

MODELONDERZOEK KLEPSTUWEN

1

STUW IN SLUIS 1 BIJ HEINO

NOTA 27

Laboratorium voor
Hydraulica en Afvoerhydrologie
Landbouwhogeschool
april 1973
(71-54)

INHOUD

	Pag.
1. Inleiding	1
2. Veldmetingen	1
3. Modelonderzoek	2
3.1. Metingen	2
3.1.1. Ongestuwde afvoeren	2
3.1.2. Gestuwde afvoeren	4
4. Nauwkeurigheidskontrolle	5
5. Samenvatting en konklusies	6

BIJLAGEN

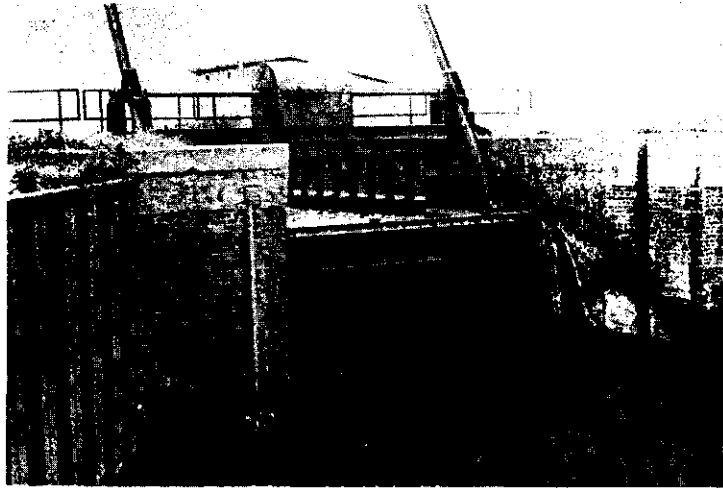
- I. Gestuwde afvoeren
- II. Verband tussen klephoek en kruinniveau
- III. Fortran rekenprogramma
- IV. Meetcijfers

