

NN31050.85-09

1985-09

stora

**Meten en bemonsteren
van
afvalwaterstromen**

**IV. Minimalisering put-afmetingen
(venturi meetgoten)**

z.v.l.

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

NR 31050, BS-39



postbus 414, 2280 AK rijswijk 070 - 99.11.33 stichting toegepast onderzoek reiniging afvalwater

Meten en bemonsteren
van
afvalwaterstromen

IV. Minimalisering put-afmetingen
(venturi meetgoten)



31 DEC. 1987



	Inhoud	I
	Ten geleide	III
1	SAMENVATTING	1
2	INLEIDING	2
3	VENTURI-MEETGOTEN	3 - 18
3.1	Doel van het onderzoek	3 - 8
3.2	Resultaten modelonderzoek met de venturi-meetgoot $b/B = 0,4$	8 - 13
3.3	Aanbevolen standaardmeetput	13 - 15
3.4	De nauwkeurigheid van de afvoerbetrekking	15 - 16
3.5	Voorbeeld van ontwerp	16 - 18
4	BESPREKING VAN DE RESULTATEN	19 - 20
5	GERAADPLEEGDE LITERATUUR	21 - 22
	Symbolen en eenheden	23 - 24
	BIJLAGE 1 - Tabellen	25 - 34
	BIJLAGE 2 - Figuren	35 - 47
	BIJLAGE 3 - Fotobladen	49 - 51

Ten geleide

De door ISO voorgeschreven aanstroo lengte van venturigoten voor de debietmeting van afvalwaterstromen is - gezien de hoge beoogde nauwkeurigheid - vrij groot.

Het voorliggende rapport beschrijft een onderzoek naar de mogelijkheden deze afmetingen te reduceren.

Door de gootlengte primair te relateren aan de maximale overstorthoogte en niet aan de gootbreedte, blijken reducties in deze afmetingen mogelijk. De fout ten opzichte van het ware debiet, die daardoor ontstaat, bedraagt slechts 2 à 3%.

Het onderzoek werd door het algemeen bestuur van de STORA, op voorstel van de Onderzoekadviescommissie*, opgedragen aan de vestiging Wageningen van het Waterloopkundig Laboratorium. Projectleider was ing. W. Boiten die zijn bevindingen vastlegde in rapport M1953 van het Waterloopkundig Laboratorium.

De commissie die namens de STORA dit onderzoek begeleidde, bestond uit: ing. D. van Droffelaar (voorzitter), ing. J. Hendriksma en ing. P. Jansen.

Rijswijk, oktober 1985.

De directeur van de STORA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

* De Onderzoekadviescommissie, die tot dit project adviseerde, bestond uit: prof.ir. A.C.J. Koot (voorzitter), drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff (secretaris) en dr.ir. H.J. Eggink, prof.dr. P.G. Fohr, ir. R. Karper, ir. C.H. Kuggeleijn, ir. J.S. Kuyper, ir. Th.G. Martijn, ir. H.A. Meijer, ir. H.M.J. Scheltinga, dr.ir. D.W. Scholte Ubink, ir. J. van Seim, ir. M. Tiessens, drs. A.A. Wismeijer (leden).

De afmetingen van putten met venturigoten voor de debietmeting van afvalwaterstromen zijn door de "International Organization for Standardization (ISO)" vastgelegd in het voorschrift ISO 4359 "Rectangular, trapezoidal and V-shaped flumes, 01-07-1983".

De hierin voorgeschreven aanstroo lengten bovenstrooms van de meetsectie zijn vrij groot om de debieten met een grote mate van betrouwbaarheid af te kunnen leiden uit de gemeten overstorthoogte. Verkorting van deze aanstroo lengte leidt tot verslechtering van de condities in de h-meetraai, waardoor een afwijkende overstorthoogte h wordt gemeten en dientengevolge debieten met een afwijking.

Onder de voorwaarde dat de fout in de bepaling van het debiet niet groter werd dan 2 à 3% ten opzichte van het ware debiet, is in schaalmodellen onderzocht hoever de aanstroo lengte ervan kon worden teruggebracht.

Het onderzoek heeft zich beperkt tot de veelvoorkomende goot met een keelverhouding $b/B = 0,4$ en zijdelingse aanstroming via een scherpe bocht. Door de gootlengte primair te relateren aan de maximale overstorthoogte en niet meer aan de gootbreedte (ISO) bleek reductie van afmetingen mogelijk.

Het in dit rapport beschreven onderzoek had tot doel het verkleinen van de aanstroamlengte van venturi-goten in meetputten voor de debietmeting van afvalwaterstromen.

De International Organization for Standardization (ISO) heeft voor deze debietmeetinrichting de Standard ISO 4359 "Rectangular, trapezoidal and V-shaped flumes, 01-07-1983" opgesteld.

De hierin voorgeschreven aanstroamlengten bovenstrooms van de meetsectie zijn vrij groot, teneinde in de raai waar de overstorthoogte h wordt gemeten een goede snelheidsverdeling en een rustige waterspiegel te hebben. Slechts dan is het mogelijk, de debieten met een grote mate van betrouwbaarheid af te leiden uit de gemeten overstorthoogte.

Verkleinen van de aanstroamlengte leidt tot verslechtering van de condities in de h -meetraai, waardoor een afwijkende overstorthoogte h wordt gemeten.

De hieruit bepaalde debieten houden dientengevolge eveneens een afwijking in.

Randvoorwaarde in het huidige onderzoek is, dat de fout in de bepaling van het debiet - ten gevolge van het verkleinen van de put-afmetingen - beperkt blijft tot 2 à 3%.

Bij het onderzoek ter verkleining van de meetputten met Thomson-meetschotten bleek het plaatsen van een duikschot op enige afstand bovenstrooms van het meetschot een ordenend effect te hebben op een sterk verstoord stroombeeld.

De stroomsnelheden in venturigoten zijn doorgaans hoger dan die in meetputten met scherpe overlaten; toepassing van een duikschot zou tot te grote vervallen leiden. De minimalisering van de put-afmetingen voor venturi-goten heeft uitsluitend betrekking gehad op de aanstroamlengte Y tot de h -meetraai, in een venturi met een keelverhouding $b/B = 0,4$.

3 VENTURI-MEETGOTEN

3.1 Doel van het onderzoek

De aanstroomb lengte voor de venturi-meetgoot zal zó ver worden verkleind – uitgaande van ISO 4359-1983 – dat de hierdoor ontstane fout in de debietbepaling niet meer bedraagt dan 2 à 3%, in het verdere onderzoek gesteld op 2,5% ten opzichte van het ware debiet.

Het onderzoek wordt uitgevoerd met behulp van een schaalmodel, $n_1 = 5$.

De afvoerformule voor de venturi-meetgoot luidt:

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \cdot \sqrt{g} \cdot b \cdot C_D \cdot C_V \cdot h^{1,50} \quad (I)$$

waarin:

Q het debiet (m^3/s)

g versnelling t.g.v. de zwaartekracht, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

b keelbreedte van de venturi (m)

C_D de karakteristieke afvoercoëfficiënt (-)

$$C_D = \left(1 - \frac{2\delta_* \cdot L}{L \cdot b}\right) \cdot \left(1 - \frac{\delta_* \cdot L}{L \cdot h}\right)^{1,50} \quad (II)$$

δ_* = grenslaag verplaatsingsdikte (m)

L = keellengte (m)

C_V coëfficiënt voor de aanloopsnelheid (-)

h overstorthoogte (m)

De karakteristieke afvoercoëfficiënt C_D wordt mede bepaald door de grenslaagverplaatsingsdikte δ_* , die afhankelijk is van:

a) de ruwheid van de keelwand en -bodem.

Deze wordt uitgedrukt in de equivalente wandruwheid k_s .

Tabel 1 geeft k_s -waarden voor verschillende constructiematerialen.

Surface classification	Values in millimetres	
	Values of k_s	
	Good example	Normal value
Plastics (and similar)		
Perspex, PVC or other smooth-faced plastics	—	0,003
Asbestos cement	—	0,015
Resin-bonded, glass fibre moulded against smooth forms of sheet metal or well-sanded and painted timber	0,03	0,06
Metal		
Smooth, machined and polished metal	0,003	0,006
Uncoated sheet metal, rust free	0,015	0,03
Painted sheet metal	0,03	0,06
Galvanized metal	0,06	0,15
Painted or coated casting	0,06	0,15
Uncoated casting	0,15	0,3
Concrete or filled in		
In-situ or precast construction using steel formwork, with all irregularities rubbed down	0,06	0,15
In-situ or precast construction using plywood or wrought timber formwork	0,3	0,6
Smooth trowelled cement rendering	0,3	0,6
Concrete with thin film or sewage slime	0,6	1,5
Wood		
Planed timber or plywood	0,3	0,6
Well sanded and painted	0,03	0,06

Tabel 1. Aanbevolen ruheidswaarden k_s voor de wanden van venturi-meetgoten (overgenomen uit ISO 4359)

b) de viscositeit van de vloeistof, uitgedrukt door het getal van Reynolds:

$$Re = \frac{l}{\nu} \cdot \left(\frac{gQ}{b}\right)^{1/3} \quad (III)$$

waarin:

ν de kinematische viscositeitscoëfficiënt (m^2/s)

Tabel 2 geeft ν -waarden voor water van verschillende temperaturen.

Temperature °C	Kinematic viscosity, ν m^2/s
0	$1,79 \times 10^{-6}$
5	$1,52 \times 10^{-6}$
10	$1,31 \times 10^{-6}$
15	$1,14 \times 10^{-6}$
20	$1,01 \times 10^{-6}$
25	$0,90 \times 10^{-6}$
30	$0,81 \times 10^{-6}$

Tabel 2. De viscositeit van water (overgenomen uit ISO 4359)

Voor de bepaling van Re wordt Q eerst globaal berekend met $C_D \cdot C_V = 1$, waarna desgewenst, via een snel verlopend iteratieproces, de nauwkeurigheid

van Re kan worden verbeterd. Meestal is dit niet nodig, omdat $\frac{\delta^*}{L}$ slechts weinig varieert met Re.

Figuur 1 geeft de relatieve grenslaagverplaatsingsdikte $\frac{\delta^*}{L}$ als functie van de beide parameters L/k_s en Re.

De Standard ISO 4359 vermeldt een gemiddelde waarde $\frac{\delta^*}{L} = 0,003$, die geldig is voor venturi's waarvan de wanden goed afgewerkt zijn, en mits voldaan wordt aan de voorwaarden $10^5 < L/k_s < 4000$ en $Re > 2 \cdot 10^5$.

Vergelijking II wordt dan:

$$C_D = \left(1 - \frac{0,006 L}{b}\right) \cdot \left(1 - \frac{0,003 L}{h}\right)^{1,50}$$

Tabel 3 geeft C_D als functie van L/b en h/L .

$\frac{L}{b}$	$\frac{h}{L}$													
	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05
0,2	0,982 4	0,991 9	0,991 3	0,990 6	0,989 8	0,988 8	0,987 6	0,986 0	0,983 9	0,980 9	0,975 4	0,969 0	0,954 2	0,910 3
0,4	0,991 2	0,990 7	0,990 1	0,989 4	0,988 6	0,987 6	0,986 4	0,984 8	0,982 7	0,979 7	0,975 2	0,967 8	0,953 0	0,909 2
0,6	0,990 0	0,989 5	0,988 9	0,988 3	0,987 5	0,986 5	0,985 2	0,983 6	0,981 5	0,978 5	0,974 1	0,966 7	0,951 9	0,908 1
0,8	0,988 8	0,988 3	0,987 8	0,987 1	0,986 3	0,985 3	0,984 0	0,982 5	0,980 3	0,977 4	0,972 9	0,965 5	0,950 2	0,907 0
1,0	0,987 6	0,987 2	0,986 6	0,985 9	0,985 1	0,984 1	0,982 9	0,981 3	0,979 2	0,976 2	0,971 7	0,964 4	0,949 6	0,905 9
1,2	0,986 5	0,986 0	0,985 4	0,984 7	0,983 9	0,982 9	0,981 7	0,980 1	0,978 0	0,975 0	0,970 6	0,963 2	0,948 5	0,904 8
1,4	0,985 3	0,984 8	0,984 2	0,983 5	0,982 7	0,981 8	0,980 5	0,978 9	0,976 8	0,973 9	0,969 4	0,962 0	0,947 4	0,903 8
1,6	0,984 1	0,983 6	0,983 1	0,982 4	0,981 6	0,980 6	0,979 3	0,977 8	0,975 7	0,972 7	0,968 3	0,960 9	0,946 2	0,902 7
1,8	0,982 9	0,982 4	0,981 9	0,981 2	0,980 4	0,979 4	0,978 2	0,976 6	0,974 5	0,971 5	0,967 1	0,959 8	0,945 1	0,901 6
2,0	0,981 8	0,981 3	0,980 7	0,980 0	0,979 2	0,978 2	0,977 0	0,975 4	0,973 3	0,970 4	0,966 0	0,958 6	0,944 0	0,900 5
2,2	0,980 6	0,980 1	0,979 5	0,978 9	0,978 1	0,977 1	0,975 8	0,974 3	0,972 2	0,969 2	0,964 8	0,957 5	0,942 9	0,899 1
2,4	0,979 4	0,978 7	0,978 4	0,977 7	0,976 9	0,975 9	0,974 7	0,973 1	0,971 0	0,968 1	0,963 7	0,956 3	0,941 7	0,898 4
2,6	0,978 3	0,977 8	0,977 2	0,976 5	0,975 7	0,974 8	0,973 5	0,972 0	0,969 9	0,966 9	0,962 5	0,955 2	0,940 6	0,897 3
2,8	0,977 1	0,976 6	0,976 1	0,975 4	0,974 6	0,973 6	0,972 4	0,970 8	0,968 7	0,965 8	0,961 4	0,954 1	0,939 5	0,896 3
3,0	0,975 9	0,975 5	0,974 9	0,974 2	0,973 4	0,972 4	0,971 2	0,969 6	0,967 6	0,964 6	0,960 2	0,952 9	0,938 4	0,895 2
3,2	0,974 8	0,974 3	0,973 3	0,973 1	0,972 3	0,971 3	0,970 1	0,968 5	0,966 4	0,963 5	0,959 1	0,951 8	0,937 3	0,894 1
3,4	0,973 6	0,973 1	0,972 6	0,971 9	0,971 1	0,970 1	0,968 9	0,967 3	0,965 3	0,962 3	0,958 0	0,950 7	0,936 2	0,893 1
3,6	0,972 5	0,972 0	0,971 4	0,970 8	0,970 0	0,969 0	0,967 8	0,966 2	0,964 1	0,961 2	0,956 8	0,949 5	0,935 0	0,892 0
3,8	0,971 3	0,970 8	0,970 3	0,969 6	0,968 8	0,967 8	0,966 6	0,965 1	0,963 0	0,960 1	0,955 7	0,948 4	0,933 9	0,890 9
4,0	0,970 2	0,969 7	0,969 1	0,968 5	0,967 7	0,966 7	0,965 5	0,963 9	0,961 8	0,958 9	0,954 6	0,947 3	0,932 8	0,889 9
4,2	0,969 0	0,968 5	0,968 0	0,967 3	0,966 5	0,965 6	0,964 3	0,962 8	0,960 7	0,957 8	0,953 4	0,946 2	0,931 7	0,888 8
4,4	0,967 9	0,967 4	0,966 8	0,966 2	0,965 4	0,964 4	0,963 2	0,961 6	0,959 6	0,956 6	0,952 3	0,945 1	0,930 6	0,887 8
4,6	0,966 7	0,966 3	0,965 7	0,965 0	0,964 2	0,963 3	0,962 1	0,960 5	0,958 4	0,955 5	0,951 2	0,943 9	0,929 5	0,886 7
4,8	0,965 6	0,965 1	0,964 6	0,963 9	0,963 1	0,962 1	0,960 9	0,959 4	0,957 3	0,954 4	0,950 0	0,942 8	0,928 4	0,885 7
5,0	0,964 5	0,964 0	0,963 4	0,962 8	0,962 0	0,961 0	0,959 9	0,958 3	0,956 2	0,953 3	0,949 0	0,941 8	0,927 4	0,884 7

NOTE - The number of significant figures given in the columns for coefficient of discharge should not be taken to imply a corresponding accuracy but only to assist in interpolation and analysis.

Tabel 3. Afvoercoëfficiënt C_D voor meetgoten met een rechthoekige keel
(overgenomen uit ISO 4359)

De coëfficiënt C_V voor meetgoten met een rechthoekige keel en zonder drempel ($P = 0$), wordt berekend met de formule

$$\frac{4}{27} \cdot \left(\frac{b}{B}\right)^2 \cdot C_D^2 \cdot C_V^2 - C_V^{2/3} + 1 = 0 \quad (IV)$$

Tabel 4 geeft C_V -waarden voor meetgoten met rechthoekige keel.

$\frac{C_D}{b/B}$	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00
0,40	1,0338	1,0345	1,0353	1,0361	1,0369	1,0378	1,0386
0,45	1,0436	1,0446	1,0457	1,0468	1,0478	1,0489	1,0500
0,50	1,0552	1,0565	1,0578	1,0592	1,0606	1,0620	1,0635
0,55	1,0686	1,0703	1,0720	1,0738	1,0756	1,0774	1,0793
0,60	1,0842	1,0864	1,0886	1,0909	1,0932	1,0956	1,0980
0,65	1,1025	1,1053	1,1081	1,1110	1,1140	1,1170	1,1201
0,70	1,1240	1,1275	1,1311	1,1348	1,1386	1,1425	1,1465

Tabel 4. Coëfficiënt C_V voor meetgoten zonder bodemverhoging en met rechthoekige keel

Aanstroomcondities

Standard ISO 4359 zegt over het aanstroomkanaal van de venturi het volgende:
 "Bovenstrooms van de h-meetraai is een lengte van 5x de gootbreedte voldoende, mits aan de volgende voorwaarden wordt voldaan:

- de dwarsdoorsnede is uniform
- de aanstroming vindt niet via een scherpe bocht of via een onderwateropening plaats onder hoge snelheid
- constructies zoals grondblokken – bedoeld om de energie te dempen – zullen minstens op een lengte van $10 H_{\max}$ verwijderd zijn van de h-meetraai
- als zich bovenstrooms een watersprong voordoet, dan zal deze minstens op een lengte van $30 H_{\max}$ verwijderd zijn van de h-meetraai."

Veel venturi-meetgoten worden niet-ideaal aangestroomd.

Uit een opgave van het RIZA en de Gem. Techn. Dienst Oost-Brabant volgen de gegevens van twintig venturi-meetgoten, zoals samengevat in tabel 5.

Uit deze inventarisatie blijkt, dat het meest voorkomende type, de meetgoot is met een twee-zijdige aanstroming, direkt achter de nabezinktank van een rioolwaterzuiveringsinrichting.

B (m)	b (m)	L (m)	Q _{max} (m ³ /s)	h _{max} (m)	b/B (-)	h _{max} /L (-)	aanstroamlengte Y (m)		aanstroming
							aanwezig (circa)	vereist Y = 5B	
0,915	0,457	0,915	0,253	0,472	0,505	0,52	13,60	4,58	
0,500	0,333	0,300	0,222	0,535	0,666	1,78	8,30	2,50	??
1,030	0,515		0,389	0,581	0,500		10,25	5,15	
0,550	0,275		0,215	0,595	0,500		3,85	2,75	2-zijdig, haaks
0,800	0,320	Khaf.	0,250	0,594	0,400			4,00	
0,800	0,400		0,333	0,620	0,500		5,70	4,00	1-zijdig onder 135°
0,700	0,400	0,400	0,390	0,689	0,571	1,72	3,20	3,50	1-zijdig, haaks, bodemval 1,20 m voor de bocht + van onderen
0,650	0,433		0,500	0,771	0,666			3,25	
1,250	0,685	1,370	0,833	0,798	0,548	0,58	14,05	6,25	2-zijdig, haaks
1,000	0,40	Khaf.	0,500	0,813	0,400			5,00	
1,000	0,500	2,550	?	?	0,500		14,65	5,00	2-zijdig, haaks
2,000	1,000	1,050	?	?	0,500		11,30	10,00	van onderen, Δh = 1,06 m
0,900	0,550	0,550	0,328	0,496	0,611	0,90	5,90	4,50	2-zijdig, haaks, bodemval 0,50 m voor de bocht, forse golven
1,520	0,760	1,520	0,500	0,530	0,500	0,35	12,50	7,60	1-zijdig, haaks
2,000	1,100	1,100	2,500	1,211	0,550	1,10	8,50	10,00	2-zijdig, haaks, bodemval 0,70 m na de bocht, soms opstuwning
1,520	0,75	1,000	0,806	0,735	0,493	0,74	13,20	7,60	2-zijdig
0,700	0,450	0,450	0,500	0,752	0,643	1,67	17,65	3,50	van onderen uit put, Δh = 1,85 m
0,800	0,400	0,800	0,211	0,457	0,500	0,57	0,70	4,00	2-zijdig, broekstuk, bodemval 0,45 m voor splitsing
1,000	0,500	1,000	0,289	0,486	0,500	0,49	1,00	5,00	2-zijdig, broekstuk, bodemval 0,45 m voor splitsing
1,520	0,760	1,520	1,000	0,841	0,500	0,55	15,00	7,60	van onderen, Δh = 3,05 m

Tabel 5. Hoofddimensies van twintig venturi-meetgoten uit de praktijk

Op de fotobladen 1 en 2 zijn de venturi-meetgoten uit Weesp, Breukelen en Bunschoten afgebeeld.

Het onderzoek heeft zich beperkt tot de venturi-meetgoot met een lange keel, $L > 1,5 H_{\max}$, en een keelverhouding $b/B = 0,4$.

- de maximale belasting $h/L = 0,67$ is conform ISO 4359
- de achtergrond voor de keuze $b/B = 0,4$ is de constatering dat bij nieuwbouw de laatste jaren overwegend Khafagi-venturi's worden ingebouwd waarvoor óók $b/B = 0,4$ geldt (overigens is bij de Khafagi-venturi $L = 0$).

De voordelen van een relatief lage keelverhouding zijn meettechnisch:

- betrekkelijk lage snelheden, minder turbulentie, daardoor een rustiger waterspiegel en waarschijnlijk een kortere benodigde aanstroamlengte.
- lage afvoeren worden relatief nauwkeuriger gemeten (grotere h_{\max}).

De schaal van het model volgt uit:

- de maximaal toegestane overstorthoogte in het prototype $h_{\text{max-prot}} = 2,00 \text{ m}$

- de capaciteit van de modelinstallatie, die resulteert in

$$h_{\text{max-mod}} = 0,40 \text{ m.}$$

De lengteschaal wordt dan $n_1 = 2,00/0,40 = 5$ (lengteschaal = breedteschaal = diepteschaal).

3.2 Resultaten modelonderzoek met de venturi-meetgoot $b/B = 0,4$

Het onderzoek is uitgevoerd in een goot $B=0,518 \text{ m}$ (zie fig. 2 en fotoblad 3).

De breedte van de keel bedroeg $b = 0,2033 \text{ m}$.

Het instroom- en het uitstroombegedeelte, zoals aangegeven in figuur 2, zijn geheel conform ISO 4359.

De model venturi-meetgoot is gemaakt van P.V.C. Voor de ruwheid van dit materiaal kan worden aangenomen $k_s = 100 \cdot 10^{-6} \text{ m}$.

De afvoerbetrekking van de model-venturimeetgoot onder ideale aanstroombcondities is geheel volgens de richtlijnen van ISO 4359 opgesteld.

- $L = 0,60 \text{ m}$ en $k_s = 100 \cdot 10^{-6} \text{ m}$, waaruit $L/k_s = 6000$

- Re is berekend met formule III, waarbij $v = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (watertemperatuur $15 \text{ à } 20 \text{ }^\circ\text{C}$). Re is ontstaan na iteratie van Q .

- met figuur 1 wordt δ_*/L gevonden

- C_D is berekend met formule II

- C_V is berekend met formule IV

- Q is berekend met formule I.

Ter illustratie volgt in tabel 6 de Q - h betrekking voor enkele h -waarden.

h_1 (m)	Re (-)	δ_*/L (-)	C_D (-)	C_V (-)	Q_{ber} ($10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$)
0,10	$4,4 \cdot 10^5$	0,0023	0,9653	1,0343	10,94
0,15	$5,4 \cdot 10^5$	0,0024	0,9718	1,0348	20,25
0,20	$6,3 \cdot 10^5$	0,0026	0,9732	1,0349	31,23
0,25	$7,0 \cdot 10^5$	0,0028	0,9737	1,0350	43,67
0,30	$7,7 \cdot 10^5$	0,0029	0,9742	1,0350	57,43
0,35	$8,3 \cdot 10^5$	0,0030	0,9746	1,0350	72,38
0,40	$8,9 \cdot 10^5$	0,0031	0,9743	1,0350	88,44

Tabel 6. De berekende Q - h -relatie model-venturi onder ideale aanstroming

Per meetserie zijn circa 10 verschillende debieten ingesteld.

De overstorthoogte werd op de volgende plaatsen gemeten:

- in een peilput langs de rechterwand op $Y = 0,40 \text{ m} \rightarrow h_1$
- in een peilput langs de linkerwand op $Y = 0,40 \text{ m} \rightarrow h_2$
- met een ultrasonore meting op $Y = 0,40 \text{ m} \rightarrow h_s$

De afstand $Y = 0,40 \text{ m}$ komt overeen met $h_{\max} = 0,40 \text{ m}$. Alleen in serie 15 werd gemeten op $Y = 4 h_{\max}$.

Maatgevend voor de beoordeling van de aanstroming is het gemiddelde van de gemeten h_1 en h_2 , waaruit het debiet wordt berekend volgens tabel 6.

