



waterloopkundig laboratorium

klepstuwen Zuid-Oost Drenthe

bepaling van de afvoercoëfficiënten

verslag modelonderzoek

M1273

augustus 1975

klepstuwen Zuid-Oost Drenthe

bepaling van de afvoercoëfficiënten

verslag modelonderzoek

M1273

augustus 1975

INHOUD

blz.

LIJST VAN FIGUREN

LIJST VAN FOTO'S

LIJST VAN TABELLEN

SYMBOLEN EN EENHEDEN

<u>1</u>	<u>Inleiding</u>	1
<u>2</u>	<u>Het onderzoek</u>	2
2.1	Beschrijving prototype (figuren 1 t/m 15, fotobladen I t/m IV).....	3
2.2	Doel en omschrijving van het onderzoek.....	4
2.3	Schalen.....	6
2.4	Beschrijving van de modellen (figuren 16 en 17, fotoblad V).....	7
<u>3</u>	<u>Modelonderzoek</u>	9
3.1	Het opstellen van het meetprogramma (fig. 18).....	9
3.2	Twee-dimensionaal onderzoek naar de afvoercoëfficiënt C_D (fig. 19 t/m 21).....	10
3.3	Drie-dimensionaal onderzoek naar de contractie-coëfficiënt C_c (fig. 22, tabellen I en II, fotobladen V t/m VII).....	11
3.4	Invloed benedenwaterstand (tabel III).....	13
3.5	Bespreking van de modelresultaten.....	14
<u>4</u>	<u>Afvoerrelaties van de zeven klepstuwen (prototype)</u>	15
4.1	De afvoerformule en de totale afvoercoëfficiënt m (tabel IV, fig. 24 t/m 30).....	15
4.2	Nauwkeurigheid in de bepaling van de debieten in het prototype (fig. 23).....	17
4.3	Samenvatting Q-h relaties.....	20
4.3.1	Klepstuw Wilhelmsoord.....	21
4.3.2	Klepstuw Diphooorn.....	21
4.3.3	Klepstuw de Broeken.....	22
4.3.4	Klepstuw Jongbloedvaart.....	22

INHOUD (vervolg)

	blz.
4.3.5 Klepstuw Boerdijk.....	23
4.3.6 Klepstuw Odoornerweide.....	23
4.3.7 Klepstuw Stroomstukken.....	24
<u>4.4 Algemene aanbevelingen.....</u>	<u>24</u>

BIBLIOGRAFIE

FIGUREN

FOTO'S

TABELLEN

LIJST VAN FIGUREN

- 1 Proefgebied van zuid-oost Drente.
- 2 "Wilhelmsoord", prototype gegevens.
- 3 Klepstuw "Wilhelmsoord", B = 5,00 m. Details.
- 4 "Diphoorn", prototype gegevens.
- 5 Klepstuw "Diphoorn", B = 4,00 m. Details.
- 6 "de Broeken", prototype gegevens.
- 7 Klepstuw "de Broeken", B = 3,50 m. Details.
- 8 "Jongbloedvaart", prototype gegevens.
- 9 Klepstuw "Jongbloedvaart", B = 2,50 m, Details.
- 10 "Boerdijk", prototype gegevens.
- 11 Klepstuw "Boerdijk", B = 1,45 m. Details.
- 12 "Odoornerweide", prototype gegevens.
- 13 Klepstuw "Odoornerweide", B = 1,45 m. Details.
- 14 "Stroomstukken", prototype gegevens.
- 15 Klepstuw "Stroomstukken", B = 0,90 m. Details.
- 16 Twee-dimensionale goot, opstelling van één der klepmodellen.
- 17 Drie-dimensionaal model.
- 18 Verband klephoek-kruimhoogte. Begrenzungen modelonderzoek.
- 19 Twee-dimensionaal onderzoek. Meetserie parabool, $\alpha = 60^\circ$.
- 20 Afvoercoëfficiënt C_D voor de parabool, $\alpha = 60^\circ$.
- 21 Afvoercoëfficiënt C_D voor de rechthoekige kruim, $\alpha = 60^\circ$.
- 22 Verband $h/B - C_c$ voor de stuw Wilhelmsoord.
- 23 Verband X_Q en h_1 voor alle klepstuwen.
- 24 Resultaten betrekking $M = A \cdot h_1^B$ "Wilhelmsoord".
- 25 Resultaten betrekking $M = A \cdot h_1^B$ "Diphoorn".
- 26 Resultaten betrekking $M = A \cdot h_1^{B+C} \log h$ "de Broeken"
- 27 Resultaten betrekking $M = A \cdot h_1^B$ "Jongbloedvaart".
- 28 Resultaten betrekking $M = A \cdot h_1^B$ "Boerdijk".
- 29 Resultaten betrekking $M = A \cdot h_1^B$ "Odoornerweide".
- 30 Resultaten betrekking $M = A \cdot h_1^B$ "Stroomstukken".

LIJST VAN FOTO'S EN TABELLEN

- I Stuw "Wilhelmsoord".
- II Stuw "de Broeken".
- III Stuw "Odoornerweide".
- IV Stuw "Stroomstukken".
- V Drie-dimensionaal onderzoek "Wilhelmsoord".
- VI Drie-dimensionaal onderzoek "Boerdijk".
- VII Drie-dimensionaal onderzoek "Stroomstukken".

LIJST VAN TABELLEN

- I Overzicht van contractie gevende constructies.
- II Contractie-coëfficiënten C_c bij de klepstuw Wilhelmsoord.
- III Afwijking in het debiet als functie van de verdrinkingsgraad.
- IV Berekening van het verband tussen m en h_1 , Wilhelmsoord.

SYMBOLLEN EN EENHEDEN

A	factor in $m = A \cdot h_1^B$	$m^{1,5}/\text{sec}$
B	breedte	m
B	machtscoëfficiënt in $m = A \cdot h_1^B$	-
C_c	contractie-coëfficiënt	-
C_D	karakteristieke afvoercoëfficiënt	-
C_v	coëfficiënt voor de aanloopsnelheid	-
E	procentuele afwijking van het debiet $E = \frac{Q_E - Q}{Q_E} \cdot 100$	%
F	natte doorsnede kanaalpan	m^2
g	versnelling tengevolge van de zwaartekracht $g = 9,81 \text{ m/sec}^2$	m/sec^2
h_{kr}	kruinhoogte ten opzichte van N.A.P.	m
h_{ws}	waterstand ten opzichte van N.A.P.	m
h_1	bovenstroomse waterstand ten opzichte van de kruin	m
h_2	benedenstroomse waterstand ten opzichte van de kruin	m
m	afvoercoëfficiënt $m = C_D \cdot C_c \cdot C_v$	-
n_1	lengteschaal	m^2/sec
Q	totaal debiet	m^3/sec
Q_E	opgestuwd debiet	m^3/sec
S	verdrinkingsgraad $S = 100h_2/h_1$	-
v	snelheid	m/sec
α	klephoek	graden
δ_h	absolute fout in hoogmeting	mm
X	waarschijnlijke procentuele fout	%

1 Inleiding

Door de Rijkswaterstaat Directie Waterhuishouding en Waterbeweging werd in de brief d.d. 15 januari 1974 (kenmerk J40144) opdracht verleend aan het Waterloopkundig Laboratorium tot het uitvoeren van modelonderzoek voor zeven klepstuwen in het proefgebied zuid-oost Drente.

De klepstuwen verschillen onderling in afvoerende breedte, kruinvorm, ophanging, afronding van de landhoofden en in de geometrie van het kanaalpand, waarin het kunstwerk is gebouwd als regelstuw.

Het modelonderzoek, dat tot doel had de Q-h betrekkingen voor elk der stuwen op te stellen, werd uitgevoerd conform de W.L. aanbidding d.d. 6 september 1973.

Op grond van de volgende criteria was het mogelijk de zeven stuwen in te delen in een aantal groepen:

- naar de vorm van de overstortrand van de klep. Enkele kruinvormen zijn: parabolisch, cirkelvormig en rechthoekig.

In een twee-dimensionaal onderzoek is de karakteristieke afvoercoëfficiënt bepaald voor elk der kruinvormen.

- naar een aantal geometrische kenmerken van de stuw: afronding van de landhoofden en de wijze van ophanging. Beide kunnen een zijdelingse insnoering van de doorstroombreedte veroorzaken.

In een drie-dimensionaal onderzoek is de contractie-coëfficiënt bepaald voor elke verschillende combinatie van landhoofd en ophanging.

De gegevens, nodig voor de bouw van de modellen werden ontleend aan de volgende tekeningen:

R.W.S. tek. nr. R74-2-07-2 kaart van het proefgebied z.o. Drente.

Bestektekeningen van de Grontmij, orderserie 61/2266.

Constructie tekening 2092, klep met parabolische afronding, Jansen Venneboer. Provinciale Waterstaat van Drente: tekeningen met betrekking tot de constructie van de klepstandaanwijzers voor elk der zeven kunstwerken.

Waarnemingen ter plaatse en een aantal foto's completeerden de informatie voor het verkrijgen van een goed inzicht in de problematiek van het onderzoek.

Het modelonderzoek en de aanvullende berekeningen vonden plaats in de vestiging van het Waterloopkundig Laboratorium te Wageningen, en stonden onder leiding van ing. W. Boiten, die eveneens dit rapport samenstelde.

In paragraaf 4.3 zijn de resultaten samengevat.

2 Het onderzoek

2.1 Beschrijving prototype (figuren 1 t/m 15, fotobladen I t/m IV)

Het proefgebied zuid-oost Drente ligt ten Westen van Emmen en strekt zich uit over gedeeltes van de gemeentes Sleën, Odoorn en Emmen.

Als gevolg van de - enkele jaren geleden voltooide - ruilverkaveling Sleenerstroom zijn de waterlopen en de daarin gelegen kunstwerken zo gedi-mensioneerde, dat een goede peilbeheersing mag worden verwacht.

In fig. 1 is een overzicht gegeven van de belangrijkste waterlopen en de zeven daarin gelegen klepstuwen. Alle leidingen lozen op de Verlengde Hoogeveensche Vaart.

Hierna volgt een beknopte beschrijving van elk der zeven klepstuwen waar-voor de Q-h relaties zijn gevraagd.

- Wilhelmsoord (figuren 2 en 3, fotoblad I)

B = 5,00 m. kruinvorm: parabolische afronding met $y_{\max} = 0,336$ m.
ophanging aan twee armen, waartussen $b = 4,684$ m.
afronding der landhoofden: cirkelvormig met $R = 0,25$ m.
 $Q_{\max} = 5,37 \text{ m}^3/\text{sec}$. bovenwaterstand varieert: N.A.P. + 13,05 m < h_{ws1}
< N.A.P. + 14,00 m.
benedenwaterstand $h_{\text{ws2}} < \text{N.A.P.} + 13,50$ m.

- Diphoorn (figuren 4 en 5)

B = 4,00 m kruinvorm: parabolische afronding met $y_{\max} = 0,276$ m.
ophanging met twee armen, waartussen $b = 3,684$ m.
afronding der landhoofden: cirkelvormig met $R = 0,25$ m.
 $Q_{\max} = 3,87 \text{ m}^3/\text{sec}$ bovenwaterstand varieert: N.A.P. + 13,50 m < h_{ws1}
< N.A.P. + 15,00 m.
benedenwaterstand $h_{\text{ws2}} < \text{N.A.P.} + 14,15$ m.

- de Broeken (figuren 6 en 7, fotoblad II)

B = 3,50 m. kruinvorm: cirkelvormig met $R = 0,068$ m.
ophanging aan twee armen, waartussen $b = 3,244$ m.
afronding der landhoofden: Vellingkant $a = 0,038$ m.
 $Q_{\max} = 1,94 \text{ m}^3/\text{sec}$. bovenwaterstand varieert: N.A.P. + 10,60 m < h_{ws1}
< N.A.P. + 12,10 m.
benedenwaterstand $h_{\text{ws2}} < \text{N.A.P.} + 11,60$ m.

- Jongbloedvaart (figuren 8 en 9)

B = 2,50 m. kruinvorm: vellingkant a = 0,015 m in hout.

ophanging aan twee oren, waartussen b = 2,240 m.

afronding der landhoofden: vellingkant a = 0,038 m.

$Q_{\max} = 1,33 \text{ m}^3/\text{sec}$. bovenwaterstand varieert: N.A.P. + 13,05 m < h_{ws1}
< N.A.P. + 13,75 m.

benedenwaterstand $h_{\text{ws2}} < \text{N.A.P.} + 13,50 \text{ m}$.

- Boerdijk (figuren 10 en 11)

B = 1,45 m. kruinvorm: rechthoekig (stalen profiel)

ophanging: twee strips op 0,155 m vanaf de wanden.

afronding der landhoofden: vellingkant a = 0,028 m.

$Q_{\max} = 0,67 \text{ m}^3/\text{sec}$. bovenwaterstand varieert: N.A.P. + 11,80 m < h_{ws1}
< N.A.P. + 12,85 m.

benedenwaterstand $h_{\text{ws2}} < \text{N.A.P.} + 12,25 \text{ m}$.

- Odoornerweide (figuren 12 en 13, fotoblad III)

B = 1,45 m. kruinvorm: rechthoekig (stalen profiel)

ophanging: twee strips op 0,060 m vanaf de wanden.

afronding der landhoofden: vellingkant a = 0,028 m.

$Q_{\max} = 0,40 \text{ m}^3/\text{sec}$. bovenwaterstand varieert: N.A.P. + 15,80 m < h_{ws1}
< N.A.P. + 16,70 m.

benedenwaterstand $h_{\text{ws2}} < \text{N.A.P.} + 16,30 \text{ m}$.

- Stroomstukken (figuren 14 en 15, fotoblad IV)

B = 0,90 m. kruinvorm: geringe afronding R = 0,003 m in hout.

ophanging: twee kabels, waarvan één met wartel.

afronding der landhoofden: vellingkant a = 0,028 m.

$Q_{\max} = 0,18 \text{ m}^3/\text{sec}$. bovenwaterstand varieert: N.A.P. + 12,80 m < h_{ws1}
< N.A.P. + 13,50 m.

benedenwaterstand $h_{\text{ws2}} < \text{N.A.P.} + 12,85 \text{ m}$.

Voor elk der genoemde kleppen geldt:

- de klep draait om een laaggelegen as, die in twee of meer punten is opgelegd. De opleggingen zijn verankerd in een vaste drempel, die de voorzijde is van een woelbak.
- de klephoek α is de hoek die de vlakke beplating van de klep maakt met de verticaal. De meeste kleppen kunnen draaien van $30^\circ < \alpha < 90^\circ$.
- de ligging van de as is bij benadering bekend, evenals de afmetingen van de klep. Hiermee is het mogelijk geworden, de betrekking op te stellen

tussen de klephoek α en de hoogte van de kruin van de klep ten opzichte van het N.A.P.

- in de loop van 1974 zijn alle kleppen van klepstandaanwijzers voorzien. De constructie bestaat uit een korte r.v.s.-strip, bevestigd op de klep, en een lange gebogen r.v.s.-strip, bevestigd tegen het landhoofd (zie onder meer fotoblad IV). Op de gebogen strip is een peilschaalverdeling aangebracht, waarvan het nulpunt en de verdeling zó zijn gekozen, dat de er langs bewegende korte strip de kruinhoogte ten opzichte van het N.A.P. aanwijst.

Ten behoeve van het instellen van een bepaalde gewenste klepstand is de klepstandaanwijzer een goed hulpmiddel (zie ook paragraaf 4.4).

- Teneinde de waterstanden te meten, bevinden zich in de naaste omgeving van elke klepstuw
 1. een peilschaal bovenstrooms van het kunstwerk, waarmee de waterstanden met een nauwkeurigheid van één of enkele centimeters kan worden afgelezen
 2. een OTT-ponsapparaat, eveneens bovenstrooms van het kunstwerk, dat - mits goed geijkt - een continue registratie van de bovenstroomse waterstand verzorgt en waarvan de resultaten geschikt zijn voor automatische verwerking
 3. een peilschaal benedenstrooms van de stuw, die nodig is om waar te kunnen nemen, dat de benedenstroomse waterstand niet meer bedraagt dan de kruinhoogte. De kans op gestuwde afvoer wordt overigens uiterst klein geacht.

De in deze paragraaf vermelde informatie is afkomstig van verschillende instanties:

te verwachten boven- en benedenwaterstanden: waterschap Loo- en Drostendiep

constructie klepstandaanwijzers: Provinciale Waterstaat van Drente

kruinvormen der kleppen: metingen door het Waterloopkundig Laboratorium

verwachten maximale debieten: R.W.S.

overige maatvoering der stuwen: bestektekeningen van de Grontmij.

2.2 Doel en omschrijving van het onderzoek

De klepstuw vormt een plaatselijke vernauwing in het doorstromingsprofiel van de waterloop. Als de betrekking tussen de hoogte van de overstortende

straal h_1 en het debiet Q met voldoende nauwkeurigheid bekend is, dan is de regelstuw tevens een instrument om debieten te meten.

De bepaling van de overstorthoogte h_1 volgt uit een verschilmeting. Voor elke situatie is de overstorthoogte het verschil tussen de waterstand ten aanzien van het N.A.P. en de kruinhoogte ten opzichte van het N.A.P.

De afvoerformule luidt: $Q = 1,705 \cdot B \cdot m \cdot h_1^{1,50}$, waarin:

Q het debiet (m^3/sec)

1,705 een constante = $(2/3)^{3/2} \cdot g^{1/2} \cdot (m^{1/2}/sec)$

B de afvoerende breedte tussen de landhoofden (m)

m de totale afvoercoëfficiënt (-)

h_1 de overstorthoogte (m)

De afvoercoëfficiënt m is afhankelijk van de vorm van de kruin, de geometrie van het kunstwerk en die van het bovenstrooms pand. In dit onderzoek kan de totale afvoercoëfficiënt worden beschreven als:

$m = C_D \cdot C_c \cdot C_v$, waarin:

C_D de karakteristieke afvoercoëfficiënt. Afhankelijk van de vorm van de overstortrand kan ze variëren $0,90 < C_D < 1,40$. Voor elke kruinvorm is C_D een functie van de overstorthoogte h_1 en de klephoek α .

C_c de contractiecoëfficiënt. Tengevolge van onvoldoende afgeronde landhoofden en de aanwezigheid van ophangconstructies in de doorstroombreedte is er sprake van een zijdelingse insnoering van de stroom. De werkelijke afvoerende breedte is dan ook vrijwel altijd kleiner dan de breedte tussen de landhoofden B . In dit onderzoek is $0,92 < C_c < 1,00$.

C_v is een coëfficiënt voor de aanloopsnelheid in het dwarsprofiel, waar de bovenstroomse waterstand wordt geregistreerd, en de overstorthoogte h_1 . In formule is $C_v = (1 + \bar{V}^2/2gh_1)^{3/2}$. Deze coëfficiënt kan worden berekend.

Bij ijking van de klepstuw in het prototype, zowel als bij ijking van een drie-dimensionaal model daarvan, wordt een direct verband gevonden tussen h_1 en Q , terwijl desgewenst m kan worden berekend.

Het doel van dit onderzoek is de afvoercoëfficiënt m te leren kennen, om daaruit de Q - h relaties te kunnen opstellen, waarbij

- geen gebruik wordt gemaakt van zeven verschillende drie-dimensionale modellen (tijdrovend en kostbaar), maar
- in een systematisch onderzoek de afvoercoëfficiënt m zal worden samengesteld uit de drie genoemde coëfficiënten $m = C_D \cdot C_c \cdot C_v$.

Het systematisch onderzoek houdt in:

I Twee-dimensionaal onderzoek naar de karakteristieke afvoercoëfficiënt C_D
parabolische afronding (Wilhelmsoord en Diphooorn)

cirkelvormige kruin (de Broeken)

rechthoekige dwarsdoorsnede (Boerdijk en Odoornerweide)

rechthoekig met vellingkant (Jongbloedvaart)

rechthoekig met kleine afronding (Stroomstukken)

In een twee-dimensionale goot met een breedte $B = 0,80$ m zijn voor elk der vijf verschillende kruinvormen de functies $C_D = f(h_1, \alpha)$ gevonden.

II Drie-dimensionaal onderzoek naar de contractie-coëfficiënt C_c .

In een drie-dimensionaal model, waarvan de globale vormgeving goede overeenkomst vertoonde met de geometrie van elk der zeven kunstwerken (hoofdafmetingen van kanaalpand, landhoofden, drempel en klep), was de breedte tussen de landhoofden $B = 0,80$ m.

Per klep waren van de combinatie: afronding landhoofden en ophangconstructie, de onderdelen op schaal gemaakt.

Van elke combinatie werd de contractie-coëfficiënt C_c gemeten bij variërende h en α .

2.3 Schalen

I In het twee-dimensionaal onderzoek werd de schaal bepaald door:

de maximaal te verwachten overstorthoogte in het prototype
het grootst mogelijk debiet door de $0,80$ m brede goot.

De hieruit volgende schalen waren:

$n_1 = 5$ voor de kleppen met parabolische afronding (Wilhelmsoord en Diphooorn)

$n_1 = 4,25$ voor de klep met cirkelvormige kruin (de Broeken)

$n_1 = 3,75$ voor de klep met vellingkant (Jongbloedvaart)

$n_1 = 1$ voor de overige kleppen.

De gekozen schalen zijn voldoende ruim, om schaaleffecten te voorkomen.

II In het drie-dimensionaal model lag de schaal vast door:

de in het prototype aanwezige breedte B tussen de landhoofden
de breedte in het model tussen de landhoofden $B_{\text{model}} = 0,80$ m.

De schalen in deze fase van het onderzoek worden

$n_1 = 6,25$ Wilhelmsoord

$n_1 = 5$ Diphooorn

$n_1 = 4,375$	de Broeken
$n_1 = 3,125$	Jongbloedvaart
$n_1 = 1,812$	Boerdijk en Odoornerweide
$n_1 = 1,125$	Stroomstukken.

2.4 Beschrijving van de modellen (figuren 16 en 17, fotoblad V)

I Twee-dimensionaal onderzoek

De ijkgoot heeft over een lengte van 2,40 m uit P.V.C. gemaakte verticale wanden, waarbij de wrijving langs de zijkanten kan worden verwaarloosd.

De afmetingen van de goot zijn: breedte 0,80 m en hoogte 0,85 m.

Een van de verticale wanden was transparant, waardoor het mogelijk was een goede visuele indruk te verkrijgen van de overstortende straal en het stroombeeld boven de kruin van de klep.

Een goede beluchting werd in het model op kunstmatige wijze verkregen door twee pijpen \emptyset 2,5 cm, waardoor het mogelijk werd de straal te beluchten voor het gehele meetbereik.

Voor de debietmeting in het model werd gebruik gemaakt van een electromagnetische debietmeter, waarmee de wateraanvoer met ca. 1,5% nauwkeurigheid was te bepalen binnen het bereik $5 \text{ l/sec} < Q < 215 \text{ l/sec}$. De zeer kleine debieten $Q < 5 \text{ l/sec}$ werden volumetrisch gemeten, waardoor de nauwkeurigheid voor het gehele bereik op ca 1,5% kan worden gesteld.

De waterstanden werden gemeten met een peilnaald, waarvan de afleesnauwkeurigheid $1 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ is. Aan het begin van een serie proeven werd de kruinhoogte gemeten met een peilnaald en evenals de waterstand uitgedrukt in 10^{-4} m ten opzichte van een vast referentievlak. De kruin is steeds het hoogste punt in de dwarsdoorsnede van een klep.

De overstorthoogte is het verschil van de bovenstroomse waterstand en de kruinhoogte: $h_1 = h_{ws} - h_{kr}$.

Hoewel de modellen van de kleppen met grote nauwkeurigheid zijn gemaakt en opgesteld, en de water- en kruinstanden met een afleesnauwkeurigheid van 0,1 mm werden gemeten, wordt veiligheidshalve aangenomen dat de overstorthoogte h_1 bepaald is met een nauwkeurigheid van 0,3 mm (zie ook par. 4.2). De waterstanden werden gemeten op ca 1,40 m bovenstrooms van de klep.

Alle modellen werden van rood P.V.C. gemaakt.

De vier verschillende kruinvormen waren onderling uitwisselbaar op een

vlakke klep (zie figuur 16).

II Drie-dimensionaal onderzoek

Het model, dat 7,50 m lang en 3,00 m breed was, bestond uit:

- een bovenstrooms kanaalpand, waarvan de bodembreedte 0,80 m bedroeg en de taluds 1:2 waren, met een lengte van 4,30 m.
- een kunstwerk, opgebouwd uit twee landhoofden op onderlinge afstand van 0,80 m, een bodem die 0,11 m lager was dan de kanaalbodem en frontmuren aan de bovenstroomse- en de benedenstroomse zijde. Het kunstwerk was 1,20 m lang. De assen van het kunstwerk en de kanaalpanden vielen samen. De woelbak werd aan de bovenstroomse zijde begrensd door een drempel, waarop de as van de klep werd bevestigd.
- een benedenstrooms pand, dat in dwarsdoorsnede gelijk was aan het bovenstroomspand, met een lengte van 2,00 m.

Op de hoek, gevormd door het landhoofd en de bovenstroomse frontmuur, werd een sponning gemaakt, waarin de verschillende landhoofd-af rondingen konden worden geplaatst. Deze waren onderling snel en gemakkelijk uitwisselbaar.

Er zijn drie verschillende klepkruinen gebruikt. Op de kruinen konden met een pen en gatverbinding de verschillende ophangconstructies worden geplaatst, die eveneens snel en gemakkelijk onderling uitwisselbaar waren.

Elke serie metingen met verschillende combinaties landhoofd-af ronding/op hangconstructie werd voorafgegaan door één meting, waarbij de af ronding van het landhoofd zeer ruim was en de kruin vrij was van ophangings-elementen. Deze meting kon als twee-dimensionaal worden beschouwd.

3 Modelonderzoek

3.1 Het opstellen van het meetprogramma (fig. 18)

Voor elk der zeven klepstuwen is een meetprogramma opgesteld.

Bij de klepstuw Wilhelmsoord verliep de berekening ervan als volgt: (zie fig. 18). Met de gegevens over de afmetingen van de klep en de situatie van het scharnier is het verband tussen de klephoek α en de kruinhoogte ten opzichte van het N.A.P. berekend.

De overstorthoogte, behorende bij het maximum debiet is globaal berekend met hulp van een geschatte afvoercoëfficiënt $m = 1,20$.

$$Q_{\max} = 5,37 \text{ m}^3/\text{sec.} \quad B = 5,00 \text{ m} \quad h = (Q/1,705 \cdot B \cdot m)^{2/3} \quad h_{\max} = 0,65 \text{ m.}$$

De bovenkant van het meetbereik is hiermee bekend. De onderkant van het meetbereik wordt gevormd door de maximale overstorthoogte, waarbij in het veld nog met een nauwkeurigheid van ca. 10% kan worden gemeten: $h_{\min} = 0,05 \text{ m}$.

In paragraaf 2.1 zijn de hoogst en laagst te verwachten boven waterstanden vermeld: maximaal peil N.A.P. + 14,00 m en minimumpeil N.A.P. + 13,05 m.

Het in fig. 18 gearceerde gedeelte geeft het meetgebied te zien. Het daaruit gevonden meetprogramma wordt dan:

klepstuw Wilhelmsoord $B_{\text{prot}} = 5,00 \text{ m}$ $n_1 = 5$

klephoek α	prototype		model	
	h_1 bereik (m)	h_2 max	h_1 bereik (m)	q_{\max} (l/sec)
$37^\circ.30'$	$0,05 < h_1 < 0,20$	-	$0,01 < h_1 < 0,04$	13
45°	$0,05 < h_1 < 0,45$	-	$0,01 < h_1 < 0,09$	50
$52^\circ.30'$	$0,05 < h_1 < 0,65$	0,21	$0,01 < h_1 < 0,13$	85
60°	$0,05 < h_1 < 0,65$	0,50	$0,01 < h_1 < 0,13$	85
$67^\circ.30'$	$0,36 < h_1 < 0,65$	<0,65	$0,07 < h_1 < 0,13$	85

Voor de overige klepstuwen zijn soortgelijke meetprogramma's opgesteld.

3.2 Twee-dimensionaal onderzoek naar de afvoercoëfficiënt C_D (fig. 19 t/m 21)

Het systematisch onderzoek naar de karakteristieke afvoercoëfficiënt C_D als functie van de overstorthoogte h_1 en de klephoek α omvatte vijf verschillende kruinvormen:

model	schaal	vorm	stuw
P2 en P3	5	parabolische afronding	Wilhelmsoord en Diph.
Rondo	4,25	cirkelvormig	de Broeken
R2	1	rechthoekig	Boerdijk en Od.weide
R1	3,75	rechthoekig met vellingkant	Jongbloedvaart
S1	1	rechthoekig met afronding	Stroomstukken

In de twee-dimensionale goot werd in overeenstemming met de vijf meetprogramma's steeds per klephoek α een aantal verschillende debieten ingesteld, waarbij de overstorthoogtes werden gemeten ten opzichte van de kruin.

In fig. 16 is de opstelling te zien van de klep met parabolische kruin voor $\alpha = 60^\circ$.

In fig. 16 zijn van deze meetserie alle modelmetingen vermeld. De debieten werden vooraf enigszins geprogrammeerd. Bij elk gemeten debiet q werd de overstorthoogte h_1 gemeten, de coëfficiënt C_v berekend en de afvoercoëfficiënt C_D opgelost.

Vermenigvuldiging van de waarden h_1 -model met de schaalfactor $n_1 = 5$ levert de betrekking $C_D - h_{\text{prototype}}$ op voor de twee-dimensionale situatie.

In fig. 20 is de afvoercoëfficiënt C_D getekend als functie van de overstorthoogte h_1 (prototype), in dit geval voor $\alpha = 60^\circ$. De meetpunten zijn op dubbel-logaritmisch papier uitgezet, om te kunnen overzien of er een eenvoudige eerste graads vergelijking te vinden zou zijn in de vorm $C_D = A.h.^n$. Voor enkele klephoeken was dat wel mogelijk, bij het merendeel bleek het niet mogelijk voor het gehele meetbereik één relatie op te stellen.

Tijdens het ijken van de klepmodellen R2, R1 en S1 deden zich kleefverschijnselen voor. In het gebied $0,02 \text{ m} < h < 0,08 \text{ m}$ waren twee stroombeelden mogelijk. n.l. de straal laat los op de kruin, of de straal volgt de kopse kant van de klep, die meestal een dikte van 8 cm had.