1 figuur

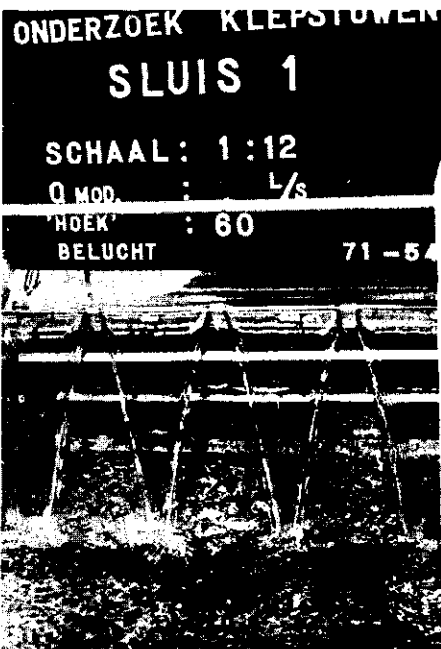
4 grafieken



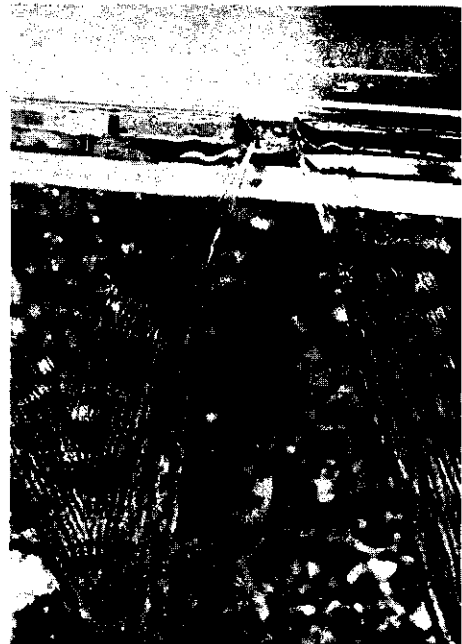
Detail kruin



Bepaling klephoek in prototype

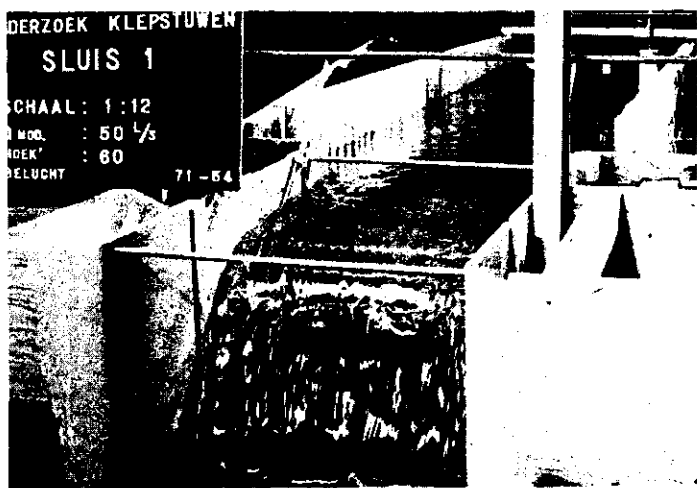


Invloed storelementen
op het stromingsbeeld
bij lage afvoeren

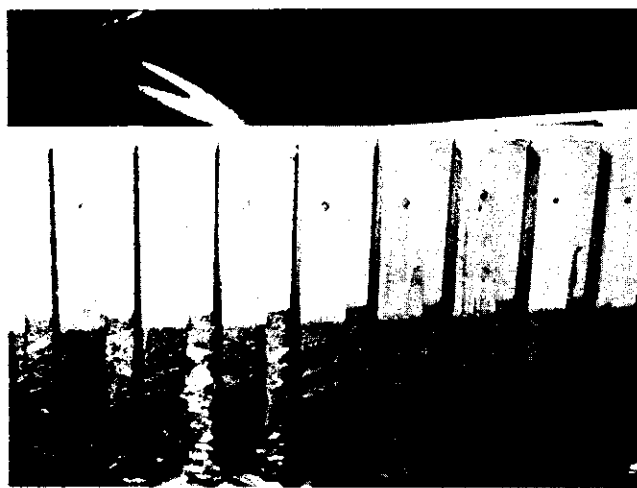




Invloed beluchting op het stromingsbeeld.



onbelucht bij $\pm 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ in prototype



detail damwand



De overstortende straal wordt in het prototype niet belucht. In het model bleek bij overstorthoogten groter dan overeenkomende met ongeveer 50 cm in werkelijkheid beluchting door middel van pijpen onder de kleprand noodzakelijk om een stabiele relatie tussen Q en h_1 te verkrijgen.

Het is te verwachten, dat ook in het prototype beluchtungs pijpen van voldoende doorsnede moeten worden aangebracht om de in het model gevonden relaties te mogen toepassen.

De afvoerformule voor deze horizontale overlaat luidt in het algemeen:

$$Q = C_v \cdot C_d \cdot B \cdot (2/3)^{3/2} \cdot g^{1/2} \cdot h_1^{3/2} \dots\dots\dots (1)$$

Hierin is:

Q = afvoer (m^3/sec)

$$C_v = \left(\frac{H}{h_1}\right)^{3/2}$$

C_d = afvoercoëfficiënt (dimensieloos)

B = kruinbreedte (m), hier 6 meter

g = versnelling van de zwaartekracht (m/sec^2)

h_1 = overstorthoogte (m)

H = hoogte bovenstrooms energie niveau t.o.v. de kruin (m).

Formule (1) kan ook worden geschreven als:

$$Q_{ongestuwd} = A \cdot h_1^B \dots\dots\dots (2)$$

Bij elk van de onderzochte klephoeken werd met behulp van een regressieberekening uit de meetcijfers A en B berekend. Het bleek hierbij, dat zowel A als B van de klephoek α afhankelijk zijn (zie grafiek 2).

Voor de in de praktijk meestal voorkomende klepstanden ($> 45^\circ$) blijkt B weinig af te wijken van de theoretische waarde van 1.5.

Besloten werd om deze waarde aan te houden.

