

beun = vrommelijk, dus de beun

Interim Rapport Beunbezinking
Deel I : Stromingsonderzoek

J.M.Groot.

INTERIM RAPPORT BEUNBEZINKING

deel I : Stromingsonderzoek

Afstudeeronderzoek

J.M.Groot

juni 1981.

INHOUDblz.

1. - Opdracht	1
2. - Doelstelling	4
3. - Probleemstelling	4
4. - Motivering modelonderzoek	4
5. - Schaalwetten	5
5.1. - Controle getal van Reynolds	5
5.2. - Controle ruwheid	6
5.3. - Sedimentschaal	10
6. - De meetopstelling en meetmethoden	11
6.1. - De meetopstelling	11
6.2. - Debietmetingen	11
6.3. - Vleihoogtemetingen	11
6.4. - Vervalmetingen	12
6.5. - Microvervalmeter	13
6.6. - Micromolen	14
6.6.1. - Gemiddelde snelheid	14
6.6.2. - Meting van de turbulentie	15
6.6.3. - Vaststellen van de turbulentieschalen	15
6.6.4. - Meetpunten van de micromolen	19
6.7. - Waterstofbellentechniek	21
6.8. - Kleurstof	22
7. - Overvloeiconfiguraties	23
7.1. - Overlaatprincipe	23
7.2. - Verklaring voor het ontstaan der wervels	24
7.3. - I Twee ronde overvloeien aan de zijkanten van het beun	26
7.4. - II Halfronde overvloei aan het eind van het beun	32
7.5. - III Rechte overvloei aan het eind van het beun	35
7.6. - IV Rechte overvloei in langsricting	40
7.7. - V Twee rechte overvloeien aan de zijkant (oude systeem "Hendrik Zanen")	44
7.8. - Samenvatting overvloeiconfiguraties	47
7.9. - Constructieve aanbevelingen overvloeiconfiguraties	48

8. - Inbrengsystemen	49
8.1. - Bestaande systeem	49
8.2. - Verbeteringen bestaande systeem	49
8.3. - Verdronken systeem	49
8.4. - Energiebalans van het inbrengsysteem	51
8.5. - Samenvatting inbrengsysteem	53
8.6. - Constructieve aanbevelingen inbrengsysteem	54

Symbolenlijst	56
---------------	----

Literatuurlijst	58
-----------------	----

Bijlagen - 1 t/m 24	
---------------------	--

Foto's - 1 t/m 20	
-------------------	--

1. Opdracht

PLANNING VAN HET ONDERZOEK

1 dec. 1980

Opdracht

dec. 1980 - jan. 1981

Bouw van plexiglas hoppermodel

Vorbereidingen

Bouw van stroomgoot-opstellingen

Uittesten meetmethoden

jan.1981 - juni 1981

Metten stroompatronen en turbulentiegraad

- onderzoek hopperrendementen voor diverse zandsoorten (100 μ , 200 μ en 300 μ)

- stroompatronen bij verschillende stroomgeleidingsplaten

- stroompatronen dieplaadsysteem

medio juni 1981

Interim rapport met o.a. constructieve aanbevelingen m.b.t. laad- en overvloei-systeem.

juni 1981 - dec.1981

Uitwerken meetresultaten

Rapportage

Correlatie meetresultaten en theoretisch model.

Nadere specificatie van het onderzoek

- Fase 1 : Stromingsonderzoek zonder mengsel
- Doel : Minimaliseren van turbulentie in de hopper
- Faciliteiten : Plexiglas schaalmodel schaal 1:20
- Metingen : Het vastleggen van stromingspatronen in de hopper m.b.v. waterstofbellen-techniek en fotografie.
Het verhang (niveauverschil) over de hopper
De turbulentiegraad
Het debiet
De vleihoogte
- Variëren : Het inbrengsysteem (diffusor-dieplaadsysteem)
De vormgeving en positie van de overvloeikers
Stroomgeleidingsplaten ter onderdrukking van wervels
Het debiet
Positie van een vaste zandbodem in hoogte en vorm van het bodemoppervlak
Hoogte overvloeien i.v.m. de invloed van de dekbalken.

- Fase 2 : Uitzakkingsonderzoek
- Doel : Het formuleren van een theoretisch onderbouwd verband tussen het hopperrendement en debiet, concentratie en turbulentiegraad.
- Faciliteit : Stroomgoot modelschaal voor de korreldiameter 1:1 of 1:2. In verband met de modelregels voor het uitzakkingsproces moet het zand op ware grootte (of bijna ware grootte) worden gebruikt. De stroomgoot stelt dan een deel van de hopper voor waarin het dan om modellering van het uitzakkingsproces gaat exclusief de randverschijnselen van inbreng en overvloei.
- Metingen : Het debiet
De concentratie
Overvloeiverliezen
Verhang over de hopper
Turbulentiegraad
- Variëren : Lengte/Breedte verhouding van de hopper
Korreldiameter van het zand
Het debiet
De turbulentiegraad
De concentratie

De turbulentiegraad gemeten in fase 1 zal worden gebruikt om de overvloeiverliezen gemeten in fase 2 te extrapoleren.

2. Doelstelling

Doel van het onderzoek is het verkleinen van de overvloeiverliezen aan het eind van de laadcyclus bij een sleephopperzuiger, ter verhoging van het rendement.

3. Probleemstelling

Om aan de doelstelling te kunnen voldoen, moet een antwoord worden gevonden op de volgende vragen:

- Wat veroorzaakt het optreden van overvloeiverliezen?
- Wat is de oorzaak van het optreden van kuilen rond de overvloeikokers, zoals is geconstateerd op de "Hendrik Zanen"?

4. Motivering modelonderzoek

Om een antwoord te vinden op de vragen, geformuleerd in de probleemstelling, is het bijna ondoenlijk prototype-metingen te verrichten, omdat ten eerste de bereikbaarheid in het beun bijzonder slecht is, en ten tweede het vloeistofoppervlak zo ondoorzichtig is dat niet te zien is hoe de laadcyclus zich afspeelt en welke fenomenen zich onder de waterspiegel afspelen.

Daarom is besloten een modelonderzoek te verrichten, waarbij een model van het beun is gemaakt met doorzichtige wanden, met in principe een lengteschaal $n_1 = 20$ (grootheid prototype/model).