Afhankelijk van het af- en toenemen van het debiet, was het beeld:

- afnemend debiet: de straal blijft op de kruin loslaten tot $h_1 = 0,02$ m daarna gaat de straal kleven
- toenemend debiet: vanuit de toestand van kleven, gaat de straal pas loslaten bij $h = 0,08$ m (in het model).

In het prototype bleek de bovengrens iets lager te liggen, ca 0,06 m, waarschijnlijk vanwege de grotere kans op verstoring van het labiel evenwicht. In fig. 21 is de afvoercoëfficiënt C_D getekend voor de klep met een rechtehoekige doorsnede, voor $\alpha = 60^\circ$, waarbij het effect van het loslaten/kleven duidelijk tot uiting komt in de grootte van C_D .

Alle $C_D - h$ betrekkingen, die in het twee-dimensionaal onderzoek zijn gevonden zijn in paragraaf 4.1 verwerkt in de bepaling van de totale afvoercoëfficiënt $m = C_D \cdot C_c \cdot C_V$.

3.3. Drie-dimensionaal onderzoek naar de contractie-coëfficiënt C_c (fig. 22, tabellen I en II, fotobladen V t/m VII)

Het doel van het drie-dimensionaal onderzoek was de bepaling van de contractie-coëfficiënt C_c . De te verwachten zijdelingse insnoering boven de kruin van de klep was het gevolg van:

- onvoldoende afgeronde landhoofden, waardoor vooral bij grote overstorthoogtes (grote afvoeren) de stroom loslaat van het landhoofd. Op basis van speurwerk-onderzoek mag worden aangenomen, dat de klephoek α geen afhankelijke is in dit verschijnsel.
Bij geen der zeven kleppen was de afronding van dien aard, dat de buitenste stroomlijnen de wand bleven volgen
- de aanwezigheid van ophanconstructies op de kruin. Dit kunnen zijn:
kokervormige armen (Wilhelmsoord, Diphcorn en de Broeken)
plaatvormige oren (Jongbloedvaart)
strips van geringe afmetingen (Odoornerweide, Boerdijk en Stroomstukken)

Nu is de klephoek α wel van invloed op de grootte van de insnoering.

In tabel I staat een volledig overzicht van de constructies, die verantwoordelijk waren voor de zijdelingse insnoering.

Evenals in het twee-dimensionaal onderzoek is in overeenstemming met het meetprogramma steeds per klephoek α een aantal verschillende debieten ingesteld, waarbij de overstorthogtes werden gemeten ten opzichte van de

kruin.

Elke meting bij een bepaalde combinatie landhoofd/ophangconstructie werd voorafgegaan door een meting, waarbij

het landhoofd voldoende was afgerond ($R_{\text{mod.}} = 0,20 \text{ m}$)

alle ophangelementen waren verwijderd ($B = b$)

waardoor deze vóór-meting als twee-dimensionaal kon worden beschouwd. Het debiet werd constant gehouden. In de drie-dimensionale meting werd een iets grotere overstorthoogte gemeten dan in de twee-dimensionale meting. De verhoging is zo gering, dat C_D en C_V in beide gevallen dezelfde zijn.

De afvoerformule ziet er in elk der situaties als volgt uit.

twee-dimensionaal voormeting $Q = 1,705 \cdot 0,800 \cdot C_D \cdot 1 \cdot C_V \cdot h_o^{1,50}$

drie-dimensionaal meting $Q = 1,705 \cdot 0,800 \cdot C_D \cdot C_c \cdot C_V \cdot h_1^{1,50}$

waaruit $C_c = (h_o/h_1)^{1,50}$.

In tabel II is de contractie-coëfficiënt C_c in relatie tot de parameter h/B weergegeven voor een aantal klephoeken van de stuw Wilhelmsoord.

In figuur 22 is deze betrekking grafisch voorgesteld. Daarbij valt ondermeer op:

- voor kleine overstorthoogtes werd een kleinste waarde voor de contractie-coëfficiënt bereikt, die bij benadering gelijk is aan het quotiënt van de netto breedte tussen de ophangarmen en de dagbreedte tussen de landhoofden. (b/B).
- bij toenemende overstorthoogte h ligt het obstakel deels voorbij de kritische doorsnede (grenssnelheid, die steeds in de buurt van de kruin ligt), waardoor de insnoerende invloed afneemt. Bij toenemende klephoek doet zich hetzelfde voor.
- als h en/of α nog groter worden, raken de ophangarmen geheel onder water, waardoor de contractie-coëfficiënt C_c nog meer tot 1 nadert.

Het is niet mogelijk, de bijdrages van elk der beide - insnoering veroorzakende - constructies aan te wijzen. Het resultaat, de gevonden contractie coëfficiënt, is het gevolg van beide oorzaken. Wel kan worden opgemerkt, dat terwijl de invloed van de ophangelementen afneemt, die van onvoldoende afgeronde landhoofden toeneemt.

Alle relaties $h/B - C_c$, die in het drie-dimensionale onderzoek zijn gevonden, zijn in paragraaf 4.1 verwerkt in de bepaling van de totale afvoercoëfficiënt

$$m = C_D \cdot C_c \cdot C_V$$

3.4 Invloed benedenwaterstand (tabel III)

De waterstand benedenstrooms van elk der klepstuwen wordt niet alleen bepaald door de afvoer, maar ook door de omstandigheid, waaronder het benedenpand de afvoer verwerkt.

Als de benedenwaterstand bij de stuw een hogere waarde heeft dan de kruinstand van de klep, dan mag worden verwacht, dat de bovenwaterstand zal worden beïnvloed door de benedenwaterstand. In deze gevallen is er sprake van gestuwde afvoer (onvolkomen overlaat).

Bij de gestuwde afvoer is de ijkkromme niet meer een eenduidige betrekking tussen de overstorthoogte h_1 en het debiet Q . De invloed van de benedenwaterstand wordt dikwijls uitgedrukt in de verdrinkingsgraad $S = 100 h_2/h_1$ (%).

Het bepalen van debieten uit een gestuwde afvoer is minder nauwkeurig dan de bepaling uit een ongestuwde afvoer. Er zal dan ook steeds gestreefd worden naar een zodanige peilbeheersing, dat de kans op gestuwde afvoer zo gering mogelijk wordt gehouden. In het proefgebied is - extreme situaties daargelaten - voldoende verval beschikbaar om dit doel dicht te benaderen.

Voor lage verdrinkingsgraden, $100 h_2/h_1 \leq 50\%$, is in een aantal series proeven met het drie-dimensionaal model het verband gezocht tussen de procentuële verdrinkingsgraad en de procentuële afwijking in het debiet. Zodra namelijk $h_2 > 0$ is, wordt h_1 een opgestuwde bovenwaterstand en zal het daaruit berekende debiet Q_E - berekend met de $Q-h_1$ betrekking - groter zijn dan het werkelijk debiet Q .

De procentuële afwijking $E = 100 (Q_E - Q)/Q_E$ is nu het percentage, waarmee het debiet Q_E - bepaald met $Q - h_1$ ijkkromme voor ongestuwde afvoer - moet worden verminderd, om het werkelijk gepasseerde debiet te vinden.

Tussen de procentuële afwijking $E = 100 (Q_E - Q)/Q_E$ en de procentuële verdrinkingsgraad bestaat een verband, dat bij benadering onafhankelijk is van het debiet. Dit verband is wel afhankelijk van de kruinvorm, en varieert bovendien sterk met de grootte van de klephoek α .

In tabel III is de afwijking in het debiet E gegeven als functie van de verdrinkingsgraad. Enkele opmerkingen daarbij:

1. Bij benomende α neemt de afwijking E af, omdat naarmate α tot 90° nadert het karakter van de lange overlaat toeneemt, waarvoor geldt dat $E = 0$ is voor de verdrinkingsgraden $100 h_2/h_1 \leq 67\%$.

2. De benedenwaterstand werd op zodanige afstand tot de stuw gemeten, dat geen hinder werd ondervonden van de sterke turbulenties, direct benedenstrooms van de stuw.
3. De extra fout in de bepaling van het debiet uit een gestuwde afvoer kan voor lager verdrinkingsgraden worden gesteld op 0,1 x de verdrinkingsgraad.

3.5 Bespreking van de modelresultaten

- a) twee-dimensionaal onderzoek naar de karakteristieke afvoercoëfficiënt C_D . Uit de modelmetingen, debiet en overstorthoogte zijn de C_D - h_1 relaties bepaald. Het heeft weinig zin voor al deze relaties formules op te stellen, omdat bij de verwerking van de gegevens voor prototype gebruik met nog twee invloeden (contractie en aanloopsnelheid) rekening moet worden gehouden. De nauwkeurigheid waarmee de afvoercoëfficiënt C_D in het modelonderzoek is vastgesteld, bedraagt ca. 2%
- b) drie-dimensionaal onderzoek naar de contractie-coëfficiënt C_c . De nauwkeurigheid van deze coëfficiënt mag worden gesteld op 1%
- c) drie-dimensionaal onderzoek gestuwde afvoer.

Uit de modelproeven volgde o.m. dat de Q - h_1 relatie door de benedenwaterstand beïnvloed wordt zodra $h_2 > 0$ is. Dit is een bekend verschijnsel bij de korte en scherpe overlatten, zulks in tegenstelling tot de lange overlaat. Als de klephoek nadert tot 90° ontstaat ongeveer het beeld van de lange overlaat (klep plat). De overgang van het karakter van de korte overlaat naar dat van de lange overlaat komt goed tot uitdrukking als de percentages E voor de vijf verschillende klephoeken worden vergeleken. Onderlinge vergelijking van de percentages E voor de verschillende kruinvormen toont, dat de afrondingsvorm van de kruin een rol speelt, die duidelijker wordt, naarmate de verdrinkingsgraad toeneemt.

4 Afvoerrelaties van de zeven klepstuwen (prototype)

4.1 De afvoerformule en de totale afvoercoëfficiënt m (tabel IV, fig. 24 t/m 30)

De afvoerformule van de overlaat ziet er in principe net zo uit als die voor de lange overlaat, waarbij de Wet van Bernoulli werd gebruikt als vorm van de Wet van behoud van energie.

De afvoerformule van de overlaat met zijdelingse contractie is:

$$Q = (2/3)^{3/2} \cdot g^{1/2} \cdot B \cdot C_D \cdot C_c \cdot C_V \cdot h_1^{1,50}, \text{ waarin:}$$

Q	het debiet in m ³ /sec.
$(2/3)^{3/2} \cdot g^{1/2}$	een constante, ook bekend als 1,705 m ^{1/2} /sec.
B	de breedte van de stuw tussen de landhoofden (m)
C _D	karakteristieke afvoercoëfficiënt (-). C _D = f (h ₁ , α, kruinvorm).
C _c	contractiecoëfficiënt (-). C _c = f(h/B, α, landhoofd, ophanging)
C _V	coëfficiënt voor de aanloopsnelheid (-)
h ₁	de overstorthoogte ten opzichte van de kruin in meters.

De coëfficiënt C_V is in feite de omrekening van energiehogte naar waterhoogte. Ze is afhankelijk van de gemiddelde snelheid in het dwarsprofiel, waarin de bovenwaterstand wordt gemeten, en de overstorthoogte h₁. In formule is C_V = (1 + $\bar{v}^2/2gh_1$)^{3/2}. In het twee-dimensionaal model is de grootte van deze coëfficiënt verschillend van die in het prototype, omdat de dwarsprofielen gewoonlijk niet op schaal zijn en dat in de meeste gevallen ook niet behoeven te zijn. In het modelonderzoek wordt C_V in elke meting berekend, teneinde C_D te kunnen bepalen. Omgekeerd zal ter bepaling van het debiet in het prototype de coëfficiënt C_V moeten worden bepaald uit $\bar{v}_{\text{prot.}}$ en h_{prot.}

In vereenvoudigde vorm ziet de afvoerformule er als volgt uit:

$$Q = 1,705 \cdot B \cdot m \cdot h_1^{1,50}, \text{ waarbij } m = C_D \cdot C_c \cdot C_V.$$

Aan de hand van het hierna volgend voorbeeld zal het verband tussen m en h worden opgesteld voor de klepstuw Wilhelmsoord, waarbij α = 60° wordt genomen. (tabel IV).

Uit de beschikbare gegevens met betrekking tot de maatvorming van de klep

kan worden afgeleid, dat bij $\alpha = 60^\circ$ de kruishoogte N.A.P. + 13.000 m be- draagt.

De overstorthoogte van deze klepstuw variëert in het bereik $0,05 < h < 0,65$ m. Voor tien willekeurige - binnen het bereik liggende - overstorthoogtes h_1 worden achtereenvolgens de coëfficiënten C_D , C_c en C_v berekend (zie tabel IV).

C_D wordt ontleend aan de in paragraaf 3.2 gevonden betrekking tussen de karakteristieke afvoercoëfficiënt C_D en de overstorthoogte h_1 .

C_c wordt gevonden uit de in paragraaf 3.3 opgestelde relatie tussen de con- tractie coëfficiënt C_c en de parameter h/B .

C_v wordt bepaald door middel van een kort iteratieproces:

Q wordt eerst bepaald met $C_v = 1$

uit de waterstand, $h_{\text{kruin}} + h_1$, wordt de natte doorsnede F berekend.

$$\bar{v} = Q/F \rightarrow C_v = (1 + \bar{v}^2/2gh_1)^{3/2}.$$

vervolgens wordt Q bepaald met de zojuist gevonden C_v . Dit proces wordt herhaald tot de laatst gevonden waarde van C_v gelijk is aan de voorlaatste $m = C_D \cdot C_c \cdot C_v$. Voor tien waarden van h_1 zijn de bijbehorende waarden van m bekend.

In de laatste kolom van de tabel is het debiet Q gegeven.

Als de betrekking tussen m en h_1 op dubbel-logaritmisch papier wordt uitge- zet, blijkt in de meeste gevallen, dat de punten (m, h_1) bij benadering op een rechte lijn liggen. De vergelijking is dan $m = A \cdot h_1^B$.

In het tweede gedeelte van de tabel IV staat de regressieberekening van de tien punten (m, h_1) opgesteld voor de formule $m = A \cdot h_1^B$. Met behulp van een rekenprogramma worden A en B gevonden. In de derde kolom staat de waarde van m, berekend met de formule, in de laatste kolom is de afwijking vermeld $E = 100 (m_{\text{ber.}} - m)/m_{\text{ber.}}$. Uit de geringe foutpercentages blijkt, dat de puntenverzameling bijzonder goed voldoet aan de vergelijking $m = A \cdot h_1^B$.

Voor de klepstuw de Broeken voldeden de puntenverzamelingen (m, h_1) aan de vergelijking $m = A \cdot h^{B+C \log h}$. Op dubbellogaritmisch papier is dit een gebogen lijn. Op dezelfde wijze, als hiervoor omschreven, zijn de betrekkingen $m = A \cdot h_1^B$ bepaald voor de andere klephoeken van de stuw Wilhelmsoord.

In fig. 24 zijn de resultaten ervan vermeld voor het gehele meetbereik van de klepstuw Wilhelmsoord. In het rechter gedeelte van de tabel zijn de aan- tallen gevallen vermeld, waarin $100 (m_{\text{ber.}} - m)/m_{\text{ber.}}$ groter is dan respec- tievelijk 2%, 1,5% en 1%.

Uit de grafiek blijkt, dat door de punten A, zowel als door de punten B

zonder veel moeite een kromme kan worden getrokken, waardoor het interpoleren voor tussengelegen klephoeken erg goed mogelijk is.

Met behulp van deze grafiek kan voor elke situatie (α , h_1) de totale afvoercoëfficiënt worden gevonden en daaruit het debiet $Q = 1.705 \cdot B \cdot m \cdot h_1^{1,50}$ worden berekend.

Evenzo zijn de betrekkingen $m = f(h)$ voor de andere stuwen opgesteld.

Het geheel aan relaties is te vinden in de volgende figuren:

fig. 24	Willemsoord	$37^{\circ}.30' \leq \alpha \leq 67^{\circ}.30'$	$0,05 \leq h_1 \leq 0,65$
fig. 25	Diphoorn	$37^{\circ}.30' \leq \alpha \leq 82^{\circ}.30'$	$0,05 \leq h_1 \leq 0,60$
fig. 26	de Broeken	$37^{\circ}.30' \leq \alpha \leq 85^{\circ}$	$0,05 \leq h_1 \leq 0,42$
fig. 27	Jongbloedvaart	$37^{\circ}.30' \leq \alpha \leq 67^{\circ}.30'$	$0,05 \leq h_1 \leq 0,40$
fig. 28	Boerdijk	$37^{\circ}.30' \leq \alpha \leq 85^{\circ}$	$0,05 \leq h_1 \leq 0,36$
fig. 29	Odoornerweide	$45^{\circ} \leq \alpha \leq 85^{\circ}$	$0,05 \leq h_1 \leq 0,25$
fig. 30	Stroomstukken	$45^{\circ} \leq \alpha \leq 80^{\circ}$	$0,05 \leq h_1 \leq 0,20$

In onderstaande tabel is voor een aantal overstorthoogtes de coëfficiënt m berekend - waarbij $\alpha = 60^{\circ}$ werd genomen - om een inzicht te hebben in de mate waarin verschillende van de zeven klepstuwen met elkaar overeenkomen of van elkaar verschillen.

h_1 (m)	Wilh. oord	Diphoorn	de Broeken	Jongbl. vaart	Od. weide	Boerdijk	Stroomstukken
0,05	0,91	0,90	1,13	1,20	1,20	1,20	1,24
0,10	0,99	0,98	1,25	1,20	1,20	1,20	1,23
0,20	1,09	1,07	1,31	1,20	1,21	1,21	1,22
0,40	1,18	1,17	1,29	1,20	-	-	-
0,60	1,25	1,23	-	-	-	-	-

4.2 Nauwkeurigheid in de bepaling van de debieten in het prototype (fig. 23)

De nauwkeurigheid waarmee het debiet in het prototype wordt afgeleid uit een relatie $Q = 1,705 \cdot B \cdot m \cdot h_1^{1,50}$ is niet geheel bekend.

Elk der factoren m , B en h_1 levert een bijdrage aan de bepaling van het debiet.

Als X_Q de waarschijnlijke procentuele fout is in de bepaling van het debiet Q dan is deze te berekenen met:

$$X_Q = \pm \sqrt{X_m^2 + X_B^2 + (1,5 X_{h_1})^2}, \text{ waarin}$$

X_m de procentuele nauwkeurigheid in de afvoercoëfficiënt m

X_B de procentuele nauwkeurigheid in B

X_{h_1} de procentuele nauwkeurigheid in de overstorthoogte h_1

1,5 de exponent van h_1 in de afvoerformule

$$X_m = \sqrt{X_{C_D}^2 + X_{C_c}^2 + X_{C_V}^2}$$

De nauwkeurigheden van C_D en C_c zijn bepaald door de modelproeven. Door de kleinste debieten volumetrisch te ijken en het meten van de kleinste overstorthoogtes enige keren te reproduceren, mag worden gesteld:

$$X_{C_D} = 2\%$$

$$X_{C_c} = 1\%$$

Als de natte doorsnede F van het kanaalpand ter plaatse van de meetraai niet wordt beïnvloed door noemenswaardige aanzanding of uitschuring, zal de coëfficiënt C_V geen aanleiding tot onnauwkeurigheden geven

$$X_{C_V} = 0$$

De breedte tussen de landhoofden kan enigszins variëren, als beide wanden niet geheel vlak en evenwijdig aan elkaar zijn.

$$X_B = 0,5\%$$

Om een goede schatting van X_{h_1} te maken is het van belang, de foutenbronnen in h_1 zo volledig mogelijk te inventariseren

a) meting van de bovenstroomse waterstand. Het transformeren van een waterpeil via een vlotter of electrode naar de recorder of ponsband.

$$\text{geschatte fout } \delta_{ha} = 2 \text{ mm}$$

b) onregelmatigheid in de afwerking van de overstortrand en eventuele doorbuiging ten gevolge van de belasting, die tijdens het bedrijf wellicht anders is dan tijdens de nulpuntsbepaling in het prototype

$$\text{geschatte fout } \delta_{hb} = 2 \text{ mm}$$

c) de nulpuntsbepaling van de kruin vereist een zeer nauwkeurige waterpassing, waarvan de fout geschat wordt op $\delta_{hc} = 2 \text{ mm}$

d) het meten en transformeren van de kruinstand $\delta_{hd} = 2 \text{ mm}$.

De totale absolute fout wordt dan:

$$\delta_h = \sqrt{\delta_{ha}^2 + \delta_{hb}^2 + \delta_{hc}^2 + \delta_{hd}^2} = 4 \text{ mm.}$$

De totale procentuële fout in de bepaling van de overstorthoogte:

$$X_h = 100 \cdot 4/h_1 \text{ \%}, \text{ waarbij } h_1 \text{ in millimeters is uitgedrukt.}$$

De nauwkeurigheid van de totale afvoercoëfficiënt:

$$X_m = \sqrt{2^2 + 1^2 + 0^2}$$

De waarschijnlijke procentiële fout in het bepalen van het debiet varieert nu nog slechts met de grootte van de overstorthoogte h_1 .

$$X_Q = \sqrt{5 + 0,5^2 + (1,5 \cdot 100 \cdot 4/h_1)^2}$$

$$X_Q = \sqrt{5,25 + (600/h_1)^2} \text{ waarbij } h_1 \text{ in millimeters.}$$

Met behulp van deze vergelijking zal voor enkele reeds eerder aangehaalde overstorthoogtes de grootte van X_Q worden berekend:

h_1 (meters)	X_h (%)	X_Q %
0,05	8,0	12,2
0,10	4,0	6,4
0,20	2,0	3,8
0,40	1,0	2,7
0,60	0,7	2,4

Voor de klepstuwen met een min of meer rechthoekige kruin, waarbij de overstortende straal bij $h_1 \leq 0,06 \text{ à } 0,08 \text{ m}$ nu eens kleeft, dan weer los springt, wordt $X_{C_D} = 10\%$.

In het gebied tot $h = 0,08 \text{ m}$ wordt de fout dan ook vergroot door het labielkarakter van de overstortende straal.

h_1 meters	X_h %	X_Q (straal los)	X_Q (klevende straal)
0,05	8,0	12,2	15,6
0,06	6,7	10,3	14,1
0,07	5,7	8,9	13,2
0,08	5,0	7,8	12,5

Tijdens het meten met gestuwde afvoer wordt de te verwachten fout in de bepaling van het debiet vergroot met de fout in $E = 100 (Q_E - Q)/Q_E$. In paragraaf 3.4 werd voor geringe verdrinkingsgraden $S = 100 h_2/h_1$ een extra fout verwacht $X_s = 0,1 S$.

4.3 Samenvatting Q - h relaties

Van elk der klepstuwen worden de Q - h relaties ongestuwde afvoer vermeld voor een aantal klephoeken α .

$$Q = 1,705 \cdot B \cdot m \cdot h_1^{1,50}, \text{ waarin}$$

Q het debiet in m^3/sec

B de breedte tussen de landhoofden (m)

m de totale afvoercoëfficiënt

h_1 de overstorthoogte in meters

De grootst te verwachten fout in de bepaling van het debiet is in procenten:

$$X_Q = \sqrt{5,25 + (600/h_1)^2}, \text{ waarbij } h_1 \text{ in millimeters.}$$

Voor die kleppen, waarbij de overstortende straal tijdens lage afvoeren nu eens kleeft, dan weer los springt, moet de hiervoor berekende X_Q met de 4% worden vermeerderd.

Bij elke Q - h betrekking is het geldigheidsbereik voor h_1 gegeven, evenals de daarbij behorende begrenzings van het debiet.

Bij gestuwde afvoer moet het debiet - bepaald met een Q - h_1 betrekking voor ongestuwde afvoer - worden verminderd met een percentage E, dat afhankelijk is van de verdrinkingsgraad $S = 100 h_2/h_1$. In tabel III worden de reductie-percentages E gegeven. De te verwachten extra fout in de bepaling van het debiet tijdens gestuwde afvoer wordt geschat op $X_s = 0,1 S$.

4.3.1 Klepstuw Wilhelmsoord $B = 5 \text{ m}$ $Q_{\max} = 5,37 \text{ m}^3/\text{sec}$

$$Q = 8,525 \text{ m} \cdot h_1^{1,50} \quad m = A \cdot h_1^B$$

klephoek α	Afvoerformule	bereik in h_1	bereik in Q
$37^\circ.30'$	$Q = 9,27 h_1^{1,555}$	$0,05 \leq h_1 < 0,20$	$0,088 \leq Q < 0,76$
45°	$Q = 10,07 h_1^{1,590}$	$0,05 \leq h_1 < 0,45$	$0,086 \leq Q < 2,83$
$52^\circ.30'$	$Q = 10,84 h_1^{1,617}$	$0,05 \leq h_1 < 0,65$	$0,085 \leq Q < 5,40$
60°	$Q = 11,33 h_1^{1,626}$	$0,05 \leq h_1 < 0,65$	$0,087 \leq Q < 5,62$
$67^\circ.30'$	$Q = 11,55 h_1^{1,618}$	$0,35 \leq h_1 < 0,65$	$2,11 \leq Q < 5,75$

Voor tussengelegen klephoeken wordt m gevonden met de gegevens uit fig. 24
 X_Q varieert van 12% bij $h = 0,05 \text{ m}$ tot 3% bij $h = 0,65 \text{ m}$.

4.3.2 Klepstuw Diphoorn $B = 4 \text{ m}$. $Q_{\max} = 3,87 \text{ m}^3/\text{sec}$

$$Q = 6,820 \text{ m} \cdot h_1^{1,50} \quad m = A \cdot h_1^B$$

klephoek α	Afvoerformule	bereik in h_1	bereik in Q
$37^\circ.30'$	$Q = 7,31 h_1^{1,557}$	$0,05 \leq h_1 < 0,20$	$0,069 \leq Q < 0,60$
45°	$Q = 7,98 h_1^{1,594}$	$0,05 \leq h_1 < 0,45$	$0,067 \leq Q < 2,23$
$52^\circ.30'$	$Q = 8,55 h_1^{1,619}$	$0,05 \leq h_1 < 0,60$	$0,067 \leq Q < 3,74$
60°	$Q = 8,94 h_1^{1,627}$	$0,05 \leq h_1 < 0,60$	$0,068 \leq Q < 3,89$
$67^\circ.30'$	$Q = 9,08 h_1^{1,621}$	$0,05 \leq h_1 < 0,60$	$0,071 \leq Q < 3,97$
75°	$Q = 8,91 h_1^{1,595}$	$0,05 \leq h_1 < 0,60$	$0,075 \leq Q < 3,94$
80°	$Q = 8,28 h_1^{1,564}$	$0,15 \leq h_1 < 0,60$	$0,43 \leq Q < 3,72$
$82^\circ.30'$	$Q = 8,06 h_1^{1,558}$	$0,30 \leq h_1 < 0,60$	$1,24 \leq Q < 3,64$

Voor tussengelegen klephoeken wordt m gevonden met de gegevens uit fig. 25.
 X_Q varieert van 12% bij $h_1 = 0,05 \text{ m}$ tot 3% bij $h = 0,60 \text{ m}$.

4.3.3 Klepstuw de Broeken

$B = 3,50 \text{ m}$

$Q_{\max} = 1,94 \text{ m}^3/\text{sec.}$

$Q = 5,967 \text{ m. } h_1^{1,50}$

$m = A. h_1^B + C/\log h$

klephoek α	Afvoerformule	bereik in h_1	bereik in Q
37° .30'	$Q = 7,23 h_1^{1,387-0,113\log h}$	$0,05 \leq h < 0,18$	$0,073 \leq Q < 0,58$
45°	$Q = 6,67 h_1^{1,314-0,147\log h}$	$0,05 \leq h < 0,34$	$0,073 \leq Q < 1,50$
52° .30'	$Q = 6,82 h_1^{1,323-0,143\log h}$	$0,05 \leq h < 0,42$	$0,074 \leq Q < 2,07$
60°	$Q = 6,86 h_1^{1,319-0,144\log h}$	$0,05 \leq h < 0,42$	$0,075 \leq Q < 2,08$
67° .30'	$Q = 6,97 h_1^{1,349-0,119\log h}$	$0,05 \leq h < 0,42$	$0,077 \leq Q < 2,08$
75°	$Q = 7,08 h_1^{1,410-0,073\log h}$	$0,05 \leq h < 0,42$	$0,078 \leq Q < 2,03$
80°	$Q = 7,63 h_1^{1,544+0,014\log h}$	$0,05 \leq h < 0,42$	$0,079 \leq Q < 2,01$
85°	$Q = 7,52 h_1^{1,541+0,005\log h}$	$0,09 \leq h < 0,42$	$0,186 \leq Q < 1,98$

Voor tussengelegen klephoeken wordt m gevonden met de gegevens uit fig. 26.

X_Q varieert van 12% bij $h_1 = 0,05 \text{ m}$ tot 3% bij $h = 0,42 \text{ m}$.

4.3.4 Klepstuw Jongbloedvaart

$B = 2,50 \text{ m.}$

$Q_{\max} = 1,33 \text{ m}^3/\text{sec.}$

$Q = 4,262 \text{ m. } h_1^{1,50}$

$m = A. h_1^B$

klephoek α	Afvoerformule	bereik in h_1	bereik in Q
37° .30'	$Q = 4,57 h_1^{1,462}$	$0,05 \leq h < 0,15$	$0,057 \leq Q < 0,285$
45°	$Q = 4,88 h_1^{1,487}$	$0,05 \leq h < 0,28$	$0,057 \leq Q < 0,74$
52° .30'	$Q = 4,99 h_1^{1,492}$	$0,05 \leq h < 0,40$	$0,057 \leq Q < 1,27$
60°	$Q = 5,11 h_1^{1,499}$	$0,05 \leq h < 0,40$	$0,057 \leq Q < 1,29$
67° .30'	$Q = 5,07 h_1^{1,501}$	$0,05 \leq h < 0,40$	$0,057 \leq Q < 1,28$

Voor tussengelegen klephoeken wordt m gevonden met de gegevens uit fig. 27.

X_Q varieert van 12 à 16% bij $h_1 = 0,05 \text{ m}$ tot 3% bij $h_1 = 0,40 \text{ m}$.