De afwijking in het debiet is gedefinieerd als:

$$X_Q = 100 (Q_{\text{ber.}} - Q_{\text{gem.}}) / Q_{\text{ber.}} (\%)$$

Een overzicht van de uitgevoerde meetseries is gegeven in tabel 7.

Hierbij is Y de afstand tussen de verstoring en de h-meetraai.

serie*	type verstoring	Y (m)	resultaten in	
			tabel	figuur
15	ideale aanstroming (meetraai op $4 h_{\max}$)	-	8	4 en 5
16	ideale aanstroming (meetraai op h_{\max})	-	9	6
17	50% afsluiting door één schot	2,141	10	7
18	50% afsluiting na S-bocht	2,141	11	8
19	drempel $P = 0,15 \text{ m}$ "in line"	2,141	12	9
20	zijdelingse aanvoer	2,141	13	11
21	zijdelingse aanvoer via overstort	2,141	14	12
22	zijdelingse aanvoer via overstort + drempel "in line"	1,691	15	13
23	zijdelingse aanvoer via drempel "in line"	1,691	16	14
24	zijdelingse aanvoer na bodemval $\Delta h = 0,33 \text{ m}$	2,141	17 en 18	16
25	zijdelingse aanvoer na bodemval $\Delta h = 0,33 \text{ m}$	2,984	19	17
26	zijdelingse aanvoer na bodemval $\Delta h = 0,33 \text{ m}$	2,55	20	18
27	pijp "in line" $\emptyset 0,38 \text{ m}$	2,04	21	19
28	bodemval $\Delta h = 0,33 \text{ m}$ "in line"	2,55	22	20

Tabel 7. Overzicht van de uitgevoerde meetseries met de venturi $b/B = 0,4$

* De serienummers 1 t/m 14 behoren bij een identiek onderzoek aan rechthoekige scherpe overlaten.

De vormgeving van de verschillende verstoringen is getekend in:

Figuur 3 meetseries 15 t/m 19

Figuur 10 meetseries 20 t/m 23

Figuur 15 meetseries 24 t/m 28.

Series 15 en 16 zijn uitgevoerd met een grote ongestoorde aanstroamlengte, ter vergelijking met de gegevens uit de Standard ISO 4359.

Bij serie 15 werd de waterstand gemeten op een afstand $4 h_{\max}$ vanaf het begin van de venturi.

Tabel 8 en figuur 4 geven de resultaten.

Tijdens twee metingen in serie 15 is het verloop van de waterspiegel gemeten in het hart van de goot met een Pitotbuis. Het doel was om na te gaan hoe de waterspiegeldaling bij het naderen van de venturi eruit ziet, en of op grond daarvan de h-meetraai, nu nog op $4 h_{\max}$, verplaatst zou kunnen worden in de richting van de venturi.

Figuur 5 toont het verloop van de waterspiegel. Uit meting 15-10 ($h = h_{\max}$) blijkt dat in het afstandstrajekt van 1,60 m tot 0,40 m vanaf de venturi er geen waterspiegeldaling optreedt. De h-meetraai die gewoonlijk op $Y = 3 \text{ à } 4 h_{\max}$ vanaf het begin der venturi ligt, kan worden opgeschoven tot $Y = h_{\max}$.

Vanaf serie 16 is de plaats van de h-meetraai $Y = h_{\max}$.

Tabel 9 en figuur 6 geven de resultaten.

Uit de metingen met ongestoorde aanstroamlengte volgt $X_Q < 1,3\%$, hetgeen er op duidt dat de venturi in het model een Q-h relatie levert, die een betrouwbare reproductie is van die volgens ISO 4359.

Series 17 t/m 19 zijn uitgevoerd om inzicht te verkrijgen in het stroombeeld na een aantal forse verstoringen (zoals aangegeven in figuur 3) en de gevolgen daarvan op de metingen van de waterstand in de h-meetraai.

In serie 17 is de aanvoer op $Y \approx 5,4 h_{\max}$ voor 50% afgesloten door een enkel schot. Het stroombeeld is tamelijk instabiel.

Tabel 10 en figuur 7 geven de resultaten. De meetfouten variëren van $X_Q = -5\%$ bij $h/L = 0,20$ tot $X_Q = -3\%$ bij $h/L = 0,67$.

In serie 18 is de aanvoer weer op $Y = 5,4 h_{\max}$ voor 50% afgesloten, nu door twee schotten, waardoor het water een S-bocht moet nemen. Het stroombeeld is zeer instabiel.

Tabel 11 en figuur 8 geven de resultaten. De meetfouten variëren van $X_Q = -20\%$ bij $h/L = 0,20$ tot $X_Q = -7\%$ bij $h/L = 0,67$.

In serie 19 vindt de aanvoerplaats via een drempel met $P = 0,15$ m op

$Y = 5,4 h_{\max}$. De drempelhoogte is zó gekozen dat er op het traject tussen drempel en venturi een verdrongen watersprong optreedt, die een woelige waterspiegel veroorzaakt.

Tabel 12 en figuur 9 geven de resultaten. Het blijkt dat er – mits de te meten waterstand goed uitgedempt wordt via een peilput of ultrasonoor – nauwelijks sprake is van een extra meetfout X_Q .

Serie 20 t/m 26 hebben tot doel de effecten van een zijdelingse aanvoer vast te leggen. Vooral in rioolwaterzuiveringsinrichtingen wordt het effluent in veel gevallen gemeten nadat het water de nabezinktank is gepasseerd. De aanvoer naar de meetgoot vindt dan plaats onder 90° , in sommige gevallen eenzijdig, in andere tweezijdig. In het model is gekozen voor een eenzijdige aanstroming, omdat deze een sterker asymmetrisch stroombeeld te zien zal geven – en daardoor een grotere meetfout – dan bij tweezijdige aanstroming.

Het overzicht van de vormgevingen staat in de figuren 10 en 15.

Serie 20 is een zijdelingse aanstroming zonder verdere verstoringen.

Tabel 13 en figuur 11 geven de resultaten.

In het gemeten bereik $0,2 < h/L < 0,67$ blijft de meetafwijking X_Q binnen de toleranties.

Serie 21 heeft aan het eind van de zijdelingse aanvoer een overstortwand, hoog $P = 0,33$ m, waardoor het water zijdelings binnenkomt, en vrij valt.

Tabel 14 en figuur 12 geven de resultaten.

Ondanks een woelige waterspiegel blijft ook nu X_Q binnen de toleranties in het gemeten bereik.

Serie 21 toont dezelfde aanvoer als serie 20. Daarnaast ligt de drempel $P = 0,15$ m, die in serie 19 is toegepast op $Y = 2,141$ m, nu op $Y = 1,691$ m.

Tabel 14 en figuur 13 geven de resultaten.

Uit de figuur blijkt dat de verstoorde aanstroming voor de lage afvoeren, $h/L < 0,3$ tot meetfouten leidt die de tolerantie $X_Q = \pm 2,5\%$ overschrijden.

Serie 21 lijkt veel op serie 20. Nu is echter de overstortwand weggenomen.

Tabel 16 en figuur 14 geven de resultaten.

Ook nu lijkt de verstoerde aanstroming voor de lage afvoeren $h/L < 0,25$ te leiden tot te grote meetafwijkingen X_Q .

Blijkbaar is de aanstroamlengte $Y = 4,2 h_{\max}$ na een drempel $P = 0,15$ m en een zijdelingse aanvoer op $Y = 5,4 h_{\max}$, te kort.

Series 24, 25 en 26 zijn situaties, waarbij de bodemval $P = 0,33$ m vlak

vóór de bocht ligt. De aanstroo lengte Y is gevarieerd en was respectievelijk $5,4 h_{\max}$, $7,5 h_{\max}$ en $6,4 h_{\max}$ (zie ook fig. 15).

De tabellen 17 t/m 20 en de figuren 16 t/m 18 geven de resultaten.

Voor alle drie series geldt dat meting van de waterstand in een goed uitdempende peilput niet tot extra meetafwijkingen leidt. Dit geldt bij serie 24 niet voor de ultrasonore meting in het hart van de goot (fig. 16). De conclusie is dat voor $Y \geq 6,4 h_{\max}$ de meetfout gemiddeld wel binnen de tolerantie ligt: er is enige spreiding bij de lage afvoeren $h/L \leq 0,2$.

Serie 27 toont een pijpaanvoer "in line". De pijpdiameter D is zó gekozen dat de snelheid in de pijp bij maximale belasting $h/L = 0,67$ in werkelijkheid $v = 1,75$ m/s is. De bodemhoogten van pijp en aanstroo kanaal zijn dezelfde. Tabel 21 en figuur 19 geven de resultaten bij $Y = 4 h_{\max}$.

Afgezien van enige spreiding bij de lage afvoeren $h/L \leq 0,2$ is er geen systematische meetafwijking ten gevolge van een gestoord stroombeeld.

De aanstroo lengte $Y = 6,4 h_{\max}$ is bij pijpaanvoer $v_{\max} \leq 1,75$ m/s voldoende.

Serie 28 toont een bodemval "in line" op $Y = 6,4 h_{\max}$ met een hoogteverschil $\Delta h = 0,83 h_{\max}$.

Tabel 22 en figuur 20 geven de resultaten.

De meetafwijkingen X_Q liggen binnen de toleranties.

Conclusies:

- a) De benodigde aanstroo lengte Y — lengte van het uniform profiel tot de h -meetraai — kan voor een venturi $b/B = 0,4$ zowel aan h_{\max} als ook aan de gootbreedte B of de keelbreedte b worden gerelateerd. Tot nu toe gebeurde dat in dit onderzoek aan h_{\max} . Om de resultaten te kunnen vergelijken met de voorwaarden volgens ISO 4359, wordt Y óók gerelateerd aan B .
- b) Een aanstroo lengte $Y = 5,4 h_{\max} = 4,2 B$ is onvoldoende:
 - als de aanvoergoot gedeeltelijk wordt geblokkeerd (series 17 en 18)
 - bij een zijdelingse aanvoer, gevolgd door een lage drempel,
 $P = 0,4 h_{\max}$ hoog, op $Y = 4,2 h_{\max}$ (series 22 en 23)
 - bij een zijdelingse aanvoer, aan het eind waarvan een bodemval
 $\Delta h = 0,8 h_{\max}$ (serie 24)
- c) Een aanstroo lengte $Y = 5,4 h_{\max} = 4,2 B$ is voldoende:
 - bij een lage drempel $P \leq 0,4 h_{\max}$ "in line" (serie 19)
 - zijdelingse aanvoer zonder drempel of bodemval (serie 20)

- zijdelingse aanvoer in vrije val via een overstort $P = 0,8 h_{\max}$ (serie 21)
 - pijpaanvoer, mits de snelheid in de pijp $v < 1,75$ m/s is (serie 27)
 - ongestoorde afvoer (series 15 en 16).
- d) Een aanstroamlengte $Y = 6,4 h_{\max} = 5B$ is voldoende:
- bij zijdelingse aanvoer, aan het eind waarvan een bodemval $\Delta h = 0,8 h_{\max}$ (serie 26)
 - bij een bodemval $\Delta h = 0,8 h_{\max}$ "in line" (serie 28).

De aanbevolen minimale afstand wordt $Y = 6,4 h_{\max}$ en $Y = 5B$.

3.3 Aanbevolen standaardmeetput

Met behulp van proeven in een schaalmodel $n_1 = 5$ van een venturi-meetgoot $b/B = 0,4$ is gevonden dat de aanstroamlengte van deze venturi in veel gevallen kleiner kan worden gekozen dan volgens de Standard ISO 4359. Het onderzoek heeft zich hoofdzakelijk gericht op de veel voorkomende zijdelingse aanstroming via een scherpe bocht. De Internationale Standard ISO 4359 schrijft voor dat de aanstroamlengte 5x de gootbreedte moet bedragen, mits het water onder meer niet via een scherpe bocht de meetgoot binnenkomt. In dat geval is de benodigde aanstroamlengte meer.

In het huidige onderzoek is de aanstroamlengte primair gerelateerd aan de maximale overstorthoogte. Deze is - in overeenstemming met ISO 4359 - aangehouden op $h_{\max} = 0,67 L$.

Een principeschets van de venturi-meetgoot - volgens de ISO - is gegeven in figuur 21.

Bij het ontwerp van een venturi-meetgoot zijn de belangrijkste randvoorwaarden:

- Q_{\max}
- beschikbaar verval. Het totale benodigde verval over de venturi bestaat uit de:
 - . h_{\max} , de overstorthoogte bij Q_{\max} . Voorwaarde $h_{\max} \leq 2,00$ m.
 - . verminderd met $0,8 h_{\max}$, zijnde de maximaal toelaatbare benedenwaterstand waarbij de afvoer nog ongestuwd is. Deze zogeheten modulaire grens $S = 80\%$ geldt, mits $h/L < 0,67$ is.

Het totaal verval ten behoeve van de debietmeting wordt dan: $0,2 h_{\max}$.

Achtereenvolgens worden de afmetingen van de venturi-meetgoot en de bijbehorende standaard meetput vastgesteld

a) De breedten b en B

De breedte b van de keel wordt berekend uit Q_{\max} en h_{\max} .

$$\text{Globaal } b = Q_{\max} / 1,705 * 1,00 * (h_{\max})^{1,50}.$$

Voorwaarde $b \geq 0,10$ m en $b \geq 1/3 h_{\max}$.

Met betrekking tot de keelverhouding gaat de voorkeur uit naar $b/B = 0,4$ (zie par. 3.1). Het onderzoek heeft zich tot deze keelverhouding beperkt.

De conclusies en de aanbeveling met betrekking tot de aanstroomlengte Y gelden uitsluitend voor $b/B = 0,4$.

Hiermee is ook de gootbreedte B vastgesteld.

b) De venturi zelf bestaat uit de keel, een inloop en een uitloop.

. voor de keellengte geldt $L \geq 1,5 h_{\max}$

. de inloop wordt afgerond met $R = 2(B - b)$ volgens ISO 4359.

Met een keelverhouding $b/B = 0,4$ wordt $R = 1,2 B$. De lengte van deze afronding in de stroomrichting wordt $L_u = 0,794 B$.

. de uitloop is divergerend onder 1:6, waardoor de lengte ervan wordt:

$$L_d = 3(B - b) \text{ volgens ISO 4359.}$$

Met $b/B = 0,4$ wordt $L_d = 1,8 B$. Als echter de benedenwaterstand voldoende laag is, dan mag de uitloop worden afgeknot (fig. 21 en 22).

De totale lengte van de venturi met volledige uitloop wordt

$$L_v = 1,5 h_{\max} + 2,594 B.$$

c) Voor de afstand Y - lengte van het uniform profiel van de goot tot de h-meetraai - geldt: $Y \geq 6,4 h_{\max}$ en $Y \geq 5B$.

d) De h-meetraai.

De sectie waarin de overstorthoogte in een peilput wordt gemeten, ligt op een afstand $1 \text{ à } 2 h_{\max}$ vanaf het begin van de venturi. Aanbevolen afstand $1,5 h_{\max}$.

e) De hoogte K van de meetgoot.

Hierin heeft de ontwerper enige vrijheid. Aanbevolen: $K = 1,5 h_{\max}$.

In de hiervoor ontwikkelde procedure ter vaststelling van de hoofdafmetingen voor de standaard meetput is nog geen keuze gemaakt voor een verhouding $L/b = 3$. Doordat het modelonderzoek plaats had met een venturi-meetgoot $L/b = 3$ wordt de optimale aanstroomlengte voor deze meetgoot gevonden in $Y = 6,4 h_{\max} = 5,12 B$.

Omdat geen onderzoek is uitgevoerd met andere L/b verhoudingen, wordt voor elk ontwerp $L/b \neq 3$ als voorwaarde voor de aanstroomlengte aangehouden $Y \geq 6,4 h_{\max}$ én $Y \geq 5,12 B$.

Voor de onderzochte venturi-meetgoot geldt: . $h_{\max} = 0,67 L$
 . $L/b = 3$
 . $b/B = 0,4$.

Hieruit kan worden afgeleid: $h_{\max} = 0,8 B$.

Figuur 22 geeft de hoofdafmetingen van de standaardmeetput voor de venturi-meetgoot $b/B = 0,4$ en $L/b = 3,0$. Alle afmetingen zijn vermeld in termen van h_{\max} .

3.4 De nauwkeurigheid van de afvoerbetrekking

Met behulp van de in paragraaf 3.1 genoemde afvoerformules I t/m IV kan de afvoerbetrekking worden opgesteld.

De afvoerformule voor de venturi-meetgoot luidt volgens ISO 4359:

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \cdot \sqrt{g} \cdot b \cdot C_D \cdot C_V \cdot h^{1,50}$$

$$C_D = \left(1 - \frac{2\delta_* \cdot L}{L \cdot b}\right) \cdot \left(1 - \frac{\delta_* \cdot L}{L \cdot h}\right)^{1,50}$$

$\frac{\delta_*}{L}$ wordt gevonden met figuur 1

$$C_V \text{ wordt gevonden in: } \frac{4}{27} \cdot \left(\frac{b}{B}\right)^2 \cdot C_D^2 \cdot C_V^2 - C_V^{2/3} + 1 = 0$$

of met tabel 4

De meetfout in de bepaling van het debiet is als volgt gedefinieerd:

$$E_Q = \sqrt{X_c^2 + (1,5 X_h)^2} + X_m$$

waarin:

- E_Q de procentuele onzekerheid in Q
- X_c de procentuele onzekerheid in $C_D \cdot C_V$, ontleend aan ISO 4359
- X_h de fout in de bepaling van h
- X_m extra fout door de verkleinde aanstroomb lengte.

. Volgens ISO 4359 is de gecombineerde onzekerheid in $C_D \cdot C_V$ als volgt:

$$X_c = \pm [1 + 20(C_V - C_D)] \quad (5)$$

. De systematische fout in de bepaling van h kan – mits de nulpuntsbepaling zorgvuldig wordt uitgevoerd en de overbrengingsfouten gering zijn – beperkt blijven tot $\delta_h = 0,004$ m.

De procentuele fout in h wordt $X_h = 100 \cdot (\delta_h / h)$ (%).

. De extra fout door de verkleinde aanstroomb lengte wordt nu in hoofdzaak bepaald door de onrustige waterspiegel. Deze toevallige fout kan laag worden gehouden, mits de waterstand wordt gemeten in een peilput. Gebaseerd op de resultaten van de meetseries 26 en 28 is ze gesteld op $\delta_h = 0,003$ m.

. De procentuele fout wordt $X_m = 1,5 \cdot 100 \cdot (\delta_h/h) = 0,45/h$ (%)

3.5 Voorbeeld van ontwerp

Gegeven: $Q_{\max} = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$
 $Q_{\min} = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ } aanvoer zijdelings via scherpe bocht.

Ontwerpen voor een venturi-meetgoot moeten worden gemaakt voor vier mogelijkheden van beschikbaar verval $0,40 \text{ m} < \Delta h < 0,20 \text{ m}$.

Ontwerp: De voorkeur gaat uit naar een venturi $b/B = 0,4$.

Deze mogen worden belast tot $h/L = 0,67$.

Met $b > \frac{1}{3} h_{\max}$ en $h_{\max} = \frac{2}{3} L$ wordt $L/b \leq 4,5$, waarbij de coëfficiënten worden:

$$C_D \geq 0,967$$

$$C_V = 1,035 > \text{bij maximale belasting wordt } C_D \cdot C_V \approx 1,0.$$

De vier ontwerpen worden ontwikkeld in tabel 23 (maten in m).

ontwerp no.	(1)	(2)	(3)	(4)
beschikbaar totaal verval ΔH	$\geq 0,40$	0,30	0,25	0,20
$h_{\max} = \Delta H/0,2$	2,00	1,50	1,25	1,00
$b_{\min} = Q_{\max}/1,705 \cdot 1,0 \cdot h_{\max}^{1,50}$	0,311	0,479	0,630	0,880
voorwaarde $b > 1/3 h_{\max}$	$\geq 0,667$	0,50	0,417	0,333
gekozen keelbreedte b		0,50	0,64	0,88
gootbreedte $B = 2,5 b$		1,25	1,60	2,20
keellengte $L = 1,5 h_{\max}$		2,25	1,875	1,50
straalinloop $R = 1,2 B$		1,50	1,92	2,64
lengte-inloop $L_u = 0,794 B$		0,993	1,270	1,747
lengte-uitloop $L_d = 1,8 B$		2,25	2,88	3,96
totale lengte venturi:				
$L_v = L + L_u + L_d$		5,493	6,025	7,207
eis $Y \geq 6,4 h_{\max}$		$\geq 9,60$	$\geq 8,00$	$\geq 6,40$
eis $Y \geq 5B$		$\geq 6,25$	$\geq 8,00$	$\geq 11,00$
gekozen aanstroamlengte Y		9,60	8,00	11,00
plaats h -meetraai op $1,5 h_{\max}$		0,75	0,625	0,50
totale gootlengte G :				
$G = Y + 1,5 h_{\max} + L_v$		15,84	14,65	18,71
hoogte $K = 1,5 h_{\max}$		2,25	1,88	1,50

Tabel 23. Voorbeeld ontwerp venturi-meetgoot

De optimale aanstroamlengte Y – ontstaan uit de beide eisen $Y \geq 6,4 h_{\max}$ en $Y \geq 5B$ – is gevonden bij ontwerp (3) waarvoor óók geldt $L/b = 3$.

Tabel 24 geeft een overzicht van de gootlengten en de totale wandoppervlakte, waardoor een indruk ontstaat van de hoeveelheden beton. De totale wandoppervlakte wordt globaal gegeven in $A = G(2K + B)$.

ontwerp no.	(2)	(3)	(4)
breedte meetgoot	1,25	1,60	2,30
gootlengte G (m) uit tabel LXI	15,84	14,65	18,71
goothoogte K (m)	2,25	1,88	1,50
totale wandoppervlakte A (m ²)	91,1	78,5	97,3
L/b	4,5	3,0	1,7

Tabel 24. Onderlinge vergelijking van de afmetingen der voorbeeldontwerpen

Het blijkt dat de venturi-goot $L/b = 3$ ook met betrekking tot de benodigde hoeveelheden bouwmaterialen, een aantrekkelijk ontwerp lijkt.

Vervolgens wordt het ontwerp getoetst aan de eisen, die de Standard ISO 4359 stelt bij het minimum debiet $Q_{\min} = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Deze zijn:

- de meetfout bij voorkeur $E_Q < 5\%$

- $h_{\min} \geq 0,05 L$ en $h_{\min} \geq 0,05 \text{ m}$.

Bij $h/L = 0,1$ en $L/b = 3$ wordt $C_D = 0,938$ volgens tabel 23.

Met $C_V = 1,035$ wordt $C_D \cdot C_V = 0,971$

In tabel 25 worden de meetfouten E_Q berekend en wordt h_{\min} getoetst.

ontwerp no.	$Q_{\max} = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ h_{\max} (tabel 23)			$Q_{\min} = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ $h_{\min} =$ $(Q_{\min}/1,705 \cdot 0,971 \cdot b)^{2/3}$		
	(2)	(3)	(4)	(2)	(3)	(4)
h (m)	1,50	1,25	1,00	0,244	0,207	0,168
$X_h = 100 \cdot 0,004/h$ (%)	0,27	0,32	0,40	1,64	1,93	2,38
X_c volgens formule IX	2,36	2,36	2,36	2,94	2,94	2,94
$X_m = 0,45/h$ (%)	0,30	0,36	0,45	1,84	2,17	2,68
E_Q met formule IV	2,7	2,8	2,9	5,7	6,3	7,3
$h_{\min} \geq 0,05 L$ en						
$h_{\min} \geq 0,05 \text{ m}$	-	-	-	0,113	0,094	0,075

Tabel 25. De meetfoutvariatie in de voorbeeldontwerpen

Het blijkt dat h_{\min} ruimschoots voldoet aan de beide ISO-voorwaarden.

Tenslotte wordt de afvoerrelatie opgesteld voor ontwerp (3).

$$b = 0,64 \text{ m} > b/B = 0,4$$

$$B = 1,60 \text{ m} > L/b = 2,93$$

$$L = 1,875 \text{ m}$$

De ruwheidswaarde van goed afgewerkt beton is volgens tabel 1 : $k_s = 0,0003 \text{ m}$
 waaruit $L/k_s = 6250$.

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \cdot \sqrt{g} \cdot b \cdot C_D \cdot C_V \cdot h^{1,50}$$

$$\left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \cdot \sqrt{g} = 1,705$$

$$b = 0,64$$

C_D wordt berekend met formule II, waarbij i_*/L wordt ontleend
 aan figuur 43, en waartoe Re is berekend met formule III

C_V is berekend met formule IV.

$$Q = 1,0912 \cdot C_D \cdot C_V \cdot h^{1,50}$$

h (m)	Re (-)	i_*/L (-)	C_D (-)	C_V (-)	Q (m ³ /s)	meetfout $\frac{E_Q}{Q}$ (%)
0,20	$1,9 \cdot 10^6$	0,0034	0,9426	1,0340	0,0951	± 6,4
0,30	$2,4 \cdot 10^6$	0,0035	0,9572	1,0351	0,1777	± 4,7
0,40	$2,8 \cdot 10^6$	0,0036	0,9648	1,0356	0,2758	± 4,0
0,50	$3,1 \cdot 10^6$	0,0036	0,9695	1,0360	0,3875	± 3,5
0,60	$3,4 \cdot 10^6$	0,0036	0,9727	1,0363	0,5112	± 3,2
0,70	$3,7 \cdot 10^6$	0,0036	0,9750	1,0365	0,6458	± 3,0
0,80	$3,9 \cdot 10^6$	0,0036	0,9767	1,0366	0,7905	± 2,9
0,90	$4,2 \cdot 10^6$	0,0036	0,9780	1,0368	0,9447	± 2,8
1,00	$4,4 \cdot 10^6$	0,0037	0,9791	1,0368	1,1077	± 2,7
1,10	$4,6 \cdot 10^6$	0,0037	0,9800	1,0369	1,2793	± 2,6
1,20	$4,8 \cdot 10^6$	0,0037	0,9807	1,0369	1,4586	± 2,6
1,30	$5,0 \cdot 10^6$	0,0037	0,9814	1,0369	1,6459	± 2,5

Tabel 26. De afvoerbetrekking van het voorbeeldontwerp (3)

Bij de berekening van de meetfout E_Q is ervan uitgegaan, dat de waterstand
 in een peilput is gemeten.

