

waterloopkundig laboratorium  
delft hydraulics laboratory

debietmeting bronnering bouwput Philipsdamsluizen

advies tot inrichting van meetbakken

verslag onderzoek

---

R 1445

januari 1979

---

debietmeting bronnering bouwput Philipsdamsluizen

advies tot inrichting van meetbakken

verslag onderzoek

---

R 1445

januari 1979

## INHOUD

Lijst van figuren, tabellen en foto's

### SYMBOLLEN EN EENHEDEN

	blz.
<u>1</u> <u>Inleiding</u> . . . . .	1
<u>2</u> <u>Het onderzoek naar de afmetingen van de meetbakken</u>	
2.1      De verschillende situaties. . . . .	2
2.2      Het Thomson-meetschot . . . . .	3
2.3      De rechthoekige scherpe overlaat. . . . .	4
2.4      Aanbevolen maatvoering. . . . .	4
2.5      De Q-h relaties . . . . .	5
2.6      De nauwkeurigheid in de debietbepaling. . . . .	6
<u>3</u> <u>Het gedrag van de waterstandsvolger</u> . . . . .	9
<u>4</u> <u>Konklusies en aanbevelingen</u> . . . . .	11

Geraadpleegde literatuur

### FIGUREN EN TABELLEN

## Lijst van figuren, tabellen en foto's

### FIGUREN

- 1  $C_e$  als functie van  $h_1/P$  voor het Thomson-meetschot met  $\alpha = 90^\circ$  en  $P/B = 0,5$
- 2  $C_e$  als functie van  $h_1/P$  voor de rechthoekige scherpe overlaat met  $b/B = 0,4$
- 3 Inwendige maten Thomson-meetbakken t.b.v. bemaling bouwput Philipsdamsluizen
- 4 Onnauwkeurigheid waterstandsvolger (richtingseffekt en lineariteit)
- 5 Afvoerkromme Thomson-meetbak 1
- 6 Afvoerkromme Thomson-meetbak 2
- 7 Afvoerkromme Thomson-meetbak 3

### TABELLEN

- I Ontwerpmaten Thomson-meetbakken
- II Metingen ter bepaling van de nauwkeurigheid van de waterstandsvolger

### FOTOBLAD

- I De waterstandsvolger

## SYMBOLLEN EN EENHEDEN

B	breedte van de meetbak	m
$C_e$	karakteristieke afvoercoëfficiënt	-
g	versnelling t.g.v. de zwaartekracht	$m/s^2$
$h_e$	effektieve overstorthoogte	m
$h_1$	werkelijke overstorthoogte	m
$k_h$	korrektie $k_h = h_e - h_1$	m
P	kruinhoogte t.o.v. bodem meetbak	m
Q	debiet	$m^3/s$
$X_C$	fout in $C_e$	%
$X_h$	fout in $h_1$	%
$X_Q$	fout in Q	%
$\alpha$	openingshoek V-schot	graden
$\delta_h$	absolute fout in $h_1$	m

## 1 Inleiding

Door de Rijks Waterstaat Deltadienst, hoofdafdeling Waterloopkunde, werd op 20 februari 1979 opdracht verleend aan het Waterloopkundig Laboratorium tot het volgende onderzoek:

- a) het vaststellen van aangepaste ontwerpmaten voor een aantal meetbakken ten behoeve van de debietmeting van de bronneringsafvoeren in de bouwput van de Philipsdamsluizen;
- b) berekening van de afvoerrelaties voor het opgegeven meetbereik en de te verwachten meetnauwkeurigheid; en
- c) het testen van de waterstandsvolger, die voor de continue registratie van de waterstanden in de meetbakken wordt gebruikt.

Na besprekingen te Gouda op 15 januari en te Rijswijk op 19 januari werd overeengekomen een hydraulisch akseptabele aanpassing te kiezen voor de aanvankelijk door de aannemer opgestelde maatvoering, waarbij het Thomson-meetschot werd gehandhaafd als type meetstuw.

Het onderzoek vond plaats in de Vestiging van het Waterloopkundig Laboratorium te Wageningen en werd uitgevoerd door ing. W. Boiten, die eveneens dit rapport samenstelde.

In paragraaf 4 zijn de resultaten samengevat.

## 2 Het onderzoek naar de afmetingen van de meetbakken

### 2.1 De verschillende situaties

De bronneringsafvoeren worden via een aantal verzamelleidingen op 9 plaatsen over de bouwput-ringdijk geleid, te weten op 7 lokaties rond de bouwput van de scheepvaartsluizen en op 2 lokaties rond de toekomstige bouwput van de jachtensluis. De afvoerleidingen worden naar het buiten-talud van de ringdijk geleid, waar 9 meetbakken zijn geprojecteerd, om de debieten continu te kunnen registreren.

De 9 situaties verschillen onderling in de volgende opzichten:

- de grootte van de maximum te verwachten debieten; en
- de wijze waarop de ringleidingen in de meetbakken worden ingevoerd:  
voor de verschillende lokaties varieert het aantal leidingen én komen uiteenlopende buisdiameters voor.

In het volgende overzicht zijn de verschillende situaties weergegeven:

type meet-bak	aan-tal	plaats	leidingen D <sub>inw</sub> (m)	meetbereik (m <sup>3</sup> /uur)
1	2	1 <sup>o</sup> open bemaling	1 Ø 0,461	Q < 600
		2 <sup>o</sup> jachtensluis	1 Ø 0,328	125 < Q < 250
2 <sup>a</sup>	2	oost 1 = oost 2	1 Ø 0,258 + 1 Ø 0,328	300 < Q < 600
2 <sup>b</sup>	1	zuid 4	1 Ø 0,461	300 < Q < 600
2 <sup>c</sup>	1	west 7	2 Ø 0,328	300 < Q < 600
3 <sup>a</sup>	1	oost 3	2 Ø 0,328 + 1 Ø 0,461	600 < Q < 1200
3 <sup>b</sup>	2	zuid 5 = west 6	2 Ø 0,461	600 < Q < 1200
	9			

De beide meetbakken type 1 (8 en 9) worden aanvankelijk gebruikt voor het afvoeren en meten van de open bemaling, en moeten dan elk maximaal 600 m<sup>3</sup>/uur kunnen afvoeren. In een later stadium worden deze twee meetbakken bij de toekomstige jachtensluis geplaatst, om de bronneringsafvoeren daar, die naar verwachting elk maximaal 250 m<sup>3</sup>/uur zijn, te meten.

De meetbakken moeten zó worden gedimensioneerd, dat de grootst te verwachten fout in de bepaling van het debiet beperkt wordt tot  $X_Q = 3 \text{ à } 5\%$ .

Deze eis geldt voor alle meetbakken, uitgezonderd type 1 als de bakken worden gebruikt voor de open bemaling, waarvoor  $X_Q < 5$  à 8% geldt. Alle meetbakken 2 en 3 moeten bij calamiteiten  $1,7 \times Q_{\max}$  kunnen afvoeren.

## 2.2 Het Thomson-meetschot

De V-vormige scherpe overlaat, ook wel het Thomson-meetschot genoemd, behoort tot de meetstuwten, waarmee debieten zeer nauwkeurig kunnen worden bepaald over een relatief groot bereik.

In figuur 1 zijn enkele belangrijke gegevens vermeld over het Thomson-meetschot. De afvoerformule luidt:

$$Q = 8/15 \cdot \sqrt{2g} \cdot C_e \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2) \cdot h_e^{2,50} \quad (2.1)$$

waarin

- Q    het debiet ( $\text{m}^3/\text{s}$ )  
g    versnelling t.g.v. de zwaartekracht  $9,81 \text{ m/s}^2$   
 $C_e$     de karakteristieke afvoercoëfficiënt (-)  
 $\alpha$     openingshoek (graden)  
 $h_e$     effectieve overstorthoogte (m)     $h_e = h_1 + k_h$   
 $h_1$     overstorthoogte t.o.v. de kruin (m)

Voor  $\alpha = 90^\circ$  wordt  $\operatorname{tg}(\alpha/2) = 1$   
en  $k_h = 0,0008 \text{ m}$

De afvoerformule gaat dan over in:

$$Q = 2,362 \cdot C_e (h_1 + 0,0008)^{2,50} \quad (2.2)$$

De afvoercoëfficiënt  $C_e$  is een functie van  $h_1/P$ , waarbij P de kruinhoogte voorstelt, gemeten ten opzichte van de bodem van de meetbak.

Voor de overstortende straal met onvolledige insnoering over een Thomson-meetschot  $\alpha = 90^\circ$  en  $P/B = 0,5$  geldt dan het verband tussen  $C_e$  en  $h_1/P$  zoals is aangegeven in figuur 1.