4.3.5 Klepstuw Boerdijk

$$B = 1,45 \text{ m} \quad Q_{\max} = 0,67 \text{ m}^3/\text{sec.}$$

$$Q = 2,472 \text{ m. } h_1^{1,50} \quad m = A. h_1^B$$

klephoek α	Afvoerformule	bereik in h_1	bereik in Q
37°.30'	$Q = 2,88 h_1^{1,500}$	$0,05 \leq h < 0,21$	$0,032 \leq Q < 0,28$
45°	$Q = 2,92 h_1^{1,501}$	$0,05 \leq h < 0,31$	$0,033 \leq Q < 0,50$
52°.30'	$Q = 2,95 h_1^{1,502}$	$0,05 \leq h < 0,36$	$0,033 \leq Q < 0,64$
60°	$Q = 3,01 h_1^{1,506}$	$0,05 \leq h < 0,36$	$0,033 \leq Q < 0,65$
67°.30'	$Q = 2,94 h_1^{1,497}$	$0,05 \leq h < 0,36$	$0,033 \leq Q < 0,64$
75°	$Q = 2,88 h_1^{1,492}$	$0,05 \leq h < 0,36$	$0,033 \leq Q < 0,63$
80°	$Q = 2,84 h_1^{1,505}$	$0,05 \leq h < 0,36$	$0,031 \leq Q < 0,61$
85°	$Q = 2,56 h_1^{1,486}$	$0,05 \leq h < 0,36$	$0,030 \leq Q < 0,56$

Voor tussengelegen klephoeken wordt m gevonden met de gegevens uit fig. 28. X_Q varieert van 12 à 16% bij $h_1 = 0,05 \text{ m}$ tot 3% bij $h_1 = 0,36 \text{ m}$.

4.3.6 Klepstuw Odoornerweide

$$B = 1,45 \text{ m} \quad Q_{\max} = 0,40 \text{ m}^3/\text{sec.}$$

$$Q = 2,472 \text{ m. } h_1^{1,50} \quad m = A. h_1^B$$

klephoek α	Afvoerformule	bereik in h_1	bereik in Q
45°	$Q = 2,93 h_1^{1,501}$	$0,05 \leq h_1 < 0,16$	$0,033 \leq Q < 0,19$
52°.30'	$Q = 2,98 h_1^{1,505}$	$0,05 \leq h_1 < 0,25$	$0,033 \leq Q < 0,37$
60°	$Q = 3,03 h_1^{1,508}$	$0,05 \leq h_1 < 0,25$	$0,033 \leq Q < 0,37$
67°.30'	$Q = 2,97 h_1^{1,501}$	$0,05 \leq h_1 < 0,25$	$0,033 \leq Q < 0,37$
75°	$Q = 2,93 h_1^{1,497}$	$0,05 \leq h_1 < 0,25$	$0,033 \leq Q < 0,37$
80°	$Q = 2,94 h_1^{1,517}$	$0,05 \leq h_1 < 0,25$	$0,031 \leq Q < 0,36$
85°	$Q = 2,72 h_1^{1,507}$	$0,05 \leq h_1 < 0,25$	$0,030 \leq Q < 0,34$

Voor tussengelegen klephoeken wordt m gevonden met de gegevens uit fig. 29. X_Q varieert van 12 à 16% bij $h_1 = 0,05 \text{ m}$ tot 3% bij $h = 0,25 \text{ m}$.

4.3.7 Klepstuw Stroomstukken

$$B = 0,90 \text{ m} \quad Q_{\text{max}} = 0,18 \text{ m}^3/\text{sec.}$$

$$Q = 1,534 \cdot m \cdot h^{1,50} \quad m = A \cdot h_1^B$$

klephoek α	Afvoerformule	bereik in h_1	bereik in Q
45°	1,73 $h_1^{1,475}$	0,05 $\leq h_1 < 0,12$	0,021 $\leq Q < 0,076$
52° .30'	1,89 $h_1^{1,503}$	0,05 $\leq h_1 < 0,20$	0,021 $\leq Q < 0,168$
60°	1,83 $h_1^{1,487}$	0,05 $\leq h_1 < 0,20$	0,021 $\leq Q < 0,167$
67° .30'	1,85 $h_1^{1,494}$	0,05 $\leq h_1 < 0,20$	0,021 $\leq Q < 0,167$
75°	1,90 $h_1^{1,505}$	0,05 $\leq h_1 < 0,20$	0,021 $\leq Q < 0,169$
80°	1,82 $h_1^{1,526}$	0,07 $\leq h_1 < 0,20$	0,019 $\leq Q < 0,156$

Voor tussengelegen klephoeken wordt m gevonden met de gegevens uit fig. 30. X_Q varieert van 12 à 16% bij $h_1 = 0,05 \text{ m}$ tot 4% bij $h = 0,20 \text{ m}$.

4.4 Algemene aanbevelingen

Naar aanleiding van het onderzoek naar de $Q - h$ relaties voor de zeven klepstuwen in het proefgebied zuid-oost Drente kan een aantal opmerkingen worden gemaakt:

1. De $Q-h$ relaties hebben uitsluitend betrekking op de klepstuwen en de daar-bij behorende geometrie van de kunstwerken en de kanaalpannen, waarvoor de afvoerkrommes zijn opgesteld.
2. De bovenstroomse waterstand zal worden gemeten op een afstand $6 \text{ m} < l < 25 \text{ m}$ bovenstrooms van de voorkant van de landhoofden, met behulp van een P.V.C.-pijp. Deze leiding zal haaks op de stroomrichting staan, en moet aan het uiteinde open zijn.
Het verdient aanbeveling de buis van tijd tot tijd door te spoelen, om eventuele afzettingen van slib en zand te verwijderen.
3. Het bepalen van de kruinhoogte verdient speciale aandacht. Op bij voor-keur tien verschillende plaatsen -onderling gelijke afstanden over de breedte- van de kruin wordt de hoogte bepaald ten opzichte van het N.A.P. Het gemiddelde wordt aangehouden als kruinhoogte. Door deze waterpassing voor een groot aantal klephoeken te doen, ontstaat het verband tussen de klephoek in de kruinhoogte.

Met de klepstandaanwijzers is het mogelijk een gewenste klepstand in te stellen met een betrekkelijk goede nauwkeurigheid.

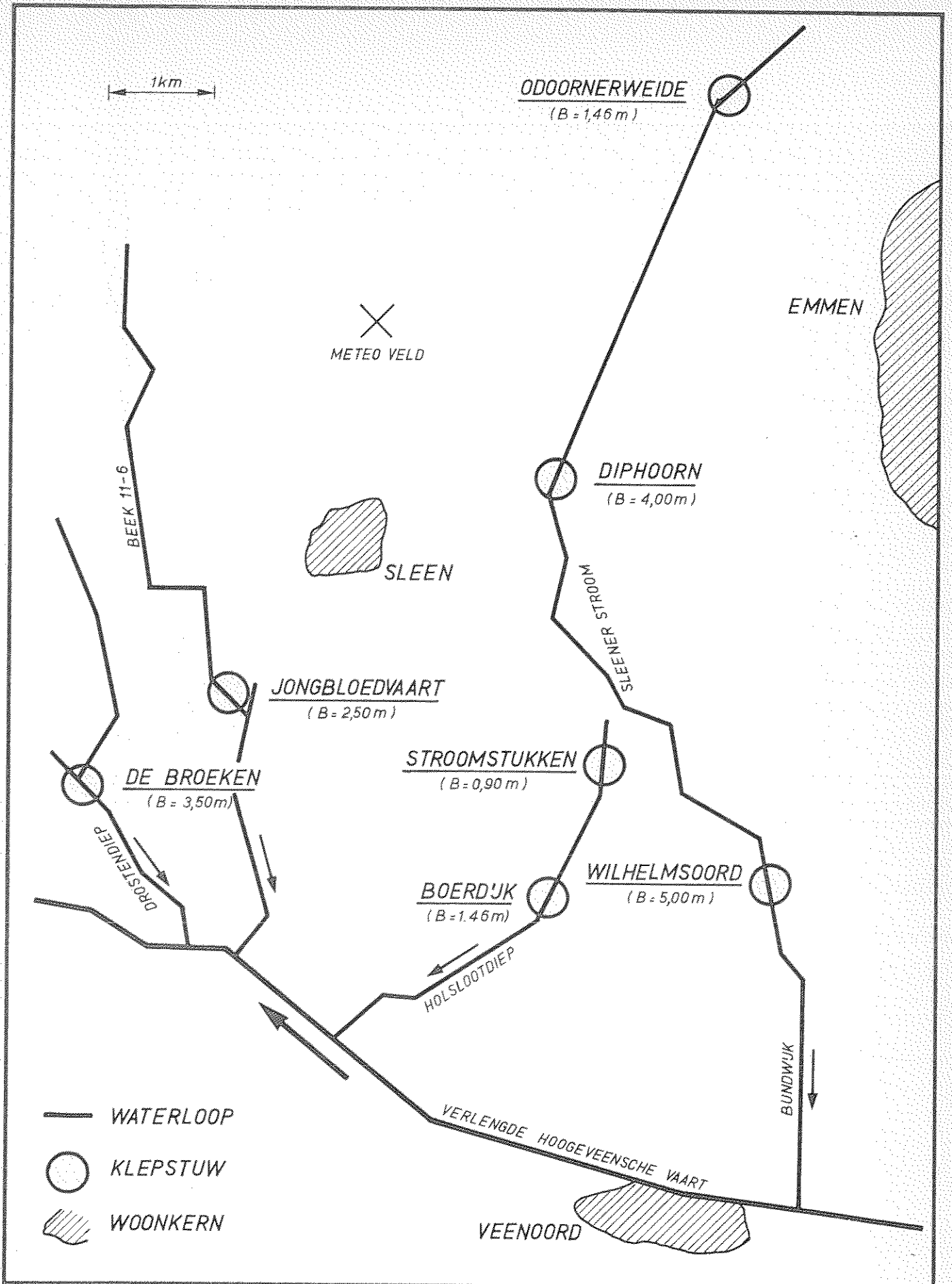
Voor het aflezen van de kruinhoogte met een nauwkeurigheid $\delta_h = 2$ mm, zal het echter nodig zijn de schaalverdeling te verfijnen en de constructie na het aanbrengen op het landhoofd nog eens te herijken.

Als referentiepunt bij de waterpassing moet hetzelfde vaste punt worden gekozen, dat ook gebruikt wordt om de ponsband-apparatuur en de beide peilschalen in relatie te brengen met het N.A.P.

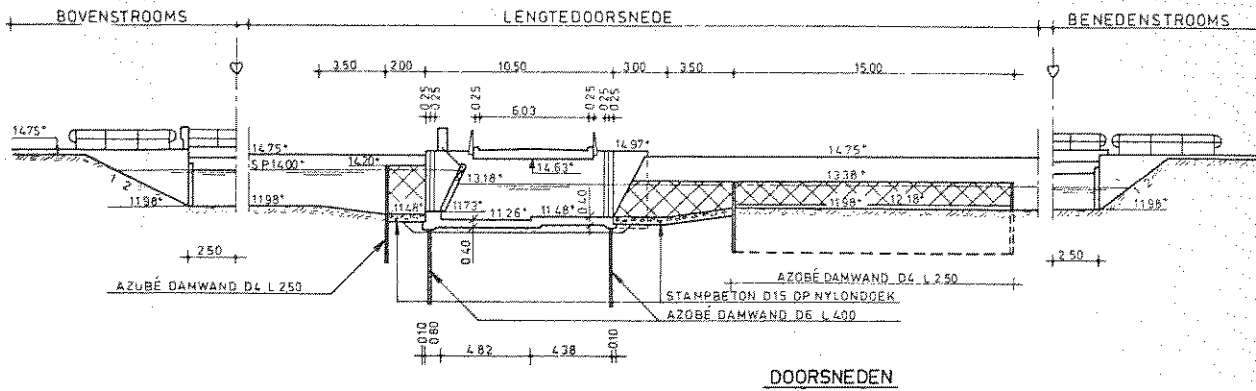
4. Vervuiling van de kruin der klep heeft een grote onnauwkeurigheid tengevolge voor de meting van de overstorthoogte en het daaruit afleiden van het debiet. Met name de ophanging van de kleppen Boerdijk, Odoornerweide en Stroomstukken geeft aanleiding tot het ophopen van drijvend vuil. Het verdient aanbeveling de overstortrand regelmatig te reinigen.
5. De afvoerrelaties, gegeven in dit rapport, zijn gebaseerd op een volledig beluchte overstortende straal, zolang de benedenwaterstand dit toelaat.
6. Teneinde de nauwkeurigheid in de bepaling van de kleine debieten te verbeteren, zou gedacht kunnen worden aan één of meer van de volgende oplossingen:
 - de 4% extra fout bij de kleppen met een min of meer rechthoekige kruin kan worden weggenomen, door de kruinen een parabolische afronding te geven, waardoor een vast loslaatpunt gegarandeerd wordt.
 - ophanging aan kokervormige armen, bevestigd aan de uiteinden der klep - zoals bij Wilhelmsoord, Diphorn en de Broeken - verdient, mits de lengte voldoende is de voorkeur boven ophanging aan strips, zoals bij Boerdijk, Odoornerweide en Stroomstukken.
 - een aanzienlijke verbetering in de debietmeting wordt verkregen, als de klepstuw wordt vervangen door een verticaal beweegbare lange overlaat met V-vormige dwarsdoorsnede.

BIBLIOGRAFIE

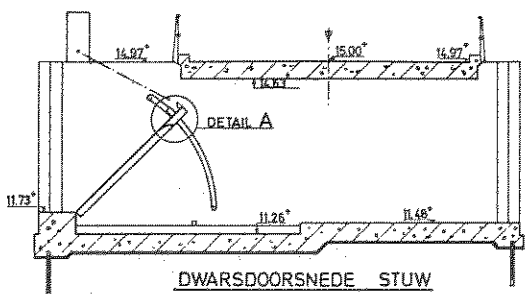
- 1 Ven Te Chow, Open Channel Hydraulics
Mc. Graw - Hill Book Company, Kōgakusha.
- 2 British Standard Institution, Methods of measurement of liquid
flow in open channels.
British Standard House, 2 Park St., London.
- 3 Hydraulica Laboratorium, Landbouwhogeschool, Wageningen.
Voortgezet onderzoek registrerende waterstandmeters nota no. 4.
- 4 Waterloopkundig Laboratorium M 1249.
Klepstuwen Veelerveen en Winschoterzijl, bepaling van de afvoer-
relaties, oktober 1974.



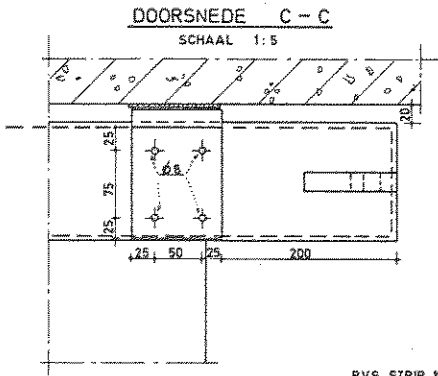
PROEFGEBIED VAN ZUID-OOST DRENTHE	JB
	A4
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M.1273-1001 FIG.1



DOORSNEDEN

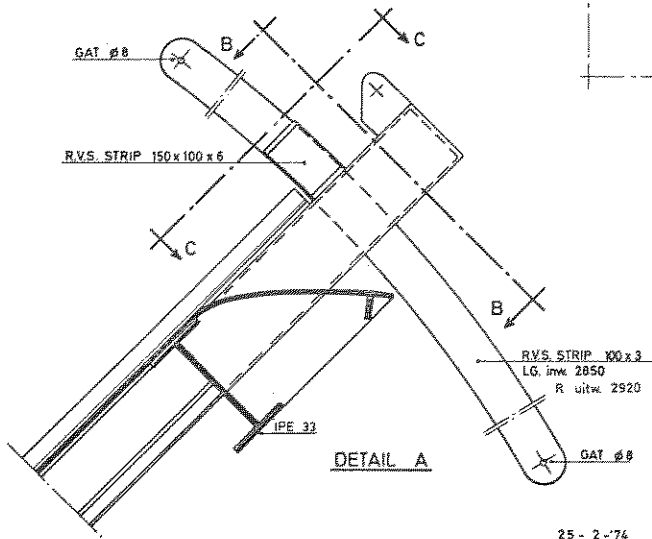


DWARSDOORSNEDE STUW

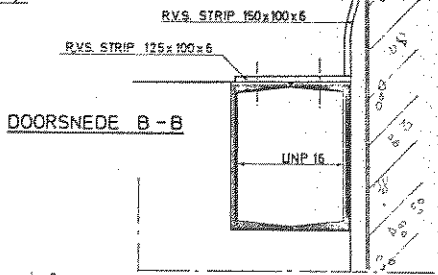


DOORSNEDE C - C

SCHAAL 1:5



DETAIL A



DOORSNEDE B - B

PROVINCIALE WATERSTAAT VAN DRENTE
 HYDROLOGISCH ONDERZOEK DRENTE
 MEETPUNT NO. STUW C
 WILHELMSOORD

25 - 2 - 74

KLEPSTANDAANWIJZER

„WILHELMSOORD“
 PROTOTYPE - GEGEVENS

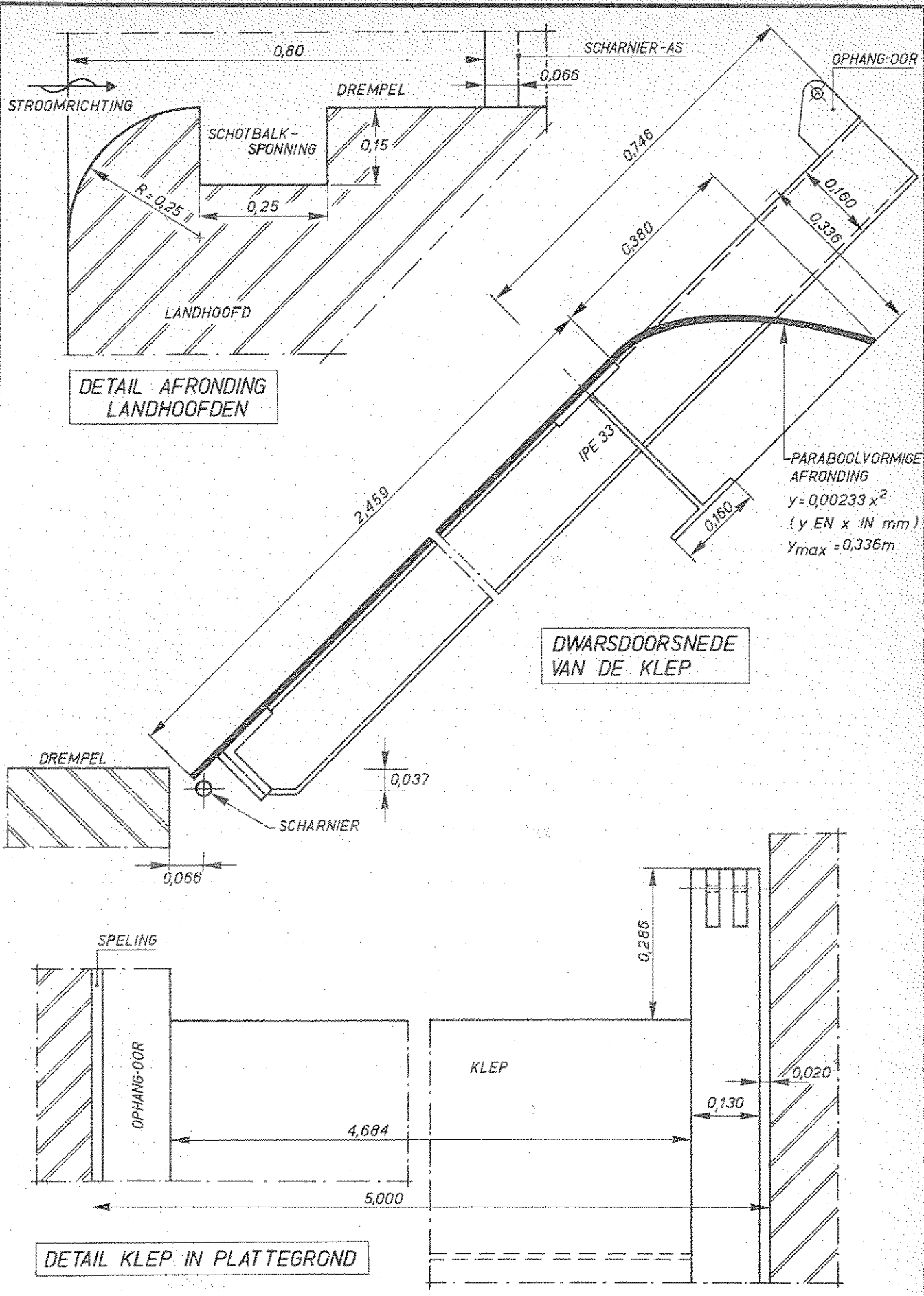
JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1273-1001

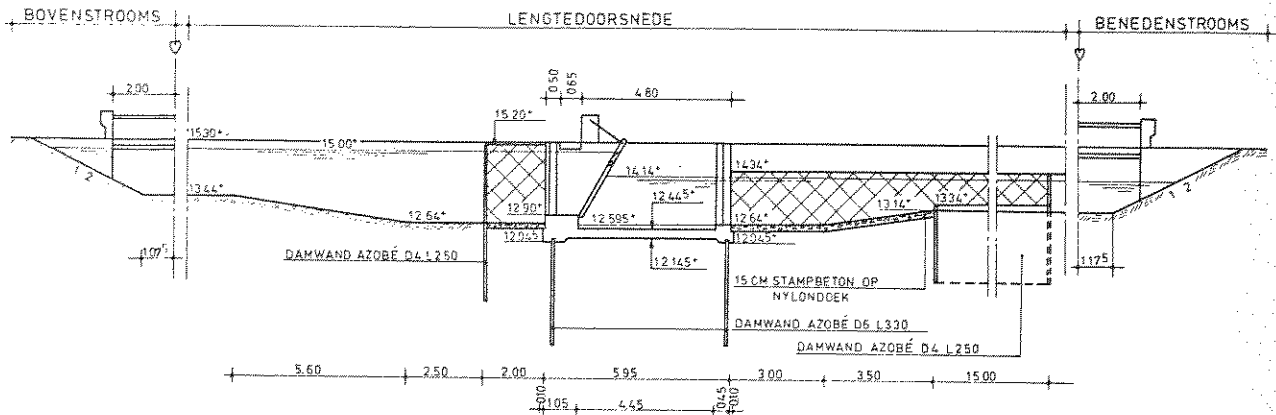
FIG.2



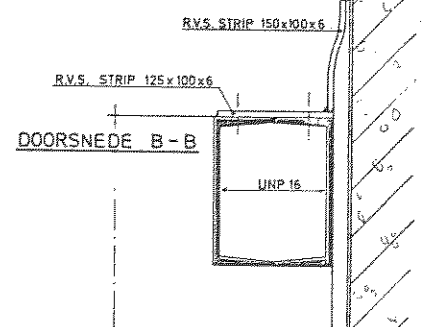
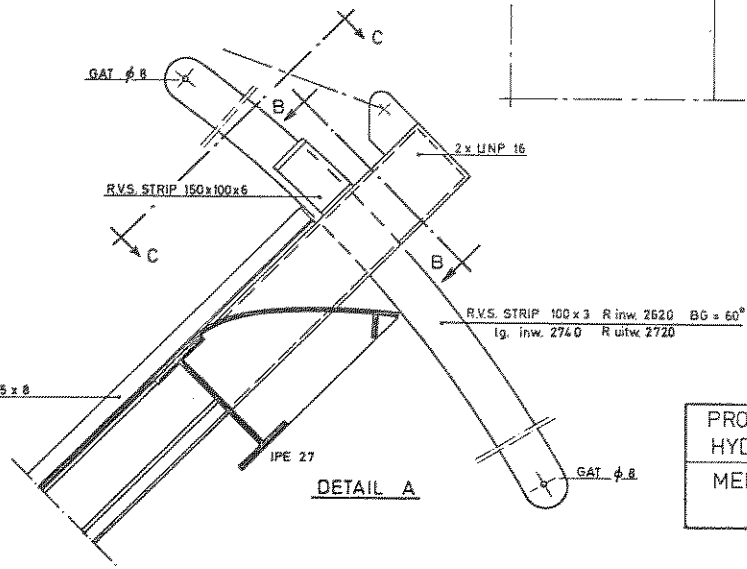
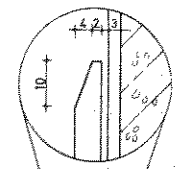
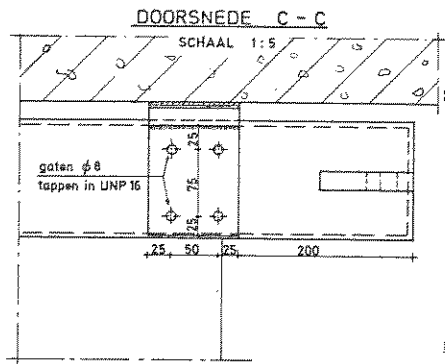
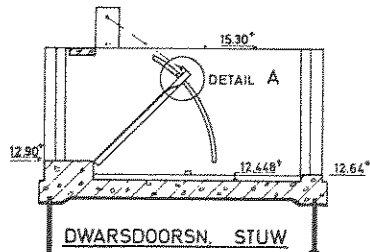
KLEPSTUW „WILHELMSOORD“ B = 5,00m
 DETAILS

JB

A3



DOORSNEDEN



PROVINCIALE WATERSTAAT VAN DRENTHE
 HYDROLOGISCH ONDERZOEK DRENTHE
 MEETPUNT NO STUW A
 DIPHOORN

25 - 2-'74

KLEPSTANDAANWIJZER

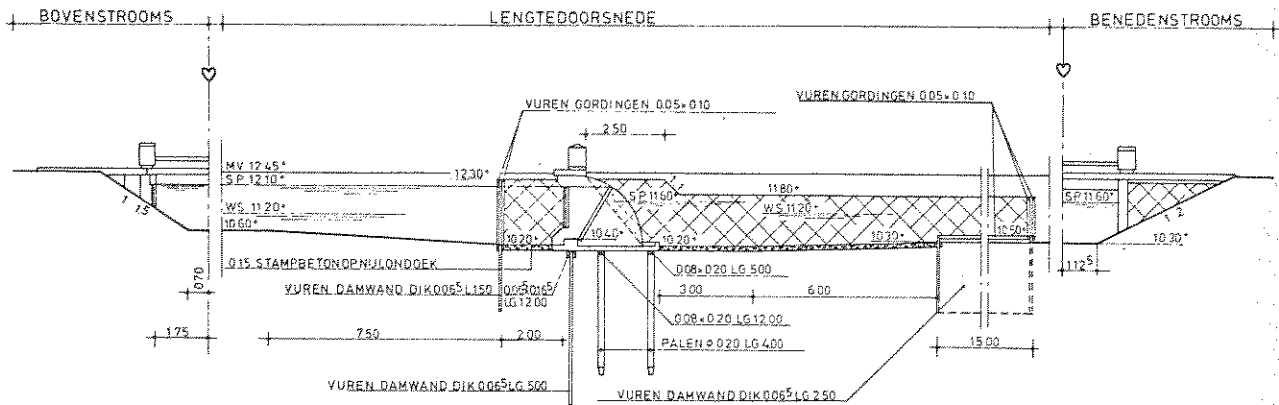
„DIPHOORN“
 PROTOTYPE - GEGEVENS

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

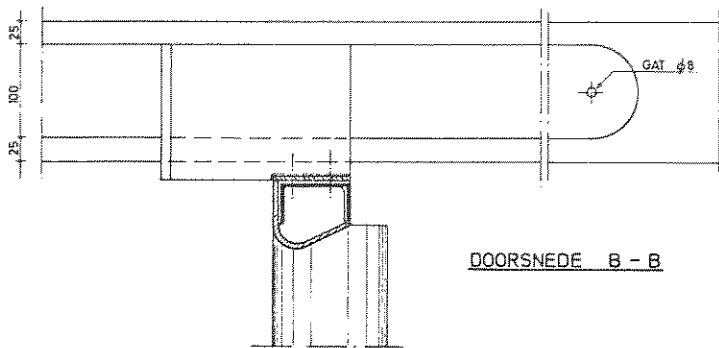
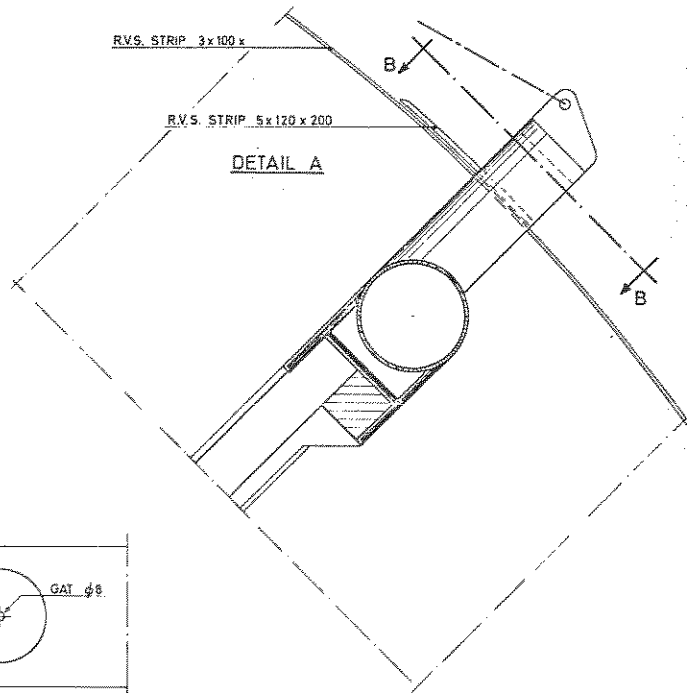
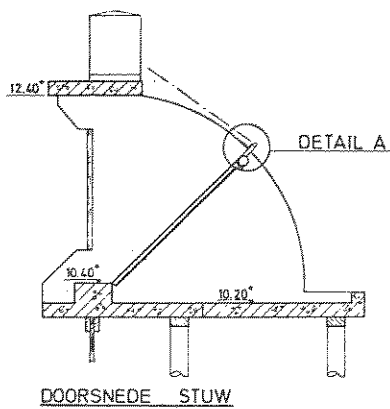
M.1273-1003