5. Schaalwetten

Bij stromingsonderzoek in modellen bepaalt men de schalen, afhankelijk van de parameters welke men wil onderzoeken, voornamelijk volgens de modelwetten van Froude en Reynolds. Het Froude-getal - $\frac{u}{\sqrt{ga}}$ - geeft de verhouding tussen de snelheid en de golfvoortplantingssnelheid.

u = stroomsnelheid
 g = versnelling van de zwaartekracht
 a = waterdiepte.

7 Het Reynolds-getal - $\frac{uR}{\nu}$ - geeft de overgang tussen laminaire en turbulente
 v stroming.

R = hydraulische straal
 v = kinematische viscositeit.

De schaal waarop de stroomsnelheid moet worden weergegeven hangt ervan af of de visceuze dan wel de turbulente krachten overheersen. Bij waarden van het getal van Reynolds (gedefiniëerd met de hydraulische straal als
 X karakteristieke lengtemaat) groter dan 800, in zowel prototype als model, overheersen de turbulente krachten en moeten de snelheden op Froude-schaal worden weergegeven. Dat wil dus zeggen

$$n_u = n_1^{\frac{1}{2}}$$

Hierbij geeft het symbool n de verhouding tussen de parameter - aangegeven door de indice - in prototype en model.

5.1 Controle getal van Reynolds

Omdat de overvloei verliezen in het laatste deel van de laadcyclus worden bekeken, wordt uitgegaan van een zandbed in de hopper met daarboven nog slechts twee meter water. Verder wordt gerekend met een standaard debiet Q van 6 m³/sec.

De breedte van de hopper : b = 13,16 m.

De waterdiepte : a = 2,0 m.

Hydraulische straal : R = $\frac{2,0 \cdot 13,16}{13,16 + 2 \cdot 2,0} = 1,53$ m.

Stroomsnelheid : u = 6,0/26,32 = 0,23 m/sec.

Getal van Reynolds : Re = $\frac{uR}{\nu} = \frac{0,23 \cdot 1,53}{10^{-6}} = 35 \cdot 10^4 (> 800)$

Model:

$$\begin{aligned}
 b &= 0,66 \text{ [m]} && \text{(Breedte beun)} \\
 a &= 0,10 \text{ [m]} && \text{(Waterdiepte)} \\
 R &= \frac{0,66 \times 0,10}{0,66 + 2 \times 0,10} = 0,077 \text{ [m]} && \text{(Hydraulische straal)}
 \end{aligned}$$

$$n_u = \sqrt{20} \rightarrow u_m = 0,051 \text{ [m/sec]}$$

$$Re = \frac{uR}{\nu} = \frac{0,051 \cdot 0,077}{10^{-6}} = 3900 \text{ (> 800)}$$

Zowel in prototype als in model is het getal van Reynolds groter dan 800.

5.2 Controle ruwheid.

Omdat de klepstangen en de verbanddelen in het beun een groot aandeel in de weerstand van het model hebben, is gecontroleerd of deze weerstand in prototype en model hetzelfde is.

Prototype:

$$\begin{aligned}
 Q &= 6 \text{ [m}^3\text{/sec]} && \text{(Debiet)} \\
 b &= 13,16 \text{ [m]} && \text{(Breedte)} \\
 a &= 2,0 \text{ [m]} && \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} A = 26,32 \text{ [m}^2\text{]} && \text{(Waterdiepte)} \\
 \bar{u} &= Q/A = 6/26,32 = 0,23 \text{ [m/sec]}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Klepstang: } D &= 0,23 \text{ [m]} \\
 \rightarrow \text{Reynolds} &= \frac{0,23 * 0,23}{10^{-6}} = 52900 \\
 \rightarrow C_D &= 1 \quad \text{(zie figuur)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Verbanddeel: } D &= 0,36 \text{ [m]} \\
 \rightarrow \text{Reynolds} &= \frac{0,23 * 0,36}{10^{-6}} = 82800 \\
 \rightarrow C_D &= 1 \quad \text{(zie figuur)}
 \end{aligned}$$

$$\text{Kracht op een paal: } F = \frac{1}{2} \rho u^2 C_D \cdot D \cdot h$$

$$\begin{aligned}
 \text{Klepstang: } \rightarrow F &= \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 0,23^2 \cdot 1 \cdot 0,23 \cdot 2,0 = 12,2 \\
 \text{Verbanddeel: } \rightarrow F &= \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 0,23^2 \cdot 1 \cdot 0,36 \cdot 2,0 = 19,1 \text{ [N]}
 \end{aligned}$$

De krachten die de palen op de vloeistof uitoefenen kunnen worden omgerekend naar een schuifspanning, door het aantal palen per eenheid van oppervlakte te beschouwen. In het beun staan 26 klepstangen en even zoveel verbanddelen op een totaal oppervlak van: $13,16 \times 60 = 790 \text{ [m}^2\text{]}$.

$$\tau_{\text{paal}} = \frac{F}{\text{Opp.}} = \frac{26 \times (12,2 + 19,1)}{790} = 1,0 \text{ [N/m}^2\text{]} .$$

Ook de bodemruwheid levert een aandeel in de schuifspanning. Een bodemruwheid r ter grootte van b.v. 5 cm levert:

$$C = 18 \log \frac{12a}{k} \rightarrow$$

$$C = 18 \log \frac{12 \cdot 2,0}{0,05} = 48 \text{ [m}^{\frac{1}{2}}\text{/sec]} .$$

* Hierbij is ervan uitgegaan dat de wanden ^{wegingeloo} glad zijn.