De grootst te verwachten fout in  $C_e$  wordt beperkt tot  $X_C = 1$  à 2%, mits aan de volgende aanstromingsvoorwaarden wordt voldaan:

- $h_1/P < 1,2$
- $h_1/B < 0,4$



- $0,05 \text{ m} < h_1 < 0,60 \text{ m}$
- $P > 0,1$
- $B > 0,60 \text{ m}$
- de overstorthoogte wordt bepaald op een afstand  $X \approx 3 h_{\max}$
- het bovenstrooms profiel van de meetbak is uniform en recht over een lengte van 10 x de breedte van de meetbak of 20 x de breedte van de overstortende straal.

Zodra voor elk der meetbakken de kruinhoogte  $P$  is vastgesteld, kan met formule 2.2 en figuur 1 de betrekking tussen  $Q$  en  $h_1$  worden opgesteld.

### 2.3 De rechthoekige scherpe overlaat

Als alternatief voor het Thomson-meetschot is de rechthoekige scherpe overlaat ter sprake gebracht.

Voordelen van de laatste zijn:

- kleinere afmetingen voor de meetbak;
- eenvoudiger nulpuntsijking; en
- een iets betere nauwkeurigheid binnen het gestelde meetbereik.

In figuur 2 zijn de gegevens van de rechte overlaat met  $b/B = 0,4$  geschetst.

Bij uitwerking van het ontwerp bleek dat de geringere bakafmetingen resulteerden in een materiaalbesparing van 20 à 25% ten opzichte van het ontwerp met een Thomson-meetschot.

Als de voorkeur was uitgegaan naar een rechthoekige scherpe overlaat in een verkorte meetbak, dan was een modelijking onontbeerlijk geweest, om zeker te zijn van een  $Q-h_1$  relatie met de verlangde nauwkeurigheid. Uiteindelijk is gekozen voor het Thomson-meetschot, omdat de onderhandelingen daarover zich reeds in een gevorderd stadium bevonden.

### 2.4 Aanbevolen maatvoering

Voor vrijwel alle meetstuwen geldt als één der algemene voorwaarden in de hydraulische vormgeving, dat de aanstroamlengte van het bovenstrooms profiel tenminste 10 x de breedte van het profiel of 20 x de breedte van de overstortende straal zal bedragen.

Het is mogelijk de aanstroamlengte te beperken door het aanbrengen van voorzieningen, die ervoor zorgen dat het stroombeeld en de snelheids-

verdeling in de meetraai akseptabel zijn.

Als om economische factoren de aanstroomb lengte zeer sterk moet worden verkort, dan is het mogelijk het water, dat vaak met een gekoncentreerde straal in de meetbak binnenkomt, via een duikschot in het eigenlijke meetgedeelte van de bak in te laten.

Proeven in het verleden uitgevoerd door het Waterloopkundig Laboratorium hebben aangetoond, dat debietmeting in verkleinde Thomson-meetbakken mogelijk is, zijn het dan dat de grootst te verwachten fout kan oplopen tot  $X_Q = 3 \text{ à } 6\%$ . Dit geldt uitsluitend als de maatvoering overeenkomt met die van de aanbevolen verkleinde standaard-meetbak voor  $\alpha = 90^\circ$ , die voorzien is van een duikschot. De maatvoering is dimensieloos gehouden, waardoor ze bruikbaar is voor verschillende capaciteiten.

De aanvankelijk door de aannemer ontworpen Thomson-meetbakken behoeven enige aanpassing om te voldoen aan de aanbevolen maatvoering.

In figuur 3 en tabel I zijn de maten aangeduid voor de meetbakken 1, 2 en 3. Bij het ontwerp is uitgegaan van het meetbereik, zoals vermeld in paragraaf 2.1 en van de eis, dat  $1,7 Q_{\max}$  de meetbak moet kunnen passeren via het meetschot.

De hoogte A, waarop de ronde aanvoerbuizen in de meetbak moeten worden ingevoerd is, ondanks de verschillen in aantal leidingen en in de diameters ervan, zō gekozen dat een zo groot mogelijke gelijkvormigheid ontstond tussen de drie ontwerpen.

Het verdient aanbeveling - in die gevallen waar meerdere leidingen binnenkomen - deze gelijkmatig te verdelen over de breedte.

De aanvoer via meerdere leidingen met verschillende of ook met gelijke diameters is niet onderzocht tijdens het in het verleden door het W.L. uitgevoerde onderzoek. Twijfels over de aanstroombkondities, die resulteren in onzekerheden over het foutpercentage kunnen worden weggenomen door ijking in een model.

## 2.5 De Q-h relaties

De afvoerbetrekkingen voor elk der Thomson-meetbakken volgt uit formule 2.2, waarbij een akseptabele aanstroming wordt verondersteld:

$$Q = 2,362 \cdot C_e (h_1 + 0,0008)^{2,50}$$

$C_e$  wordt ontleend aan figuur 1.

Na het uitwerken van de Q-h relaties zijn regressieberekeningen uitgevoerd binnen het verlangde meetbereik. Het resultaat is als volgt:

type meetbak	aantal	bereik (m <sup>3</sup> /uur)	afvoerformule	
			Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /uur)
1	2	1) $Q < 600$	$Q = 1,445 h_1^{2,53}$	$Q = 5202 h_1^{2,53}$
		2) $125 < Q < 250$	$Q = 1,445 h_1^{2,53}$	$Q = 5202 h_1^{2,53}$
2	4	$300 < Q < 600$	$Q = 1,427 h_1^{2,53}$	$Q = 5138 h_1^{2,53}$
3	3	$600 < Q < 1200$	$Q = 1,414 h_1^{2,53}$	$Q = 5088 h_1^{2,53}$

In de figuren 5, 6 en 7 zijn de afvoerkrommes getekend.

Eventuele effecten ten gevolge van een minder ideale aanstroming door de korte aanstroomlengte en die ten gevolge van een ongelijk verdeelde aanstroming bij de invoer van meer dan één leiding, zijn niet in de hiervoor berekende Q-h relaties begrepen.

De eerste vergroot de fout in de debietbepaling met ten hoogste 2 à 3%.

De invloed van een ongelijk verdeelde aanstroming is niet bekend.

## 2.6 De nauwkeurigheid in de debietbepaling

De grootst te verwachten fout in het afleiden van het debiet uit de gemeten overstorthoogte met een formule  $Q = C \cdot h_1^u$  wordt voorgesteld door

$$X_Q = \sqrt{X_C^2 + (u \cdot X_h)^2}$$

$$X_h = 100 \delta_h / h_1$$

$\delta_h$  is de absolute fout in de meting van de overstorthoogte  $h_1$ . Ze is opgebouwd uit verschillende componenten

$$\delta_{h1} = 0,002 \text{ m} \quad \text{fout in de nulpuntsbepaling}$$

$$\delta_{h2} = 0,002 \text{ m} \quad \text{onbekend richtingseffekt in de vlotterbeweging}$$

$$\delta_{h3} = 0,002 \text{ m} \quad \text{onvolledige uitdemping van onrustige waterspiegel}$$

$$\delta_{h4} = 0,002 \text{ m} \quad \text{fout in de aflezing van de schrijver.}$$

$$\delta_h = \sqrt{\delta_{h1}^2 + \delta_{h2}^2 + \delta_{h3}^2 + \delta_{h4}^2} = 0,004 \text{ m}$$

$$X_h = 0,4/h_1 \%$$

Voor meetstuwten met een V-vormige dwarsdoorsnede is  $u \approx 2,5$ . De te verwachten fout  $X_C$  hangt af van de aanstroming.

Bij een akseptabele aanstroming - een geringe turbulentie en een goede snelheidsverdeling ter plaatse van de meetraai - bedraagt de fout in de afvoercoëfficiënt bij een onvolledige insnoering van de overstortende straal  $X_C = 1 \text{ à } 2\%$ .

De te verwachten fout  $X_Q$  wordt dan

type bak	aan- tal	bereik Q in (m <sup>3</sup> /uur)	bereik h <sub>1</sub> in (m)	X <sub>Q</sub> in (%)
1	2	1 $\underline{Q}$ ) Q < 600	h <sub>1</sub> < 0,426	3,2 > X <sub>Q</sub> > 3,1
		2 $\underline{Q}$ ) 125 < Q < 250	0,229 < h <sub>1</sub> < 0,301	4,5 > X <sub>Q</sub> > 3,9
2	4	300 < Q < 600	0,325 < h <sub>1</sub> < 0,428	3,2 > X <sub>Q</sub> > 3,1
3	3	600 < Q < 1200	0,430 < h <sub>1</sub> < 0,565	2,5 > X <sub>Q</sub> > 2,7

In werkelijkheid wordt de aanstroming in de meetbakken volgens figuur 3 en tabel I beïnvloed door enerzijds een afwijkende snelheidsverdeling ten gevolge van de korte aanstroombuigter tussen het duikschot en de meetraai, en anderzijds de onzekerheid ten gevolge van de aanvoer uit meerdere leidingen.

Door ijking van de meetbakken kan de resulterende afwijking worden vastgesteld, en is het mogelijk de afvoerbetrekking te korrigeren met de systematische komponent in de waargenomen afwijking.