Bij B = 1.5 werd bij de verschillende klephoeken (α), A opnieuw uitgerekend (zie tabel 1). Uit een regressieberekening werd het volgende verband tussen A en α gevonden:

$$\log A = -0.0996 + 1.4550 \log \alpha - 0.4400 (\log \alpha)^2 \dots\dots\dots (3)$$

$(30^\circ < \alpha \leq 82.5^\circ)$

Tabel 1: Verband α , A en C_d bij $B = 1.50$

α (°)	A	C_d
30	12.3373	1.206
45	12.5107	1.221
60	12.5910	1.225
75	12.2686	1.180
82.5	11.6411	1.132

Zoals reeds werd vermeld, bestaat A uit:

$$A = C_v \cdot C_d \cdot B \cdot (2/3)^{3/2} \cdot H^{1/2}$$

Voor deze klep is $B \cdot (2/3)^{3/2} \cdot C^{1/2} = 10.2294 \text{ m}^{3/2}/\text{s}$, zodat:

$$A = C_v \cdot C_d \cdot 10.2294 \text{ m}^{3/2}/\text{s} \quad \dots\dots\dots (4)$$

De berekende waarden van C_v resp. C_d zijn weergegeven in grafiek 4. De waarden van C_d zijn eveneens in tabel 1 weergegeven.

De stoelementen op de stuwruin zullen bij kleine afvoeren (zie foto) vermoedelijk invloed uitoefenen op de gevonden $Q-h_1$ relaties. Aangezien in deze gevallen echter geen overdraagbare modelmetingen beschikbaar zijn, wordt aangeraden de gevonden afvoerrelaties alleen te gebruiken voor overstorthoogten groter dan ± 10 cm, overeenkomende met een kleinste te meten afvoer van ca. 400 liter per seconde.

3.1.2. Gestuwde afvoeren

Voor een klephoek van 45° is in het tweede kwadrant van grafiek 1 de invloed van de opstuwingsgraad (h_2/h_1) op de relatie tussen overstorthoogte en debiet weergegeven. Ook voor andere klephoeken is het mogelijk om de invloed van h_2/h_1 op de relatie tussen Q en h_1 in een empirische betrekking uit te drukken. Deze betrekking is geldig voor $0.02 < h_2/h_1 < 0.8$ en luidt:

$$Q_{\text{gestuwd}} = (Q_{\text{ongestuwd}}) \cdot (1-R) \text{ m}^3/\text{s} \quad \dots\dots\dots (6)$$

Hierin stelt R een van de opstuwingsgraad (h_2/h_1) en de klephoek (α) afhankelijke grootte voor.

De afleiding van deze formule staat vermeld in bijlage I.

4. NAUWKEURIGHEIDSKONTROLE

In 228 gevallen werd het met behulp van de formules 2 t/m 6 berekende debiet vergeleken met het in het model ingestelde debiet. Hierbij werden zowel gestuwde als ongestuwde afvoeren betrokken.

De procentuele afwijking ten opzichte van het ingestelde debiet werd berekend. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Klephoek α°	Aantal punten met een procentuele afwijking van:					totaal
	0 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	> 5	
30	4	3	1	-	-	8
45	24	11	2	1(1)	(2)	41
60	41	9	2	1	-	53
75	26	19	9	1	-	55
82.5	48	9	7	3(1)	2(1)	71
Totaal	143	51	21	6(2)	2(3)	228

De tussen haakjes geplaatste aantallen hebben betrekking op gestuwde afvoeren, waarbij h_2/h_1 tussen 0.75 en 0.8.

Alle berekeningen werden uitgevoerd op de CDC computer van het Reken-centrum van de Landbouwhogeschool.

In bijlage III is een rekenprogramma opgenomen met behulp waarvan het debiet kan worden bepaald uit de waterstanden en de klephoek.

Te velde moeten evenwel de klephoek en de overstorthoogten worden afgeleid uit het kruinniveau. Uit de metingen (zie bijlage II) is reeds gebleken, dat de kruin een scheve ligging heeft, die bovendien met de klepstand verandert. Het nauwkeurig vaststellen van de gemiddelde kruinhoogte bij de verschillende klepstanden kan daarom alleen te velde met behulp van een waterpassing op meerdere punten van de kruin geschieden. Is het kruinniveau vastgesteld, dan kan met behulp van grafiek 3 de bijbehorende klephoek (α) worden bepaald. Voor klephoeken groter dan 60° is deze grafiek uit de modelmetingen afgeleid. Het verdient aanbeveling deze metingen in het veld te controleren.