Via: $u = C\sqrt{hi}$ vinden we:

$$0,23 = 48\sqrt{hi} \rightarrow hi = 2,3 \cdot 10^{-5} \text{ [m]}$$

Met $\tau = \rho ghi$ levert dit:

$$\tau_{\text{bodem}} = 1000 \cdot 9,8 \cdot 2,3 \cdot 10^{-5} = 0,23 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

De totale schuifspanning t.g.v. paalweerstand en bodemruwheid wordt nu:

$$\tau_{\text{totaal}} = \tau_{\text{paal}} + \tau_{\text{bodem}} = 1,0 + 0,23 = 1,23 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

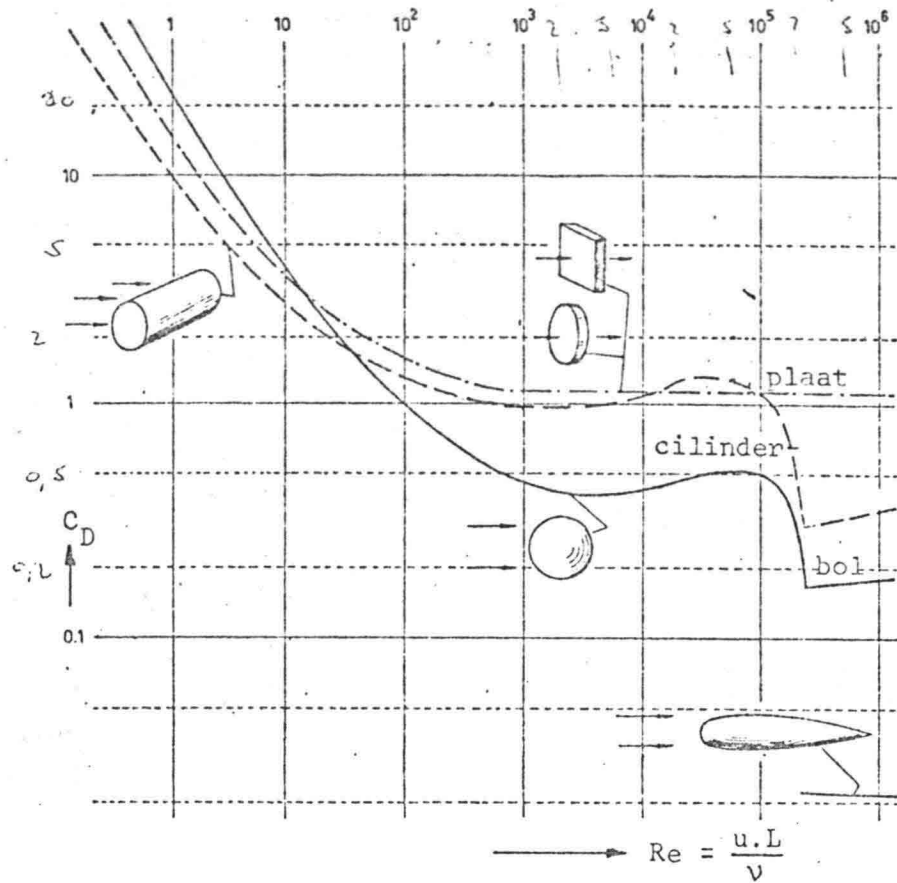
De resulterende Chezy-coëfficiënt volgt nu uit:

$$\tau_{\text{totaal}} = \rho ghi = 1,23 \rightarrow hi = \frac{1,23}{1000 \times 9,8} = 1,26 \cdot 10^{-4}$$

$$C^2 = \frac{u^2}{hi} \rightarrow C^2 = \frac{0,23^2}{1,26 \cdot 10^{-4}} = 421 \rightarrow$$

$$C = 21 \text{ [m}^{\frac{1}{2}}\text{/sec]} .$$

De palen blijken dus, gezien hun aandeel in de ruwheid, erg belangrijk te zijn.



Figuur 5.1

Model

Wanneer in het model de schalen volgens de modelwet van Froude worden bepaald, is het getal van Froude in prototype en model gelijk.

$$\left(\frac{u}{\sqrt{ga}} \right)_{\text{prot.}} = \left(\frac{u}{\sqrt{ga}} \right)_{\text{model}} \rightarrow$$

$$\rightarrow n_u = n_a^{\frac{1}{2}}$$

Hieruit volgt voor de tijdschaal:

$$n_t = n_1^{\frac{1}{2}}$$

Voor de schaal van het debiet, ~~m³/sec~~, volgt hieruit:

$$n_Q = n_1^{2\frac{1}{2}} .$$

Het prototype-debiet van $6 \text{ [m}^3/\text{sec]}$ komt in het model overeen met een debiet van $\frac{6000}{1789} = 3,35 \text{ [liter/sec]}$.

Een waterhoogte in het prototype van 2 [m], komt in het model overeen met $\frac{200}{20} = 10$ [cm].

Een stroomsnelheid in het prototype van 0,23 [m/sec] komt in het model overeen met een snelheid van $\frac{0,23}{\sqrt{20}} = 0,051$ [m/sec].

We kunnen nu de ruwheid van het model berekenen:

Klepstang : D = 0,012 [m]

$$\text{Reynolds: } \frac{0,051 \cdot 0,012}{10^{-6}} = 620$$

$$\rightarrow C_D = 1$$

$$\rightarrow F = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 0,051^2 \cdot 0,012 \cdot 0,1 = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ [N]}$$

Verbanddeel : D = 0,018 [m]

$$\text{Reynolds: } \frac{0,051 \cdot 0,018}{10^{-6}} = 920$$

$$\rightarrow C_D = 1$$

$$\rightarrow F = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 0,051^2 \cdot 0,018 \cdot 0,1 = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ [N]}$$

Zowel voor het prototype als het model blijken de Reynolds-getallen zodanig te zijn, dat de C_D -waarden alle gelijk zijn aan 1.

Schuifspanning t.g.v. de palen:

$$\tau_{\text{paal}} = \frac{F}{\text{Opp.}} = \frac{26 \cdot (1,6 \cdot 10^{-3} + 2,3 \cdot 10^{-3})}{3 \cdot 0,66} = 0,051 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

Ruwheid t.g.v. de bodem:

D_{50} van het zandbed is 1,7 [mm]

$$C = 18 \log \frac{12 \cdot 0,1}{0,0017} = 51 \text{ [m}^{\frac{1}{2}}\text{/sec]}$$

$$\tau_{\text{bodem}} = \rho g \frac{u^2}{C^2} = 1000 \cdot 9,8 \cdot \frac{0,051^2}{51^2} = 9,8 \cdot 10^{-3} \text{ [N/m}^2\text{]}$$

Totale ruwheid t.g.v. paalweerstand en bodemruwheid:

$$\tau_{\text{totaal}} = 0,051 + 0,0098 = 0,061 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

$$\rightarrow C = u \sqrt{\frac{\rho g}{\tau}} = 0,051 \sqrt{\frac{1000 \cdot 9,8}{0,061}} = 20 \text{ [m}^{\frac{1}{2}}\text{/sec]}.$$

Prototype en model hebben dus dezelfde C-waarde (bij vlakke bodem).