In het volgende overzicht wordt de grootst te verwachten fout voor verschillende situaties onderling vergeleken:

- I  $X_C = 1 \text{ à } 2\%$  akseptabele aanstromingen volgens de voorschriften
- II  $X_C = 2 \text{ à } 5\%$  verkorte meetbak met één aanvoerleiding
- III  $X_C > 2 \text{ à } 5\%$  verkorte meetbak met meerdere aanvoerleidingen
- IV  $X_C = 1\%$  elke willekeurige meetbak na geijkt te zijn.

Rekening houdend met  $X_h = 0,4/h_1 \%$  wordt dan de fout  $X_Q$ :

type bak	meetbereik (m <sup>3</sup> /uur)	X <sub>Q</sub> -I (%)	X <sub>Q</sub> -II (%)	X <sub>Q</sub> -III (%)	X <sub>Q</sub> -IV (%)
1	1Q) Q < 600	3,2 à 3,1	3,7 à 5,5	> 3,7 à 5,5	3,2 à 2,5
	2Q) 125 < Q < 250	4,5 à 3,9	4,8 à 6,0	> 4,8 à 6,0	4,5 à 3,5
2	300 < Q < 600	3,2 à 3,1	3,7 à 5,5	> 3,7 à 5,5	3,2 à 2,5
3	600 < Q < 1200	2,5 à 2,7	3,1 à 5,3	> 3,1 à 5,3	2,5 à 2,0

### 3 Het gedrag van de waterstandsvolger

De waterstandsvolger, bestemd voor het kontinu registreren van de waterspiegel in de meetbak, is uitgevoerd met een vlotter  $\emptyset$  0,30 m en opgesteld in een vlotterbuis  $\emptyset$  0,40 m. De overbrenging van de vlotterbeweging naar de penschrijver bedraagt 1 : 2,5.

De waterstandsvolger is getest op:

a) een eventueel richtingseffekt.

Als de waterspiegel na een stijgende beweging een bepaald niveau bereikt, kunnen speling en wrijving in het overbrengingsmechanisme ten gevolge hebben, dat de schrijver een te lage stand aanwijst. Omgekeerd zal na een dalende waterspiegel de schrijver een te hoge stand aangeven.

b) de lineariteit.

Er kunnen afwijkingen in de overbrenging 1 : 2,5 optreden door een mechanisch mankement in het systeem (ophanging, schijven en bedrading) of door het niet vorm-vast zijn van het schrijverpapier (krimp of rek).

De waterstandsvolger is getest door een aantal keren de waterspiegel in de vlotterbuis te laten stijgen en dalen. Bij elke tussenstap werd een boven de buis opgestelde peilnaald afgelezen en werd de schrijverregistratie waargenomen.

Tabel II geeft een volledig overzicht van de metingen.

In een aantal gevallen is het richtingseffekt zo goed mogelijk geëlimineerd door het overbrengingsmechanisme in trilling te brengen.

In figuur 4 zijn de meetpunten in grafiek gebracht.

Het resultaat van de test met de onderzochte waterstandsvolger is:

a) er is een richtingseffekt met een systematisch karakter.

Bij een dalende waterbeweging is er een 3,5 à 4,5 mm te hoge registratie.

Bij een stijgende waterbeweging geeft de schrijver 3,5 à 4,5 mm te laag aan.

b) er is geen lineariteit.

Op elke 10 cm bedraagt de eveneens systematische fout circa 3 mm.

c) na korrektie op beide voorgaande afwijkingen resteert een toevallige fout in de overbrenging, die  $\delta_h = 1 \text{ à } 1,5 \text{ mm}$  bedraagt.

Terwille van de meetnauwkeurigheid is het noodzakelijk te corrigeren op de systematische fouten. Een moeilijkheid daarbij is dat - gezien de te verwachten geringe debietvariatiaties - stijgingen en dalingen binnen de 3,5 à 4,5 mm moeilijk te onderkennen zullen zijn.

Als de correcties op het richtingseffekt  $\delta_{h_2} = 4,5$  mm niet worden uitgevoerd, dan wordt de totale absolute fout  $\delta_h = 5,7$  mm.

De fout, veroorzaakt door een afwijking van 3% in de lineariteit, kan gering worden gehouden door de nulpuntsijking uit te voeren bij een gunstige waterstand, die overeenkomt met een waarde binnen het meetbereik in  $h_1$ . Aan het overzicht uit paragraaf 2.6 kunnen de volgende twee situaties worden toegevoegd:

V  $X_C = 2 \text{ à } 5\%$  en  $X_h = 0,57/h_1 \%$

verkorte meetbak en een waterstandsvolger met een richtingseffekt  $\delta_{h_2} = \pm 0,0045$  m.

VI als situatie V, maar met bovendien een afwijking van 3% in de lineariteit, waarvan het effect gering wordt gehouden door een nulpuntsijking bij  $h_{\min} + 3/4 (h_{\max} - h_{\min}) = 3/4 h_{\max} + 1/4 h_{\min}$ .

De grootst te verwachten fout  $X_Q$  wordt dan:

type bak	meetbereik (m <sup>3</sup> /uur)	$X_{Q-V}$ (%)	$X_{Q-VI}$ (%)	$X_{Q-II/III}$ (%)
1	1Q) $Q < 600$	$> 4,8 \text{ à } 6,0$	$> 6,6 \text{ à } 6,4$	$> 3,7 \text{ à } 5,5$
	2Q) $125 < Q < 250$	$> 6,5 \text{ à } 6,9$	$> 8,3 \text{ à } 7,3$	$> 4,8 \text{ à } 6,0$
2	$300 < Q < 600$	$> 4,8 \text{ à } 6,0$	$> 6,6 \text{ à } 6,5$	$> 3,7 \text{ à } 5,5$
3	$600 < Q < 1200$	$> 3,9 \text{ à } 5,6$	$> 5,7 \text{ à } 6,1$	$> 3,1 \text{ à } 5,3$

#### 4 Konklusies en aanbevelingen

1. De ontwerpmaten voor een aantal verkorte Thomson-meetbakken zijn aangegeven in figuur 3 en tabel I.
2. Met inachtneming van de aanbevolen maatvoering kunnen de debieten worden afgeleid uit de overstorthoogte door gebruik te maken van de afvoerbetrekkingen, zoals vermeld in paragraaf 2.5, en in grafiek gebracht in de figuren 5, 6 en 7.
3. De nauwkeurigheid van de debietbepaling is afhankelijk van de aanstroomcondities en van het type niveau-meter.  
In die situaties, waarbij meerdere leidingen worden ingevoerd, zijn de effecten van een ongelijk verdeelde aanstroming niet bekend.  
Een overzicht van de te verwachten fouten is vermeld in paragraaf 2.6 en paragraaf 3.
4. Indien zekerheid gewenst wordt omtrent de nauwkeurigheid in de debietbepaling met de verkorte Thomson-meetbakken, dan is ijking in een model gewenst. De maatvoering van de drie ontwerpen is zō gekozen, dat er een onderlinge gelijkvormigheid bestaat, hetgeen een systematisch onderzoek vereenvoudigt.
5. De geteste waterstandsvolger vertoonde een richtingseffekt van 3,5 à 4,5 mm en een afwijkende lineariteit van 3%. Zonder korrektes op deze systematische fouten zullen de te verwachten fouten  $X_Q$  - zoals vermeld in paragraaf 2.6 - worden overschreden, en worden fouten verwacht, zoals aangegeven in paragraaf 3.  
Het is wenselijk voor de registratie van waterstanden bij meetstuwen over een niveau-meter te beschikken, die de waterstand met een afwijking van ten hoogste 2 mm overbrengt op een schrijver of ponsband.