Voor het meten van debieten met venturi-meetgoten geeft de ISO 4359-1983 de voorgeschreven maatvoering, het toepassingsgebied en de afvoerformules.

Een belangrijke maat is de aanstroomb lengte Y . In overeenstemming met de genoemde Standard strekt Y zich bij de venturi-meetgoot uit tot de h -meetraai.

Een verstoorde aanstroming kan bijvoorbeeld ontstaan door een aanvoer uit een pijpleiding of door een zijdelingse aanvoer op een te korte afstand tot de meetstuw. Dit resulteert in een ongelijkmatige snelheidsverdeling in de h -meetraai en een onrustige waterspiegel. Hierdoor ontstaan er fouten in het meten van de juiste overstorthoogte h , die op hun beurt weer leiden tot afwijkingen in het debiet.

Voor de venturi-meetgoten is gezocht naar het minimaliseren van de putafmetingen, met de randvoorwaarde dat de extra fout in de bepaling van het debiet - door het verkleinen van de putafmetingen - beperkt bleef tot 2 à 3%.

De minimalisering van de putafmetingen voor venturi-meetgoten heeft uitsluitend betrekking op de aanstroomb lengte Y tot de h -meetraai, in een venturi met lange keel en een keelverhouding $b/B = 0,4$. Hiervoor zijn de volgende eisen opgesteld: $Y > 6,4 h_{\max}$ en $Y = 5B$. Deze eisen vallen samen voor de onderzochte meetgoot, waarvoor $L/b = 3$ was. Zonder nader onderzoek aan andere venturi's wordt de optimale aanstroomb lengte bereikt bij de venturi $L/b = 3$.

Figuur 21 geeft de hoofdafmetingen van de venturi-meetgoot volgens ISO 4359.

Paragraaf 3.3 beschrijft de aanbevolen meetput en geeft de randvoorwaarden voor het ontwerp.

Figuur 22 geeft de hoofdafmetingen van de standaardmeetput voor de venturi-meetgoot met $b/B = 0,4$ en $L/b = 3$.

De afvoerrelatie $Q = f(h)$ wordt opgesteld met de formules I t/m IV.

Paragraaf 3.4 geeft de benodigde informatie voor het opstellen van de afvoerbetrekking en de nauwkeurigheid ervan.

Als de overstorthoogte h wordt gemeten met een nauwkeurigheid van 4 mm dan blijft de meetafwijking beperkt tot $E_Q = 2,5 \text{ à } 5\%$ bij meting in een

peilput.

Een voorbeeld van ontwerp is gegeven in paragraaf 3.5.

Het minimaliseren van de venturi-meetgoten is beperkt gebleven tot de venturi $b/B = 0,4$ en $L/b = 3,0$.

Als het nuttig is, om ook andere venturi's zo goedkoop mogelijk te ontwerpen, dan verdient het aanbeveling, het onderzoek voort te zetten met venturi-meetgoten $0,4 < b/B < 0,7$ en $0 < L/b < 5$ (inclusief de keel-loze venturi).

De betrouwbaarheid van afvoerrelaties staat en valt met de nauwkeurigheid van de meting van de overstorthoogte h .

De in dit rapport genoemde maximale fout $\delta_h = 4$ mm berust meer op "boekjeswijsheid" en "wishfull thinking" dan op de gangbare praktijk.

Het verdient aanbeveling:

- a. de nulpuntsijking met grote zorgvuldigheid uit te voeren en zondig te herhalen;
- b. vergelijkend onderzoek te doen uitvoeren naar de betrouwbaarheid (absoluut en reproductief) van de verschillende meetapparatuur ter bepaling van de overstorthoogte h . Enige sanering lijkt gewenst.

Het meten van de waterstand in de h -meetraai dient bij voorkeur te worden gedaan in een peilput, teneinde de meetafwijking te beperken tot $E_Q = 2,5 \text{ à } 5\%$. Als de waterstand daarentegen in het open profiel van de h -meetraai wordt gemeten, dan wordt de extra meetfout bij de standaardmeetput circa 2% over het gehele bereik voor de venturi-meetgoot.

ACKERS, P., HARRISON, A.J.M.

Critical-depth flumes for flow measurement in open channels

Hydraulic Res. Paper no. 5, Dep. of Sc. and Ind. Res., 1963 + Appendix

BARCZEWSKI, B. en JURASCHEK, M.

Ermittlung der Abflussbeziehung von Venturi-kanälen

Wasserwirtsch. 73(1983)5, pp. 149-154

BOITEN, W.

Debietmeting in effluentgoten, R1108

Wageningen, Waterloopkundig Laboratorium, oktober 1975

BOITEN, W.

Aanpassing Khafagi Venturi's Kath. Univ. Nijmegen, R1406 en R1413

Wageningen, Waterloopkundig Laboratorium, oktober/november 1978

BOITEN, W.

Venturi Flumes, discharge characteristics, S170-XIV

Concept verslag speurwerkonderzoek

Wageningen, Waterloopkundig Laboratorium, juni 1985

BOITEN, W.

Meetputten voor de debietmeting van afvalwater

Minimalisering van put-afmetingen voor rechthoekige scherpe overlaten
en Venturi-meetgoten 1963

Wageningen, Waterloopkundig Laboratorium, april 1985.

FRANKE, P.G.

Bestimmung der Wasserführung in Kanälen mit Hilfe einer örtlichen
Querschnittsänderung (I)

Wasser-Abwasser, Das Gas- und Wasserfach, juli 1967

GUTMANN, J. VON.

Die Anwendung von Venturikanälen

GWF 106 Jahrg. Heft 2, 15 Januar 1965/Wasser-Abwasser

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION ISO

Liquid Flow Measurement in open channels

Rectangular, Trapezoidal and U-shaped Flumes, ISO 4359, July 1983

(te verkrijgen bij het NNI, Kalfjeslaan 2, Postbus 5059, 2600 GB Delft)

Symbolen en eenheden

A	wandoppervlakte	m^2
b	keelbreedte venturi	m
b_e	effectieve afvoerende breedte	m
B	breedte meetgoot	m
C_D	afvoercoëfficiënt venturi-meetgoot	-
C_V	coëfficiënt voor de aanloopsnelheid	-
d	waterdiepte	m
D	pijpdiameter	m
e	hoogte pijpleiding ten opzichte van gootbodem	m
E_Q	meetfout in de bepaling van het debiet in de praktijk	%
F	afstand tussen pijpuitmonding en duikschot	m
Fr	getal van Froude $Fr = \bar{v}/\sqrt{gd}$	-
g	versnelling ten gevolge van de zwaartekracht	m/s^2
h	overstorthoogte	m
h_{id}	h volgens de Standard, berekend uit de gemeten Q	m
h_e	effectieve overstorthoogte	m
h_{max}	maximale overstorthoogte	m
h_s	overstorthoogte volgens de ultrasonore meting	m
H	energiehoogte	m
k_s	ruwheidswaarde volgens Nikuradsi	m
K	hoogte/diepte meetput	m
L	keellengte van een venturi-meetgoot	m
L_u	lengte inloop venturi-meetgoot	m
L_d	lengte uitloop venturi-meetgoot	m
L_v	lengte venturi $L_v = L + L_u + L_d$	m
n	factor ter bepaling van de aanstroamlengte Y	-
n_1	lengteschaal model	-
p	drempelhoogte	m
Q	debiet	m^3/s
R	afrondingsstraal inloop venturi-meetgoot	m
Re	getal van Reynolds $Re = L \cdot (gQ/b)^{1/3} / \nu$	-
S	de verdrinkingsgraad $S = 100 H_2/H_1$	%
v	snelheid	m/s
W	doorlaathoogte onder duikschot	m
X_h	procentuele fout in h. $X_h = 100 \delta_h/h$	%

Symbolen en eenheden (vervolg)

X_c	onzekerheid in de afvoercoëfficiënt	%
X_m	extra meetafwijking ten gevolge van verkleining putafmetingen	%
X_Q	meetafwijking in het modelonderzoek door een niet-ideale aanstroming $X_Q = 100 ((Q_{ber} - Q_{gem})/Q_{ber})$	%
Y	afmeting in de stroomrichting	m
Y	aanstroomlengte venturi tot h-meetraai	m
Δh	verval in waterspiegel of bodem	m
ΔH	totaal beschikbaar verval over de meetinrichting	m
ξ	contractiecoëfficiënt onder duikschot	-
δ_h	absolute fout in h	m
δ_*	grenslaag verplaatsingsdikte	m
ν	kinematische viscositeitscoëfficiënt	m^2/s

BIJLAGE 1

T A B E L L E N

Lijst van tabellen, venturi-meetgoten

8. Resultaten modelonderzoek meetserie 15	(10)
9. Resultaten modelonderzoek meetserie 16	(10)
10. Resultaten modelonderzoek meetserie 17	(10)
11. Resultaten modelonderzoek meetserie 18	(10)
12. Resultaten modelonderzoek meetserie 19	(11)
13. Resultaten modelonderzoek meetserie 20	(11)
14. Resultaten modelonderzoek meetserie 21	(11)
15. Resultaten modelonderzoek meetserie 22	(11)
16. Resultaten modelonderzoek meetserie 23	(11)
17. Resultaten modelonderzoek meetserie 24	(12)
18. Resultaten modelonderzoek meetserie 24 (herhaling)	(12)
19. Resultaten modelonderzoek meetserie 25	(12)
20. Resultaten modelonderzoek meetserie 26	(12)
21. Resultaten modelonderzoek meetserie 27	(12)
22. Resultaten modelonderzoek meetserie 28	(12)

De paginaverwijzing () refereert aan de pagina uit de tekst, waar de tabel voor de eerste keer wordt genoemd.

Meetserie: 15

gootbreedte $B = 0,518$ m
Venturi-keel $b = 0,2033$ m
keellengte $l = 0,60$ m

verstoring: geen

Gemeten zijn: Q_{gem} ,
 h_1 en h_2

ideale aanstroming

afstand meestraai - venturi 1,60 m

meting no.	Q_{gem} (l/s)	h_{id} (m)	h_{id}/L (-)	peilput rechts		
				h_1 (m)	Q_1 (l/s)	X_Q (%)
1	15,64	0,1264	0,211	0,1265	15,65	0,1
2	19,52	0,1464	0,244	0,1467	19,58	0,1
3	30,98	0,1990	0,332	0,2000	31,23	0,8
4	40,12	0,2363	0,394	0,2379	40,53	1,0
5	48,36	0,2676	0,446	0,2696	48,91	1,1
6	57,43	0,3000	0,500	0,3022	58,06	1,1
7	64,63	0,3246	0,541	0,3276	65,54	1,4
8	73,37	0,3532	0,589	0,3562	74,31	1,3
9	78,43	0,3692	0,615	0,3726	79,50	1,3
10	85,72	0,3918	0,653	0,3950	86,78	1,2

Meetserie: 16

gootbreedte $B = 0,518$ m
Venturi-keel $b = 0,2033$ m
keellengte $l = 0,60$ m

verstoring: geen

Gemeten zijn: Q_{gem} ,
 h_1 en h_2

ideale aanstroming

afstand meestraai - venturi 0,40 m

meting no.	Q_{gem} (l/s)	h_{id} (m)	h_{id}/L (-)	peilput rechts		
				h_1 (m)	Q_1 (l/s)	X_Q (%)
1	16,27	0,1298	0,216	0,1303	16,37	0,6
2	22,69	0,1617	0,270	0,1636	23,08	1,7
3	31,36	0,2005	0,334	0,2016	31,60	0,8
4	40,23	0,2367	0,395	0,2383	40,64	1,0
5	48,32	0,2674	0,446	0,2695	48,89	1,2
6	57,21	0,2992	0,499	0,3014	57,83	1,1
7	64,34	0,3236	0,539	0,3270	65,36	1,6
8	73,06	0,3522	0,587	0,3550	73,94	1,2
9	80,05	0,3743	0,624	0,3781	81,27	1,5
10	88,15	0,3992	0,665	0,4014	88,89	0,8

Tabel 8

h_{id} = h volgens ISO 4359, berekend uit Q_{gem} , en met $k_s = 0,1$ mm.
 Q_1 , Q_s , Q_s en \bar{Q} zijn berekend uit de gemeten h met behulp van ISO 4359.
 $X_Q = (Q_{ber.} - Q_{gem.})/Q_{ber.} \cdot 100$ (%) Voor het verband $X_Q - h_{id}/L$ zie figuur 4

meting no.	peilput links			ultrasoneer			gemidd. links/rechts		
	h_2 (m)	Q_2 (l/s)	X_Q (%)	h_s (m)	Q_s (l/s)	X_Q (%)	\bar{h} (m)	\bar{Q} (l/s)	X_Q (%)
1	0,1265	15,65	0,1				0,1265	15,65	0,1
2	0,1466	19,56	0,2				0,1466	19,56	0,2
3	0,2000	31,23	0,8				0,2000	31,23	0,8
4	0,2376	40,46	0,8				0,2378	40,51	1,0
5	0,2690	48,75	0,8				0,2693	48,83	1,0
6	0,3020	58,00	1,0				0,3021	58,03	1,0
7	0,3272	65,42	1,2				0,3274	65,48	1,3
8	0,3559	74,22	1,1				0,3560	74,25	1,2
9	0,3724	79,44	1,3				0,3725	79,47	1,3
10	0,3947	86,68	1,1				0,3948	86,71	1,1

meting no.	peilput links			ultrasoneer			gemidd. links/rechts		
	h_2 (m)	Q_2 (l/s)	X_Q (%)	h_s (m)	Q_s (l/s)	X_Q (%)	\bar{h} (m)	\bar{Q} (l/s)	X_Q (%)
1	0,1301	16,33	0,3				0,1302	16,35	0,5
2	0,1632	22,99	1,3				0,1634	23,04	1,5
3	0,2011	31,48	0,4				0,2014	31,55	0,6
4	0,2380	40,56	0,8	0,2363	40,12	-0,3	0,2382	40,60	0,9
5	0,2691	48,78	1,0	0,2679	48,45	0,3	0,2693	48,83	1,1
6	0,3009	57,69	0,8	0,2995	57,28	0,1	0,3012	57,76	1,0
7	0,3263	65,15	1,2				0,3266	65,25	1,4
8	0,3550	73,94	1,2				0,3550	73,94	1,2
9	0,3780	81,24	1,5				0,3780	81,25	1,5
10	0,4007	88,66	0,6				0,4010	88,77	0,7

h_{id} = h volgens ISO 4359, berekend uit Q_{gem} , en met $k_s = 0,1$ mm.
 Q_1 , Q_s , Q_s en \bar{Q} zijn berekend uit de gemeten h met behulp van ISO 4359.
 $X_Q = (Q_{ber.} - Q_{gem.})/Q_{ber.} \cdot 100$ (%) Voor het verband $X_Q - h_{id}/L$ zie figuur 6

Tabel 9

bootbreedte $B = 0,518$ m
 Venturi-keel $b = 0,2033$ m
 keellengte $l = 0,60$ m

verstoring: 50% afsluiting door één enkel
 schot op $Y = 1,141$ m

gemeten zijn: $Q_{gem.}$
 h_1, h_2 en h_3

meting	$Q_{gem.}$ (l/s)	h_{id} (m)	h_{id}^2/L (-)	peilput rechts		
				h_1 (m)	Q_1 (l/s)	X_Q (%)
1	16,63	0,1316	0,219	0,1270	15,74	-5,7
2	23,56	0,1658	0,276	0,1608	22,40	-4,8
3	31,54	0,2013	0,336	0,1960	30,29	-4,1
4	39,03	0,2320	0,387	0,2290	38,28	-2,0
5	48,36	0,2676	0,446	0,2677	48,40	+0,1
6	57,59	0,3006	0,501	0,2978	56,80	-1,4
7	64,40	0,3238	0,540	0,3189	63,95	-2,1
8	71,90	0,3485	0,581	0,3448	70,77	-1,6
9	79,41	0,3723	0,621	0,3688	78,29	-1,4
10	88,38	0,3998	0,666	0,3918	85,73	-3,1

meting	$Q_{gem.}$ (l/s)	h_{id} (m)	h_{id}^2/L (-)	peilput rechts		
				h_1 (m)	Q_1 (l/s)	X_Q (%)
1	16,26	0,1298	0,216	0,1128	13,15	-23,7
2	23,21	0,1642	0,274	0,1435	18,94	-22,6
3	31,02	0,1992	0,332	0,1757	25,70	-20,7
4	39,62	0,2343	0,390	0,2138	34,52	-14,8
5	48,31	0,2674	0,446	0,2531	44,40	-8,6
6	57,37	0,2998	0,500	0,2810	52,06	-10,2
7	65,03	0,3259	0,543	0,3067	59,36	-9,6
8	71,77	0,3481	0,580	0,3302	66,32	-8,2
9	79,75	0,3734	0,639	0,3566	74,44	-7,1
10	88,28	0,3996	0,666	0,3820	82,33	-7,0

bootbreedte $B = 0,518$ m
 Venturi-keel $b = 0,2033$ m
 keellengte $l = 0,60$ m

verstoring: 50% afsluiting na S-becht
 aanstroming op $Y = 1,141$ m

gemeten zijn: $Q_{gem.}$
 h_1 en h_2

meting no.	peilput links			ultrasoneer			gemidd. links/rechts		
	h_2 (m)	Q_2 (l/s)	X_Q (%)	h_s (m)	Q_s (l/s)	X_Q (%)	\bar{h} (m)	\bar{Q} (l/s)	X_Q (%)
1	0,1278	15,89	-4,7	0,1291	16,14	-3,0	0,1274	15,82	-5,1
2	0,1614	22,61	-4,2	0,1646	23,29	-1,2	0,1611	22,55	-4,5
3	0,1982	30,80	-2,4	0,1987	30,92	-2,0	0,1971	30,55	-3,2
4	0,2288	38,23	-1,1	0,2285	38,15	-1,3	0,2289	38,25	-2,0
5	0,2640	47,40	-1,0	0,2655	47,80	-1,2	0,2659	47,91	-0,9
6	0,2962	56,34	-1,2	0,2939	55,69	-3,4	0,2920	56,57	-1,8
7	0,3181	62,71	-2,7	0,3159	62,06	-3,8	0,3185	62,83	-2,5
8	0,3437	70,43	-2,1	0,3418	69,89	-3,9	0,3403	70,61	-1,8
9	0,3662	77,97	-2,5	0,3638	76,71	-3,5	0,3675	77,88	-2,0
10	0,3902	85,20	-3,2	0,3869	84,12	-3,1	0,3910	85,06	-3,4

$h_{id} = b$ volgens ISO 4359, berekend uit $Q_{gem.}$ en met $k_2 = 0,1$ mm.

Q_1, Q_2, Q_s en \bar{Q} zijn berekend uit de gemeten h met behulp van ISO 4359.

$X_Q = 100 \cdot \frac{Q_{ber.} - Q_{gem.}}{Q_{ber.}}$ Voor het verband $X_Q = h_{id}^2/L$ zie figuur 1.

Tabel 10

meting no.	peilput links			ultrasoneer			gemidd. links/rechts		
	h_2 (m)	Q_2 (l/s)	X_Q (%)	h_s (m)	Q_s (l/s)	X_Q (%)	\bar{h} (m)	\bar{Q} (l/s)	X_Q (%)
1	0,1153	13,59	-19,7	0,1142	13,40	-21,3	0,1140	13,36	-21,7
2	0,1436	18,96	-22,4	0,1430	18,84	-23,2	0,1435	18,94	-22,6
3	0,1777	26,14	-18,7	0,1746	25,95	-21,9	0,1767	25,92	-19,7
4	0,2164	35,16	-12,7	0,2129	34,40	-15,5	0,2150	34,81	-13,8
5	0,2556	45,15	-7,0	0,2513	44,07	-9,8	0,2543	44,80	-7,5
6	0,2833	52,33	-8,9	0,2782	51,28	-11,9	0,2821	51,63	-8,9
7	0,3094	60,15	-8,1	0,3038	58,92	-11,1	0,3080	59,77	-8,2
8	0,3321	66,89	-7,3	0,3276	65,90	-9,5	0,3311	66,99	-7,8
9	0,3575	74,22	-6,7	0,3508	73,28	-8,9	0,3523	74,06	-7,5
10	0,3820	82,93	-7,0	0,3750	81,29	-8,7	0,3810	82,33	-7,0

$h_{id} = b$ volgens ISO 4359, berekend uit $Q_{gem.}$ en met $k_2 = 0,1$ mm.

Q_1, Q_2, Q_s en \bar{Q} zijn berekend uit de gemeten h met behulp van ISO 4359.

$X_Q = 100 \cdot \frac{Q_{ber.} - Q_{gem.}}{Q_{ber.}}$ Voor het verband $X_Q = h_{id}^2/L$ zie figuur 8.

Tabel 11

Meetserie: 19

verstoring: aanstroming via drempel
 $P = 0,33 \text{ m}$ op $Y = 2,141 \text{ m}$

gootbreedte $B = 0,518 \text{ m}$
 Venturi-keel $b = 0,2033 \text{ m}$
 keellengte $L = 0,60 \text{ m}$

gemeten zijn: $Q_{\text{gem.}}$
 h_1 en h_2

meting	$Q_{\text{gem.}}$ (l/s)	h_{id} (m)	h_{id}/L (-)
1	16,30	0,1300	0,217
2	23,09	0,1636	0,273
3	30,98	0,1989	0,332
4	39,46	0,2337	0,390
5	49,09	0,2702	0,450
6	57,37	0,2998	0,500
7	64,69	0,3248	0,541
8	72,21	0,3494	0,582
9	79,97	0,3741	0,624
10	88,46	0,4001	0,667

peilput rechts		
h_1 (m)	Q_1 (l/s)	X_Q (%)
0,1300	16,31	0,1
0,1637	23,10	0,1
0,1998	31,18	0,7
0,2355	39,92	1,2
0,2717	49,49	0,8
0,3021	58,03	1,1
0,3266	65,24	0,8
0,3531	73,34	1,5
0,3762	80,66	0,9
0,4028	89,36	1,0

Meetserie: 20

verstoring: zijdelingse aanvoer
 op $Y = 2,141 \text{ m}$

gootbreedte $B = 0,518 \text{ m}$
 Venturi-keel $b = 0,2033 \text{ m}$
 keellengte $L = 0,60 \text{ m}$

gemeten zijn: $Q_{\text{gem.}}$
 h_1 en h_2

meting	$Q_{\text{gem.}}$ (l/s)	h_{id} (m)	h_{id}/L (-)
1	16,15	0,1292	0,215
2	23,27	0,1645	0,274
3	31,09	0,1994	0,332
4	39,29	0,2330	0,388
5	48,27	0,2672	0,445
6	57,32	0,2996	0,499
7	64,51	0,3242	0,540
8	72,61	0,3507	0,585
9	80,94	0,3770	0,628
10	89,22	0,4024	0,671

peilput rechts		
h_1 (m)	Q_1 (l/s)	X_Q (%)
0,1300	16,31	1,0
0,1626	22,87	-1,8
0,1988	30,94	-0,5
0,2332	39,34	0,1
0,2683	48,56	0,6
0,3013	57,80	0,8
0,3265	65,21	1,1
0,3527	73,22	0,8
0,3797	81,79	1,0
0,4038	89,69	0,5

meting no.	peilput links			ultrasonoor			gemidd. links/rechts		
	h_2 (m)	Q_2 (l/s)	X_Q (%)	h_s (m)	Q_s (l/s)	X_Q (%)	\bar{h} (m)	\bar{Q} (l/s)	X_Q (%)
1	0,1279	16,25	-0,3	0,1316	16,62	1,9	0,1299	16,29	-0,1
2	0,1636	23,08	0,0	0,1650	23,38	1,2	0,1637	23,10	0,1
3	0,2001	31,25	0,9	0,2005	31,34	1,1	0,2000	31,23	0,8
4	0,2354	39,90	1,1	0,2360	40,05	1,5	0,2355	39,92	1,2
5	0,2713	49,38	0,6	0,2708	49,24	0,3	0,2715	49,43	0,7
6	0,3015	57,86	0,8	0,3013	57,80	0,7	0,3018	57,95	1,0
7	0,3265	65,21	0,8	0,3262	65,12	0,7	0,3266	65,24	0,8
8	0,3528	73,25	1,4	0,3517	72,91	1,0	0,3529	73,28	1,5
9	0,3752	80,34	0,5	0,3759	80,56	0,7	0,3757	80,50	0,7
10	0,4023	89,19	0,8	0,4025	89,26	0,9	0,4026	89,29	0,9

meting no.	peilput links			ultrasonoor			gemidd. links/rechts		
	h_2 (m)	Q_2 (l/s)	X_Q (%)	h_s (m)	Q_s (l/s)	X_Q (%)	\bar{h} (m)	\bar{Q} (l/s)	X_Q (%)
1	0,1295	16,22	0,4				0,1297	16,25	0,6
2	0,1618	22,70	-2,5	0,1646	23,29	0,1	0,1622	22,78	-2,2
3	0,1978	30,71	-1,2	0,2001	31,25	0,5	0,1983	30,83	-0,8
4	0,2323	39,11	-0,5	0,2342	39,59	0,8	0,2327	39,34	0,1
5	0,2672	48,26	0,0	0,2694	48,86	1,2	0,2677	48,40	0,3
6	0,3003	57,51	0,3	0,3027	58,20	1,5	0,3008	57,66	0,6
7	0,3257	64,97	0,7	0,3265	65,21	1,1	0,3261	65,09	0,9
8	0,3518	72,94	0,5	0,3528	73,25	0,9	0,3522	73,06	0,6
9	0,3784	81,37	0,5	0,3798	81,82	1,1	0,3790	81,56	0,8
10	0,4023	89,19	0,0	0,4029	89,39	0,2	0,4030	89,43	0,2

$h_{\text{id}} = h$ volgens ISO 4359, berekend uit $Q_{\text{gem.}}$ en met $k_s = 0,1 \text{ mm}$.