FIG. 4

JB
 A4



DOORSNEDEN



DOORSNEDE B - B

PROVINCIALE WATERSTAAT VAN DRENTHÉ
 HYDROLOGISCH ONDERZOEK DRENTHÉ
 MEETPUNT N^o. STUW F
 DE BROEKEN

KLEPSTANDAANWIJZER

„DE BROEKEN“
 PROTOTYPE - GEGEVENS

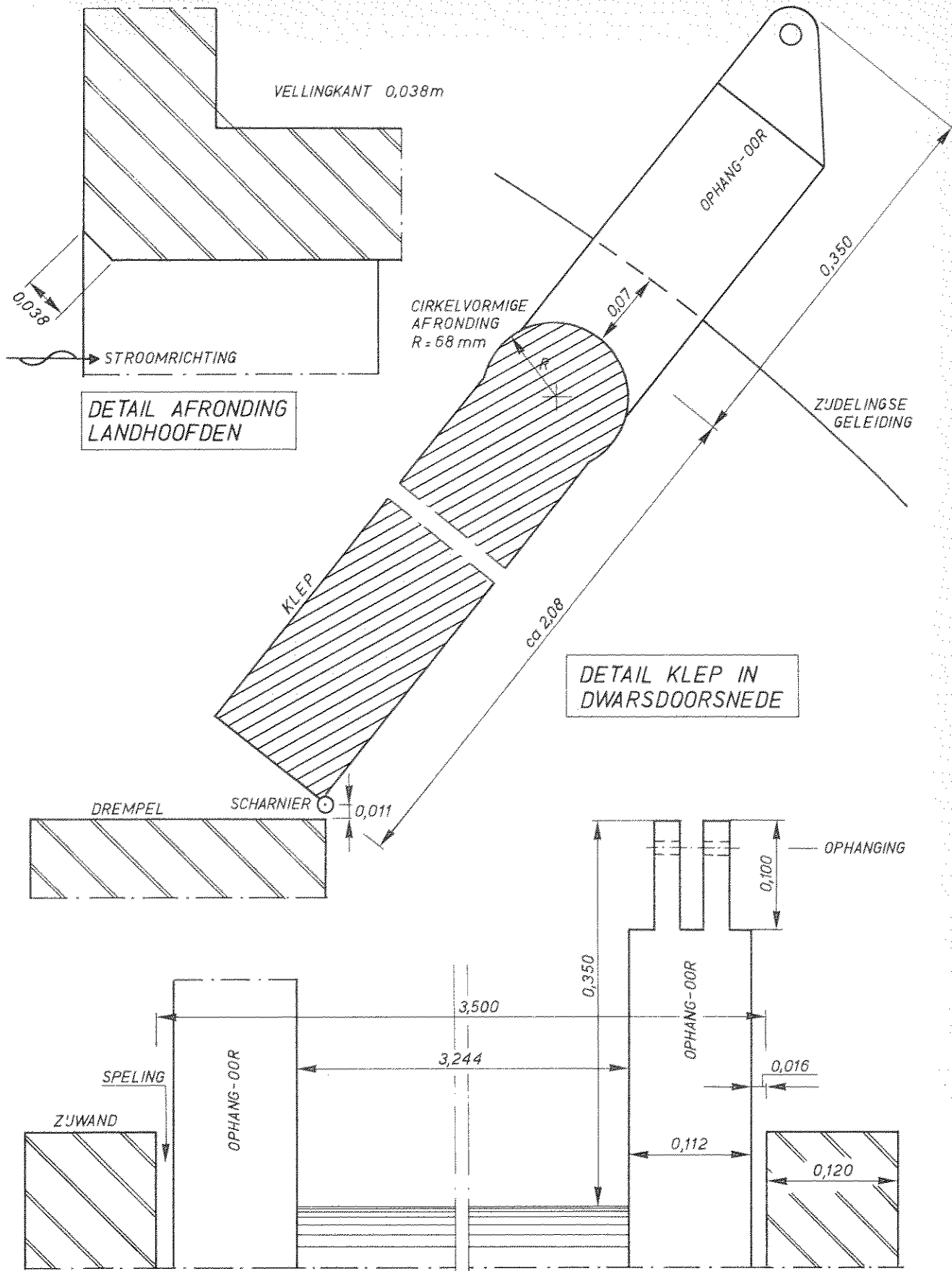
JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

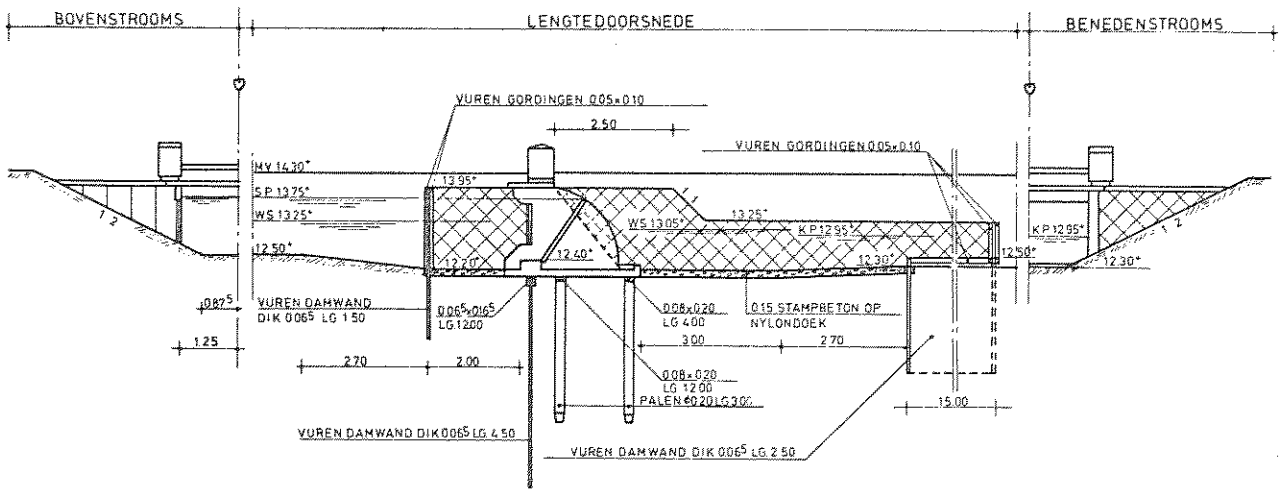
M.1273 - 1005

FIG. 6

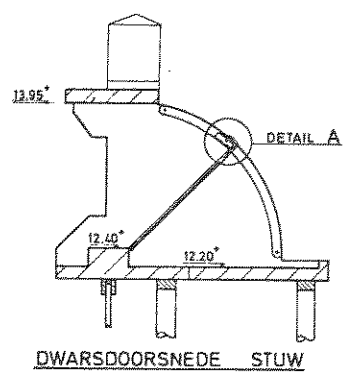


KLEPSTUW „DE BROEKEN” B = 3,50m
 DETAILS

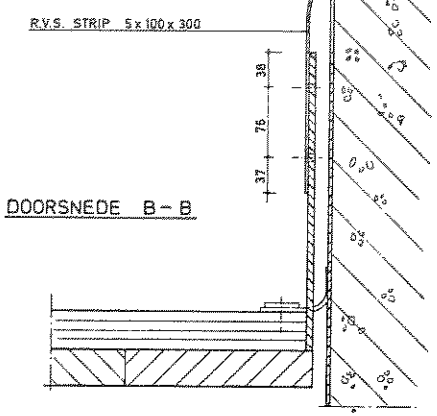
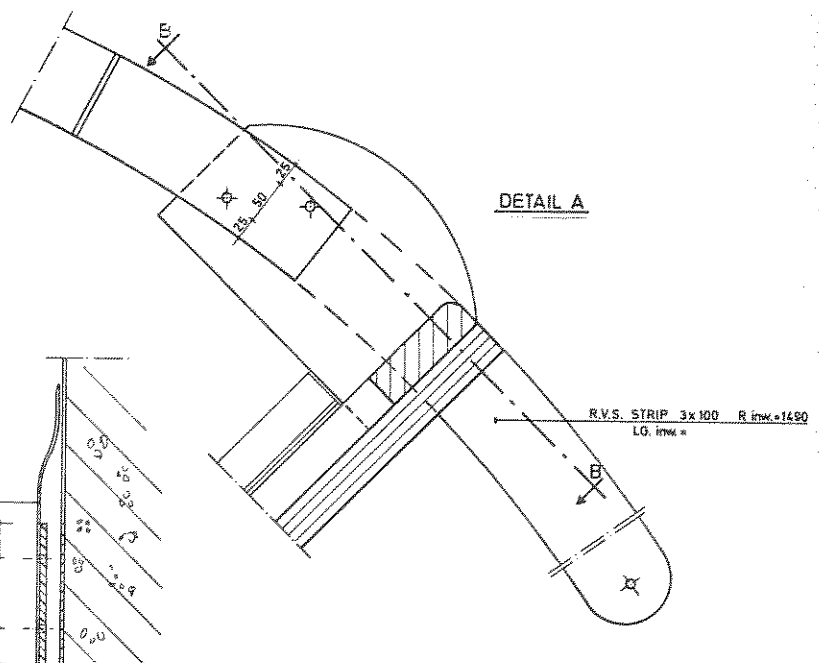
MATEN IN m	JB
	A4
M.1273-1006	FIG. 7



DOORSNEDEN



DWARSDOORSNEDE STUW



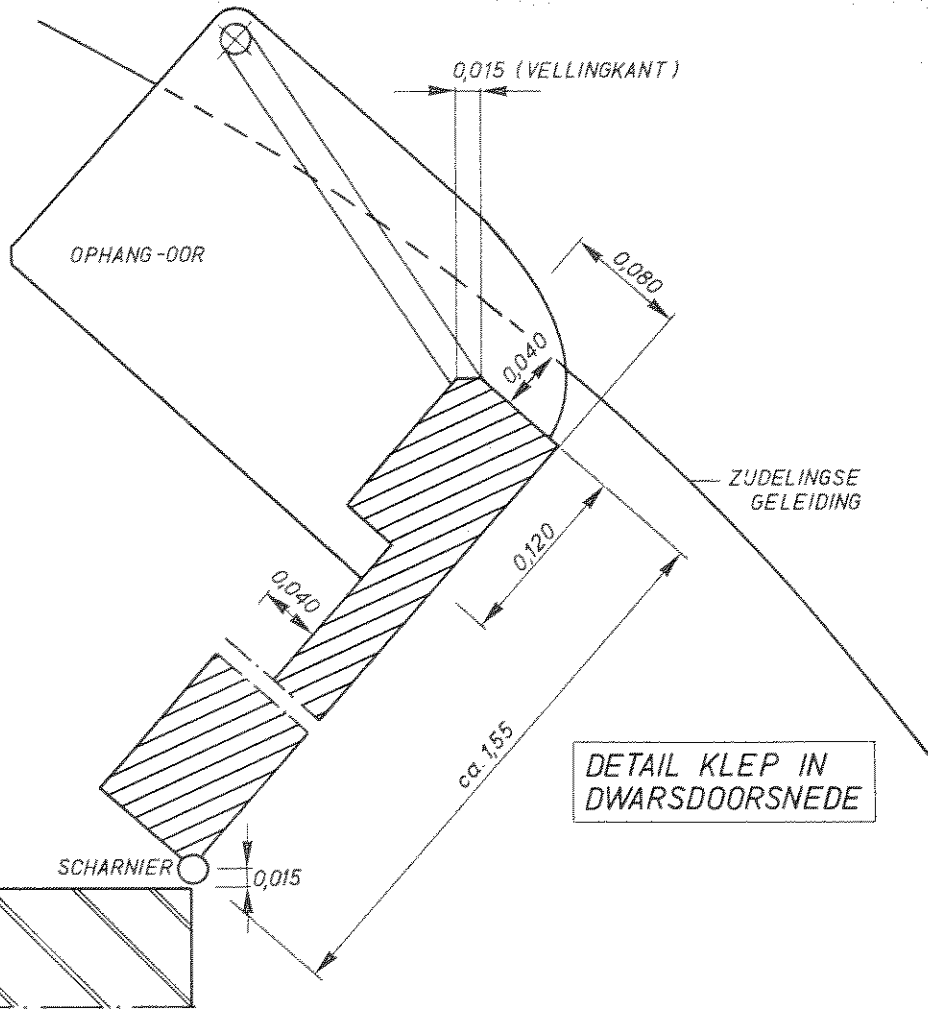
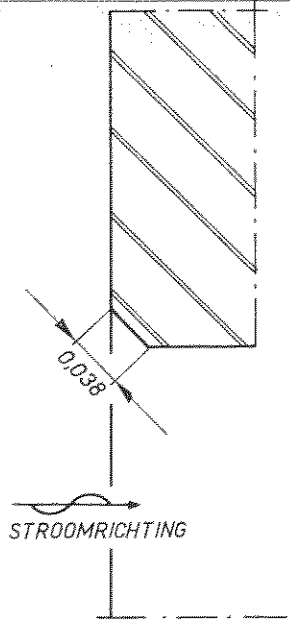
DOORSNEDE B - B

KLEPSIANDAANWIJZER

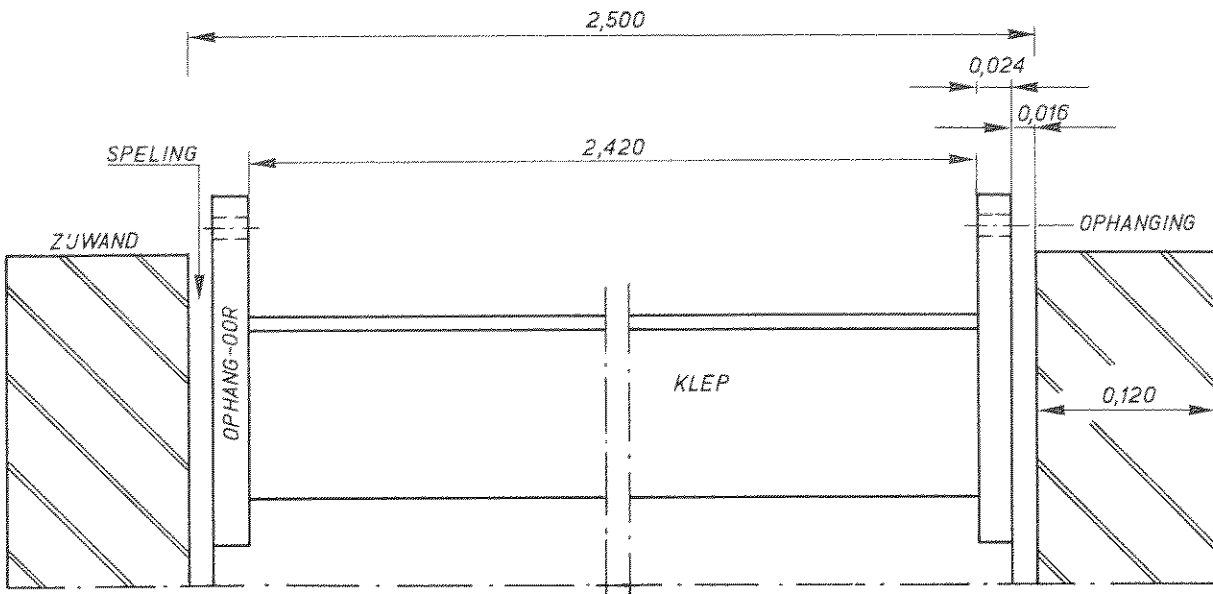
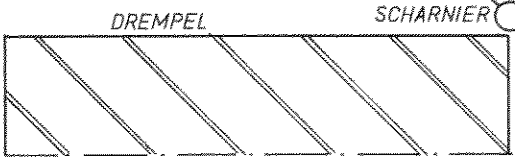
PROVINCIALE WATERST VAN DRENTHE
 HYDROLOGISCH ONDERZOEK DRENTHE
 MEETPUNT NO. STUW E
 JONGBLOEDVAART

„JONGBLOEDVAART“ PROTOTYPE - GEGEVENS		JB
		A4
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M.1273-1007	FIG. 8

DETAIL AFRONDING
LANDHOOFDEN

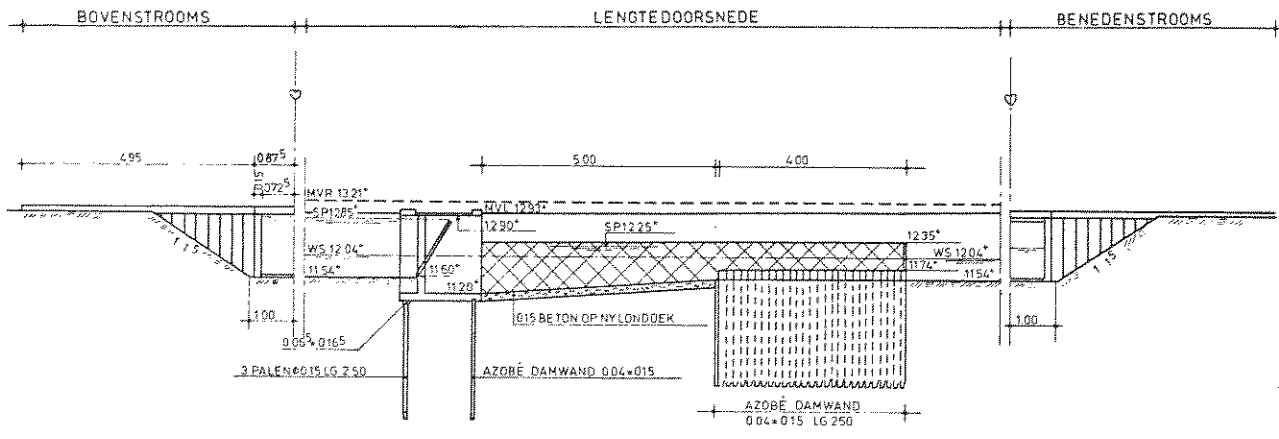


DETAIL KLEP IN
DWARSDOORSNEDE

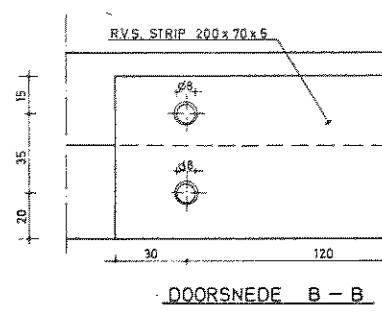
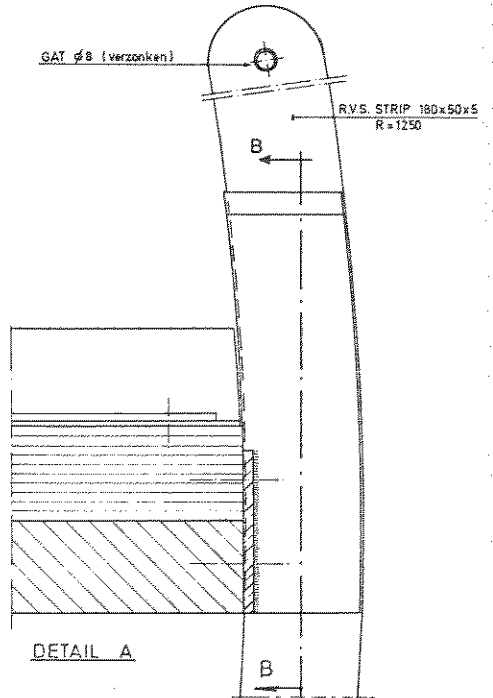
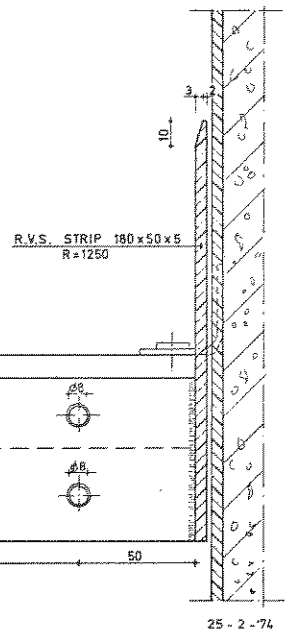
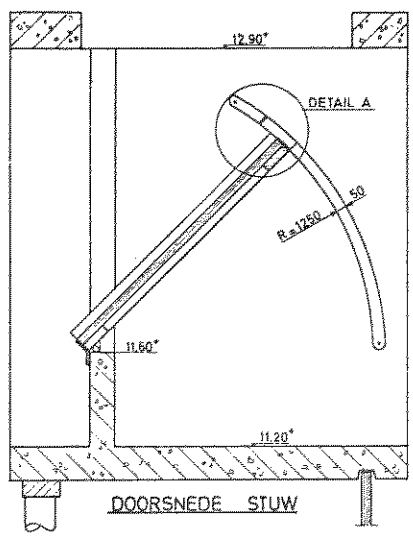


DETAIL KLEP IN PLATTEGROND

KLEPSTUW „JONGBLOEDVAART“ DETAILS	B = 2,50 m	MATEN IN m	JB
			A4
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM		M.1273-1008	FIG. 9

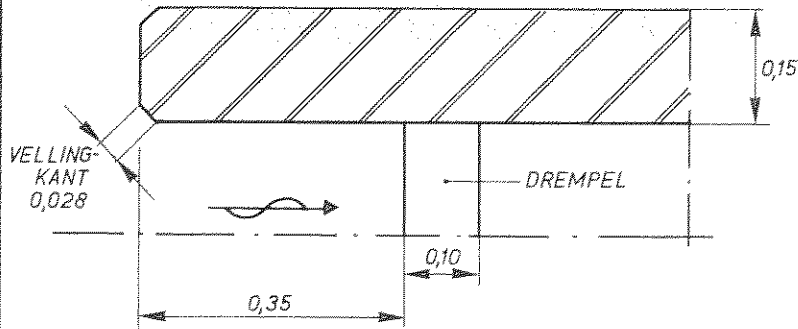


DOORSNEDEN

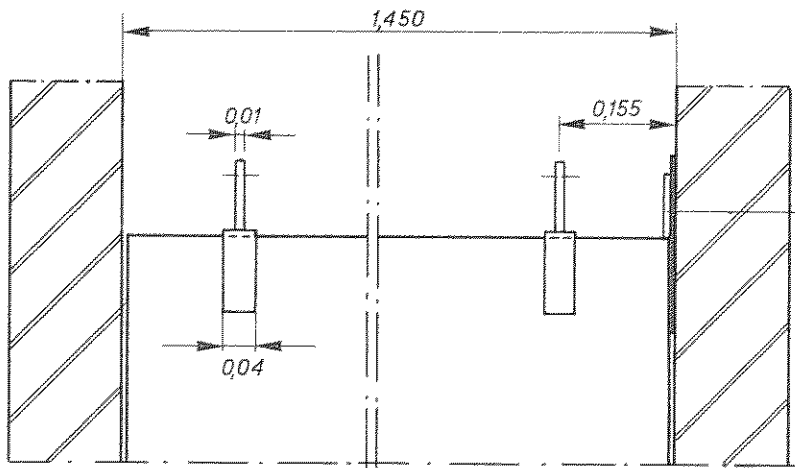


PROVINCIALE WATERSTAAT VAN DRENTHE
 HYDROLOGISCH ONDERZOEK DRENTHE
 MEETPUNT NO. BOERDIJK STUW D

„BOERDIJK“ PROTOTYPE - GEGEVENS	JB
	A4
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M.1273-1009
	FIG. 10

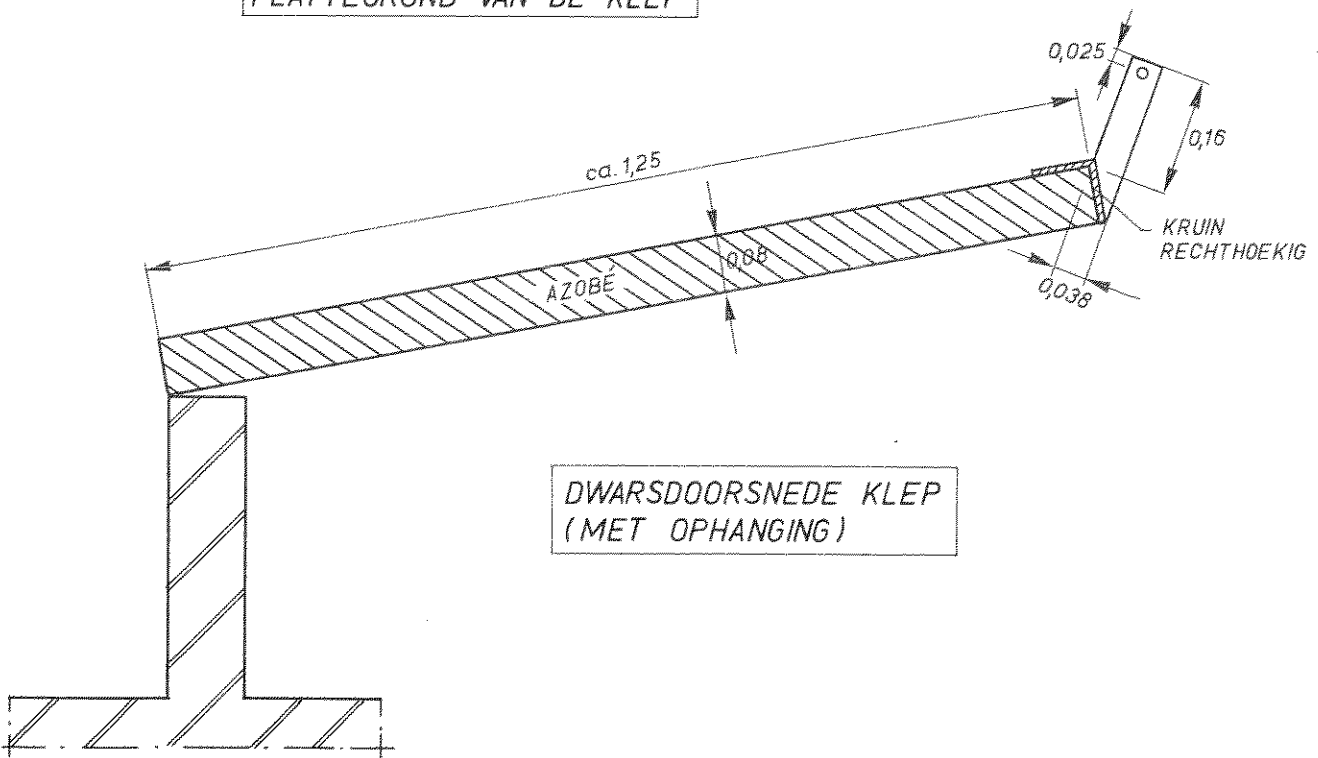


DETAIL AFRONDING
LINKERZUWAND



DIKTE SCHAALVERDELING
+ AANWYSSTRIP 0,017

PLATTEGROND VAN DE KLEP



DWARSDOORSNEDE KLEP
(MET OPHANGING)

KLEPSTUW „BOERDIJK” (B=1,45m)
DETAILS

MATEN IN m

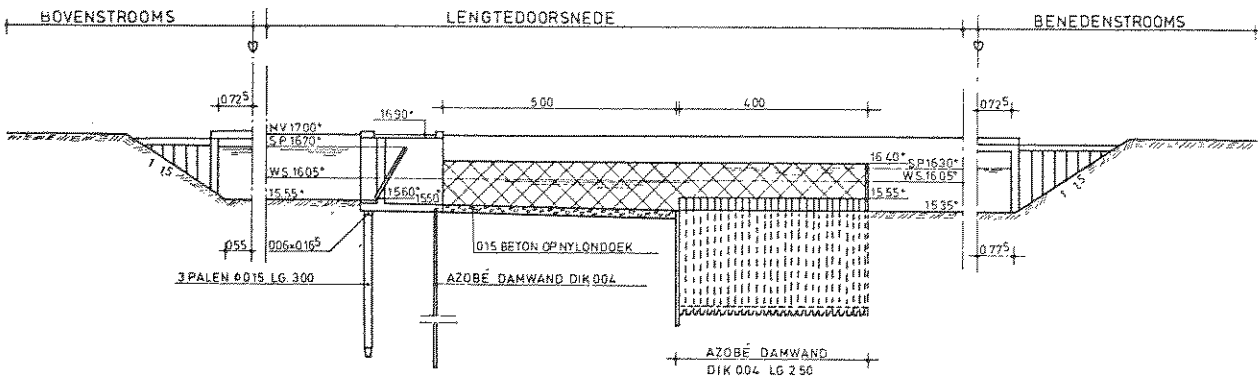
JB

A4

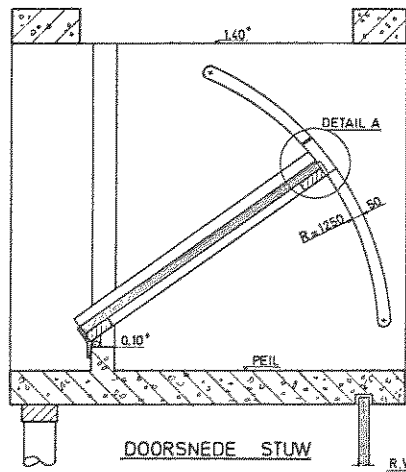
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1273-1010