5.3 Sedimentschaal.

In het model zijn twee zandsorten gebruikt. Grof zand met een D_{50} van 1,7 mm voor de bodem, om meebewegen t.g.v. de stroming te voorkomen. Daarnaast fijn zand met een D_{50} van 150 μ om wervels aan te tonen. Het fijne zand werd door de wervels zonder meer afgevoerd, terwijl van het grove zand soms enkele korrels werden opgenomen. Ook onder de diffusor werd het grove zand opgewoeld. Het is daarom interessant om de corresponderende korreldiameters op prototype-schaal te berekenen. Wanneer ervan uitgegaan wordt dat de wervels op de snelheidsschaal worden weergegeven en de diameter van de wervels vele malen groter is dan de korreldiameter, dan kan worden geconcludeerd dat de valsnelheid van de korrels ook op de snelheidsschaal moet worden weergegeven.

$$\text{Fijn zand : } D_{50} = 150 \mu \rightarrow w = 0,017 \text{ [m/sec]}$$

$$n_w = \sqrt{20} \rightarrow w_{\text{prot}} = \sqrt{20} \cdot 0,017 = 0,076 \text{ [m/sec]}$$

$$D_{50} = 530 \mu \text{ (prototype)}$$

(Breusers, 1964, p.9)

$$\text{Grof zand: } D_{50} = 1700 \mu \rightarrow w = 0,18 \text{ [m/sec]}$$

$$w_{\text{prot}} = \sqrt{20} \cdot 0,18 = 0,80 \text{ [m/sec]}$$

Deze laatste waarde staat niet in de grafiek aangegeven, doch kan worden afgeleid uit het feit dat in het Newton's gebied geldt:

$$w \approx \sqrt{D} \rightarrow$$

Extrapolatie levert:

$$D_{50} = 30000 \mu = 30 \text{ [mm]} \text{ (prototype).}$$

(Breusers, 1964, p.9)

6. De meetopstelling en meetmethoden.

6.1 De meetopstelling

De meetopstelling bestaat uit een model van het beun van de "Hendrik Zanen". De geometrieschaal is 1:20. Het model is opgebouwd uit een kooiconstructie m.b.v. stalen hoekprofielen, waarin de wanden van doorzichtig plexiglas zijn gelijmd. De inlaatgoot en de diffusor zijn van waterbestendig multiplex gemaakt, waarbij de binnenmaten geheel op schaal zijn. De overvloeikers zijn van kunststof gemaakt; te weten hard-pvc en trovidure. De "kippekooi" is van hout gemaakt, en voor de verbanddelen en de klepstangen zijn perspex buisjes gebruikt. De inlaatgoot is aangesloten op het druksysteem van het laboratorium, en via een meetflens en een manometer kan het debiet worden afgelezen.

6.2 Debietmeting.

Het debiet in de hopper kon d.m.v. een afsluiter worden geregeld. Voor de afsluiter zat een meetflens met daarin twee dunne buisjes. Eén met de opening loodrecht op de stroomrichting van de drukhoogte, en één met de opening tegen de stroomrichting in voor de snelheidshoogte. Deze twee uitgangen, aangesloten op een gesloten omgekeerde U-buis manometer, gaven hierop een verschil in waterniveau in cm. Met behulp van een ijkgrafiek kon het debiet worden afgelezen.

Alvorens met het stromingsonderzoek te beginnen, is het debiet bij drie verschillende manometerstanden onderzocht. Bij iedere manometerstand werd tien maal gedurende enkele seconden het uit de overvloeiker stromende water in een grote bak opgevangen. De tijd werd met een stopwatch opgenomen, en de bak met water werd iedere keer gewogen. Uit deze tien metingen werd het debiet per seconde berekend met de bijbehorende standaard-afwijking. Deze gevonden waarden gaven vergeleken met de ijkgrafiek slechts afwijkingen van hooguit 1% van het debiet (zie bijlagen 1 t/m 3).

6.3 Vleihoogte-metingen.

Bij iedere overvloeiconfiguratie is de relatie debiet - vleihoogte gemeten. De vleihoogte is de hoogte van de waterstand in de hopper t.o.v. de overlaatrاند van de overvloeiker. De waterstand in de hopper werd gemeten m.b.v. een peilnaald, met 0,1 mm afleesnauwkeurigheid, in een aparte peilbuis naast de hopper.

De waterstand in de peilbuis was via een hevel gekoppeld aan de waterstand in het beun. De waterstand in de peilbuis is vrij stabiel, omdat snelle waterstandsvariatiën in de hopper door de weerstand van de slang worden uitgedempt. Een nadeel is dat het een paar minuten kan duren voor de waterstand in de peilbuis gelijk is aan die in de hopper bij debietveranderingen.

Bij de vleihoogtemetingen is als volgt te werk gegaan: Begonnen werd, bij een debiet van 0 l/sec, de 0-waterstand te bepalen. Dit leverde vaak problemen op, doordat enerzijds t.g.v. de oppervlaktespanning een meniscus van ongeveer 2 mm tegen de overlaatrاند bleef staan; anderzijds was er bij sommige overvloeiconfiguraties wat lekkage bij de koker-aansluitingen, omdat de kokers beweegbaar opgesteld waren. Al met al kan men bij de bepaling van de 0-waterstand een nauwkeurigheid van circa 2 mm verwachten.

Door vervolgens de afsluiter iedere keer een kwart slag verder open te draaien en debiet en vleihoogte te noteren, werd de onderlinge relatie gemeten. Deze debieten variëerden tussen de 1,5 en 5 liter/sec, hetgeen in het prototype zou betekenen tussen de 2,7 en de 9 m³/sec. Het standaard-debiet van de "Hendrik Zanen" is overigens 6 m³/sec.

6.4 Vervalmetingen.

Het doel van deze vervalmetingen was de diverse inbrengsystemen qua turbulentie-intensiteit met elkaar te kunnen vergelijken, en de afbraak-snelheid van extra, door de diffusie ingebrachte turbulentie over de lengte van het beun te kunnen bepalen. Het verhang is namelijk gekoppeld aan de turbulentie. De grote vraag is namelijk welk fenomeen de grootste turbulentie veroorzaakt. Is dat het inbrengsysteem of is dat de ruwheid van het beun zelf.