Q_1, Q_2, Q_s en \bar{Q} zijn berekend uit de gemeten h met behulp van ISO 4359.

$X_Q = \{(Q_{\text{ber.}} - Q_{\text{gem.}}) / Q_{\text{ber.}}\} \cdot 100 \text{ (\%)} \quad \text{Voor het verband } X_Q - h_{\text{id}}/L \text{ zie figuur 9}$

Tabel 12

$h_{\text{id}} = h$ volgens ISO 4359, berekend uit $Q_{\text{gem.}}$ en met $k_s = 0,1 \text{ mm}$.

Q_1, Q_2, Q_s en \bar{Q} zijn berekend uit de gemeten h met behulp van ISO 4359.

$X_Q = \{(Q_{\text{ber.}} - Q_{\text{gem.}}) / Q_{\text{ber.}}\} \cdot 100 \text{ (\%)} \quad \text{Voor het verband } X_Q - h_{\text{id}}/L \text{ zie figuur 11}$

Tabel 13

gootbreedte $b = 0,518$ m
 Venturi-keel $b = 0,2033$ m
 keellengte $L = 0,60$ m
 gemeten zijn: Q_{gem} ,
 h_1 en h_2

verstoring: zijdelingse aanvoer
 via overstort

meting	Q_{gem} (l/s)	h_{id} (m)	h_{id}/L (-)	peilput rechts		
				h_1 (m)	Q_1 (l/s)	X_Q (%)
1	16,30	0,1299	0,217	0,1300	16,31	0,1
2	23,21	0,1642	0,274	0,1642	23,21	-0,0
3	30,87	0,1985	0,331	0,1992	31,04	0,6
4	39,41	0,2335	0,389	0,2356	39,66	0,7
5	48,41	0,2678	0,446	0,2691	48,78	0,8
6	57,32	0,2996	0,499	0,3014	57,83	0,9
7	65,04	0,3259	0,543	0,3284	65,78	1,1
8	71,96	0,3487	0,581	0,3523	73,09	1,5
9	80,41	0,3754	0,626	0,3786	81,43	1,3
10	89,15	0,4022	0,670	0,4030	89,43	0,3

meting	Q_{gem} (l/s)	h_{id} (m)	h_{id}/L (-)	peilput rechts		
				h_1 (m)	Q_1 (l/s)	X_Q (%)
1	16,40	0,1305	0,218	0,1278	15,89	-3,2
2	23,22	0,1642	0,274	0,1605	22,42	-3,6
3	31,65	0,2018	0,336	0,1983	30,83	-2,7
4	39,63	0,2344	0,391	0,2330	39,29	-0,9
5	48,42	0,2678	0,446	0,2681	48,51	0,2
6	57,10	0,2989	0,498	0,3003	57,51	0,7
7	64,87	0,3254	0,542	0,3251	64,72	-0,1
8	72,22	0,3495	0,583	0,3512	72,75	0,7
9	80,13	0,3746	0,624	0,3754	80,40	0,3
10	88,21	0,3993	0,666	0,4011	88,79	0,7

gootbreedte $b = 0,518$ m
 Venturi-keel $b = 0,2033$ m
 keellengte $L = 0,60$ m
 gemeten zijn: Q_{gem} ,
 h_1 en h_2

verstoring: zijdelingse aanvoer
 overstort en drempel

meting	Q_{gem} (l/s)	h_{id} (m)	h_{id}/L (-)	peilput links			ultrasoon			peilput rechts		
				h_2 (m)	Q_2 (l/s)	X_Q (%)	h_s (m)	Q_s (l/s)	X_Q (%)	h_1 (m)	Q_1 (l/s)	X_Q (%)
1	0,1279	16,25	-0,3	0,1299	16,29	-0,1	0,1643	23,23	0,1	0,1644	23,25	0,2
2	0,1645	23,27	0,2	0,1644	23,25	0,2	0,1987	30,92	0,2	0,1992	31,04	0,6
3	0,1992	31,04	0,6	0,1992	31,04	0,6	0,2339	39,51	0,3	0,2349	39,77	0,9
4	0,2351	39,82	1,0	0,2339	39,51	0,3	0,2669	48,18	-0,5	0,2695	48,89	1,0
5	0,2698	48,97	1,1	0,2669	48,18	-0,5	0,2992	57,20	-0,2	0,3019	57,97	1,1
6	0,3033	58,09	1,3	0,2992	57,20	-0,2	0,3262	65,12	0,1	0,3286	65,84	1,2
7	0,3388	65,92	1,3	0,3262	65,12	0,1	0,3496	73,25	0,4	0,3516	73,87	1,2
8	0,3698	73,93	0,9	0,3496	73,25	0,4	0,3738	79,89	-0,7	0,3784	81,37	1,2
9	0,3782	81,30	1,1	0,3738	79,89	-0,7	0,4033	87,69	-1,2	0,4033	89,53	0,9
10	0,4036	89,63	0,5	0,4033	89,53	0,9						

meting	Q_{gem} (l/s)	h_{id} (m)	h_{id}/L (-)	peilput links			ultrasoon			peilput rechts		
				h_2 (m)	Q_2 (l/s)	X_Q (%)	h_s (m)	Q_s (l/s)	X_Q (%)	h_1 (m)	Q_1 (l/s)	X_Q (%)
1	0,1282	15,97	-2,7	0,1280	15,93	-3,0	0,1635	23,06	-0,7	0,1608	22,49	-3,2
2	0,1611	22,55	-3,0	0,1611	22,55	-3,0	0,1998	31,18	-1,5	0,1987	30,92	-2,4
3	0,1991	31,01	-2,1	0,1991	31,01	-2,1	0,2328	39,25	-1,0	0,2332	39,34	-0,7
4	0,2334	39,39	-0,6	0,2328	39,25	-1,0	0,2688	47,88	-1,1	0,2684	48,59	0,1
5	0,2687	48,67	0,5	0,2688	47,88	-1,1	0,2978	56,89	-0,5	0,3004	57,54	0,8
6	0,3002	57,54	0,8	0,2978	56,89	-0,5	0,3230	64,16	-1,1	0,3254	64,88	0,0
7	0,3286	64,94	0,1	0,3230	64,16	-1,1	0,3486	71,94	-0,4	0,3506	72,56	0,5
8	0,3500	72,48	0,2	0,3486	71,94	-0,4	0,3731	79,66	-0,6	0,3741	80,31	0,2
9	0,3742	80,38	0,1	0,3731	79,66	-0,6	0,3986	87,97	-2,3	0,4007	88,66	0,3
10	0,4007	88,60	0,3	0,4007	88,60	0,3						

$h_{id} = h$ volgens ISO 4362, berekend uit Q_{gem} , en met $k_g = 0,1$ mm.
 Q_1, Q_2, Q_s en \bar{Q} zijn berekend uit de gemeten h met behulp van ISO 4369.
 $X_Q = 100 \cdot (Q_{ber.} - Q_{gem.}) / Q_{gem.}$ Voor het verband $X_Q = h_{id}/L$ zie figuur 12

Tabel 14

$h_{id} = h$ volgens ISO 4362, berekend uit Q_{gem} , en met $k_g = 0,1$ mm.
 Q_1, Q_2, Q_s en \bar{Q} zijn berekend uit de gemeten h met behulp van ISO 4369.
 $X_Q = 100 \cdot (Q_{ber.} - Q_{gem.}) / Q_{gem.}$ Voor het verband $X_Q = h_{id}/L$ zie figuur 13

Tabel 15

Meetserie: 23

verstoring: zijdelingse aanvoer via
drempel op $Y = 1,691$ m

gootbreedte $B = 0,518$ m
Venturi-keel $b = 0,2033$ m
keellengte $L = 0,60$ m

gemeten zijn: $Q_{gem.}$
 h_1 en h_2

meting	$Q_{gem.}$ (1/s)	h_{id} (m)	h_{id}/L (-)
1	16,38	0,1303	0,217
2	24,35	0,1659	0,283
3	31,20	0,1999	0,333
4	39,41	0,2335	0,389
5	48,32	0,2674	0,446
6	57,91	0,3017	0,503
7	64,63	0,3246	0,541
8	72,80	0,3514	0,586
9	80,19	0,3747	0,625
10	88,60	0,4005	0,668

peilput rechts		
h_1 (m)	Q_1 (1/s)	X_Q (%)
0,1284	16,01	-2,3
0,1671	23,83	-2,2
0,1994	31,08	-0,4
0,2340	39,54	+0,3
0,2694	48,86	1,1
0,3043	58,67	1,3
0,3261	65,09	0,7
0,3542	73,69	1,2
0,3766	80,79	0,7
0,4016	88,96	0,4

Meetserie: 24

verstoring: zijdelingse aanvoer met bodemval voor
de bocht $\Delta h = 0,33$ m op $Y = 2,141$ m

deze meting wordt herhaald ter verkrijging van een
indruk over de reproductiviteit van de meetresultaten

gootbreedte $B = 0,518$ m
Venturi-keel $b = 0,2033$ m
keellengte $L = 0,60$ m

gemeten zijn: $Q_{gem.}$
 h_1 , h_2 en h_3

meting	$Q_{gem.}$ (1/s)	h_{id} (m)	h_{id}/L (-)
1	16,35	0,1302	0,217
2	23,68	0,1664	0,277
3	31,09	0,1994	0,332
4	39,46	0,2337	0,390
5	48,99	0,2699	0,450
6	58,23	0,3028	0,505
7	66,51	0,3308	0,551
8	73,14	0,3525	0,588
9	80,65	0,3762	0,627
10	89,14	0,4021	0,670

peilput rechts		
h_1 (m)	Q_1 (1/s)	X_Q (%)
0,1300	16,31	-0,2
0,1664	23,67	-0,0
0,2003	31,30	0,7
0,2353	39,87	1,0
0,2715	49,43	0,9
0,3047	58,78	0,9
0,3334	67,29	1,2
0,3556	74,12	1,3
0,3795	81,72	1,3
0,4050	90,09	1,1

meting no.	peilput links			ultrasonoor			gemidd. links/rechts		
	h_2 (m)	Q_2 (1/s)	X_Q (%)	h_s (m)	Q_s (1/s)	X_Q (%)	\bar{h} (m)	\bar{Q} (1/s)	X_Q (%)
1	0,1286	16,05	-2,1	0,1302	16,35	-0,2	0,1285	16,03	-2,2
2	0,1676	23,93	-1,8	0,1685	24,13	-0,9	0,1674	23,89	-1,9
3	0,1993	31,06	-0,5	0,2008	31,41	0,7	0,1994	31,08	-0,4
4	0,2338	39,49	+0,2	0,2342	39,59	0,5	0,2339	39,51	0,3
5	0,2685	48,61	0,6	0,2676	48,37	0,1	0,2690	48,75	0,9
6	0,3037	58,49	1,0	0,3020	58,00	0,2	0,3040	58,58	1,1
7	0,3255	64,91	0,4	0,3244	64,58	-0,1	0,3258	65,00	0,6
8	0,3542	73,69	1,2	0,3528	73,25	0,6	0,3542	73,69	1,2
9	0,3753	80,37	0,2	0,3748	80,21	0,0	0,3760	80,59	0,5
10	0,3998	88,36	-0,3	0,3997	88,33	-0,3	0,4007	88,66	0,1

meting no.	peilput links			ultrasonoor			gemidd. links/rechts		
	h_2 (m)	Q_2 (1/s)	X_Q (%)	h_s (m)	Q_s (1/s)	X_Q (%)	\bar{h} (m)	\bar{Q} (1/s)	X_Q (%)
1	0,1300	16,31	-0,2				0,1300	16,31	-0,2
2	0,1663	23,65	-0,1				0,1664	23,67	0,0
3	0,2004	31,32	0,7	0,1955	30,18	-3,0	0,2004	31,32	0,7
4	0,2354	39,90	1,1	0,2285	38,15	-3,4	0,2354	39,90	1,1
5	0,2715	49,43	0,9	0,2647	47,58	-3,0	0,2715	49,43	0,9
6	0,3047	58,78	0,9	0,2985	57,00	-2,2	0,3047	58,78	0,9
7	0,3336	67,35	1,2	0,3269	65,33	-1,8	0,3335	67,32	1,2
8	0,3557	74,15	1,4	0,3521	73,03	-0,1	0,3556	74,12	1,3
9	0,3787	81,46	1,0	0,3759	80,56	0,1	0,3791	81,59	1,2
10	0,4045	89,93	0,9	0,4011	88,79	-0,4	0,4048	90,03	1,0

$h_{id} = h$ volgens ISO 4359, berekend uit $Q_{gem.}$ en met $k_s = 0,1$ mm.

Q_1 , Q_2 , Q_s en \bar{Q} zijn berekend uit de gemeten h met behulp van ISO 4359.

$X_Q = \{(Q_{ber.} - Q_{gem.})/Q_{ber.}\} \cdot 100$ (%) Voor het verband $X_Q - h_{id}/L$ zie figuur 14

Tabel 16

$h_{id} = h$ volgens ISO 4359, berekend uit $Q_{gem.}$ en met $k_s = 0,1$ mm.

Q_1 , Q_2 , Q_s en \bar{Q} zijn berekend uit de gemeten h met behulp van ISO 4359.

$X_Q = \{(Q_{ber.} - Q_{gem.})/Q_{ber.}\} \cdot 100$ (%) Voor het verband $X_Q - h_{id}/L$ zie figuur 16

Tabel 17

Meetserie: 24 (herhaling)

gootbreedte $b = 0,518$ m
 Venturi-keel $r = 0,2033$ m
 keellengte $l = 0,60$ m
 Gemeten zijn: Q_{gem} ,
 h_1 , h_2 en h_s

verstoring: zijdelingse aanvoer met bodemval voor
 de bocht $\Delta h = 0,43$ m op $Y = 2,1-1$ m

meting	Q_{gem} (l/s)	h_{id} (m)	h_{id}/L (-)	peilput rechts	
				h_1 (m)	X_Q (%)
-2	10,05	0,0946	0,158	0,0954	1,3
-1	12,20	0,1074	0,179	0,1082	1,1
0	14,21	0,1187	0,198	0,1187	0,0
1	16,57	0,1314	0,219	0,1315	0,0
2	22,60	0,1614	0,269	0,1614	0,0
3	30,20	0,1956	0,326	0,1966	0,8
4	39,46	0,2337	0,390	0,2354	39,90
5	48,22	0,2671	0,445	0,2681	48,51
6	57,48	0,3002	0,500	0,3033	58,38
7	64,66	0,3228	0,541	0,3272	65,42
8	72,36	0,3500	0,583	0,3531	73,34
9	80,48	0,3756	0,626	0,3795	81,72
10	88,23	0,3994	0,666	0,4019	89,06

Meetserie: 25

gootbreedte $b = 0,518$ m
 Venturi-keel $r = 0,2033$ m
 keellengte $l = 0,60$ m
 Gemeten zijn: Q_{gem} ,
 h_1 , h_2 en h_s

verstoring: zijdelingse aanvoer met bodemval voor
 de bocht, $\Delta h = 0,33$ m op $Y = 2,084$ m

meting	Q_{gem} (l/s)	h_{id} (m)	h_{id}/L (-)	peilput rechts	
				h_1 (m)	X_Q (%)
-2	10,39	0,0966	0,161	0,0947	-3,2
-1	12,29	0,1074	0,180	0,1092	1,9
0	14,66	0,1212	0,202	0,1211	-0,1
1	16,91	0,1332	0,222	0,1327	-0,5
2	23,35	0,1649	0,275	0,1654	0,5
3	30,05	0,1950	0,325	0,1955	0,4
4	39,33	0,2332	0,386	0,2349	1,1
5	49,32	0,2711	0,452	0,2726	0,8
6	58,60	0,3040	0,507	0,3064	1,1
7	65,03	0,3259	0,543	0,3291	1,8
8	72,03	0,3489	0,582	0,3507	0,8
9	80,07	0,3744	0,624	0,3785	1,6
10	88,57	0,4004	0,667	0,4042	1,4

$h_{id} = h$ volgens ISO 4359, berekend uit Q_{gem} , en met $k_s = 0,1$ mm.
 Q_1, Q_2, Q_s en \bar{Q} zijn berekend uit de gemeten h met behulp van ISO 4359.
 $X_Q = (Q_{ber.} - Q_{gem.})/Q_{ber.}$ Voor het verband $X_Q - h_{id}/L$ zie figuur 1b

Tabel 18

meting no.	peilput links			ultrasoon			gemidd. links/rechts		
	h_2 (m)	Q_2 (l/s)	X_Q (%)	h_s (m)	Q_s (l/s)	X_Q (%)	\bar{h} (m)	\bar{Q} (l/s)	X_Q (%)
-2	0,0952	10,15	1,0	0,0911	9,49	-5,9	0,0953	10,17	1,2
-1	0,1081	12,32	1,0	0,1041	11,63	-6,9	0,1082	12,34	1,1
0	0,1187	14,21	0,0	0,1142	13,43	-5,8	0,1187	14,23	0,0
1	0,1314	16,58	0,1	0,1277	15,88	-4,3	0,1315	16,59	0,0
2	0,1617	22,68	0,4	0,1575	21,29	-7,7	0,1615	22,69	0,2
3	0,1964	30,38	0,6	0,1930	29,37	-2,8	0,1965	30,40	0,7
4	0,2354	39,90	1,1	0,2307	38,10	-4,0	0,2352	39,80	0,8
5	0,2690	48,75	1,1	0,2633	47,21	-2,1	0,2686	48,60	0,8
6	0,3029	58,26	1,4	0,3002	56,68	-1,4	0,3041	58,32	1,4
7	0,3427	67,57	1,3	0,3340	64,16	-0,8	0,3425	67,50	1,2
8	0,3831	77,37	1,4	0,3689	72,03	-0,9	0,3832	77,36	1,4
9	0,3795	81,72	1,5	0,3755	80,43	-0,1	0,3795	81,72	1,5
10	0,4016	88,06	1,8	0,3979	87,73	-0,6	0,4018	88,01	1,9

Tabel 19

meting no.	peilput links			ultrasoon			gemidd. links/rechts		
	h_2 (m)	Q_2 (l/s)	X_Q (%)	h_s (m)	Q_s (l/s)	X_Q (%)	\bar{h} (m)	\bar{Q} (l/s)	X_Q (%)
-2	0,0947	10,07	-3,2	0,0950	10,27	-1,2	0,0947	10,07	-3,2
-1	0,1091	12,50	1,7	0,1104	12,73	3,5	0,1091	12,50	1,7
0	0,1210	14,63	-0,2	0,1226	14,92	1,7	0,1211	14,63	-0,1
1	0,1326	16,81	0,6	0,1340	17,08	1,0	0,1327	16,83	-0,5
2	0,1656	23,30	0,6	0,1641	23,18	-0,1	0,1655	23,48	0,6
3	0,1952	30,15	0,3	0,1941	29,82	-1,5	0,1954	30,15	0,3
4	0,2349	39,77	1,1	0,2331	39,13	-0,4	0,2349	39,77	1,1
5	0,2723	49,85	0,7	0,2705	49,27	-0,2	0,2724	49,68	0,7
6	0,3063	59,25	1,1	0,3038	58,52	-0,3	0,3063	59,25	1,1
7	0,3296	68,14	1,4	0,3263	67,17	-0,2	0,3294	68,08	1,4
8	0,3599	77,69	1,6	0,3569	77,17	-0,4	0,3599	77,63	1,6
9	0,3780	81,72	1,7	0,3762	80,96	-0,7	0,3783	81,72	1,6
10	0,4036	89,43	1,7	0,4020	89,19	-0,6	0,4036	89,43	1,7

$h_{id} = h$ volgens ISO 4359, berekend uit Q_{gem} , en met $k_s = 0,1$ mm.
 Q_1, Q_2, Q_s en \bar{Q} zijn berekend uit de gemeten h met behulp van ISO 4359.
 $X_Q = (Q_{ber.} - Q_{gem.})/Q_{ber.}$ Voor het verband $X_Q - h_{id}/L$ zie figuur 1c

Meetserie: 26

verstoring: zijdelingse aanvoer met bodemval voor de bocht, $\Delta h = 0,33$ m op $Y = 2,55$ m

Gootbreedte $B = 0,518$ m
Venturi-keel $b = 0,2033$ m
keellengte $L = 0,60$ m
gemeten zijn: Q_{gem}
 h_1, h_2 en h_s

meting	Q_{gem} (l/s)	h_{id} (m)	h_{id}/L (-)	peilput rechts		
				h_1 (m)	Q_1 (l/s)	X_Q (%)
-4	7,22	0,0763	0,127	0,0765	7,25	0,4
-3	8,59	0,0854	0,142	0,0851	8,57	-0,2
-2	10,28	0,0960	0,160	0,0970	10,45	1,6
-1	12,35	0,1083	0,181	0,1093	12,53	1,4
0	14,08	0,1180	0,197	0,1185	14,17	0,6
1	16,50	0,1310	0,218	0,1314	16,58	0,5
2	22,93	0,1629	0,272	0,1632	22,99	0,3
3	30,94	0,1988	0,331	0,1997	31,15	0,7
4	39,41	0,2335	0,389	0,2350	39,79	1,0
5	48,36	0,2676	0,446	0,2691	48,78	0,9
6	57,38	0,2998	0,500	0,3018	57,95	1,0
7	64,46	0,3240	0,540	0,3257	64,97	0,8
8	72,35	0,3499	0,583	0,3536	73,50	1,6
9	79,61	0,3729	0,622	0,3768	80,85	1,5
10	88,60	0,4005	0,668	0,4041	89,79	1,3

meting	no.	peilput links			ultrasonoor			gemidd. links/rechts		
		h_2 (m)	Q_2 (l/s)	X_Q (%)	h_s (m)	Q_s (l/s)	X_Q (%)	\bar{h} (m)	\bar{Q} (l/s)	\bar{X}_Q (%)
-4	0,0751	7,05	-2,4	-	-	-	0,0758	7,15	-1,0	
-3	0,0846	8,44	-1,8	-	-	-	0,0849	8,51	-0,9	
-2	0,0966	10,38	1,0	0,0954	10,19	-0,9	0,0968	10,42	1,3	
-1	0,1091	12,50	1,2	0,1075	12,22	-1,1	0,1092	12,52	1,4	
0	0,1183	14,13	0,2	0,1167	13,84	-1,7	0,1184	14,15	0,5	
1	0,1312	16,54	0,2	0,1291	16,14	-2,2	0,1313	16,56	0,4	
2	0,1631	22,97	0,2	0,1617	22,68	-1,1	0,1632	22,98	0,2	
3	0,1986	31,13	0,6	0,1975	30,64	-1,0	0,1997	31,14	0,6	
4	0,2349	39,77	0,9	0,2330	39,29	-0,3	0,2350	39,78	0,9	
5	0,2688	48,70	0,7	0,2670	48,21	-0,3	0,2690	48,73	0,8	
6	0,3018	57,95	1,0	0,2982	56,91	-0,8	0,3018	57,95	1,0	
7	0,3262	65,12	1,0	0,3213	63,66	-1,3	0,3260	65,05	0,9	
8	0,3537	73,53	1,6	0,3490	72,06	-0,4	0,3537	73,52	1,6	
9	0,3772	80,98	1,7	0,3738	79,89	-0,4	0,3770	80,91	1,6	
10	0,4041	89,79	1,3	0,3997	88,33	-0,3	0,4041	89,79	1,3	

$h_{id} = h$ volgens ISO 4359, berekend uit Q_{gem} , en met $k_s = 0,1$ mm.
 Q_1, Q_2, Q_s en \bar{Q} zijn berekend uit de gemeten h met behulp van ISO 4359.
 $X_Q = i(Q_{ber.} - Q_{gem.})/Q_{ber.} \cdot 100$ (%) Voor het verband $X_Q - h_{id}/L$ zie figuur 18