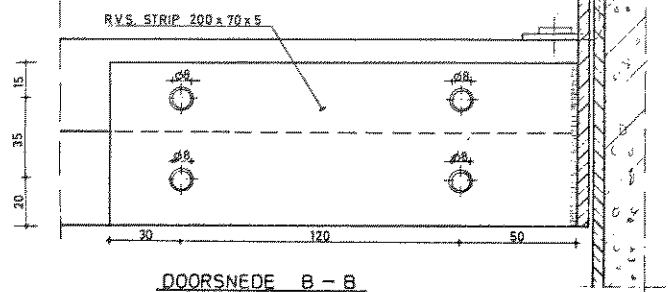
FIG.11



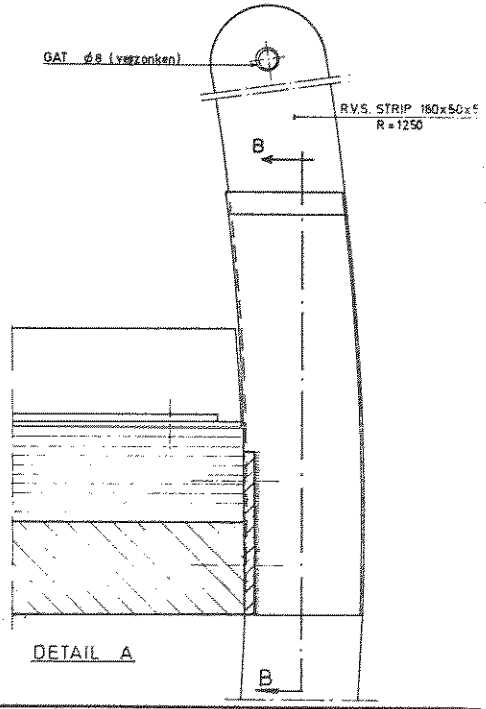
DOORSNEDEN



DOORSNEDE STUW



DOORSNEDE B - B



DETAIL A

PROVINCIALE WATERSTAAT VAN DRENTHÉ
 HYDROLOGISCH ONDERZOEK DRENTHÉ
 MEETPUNT NO. STUW Y
 ODOORNERWEIDE

25-2-74

KLEPSTANDAANWIJZER

„ODOORNERWEIDE“
 PROTOTYPE - GEGEVENS

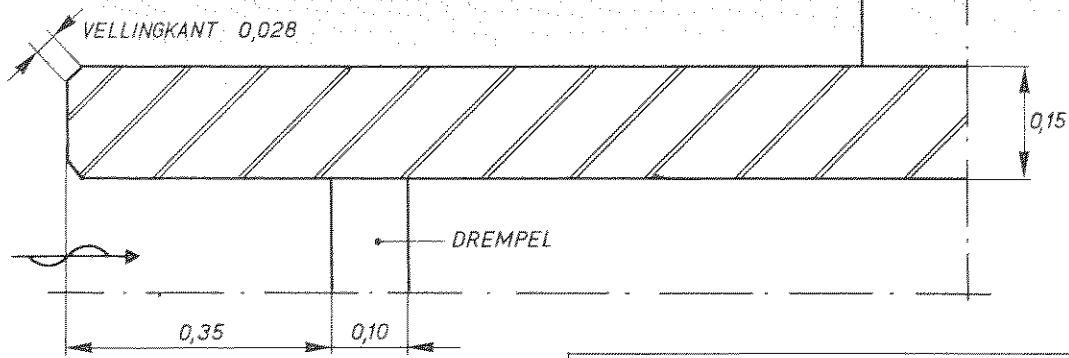
JB

A4

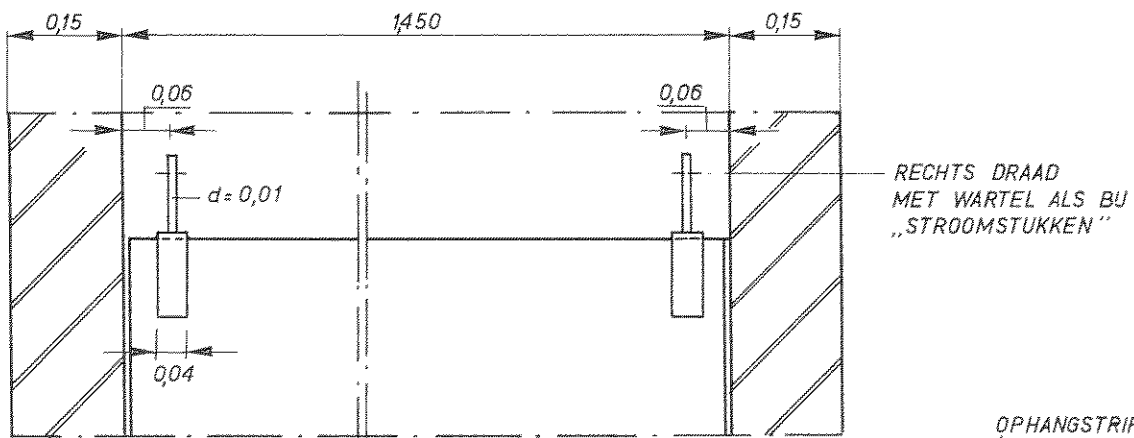
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1273-1011

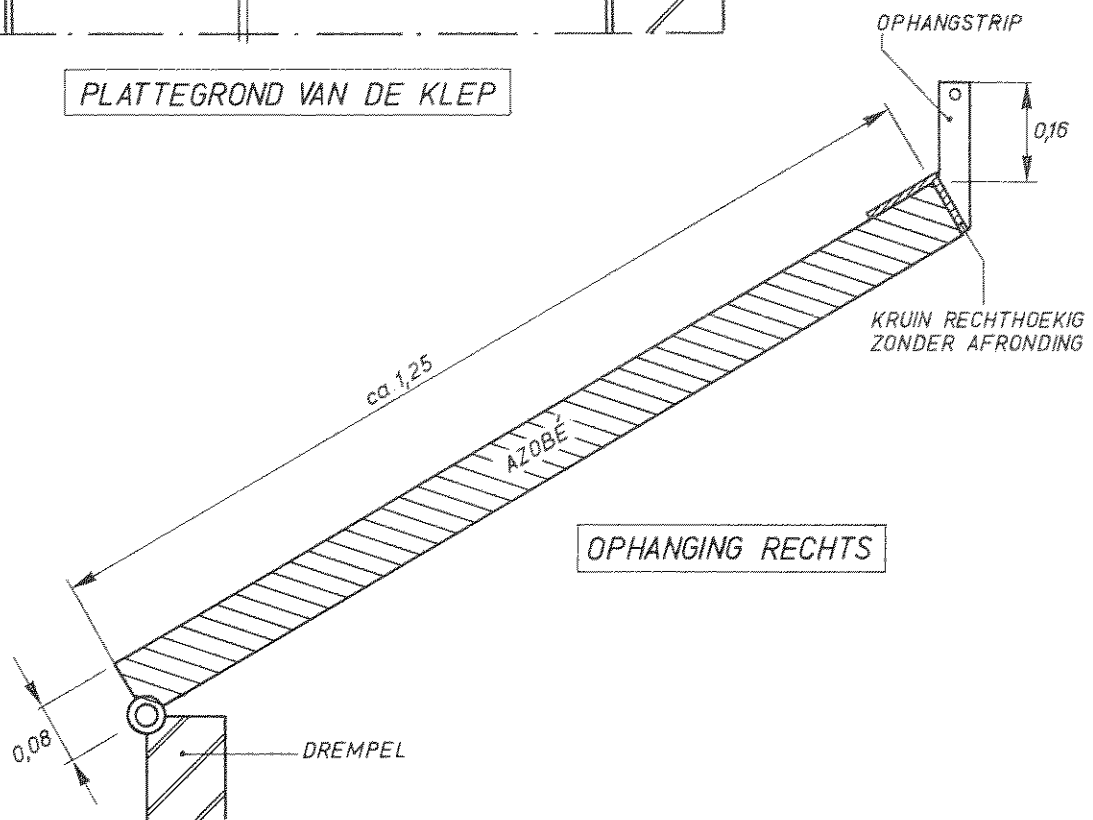
FIG.12



DETAIL AFRONDING LINKERZUWAND



PLATTEGROND VAN DE KLEP



OPHANGING RECHTS

KLEPSTUW „ODOORNERWEIDE“ (B=1,45m)
DETAILS

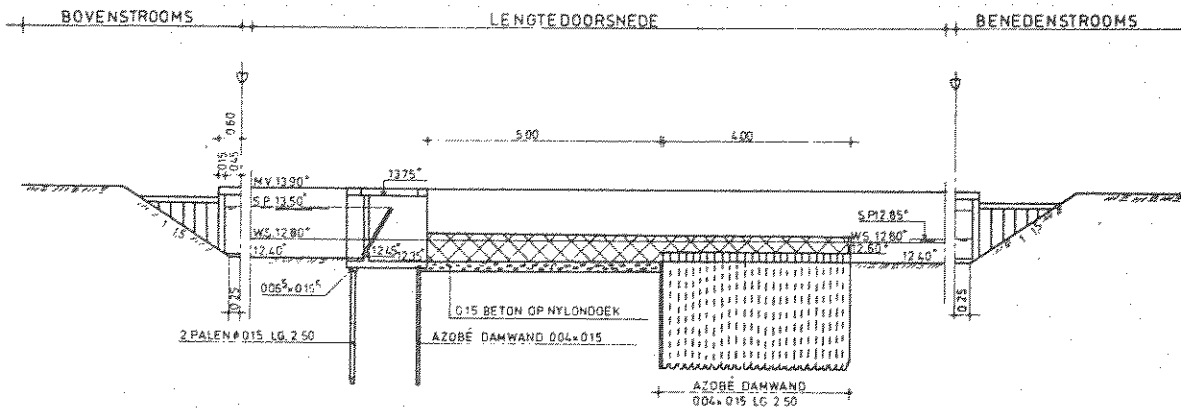
MATEN IN m JB

A4

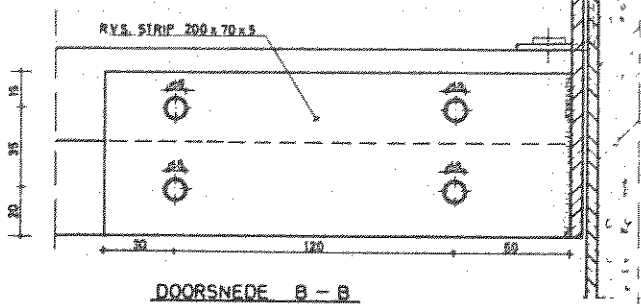
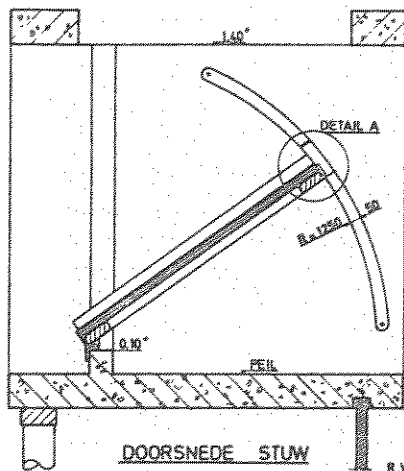
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1273-1012

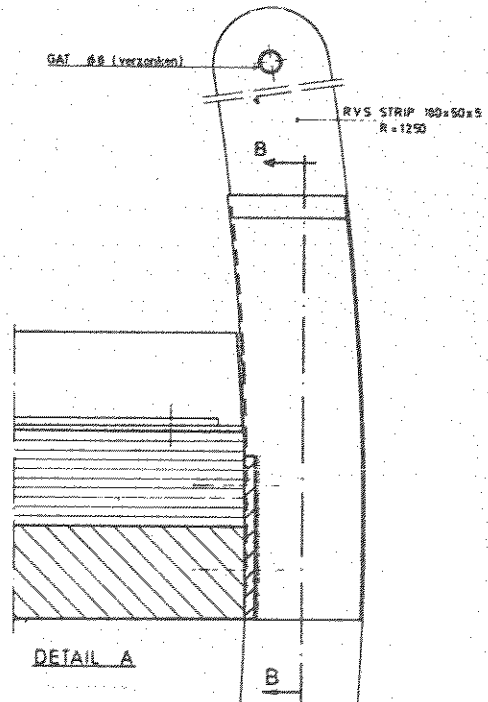
FIG.13



DOORSNEDEN



KLEPSTANDAANWIJZER



PROVINCIALE WATERSTAAT VAN DRENTHE
 HYDROLOGISCH ONDERZOEK DRENTHE
 MEETPUNT NO. STUW B
 STROOMSTUKKEN

25-2-74

„STROOMSTUKKEN“
 PROTOTYPE - GEGEVENS

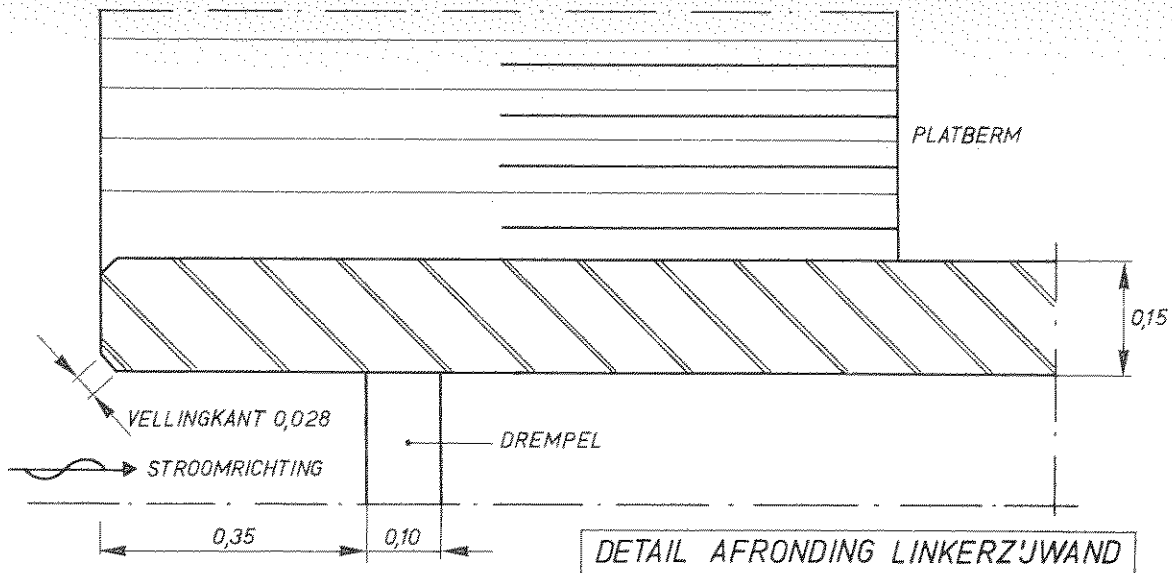
JB

A4

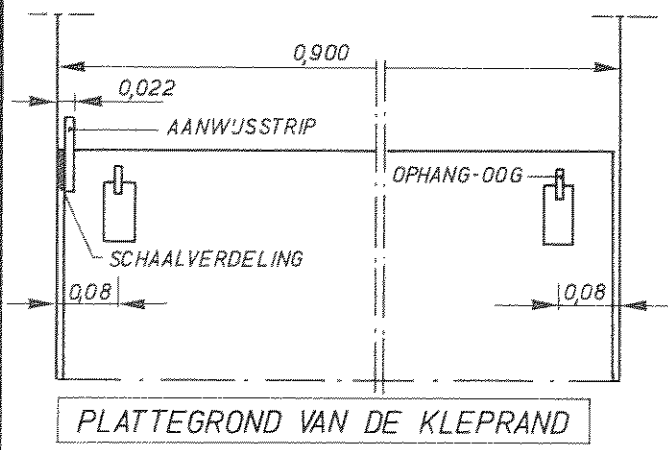
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1273-1013

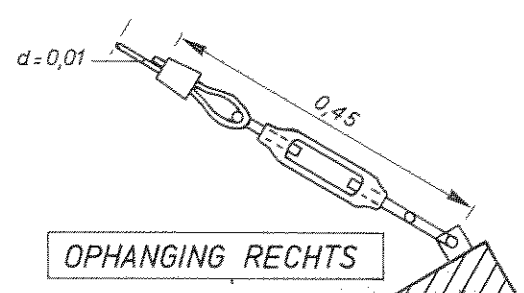
FIG. 14



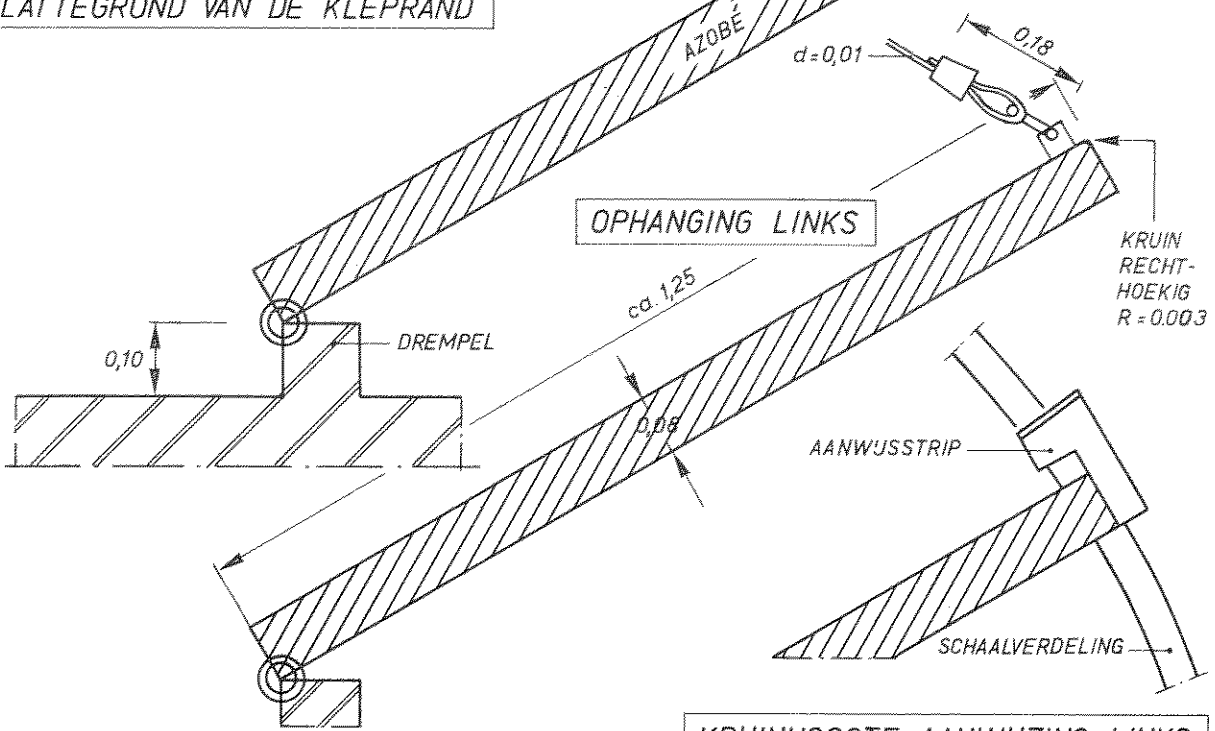
DETAIL AFRONDING LINKERZIJWAND



PLATTEGROND VAN DE KLEPRAND



OPHANGING RECHTS

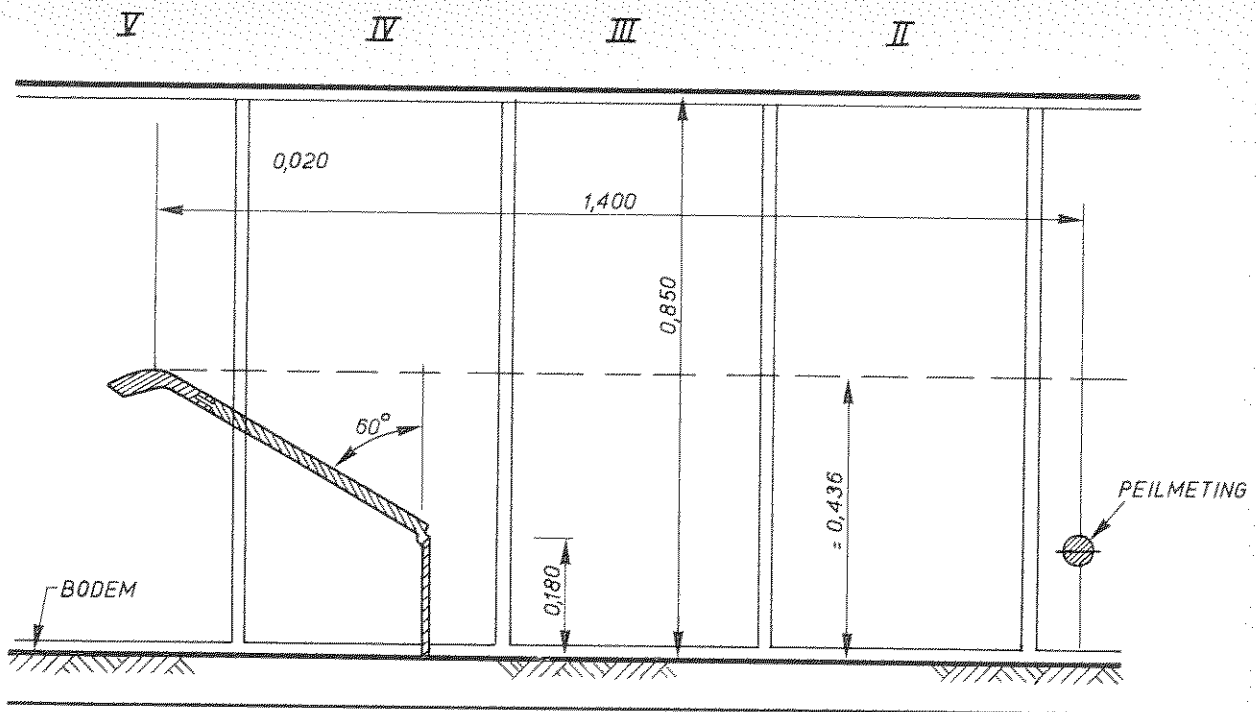


OPHANGING LINKS

KRUINHOOGTE AANWJZING LINKS

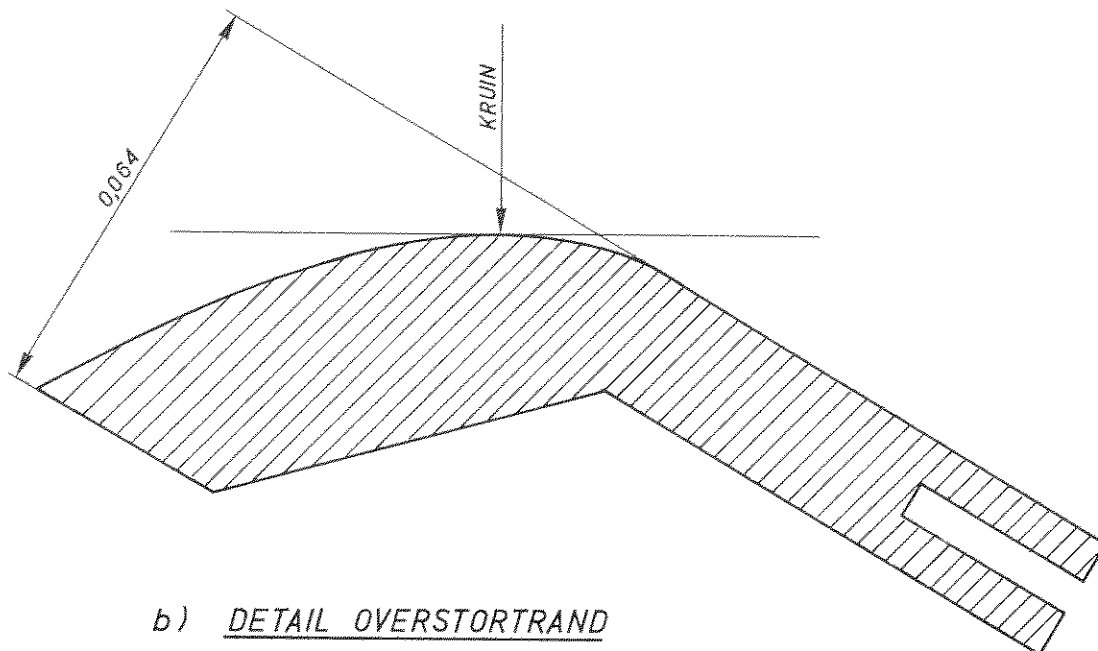
KLEPSTUW „STROOMSTUKKEN“ B=0,90m
 DETAILS

MATEN IN m	JB
	A4



a) LENGTE DOORSNEDE TWEE DIMENSIONALE GOOT

(SCHAAL 1:10) LABORATORIUM „DE NIEUWLANDEN“ WAGENINGEN



b) DETAIL OVERSTORTRAND

MODEL ($n_1 = 5$) VAN DE KLEP MET
PARABOLISCHE KRUIN

TWEE-DIMENSIONALE GOOT
OPSTELLING VAN ÉÉN DER KLEPMODELLEN

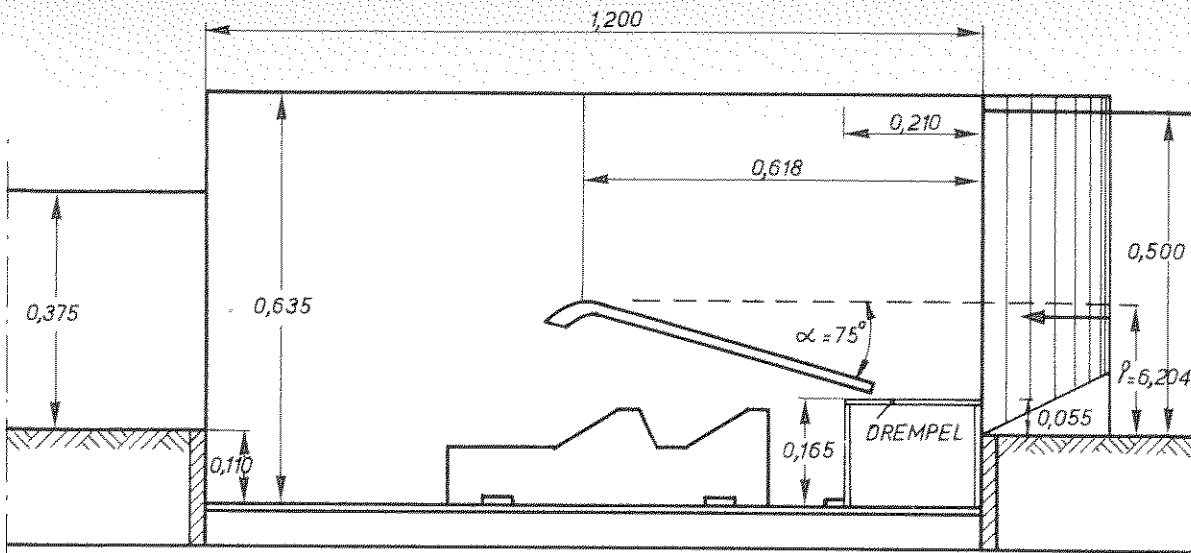
JB

A4

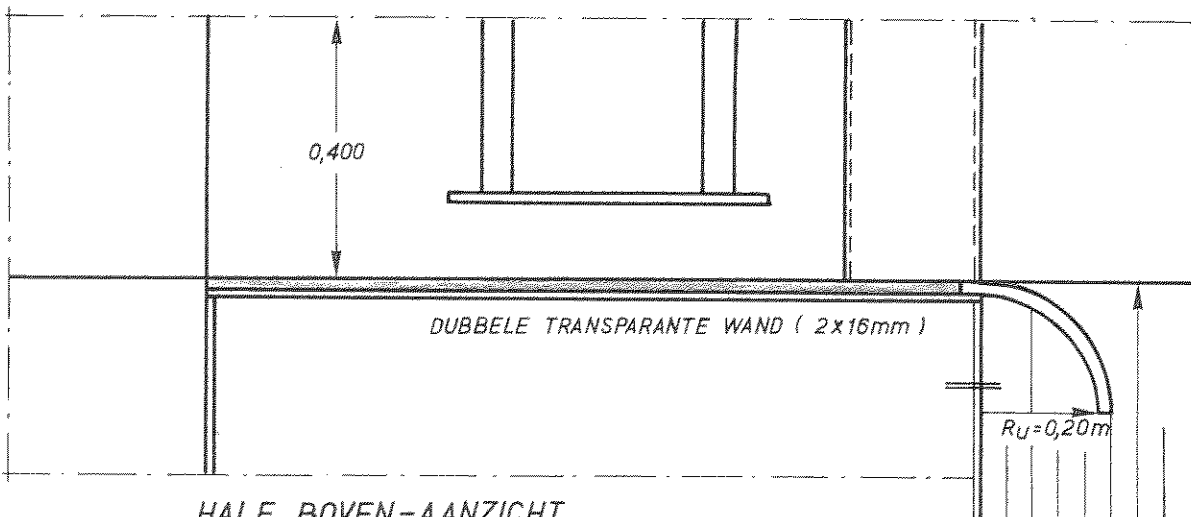
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1273-1016

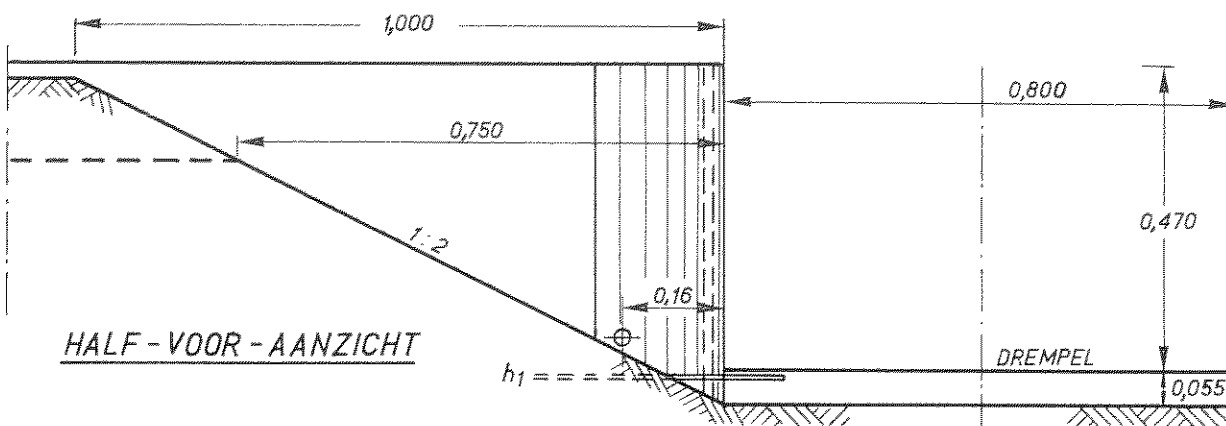
FIG. 16



LENGTE DOORSNEDE



HALF BOVEN-AANZICHT



HALF-VOOR-AANZICHT

DRIE-DIMENSIONAAL MODEL

JB

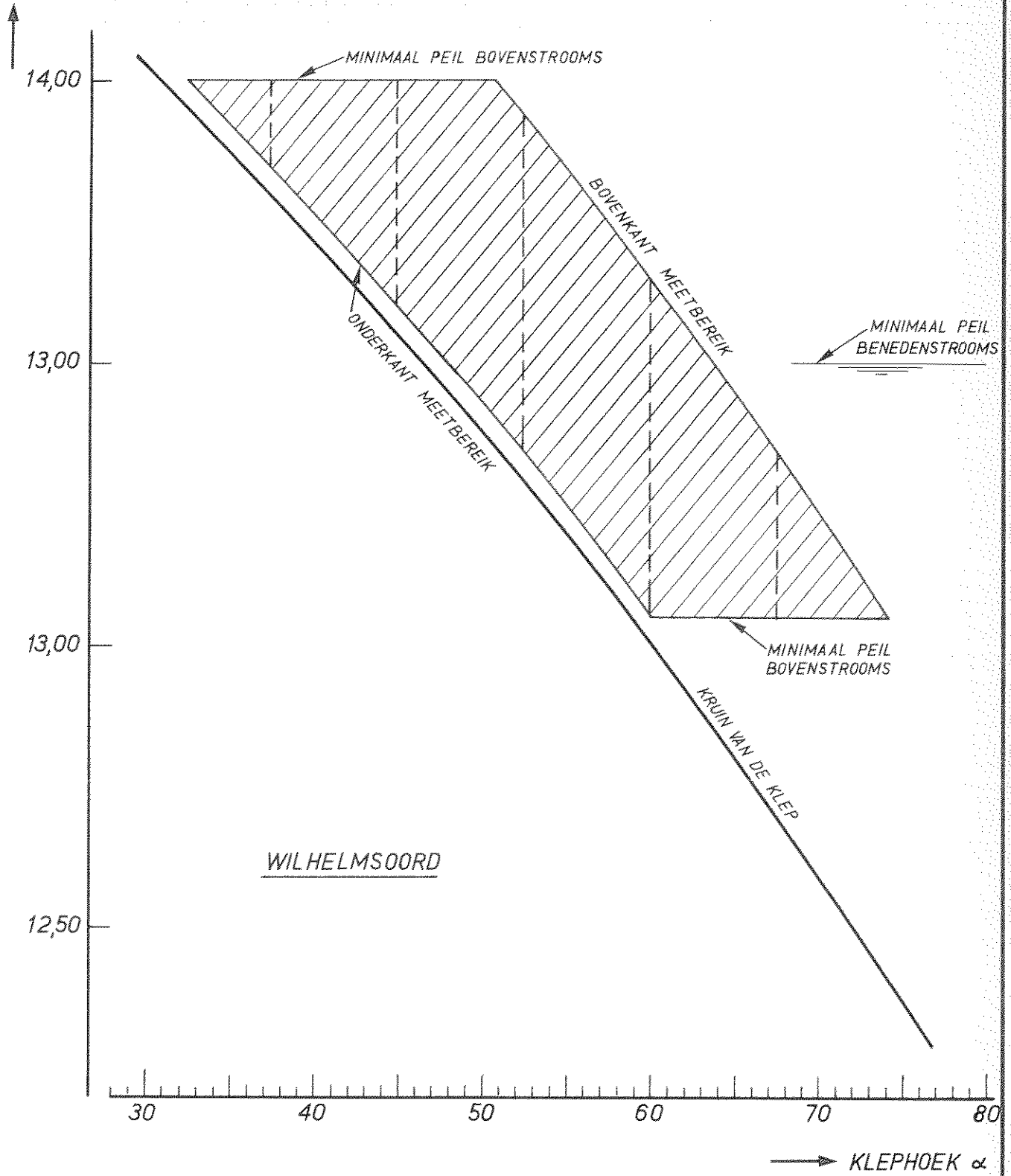
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1273-1017

FIG.17

h_{kruin} (m) t.o.v. HET N.A.P.