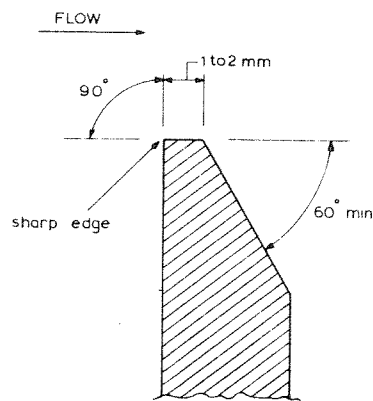
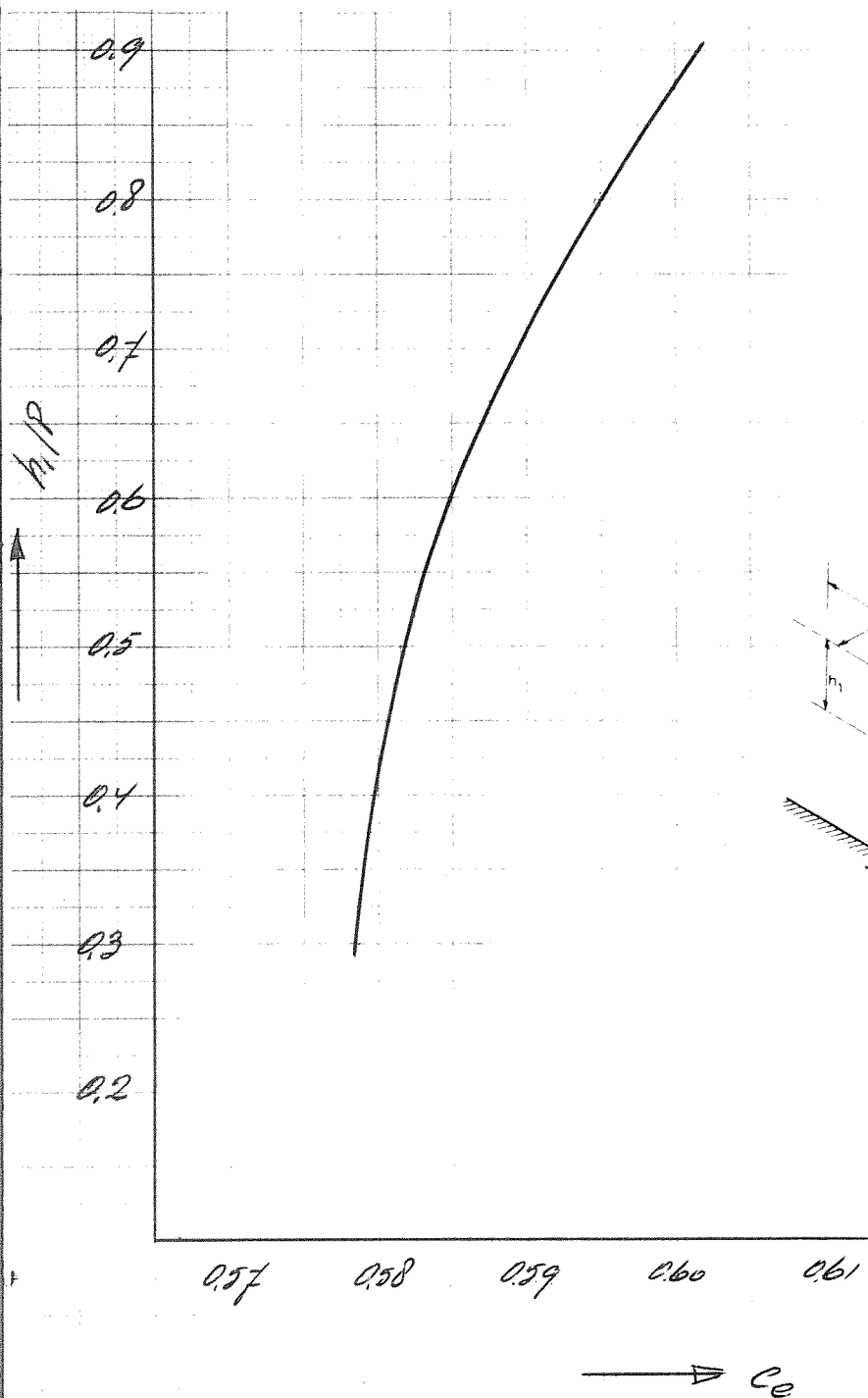


Geraadpleegde literatuur

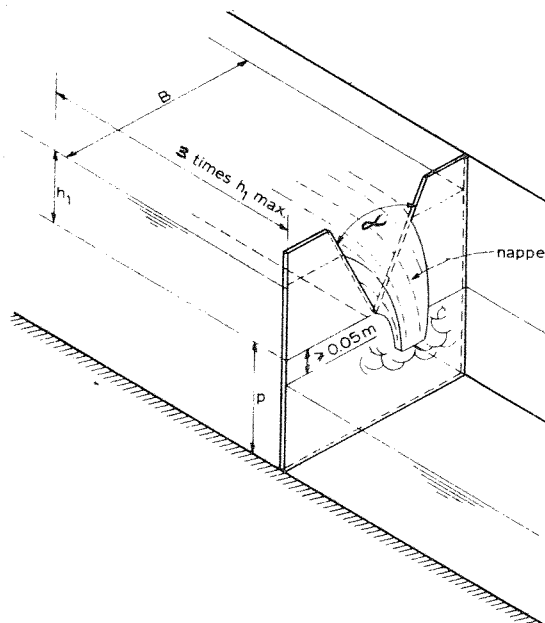
- 1 BRITISH STANDARDS INSTITUTION  
Methods of measurement of liquid flow in open channels.  
BS 3680, Part 4A: Thin plate weirs and venturi flumes.  
1965, London
  
- 2 BOS, M.G. (editor)  
Discharge measurement structures.  
Publikatie 161 van het Waterloopkundig Laboratorium.  
1976, Wageningen
  
- 3 WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM  
Afvoerrelaties meetputten met Thomson-meetschotten.  
Rapport modelonderzoek M 1446.  
1977, Delft

Voor  $\alpha = 90^\circ$  geldt:

$$Q = 2,362 \cdot C_e \cdot (h_1 + 0,0008)^{2,50}$$



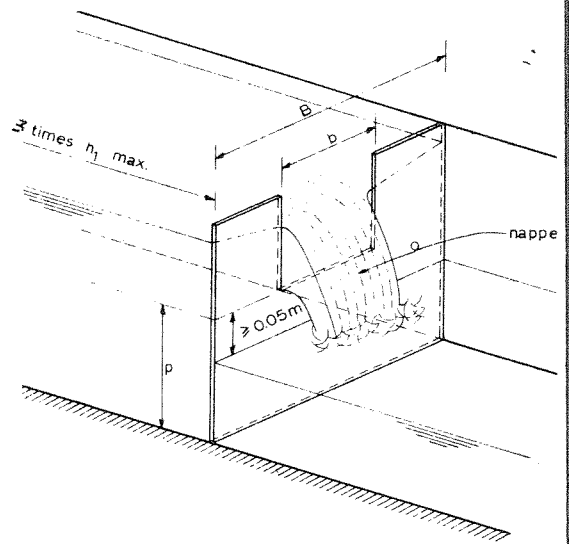
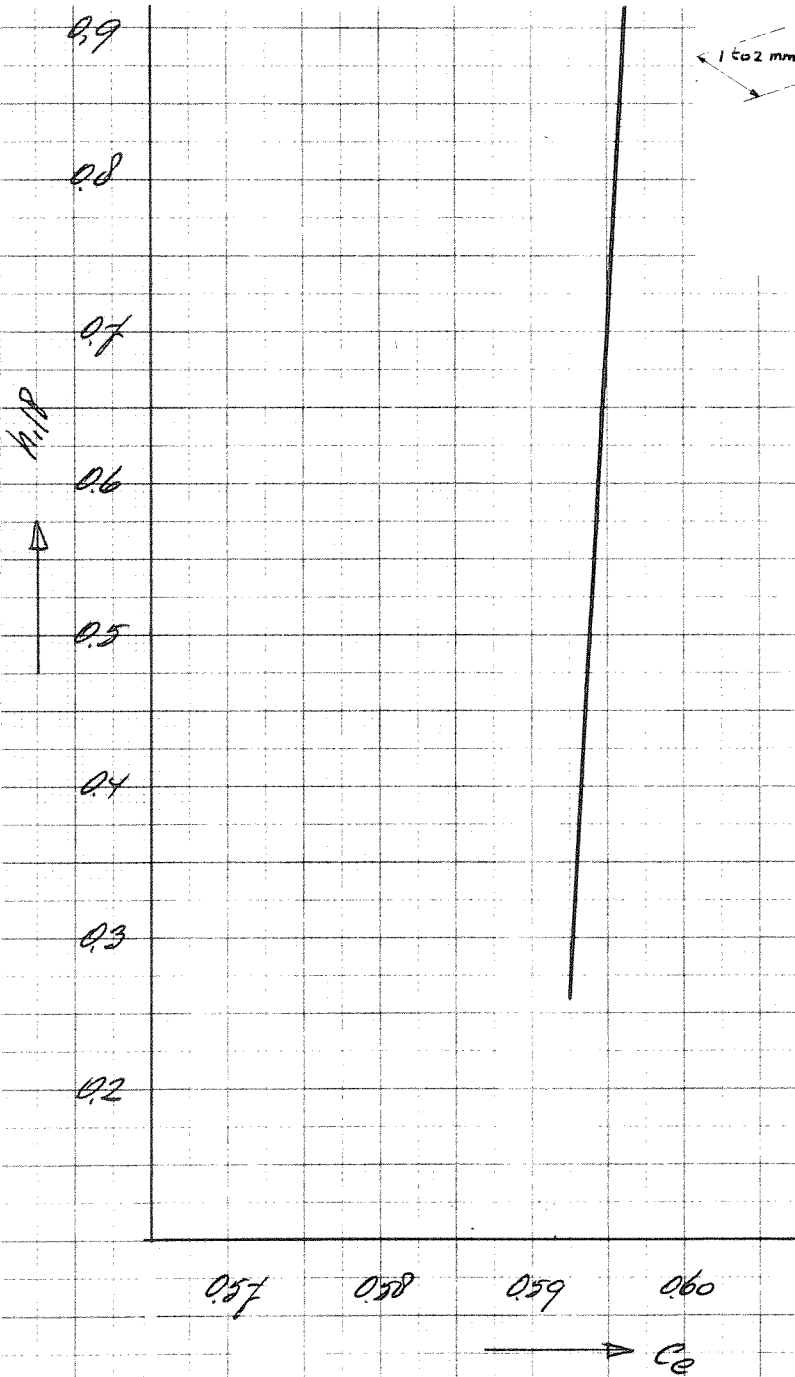
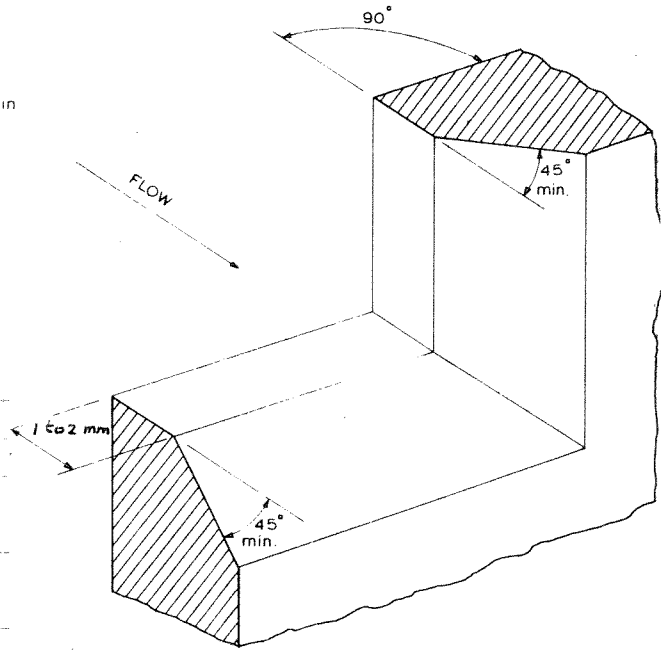
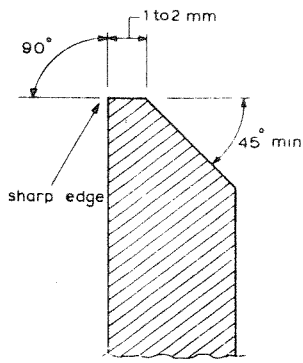
*dwarsdoorsnede  
meetrand.*



