behalve langs theoretische weg, kan het verband tussen Q en h_1 ook empirisch worden benaderd. Door middel van een regressieberekening met behulp van logaritmen werd uit de meetcijfers voor ongestuwde afvoeren

groter dan 45 l/sec het volgende verband tussen het debiet (Q) en de overstorthoogte (h_1) gevonden:

$$\log Q = a + b \log (h_1) + c \{\log (h_1)\}^2 \quad \dots \dots \dots (3)$$

met:

I	II
a = 1,6914	0,8524
b = 2,7115	1,6105
c = -0,5505	-0,5505

N.B. De waarden van a, b en c in kolom I zijn alleen geldig als Q in l/sec en h_1 in dm wordt uitgedrukt. Voor Q in $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ en h_1 in m moeten de getallen in kolom II worden gebruikt.

De met behulp van deze formule berekende debieten (Q berekend) bleken bij contrôle minder dan 2% af te wijken van de in het model ingestelde debieten (Q gemeten). In bijlage 1 zijn de resultaten van deze nauwkeurighedscontrôle weergegeven.

N.B. Voor debieten kleiner dan 45 l/sec mag formule (3) niet worden gebruikt. Het debiet kan in deze gevallen worden berekend met formule (1) waarbij C_D uit figuur 5 kan worden afgeleid.

In verband met het vrij grote verhang van de Gulp werd bij het grootste te verwachten debiet (3000 l/sec) het getal van Froude ($Fr = \frac{v}{\sqrt{gy}}$) berekend. Als bovengrens voor een debietmeetinrichting kan een waarde van 0,5 van het Froudegetal in de aanvoerleiding worden aangehouden. Bij hogere Froudegetallen ontstaat een hinderlijke golving.

Bij 3000 l/sec bedraagt de waterdiepte y in de aanvoerleiding ongeveer 0,80 m en de gemiddelde stroomsnelheid (\bar{v}): 1,17 m/s, hieruit volgt $Fr = 0,42$. De gegeven afvoerformules kunnen dus zonder bezwaar worden gebruikt bij de berekening van de afvoeren.

2.2. De afvoerrelatie voor gestuwde afvoeren

De invloed van de benedenwaterstand (h_2) op de relatie tussen afvoer en overstorthoogte werd in het model bij een viertal debieten onderzocht. De benedenwaterstand werd trapsgewijs verhoogd. Telkens na het bereiken van een evenwicht werden de waarden van h_1 en h_2 afgelezen. Door interpo-

latic kon uit de metingen het verband tussen de "verdrinkingsgraad" $(H_2/H_1)^x$ en de verhoging van de bovenstroomse energiehogte (H_1) worden afgeleid. In figuur 6 is dit verband weergegeven. Het blijkt, dat de bovenstroomse energiehogte wordt beïnvloed zodra H_2/H_1 groter wordt dan ongeveer 0,7 (zie ook bijlage 2). Stelt men, dat de overlaat moduul is zolang bij een constante overstorthoogte de reductie van het debiet ten gevolge van verdrinking minder bedraagt dan 1%, dan blijkt de gevoeligheid voor verdrinking af te nemen bij toenemend debiet. In figuur 7 is dit voor 3 verschillende debieten zichtbaar gemaakt. Vertikaal is uitgezet H_2/H_1 en horizontaal Q_D/Q_M . De verhouding Q_D/Q_M wordt de "Drowned flow reduction factor" genoemd. Dit is dus het gereduceerde debiet ten gevolge van verdrinking (Q_D) gedeeld door het module debiet (Q_M) bij dezelfde (ten gevolge van verdrinking verhoogde) bovenstroomse energiehogte (H_1). Uit figuur 7 blijkt, dat afhankelijk van het debiet de overlaat nog moduul is tot $H_2/H_1 = 0,7$ bij 500 l/sec en tot $H_2/H_1 = 0,83$ bij 2500 l/sec. Aangezien deze meetuitkomsten worden beïnvloed door het stromingsbeeld en de plaats waar gemeten wordt, gelden de bovengenoemde getallen uitsluitend voor de stuw te Slenaken.

2.3. Sediment

Bovenstrooms van de stuw te Slenaken wordt bij lage afvoeren sediment afgezet. Tijdens het modelonderzoek werd indicatief nagegaan of "aanslibbing" bovenstrooms van de stuw invloed heeft op de verkregen ijking. In het model werd hiertoe zand gestrooid bovenstrooms van de stuw. De laagdikte bedroeg ongeveer 2 cm, hetgeen overeenkomt met 6 cm in werkelijkheid. Bij kleine debieten bleef het zand liggen, maar bij debieten groter dan overeenkomende met 1000 l/sec in werkelijkheid werd het zand grotendeels met het water over de stuw meegevoerd. In alle gevallen werd in het model enige daling van h_1 gemeten. Bij een debiet van ongeveer 1200 l/sec in werkelijkheid kwam deze daling overeen met 5 mm. Bij grotere debieten werd het zand in het model direct meegenomen en konden geen metingen worden verricht. Een veldmeting door Rijkswaterstaat op 8 juni 1977 verricht bij een ten gevolge van bouwactiviteiten zeer sterk vervuild aanstroomkanaal gaf voor het optredende debiet (115 l/sec) vóór en na het schoonmaken geen verschil in overstorthoogte te zien.

Toch moet vooral bij hoge afvoeren rekening worden gehouden met afwijkingen in de overstorthoogte ten gevolge van vervuiling. Het regelmatig

x) H_2 en H_1 zijn resp. de benedenstroomse- en de bovenstroomse energiehogten.

schoonmaken van het beekgedeelte bovenstrooms van de stuw, b.v. gelijktijdig met de contrôle van de peilapparatuur, is aan te bevelen. Ook dient het beekgedeelte tussen de stuw en het benedenstroomse meetpunt (h_2) vrij te zijn van grof vuil zoals stenen e.d.

2.4. Veldafvoermetingen

Tot op heden werden 10 afvoermetingen bij de stuw verricht, waarvan 6 door Rijkswaterstaat (R.W.). In figuur 4 zijn deze veldmetingen met een + weergegeven. Alle veldmetingen op één na liggen links van de gevonden Q-h relatie uit het model. Dit wil zeggen, dat bij overeenkomstige overstorthoogten de berekende debieten uit de veldmetingen kleiner zijn dan uit de modelmetingen. Een mogelijke verklaring voor deze afwijking is te vinden in het Water Measurement Manual⁴⁾, waarin wordt beschreven dat de (in zeven van de tien gevallen) toegepaste 2-punts meetmethode niet mag worden gebruikt bij waterdiepten kleiner dan 60 cm. Verder dient een zodanig aantal vertikalen te worden gekozen, dat per vertikaal niet meer dan maximaal 10% van de afvoer wordt gemeten. Dit betekent dus minimaal tien vertikalen. Tijdens eigen waarnemingen (zie meting bijlage 3) bleek, dat bij lage afvoeren de stroomsnelheid bovenstrooms van de stuw op verschillende plaatsen in het dwarsprofiel zo gering was, dat de molen waarmee de lokale snelheid werd gemeten niet draaide. Ditzelfde verschijnsel deed zich voor bij de door Rijkswaterstaat verrichte metingen. Een andere moeilijkheid is de aanwezige sliblaag, waardoor de bepaling van de waterdiepte niet nauwkeurig kan geschieden. Tenslotte werd de overstorthoogte bij de door Rijkswaterstaat verrichte metingen afgelezen op een vaste peilschaal (p.s.) welke zich + 13 meter stroomopwaarts van de stuw bevindt. Tussen deze peilschaal en de peilschrijver blijkt in de beek een verval op te treden dat afhangt van het debiet. Zo werd bij 950 l/s ruim 6 mm gemeten, terwijl bij 150 l/s 2 à 3 mm kan voorkomen. Dit komt overeen met een procentuele afwijking in Q van ongeveer 4%. Aan het merendeel van de veldmetingen kan daarom slechts een zeer beperkte waarde worden toegekend.