Als ondergrens van het meetbereik van de klepstuw in Sluis 1 kan 400 l/s worden aangehouden. Hierbij is er van uitgegaan, dat de overstorthoogte kan worden bepaald op 5 mm nauwkeurig. Uit de literatuur* blijkt, dat in dit geval het debiet (Q) binnen 5% nauwkeurig kan worden bepaald voor debieten groter dan 400 l/s.

* Pitlo, R.H., Monogram ter bepaling van de ondergrens van het meetbereik bij debietmeetinrichtingen, Landbouwkundig Tijdschrift, 83e jaargang nr. 12, december 1971.

5. SAMENVATTING EN KONKLUSIES

Uit het onderzoek kon de volgende relatie tussen overstorthoogte (h_1) en debiet (Q) voor ongestuwde afvoeren worden afgeleid:

$$Q = A \cdot h^{1.5} \text{ m}^3/\text{s}.$$

Hierbij bleek A een van de klephoek (α) afhankelijke grootte te zijn (zie tabel 1).

Ook voor gestuwde afvoeren bleek het mogelijk te zijn om een relatie op te stellen tussen overstorthoogte (h_1), benedenwaterstand (h_2) en het debiet (Q).

Allereerst dient de opstuwingsgraad h_2/h_1 te worden gecorrigeerd met een term Δ welke afhankelijk is van de klephoek:

$$\Delta = (1.8975 \cdot 10^{-11}) \cdot (\alpha)^{5.2832}$$

$$(\Delta = 0 \text{ voor } \alpha = 45^\circ).$$

De gecorrigeerde opstuwingsgraad is dan:

$$P = h_2/h_1 - \Delta.$$

Voert men vervolgens een grootte R in, welke weer een functie is van P :

$$\log R = -0.2067 + 1.9188 \log(P) + 0.8470 \{\log(P)\}^2$$

dan geldt voor $P \geq 0.02$ en $h_2/h_1 < 0.8$:

$$(Q_{\text{gestuwd}}) = (Q_{\text{ongestuwd}}) \cdot (1-R) \text{ m}^3/\text{s}$$

Opgemerkt moet nog worden, dat alle gevonden relaties gelden voor klephoeken $\leq 82.5^\circ$. Voor grotere klephoeken konden in het model geen stabiele relaties worden gevonden.

- DE KLEP IN SLUIS 1 KAN SLECHTS WORDEN GEBRUIKT VOOR HET METEN VAN AFVOEREN GROTER DAN ONGEVEER 400 L/S.
- DE RUIMTE ONDER DE OVERSTORTENDE STRAAL MOET WORDEN BELUCHT.
- OP GROND VAN ALGEMENE ERVARING BIJ HET IJKEN VAN KLEPSTUWEN WORDT ER HIER UITDRUKKELIJK OP GEWEZEN DAT HET STROMINGSBEELD BOVEN DERGELIJKE KLEPPEN ZEER GEVOELIG IS VOOR DE AANSTROMINGSCONDITIES. BIJ HET OPSTELLEN VAN DEZE KLEP IN EEN ANDERE SITUATIE MOET MET DEZE GEVOELIGHEID TERDEGE REKENING WORDEN GEHOUDEN.

BIJLAGE IGestuwde afvoeren

Benedenwaterstanden welke hoger zijn dan de stuwkruin beïnvloeden in het algemeen de relatie tussen afvoer (Q) en bovenwaterstand (h_1).