Tabel 20

Meetserie: 27

verstoring: ronde pijp $\phi 0,38$ m op $P = 0,01$ m en $Y = 2,04$ m

Gootbreedte $B = 0,518$ m
Venturi-keel $b = 0,2033$ m
keellengte $L = 0,60$ m
gemeten zijn: Q_{gem}
 h_1, h_2 en h_s

meting	Q_{gem} (l/s)	h_{id} (m)	h_{id}/L (-)	peilput rechts		
				h_1 (m)	Q_1 (l/s)	X_Q (%)
-2	9,87	0,0935	0,156	0,0938	9,92	0,5
-1	12,22	0,1075	0,179	0,1080	12,31	0,7
0	14,41	0,1198	0,200	0,1197	14,39	-0,1
1	16,06	0,1287	0,215	0,1297	16,06	0,0
2	23,30	0,1647	0,275	0,1646	23,29	0,0
3	31,09	0,1994	0,332	0,1998	31,18	0,3
4	39,89	0,2354	0,392	0,2364	40,15	0,6
5	48,32	0,2674	0,446	0,2691	48,78	0,9
6	57,42	0,3000	0,500	0,3025	58,15	1,3
7	64,69	0,3248	0,541	0,3270	65,36	1,0
8	70,88	0,3452	0,575	0,3476	71,63	1,0
9	80,71	0,3764	0,627	0,3794	81,69	1,2
10	87,98	0,3987	0,665	0,4007	88,66	0,8

meting	no.	peilput links			ultrasonoor			gemidd. links/rechts		
		h_2 (m)	Q_2 (l/s)	X_Q (%)	h_s (m)	Q_s (l/s)	X_Q (%)	\bar{h} (m)	\bar{Q} (l/s)	\bar{X}_Q (%)
-2	0,0938	9,92	0,5	0,0945	10,04	1,7	0,0938	9,92	0,5	
-1	0,1080	12,31	0,7	0,1079	12,29	0,6	0,1080	12,31	0,7	
0	0,1194	14,33	-0,6	0,1182	14,12	-2,1	0,1196	14,37	-0,3	
1	0,1283	15,99	-0,4	0,1266	15,67	-2,5	0,1285	16,03	-0,2	
2	0,1645	23,27	0,1	0,1626	22,87	-1,9	0,1646	23,28	0,1	
3	0,1996	31,13	0,1	0,1972	30,57	-1,7	0,1997	31,16	0,2	
4	0,2358	40,00	0,3	0,2349	39,77	-0,3	0,2361	40,08	0,5	
5	0,2688	48,70	0,8	0,2663	48,02	-0,6	0,2690	48,74	0,9	
6	0,3017	57,92	0,9	0,2991	57,17	-0,4	0,3021	58,03	1,1	
7	0,3259	65,03	0,5	0,3241	64,49	-0,3	0,3264	65,20	0,8	
8	0,3473	71,54	0,9	0,3460	71,14	0,4	0,3475	71,59	1,0	
9	0,3788	81,50	1,0	0,3774	81,05	0,4	0,3791	81,70	1,2	
10	0,4003	88,53	0,6	0,3993	88,20	0,2	0,4005	88,60	0,7	

$h_{id} = h$ volgens ISO 4359, berekend uit Q_{gem} , en met $k_s = 0,1$ mm.
 Q_1, Q_2, Q_s en \bar{Q} zijn berekend uit de gemeten h met behulp van ISO 4359.
 $X_Q = i(Q_{ber.} - Q_{gem.})/Q_{ber.} \cdot 100$ (%) Voor het verband $X_Q - h_{id}/L$ zie figuur 19

Tabel 21

Meetserie: 28

verstoring: bodemval $h = 0,33$ m
op $Y = 2,55$ m ("in line")

gootbreedte $B = 0,518$ m
Venturi-keel $b = 0,2033$ m
keellengte $L = 0,60$ m

gemeten zijn: $Q_{gem.}$
 h_1, h_2 en h_s

meting	$Q_{gem.}$ (1/s)	h_{id} (m)	h_{id}/L (-)
-3	8,72	0,0862	0,144
-2	10,03	0,0944	0,157
-1	12,29	0,1079	0,180
0	14,43	0,1199	0,200
1	16,40	0,1305	0,217
2	23,43	0,1653	0,276
3	31,06	0,1993	0,332
4	39,42	0,2335	0,389
5	48,27	0,2672	0,445
6	57,43	0,3000	0,500
7	64,57	0,3244	0,541
8	72,02	0,3489	0,582
9	80,57	0,3760	0,627
10	88,38	0,3999	0,667

peilput rechts		
h_1 (m)	Q_1 (1/s)	X_Q (%)
0,0868	8,81	1,0
0,0952	10,15	1,2
0,1086	12,41	1,0
0,1198	14,41	-0,1
0,1310	16,50	0,6
0,1656	23,50	0,3
0,2003	31,30	0,8
0,2352	39,84	1,1
0,2687	48,67	0,8
0,3025	58,15	1,2
0,3274	65,48	1,4
0,3518	72,94	1,3
0,3785	81,40	1,0
0,4010	88,76	0,4

meting no.	peilput links			ultrasonoor			gemidd. links/rechts		
	h_2 (m)	Q_2 (1/s)	X_Q (%)	h_s (m)	Q_s (1/s)	X_Q (%)	\bar{h} (m)	\bar{Q} (1/s)	X_Q (%)
-3	0,0867	8,79	0,8	-	-	-	0,0868	8,80	0,9
-2	0,0951	10,14	1,1	0,0937	9,91	-1,2	0,0952	10,15	1,2
-1	0,1086	12,41	1,0	0,1076	12,24	-0,4	0,1086	12,41	1,0
0	0,1198	14,41	-0,1	0,1182	14,12	-2,2	0,1198	14,41	-0,1
1	0,1308	16,46	0,4	0,1292	16,16	-1,5	0,1309	16,48	0,5
2	0,1655	23,48	0,2	0,1642	23,21	-0,9	0,1656	23,49	0,3
3	0,2002	31,27	0,7	0,1978	30,71	-1,1	0,2003	31,29	0,7
4	0,2351	39,82	1,0	0,2315	38,91	-1,3	0,2352	39,83	1,0
5	0,2684	48,59	0,7	0,2655	47,80	-1,0	0,2686	48,63	0,7
6	0,3024	58,12	1,2	0,2991	57,17	-0,5	0,3024	58,14	1,2
7	0,3275	65,51	1,4	0,3239	64,43	-0,2	0,3274	65,48	1,4
8	0,3518	72,94	1,3	0,3487	71,97	-0,1	0,3518	72,94	1,3
9	0,3784	81,37	1,0	0,3745	80,11	-0,6	0,3785	81,39	1,0
10	0,4011	88,79	0,5	0,3975	87,60	-0,9	0,4011	88,78	0,5

$h_{id} = h$ volgens ISO 4359, berekend uit $Q_{gem.}$ en met $k_s = 0,1$ mm.

Q_1, Q_2, Q_s en \bar{Q} zijn berekend uit de gemeten h met behulp van ISO 4359.

$X_Q = \{(Q_{ber.} - Q_{gem.})/Q_{ber.}\} \cdot 100$ (%) Voor het verband $X_Q - h_{id}/L$ zie figuur 20

Tabel 22

BIJLAGE 2

F I G U R E N

Lijst van figuren, venturi-meetgoten

- Figuur 1 Relatieve grenslaagverplaatsingsdikte langs de keelwanden van een venturi-meetgoot (5)
- Figuur 2 Modelopstelling voor het onderzoek met de venturi-meetgoot (8)
- Figuur 3 Overzicht vormgeving meetseries 15 t/m 19 (10)
- Figuur 4 Resultaten onderzoek serie 15, ideale aanstroming, meting op 1,60 m (10)
- Figuur 5 Verloop waterspiegel bij het naderen van de venturi, bij ideale aanstroming (10)
- Figuur 6 Resultaten onderzoek serie 16, ideale aanstroming, meting op 0,40 m (10)
- Figuur 7 Resultaten onderzoek serie 17, 50% afsluiting door één enkel schot (10)
- Figuur 8 Resultaten onderzoek serie 18, 50% afsluiting na S-bocht aanstroming (10)
- Figuur 9 Resultaten onderzoek serie 19, aanstroming via drempel op $Y = 2,141$ m (11)
- Figuur 10 Overzicht vormgeving meetseries 20 t/m 23 (10)
- Figuur 11 Resultaten onderzoek serie 20, zijdelingse aanvoer op $Y = 2,141$ m (11)
- Figuur 12 Resultaten onderzoek serie 21, zijdelingse aanvoer via overstort (11)
- Figuur 13 Resultaten onderzoek serie 22, zijdelingse aanvoer via overstort en drempel (11)
- Figuur 14 Resultaten onderzoek serie 23, zijdelingse aanvoer via drempel, $Y = 1,691$ m (11)
- Figuur 15 Overzicht vormgeving meetseries 24 t/m 28 (10)
- Figuur 16 Resultaten onderzoek serie 24, zijdelingse aanvoer na bodemval $\Delta h = 0,33$ m op $Y = 2,141$ m (12)
- Figuur 17 Resultaten onderzoek serie 25, zijdelingse aanvoer na bodemval $\Delta h = 0,33$ m op $Y = 2,984$ m (12)
- Figuur 18 Resultaten onderzoek serie 26, zijdelingse aanvoer na bodemval $\Delta h = 0,33$ m op $Y = 2,55$ m (12)

De paginaverwijzing () refereert aan de pagina uit de tekst waar de figuur voor de eerste keer wordt genoemd.

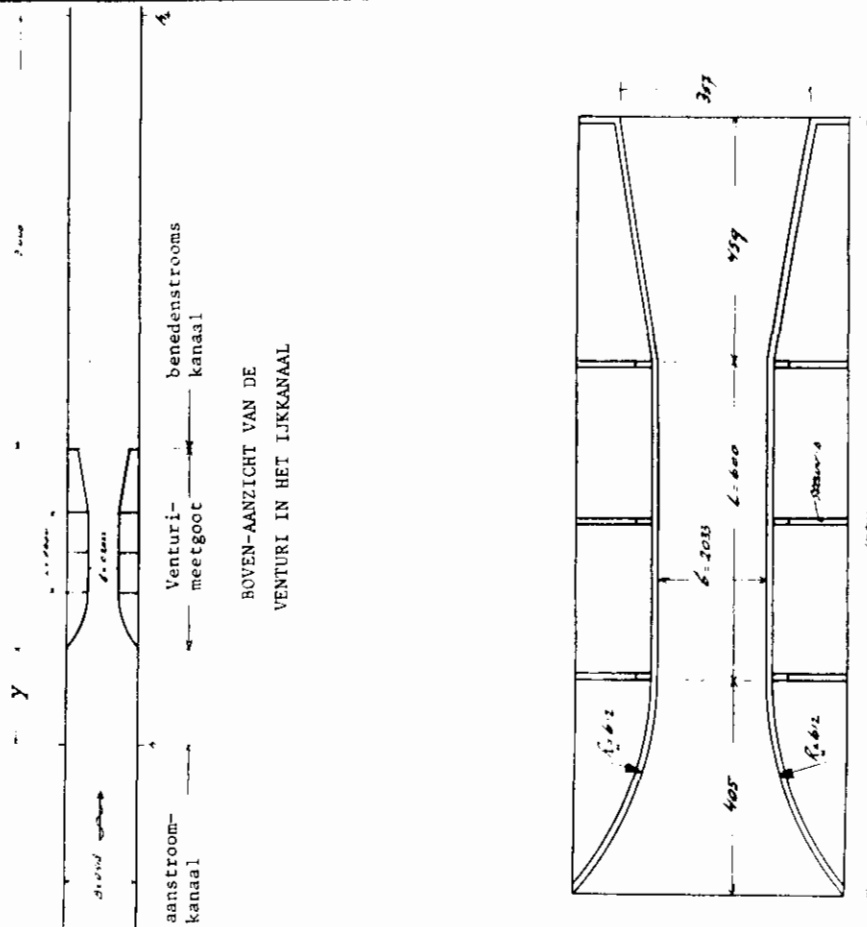
Lijst van figuren, venturi-meetgoten (vervolg)

- Figuur 19 Resultaten onderzoek serie 27, aanvoer via pijp "in line"
 \emptyset 0,38 m op $Y = 2,04$ m (12)
- Figuur 20 Resultaten onderzoek serie 28, "in line" aanvoer na bodem-
val $\Delta h = 0,33$ m op $Y = 2,55$ m (12)
- Figuur 21 Hoofdafmetingen venturi-meetgoot volgens ISO 4359-1983 (13)
- Figuur 22 Hoofdafmetingen meetput voor venturi-meetgoot $b/B = 0,4$,
en $L/b = 3$ (15)

De paginaverwijzing () refereert aan de pagina uit de tekst waar de figuur voor de eerste keer wordt genoemd.

De waterstand werd gemeten op:

- $Y = 1,60$ m in serie 15 ($Y = 4 h_{\max}$)
- $Y = 0,40$ m in alle volgende series ($Y = h_{\max}$)



DETAIL VAN DE VENTURI-MEETGOOT

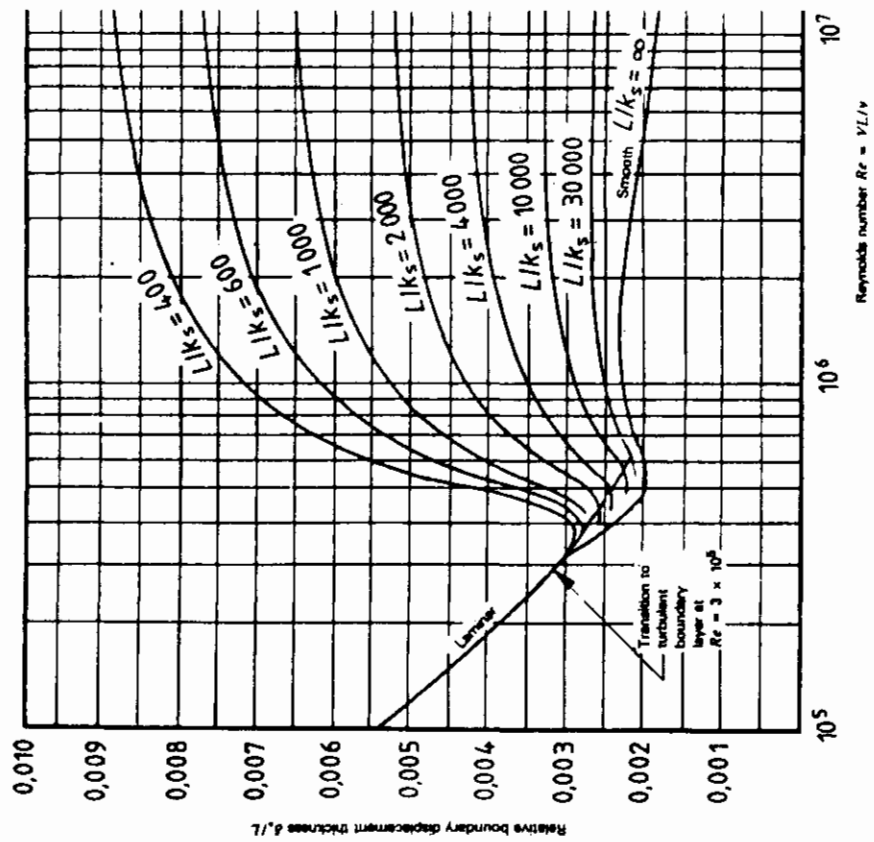
maten in mm model

Model-opstelling voor het onderzoek met de Venturi-meetgoot

DELFT HYDRAULICS LABORATORY

M1963

FIG. 2



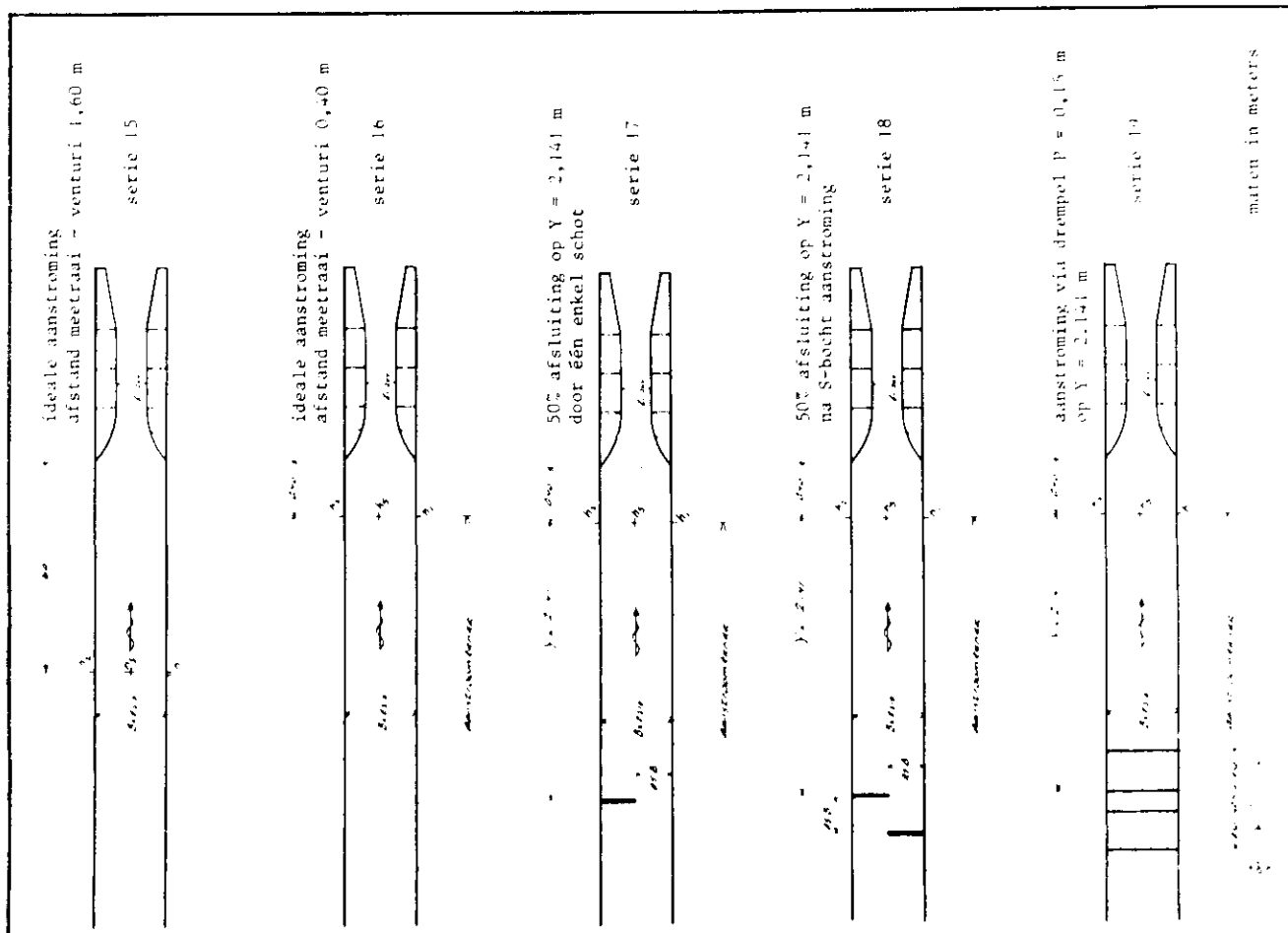
Overgenomen van ISO 4359.

Relatieve grenslaagverplaatsingsdikte langs de keelwanden van een Venturi-meetgoot

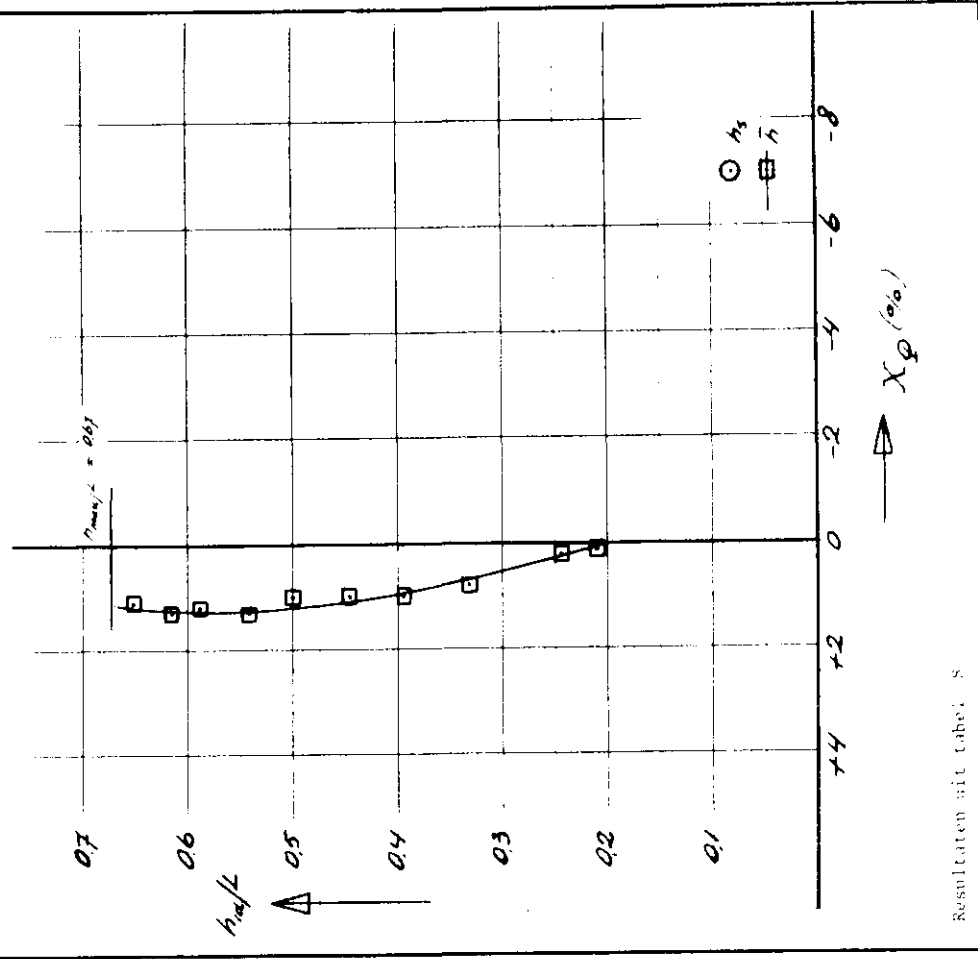
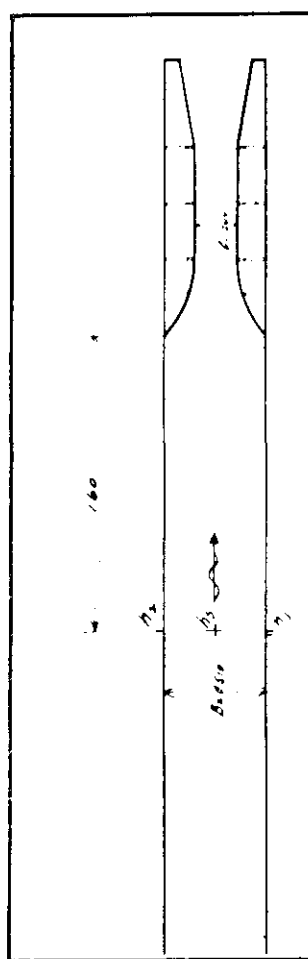
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1963

FIG. 1

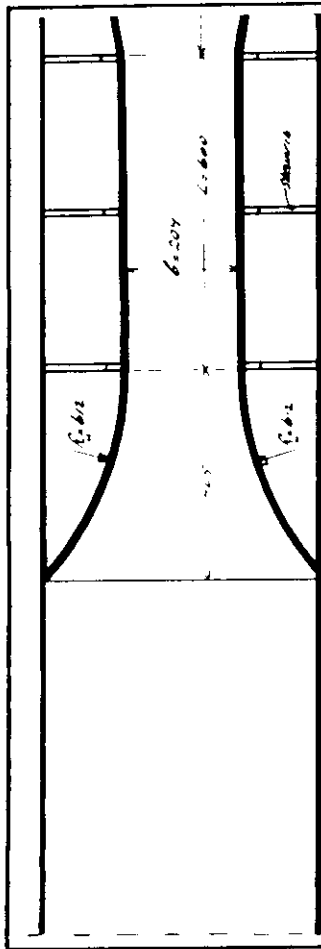


Overzicht: voorgesng meetseries 15 t/m 19		
	N1963	FIG. 1
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM		A4



Resultaten uit tabel 8

Resultaten onderzoek serie 15 ideale aanstroming, meting op 1,60 m		
	N1963	FIG. 1
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM		A4



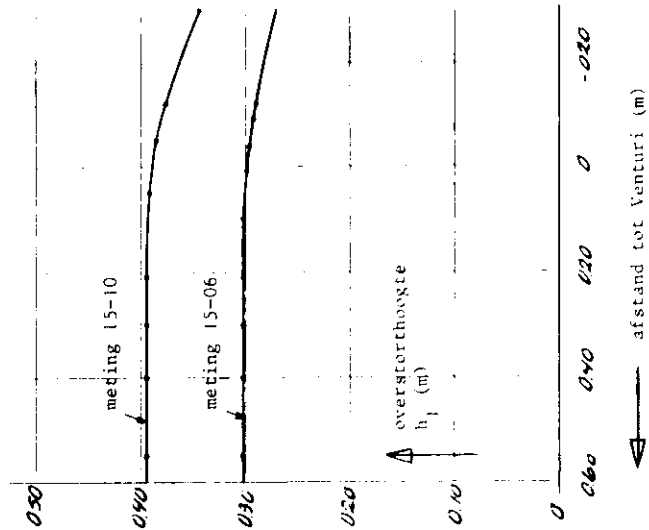
BOVEN-AANZICHT VENTURI-MEETGOOT

afstand tot Venturi (m)	gemeten h_p (m)	$(h_p/h_1)^2$
1,60	0,3952	0,3098
1,15	0,3935	0,3087
0,85	0,3932	0,3086
0,55	0,3934	0,3088
0,20	0,3948	0,3100
0,00	0,3938	0,3094
0,27	0,3934	0,3085
0,05	0,3910	0,3053
-0,05	0,3883	0,3011
-0,12	0,3779	0,2867
-0,30	0,3345	0,2228