$C_e$  ALS FUNKTIE VAN  $h_1/P$  VOOR HET THOMSON -  
MEETSCHOT MET  $\alpha = 90^\circ$  EN  $P/B = 0,5$

A4

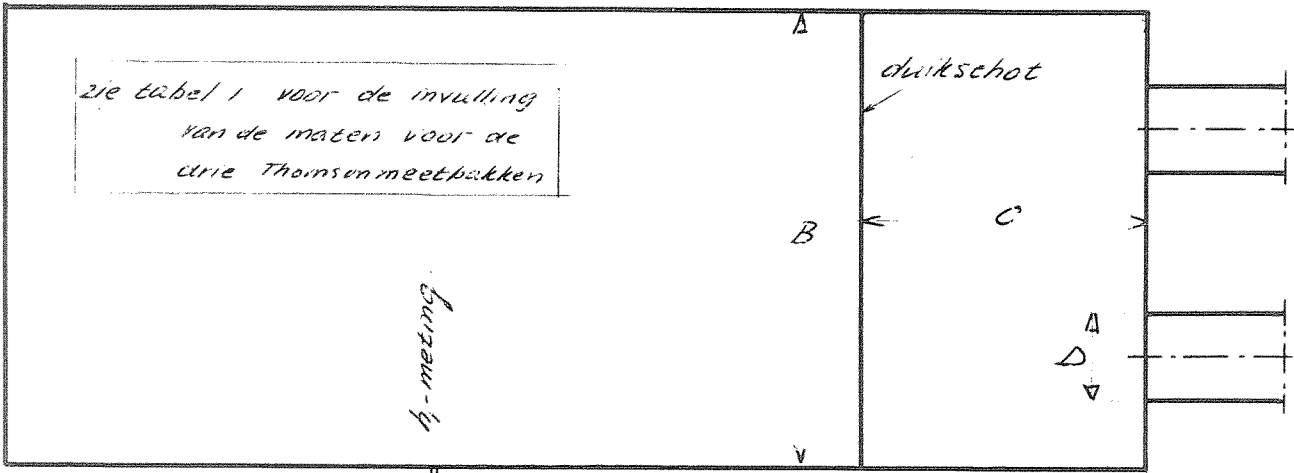
FLOW →



$$Q = 2.953 C_e \cdot b_e (h_1 + 0.0009)^{1.50}$$

$C_e$  ALS FUNKTIE VAN  $h_1/P$  VOOR DE RECHTHOEKIGE  
SCHERPE OVERLAAT MET  $b/B = 0,4$

zie tabel 1 voor de invulling  
van de maten voor de  
drie Thomsonmeetbakken

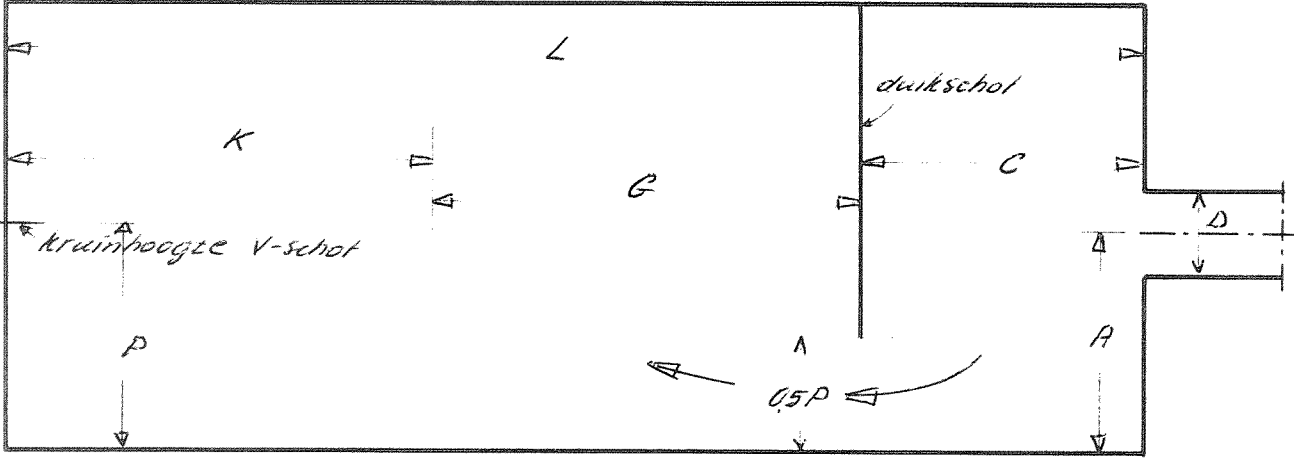