In het model werd de invloed van de benedenwaterstand (h_2) op de relatie tussen Q en h_1 onderzocht met behulp van een peilbuis welke op een afstand overeenkomende met ongeveer 13.2 m in werkelijkheid benedenstrooms van de stuw was geplaatst. Nadat in het model een bepaalde klephoek was gekozen (resp. 45° , 60° , 75° en 82.5°) werd een bepaald debiet ingesteld. De benedenwaterstand werd hierbij trapsgewijze verhoogd. Na elke verhoging werden de waarden voor h_1 en h_2 afgelezen. Uit grafiek 1 voor ongestuwde afvoeren werd bij de betrokken h_1 de bijbehorende ongestuwde afvoer afgelezen. Vervolgens tegen elkaar uitgezet de ingestelde (gestuwde) afvoer en de bij h_1 behorende ongestuwde afvoer voor een klephoek van 45° . Bij elk punt werd de opstuwingsgraad P^* genoteerd.

Door de aldus verkregen puntenwolk werden lijnen getrokken voor konstante waarden van P (zie tweede kwadrant grafiek 1). De getrokken lijnen bleken bij benadering te kunnen worden vervangen door een bundel rechten die voldoet aan:

$$Q_{\text{gestuwd}} = (Q_{\text{ongestuwd}}) \cdot (1-R) \text{ m}^3/\text{s} \quad \dots\dots\dots (6)$$

In deze formule is R een van P afhankelijke functie. Door middel van regressie met behulp van logaritmen werd gevonden:

$$\log R = A' + B' \log (P) + C' \{\log (P)\}^2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

Hierin is: $A' = - 0.2867$
 $B' = 1.9188$
 $C' = 0.3470$

Begrenzungen van deze formule:

$$P \geq 0.02 \quad \text{en} \quad h_2/h_1 < 0.8$$

$$\text{of} \quad 0.8 - \Delta > P \geq 0.02 \quad (R = 0 \text{ indien } P < 0.02)$$

Uit de metingen aan klephoeken groter dan 45° is gebleken, dat bij een konstante waarde van $\frac{Q_{\text{gestuwd}}}{Q_{\text{ongestuwd}}}$ de waarde van P toeneemt met de klephoek.

Zonder korrektie (Δ) is daarom de rechterhelft van grafiek 1 alleen bruikbaar voor klephoeken van omstreeks 45° .

* Voor een klephoek van 45° geldt $P = h_2/h_1$. Voor grotere klephoeken geldt:
 $P = h_2/h_1 - \Delta$, waarin Δ een van de klephoek afhankelijke korrektie voorstelt (zie tekst).

Uit de modelproeven werd het volgende empirische verband tussen de klephoek α en de op P toe te passen korrekcie (Δ) gevonden:

$$\Delta = A'' \cdot (\alpha)^{B''} \dots\dots\dots (8)$$

Hierin is: $A'' = 1.8075 \cdot 10^{-11}$
 $B'' = 5.2832.$

In de inzet van grafiek 1 is dit verband weergegeven.

BIJLAGE II

Verband tussen klephoek en kruinniveau gemeten in het prototype:

Klephoek (α) ¹⁾	Kruinniveau in m + N.A.P. ²⁾		
	Links	Midden	Rechts
36°40'	2.192	2.194	2.198
40°30'	2.076	2.080	2.085
46°30'	1.892	1.895	1.901
49° -	1.789	1.792	1.797
51°20'	1.706	1.708	1.715
55°35'	1.542	1.543	1.549
59°05'	1.394	1.394	1.402