In de volgende tabel zijn de thans bekende veldmetingen opgenomen.

Datum	overstorthoogte (h_1) of peil- schaal (p.s.) (m)	Q gemeten (m^3/sec)	Q berekend uit model	afwijking (%)	meting door	opm.
77 02 01	0.128	0.098	0.094	- 4.3	L.H.	sliblaag
77 02 04	0.161 (p.s.)	0.162	0.169	4.1	R.W.	
77 05 03	0.166 (p.s.)	0.166	0.182	8.8	R.W.	
77 06 08	0.152 (p.s.)	0.115	0.146	21.2	R.W.	vervuild
77 06 08	0.152 (p.s.)	0.118	0.146	19.1	R.W.	gereinigd
77 06 09	0.147 (p.s.)	0.108	0.134	19.4	R.W.	
77 06 09	0.141 (p.s.)	0.104	0.121	14.0	R.W.	Q varieert
78 08 23	0.145	0.129	0.130	0.8	L.H.	
78 12 15	0.161	0.157	0.169	7.1	L.H.	
79 03 14	0.345	0.938	0.978	4.1	L.H.	slib

kuinhoogte stuw op peilschaal: 136.647 m (maart 1979)

2.5. Nauwkeurigheid van de debietmeting

Bij de bepaling van het debiet uit de gevonden afvoerrelaties is een aantal factoren van invloed op de nauwkeurigheid:

a. driehoekig dwarsprofiel

$$\text{formule (1): } Q = C_D \cdot 4/5 \sqrt{g} \cdot \text{tg} \frac{\theta}{2} \cdot H_{1e}^{5/2}$$

De factoren C_D ; $C_V = \left(\frac{H_{1e}}{h_{1e}}\right)^{5/2}$; $\text{tg} \frac{\theta}{2}$ en h_{1e} leveren ieder een bijdrage in de bepaling van het debiet. De waarschijnlijke procentuele fout X_Q in de bepaling van het debiet kan worden berekend uit:

$$X_Q = \sqrt{X_{C_D}^2 + X_{C_V}^2 + X_{\text{tg} \frac{\theta}{2}}^2 + (2,5 X_{h_{1e}})^2}$$

X_{C_D} , de grootste te verwachten afwijking van de afvoercoëfficiënt C_D kan worden gesteld op 2%.

X_{C_V} , heeft betrekking op de afwijking van C_V . Bij toenemende debieten neemt de stroomsnelheid toe en ook C_V . Uit de literatuur³⁾ blijkt, dat voor de "flat-V triangular profile" stuw de waarschijnlijke fout in C_V kan worden voorgesteld door:

$$X_{C_V} = (10 C_V - 8)\%.$$

$X_{tg\frac{0}{2}}$ kan worden geschat op minder dan 0,5%. De bepaling van de tophoek met behulp van een waterpas instrument kon zeer nauwkeurig geschieden.

X_{h_1} De overstorthoogte h_1 wordt geregistreerd op een peilschrijver met een overbrengverhouding van 5 : 1 (5 mm waterstandsverandering veroorzaakt 1 mm verandering in de registratie) en op de ponsband apparatuur. Uit eigen onderzoek⁵⁾ is gebleken, dat bij dergelijke apparatuur de fout in het geregistreeerde waterpeil kan worden geschat op 2 mm. Een afwijking van de nulstand van de peilschrijver kan een extra fout in de geregistreeerde overstorthoogte veroorzaken. De grootte van deze fout kan worden geschat op maximaal 2 mm. De totale geschatte fout in de geregistreeerde waterstand volgt dan uit:

$$\sqrt{2^2 + 2^2} \approx 3 \text{ mm.}$$

De waarschijnlijke procentuele fout in de bepaling van de overstorthoogte wordt: $X_{h_1 e} = 100 \cdot 3/h_1 \%$ (h_1 in millimeters).

De waarschijnlijke procentuele fout in het berekende debiet met formule (2) bedraagt:

$$X_Q = \sqrt{2^2 + (10 C_V - 8)^2 + (0,5)^2 + (2,5 \cdot 100 \cdot 3/h_1 e)^2}$$

Voor een drietal overstorthoogten is in onderstaande tabel de grootte van X_Q berekend.

h_1 (dm)	h_{1e} (dm)	Q (1/sec)	$X_{h_1 e}$ (%)	X_{C_V} (%)	X_Q (%)
0,63	0,622	16,17	4,8	2,0	12,3
1,08	1,072	61,5	2,79	2,04	7,5
1,34	1,333	108,3	2,25	2,09	6,3

Uit de berekening blijkt, dat bij kleine overstorthoogten een aanzienlijke fout in het berekende debiet kan optreden. Door het zeer nauwkeurig vaststellen van het nulpunt van de peilschrijver en het regelmatig controleren van dit nulpunt kan de fout in Q worden gereduceerd.

b. Samengesteld dwarsprofiel

Voor het samengestelde dwarsprofiel ($H' > 0,15^5 \text{ m}$) kan een soortgelijke berekening worden opgezet als voor het driehoekig profiel.

$$\text{formule (2) : } Q = C_D \cdot 4/5 \sqrt{g} \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} h_{1e}^{5/2} \left\{ 1 - \left(1 - \frac{H'}{h_{1e}} \right)^{5/2} \right\}$$

De factoren C_D ; C_V ; $\operatorname{tg} \frac{\theta}{2}$ en h_{1e} leveren een bijdrage in de bepaling van het debiet. De waarschijnlijke procentuele fout X_{C_D} in C_D kan evenals onder a. worden gesteld op 2%.

$$X_{C_V} \text{ is weer } (10 C_V - 8)\%$$

$$X_{\operatorname{tg} \frac{\theta}{2}} \text{ is } 0,5\%$$

$$\text{en } X_{h_{1e}} = 100 \cdot 3/h_{1e} \%$$

De term: $\left\{ 1 - \left(1 - \frac{H'}{h_{1e}} \right)^{5/2} \right\}$ noemen we I. We berekenen nu eerst de waar-

schijnlijke procentuele fout X_I door bij de gekozen overstorthoogten (h_{1e}) de term I uit te rekenen voor zowel h_{1e} als voor $h_{1e} + 3 \text{ mm}$ (overstorthoogte vermeerderd met de geschatte totale fout in h_{1e} zie onder a). Het verschil tussen beide uitkomsten levert X_I op.

Vervolgens kan de waarschijnlijke procentuele fout X_Q in het berekende debiet worden bepaald:

$$X_Q = \sqrt{X_{C_D}^2 + X_{C_V}^2 + X_{\operatorname{tg} \frac{\theta}{2}}^2 + (2,5 X_{h_{1e}})^2 + X_I^2}$$

In onderstaand overzicht zijn enkele uitkomsten van de berekening vermeld.

h_{1e} (dm)	$h_{1e} + 3 \text{ mm}$ (dm)	Q (l/sec)	$X_{h_{1e}}$ (%)	X_{C_V} (%)	X_I (%)	X_Q (%)
1,789	1,819	230,1	1,68	2,22	0,2	5,2
4,036	4,066	1384,4	0,74	3,16	0,5	4,2
5,632	5,662	2682,2	0,53	3,86	0,4	4,6

Uit de overzichten onder a en b blijkt, dat de waarschijnlijke procentuele fout in de berekening van Q voor ongestuwde afvoeren in de meeste gevallen rond de 5% ligt. Bij het meten van gestuwde afvoeren moet in de berekening nog een term X_E worden opgenomen, waarbij $E = (Q_M - Q)/Q_M \cdot 100\%$ (Q_M is het module debiet behorende bij de verhoogde waterstand h_1 ten gevolge van verdrinking).

3. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Uit het modelonderzoek van het meetpunt te Slenaken valt het volgende af te leiden:

- Met behulp van de formules (1) en (2) zie hfdst. 2.1 en figuur 5 kan de ongestuwde afvoer in de Gulp worden berekend. De waarschijnlijke procentuele fout in het berekende debiet bedraagt hierbij (behalve voor kleine afvoeren) ongeveer 5%.
- Voor ongestuwde afvoeren groter dan 45 l/sec kan ook de empirisch verkregen betrekking (3) worden toegepast. Let hierbij op het juiste gebruik van de niet dimensieloze coëfficiënten a, b en c.
- De afvoer relatie bleek weinig gevoelig te zijn voor verdrinking. Voor $H_2/H_1 < 0,7$ was in alle gevallen de reductie van het debiet bij gelijke overstorthoogte minder dan 1%. Indien opstuwning optreedt, kan het gereduceerde debiet Q_D met behulp van figuur 7 worden bepaald.
- Sediment afzetting en vuilophoping bovenstrooms van de stuw kunnen invloed hebben op de afvoerrelatie. Regelmatig schoonmaken van de aanvoering vooral tussen de meetplaats van h_1 en de stuw verdient aanbeveling. Ook benedenstrooms, tussen de stuw en de meetplaats van h_2 , dienen stenen en andere grove obstakels te worden verwijderd.
- De afvoermetingen tot maart 1979 in het prototype verricht, geven vrijwel steeds iets lagere uitkomsten dan op grond van het modelonderzoek mag worden verwacht. De oorzaak hiervan moet worden toegeschreven aan onvolkomenheden bij de veldmetingen.

4. LITERATUUR

1. W.R. WHITE
The performance of two-dimensional and flat-V triangular profile weirs.
Paper 7350 S, Proc. of the Inst. of Civ. Engrs., 1971.
2. W.R. WHITE
Flat-V Weirs in alluvial channels.
Journal of the Hydraulics Division A.S.C.E., vol. 97, no HY3,
Proc. paper 7989, 1971.
3. M.G. Bos ed.
Discharge Measurement Structures
by the Working Group on Small Hydraulic Structures, Agricultural
University, Lab. of Hydraulics and Catchment-hydrology,
Report 4, May 1976.
4. Water measurement manual, U.S. Dept. of the interior,
Bureau of Reclamation, May 1953.
5. Voortgezet onderzoek registrerende waterstandsmeters.
Nota no 4, Hydraulica Laboratorium, Landbouwhogeschool, febr. 1966.

BIJLAGE 1

Meetcijfers + nauwkeurighedscontrôle regressieberekening (kol. 4 en 5) om-
gerekend op prototype

1	2	3	4	5	6
h_1 (dm)	H_{1e} (dm)	$Q_{gem.}$ (l/sec)	$Q_{ber.}$ (l/sec)	afwijking (%)	C_D
0,624	0,616	15,04	-	-	0,619
0,822	0,815	30,64	-	-	0,628
0,828	0,821	31,24	-	-	0,628
0,972	0,965	46,1	45,5	-1,3	0,618
1,086	1,080	61,5	61,4	-0,3	0,623
1,266	1,262	91,1	91,9	0,9	0,626
1,422	1,420	121,6	123,9	1,9	0,621
1,527	1,527	146,8	148,3	1,0	0,625
1,620	1,623	170,7	171,9	0,7	0,625
1,821	1,830	229,9	229,1	-0,4	0,629
1,824	1,834	230,6	230,0	-0,3	0,628
2,049	2,069	307,3	303,9	-1,1	0,632
2,256	2,280	384,4	380,8	-0,9	0,638
2,436	2,480	459,6	454,5	-1,1	0,637
2,769	2,841	610,4	606,8	-0,6	0,640
3,081	3,184	768,1	767,4	-0,1	0,642
3,360	3,497	925,6	924,8	-0,1	0,646
3,621	3,793	1080,4	1083,3	0,3	0,647
3,873	4,082	1241,4	1246,0	0,4	0,649
4,086	4,331	1387,7	1390,6	0,2	0,652
4,332	4,616	1551,6	1565,4	0,9	0,649
4,809	5,187	1917,6	1926,2	0,4	0,653
5,283	5,760	2300,9	2311,1	0,4	0,653
5,708	6,290	2684,3	2676,5	-0,3	0,655
6,102	6,784	3052,8	3030,8	-0,7	0,655

BIJLAGE 2

Meetcijfers gestuwde afvoeren omgerekend op prototype

Q (l/sec)	h_1 (dm)	h_2 (dm)	H_1 (dm)	H_2 (dm)	verhoging ΔH_1 (dm)	H_2/H_1
449,7	2,409	-	2,462	-	-	-
	2,409	1,509	2,462	1,559	-	0,633
	2,424	1,830	2,476	1,874	0,014	0,757
	2,445	2,016	2,497	2,055	0,035	0,823
	2,637	2,499	2,685	2,533	0,223	0,943
	2,751	2,634	2,796	2,667	0,334	0,954
	2,793	2,688	2,838	2,720	0,376	0,958
	2,859	2,760	2,902	2,791	0,440	0,962
	3,108	3,039	3,147	3,067	0,685	0,975
	3,267	3,219	3,304	3,245	0,842	0,982
	3,330	3,279	3,366	3,304	0,904	0,982
	3,410	3,369	3,446	3,393	0,984	0,985
1196,4	3,813	-	4,032	-	-	-
	3,813	2,301	4,032	2,562	-	0,635
	3,822	2,733	4,041	2,956	0,009	0,732
	3,825	2,790	4,043	3,009	0,011	0,744
	3,834	2,925	4,052	3,133	0,020	0,773
	3,843	3,081	4,060	3,269	0,028	0,805
	3,897	3,405	4,110	3,579	0,078	0,871
	3,990	3,699	4,197	3,856	0,165	0,919
	4,146	4,008	4,342	4,148	0,310	0,955
	4,290	4,179	4,477	4,311	0,445	0,963
	4,542	4,443	4,715	4,562	0,683	0,968
	4,911	4,833	5,067	4,935	1,035	0,974

BIJLAGE 2

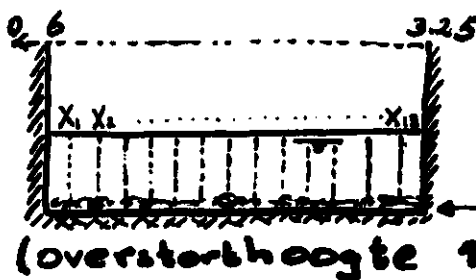
Q (1/sec)	h_1 (dm)	h_2 (dm)	H_1 (dm)	H_2 (dm)	verhoging ΔH_1 (dm)	H_2/H_1
1936,2	4,842	-	5,256	-	-	-
	4,842	3,051	5,256	3,531	-	0,672
	4,848	3,375	5,262	3,834	0,006	0,729
	4,857	3,750	5,270	4,154	0,014	0,788
	4,863	3,810	5,275	4,203	0,019	0,797
	4,869	3,945	5,280	4,322	0,024	0,819
	4,902	4,200	5,309	4,541	0,053	0,855
	4,962	4,518	5,362	4,821	0,106	0,899
	5,043	4,770	5,434	5,045	0,178	0,928
	5,217	5,097	5,590	5,345	0,334	0,956
	5,541	5,457	5,883	5,662	0,627	0,962
	6,039	5,979	6,340	6,131	1,084	0,967
	2759,2	5,733	-	6,366	-	-
5,733		3,792	6,366	-	-	-
5,736		4,392	6,369	5,010	0,003	0,787
5,745		4,593	6,376	5,165	0,010	0,810
5,769		4,938	6,396	5,436	0,030	0,850
5,826		5,289	6,443	5,724	0,077	0,888
5,838		5,364	6,454	5,782	0,088	0,896
5,925		5,637	6,528	6,020	0,162	0,922
6,081		5,952	6,661	6,254	0,295	0,939
6,261		6,210	6,816	6,412	0,450	0,941