VERBAND KLEPHOEK-KRUIHOOGTE
BEGREZINGEN MODELONDERZOEK

JB

A4

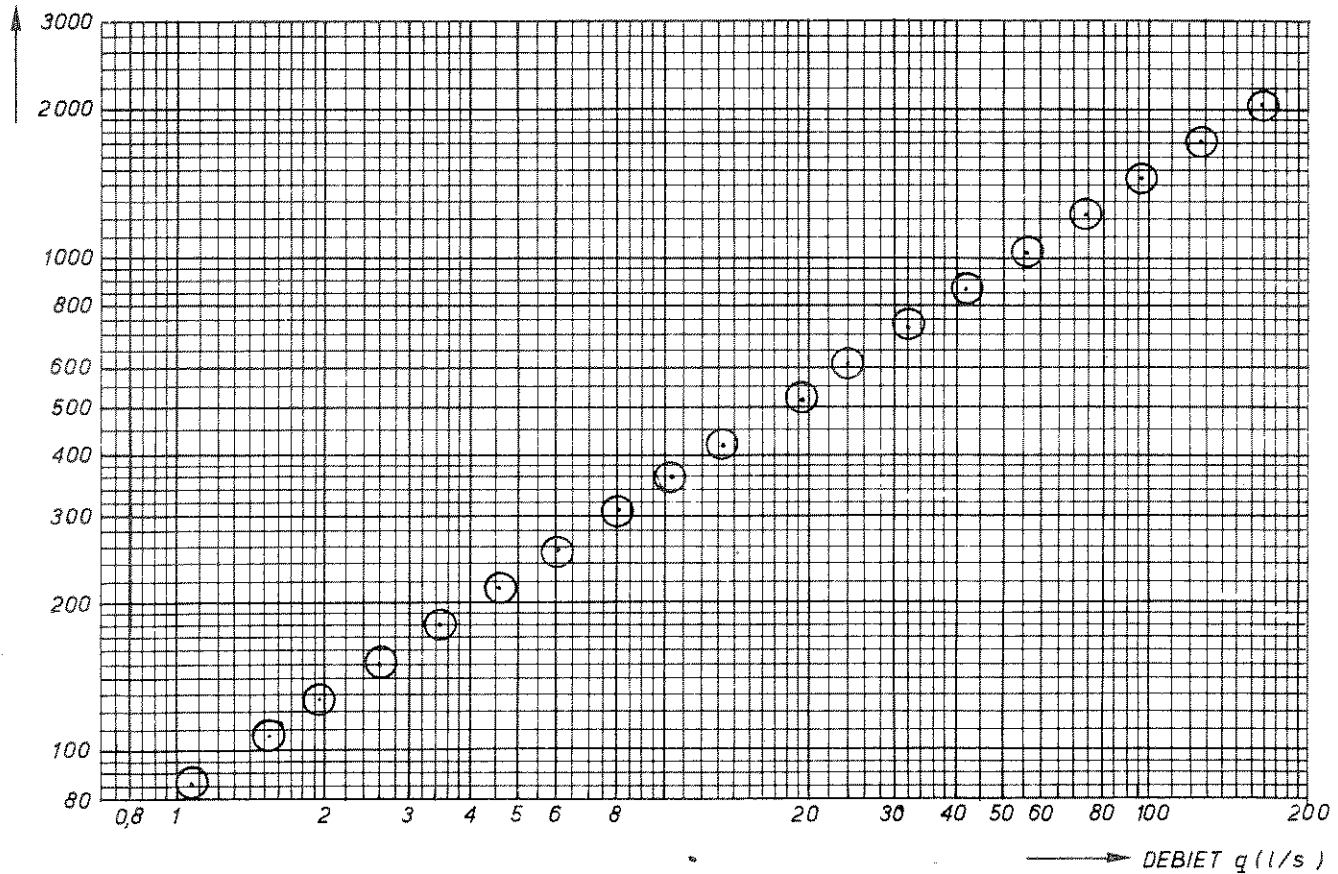
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1273-1018

FIG.18

METING	q_{mod} $10^{-3} m^3/s$	h_{mod} $10^{-4} m$	C_v	C_D	h_{prot} (m)	METING	q_{mod} $10^{-3} m^3/s$	h_{mod} $10^{-4} m$	C_v	C_D	h_{prot} (m)
	1,06	86	1,000	0,979	0,043		97,36	1441	1,023	1,275	0,720
	1,53	108	1,000	0,993	0,054		128,33	1709	1,031	1,292	0,854
	1,93	126	1,000	1,005	0,063		169,85	2030	1,042	1,306	1,015
	2,60	151	1,000	1,027	0,076						
	3,45	180	1,000	1,044	0,090						
	4,58	215	1,001	1,063	0,108						
	6,08	258	1,001	1,074	0,129						
	8,03	307	1,001	1,091	0,154						
	10,42	362	1,002	1,108	0,181						
	13,23	420	1,002	1,122	0,210						
	19,41	532	1,004	1,155	0,266						
	24,05	608	1,005	1,170	0,304						
	32,13	726	1,007	1,197	0,363						
	42,36	862	1,009	1,217	0,413						
	55,95	1024	1,013	1,236	0,512						
	74,55	1220	1,018	1,260	0,610						

OVERSTORTHOOGTE $h(10^{-4} m)$



TWEEDIMENSIONAAL ONDERZOEK
MEETSERIE PARABOOL $\alpha = 60^\circ$

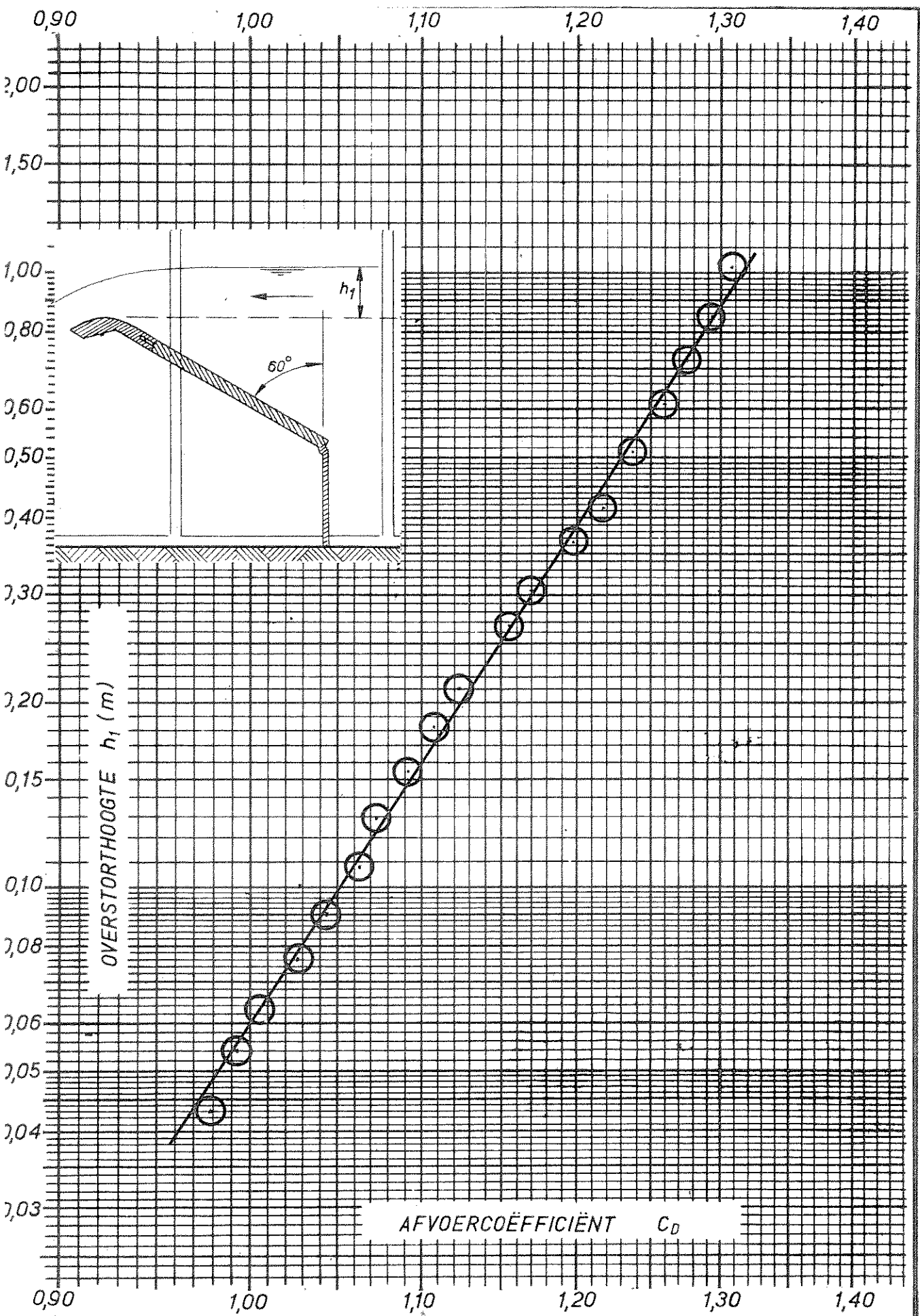
JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1273-1019

FIG. 19

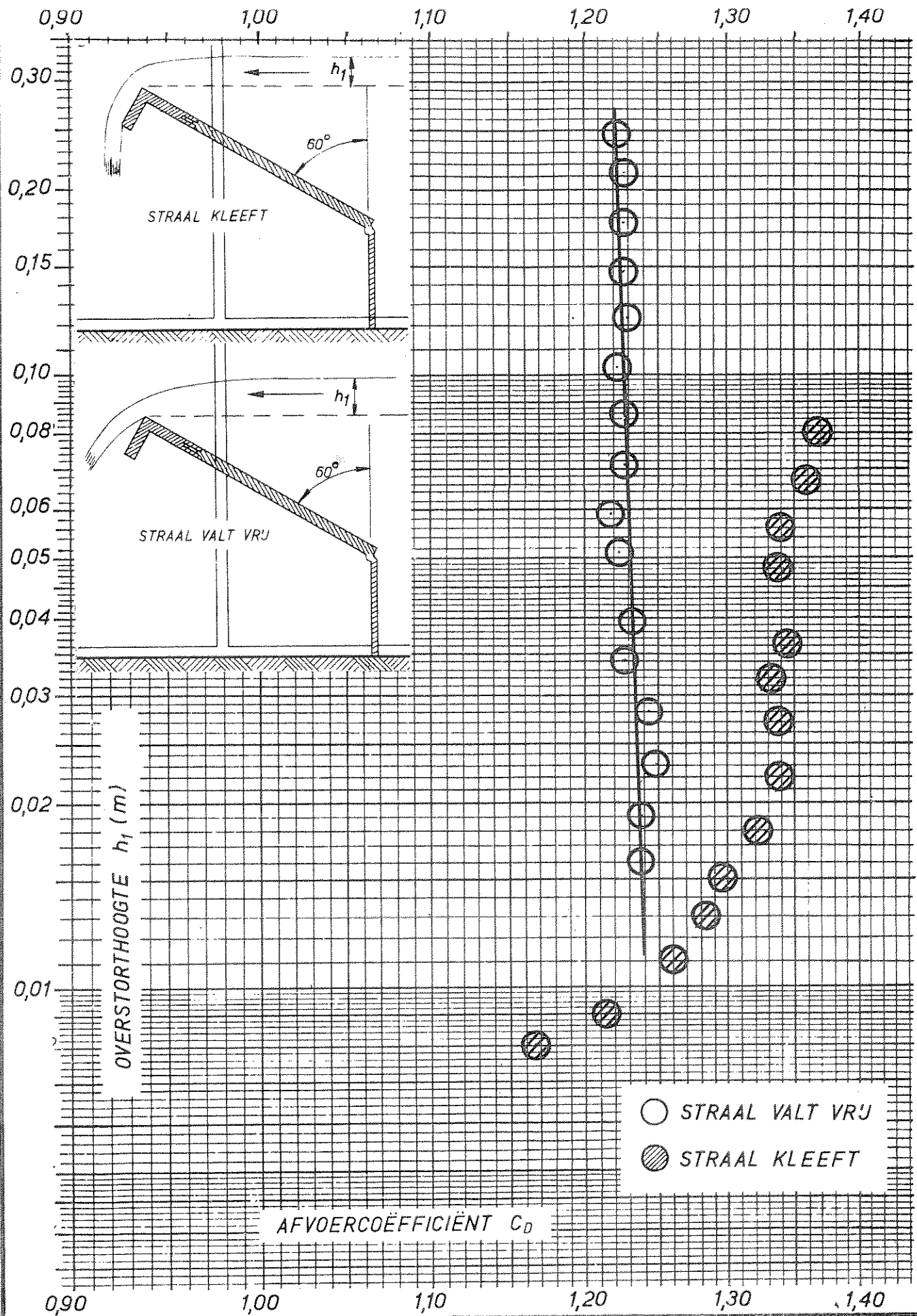


AFVOERCOEFFICIËNT C_D ALS FUNCTIE VAN DE OVERSTORTHOOGTE h_1 (PROTOTYPE)

STUW: PARABOOL $\alpha = 60^\circ$

JB

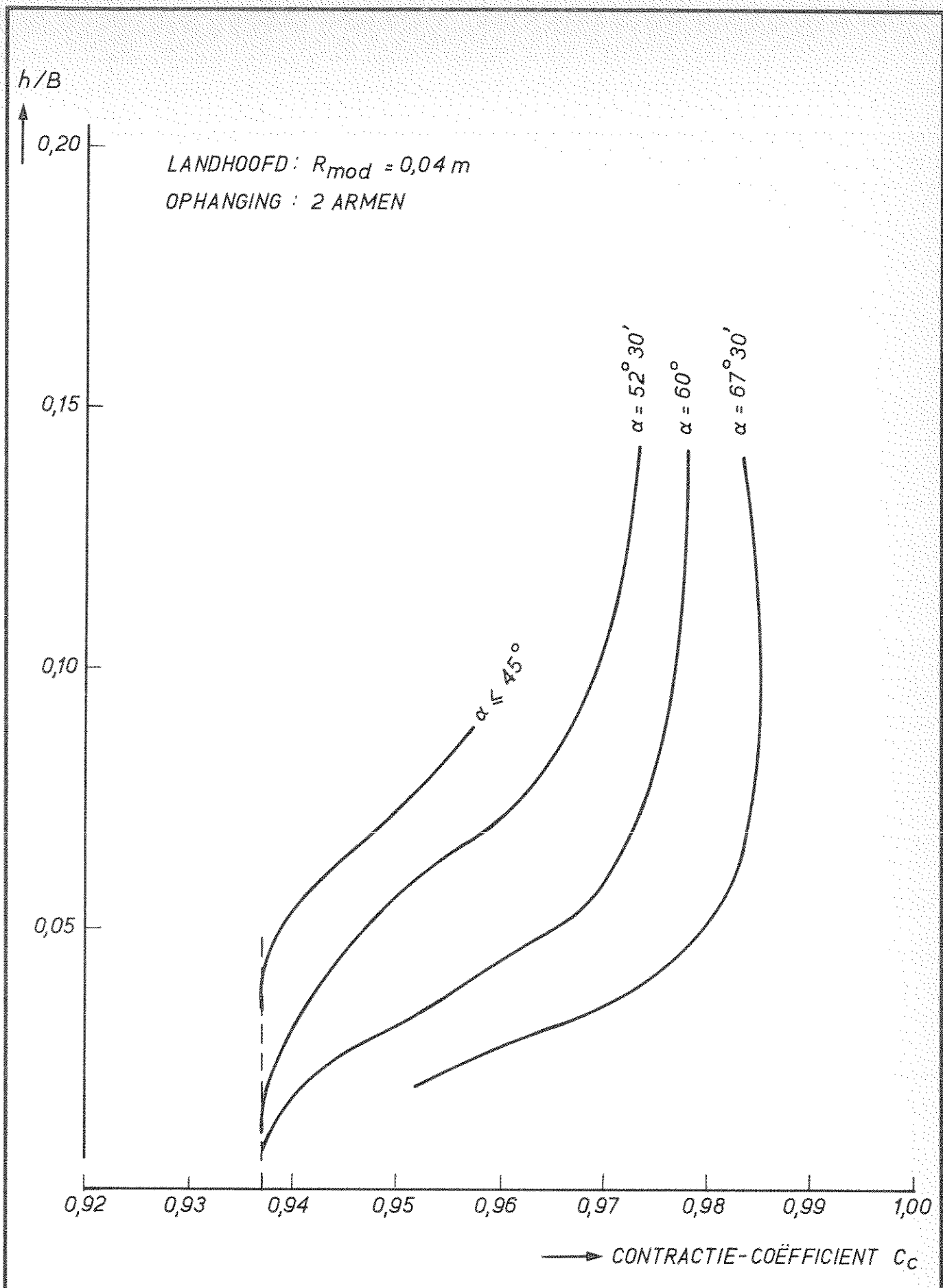
A4



AFVOERCOEFFICIËNT C_D ALS FUNCTIE VAN DE OVERSTORTHOOGTE h_1 (PROTOTYPE)
 STUW: RECHTHOEKIGE KRUIJN $\alpha = 60^\circ$

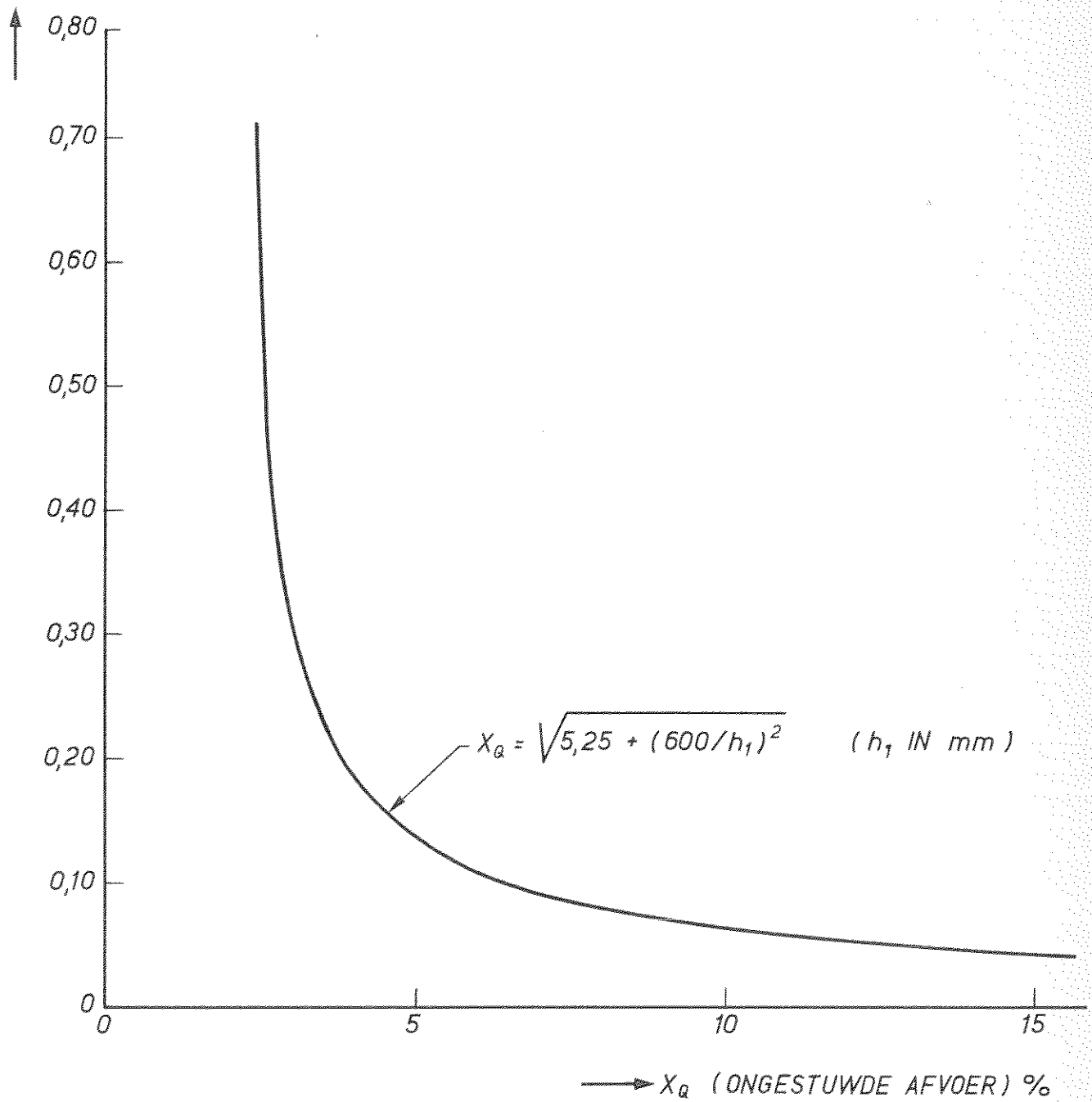
JB

A4



WILHELMSOORD	JB
	A4
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M. 1273-1022 FIG. 22

OVERSTORTHOOGTE h_1 (mm)



VERBAND X_q EN h_1 VOOR ALLE KLEPSTUWEN

JB

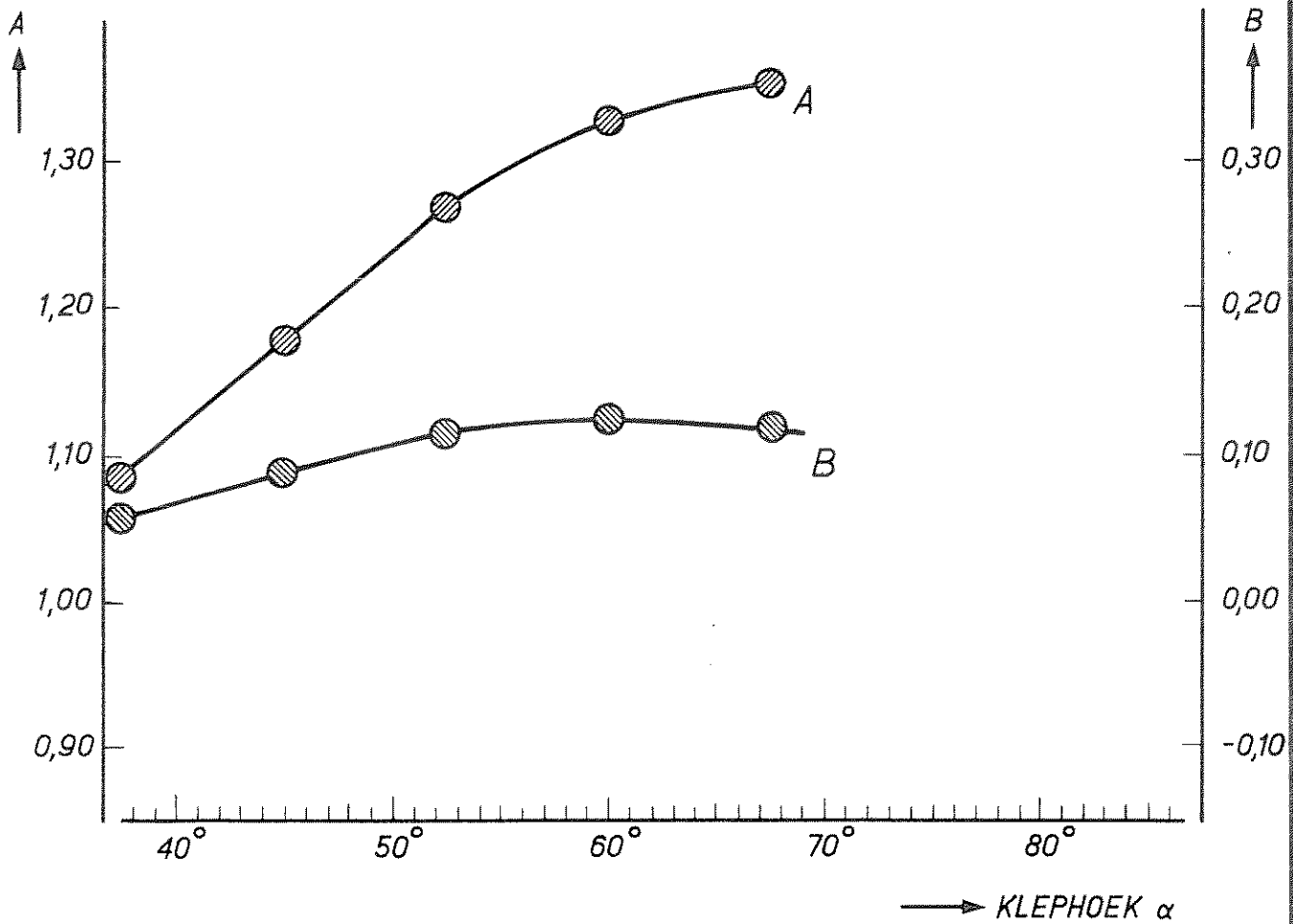
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1273-1023

FIG. 23

KLEPHOEK α	FORMULE BEPAALD UIT DE REGRESSIE - BEREKENING		AANTAL FOUTEN GROTER DAN			AANTAL MEET- PUNTEN
	$m = A \cdot h^B$	BEREIK	2%	15%	1%	
37°30'	$1.087 h^{0.055}$	$0.05 < h < 0.20$	-	-	1	9
45°	$1.181 h^{0.090}$	$0.05 < h < 0.45$	1	3	6	10
52°30'	$1.271 h^{0.117}$	$0.05 < h < 0.65$	-	-	6	10
60°	$1.329 h^{0.126}$	$0.05 < h < 0.65$	-	-	-	10
67°30'	$1.355 h^{0.118}$	$0.35 < h < 0.65$	-	-	-	5

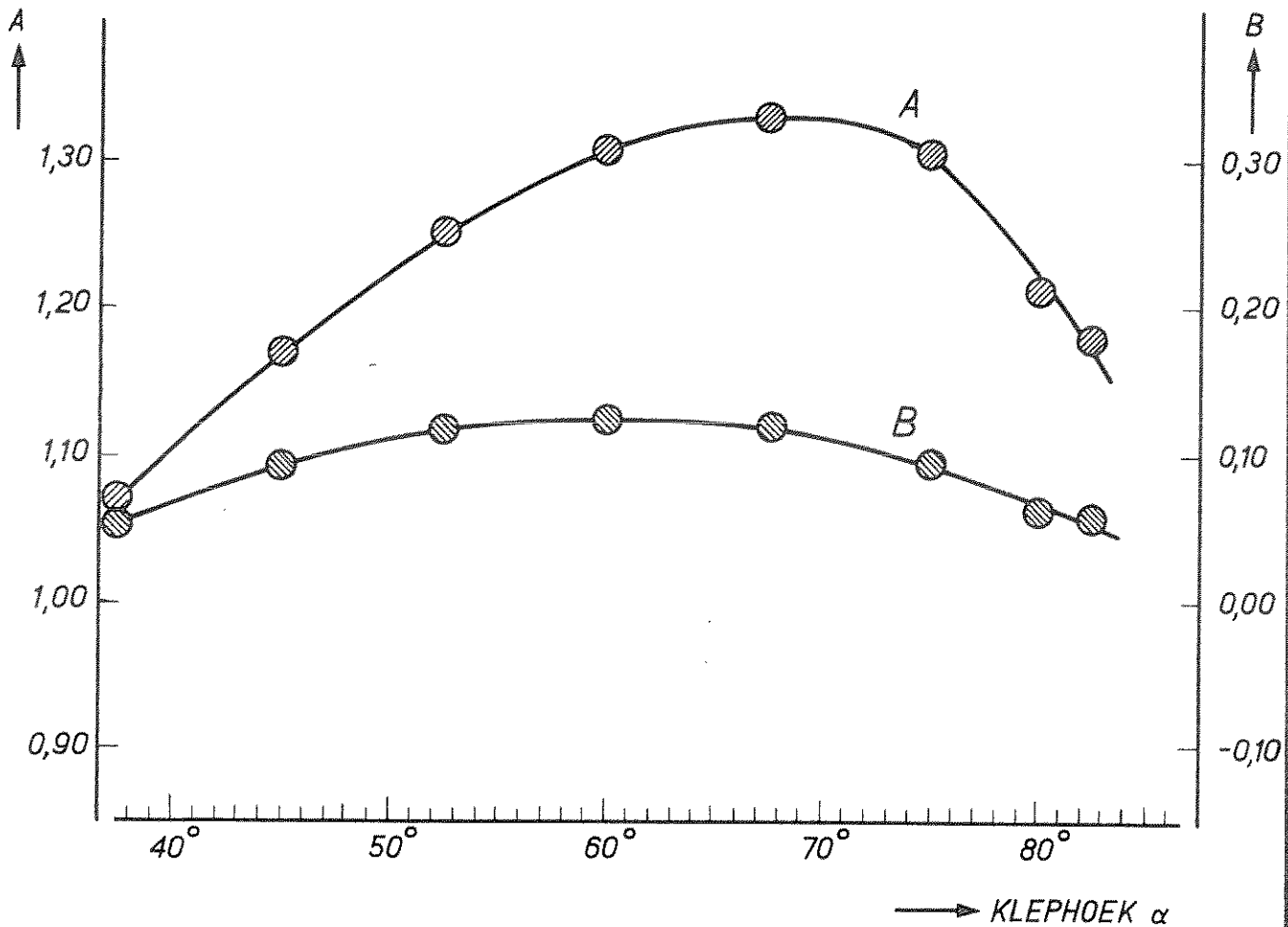


RESULTATEN BETREKKING $m = A \cdot h^B$
VAN DE STUW : WILHELMSOORD

JB

A4

KLEPHOEK α	FORMULE BEPAALD UIT DE REGRESSIE - BEREKENING		AANTAL FOUTEN GROTER DAN			AANTAL MEET- PUNTEN
	$m = A \cdot h^B$	BEREIK	2%	1.5%	1%	
37°30'	1.072 h ^{0.057}	0.05 < h < 0.20	-	-	1	9
45°	1.170 h ^{0.094}	0.05 < h < 0.45	1	3	7	10
52°30'	1.254 h ^{0.119}	0.05 < h < 0.60	-	3	5	10
60°	1.311 h ^{0.127}	0.05 < h < 0.60	-	-	-	10
67°30'	1.332 h ^{0.121}	0.05 < h < 0.60	-	-	-	10
75°	1.306 h ^{0.095}	0.05 < h < 0.60	-	-	-	10
80°	1.214 h ^{0.064}	0.15 < h < 0.60	-	-	-	8
82°30'	1.182 h ^{0.058}	0.30 < h < 0.60	-	-	-	5