Door het verval te meten, vinden we een waarde voor het verhang i . Dit verhang levert een waarde voor de schuifspanning via : $\tau = \rho g h i$.

De schuifspanning τ levert anders geschreven een waarde voor de turbulente snelheden in twee richtingen u' en v' via : $\tau = \rho u'v'$

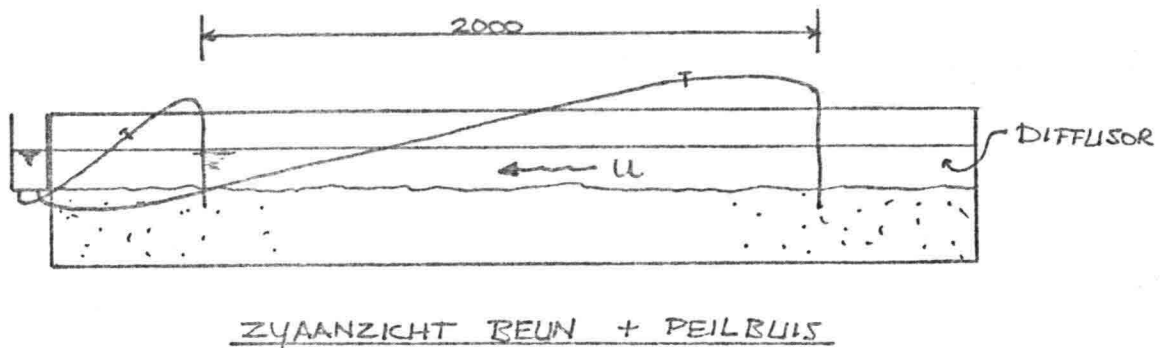
(Rouse, p.187)

In eerste instantie is getracht het verschil in waterniveau voor en achter in het beun te meten m.b.v. de eerder genoemde peilnaald. Hiertoe was de externe peilbuis aangesloten met twee slangen op een punt voor in het beun, en een punt achter in het beun.

Beide punten lagen buiten het verstoringgebied van enerzijds de diffusor, en anderzijds de overvloeikers, op een afstand van twee meter van elkaar. (Totale beunlengte in het model is drie meter.) Door nu om beurten de slangen met klemmen af te sluiten, werd het niveau voor en achter in het beun afgelezen.

De afleesnauwkeurigheid van de peilnaald bleek echter onvoldoende om de verschillen te meten. Het verhang heeft een orde van grootte van 10^{-4} à 10^{-5} . Dit levert over twee meter een verval van 0,2 à 0,02 [mm].

De afleesnauwkeurigheid van de peilnaald is 0,1 [mm], zodat van een verantwoorde wijze van vergelijken van verschillende inbrengsystemen geen sprake kon zijn.



figuur 6.1

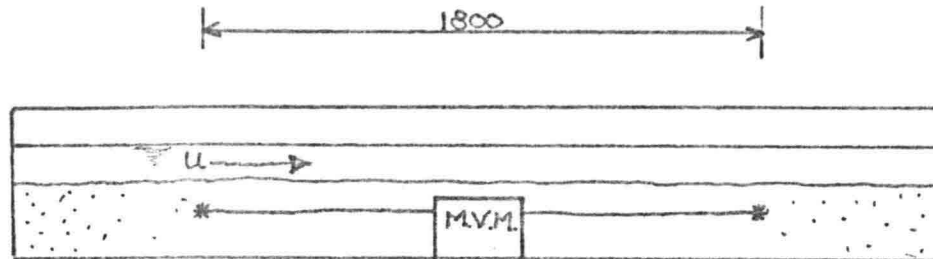
6.5 Microvervalmeter.

Gezien de moeilijkheden met de onnauwkeurigheid van de peilnaald, werd besloten de microvervalmeter in gebruik te nemen. Deze heeft een afleesnauwkeurigheid van 0,01 [mm].

De microvervalmeter werkt volgens het principe van twee peilbuizen met daarin drijvende glazen vlotter, waarop tevens een maatverdeling is aangebracht. Met behulp van lenzen worden beide maatverdelingen vergroot naast elkaar weergegeven op een matglazen afleesscherm, waarbij 1 [mm] waterstandsverschil, op dit scherm overeenkomt met 5 [cm]. Zo komt 0,01 [mm] waterstandsverschil, op het scherm overeen met 0,5 [mm].

Na het doen van verschillende metingen met deze microvervalmeter, bleken de gemeten resultaten niet geheel te kloppen met de verwachte resultaten. De oorzaak hiervan werd gezocht in het feit dat bij dergelijke minimale niveauverschillen de meetopstelling een belangrijke rol speelt. Bijvoorbeeld kleine temperatuurverschillen in de toevoerslangen geven direkt een verstoring. Ook de invloed van meer of minder opgeloste lucht in de slangen heeft invloed.

Besloten werd de toevoerslangen precies even lang te maken en te zorgen dat deze horizontaal naar de microvervalmeter geleid werden. Daartoe werden in de wand van het beun twee aansluitnippels gemaakt op een afstand van 1,80 [m] van elkaar.



ZYAANZICHT BEUN + AANSLUITING MICROVERVALMETER

figuur 6.2

Bij nieuwe metingen bleken de resultaten erg afhankelijk van de snelheidsverdeling over de breedte van het beun. Door plaatselijke snelheidsvariaties ten gevolge van het instroompatroon, zullen lokaal ten gevolge van de plaatselijk grotere snelheidshoogte, waterstandsverlagingen optreden, terwijl het zelfs niet zeker is dat de totale energiehoogte over de breedte constant is. Zonder verdere nogal gecompliceerde voorzorgen om energie- en drukhoogte over de breedte te middelen, blijkt de vervalmeter onvoldoende nauwkeurige resultaten op te leveren.

6.6 Micromolen.

De micromolen is, zoals de naam reeds suggereert, een klein molentje, waarmee stroomsnelheden kunnen worden gemeten. De molen heeft een diameter

gemeten? - ter grootte van ongeveer 1 cm.

Het principe is dat het aantal omwentelingen van het molentje elektronisch wordt geteld en omgezet in elektrische spanning. Deze elektrische spanning kan via een ijkformule worden omgerekend naar de stroomsnelheid.