FLOW MEASUREMENT

River : *Gulp*
 Place : *Stenakerbrug*
 Date : *770201*

No *1* H = *136.778* m
 Q = *0.098* m³/s

Current Meter: Make: *DTT* No *0492*
 Rotations per contact *1*
 Rod: *∅ 20* Winch No. Torpedo: *—* kg. Protector: *—*/*no*
 Propellers used No. Type: *1-3*
 No. Type:
 No. Type:
 Stopwatch No. Counter Type: *241-00* No *946*
 Measurement by: *Pitlo / Schuurman / Dahmen*
 Calculation by:
 Check by:
 Remarks & Sketch



$V = 0.053h + 0.059$

dwarsprofiel 3m. bovenstrooms van stuw. stroomopwaarts gezien
modder laag
(oversterktheogte 12.8 cm)

	Time	Scale rdgs.	X	Q =
Beginning	14.00 h	136.778 cm	X ₀ = 6 cm	cm ³ /s
End	15.00 h	136.778 cm	X ₁ = 32.5 cm	

Depth	d'	v	prop.	n	Time	Rev.
±0.5	±0.01	±0.1	type	±0.01	±0.1	±1
cm	cm	cm/s	No	N/s	s	N
1 = 25 cm X' = 31 1/2 cm Q1 = 107.6 cm ³ /s						
33	d'	v	prop.	n	t	N
31.5	4.75	10.7	1-3	0.9	50	45
25.0	6.25	7.3		0.26	50	13
19.0	6.25	0		0.02	50	1
12.5	6.25	0		0	50	0
6.5	7.33	0		0	100	0

Depth	d'	v	prop.	n	Time	Rev.
±0.5	±0.01	±0.1	type	±0.01	±0.1	±1
cm	cm	cm/s	No	N/s	s	N
X4 = 100 cm X' = 25 cm Q4 = 338.02 cm ³ /s						
33.5	d'	v	prop.	n	t	N
32	5.00	14.7	1-3	1.66	50	83
25	6.50	13.4		1.42	50	71
19	6.25	9.2		0.62	50	31
12.5	6.25	7.2		0.24	50	12
6.5	7.33	6.0		0.01	100	1

Depth	d'	v	prop.	n	Time	Rev.
±0.5	±0.01	±0.1	type	±0.01	±0.1	±1
cm	cm	cm/s	No	N/s	s	N
2 = 50 cm X' = 25 cm Q2 = 162.03 cm ³ /s						
33	d'	v	prop.	n	t	N
31.5	4.75	11.4	1-3	1.04	50	52
25.0	6.25	8.3		0.46	50	23
19.0	6.25	6.4		0.10	50	5
12.5	6.25	0		0.02	50	1
6.5	7.33	0		0	100	0

Depth	d'	v	prop.	n	Time	Rev.
±0.5	±0.01	±0.1	type	±0.01	±0.1	±1
cm	cm	cm/s	No	N/s	s	N
X5 = 125 cm X' = 25 cm Q5 = 339.32 cm ³ /s						
34	d'	v	prop.	n	t	N
32.5	4.75	16.1	1-3	1.92	50	96
26	6.75	13.3		1.40	50	70
19	6.50	8.1		0.42	50	21
13	6.25	7.2		0.24	50	12
6.5	7.50	6.0		0.01	100	1

Depth	d'	v	prop.	n	Time	Rev.
±0.5	±0.01	±0.1	type	±0.01	±0.1	±1
cm	cm	cm/s	No	N/s	s	N
3 = 75 cm X' = 25 cm Q3 = 227.75 cm ³ /s						
33	d'	v	prop.	n	t	N
31.5	4.75	12.6	1-3	1.26	50	63
25	6.25	9.5		0.68	50	34
19	6.25	10.7		0.90	50	45
12.5	6.25	7.5		0.30	50	15
6.5	7.33	6.1		0.03	100	3

Depth	d'	v	prop.	n	Time	Rev.
±0.5	±0.01	±0.1	type	±0.01	±0.1	±1
cm	cm	cm/s	No	N/s	s	N
X6 = 150 cm X' = 25 cm Q6 = 334.31 cm ³ /s						
34.5	d'	v	prop.	n	t	N
33	5.00	16.9	1-3	2.08	50	104
26	7.00	13.9		1.50	50	75
19	6.50	9.7		0.72	50	36
13	6.25	6.3		0.08	50	4
6.5	7.50	0		0	100	0

Depth	d'	v	prop.	n	Time	Rev.
±0.5	±0.01	±0.1	type	±0.01	±0.1	±1
cm	cm	cm/s	No	N/s	s	N

X7 = 175 cm X' = 25 cm Q7 = 329.48 cm²/s

d	d'	v	prop.	n	t	N
34.5						
33	4.50	16.3	1-3	1.96	50	98
27	6.50	13.4		1.42	50	71
20	7.00	10.5		0.86	50	43
13	6.75	6.0		0.02	50	1
6.5	7.58	0		0	100	0

X8 = 200 cm X' = 25 cm Q8 = 319.47 cm²/s

d	d'	v	prop.	n	t	N
34.5						
33	4.50	15.9	1-3	1.88	50	94
27	6.50	13.1		1.36	50	68
20	7.00	8.8		0.54	50	27
13	6.75	6.6		0.14	50	7
6.5	7.58	0		0	100	0

X9 = 225 cm X' = 25 cm Q9 = 328.65 cm²/s

d	d'	v	prop.	n	t	N
35						
33.5	4.75	14.4	1-3	1.60	50	80
27	6.50	13.4		1.42	50	71
20.5	7.00	9.6		0.70	50	35
13	7.00	6.7		0.16	50	8
6.5	7.58	0		0	100	0

X10 = 250 cm X' = 25 cm Q10 = 359.26 cm²/s

d	d'	v	prop.	n	t	N
35.5						
34	5.00	12.9	1-3	1.32	50	66
27	6.75	13.5		1.44	50	72
20.5	7.00	9.7		0.72	50	36
13	7.00	7.4		0.28	50	14
6.5	7.58	6.2		0.06	100	6

X11 = 275 cm X' = 25 cm Q11 = 366.72 cm²/s

d	d'	v	prop.	n	t	N
35.5						
34	5.00	13.7	1-3	1.48	50	74
27	6.75	14.6		1.64	50	82
20.5	7.00	10.1		0.80	50	40
13	7.00	6.5		0.12	50	6
6.5	7.58	6.1		0.03	100	3

X12 = 300 cm X' = 22.5 cm Q12 = 368.85 cm²/s

d	d'	v	prop.	n	t	N
35.5						
34	5.00	13.9	1-3	1.50	100	150
27	6.75	12.4		1.22	50	61
20.5	7.00	10.7		0.90	50	45
13	7.00	8.3		0.46	50	23
6.5	7.58	6.5		0.11	100	11

Depth	d'	v	prop.	n	Time	Rev.
±0.5	±0.01	±0.1	type	±0.01	±0.1	±1
cm	cm	cm/s	No	N/s	s	N

X13 = 320 cm X' = 15 cm Q13 = 414.69 cm²/s

d	d'	v	prop.	n	t	N
34.5						
33	4.50	12.2	1-3	1.18	50	59
27	6.25	13.7		1.48	50	74
20.5	7.00	13.1		1.36	50	68
13	7.00	11.5		1.06	50	53
6.5	7.58	6.2		0.06	50	3