MEETBLAD 15-10
 $h_1 = 0,3948$
 $(h_p/h_1)^2 = 1,00$ op afstand 0,00 m

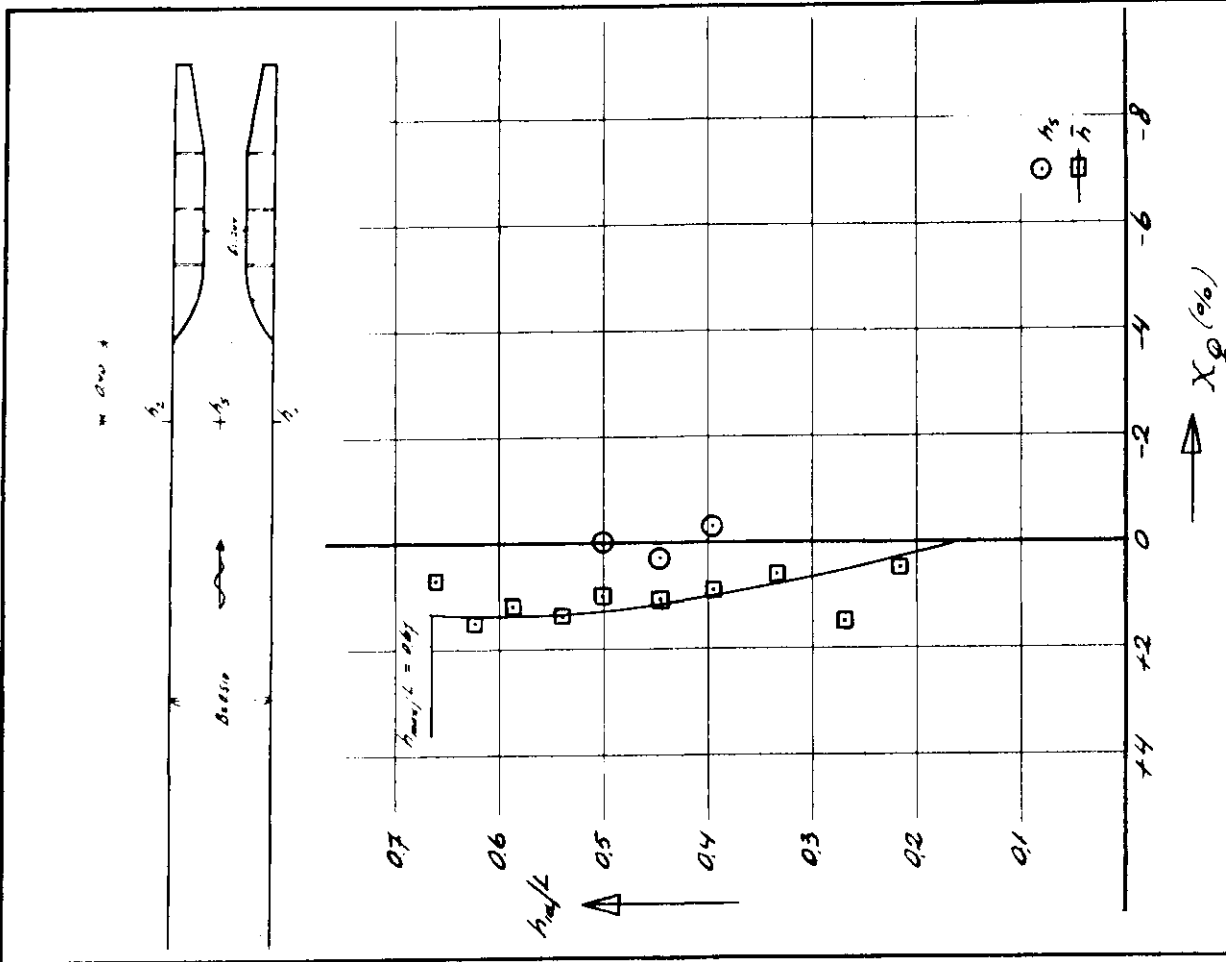
afstand tot Venturi (m)	gemeten h_p (m)	$(h_p/h_1)^2$
1,60	0,3028	0,2348
1,15	0,3028	0,2348
0,85	0,3022	0,2340
0,55	0,3025	0,2344
0,20	0,3025	0,2344
0,00	0,3022	0,2340
0,27	0,3020	0,2336
0,05	0,3011	0,2328
0,01	0,2998	0,2314
-0,04	0,2978	0,2292
-0,09	0,2946	0,2258
-0,12	0,2915	0,2228

MEETBLAD 06
 $h_1 = 0,3022$
 $(h_p/h_1)^2 = 1,00$ op afstand 0,00 m



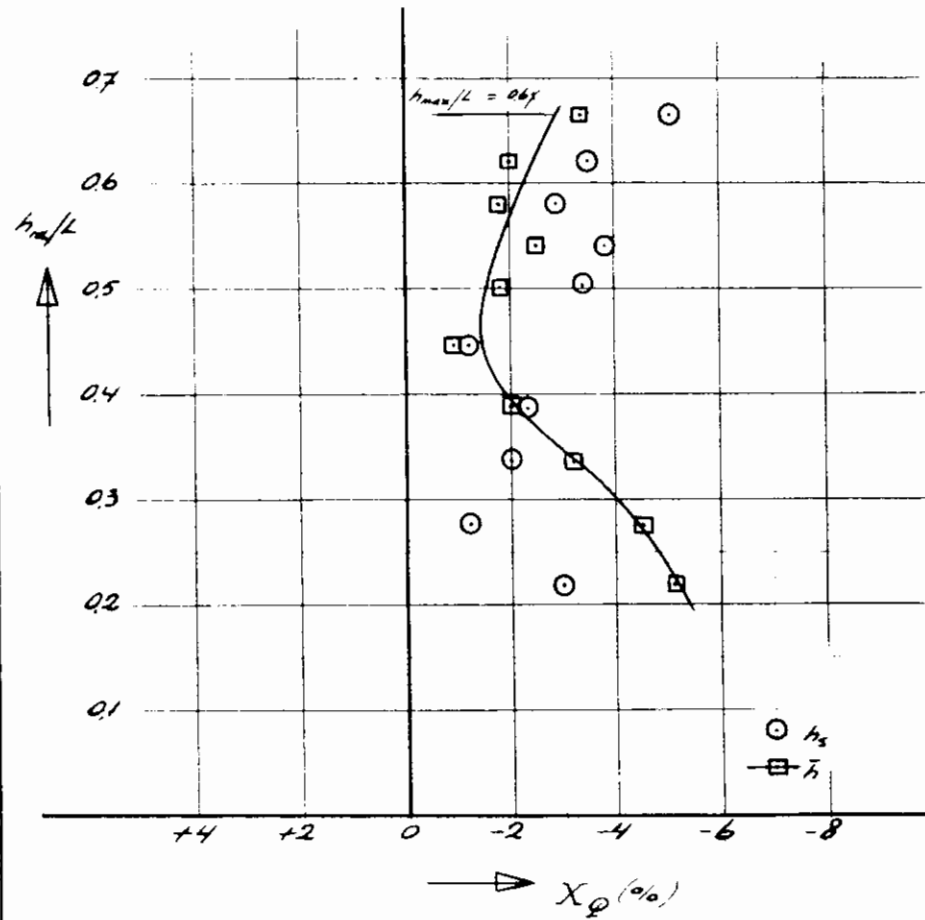
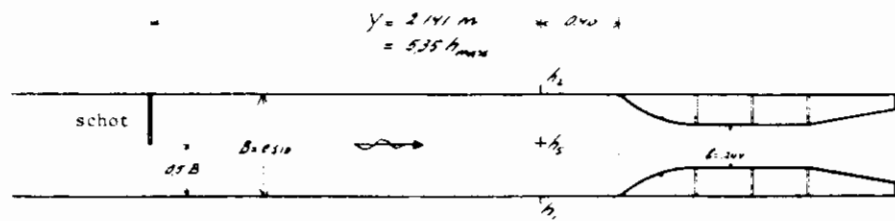
h_p is de waterstand gemeten in het hart van de goot met een Pitot-buis
 \bar{h} is het gemiddelde van de waterstanden. Gemeten in de peilputten links en rechts van de goot op 1,60 m bovenstrooms van de Venturi
 $(\bar{h}/h_1)^2$ is de aanduiding voor de grootte van de fout in het debiet, als gevolg van de waterspiegelaflating bij het naderen van de Venturi

Verloop waterspiegel bij het naderen van de Venturi bij ideale aanstroming



Resultaten uit tabel 9

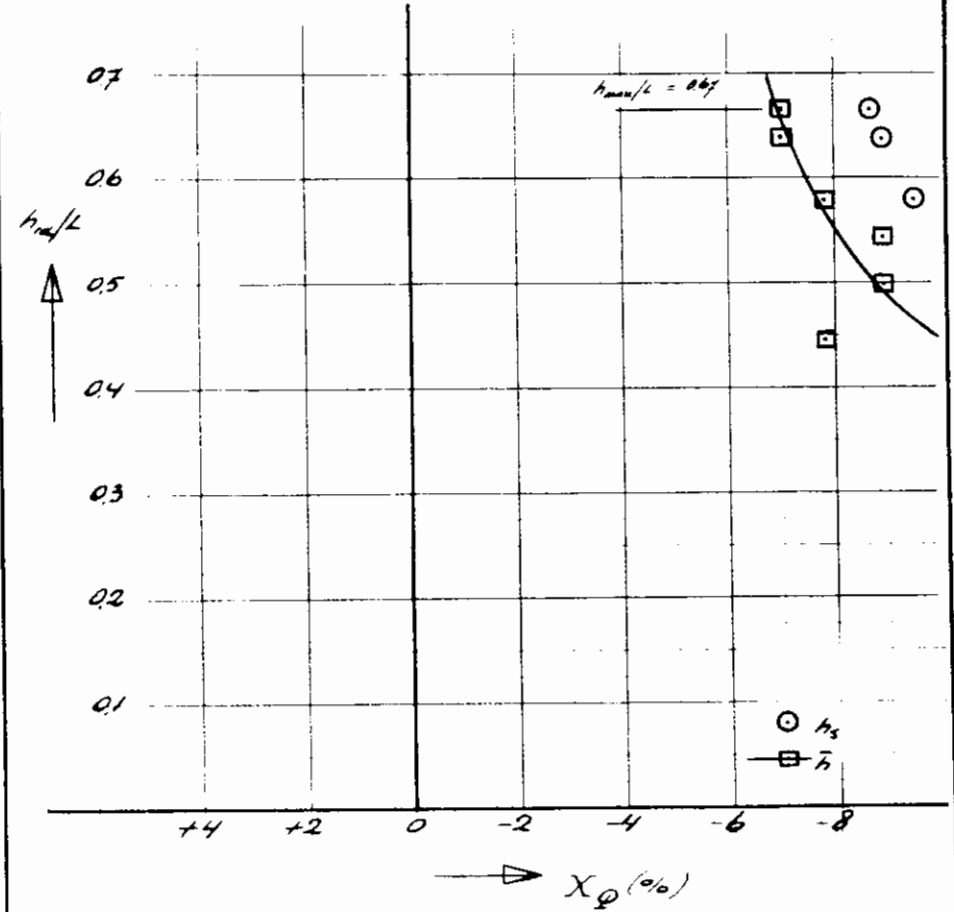
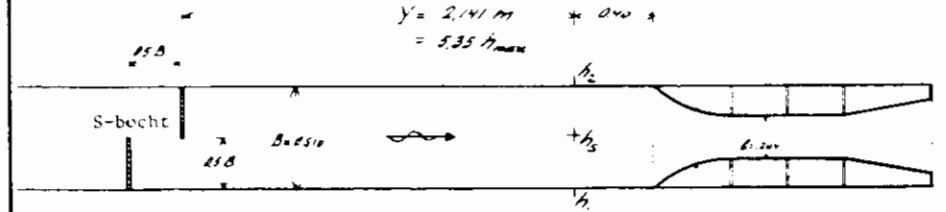
Resultaten onderzoek serie 16
 ideale aanstroming, meting op 0,40 m



Resultaten uit tabel 10

Resultaten onderzoek serie 17
50% afsluiting door één enkel schot

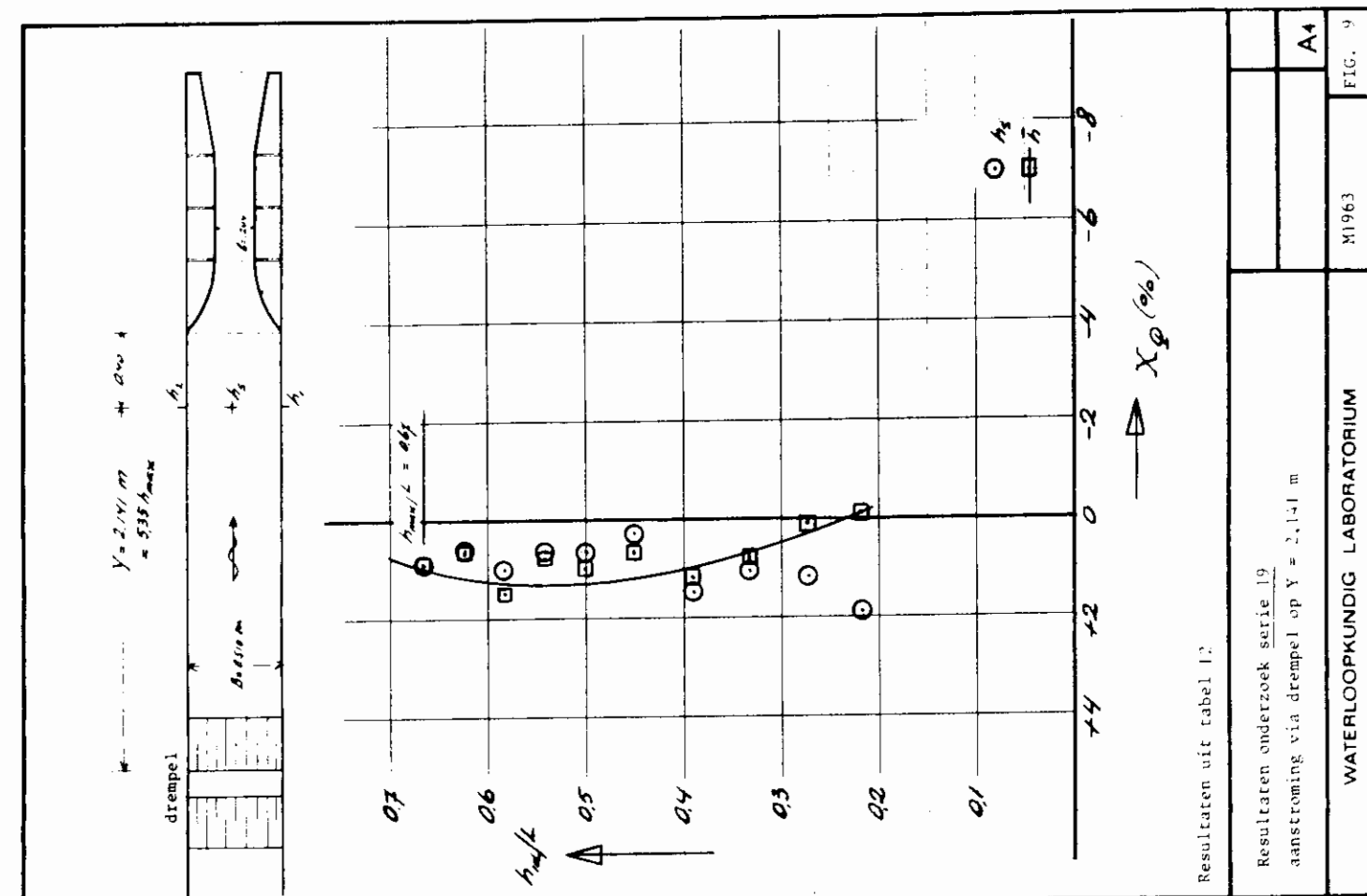
A4



Resultaten uit tabel 11

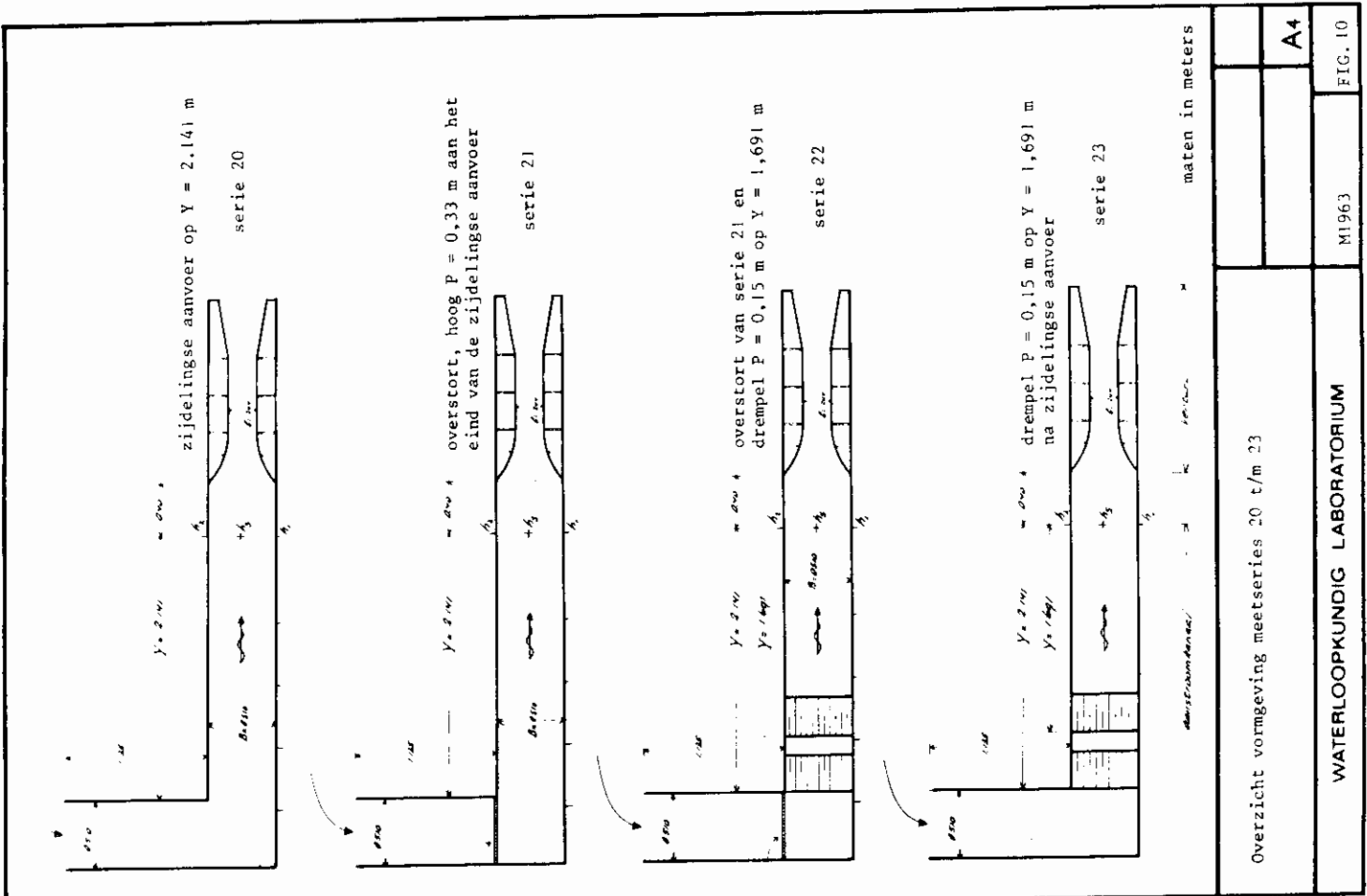
Resultaten onderzoek serie 18
50% afsluiting na S-becht aanstroming

A4



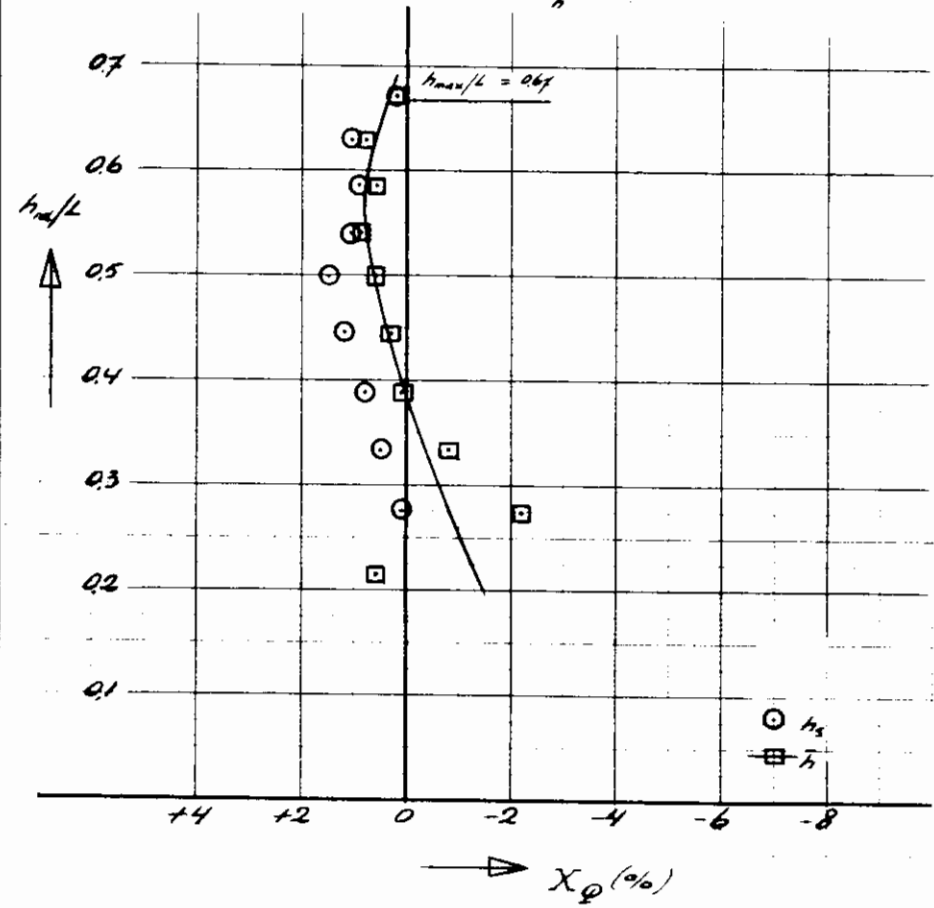
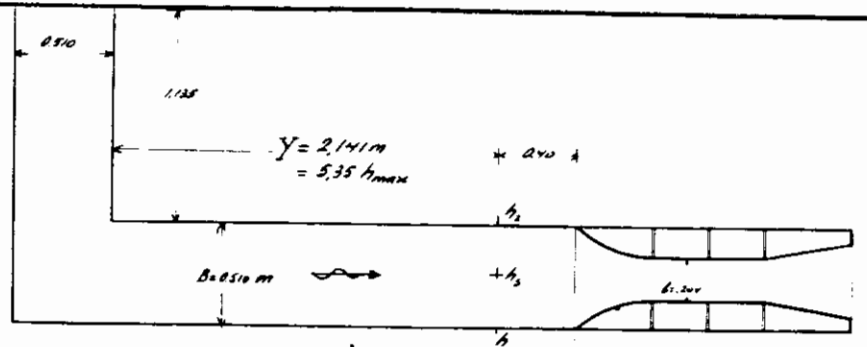
Resultaten uit tabel 1:
Resultaten onderzoek serie 19
aanstroming via drempel op $Y = 2.141 \text{ m}$

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM		M1963	FIG. 9
			A4



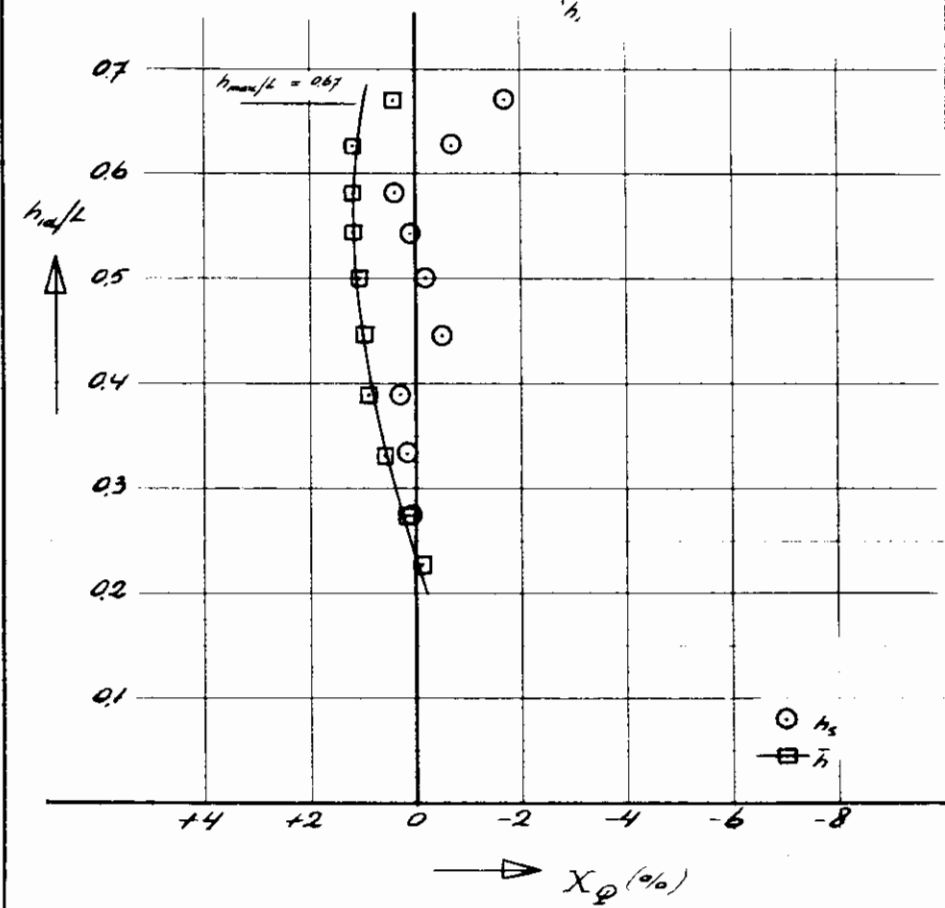
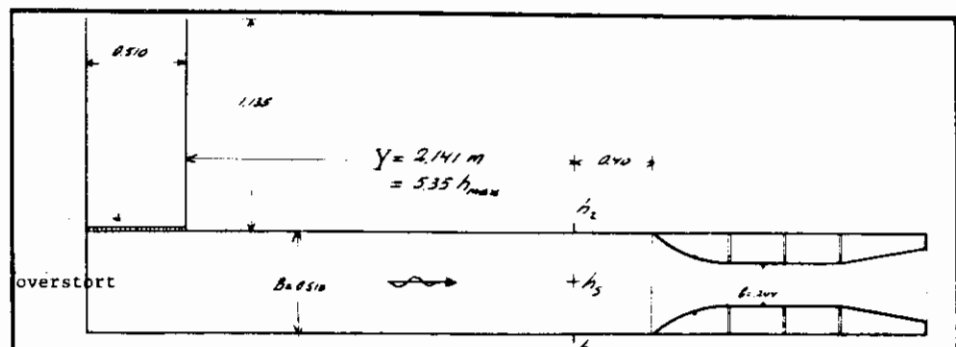
Overzicht vormgeving meetseries 20 t/m 23