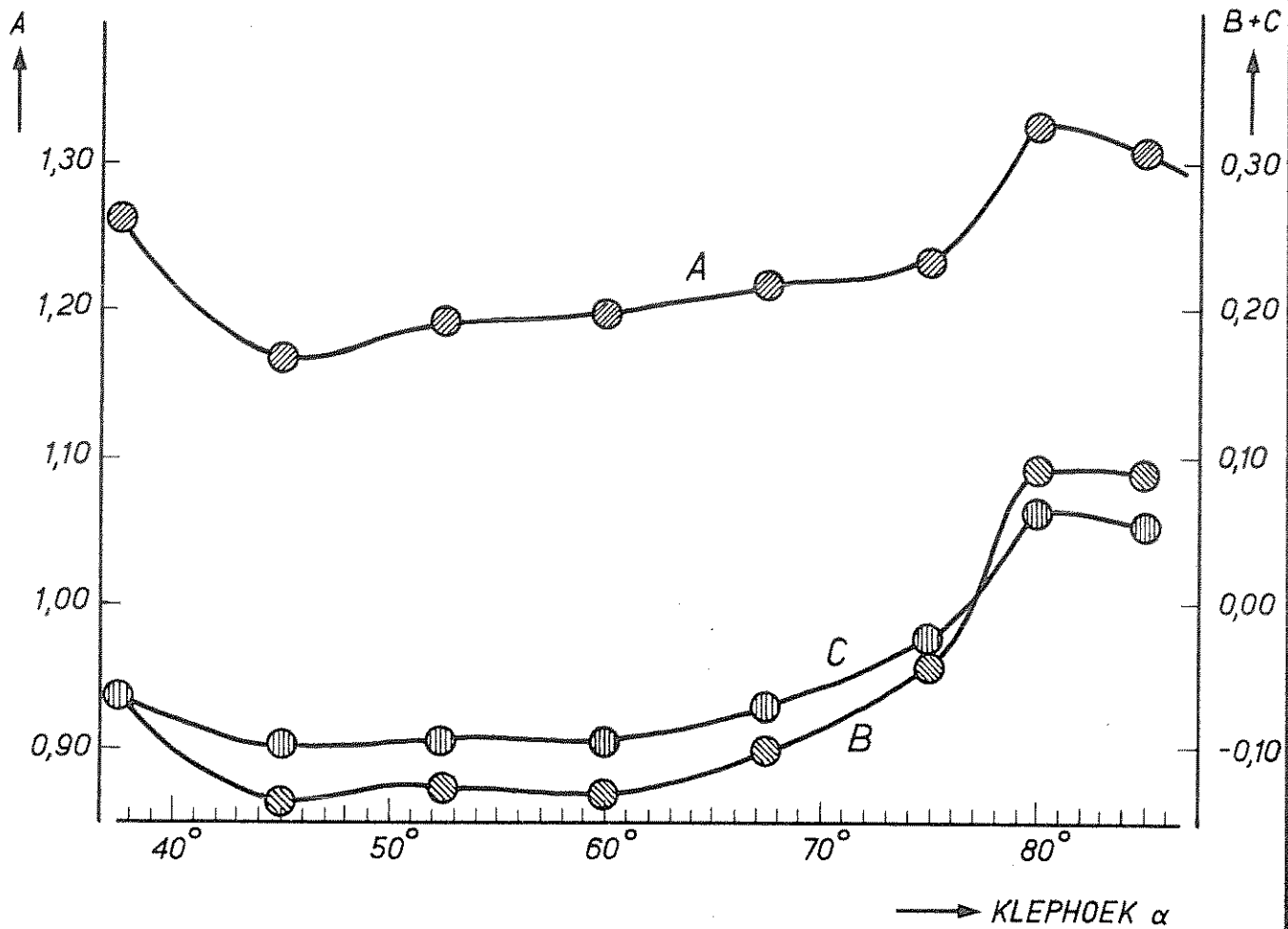
RESULTATEN BETREKKING
VAN DE STUW : DIPHOORN

$$m = A \cdot h^B$$

JB

A4

Klephoek α	Formule bepaald uit de regressie-berekening	Aantal fouten groter dan			Aantal meet- punten
	$m=A \cdot h^{B+c \log h}$	bereik	1.5%	1%	
37°30'	$1.212 h^{-0.113-0.113 \log h}$	0.05<h<0.18	-	-	6
45°	$1.117 h^{-0.186-0.147 \log h}$	0.05<h<0.34	-	-	9
52°30'	$1.143 h^{-0.177-0.143 \log h}$	0.05<h<0.42	-	-	10
60°	$1.149 h^{-0.181-0.144 \log h}$	0.05<h<0.42	-	-	10
67°30'	$1.168 h^{-0.151-0.119 \log h}$	0.05<h<0.42	-	-	10
75°	$1.187 h^{-0.090-0.073 \log h}$	0.05<h<0.42	-	2	10
80°	$1.279 h^{0.044+0.014 \log h}$	0.05<h<0.42	-	-	10
85°	$1.261 h^{0.041+0.005 \log h}$	0.09<h<0.42	-	-	7



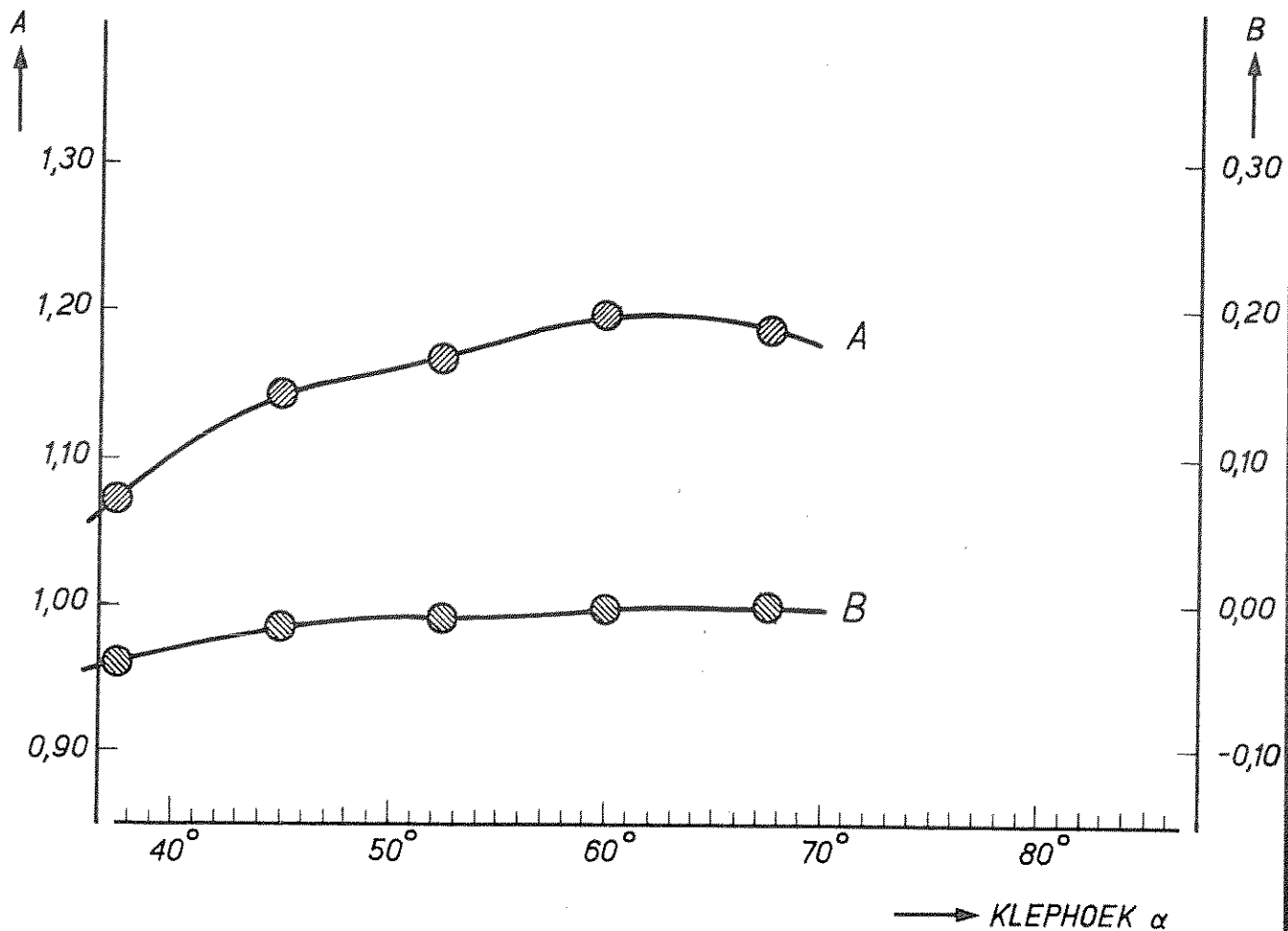
RESULTATEN BETREKKING
VAN DE STUW : DE BROEKEN

$$m = A \cdot h^{B+c \log h}$$

JB

A4

KLEPHOEK α	FORMULE BEPAALD UIT DE REGRESSIE - BEREKENING		AANTAL FOUTEN GROTER DAN			AANTAL MEET- PUNTEN
	$m = A \cdot h^B$	BEREIK	2%	1.5%	1%	
37°30'	1.073 h ^{-0.038}	0.05 < h < 0.15	-	-	-	6
45°	1.145 h ^{-0.013}	0.05 < h < 0.28	-	-	-	8
52°30'	1.170 h ^{-0.008}	0.05 < h < 0.40	-	-	-	10
60°	1.199 h ^{-0.001}	0.05 < h < 0.40	-	-	-	10
67°30'	1.190 h ^{0.001}	0.05 < h < 0.40	-	-	-	10

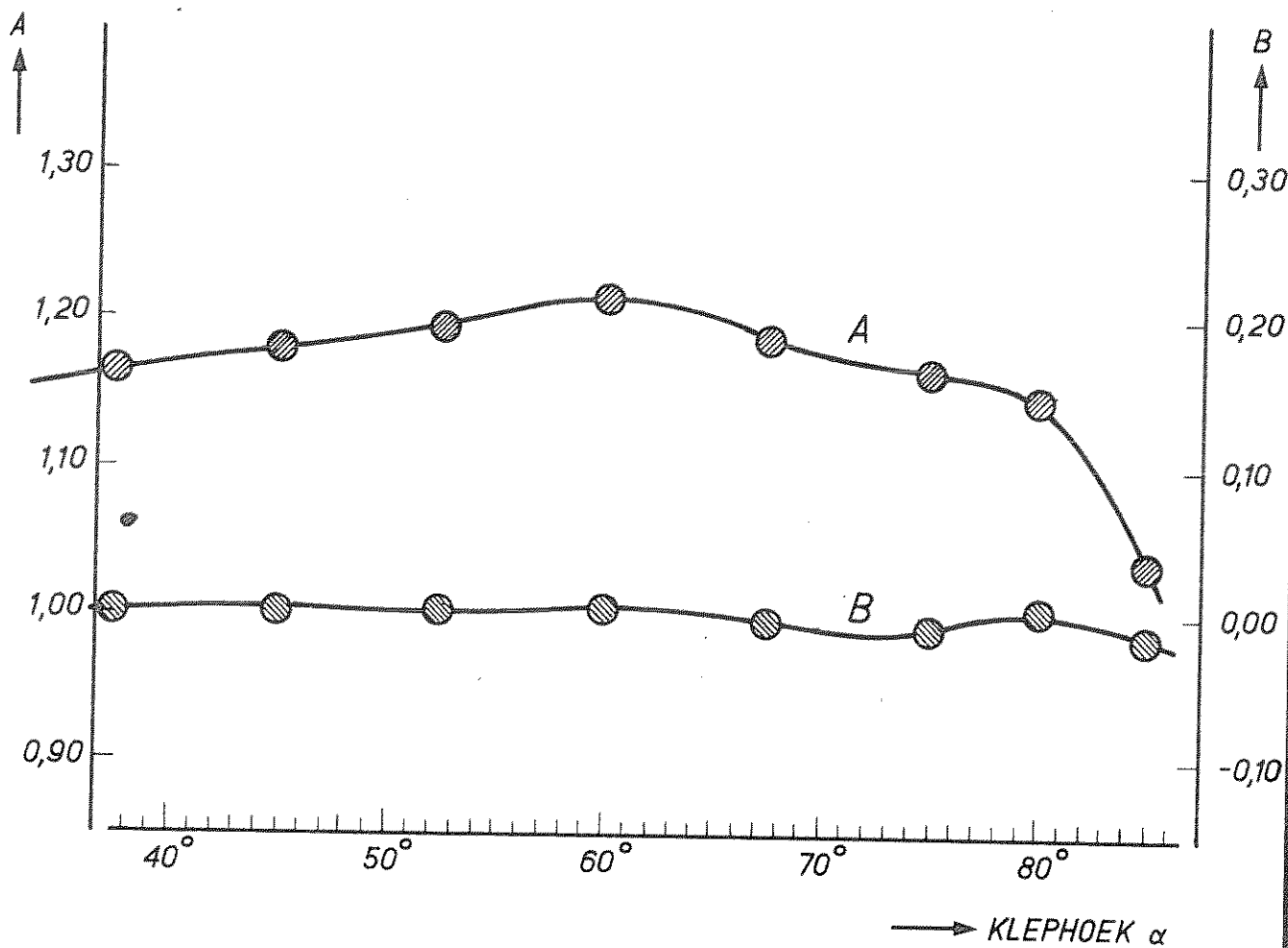


RESULTATEN BETREKKING $m = A \cdot h^B$
VAN DE STUW : JONGBLOEDVAART

JB

A4

KLEPHOEK α	FORMULE BEPAALD UIT DE REGRESSIE - BEREKENING		AANTAL FOUTEN GROTER DAN			AANTAL MEET- PUNTEN
	$m = A \cdot h^B$	BEREIK	2%	1.5%	1%	
37°30'	1.166 $h^{0.000}$	0.05 < h < 0.21	-	-	-	7
45°	1.182 $h^{0.001}$	0.05 < h < 0.31	-	-	-	9
52°30'	1.195 $h^{0.002}$	0.05 < h < 0.36	-	-	-	10
60°	1.217 $h^{0.006}$	0.05 < h < 0.36	-	-	-	10
67°30'	1.188 $h^{-0.003}$	0.05 < h < 0.36	-	-	-	10
75°	1.167 $h^{-0.008}$	0.05 < h < 0.36	-	-	-	10
80°	1.149 $h^{0.005}$	0.05 < h < 0.36	-	-	-	10
85°	1.037 $h^{-0.014}$	0.05 < h < 0.36	1	1	1	10



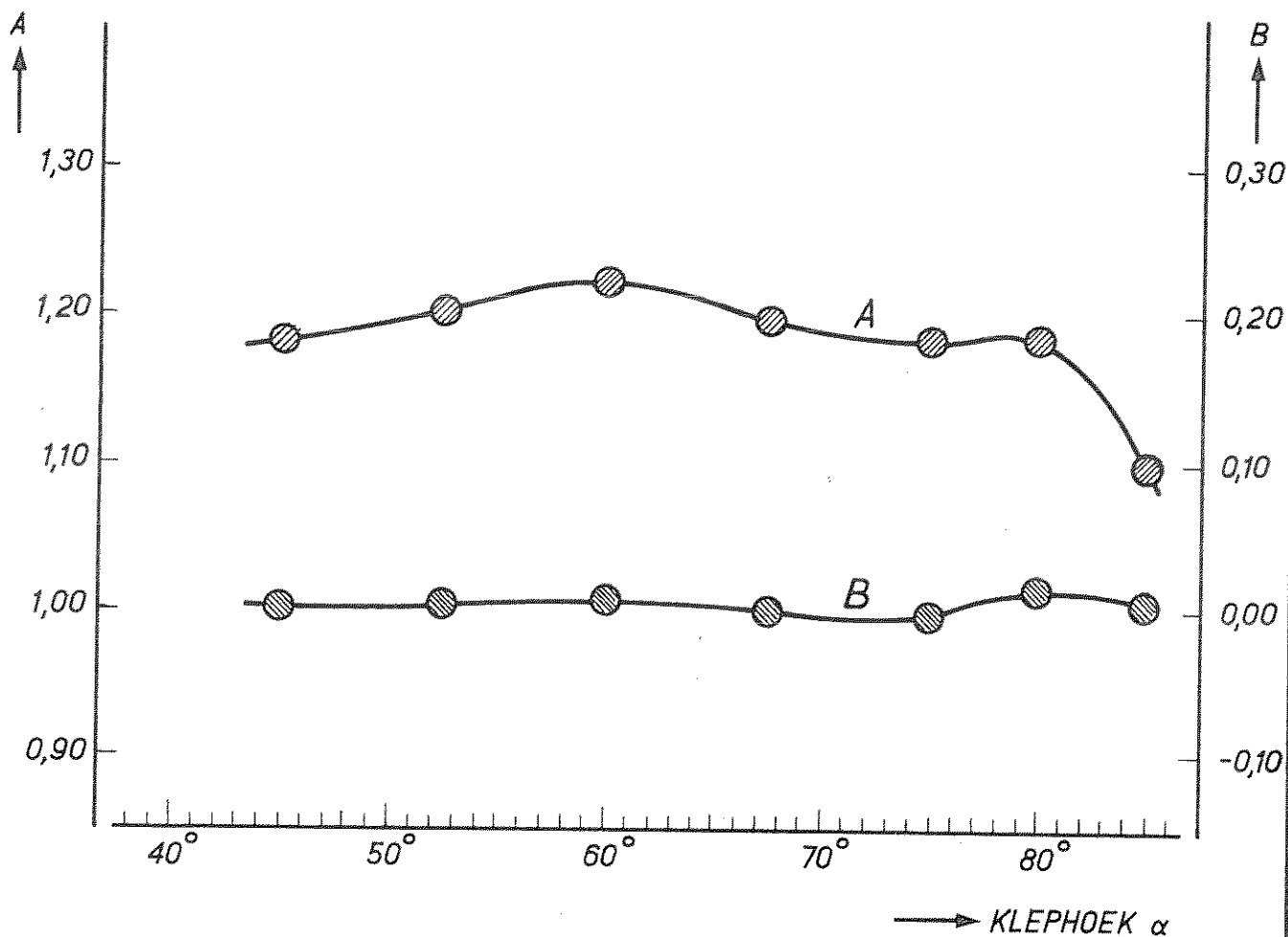
RESULTATEN BETREKKING
VAN DE STUW : BOERDIJK

$$m = A \cdot h^B$$

JB

A4

KLEPHOEK α	FORMULE BEPAALD UIT DE REGRESSIE - BEREKENING		AANTAL FOUTEN GROTER DAN			AANTAL MEET- PUNTEN
	$m = A \cdot h^B$	BEREIK	2%	15%	1%	
37°30'			-	-	-	
45°	1.184 h ^{0.001}	0.05 < h < 0.16	-	-	-	6
52°30'	1.206 h ^{0.005}	0.05 < h < 0.25	-	-	-	10
60°	1.227 h ^{0.008}	0.05 < h < 0.25	-	-	-	10
67°30'	1.200 h ^{0.001}	0.05 < h < 0.25	-	-	-	10
75°	1.186 h ^{-0.003}	0.05 < h < 0.25	-	-	-	10
80°	1.189 h ^{0.017}	0.05 < h < 0.25	-	-	-	10
85°	1.102 h ^{0.007}	0.05 < h < 0.25	-	-	2	10



RESULTATEN BETREKKING $m = A \cdot h^B$
VAN DE STUW : ODOORNERWEIDE

JB

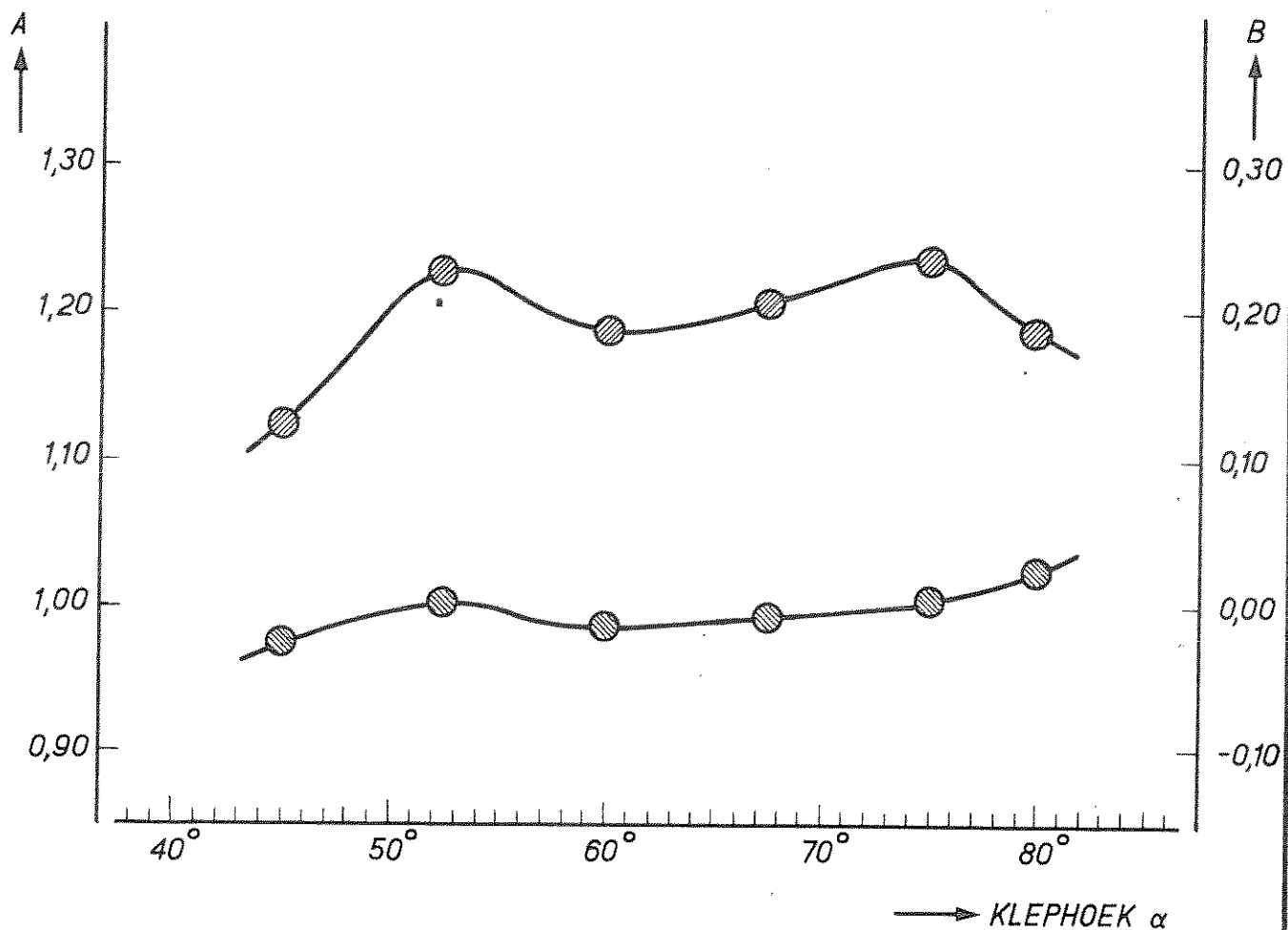
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1273-1029

FIG.29

KLEPHOEK α	FORMULE BEPAALD UIT DE REGRESSIE - BEREKENING		AANTAL FOUTEN GROTER DAN			AANTAL MEET- PUNTEN
	$m = A \cdot h^B$	BEREIK	2%	1.5%	1%	
45°	$1.126 h^{-0.025}$	$0.05 < h < 0.12$	-	-	-	5
52°30'	$1.229 h^{-0.003}$	$0.05 < h < 0.20$	-	-	1	8
60°	$1.190 h^{-0.013}$	$0.05 < h < 0.20$	-	-	-	8
67°30'	$1.209 h^{-0.006}$	$0.05 < h < 0.20$	-	-	-	8
75°	$1.239 h^{0.005}$	$0.05 < h < 0.20$	-	-	-	8
80°	$1.189 h^{0.026}$	$0.07 < h < 0.20$	-	-	-	6



RESULTATEN BETREKKING $m = A \cdot h^B$
VAN DE STUW : STROOMSTUKKEN

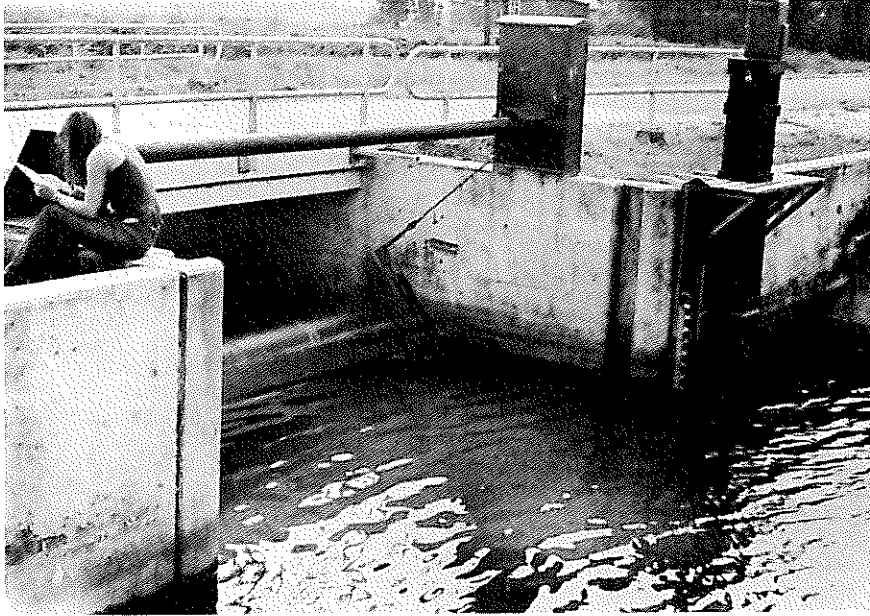
JB

A4

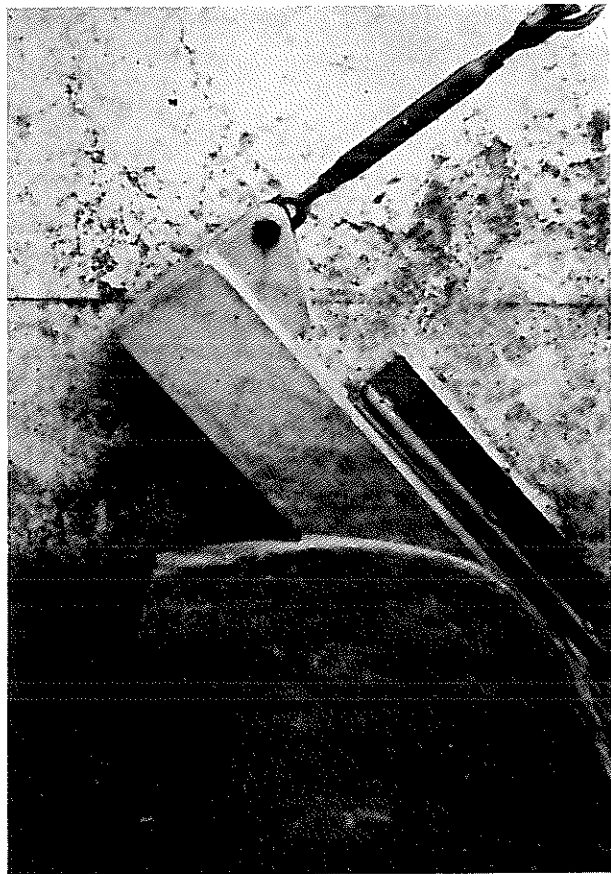
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1273-1030