X14 = cm X' = cm Q14 = cm²/s

d	d'	v	prop.	n	t	N
ds						
d4						
d3						
d2						
db						

X15 = cm X' = cm Q15 = cm²/s

d	d'	v	prop.	n	t	N
ds						
d4						
d3						
d2						
db						

X16 = cm X' = cm Q16 = cm²/s

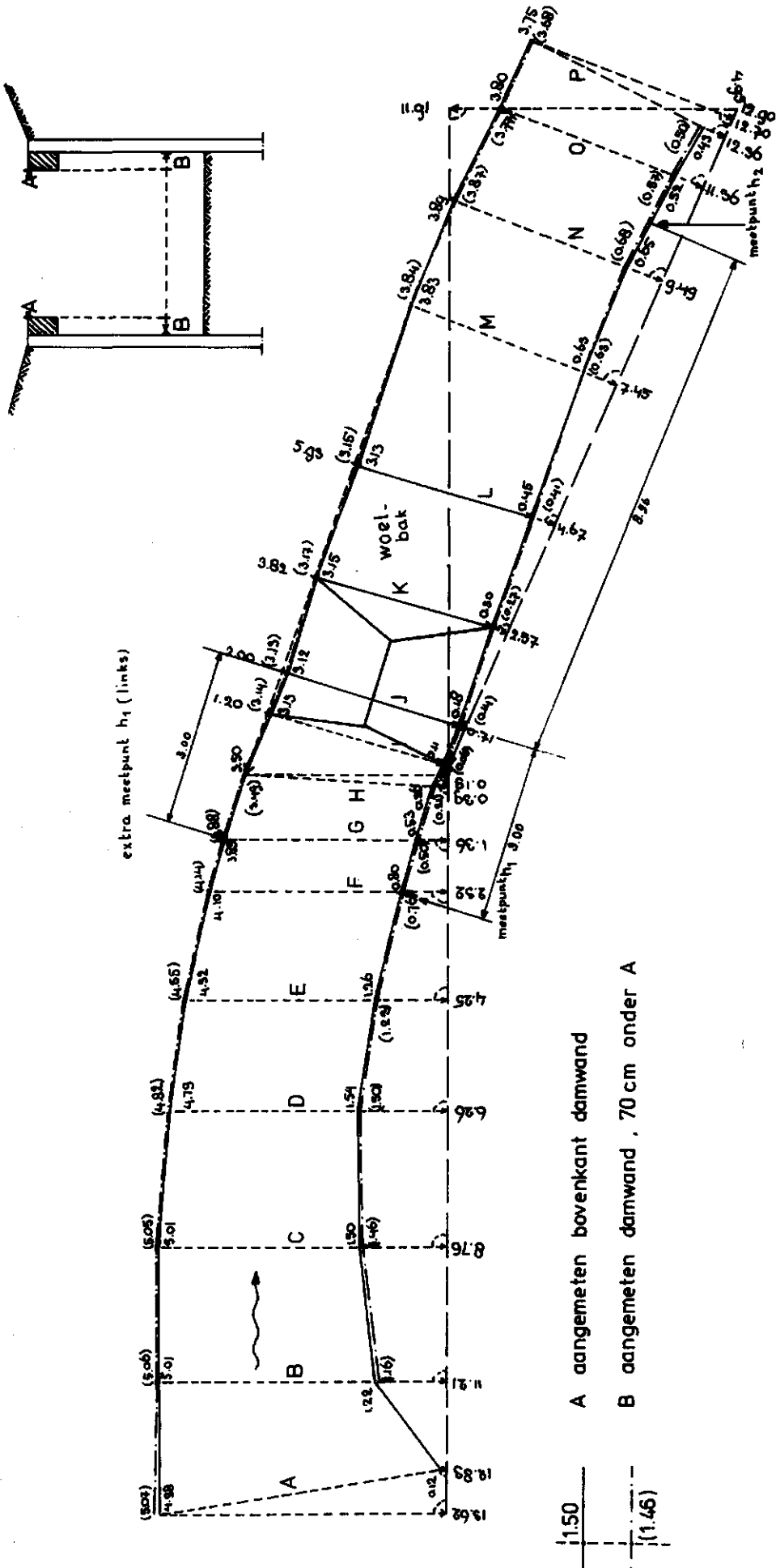
d	d'	v	prop.	n	t	N
ds						
d4						
d3						
d2						
db						

X17 = cm X' = cm Q17 = cm²/s

d	d'	v	prop.	n	t	N
ds						
d4						
d3						
d2						
db						

X18 = cm X' = cm Q18 = cm²/s

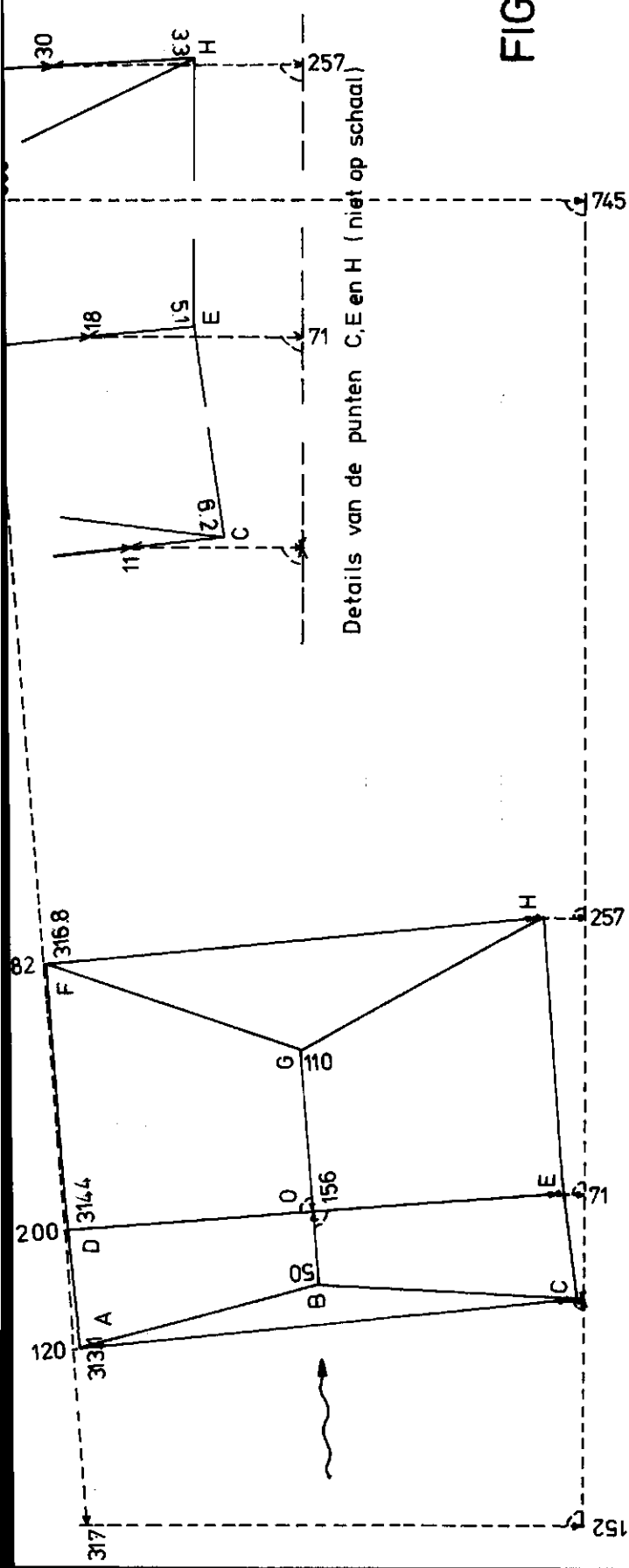
d	d'	v	prop.	n	t	N
ds						
d4						
d3						
d2						
db						