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM		M1963	FIG. 10
			A4



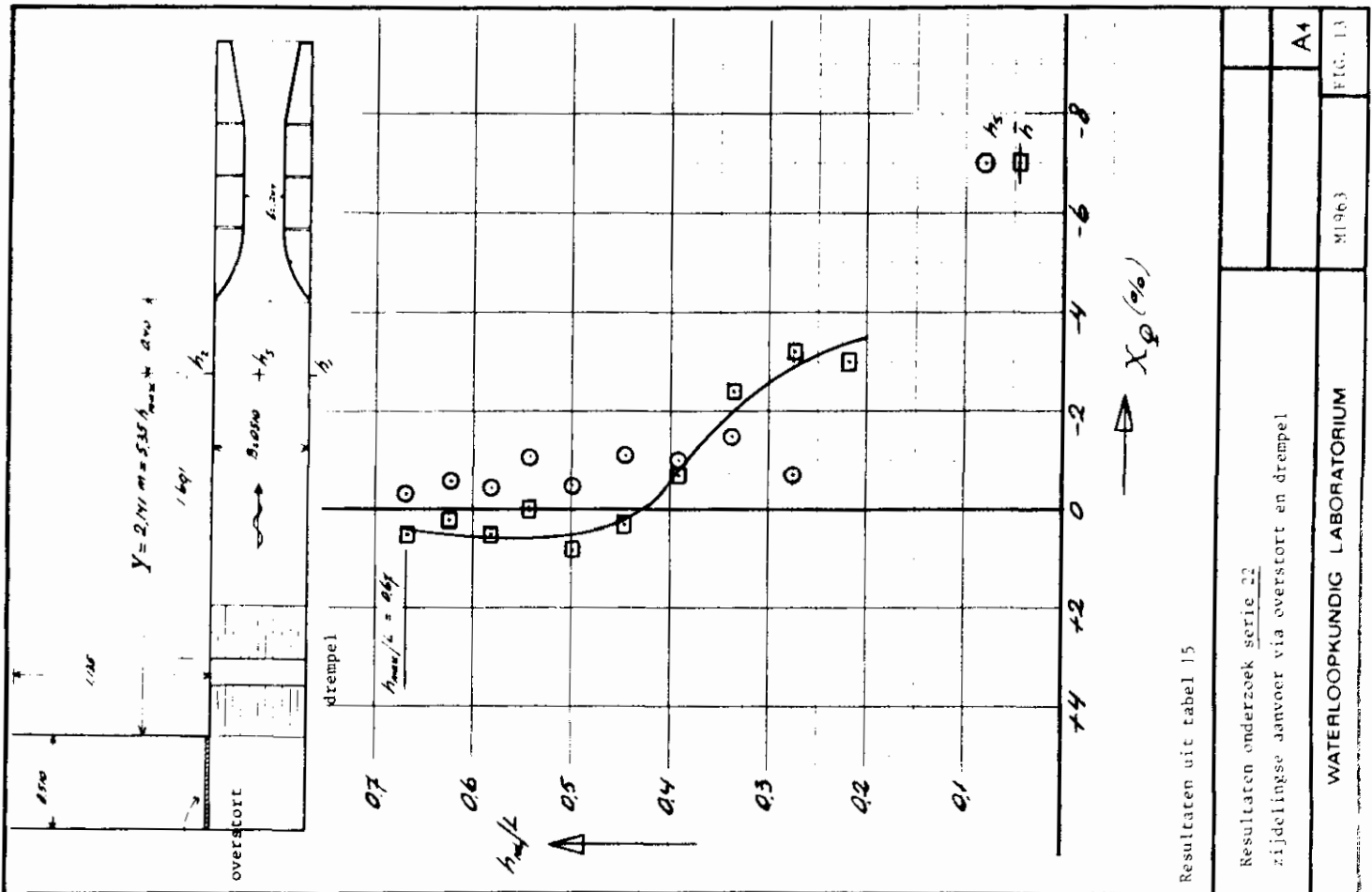
Resultaten uit tabel 13

Resultaten onderzoek serie 20 zijdelingse aanvoer op $Y = 2,141$ m			A4
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M1963	FIG. 11	



Resultaten uit tabel 14

Resultaten onderzoek serie 21 zijdelingse aanvoer via overstort			A4
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M1963	FIG. 12	



Resultaten uit tabel 15

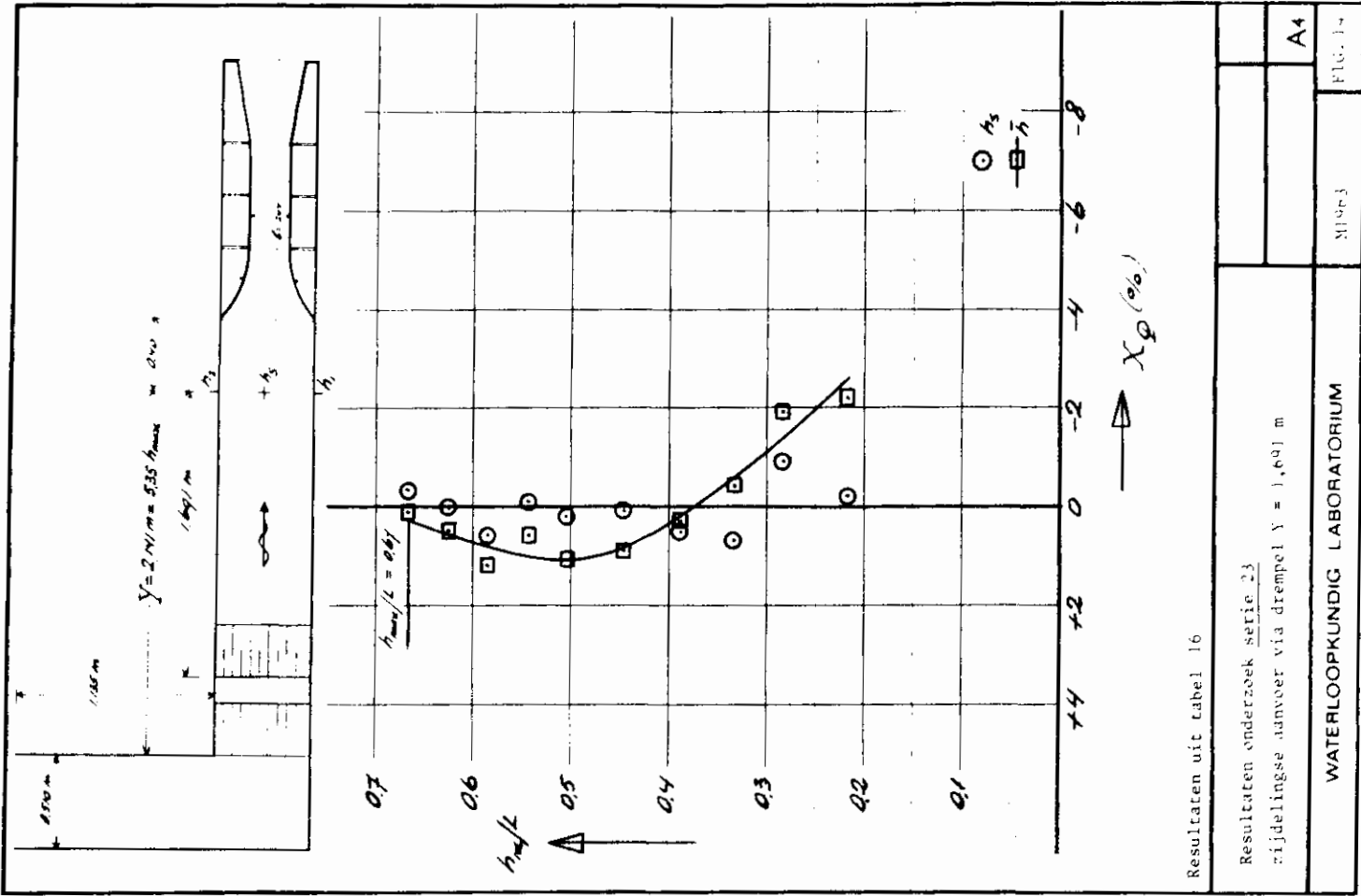
Resultaten onderzoek serie 22
zijdelingse aanvoer via overstort en drempeel

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1963

FIG. 15

A4



Resultaten uit tabel 16

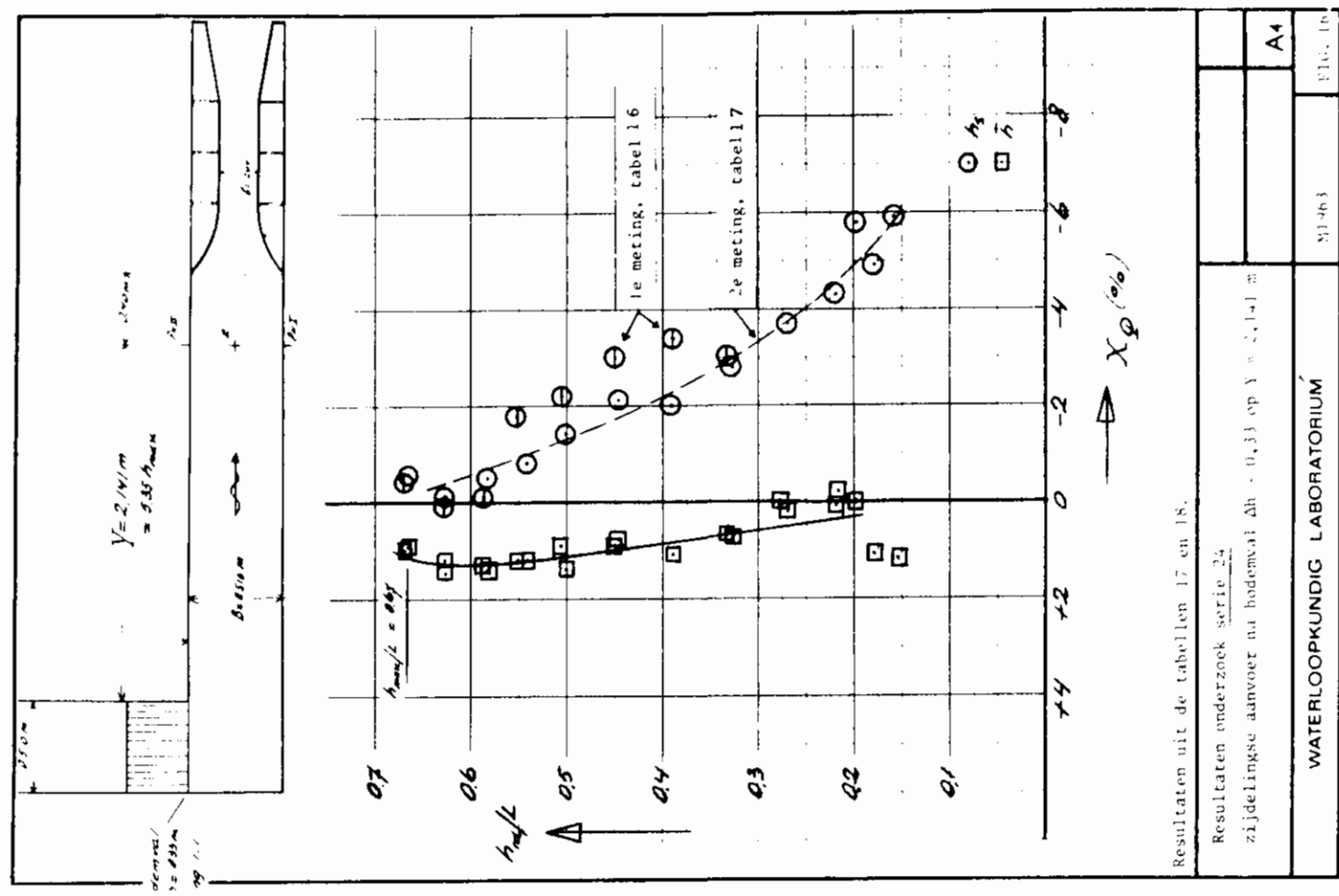
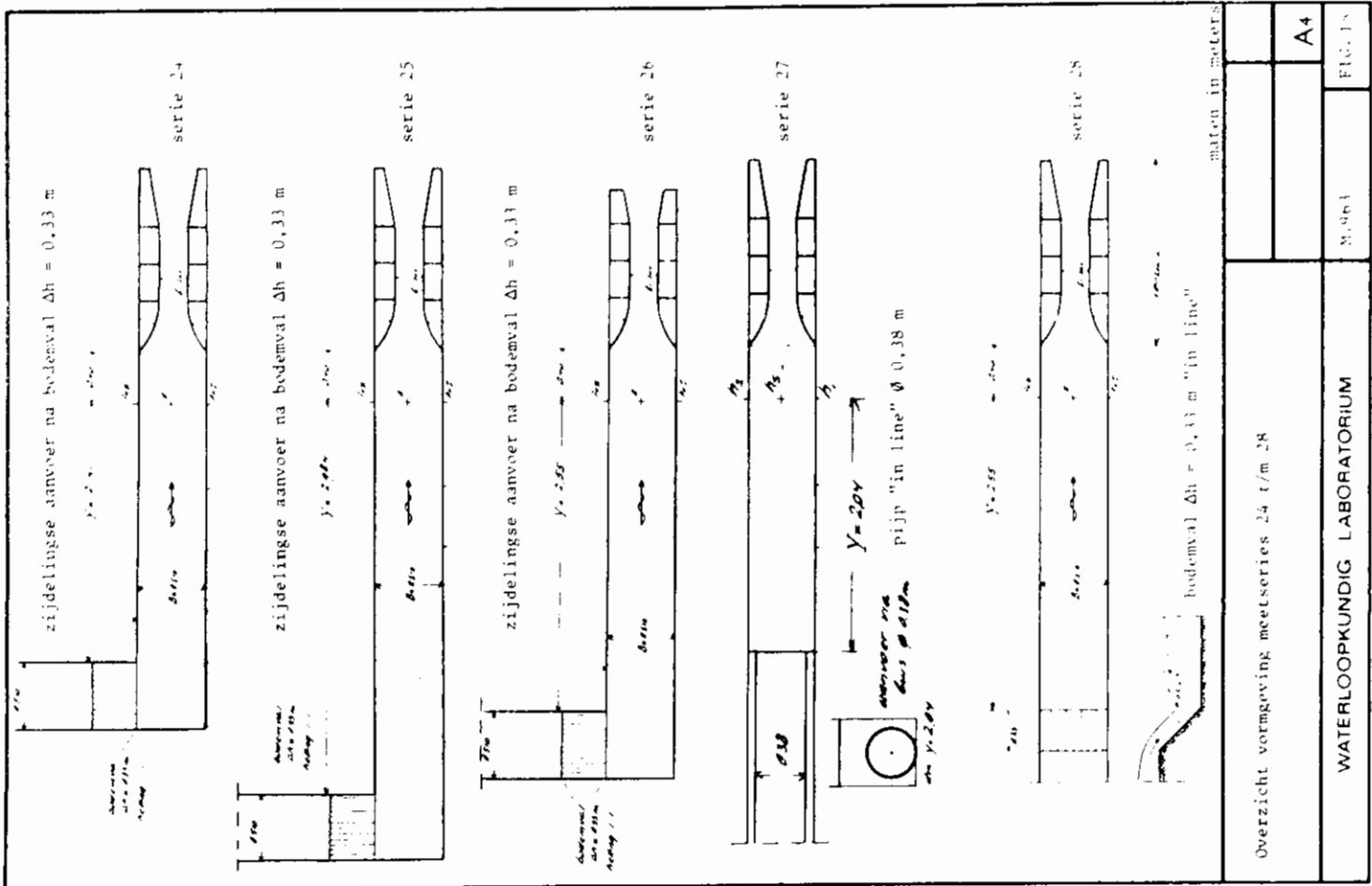
Resultaten onderzoek serie 23
zijdelingse aanvoer via drempeel $Y = 1.669 \text{ m}^3/\text{s}$

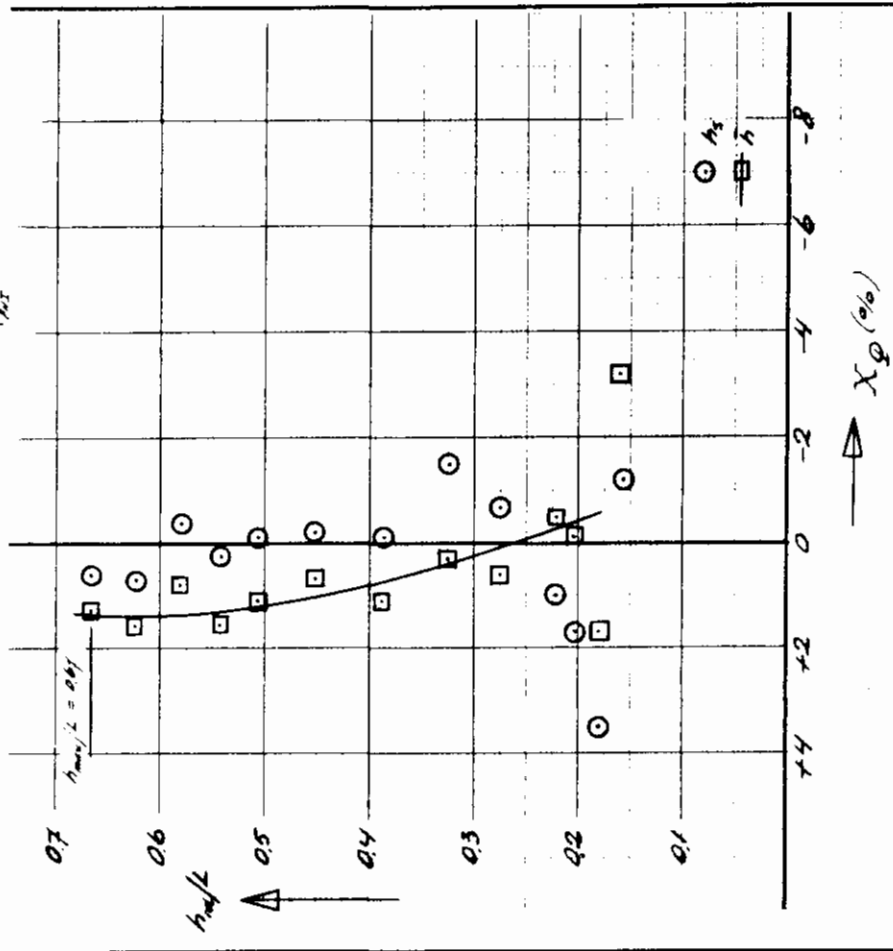
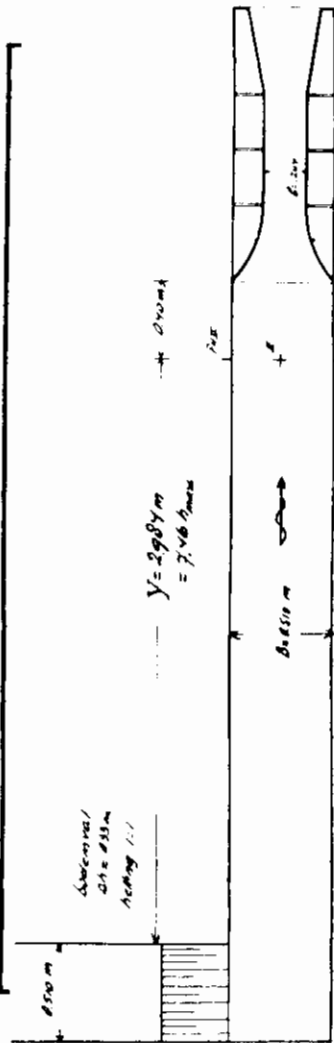
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1963

FIG. 16

A4





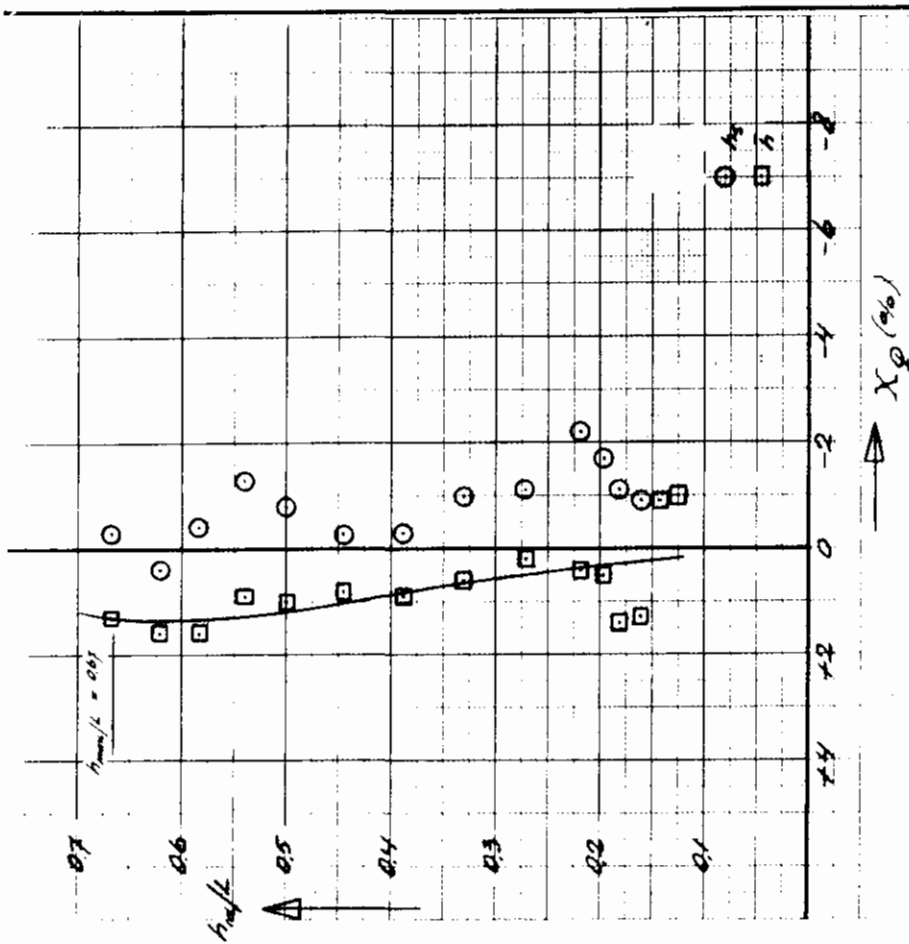
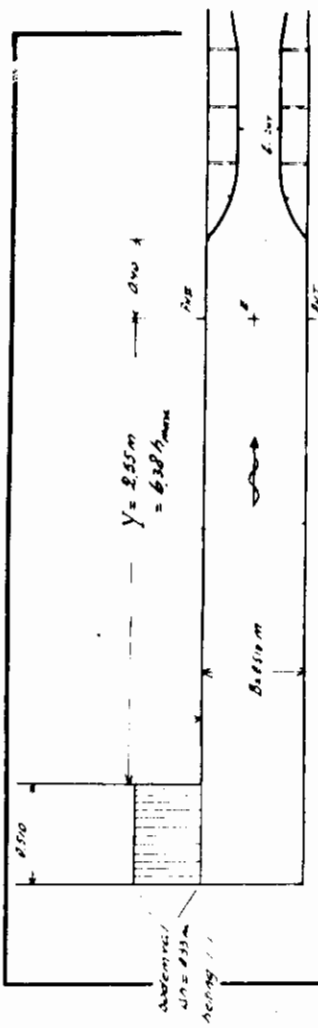
Resultaten uit tabel 19

Resultaten onderzoek serie 25, zijdelingse aanvoer na bodemval $\Delta h = 0.33 \text{ m}$ op $Y = 2.984 \text{ m}$