6.6.1 Meting van de gemiddelde snelheid.

Omdat de stroomsnelheid niet constant is, maar fluctueert door de aanwezige turbulentie - dat is de op de gemiddelde snelheid gesuperponeerde snelheidsvariatie in alle richtingen -, is het gemeten signaal van de molen niet constant. Om nu toch de gemiddelde snelheid te vinden, is er een digitale teller aangesloten op het analoge spanningssignaal, die de fluctuerende spanning optelt gedurende een instelbare tijd.

Met het gegeven dat 1 Volt gedurende 1 seconde het getal 100 op de teller oplevert, kan ieder getal worden teruggerekend naar een spanning en die spanning naar een snelheid.

Een nadeel van de micromolen is dat bij zeer lage stroomsnelheden, van orde 1 tot 3 cm/sec, de wrijving van het molentje een te grote rol speelt om nog nauwkeurig snelheden te meten.

Een mogelijkheid om het signaal van de molen zichtbaar te maken, is het aansluiten van een schrijver met op een papierrol in lengterichting de tijd-as en in dwarsrichting het signaal. De schrijver werkt als een soort voltmeter, waarbij in dwarsrichting op de rol de spanning wordt weergegeven door een afstand t.o.v. de tijd-as. De gevoeligheid is instelbaar, zodat bij instelling van de juiste gevoeligheid - dat is een aantal Volts per cm - het fluctuerende signaal niet buiten het papier komt.

6.6.2 Meting van deturbulentie.

De tweede gebruiksmogelijkheid van de micromolen is het meten van de turbulentie in de stroomrichting. In het kort komt het er op neer de gemiddelde snelheid uit het micromolen-signaal weg te filteren en het overblijvende fluctuerende deel te kwadrateren m.b.v. een RMS-voltmeter (Root Mean Square). Het uitgangssignaal van deze RMS-meter blijkt tenslotte een redelijke vergelijkingsmaatstaf voor de invloed van diverse inlaatsystemen op de turbulentie in de hopper.

Het doel van deze turbulentiemetingen is niet alleen de invloed van de diverse inlaatsystemen op de turbulentie te kunnen vergelijken, maar ook het verloop van de turbulentie over de lengte van de hopper te kunnen bepalen. Dit laatste is belangrijk, omdat we hieruit een parameter ϵ vinden die de turbulentie vertegenwoordigt in het uitzakproces.

6.6.3 Vaststellen van de turbulentieschalen.

De moeilijkheid is precies te definiëren wat nog wel turbulentie is en wat niet meer. Grote tijdsafhankelijke variaties in de snelheid d.m.v. een soort macro-turbulentie met orde grootte van de beunbreedte en golfverschijnselen zowel in lengte- als dwarsrichting van het beun, hebben weliswaar invloed op het uitzakproces, maar behoren niet tot het begrip turbulentie, waaruit tenslotte de parameter ϵ wordt berekend. Daarom is het van belang de grenzen te definiëren, waarbinnen de snelheidsfluctuaties zullen worden meegenomen ter berekening van deze ϵ .

De bovengrens is in dit geval niet zo moeilijk aan te geven, omdat de micromolen door traagheid en grootte zelf als een filter werkt. Hele kleine wervels met orde grootte van 0,1 maal de molendiameter, worden niet weergegeven. Toch is het verstandig m.b.v. een filter alle signalen boven de bovengrens weg te filteren, omdat b.v. ruis in de apparatuur en andere hoogfrequente signalen toch nog een bepaalde energie vertegenwoordigen, die als schijnbare turbulentie wordt gemeten.

De grenzen zijn tenslotte als volgt gekozen:

- Ondergrens : 1 Hz
- Bovengrens : 20 Hz.

De gedachte hierachter is dat in een turbulentiespectrum de meeste energie wordt vertegenwoordigd door wervels ter grootte van 1/10 van de waterdiepte. De waterdiepte waarbij demetingen plaatsvonden was 10 cm.

De meest voorkomende wervelgrootte is dus ongeveer 1 cm. Er wordt nu arbitrair als bovengrens een twee keer zo grote wervelgrootte van 2 cm en als ondergrens een half keer zo grote wervel van 0,5 cm gesteld.

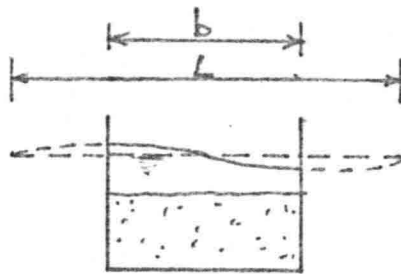
De gemiddelde snelheid is ongeveer 5 cm/sec. Ook hierbij wordt gesteld dat de snelheid in de bak kan variëren tussen een twee keer zo grote snelheid van 10 cm/sec en een half keer zo grote snelheid van 2,5 cm/sec. Wanneer een wervel de micromolen passeert, zal de molen een snelheidsfluctuatie weergeven gedurende een tijd Δt waarin de wervel de molen passeert. De tijdsduur Δt is in dit geval de periode T van de fluctuatie. De mogelijke frequenties $\frac{1}{T}$ van de fluctuaties kunnen nu globaal worden berekend.

Een wervel met een diameter van 2 cm, bij een gemiddelde snelheid van 2,5 cm/sec, passeert de molen in 0,8 seconde. Dit komt overeen met een snelheidsfluctuatie met een frequentie van $\frac{1}{0,8} = 1,25$ Hz.

Een wervel met een diameter van 0,5 cm, bij een gemiddelde snelheid van 10 cm/sec, passeert in 0,05 seconde. Dit komt overeen met een snelheidsfluctuatie met een frequentie van 20 Hz.

Op deze manier volgen uit de combinaties van de maxima en minima van resp. de gemiddelde snelheid en de diameter van de wervels, de grenzen voor de turbulentie.

De grootste staande golf die in dwarsrichting in de hopper kan voorkomen heeft een golflengte van twee maal de breedte van het beun.



DWARSDRSN BEUN + STAANDE GOLF

figuur 6.3

$$L = 2 \cdot 0,66 = 1,32 \text{ m.}$$

De golfvoortplantingssnelheid is: $\sqrt{ga} = \sqrt{10} \cdot 0,1 \approx 1 \text{ m/sec.}$

De periode bedraagt dan: $T = 1,32/1 = 1,32 \text{ sec.}$

Dit komt overeen met een frequentie van 0,76 Hz en ligt dus net onder de ondergrens.