FIGUUR 1

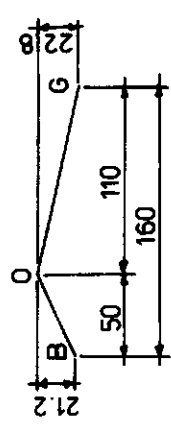
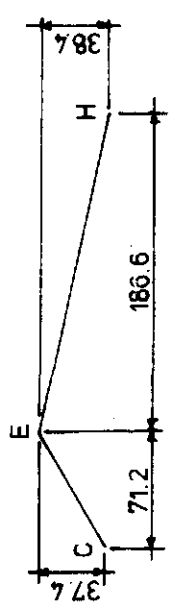
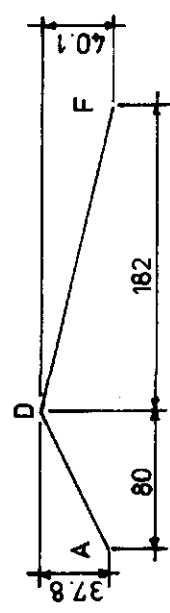
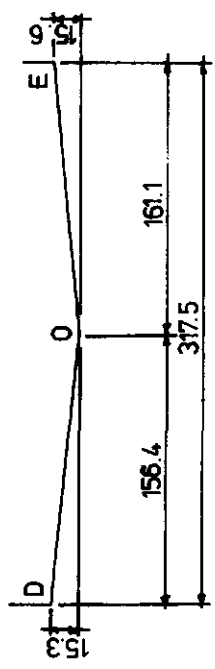
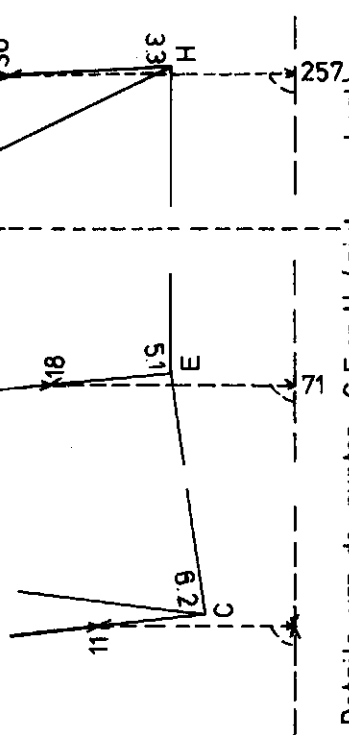
Situatie

MEETPUNT - 9 GULP	Nr. 77 - 4 - 03
LANDBOUWHOGESCHOOL	D.D. JUNI '77
HYDRAULICA LABORATORIUM	Project 77-52
	Gez. P
	School
Bled - 1 van 7	Meten: in m.
Rev.: 1979	Omschr.: situatie
	File K



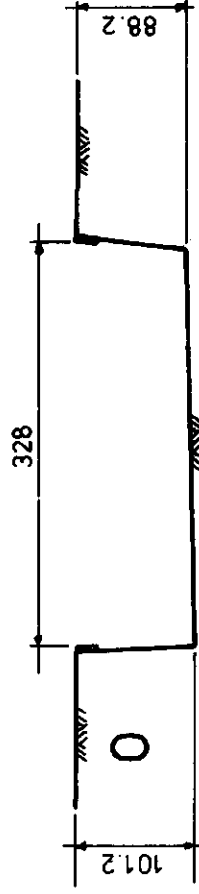
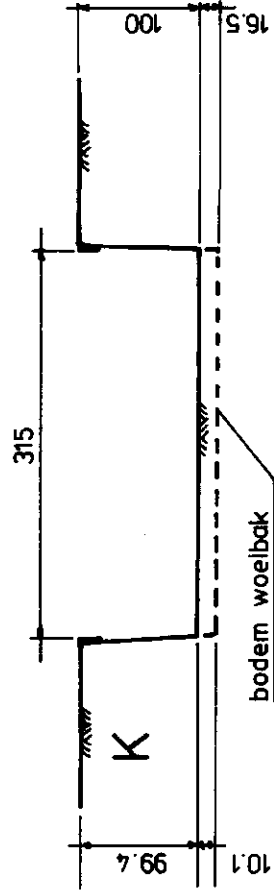
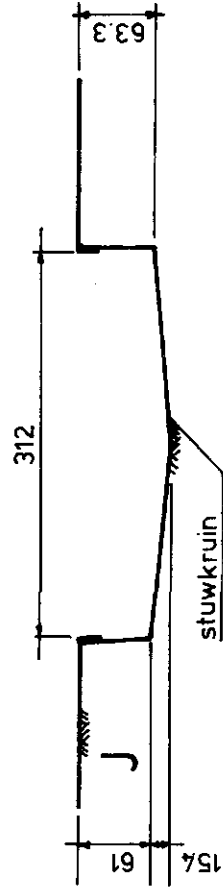
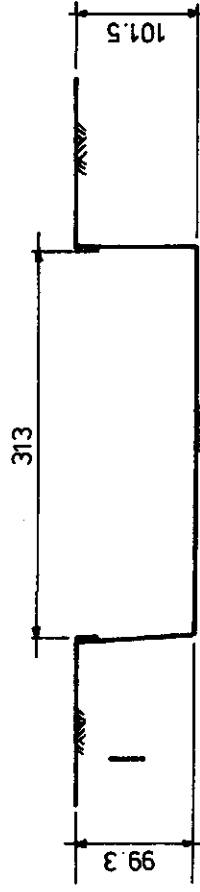
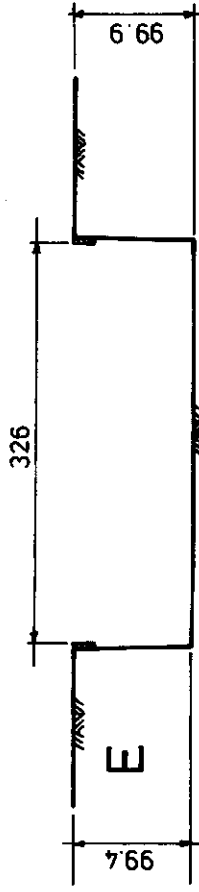
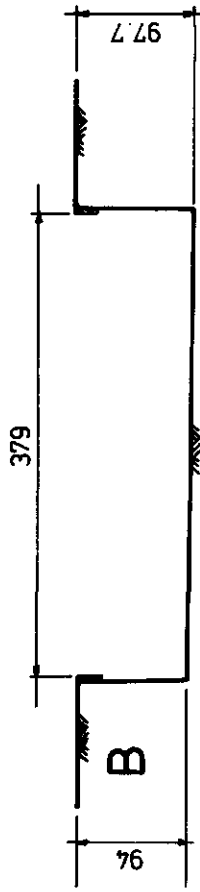
FIGUUR 2

Details van de punten C, E en H (niet op schaal)



STUWAFMETINGEN

MEETPUNT - 9 GULP	Nr. 77 - 4 - 04
LANDBOUWHOGESCHOOL	D.D. JUNI '77
HYDRAULICA LABORATORIUM	Project 77 - 52
	Gez. P
	Schaal
	File K
Bled - 2 van 7	Meten: in cm.
Rev.: 1979	Omshr.: stuwafmetingen