vlotterput  
 $\phi$  400mm

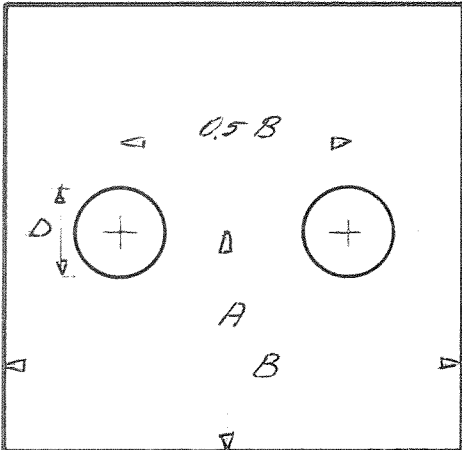
bovenaanzicht

afvoerszijde

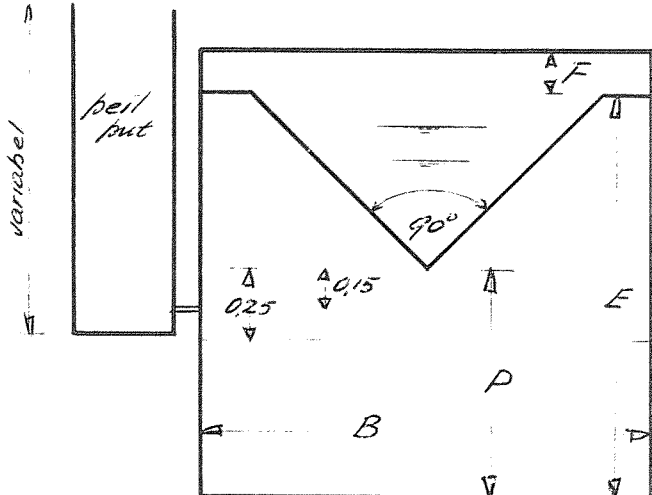
aanvoerszijde



lengtedoorsnede



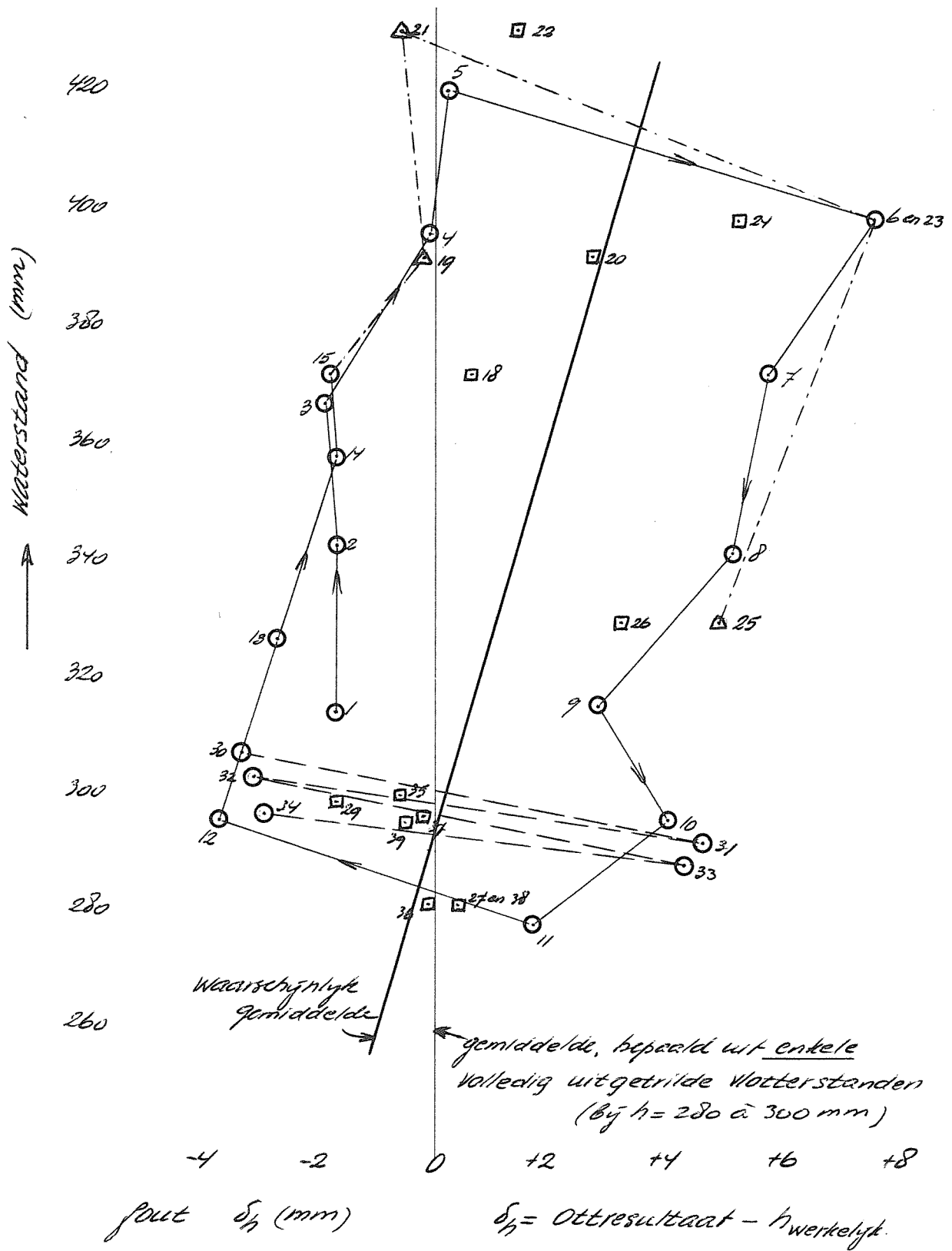
aanzicht aanvoerszijde



aanzicht meet- en afvoerszijde

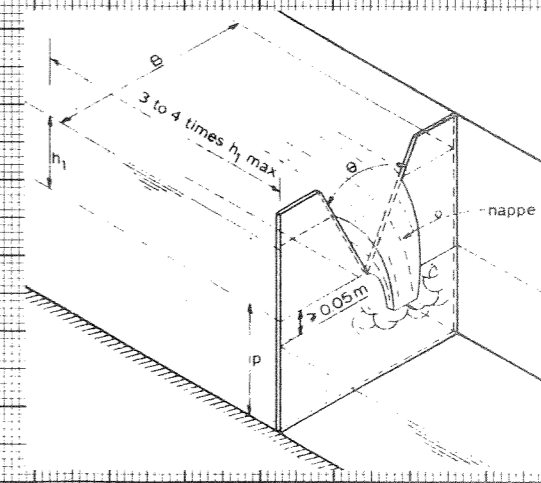
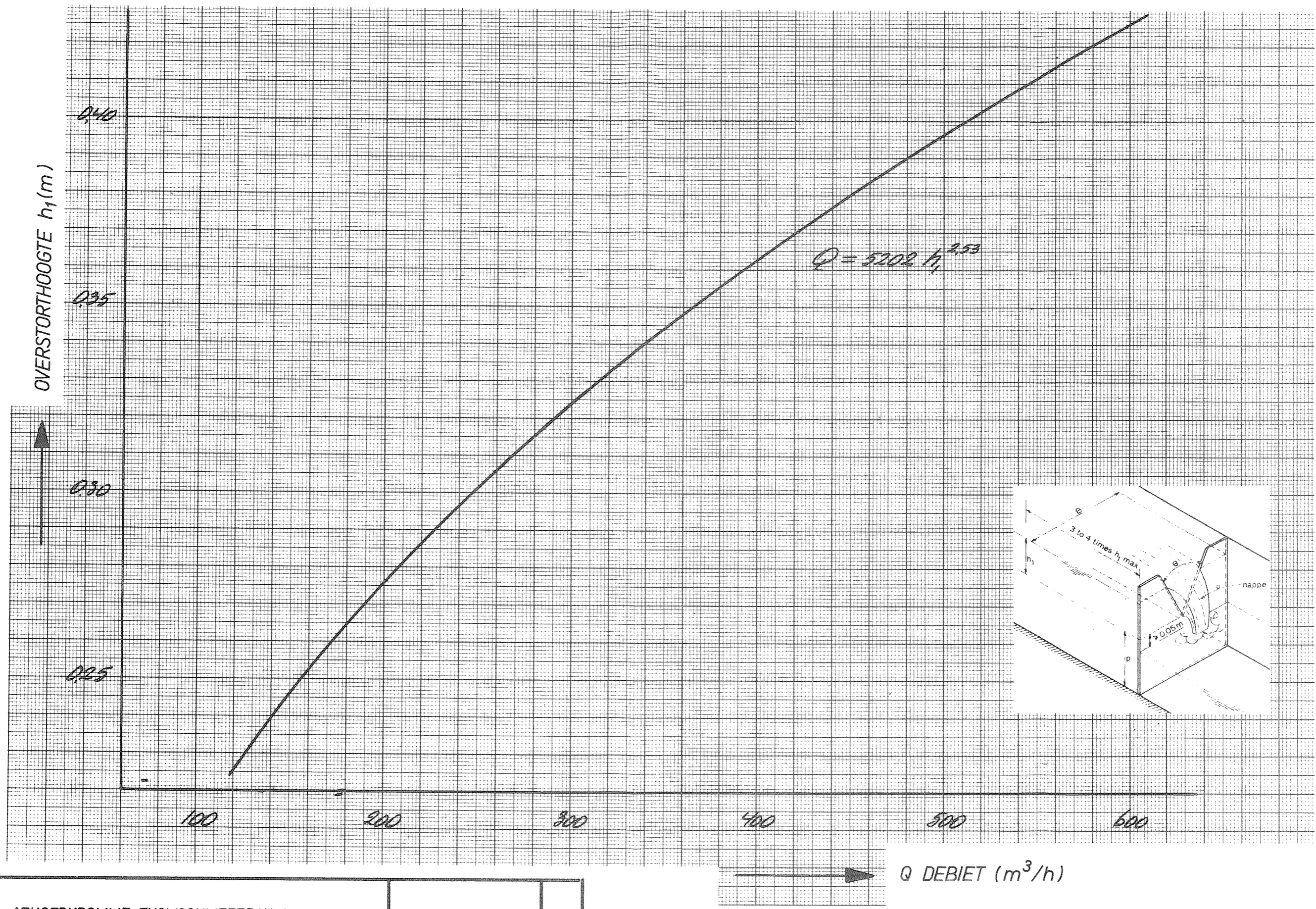
INWENDIGE MATEN THOMSONMEETBAKKEN t.b.v.  
BEMALING BOUWPUT PHILIPSDAMSLUIZEN