Staannde golven met kleinere golflengten komen echter ook voor.

B.v. $L = 0,66 \rightarrow T = 0,66 \text{ sec} \rightarrow 1,5 \text{ Hz.}$ Deze moeten helaas worden geaccepteerd, omdat bij een eventueel hogere ondergrens van het filter te veel van de werkelijk aanwezige turbulentie niet meer meegemeten wordt. Het signaal dat het filter doorlaat ligt nu tussen 1 en 20 Hz, hetgeen betekent dat alle snelheidsfluctuaties met perioden tussen 1 en 1/20 sec van de micromolen worden doorgelaten door het filter. Dit signaal is een soort wisselspanning, met alle spanningsvariaties tussen 1 en 20 Hz op elkaar gesuperponeerd.

Omdat het gemiddelde van een wisselspanning nul is, passen we, om een waarde voor de tubulentie te vinden, de RMS-methode toe. Dat wil zeggen dat op ieder tijdstip de aanwezige uitwijking t.o.v. de 0-as wordt gekwadeerd, gesommeerd en gemiddeld. De wortel hieruit levert tenslotte het gemiddelde van de uitwijking. Zo is bijvoorbeeld de RMS-waarde van een zuivere sinus met maximale amplitude 1, $\frac{1}{2}\sqrt{2}$. Namelijk RMS betekent in dit geval:

$$\sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin^2 x} = \left[\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin^2 x \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \sqrt{2}.$$

Wanneer de snelheid samengesteld wordt gezien uit een gemiddelde snelheid \bar{u} en turbulente snelheid u' , dan kan voor de snelheid worden geschreven: $u = \bar{u} + u'$.

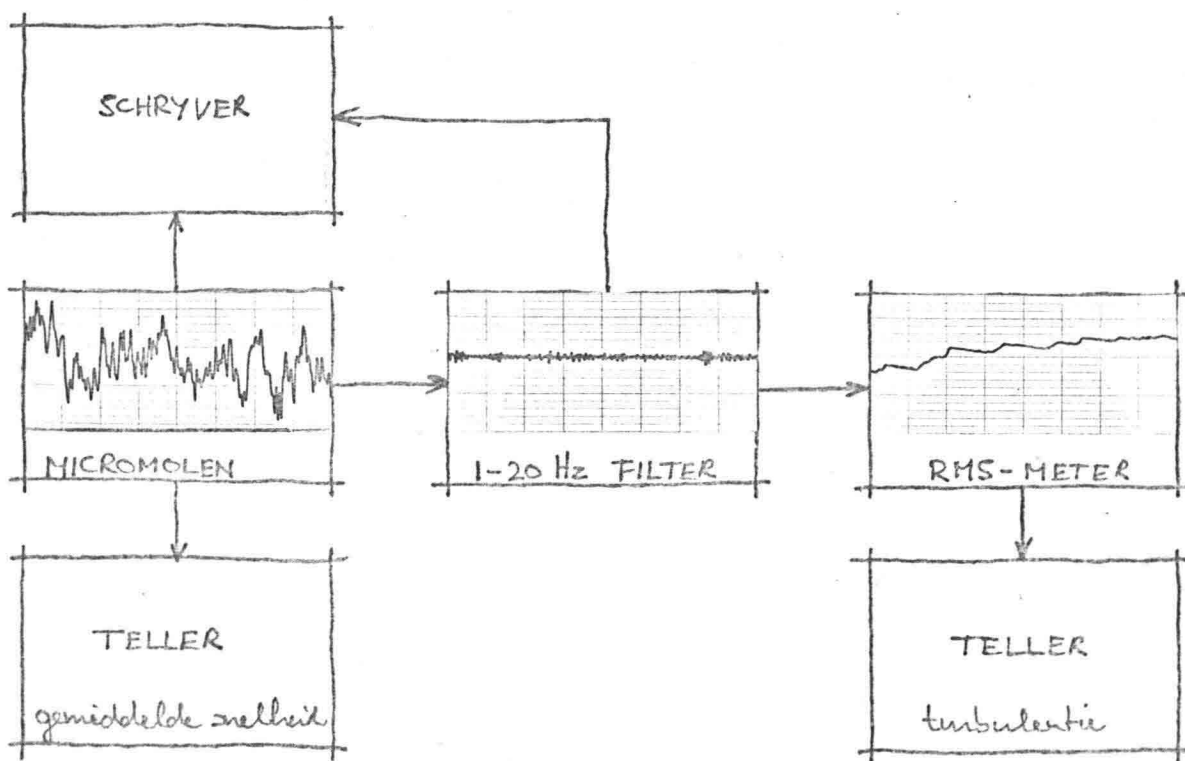
Door het gefilterde signaal van de molen tussen 1 en 20 Hz als uitgangssignaal te gebruiken voor de RMS-meter, verkrijgen we een uitgangssignaal, waaruit de waarde voor u' te berekenen is.

De RMS-meter zet de wisselspanning om in een gelijkspanning, die weer als ingangssignaal voor een digitale teller dient. Hiermee wordt het gemiddelde van de gelijkspanning berekend. Dit is nodig, omdat de turbulentie zelf ook geen constante is in de tijd op een bepaalde plaats. De RMS-meter heeft een instelbare tijdconstante, waarmee de tijd kan worden ingesteld over welke de RMS-waarde moet worden berekend. Hoe langer de tijdconstante, b.v. 30 à 100 sec, hoe kleiner de schommelingen in de RMS-waarde. Echter bij de metingen heeft een grote tijdconstante het nadeel dat het te lang duurt voordat de RMS-meter zich op een ander meetpunt weer heeft ingesteld. Dit duurt b.v. bij een tijdconstante van 30 sec reeds 150 sec. Daarom is bij de metingen de tijdconstante steeds op 10 sec gezet. Bovendien werkt de RMS-meter zelf als een ondergrens-filter. Bij een tijdconstante van 100 sec is dat 10 Hz, bij 30 sec 3 Hz en bij 10 sec 1 Hz.

De RMS-voltmeter zelf heeft twee mogelijke uitgangssignalen: RMS en MS. Waarbij de RMS-waarde de wortel is uit de MS-waarde.