-
- 1) Klephoeken gemeten in het midden van de klep en weergegeven in graden en minuten. Bij gebruik van het computerprogramma (bijlage III) dienen de hoekminuten als tiendelige breuk te worden ingelezen b.v. 51°20' = 51,33°.
- 2) De aanduidingen links, midden en rechts gelden in de stroomrichting gezien.

```

PROGRAM PITLO
C   AFD. HYDRAULICA PROJECT 71-54
C   BEREKENING AFVOER KLEPSTUW SLUIS 1 UIT KLEPHOEK EN WATERPEILEN
C   INVOER KLEPHOEK IN HONDERDSTEN GRADEN HV. 82.5 H1 EN H2 IN METERS
C   INDIEN ONGESTUWD DAN IS H2=-1.
C   INDIEN H2/H1 GROTER DAN 0.8 GEEN UITVOER 0=*
C   LAATSTE KAART PER SERIE 9998. SLUITKAART 9999.
F=1./ALOG(10.)
AA=-0.9996
BH=1.4550
CC=-0.4400
A=-0.2867
B=1.9188
C=0.8470
PRINT 105
1 READ 99,HOEK
IF (HOEK.EQ.9999.) STOP1
PRINT 99,HOEK
PRINT 103
X3=ALOG(HOEK)*F
X4=X3**2
Y1=AA+BH*X3+CC*X4
A1=10.**Y1
DELH=(1.4975/10.**11)*HOEK**5.2832
2 READ 100,H1,H2
IF (H1.EQ.9998.) GO TO 1
IF (HOEK.EQ.45.) 3,4
3 P=H2/H1
IF (P.LT.0.02) 11,7
4 P=H2/H1-DELH
IF (P.LT.0.02) 11,7
7 X1=ALOG(P)*F
X2=X1**2
Y=A+B*X1+C*X2
R=10.**Y
GO TO 15
11 P=0.
15 QBER=A1*H1**1.5*(1.-R)
IF (H2/H1.LT.0.8) 16,25
16 IF (P.LT.0.02) 17,20
17 PRINT 101,H1,H2,QBER
GO TO 2
20 PRINT 102,H1,H2,P,QBER.
GO TO 2
25 PRINT 104,H1,H2,P
GO TO 2
C
99 FORMAT(F6.2)
100 FORMAT(2F10.4)
101 FORMAT(2F10.4,10X,F10.4)
102 FORMAT(4F10.4)
103 FORMAT(H6,4X2H1,8X2H2,8X1HP,9X4HQBER)
104 FORMAT(3F10.4,9X1H*)
105 FORMAT(1H1///)
END

```

FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR PITLO

VOORBEELDEN UITVOER

82.50

H1	H2	P	QBER
1.1500	.8500	.4861	12.2969
1.2100	.4689	.5470	*
1.7930	-1.0000		28.3910

MEETCIJFERS (OMGEREKEND OP PROTOTYPE)

$\alpha = 30^\circ$

$\alpha = 45^\circ$

h_1 (m)	h_2 (m)	Q (m ³ /sec)	h_1 (m)	h_2 (m)	Q (m ³ /sec)
0.107	-1	0.4439	0.800	0.022	8.7833
0.168	"	0.8679	0.818	0.126	"
0.218	"	1.2720	0.834	0.232	"
0.282	"	1.8606	0.862	0.355	"
0.353	"	2.5939	0.900	0.486	"
0.452	"	3.6963	0.942	0.600	"
0.557	"	4.9882	0.990	0.716	"
0.731	"	7.4823	1.067	0.848	"

$\alpha = 45^\circ$

0.108	-1	0.4589	1.110	0.917	"
0.151	"	0.7333	1.006	-1	12.4350
0.208	"	1.1822	1.027	0.118	"
0.282	"	1.9005	1.050	0.241	"
0.340	"	2.5091	1.072	0.395	"
0.440	"	3.7312	1.114	0.528	"
0.547	"	4.9882	1.156	0.660	"
0.551	"	5.0900	1.219	0.826	"

0.568	0.026	"	1.299	0.978	"
0.571	0.048	"	1.350	1.076	"
0.576	0.064	"	1.393	1.135	"
0.580	0.120	"	1.012	-1	12.4905
0.584	0.174	"	1.129	"	14.7999

0.587	0.233	"	<u>$\alpha = 60^\circ$</u>		
0.602	0.272	"	0.080	-1	0.2793

0.620	0.330	"	0.109	"	0.4689
0.642	0.397	"	0.173	"	0.9278
0.670	0.464	"	0.208	"	1.2121
0.737	0.589	"	0.275	"	1.8157
0.716	-1	7.4823	0.336	"	2.4642
0.796	"	8.7833	0.436	"	3.6364
			0.542	"	4.9882

$\alpha = 75^\circ$ (vervolg)