FIG.30

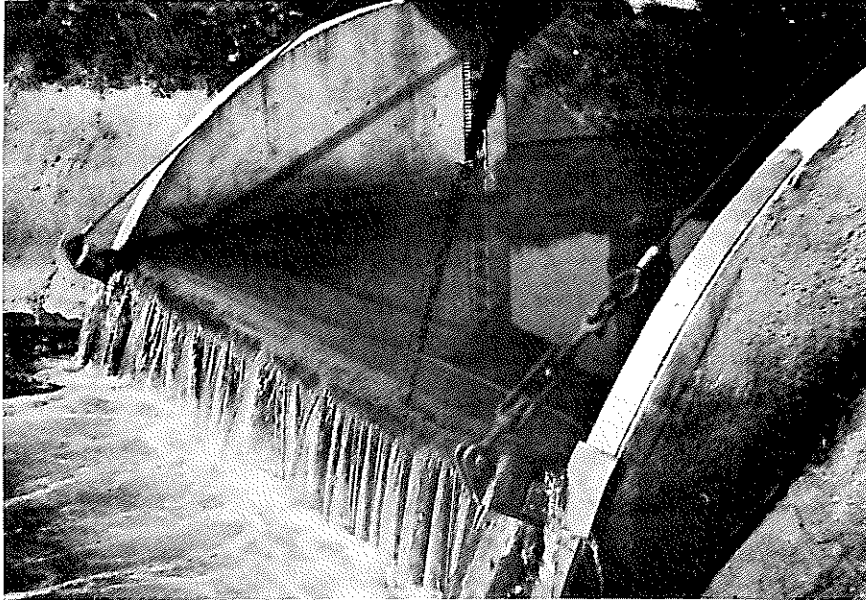


Parabolische kruin

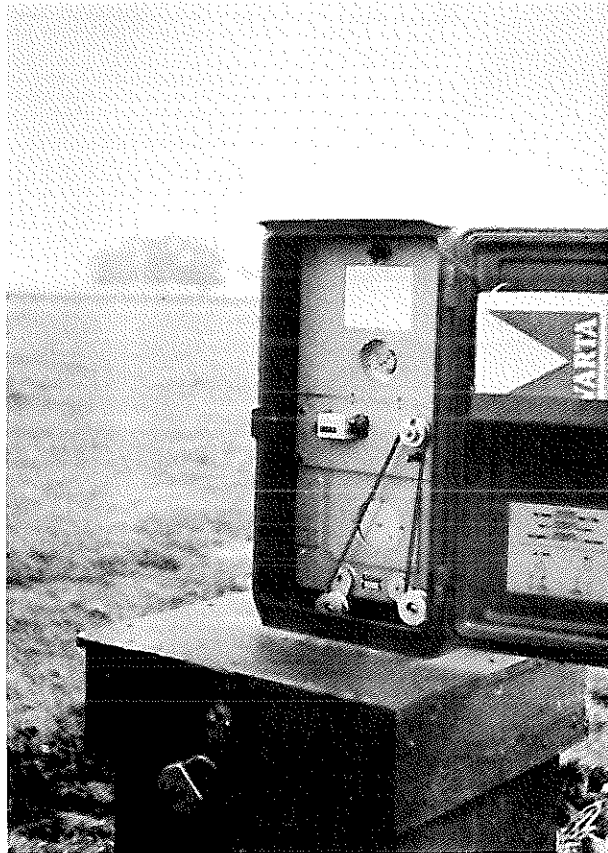


Detail ophanging

Stuw "Wilhelmsoord"

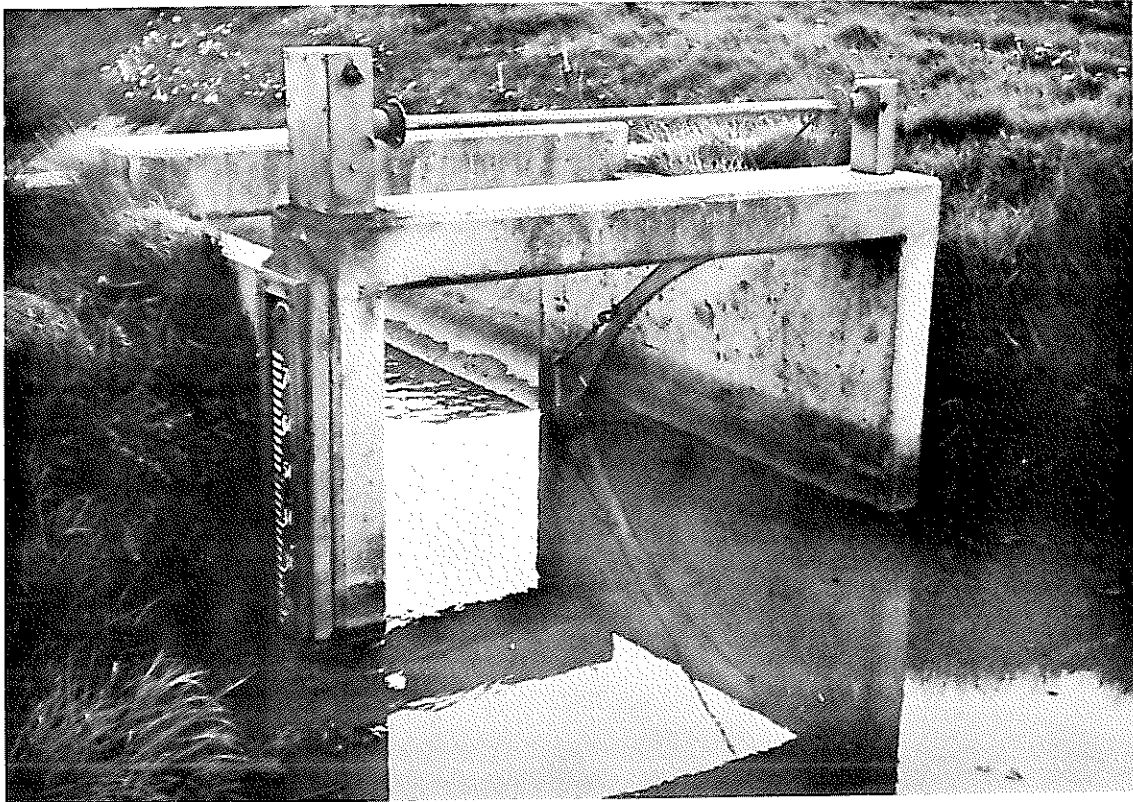


Cirkelvormige kruin

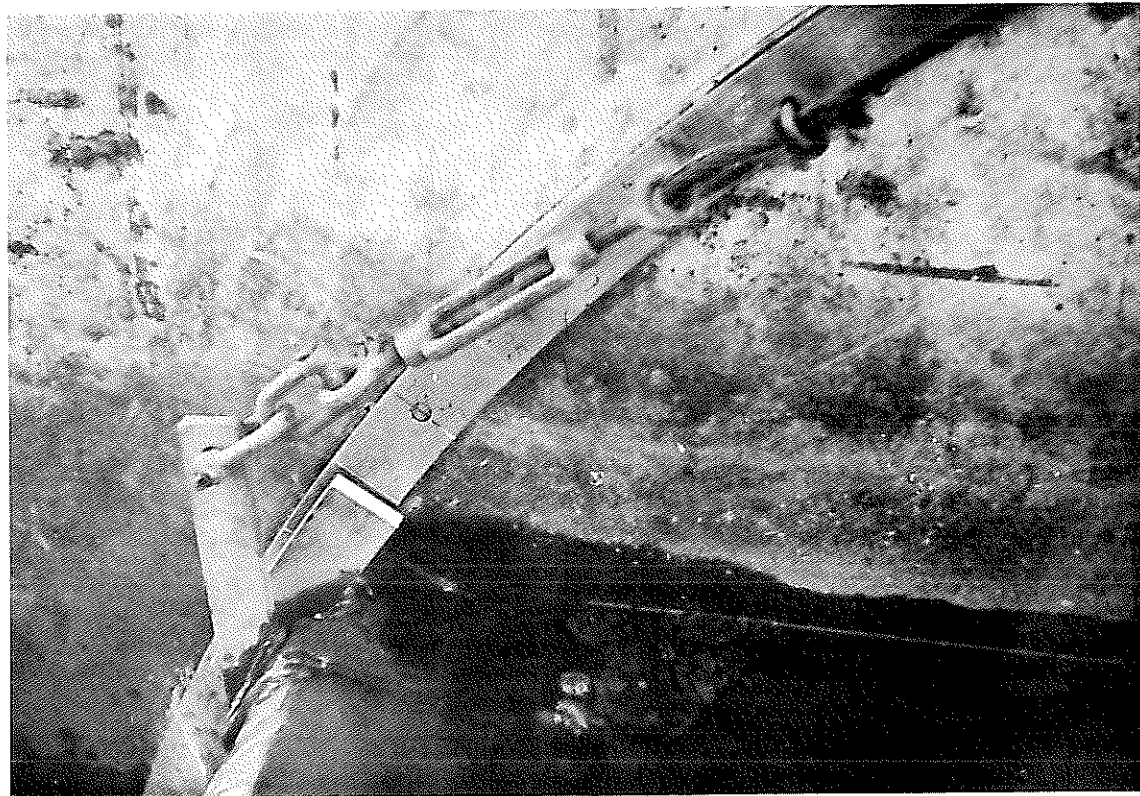


Ponsband-apparaat OTT

Stuw "de Broeken"

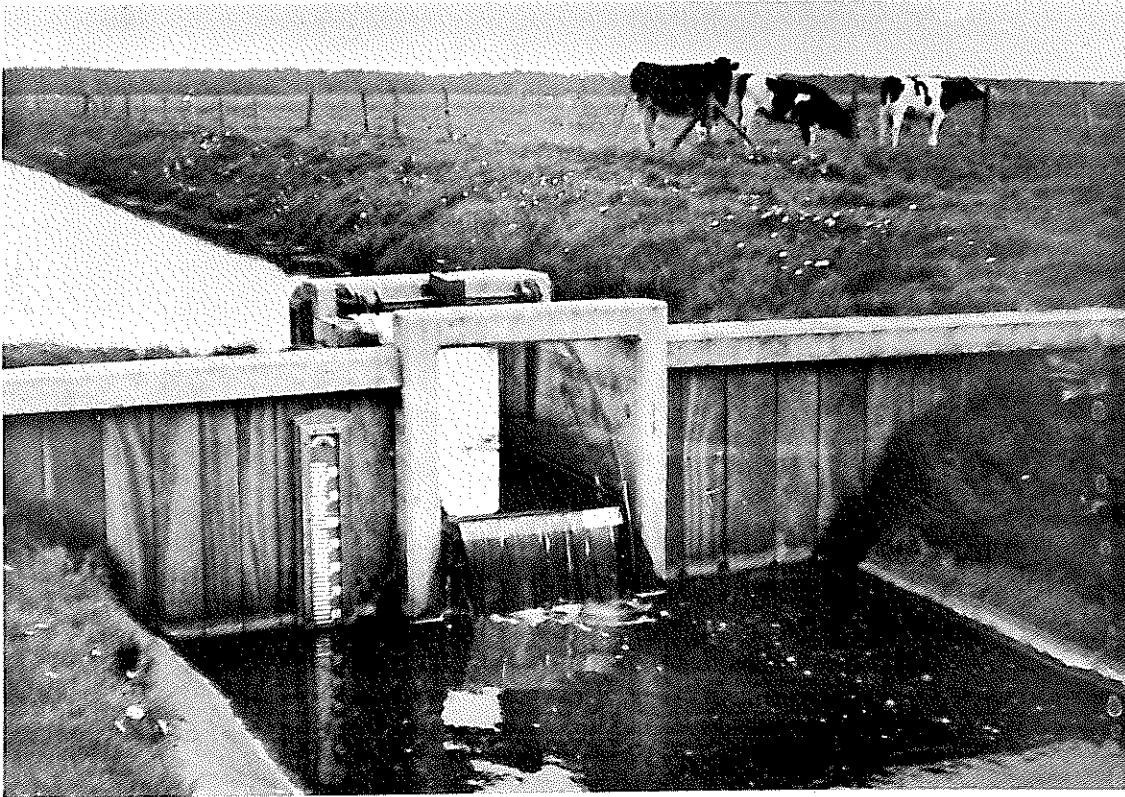


Bovenstrooms aanzicht



Detail ophanging en klepstand aanwijzer

Stuw "Odoornerweide"

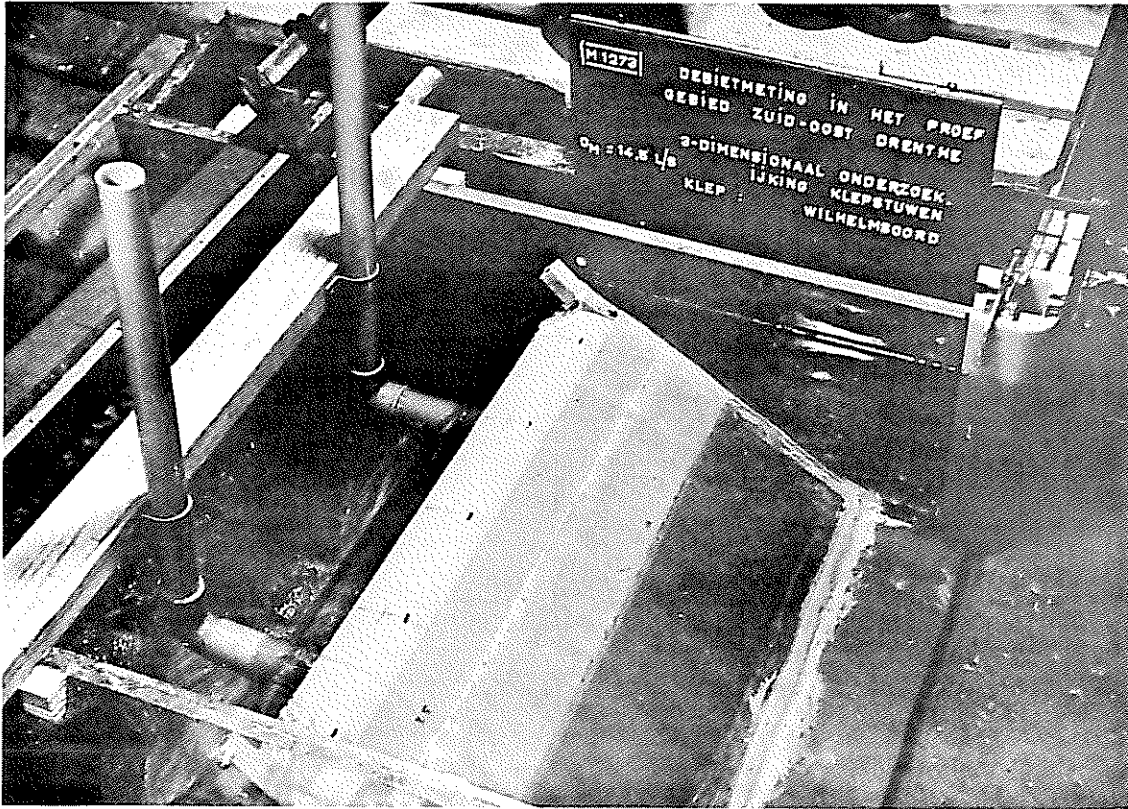


B = 0,90 m

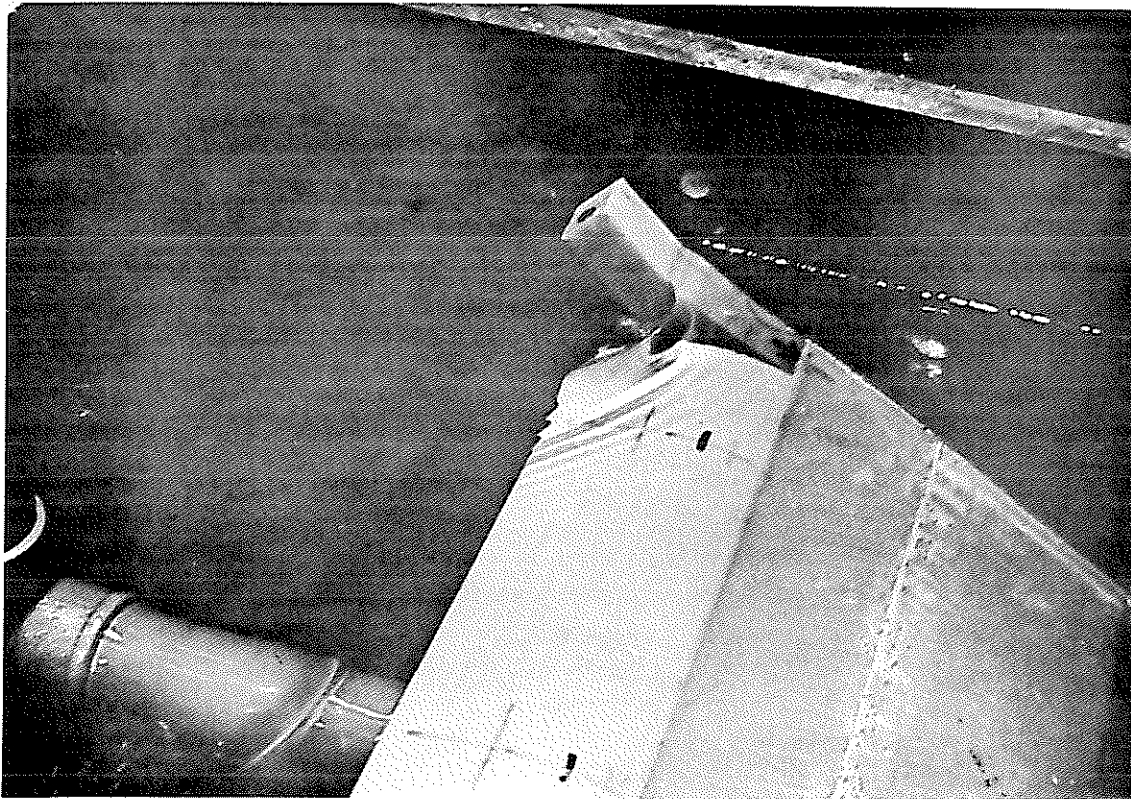


Detail ophanging en klepstand aanwijzer

Stuw "Stroomstukken"



Het model

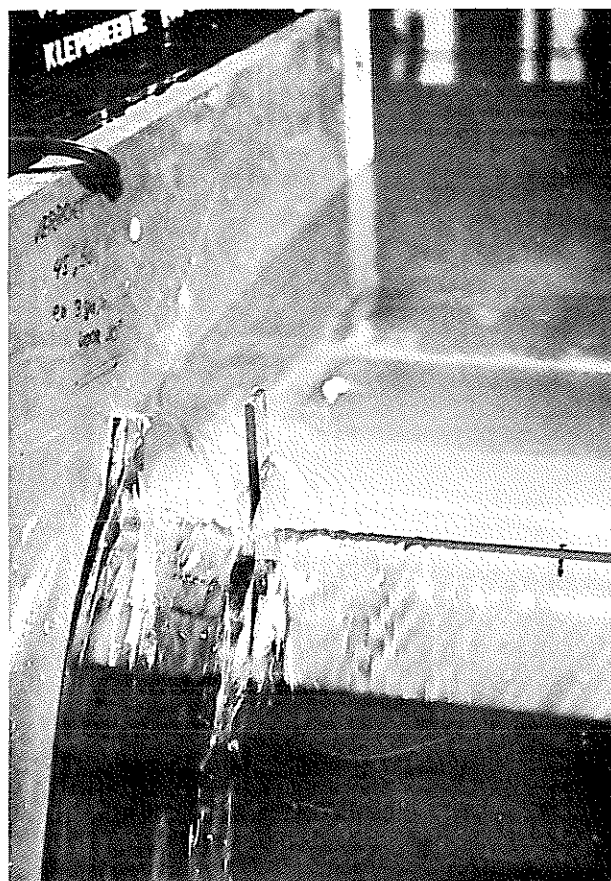


Detail ophangarm

Drie-dimensionaal onderzoek "Wilhelmsoord"

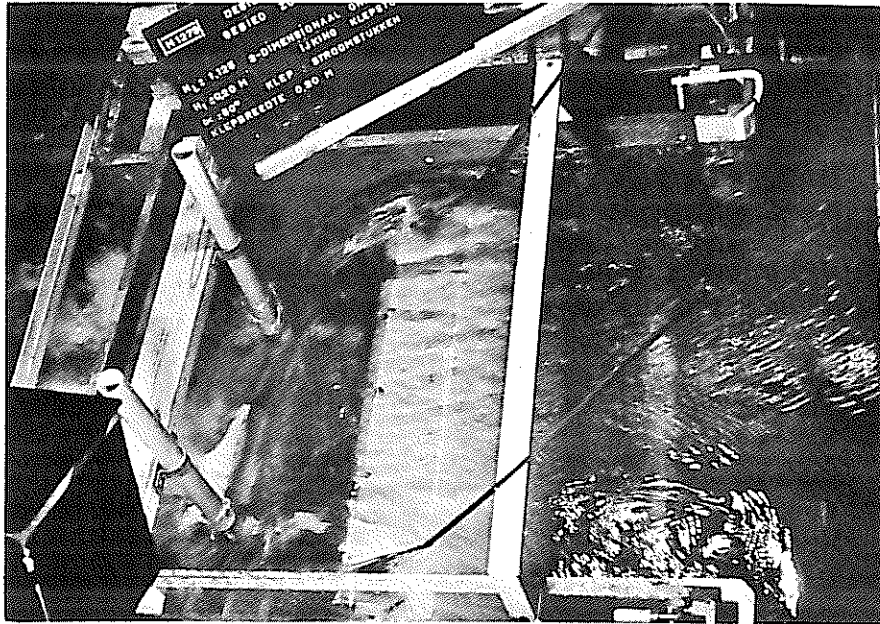


Overzicht

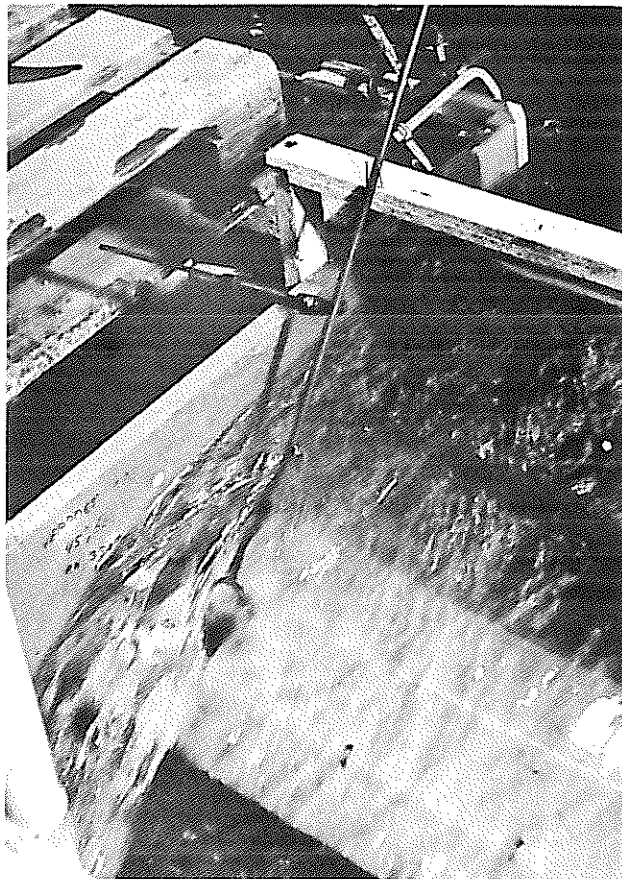


Detail ophangoor en aanwijsstrip

Drie-dimensionaal onderzoek "Boerdijk"



Overzicht



Detail ophanging en landhoofd

Drie-dimensionaal onderzoek "Stroomstukken"

	prototype	n_1	model
Stuw: <u>Wilhelmsoord</u> (fig. 3)		6,25	
afronding landhoofden: cirkelvormig	$R = 0,250$ m		$R = 0,040$ m
breedte tussen landhoofden	$B = 5,000$ m		$B = 0,800$ m
totale breedte obstakels op de kruin	$b = 0,316$ m		$b = 0,050$ m
Stuw: <u>Diphoorn</u> (fig. 5)		5,00	
afronding landhoofden: cirkelvormig	$R = 0,250$ m		$R = 0,050$ m
breedte tussen de landhoofden	$B = 4,000$ m		$B = 0,800$ m
totale breedte obstakels op de kruin	$b = 0,316$ m		$b = 0,063$ m
Stuw: <u>de Broeken</u> (fig. 7)		4,375	
afronding landhoofden: vellingkant	$a = 0,038$ m		$a = 0,009$ m
breedte tussen de landhoofden	$B = 3,500$ m		$B = 0,800$ m
totale breedte obstakels op de kruin	$b = 0,256$ m		$b = 0,058$ m
Stuw: <u>Jongbloedvaart</u> (fig. 9)		3,125	
afronding landhoofden: vellingkant	$a = 0,038$ m		$a = 0,012$ m
breedte tussen de landhoofden	$B = 2,500$ m		$B = 0,800$ m
totale breedte obstakels op de kruin	$b = 0,080$ m		$b = 0,026$ m
Stuw: <u>Odoornerweide/Boerdijk</u> (fig. 13 en 11)		1,812	
afronding landhoofden: vellingkant	$a = 0,028$ m		$a = 0,015$ m
breedte tussen de landhoofden	$B = 1,450$ m		$B = 0,800$ m
totale breedte obstakels op de kruin	$b = 0,037$ m		$b = 0,020$ m
Stuw: <u>Stroomstukken</u> (fig. 15)		1,125	
afronding landhoofden: vellingkant	$a = 0,028$ m		$a = 0,025$ m
breedte tussen de landhoofden	$B = 0,900$ m		$B = 0,800$ m
totale breedte obstakels op de kruin	$b = 0,031$ m		$b = 0,027$ m

Overzicht van contractie gevende constructies

TABEL I

klephoek α

37° .30'		45°		52° .30'		60°		67° .30'	
h/B	C _c	h/B	C _c	h/B	C _c	h/B	C _c	h/B	C _c
0,016	0,955	0,015	0,948	0,015	0,937				
0,019	0,940	0,020	0,941	0,019	0,941	0,019	0,941		
0,024	0,944	0,023	0,943	0,023	0,947	0,024	0,944		
0,030	0,945	0,030	0,940	0,029	0,940	0,028	0,961	0,029	0,964
0,037	0,940	0,037	0,934	0,036	0,942	0,037	0,955	0,036	0,971
0,047	0,958	0,046	0,937	0,043	0,947	0,044	0,961	0,044	0,977
0,058	0,936	0,055	0,941	0,056	0,950	0,055	0,971	0,056	0,982
		0,070	0,951	0,070	0,959	0,069	0,972	0,068	0,983
		0,087	0,956	0,087	0,966	0,086	0,975	0,085	0,985
				0,107	0,972	0,106	0,979	0,105	0,985
				0,133	0,972	0,131	0,977	0,131	0,981

Stuw Wilhelmsoord $n_1 = 6,25$
 kruinvorm: parabool P3

Constructies, van invloed op de zijdelingse contractie:

landhoofden, cirkelvormige afronding $R_{prot} = 0,250 \text{ m}$ $R_{mod} = 0,040 \text{ m}$
ophanging, twee armen $b_{prot} = 2 \times 0,158 \text{ m}$ $b_{mod} = 2 \times 0,0252 \text{ m}$.

α klephoek met de verticaal

C_c de contractiecoëfficiënt tengevolge van landhoofden en ophangingarmen

h de bovenstroomse overstorthoogte

B bruto afvoerende breedte

$B_{prot} = 5,00 \text{ m}$ $B_{mod} = 0,800 \text{ m}$

b' netto breedte tussen de armen

$b'_{prot} = 4,684 \text{ m}$ $b'_{mod} = 0,750 \text{ m}$

Contractie-coëfficiënten C_c bij klepstuwen

Stuw: Wilhelmsoord

TABEL II

Procentiële afwijking in het debiet $E = 100 (Q_E - Q)/Q_E \%$
 tengevolge van gestuwde afvoer.

type klepafronding	α	verdrinkingsgraad h_2/h_1 (%)				
		10	20	30	40	50
<u>Paraboolvormig</u> (Wilhelmsoord en Diphoorn)	$52^\circ.30'$	1	2	2	3	4
	60°	1	1	2	3	4
	$67^\circ.30'$	0	1	2	2	3
	75°	0	1	2	2	3
	$82^\circ.30'$	0	0	1	1	2
<u>Cirkelvormig</u> (de Broeken)	$52^\circ.30'$	1	3	5	8	11
	60°	1	3	5	8	11
	$67^\circ.30'$	1	3	5	8	11
	75°	0	1	2	4	7
	$82^\circ.30'$	0	0	1	1	2
<u>Rechthoekig</u> (Jongbloedvaart Odoornerweide Boerdijk en Stroomstukken)	$52^\circ.30'$	1	3	5	8	12
	60°	1	2	4	6	9
	$67^\circ.30'$	1	2	3	5	7
	75°	0	1	2	3	4
	$82^\circ.30'$	0	0	1	1	2

Afwijking in het debiet als functie van de
verdrinkingsgraad

TABEL III

Berekening van de totale afvoercoëfficiënt m voor de klepstuw Wilhelmsoord

$$B = 5,00 \text{ m}$$

$$\alpha = 60^\circ \rightarrow h_{\text{kruin}} = \text{N.A.P.} + 13,00 \text{ m.}$$

$$Q = 1,705 \cdot B \cdot m \cdot h_1^{1,50}$$

$$m = C_D \cdot C_c \cdot C_V$$

h_1 (m)	C_D -	h_1/B -	C_c -	Wat.st. N.A.P. +	F (m^2)	C_V -	m -	Q (m^3/sec)
0,054	0,982	0,011	0,938	13,05	7,60	1,000	0,921	0,099
0,063	1,002	0,013	0,939	13,06	7,70	1,000	0,941	0,127
0,090	1,044	0,018	0,941	13,09	7,95	1,001	0,983	0,226
0,128	1,078	0,026	0,945	13,13	8,35	1,001	1,020	0,398
0,153	1,096	0,031	0,951	13,15	8,50	1,002	1,044	0,533
0,209	1,122	0,042	0,960	13,21	9,15	1,003	1,081	0,881
0,267	1,154	0,053	0,967	13,27	9,75	1,005	1,122	1,320
0,364	1,194	0,073	0,974	13,36	10,70	1,009	1,173	2,200
0,512	1,235	0,102	0,977	13,51	12,30	1,014	1,224	3,823
0,611	1,259	0,122	0,978	13,61	13,45	1,018	1,254	5,106

Regressieberekening in de betrekking $m = A \cdot h_1^B$

h_1	m	m_{ber}	fout
0,054	0,921	0,919	-0,2
0,063	0,941	0,937	-0,4
0,090	0,983	0,980	-0,3
0,128	1,020	1,025	0,5
0,153	1,044	1,048	0,4
0,209	1,081	1,090	0,9
0,267	1,122	1,125	0,2
0,364	1,173	1,170	-0,3
0,512	1,224	1,221	-0,2
0,611	1,254	1,249	-0,4

Resultaat: $A = 1,329$

$B = 0,126$

de vergelijking: $m = 1,329 h^{0,126}$

TABEL IV

Berekening van het verband tussen m en h_1 Wilhelmsoord $\alpha = 60^\circ$

waterloopkundig laboratorium postbus 177 delft