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1963

FIG. 17



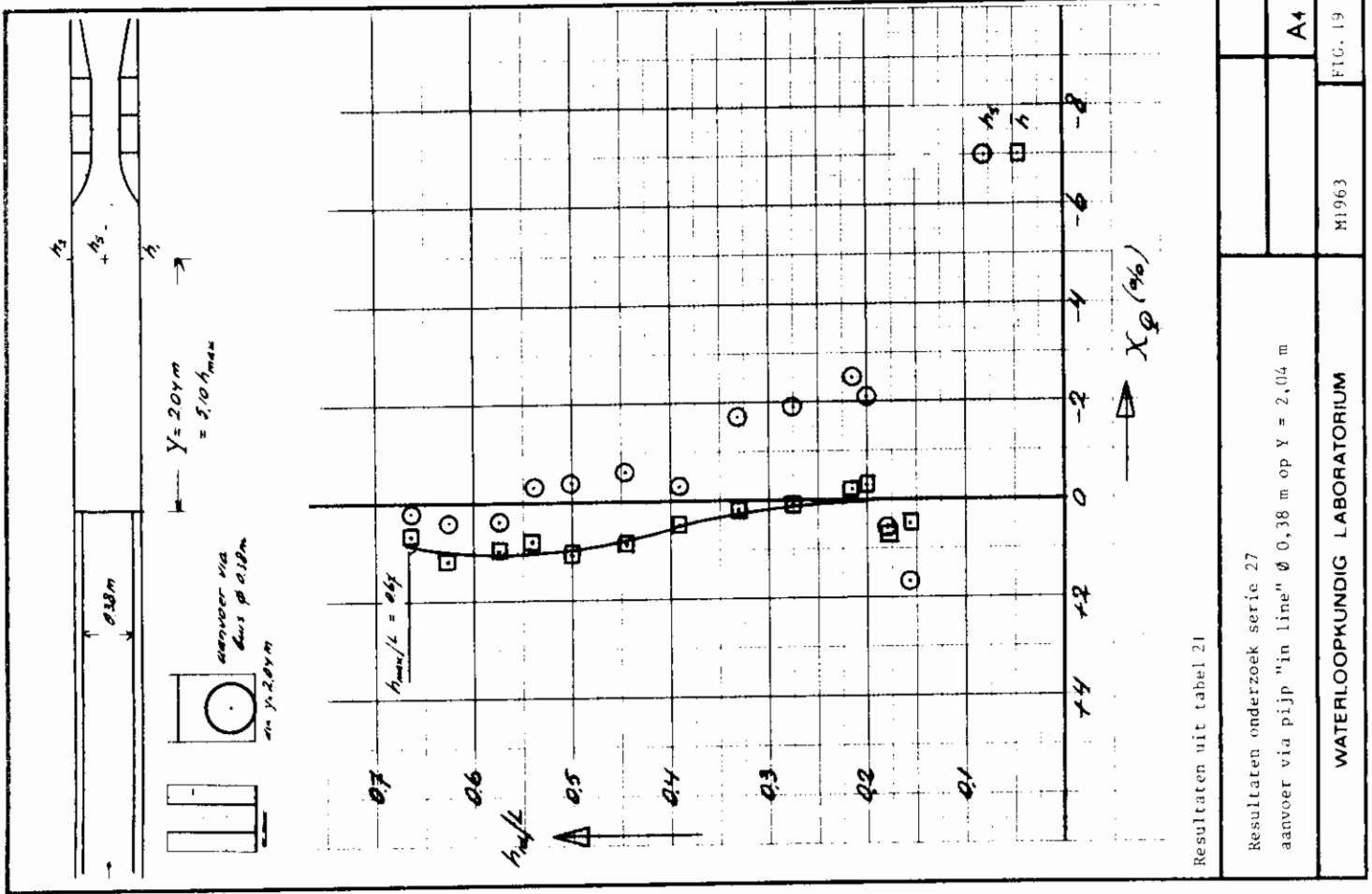
Resultaten uit tabel 20

Resultaten onderzoek serie 26, zijdelingse aanvoer na bodemval $\Delta h = 0.33 \text{ m}$ op $Y = 2.55 \text{ m}$

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1963

FIG. 18



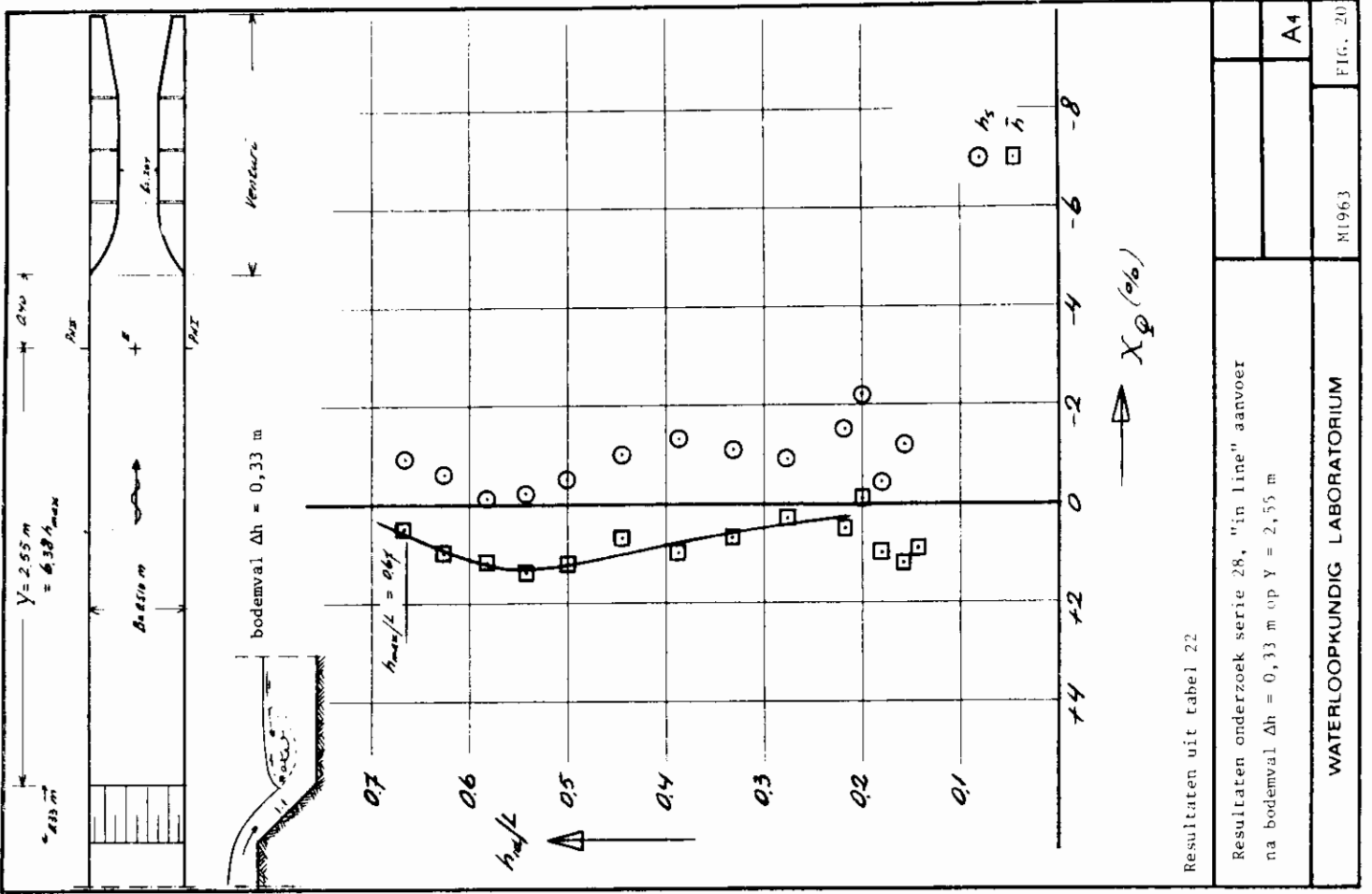
Resultaten uit tabel 21

Resultaten onderzoek serie 27
aanvoer via pijp "in line" $\phi 0,38 \text{ m}$ op $Y = 2,04 \text{ m}$

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1963

FIG. 19



Resultaten uit tabel 22

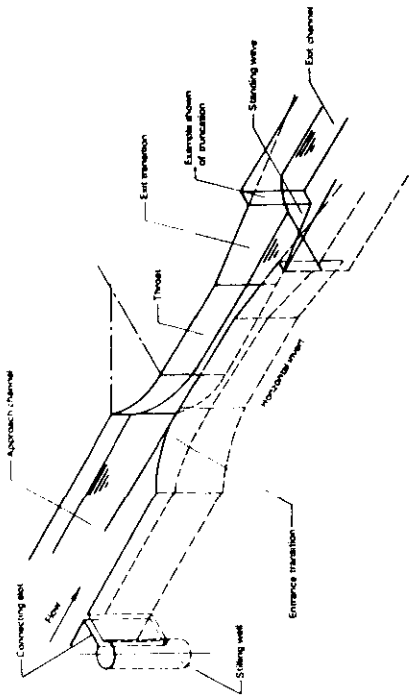
Resultaten onderzoek serie 28, "in line" aanvoer
na bodenva1 $\Delta h = 0,33 \text{ m}$ op $Y = 2,55 \text{ m}$

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

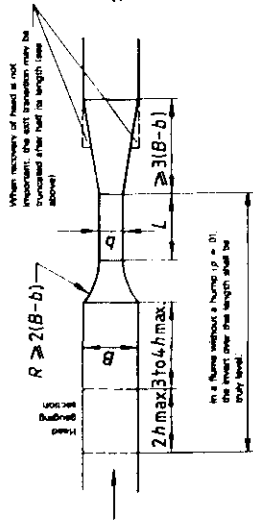
M1963

FIG. 20

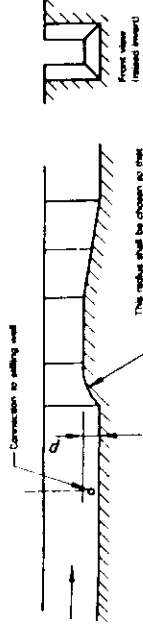
ISO 4359-1983



a) Isometric view of level invert flume ($p = 0$)



b) Plan view



c) Longitudinal section of flume with raised invert (bump)

N. B. De Venturi, waarop het huidige onderzoek was gericht, heeft geen bodemverhoging.

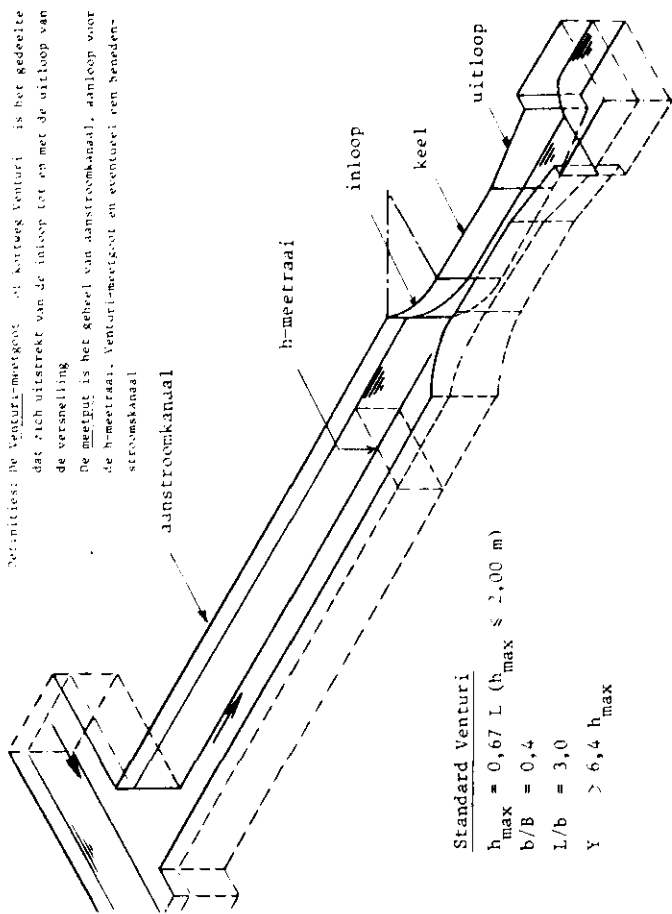
Hoofdafmeting Venturi-meetgoot volgens ISO 4359-1983

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1963

A4

FIG. 21



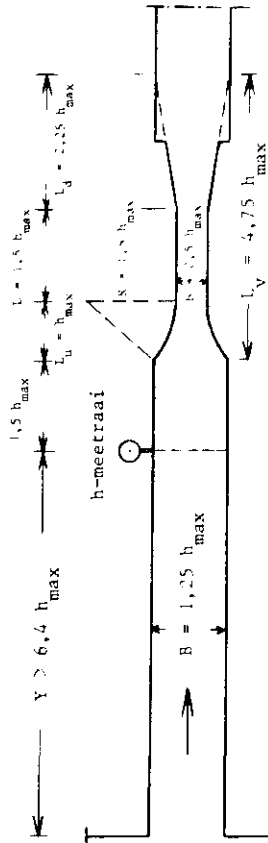
Standard Venturi

$h_{max} = 0,67 L$ ($h_{max} \leq 2,00$ m)

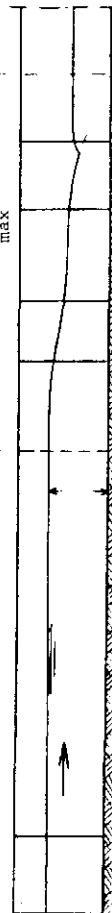
$b/B = 0,4$

$L/b = 3,0$

$Y > 6,4 h_{max}$



BOVEN-AANZICHT



LENGTE-DOORSNEDE

Definitief: De Venturi-meetgoot of kortweg Venturi is het gedeelte dat zich uitstrekt van de inloop tot en met de uitloop van de versnelling.

De meetput is het geheel van aanstroomkanaal, aanloop voor de h-meetraai, Venturi-meetgoot en eventueel een benedenstroomkanaal.

Hoofdafmetingen meetput voor Venturi-meetgoot

$b/B = 0,4$ en $L/b = 3$

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

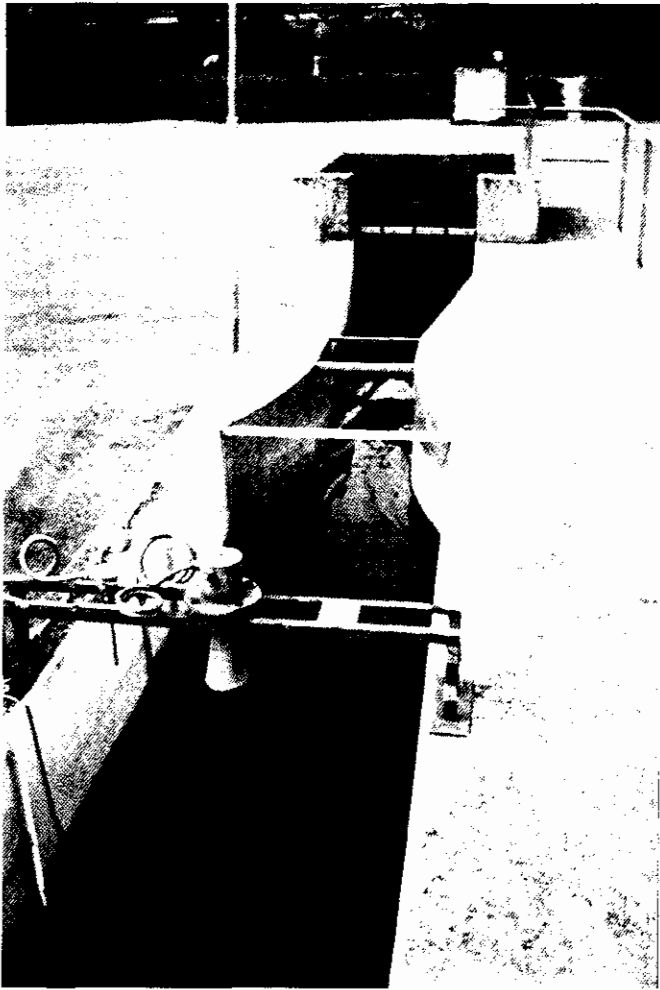
M1963

A4

FIG. 22

BIJLAGE 3

F O T O B L A D E N



keelbreedte $b = 0,515$ m

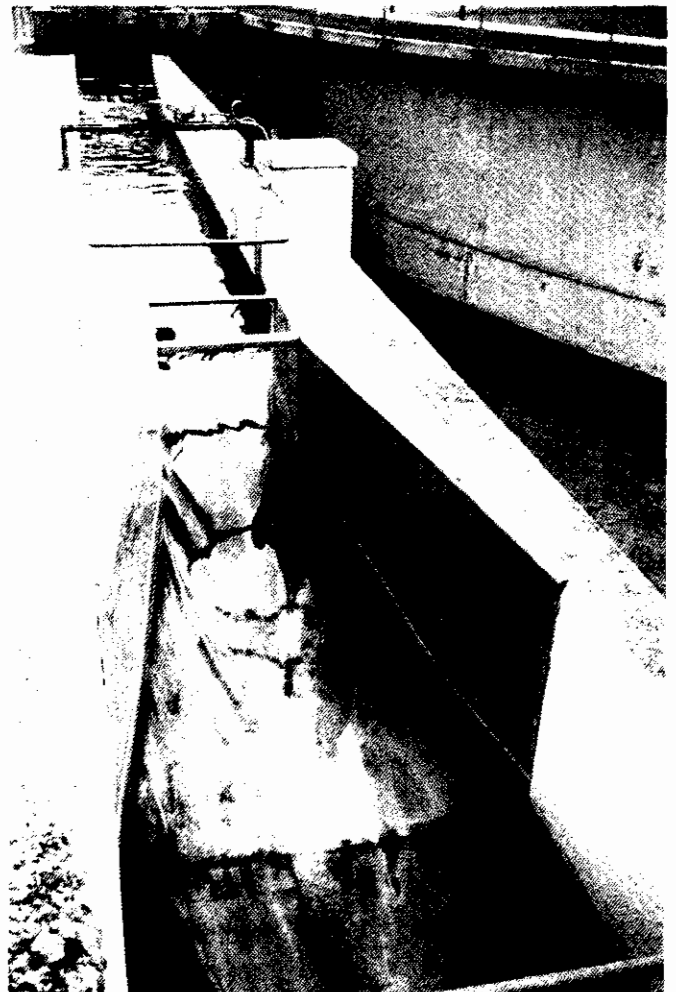
gootbreedte $B = 1,030$ m

keellengte $L = 0,515$ m

$h_{\max} = 0,58$ m

zijdelingse aanvoer
via een lage drempel

er is een vrij rustige
aanstroming



Venturi-meetgoot $b/B = 0,50$, rwzi Weesp

1

venturi-meetgoot rwzi Breukelen

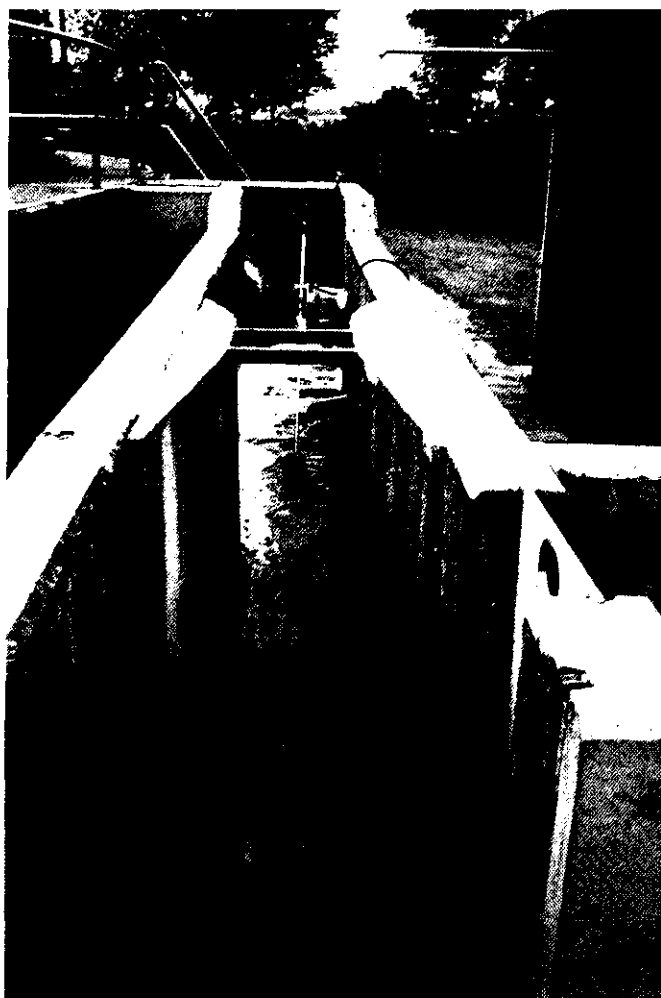
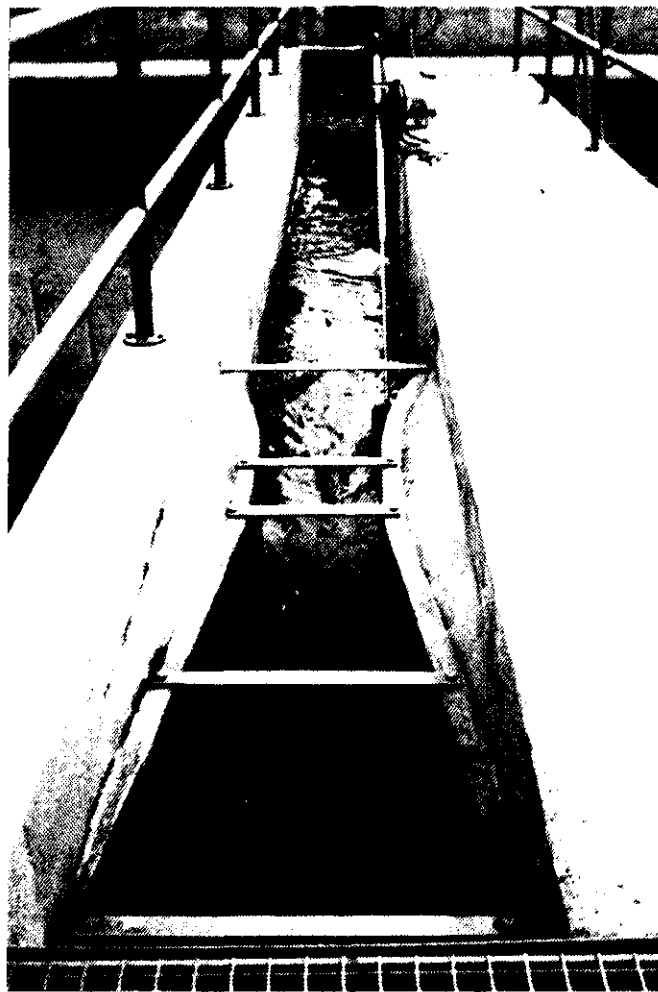
$$b = 0,275 \text{ m} \quad > b/B = 0,50$$

$$B = 0,55 \text{ m}$$

$$L = 0,40 \text{ m}$$

$$h_{\text{max}} = 0,60 \text{ m}$$

$$\text{aanstroomlengte } Y = 3,85 \text{ m}$$



venturi-meetgoot rwzi Bunschoten

$$b = 0,40 \text{ m} \quad > b/B = 0,57$$

$$B = 0,70 \text{ m}$$

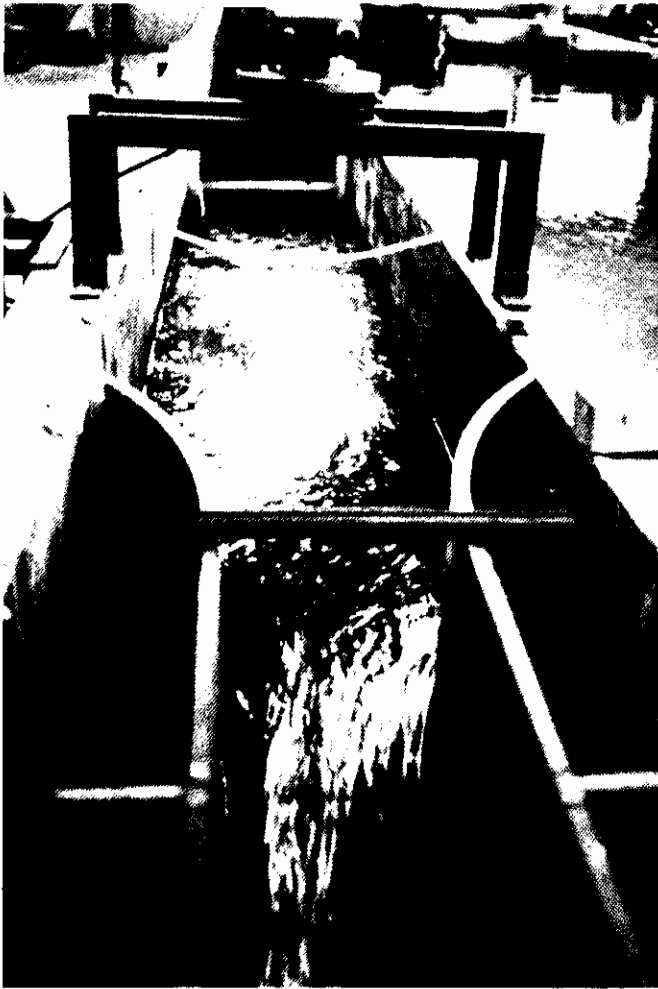
$$L = 0,40 \text{ m}$$

$$h_{\text{max}} = 0,70 \text{ m}$$

$$\text{aanstroomlengte } Y = 3,20 \text{ m}$$

de aanvoer vindt plaats:

- zijdelings $\Delta h = 1,20 \text{ m}$
- vanuit de bodem



zicht op het bovenstrooms pand

de waterstand is gemeten op 0,40 m
vanaf de voorkant van de venturi

de venturi in het model

een keelbreedte $b = 0,2033$ m

een gootbreedte $B = 0,518$ m

een keellengte $L = 0,600$ m

(zie figuur 2)