al de dwarsprofielen zijn stroomafwaarts gezien getekend

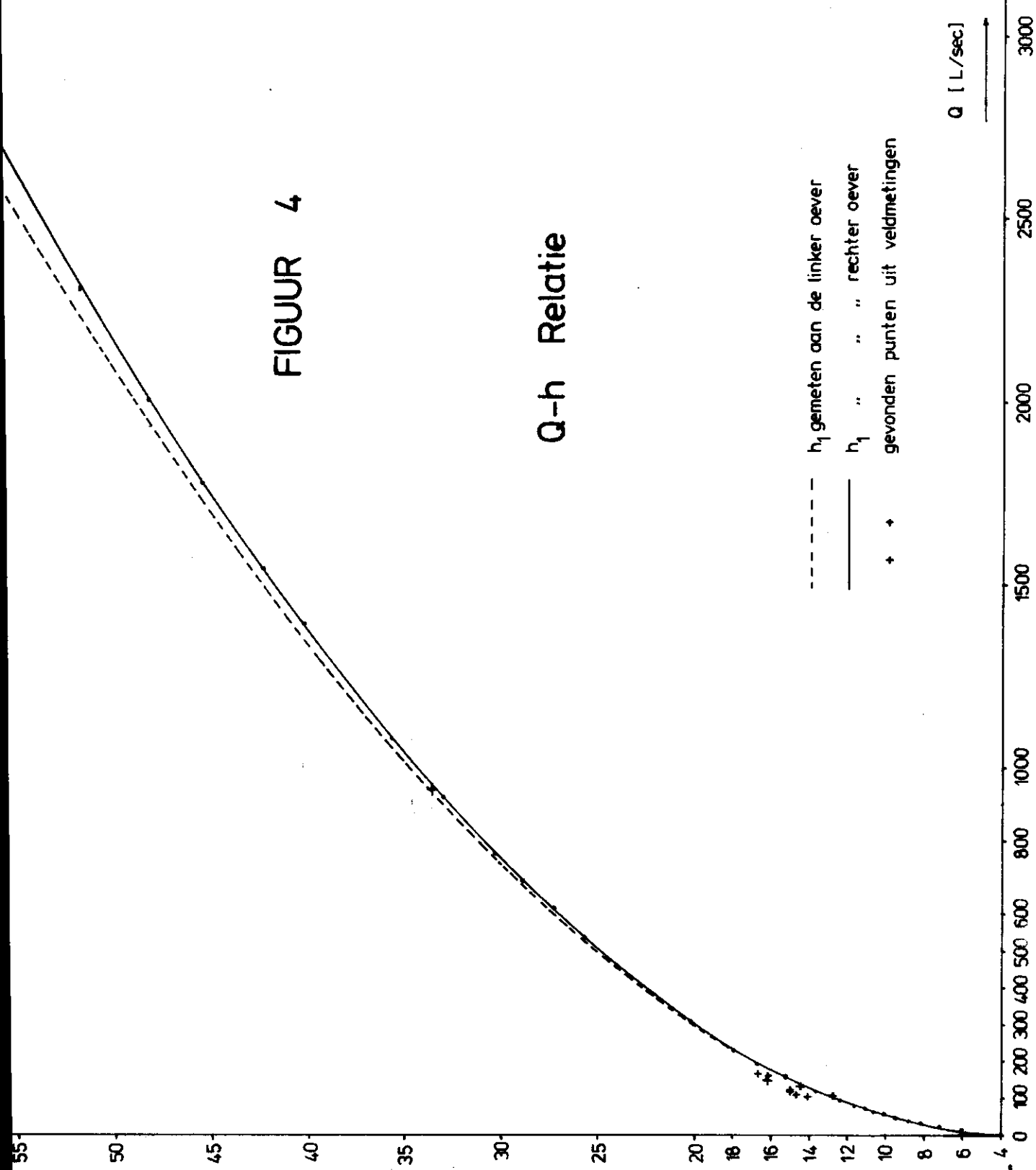
FIGUUR 3

DWARSPROFIELEN

MEETPUNT - 9 GULP		Nr. 77 - 4 - 05	
LANDBOUWHOGESCHOOL		D.D.	JUNI '77
HYDRAULICA LABORATORIUM		Project	77-52
Bled - 3 van 7		Gez.	P
Meten: in cm.		Scheel	
Rev.: 1979	Omschr.: dwarsprofielen	File	K

FIGUUR 4

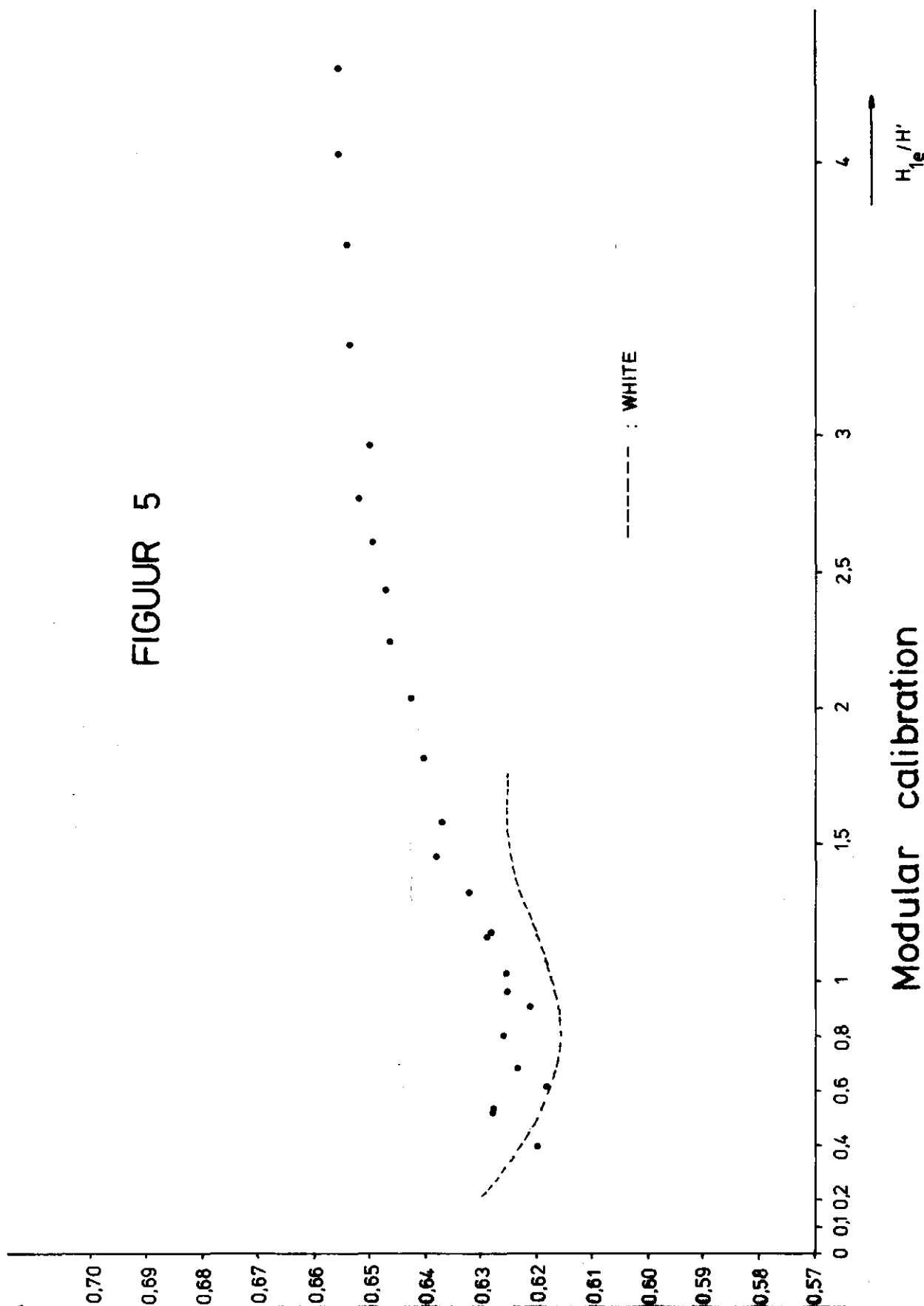
Q-h Relatie



[cm]

MEETPUNT - 9 GULP		Nr. 77 - 4 - 06	
LANDBOUWHOGESCHOOL		D.D.	JUNI '77
HYDRAULICA LABORATORIUM		Project	77 - 52
		Gez.	p
Bled - 4 van 7	Maten:	Schaal	
Rev.: 1979	Omschr.: ijkresultaten	File	K