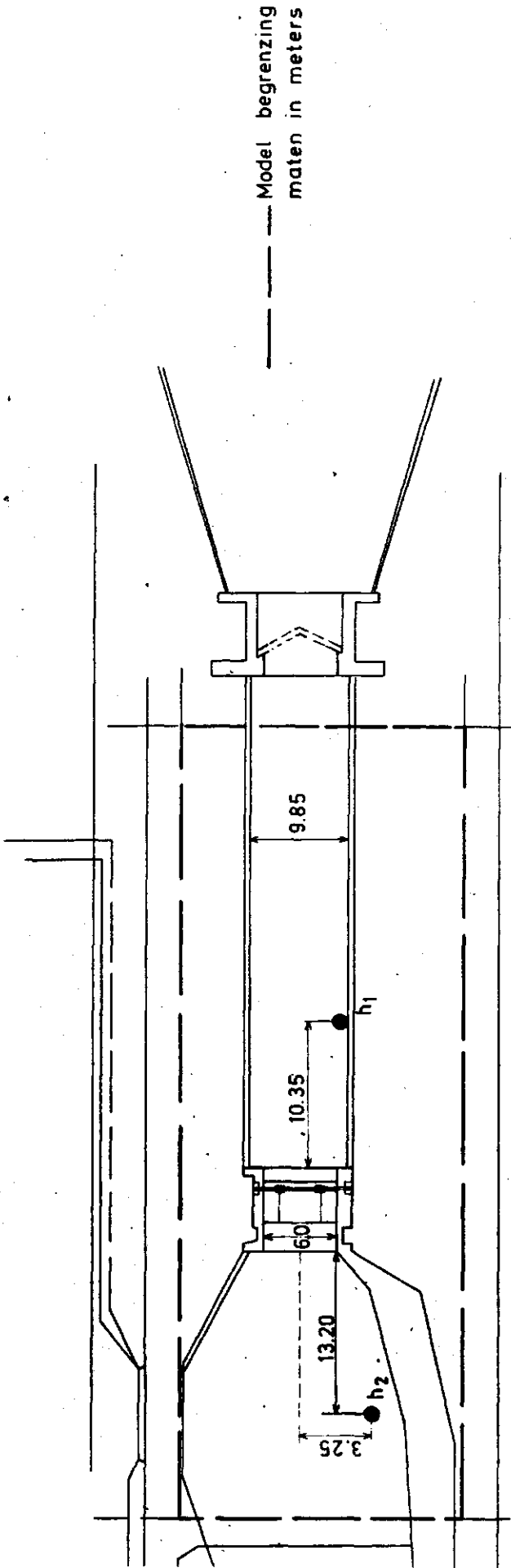
h_1 (m)	h_2 (m)	Q (m ³ /sec)	h_1 (m)	h_2 (m)	Q (m ³ /sec)
0.719	-1	7.5471	1.730	0.266	27.3560
0.877	"	9.9814	1.738	0.428	"
1.008	"	12.4755	1.748	0.444	"
1.001	"	12.2970	1.756	0.548	"
1.003	0.073	"	1.777	0.744	"
1.015	0.149	"	1.819	0.998	"
1.020	0.205	"	1.884	1.152	"
1.025	0.230	"	2.071	1.405	"
1.032	0.311	"	2.099	1.685	"
1.042	0.392	"	1.825	-1	30.4530
1.058	0.484	"			
1.084	0.612	"			
1.115	0.714	"			
1.153	0.811	"			
1.199	0.922	"			
1.228	0.982	"			
1.138	-1	14.9546			
1.267	"	17.5285			
1.384	"	19.9777			
1.397	0.068	"			
1.405	0.241	"			
1.417	0.314	"			
1.423	0.397	"			
1.447	0.541	"			
1.474	0.732	"			
1.484	0.790	"			
1.536	0.983	"			
1.556	1.049	"			
1.786	1.486	"			
1.432	-1	20.8407			
1.658	"	26.4075			
1.704	"	27.3560			
1.722	0.161	"			