A4



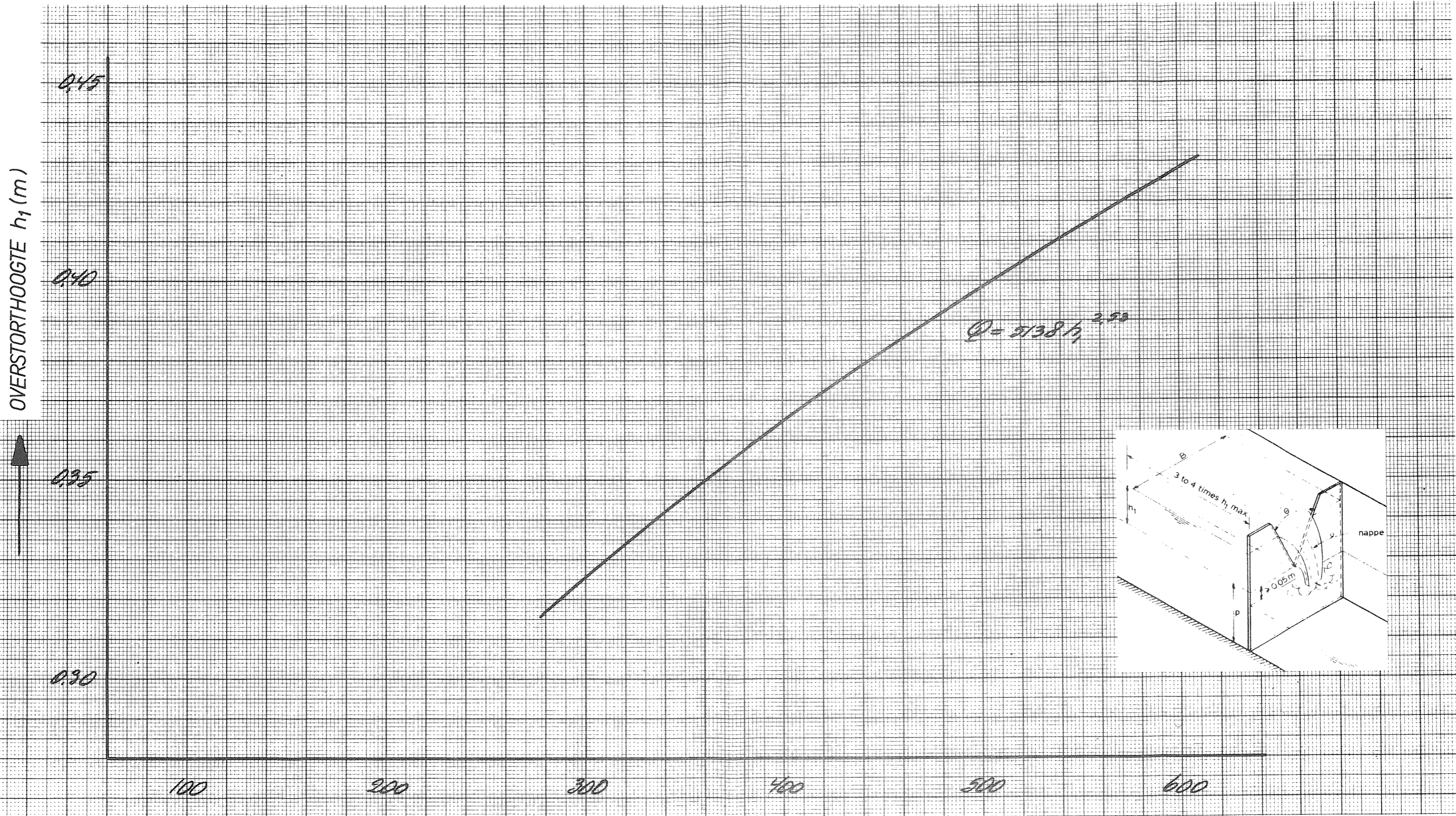
- ⊙—⊙ 1<sup>e</sup> meetserie zonder trillingen
- 2<sup>e</sup> meetserie zonder trillingen
- △—△ punten niet getrild, wel ontstaan uit een getrilde waterstand
- min of meer uitgetrilde standen.

ONNAUWKEURIGHEID WATERSTANDSVOLGER (RICHTINGSEFFECT EN LINEARITEIT)		
		A4
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R.1445 - 1004	FIG. 4



AFVOERKROMME THOMSONMEETBAK 1		
		A3
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R.1445 - 1005	FIG. 5





AFVOERKROMME THOMSONMEETBAK 2

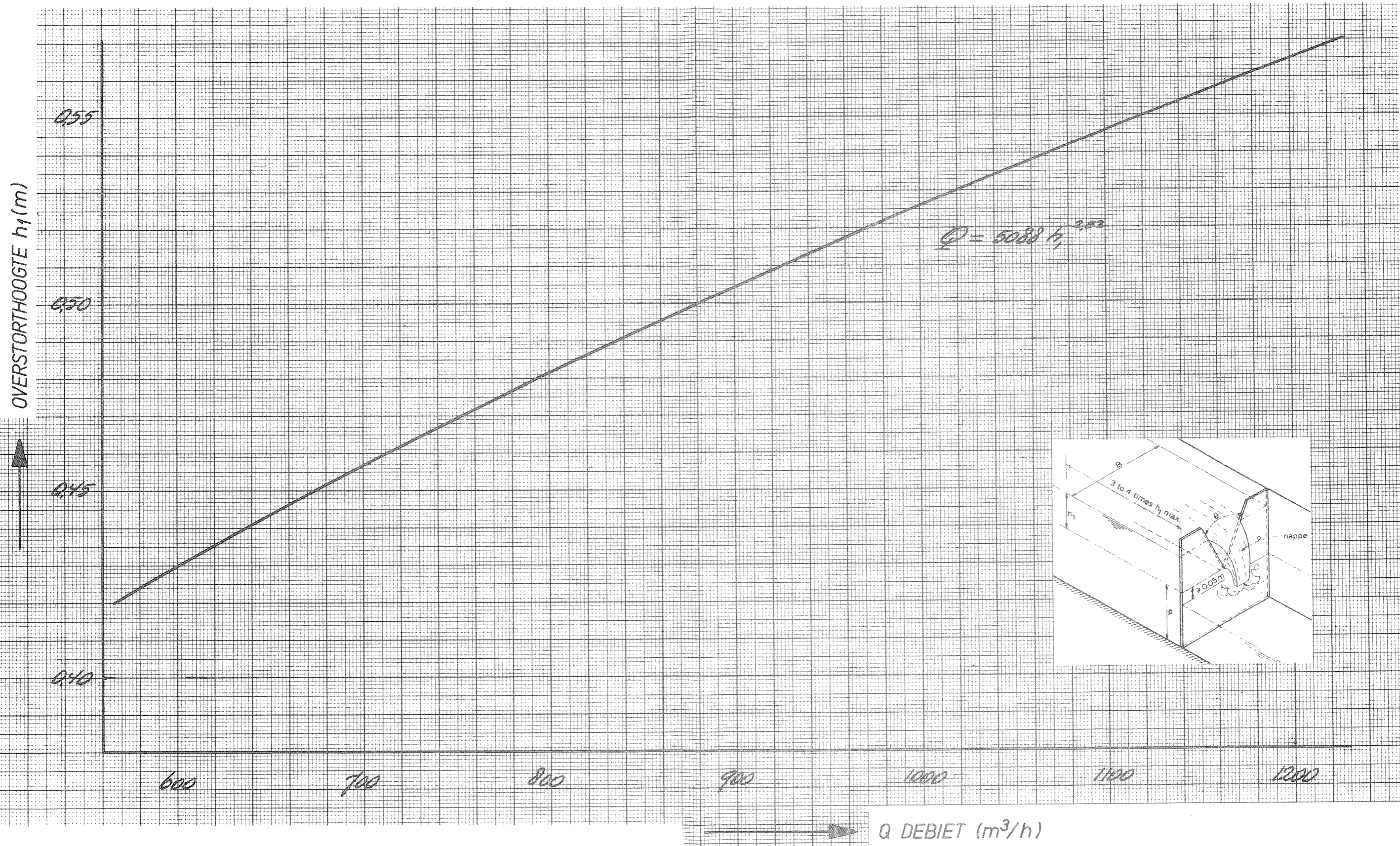
A3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R.1445 - 1006