FIGUUR 5



Modular calibration

MEETPUNT 9 - GULP

Nr. 77 - 4 - 06

LANDBOUWHOGESCHOOL

D.D. JUNI '77

HYDRAULICA LABORATORIUM

Project 77-52

Gez. P

Blad - 5 van 7

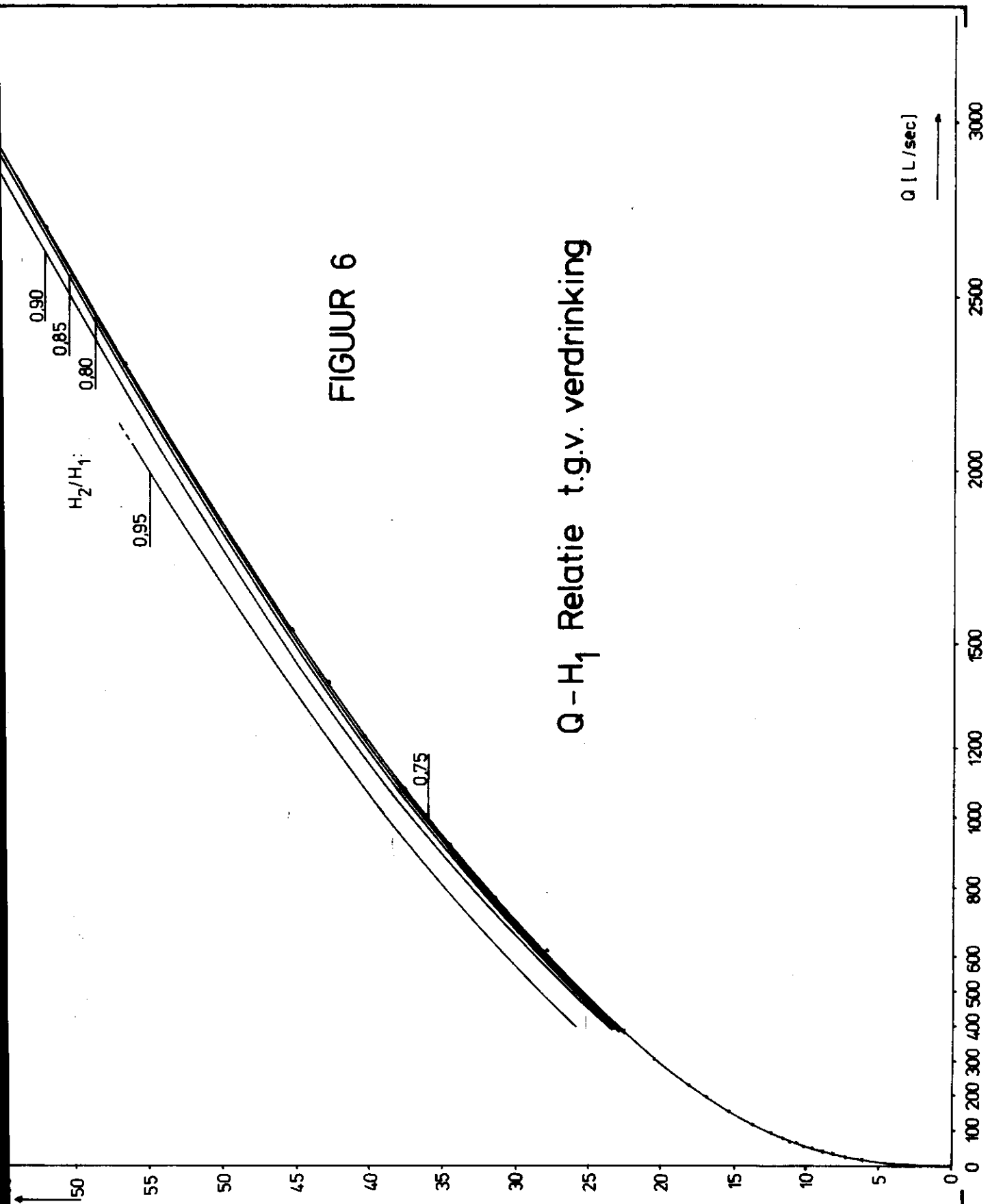
Maten:

Schaal

Rev.: 1979

Omschr.: C_D

File K



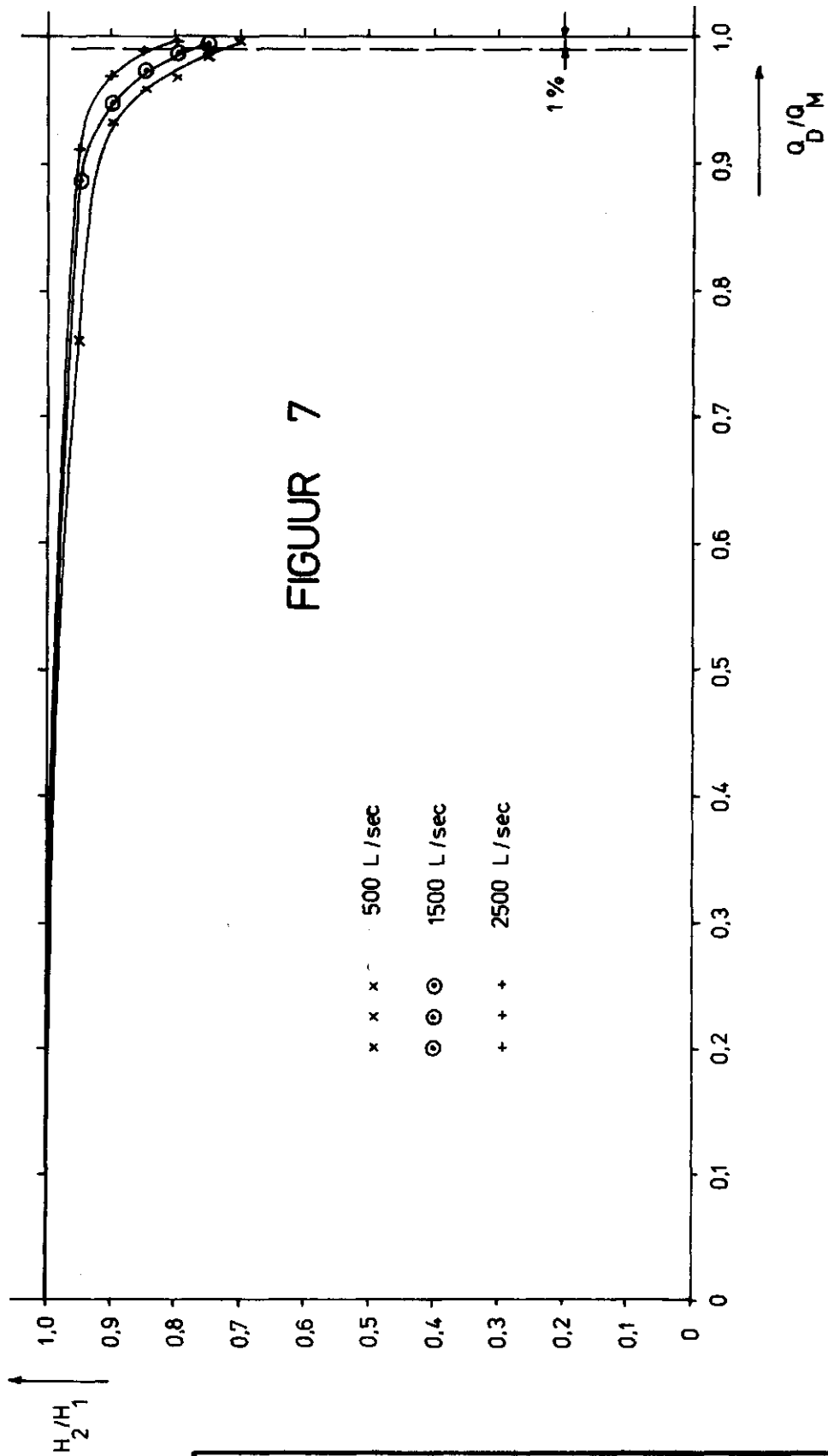
FIGUUR 6

Q - H₁ Relatie t.g.v. verdrinking

H₁
[cm]

Q [L/sec]

MEETPUNT - 9 GULP		Nr. 77 - 4 - 07	
LANDBOUWHOGESCHOOL		D.D.	JUNI '77
HYDRAULICA LABORATORIUM		Project	77 - 52
		Gez.	p
Blad - 6 van 7	Maten:	Schaal	
Rev.: 1978	Omschr.: ijkresultaten	File	K



Drowned flow reduction factor

MEETPUNT - 9 GULP		Nr. 77 - 4 - 09	
LANDBOUWHOGESCHOOL		D.D.	JUNI '77
HYDRAULICA		Project	77 - 52
LABORATORIUM		Gez.	P
Bled - 7 van 7	Meten:	Schaal	
Rev.: 1978	Omschr.: H_2/H_1 Q_D/Q_M	File	K