 $\alpha = 82.5^\circ$

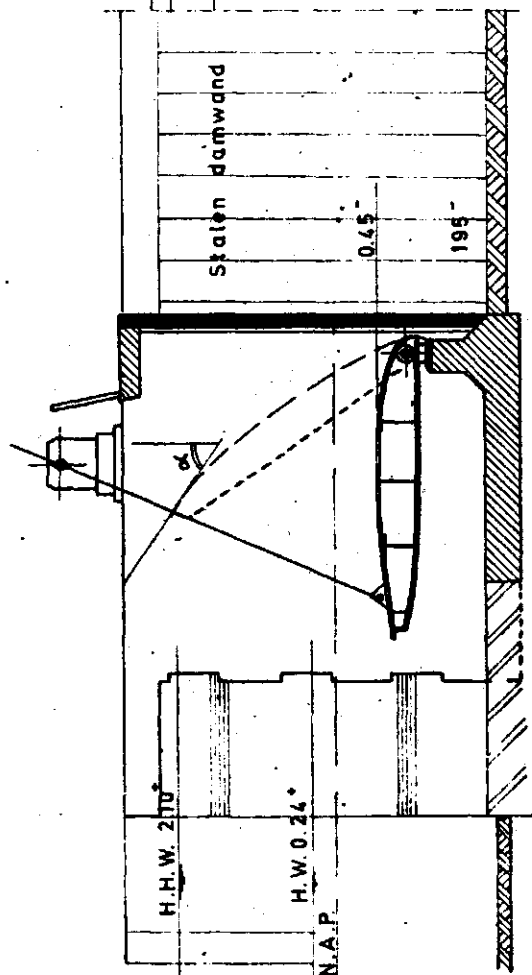
0.115	-1	0.4390
0.152	"	0.6934
0.218	"	1.1922
0.281	"	1.7459
0.328	"	2.1998
0.437	"	3.3720
0.491	"	3.9806
0.569	"	4.9832
0.566	"	4.9636
0.569	0.011	"
0.571	0.035	"
0.574	0.064	"
0.575	0.116	"
0.576	0.149	"
0.578	0.182	"
0.582	0.226	"
0.586	0.263	"
0.593	0.298	"
0.600	0.353	"
0.616	0.407	"

$\alpha = 82.5^{\circ}$ (vervolg)

h_1 (m)	h_2 (m)	Q (m ³ /sec)	h_1 (m)	h_2 (m)	Q (m ³ /sec)
0.634	0.472	4.9636	1.689	1.393	19.3190
0.665	0.538	"	1.433	-1	20.1274
0.754	-1	7.5072	1.624	"	24.7165
0.910	"	10.0612	1.793	"	28.2240
1.031	"	12.2480	1.823	0.078	"
1.033	0.059	"	1.831	0.224	"
1.034	0.114	"	1.836	0.355	"
1.036	0.184	"	1.846	0.457	"
1.039	0.239	"	1.858	0.594	"
1.048	0.306	"	1.868	0.712	"
1.052	0.356	"	1.886	0.840	"
1.055	0.439	"	1.898	0.971	"
1.063	0.506	"	1.904	1.100	"
1.078	0.582	"	1.914	1.115	"
1.093	0.661	"	1.932	1.184	"
1.118	0.773	"	1.948	1.224	"
1.150	0.850	"	1.991	1.337	"
1.210	0.968	"	2.030	1.462	"
1.044	-1	12.4456	2.075	1.565	"
1.181	"	14.9397	2.153	1.715	"
1.303	"	17.4487	2.189	1.776	"
1.394	"	19.3190	1.838	-1	30.0589
1.398	0.129	"			
1.400	0.209	"			
1.421	0.467	"			
1.428	0.596	"			
1.444	0.730	"			
1.448	0.805	"			
1.457	0.827	"			
1.489	0.952	"			
1.530	1.055	"			
1.595	1.218	"			
1.626	1.265	"			



H.H.W. 2.45°
Z.P. 2.20°
H.W. 1.65°



H.H.W. 2.10°
H.W. 0.24°
N.A.P.

FIGUUR 1

ONDERZOEK	KLEPSTUWEN	No. 73 - 4 - 01
LANDBOUWHOGESCHOOL		D.D. 5-4-'73
HYDRAULICA	LABORATORIUM	Project 71-54
Blad - 1 van. 1	Maten:	Gez.
Rev.:	Omschr.: KLEPSTUW SLUIS 1	Schaal
		File