FIG. 6





AFVOERKROMME THOMSONMEETBAK 3

A3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R.1445 - 1007

FIG. 7



Tabel I: Ontwerpmaten Thomson-meetbakken

a) bepaling invoerhoogte A (hoogteverschil tussen hart aanvoerleiding en bodem meetbak)

type meetbak	aan-tal		P	$h_{\max}$ (m)	D (m)	A (m)
1	2	1 $\underline{0}$ ) open bemaling	0,48	0,426	1 $\emptyset$ 0,461	0,48
		2 $\underline{0}$ ) jachtensluis	0,48	0,301	1 $\emptyset$ 0,328	0,48
2a	2	oost 1 = oost 2	0,68	0,428	1 $\emptyset$ 0,328 + 2 $\emptyset$ 0,258	0,68
2b	1	zuid 4	0,68	0,428	1 $\emptyset$ 0,461	0,68
2c	1	west 7	0,68	0,428	2 $\emptyset$ 0,328	0,68
3a	1	oost 3	0,90	0,565	2 $\emptyset$ 0,328 + 1 $\emptyset$ 0,461	0,90
3b	<u>2</u>	zuid 5 = west 6	0,90	0,565	2 $\emptyset$ 0,461	0,90
	9					

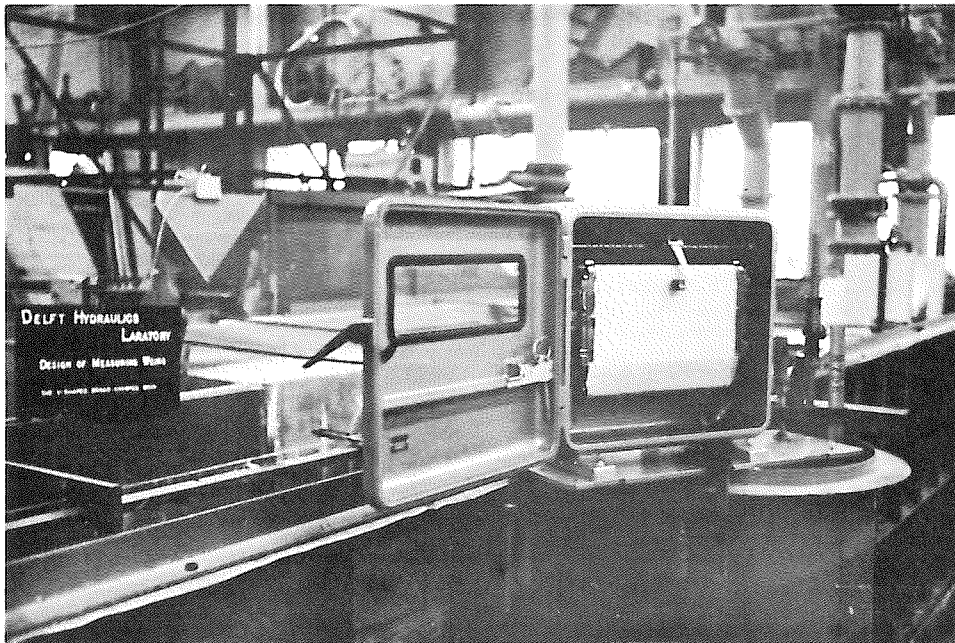
A is berekend uit  $P + 0,55 D > A > 0,6 h_{\max} + 0,5 D$

b) volledig overzicht ontwerpmaten

	bak 1	bak 2	bak 3
maximum debiet ( $m^3/h$ )	250 (600)	600	1200
max. overstorthoogte $h_1$ (m)	0,301	0,428	0,565
meetschot apexhoogte P (m)	0,48	0,68	0,90
schothoogte E (m)	0,91	1,21	1,60
ruimte boven meetschot F (m)	0,14	0,15	0,17
totale inwendige bakhoogte H (m)	1,05	1,36	1,77
breedte van de meetbak B (m)	0,96	1,36	1,80
totale lengte van de bak (m)	2,40	3,40	4,50
afst. voorkant - duikschot C (m)	0,60	0,85	1,12
duikschot - vlotterput G (m)	0,90	1,28	1,69
vlotterput - meetschot K (m)	0,90	1,27	1,69
diameter aanvoerleiding D (m)	verschillende		
invoerhoogte leiding A (m)	0,48	0,68	0,90
aantal aanvoerleidingen x (-)	1 of 2	1 of 2	1 of 2
h.o.h. afst. leidingen B/x (m)	varieert		
min. lengte rechte aanvoerleiding (m)	5 $D_{\max}$		
min. lengte achter de meetbak (m)	0,60	0,85	1,12

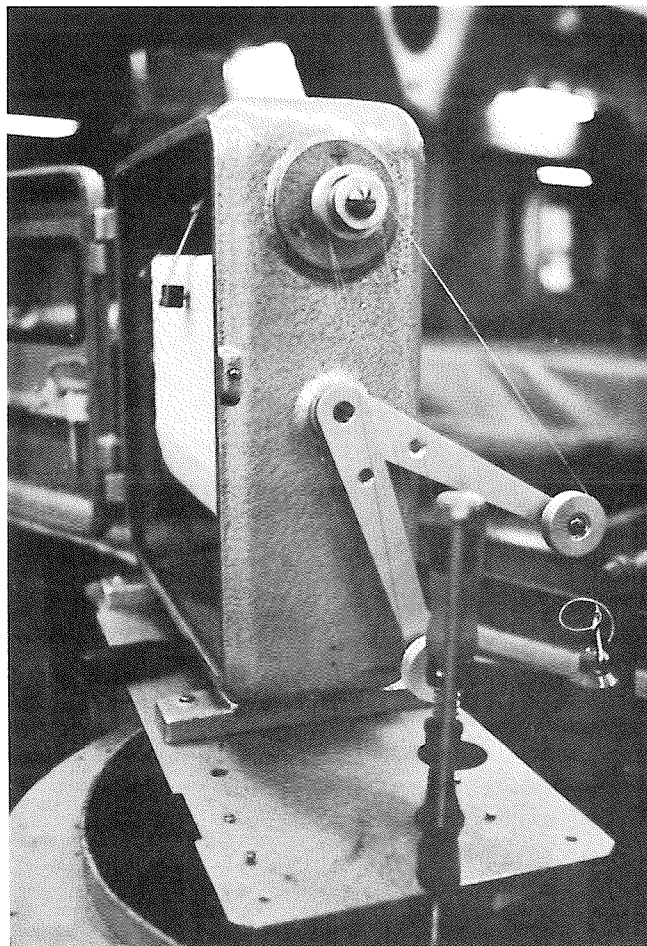
Tabel II: Metingen ter bepaling van de nauwkeurigheid van de waterstandsvolger

meting no.	peil-naald aflezing PN (mm)	schrijver aflezing (mm)		aflezing x 2,5		te verwachten schrijverafl. PN + 185,5	fout = kolom 5/6 - kolom 7			
		zonder trillen	met trillen	zonder trillen	met trillen		zonder trillen	met trillen		
1	s	128,2	124,8			312,0	313,7	- 1,7		
2	s	156,7	136,2			340,5	342,2	- 1,7		
3	s	181,2	145,9			364,8	366,7	- 1,9		
4	s	210,1	158,2			395,5	395,6	- 0,1		
5	s	234,5	168,1			420,2	420,0	+ 0,2		
6	d	213,0	162,4			406,0	398,5	+ 7,5		
7	d	186,3	151,0			377,5	371,8	+ 5,7		
8	d	155,6	138,5			346,2	341,1	+ 5,1		
9	d	129,2	127,0			317,5	314,7	+ 2,8		
10	d	109,7	119,7			299,2	295,2	+ 4,0		
11	d	91,6	111,5			278,8	277,1	+ 1,7		
12	s	109,7	116,6			291,5	295,2	- 3,7		
13	s	141,2	129,6			324,0	326,7	- 2,7		
14	s	172,0	142,3			355,8	357,5	- 1,7		
15/18	s	186,1	147,9	148,9		369,8	372,2	371,6	- 1,8	+ 0,6
19/20	s	206,2	156,6	157,7		391,5	394,2	391,7	- 0,2	+ 2,7
21/22	s	244,6	171,8	172,6		429,5	431,5	430,1	- 0,6	+ 1,4
23/24	d	212,8	162,3	161,4		405,8	403,5	398,3	+ 7,5	+ 5,2
25/26	d	143,8	133,7	133,0		334,2	332,5	329,3	+ 4,9	+ 3,2
27	d	95,3		112,5			281,2	280,8		+ 0,4
28/29	s	112,7	118,0	118,6		295,0	296,5	298,2	- 3,2	- 1,7
30	s	124,8	122,8			307,0		310,3	- 3,3	
31	d	101,4	116,6			291,5		286,9	+ 4,6	
32	s	120,4	121,1			302,8		305,9	- 3,1	
33	d	97,7	115,0			287,5		283,2	+ 4,3	
34/35	s	113,9	118,6	119,5		296,5	298,8	299,4	- 2,9	- 0,6
36	d	95,1		112,2			280,5	280,6		- 0,1
37	s	110,2		118,2			295,5	295,7		- 0,2
38	d	94,6		112,2			280,5	280,1		+ 0,4
39	s	109,2		117,7			294,2	294,7		- 0,5



de schrijver staat opgesteld boven de vlotterbuis

de overbrenging van  
de vlotter naar de  
schrijver bedraagt  
1:2,5



De waterstandsvolger

p.o. box 177

delft

the netherlands