Bij dit onderzoek is de MS-uitgang gebruikt. Deze is dan een maat voor $(u')^2$. De wortel uit deze MS-waarde is dan een maat voor u' .

Verwerking micromolen-signaal in diagramvorm:

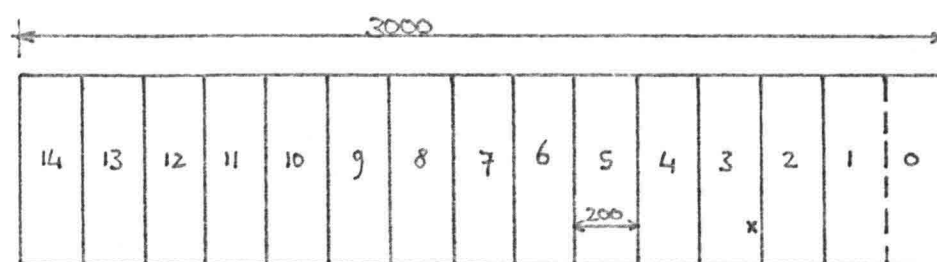


Figuur 6.4

6.6.4 Meetpunten van de micromolen.

Met de micromolen zijn metingen verricht, waarbij de molen in drie verschillende dimensies kon worden verplaatst. Om de meetresultaten te kunnen vergelijken, is met vaste coördinaten gewerkt, zowel in de lengte, breedte als in de hoogte.

Wanneer metingen over de lengte zijn verricht, wordt dit aangegeven met vaknummers. De verdeling van de vakken wordt gemarkeerd door de dekbalken. In het model zijn 12 dekbalken gemonteerd met h.o.h. afstanden van 20 cm.



BOVENAANZICHT BEUN + DEKBALKEN + VAKNUMMERS

figuur 6.4

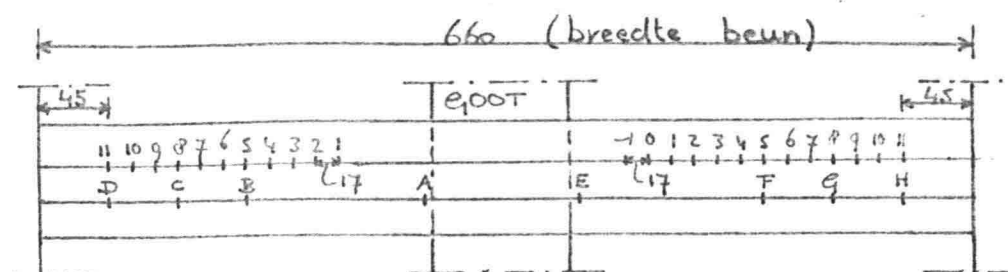
Tussen vak 0 en 1 is geen dekbalk aanwezig, maar omdat de afstand tussen achterschot en de 1e dekbalk ongeveer 40 cm is, is dit vak door een denkbeeldige dekbalk - streeplijn - in twee vakken verdeeld.

De metingen zijn in alle vakken circa 1 cm voor de achterste dekbalk verricht (zie b.v. kruisje in figuur 6.4).

Metingen over de breedte hebben op twee manieren plaatsgevonden. Zeer gedetailleerde metingen werden op afstanden van 1,7 cm van elkaar verricht. Daarvoor zijn markeringen op de meetbrug aangebracht, die aan beide zijden genummerd zijn van 1 t/m 11. Aan stuurboordzijde zelfs van - 1 t/m 11, t.g.v. de asymmetrische vorm van de micromolenhouder.

In het midden ontbreken meetpunten t.g.v. de aanwezigheid van de inlaatgoot.

Minder uitgebreide metingen werden op 8 verschillende breedtepunten verricht. Deze werden aan stuurboordzijde E t/m G resp. aan bakboordzijde A t/m D genoemd. De meetpunten zijn als volgt gesitueerd.



MEETPUNTEN MICROMOLEN OVER BREEDTE BEAM

figuur 6.5

De klepstangen en de verbanddelen zijn gesitueerd tussen 0 en 3.
A en E liggen bijna tegen de inlaatgoot, D en H tegen het hoekprofiel van het model.

Metingen over de hoogte zijn volgens een schaalverdeling op de molenhouder en ook veelal op het oog gedaan. De metingen over de breedte resp. de lengte zijn alle gedaan met de molen op halve waterdiepte.

Om de snelheidsverdeling over de breedte en in de hoogte zichtbaar te maken, werd van de volgende methoden gebruik gemaakt:

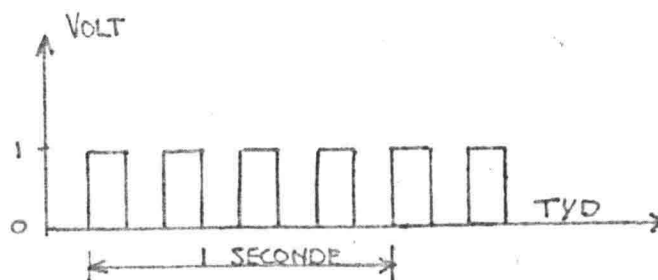
- Waterstofbellentechniek
- Kleurstof.

6.7 Waterstofbellentechniek.

Hierbij wordt gebruik gemaakt van het elektrolyse-principe. Tussen twee polen - de anode en de kathode - wordt een gelijkspanning gezet. Aan de anode komt waterstof vrij en aan de kathode zuurstof. Door nu voor de anode een dunne roestvrijstalen snaar te nemen - \emptyset 0,15 mm - worden over de gehele lengte van de snaar, onder het wateroppervlak, kleine waterstofbelletjes gevormd, waarvan de stijgsnelheid in relatie tot de snelheid van het water zeer klein is. De belletjes worden door de stroming meegevoerd en maken zodoende de stroming achter de snaar zichtbaar.

Het wordt nog duidelijker, wanneer i.p.v. een continue gelijkspanning een pulspanning met een variabele frequentie wordt gebruikt. In dat geval ontstaan achter de snaar verticale stroken van waterstofbelletjes, afgewisseld door stroken helder water. De mate van verstrooiing c.q. het aantal stroken dat direct achter de snaar nog te onderscheiden is, geeft in dit geval een maat voor de turbulentie-intensiteit.

De stroomsnelheid kan uit de bandbreedte worden berekend en wel op de volgende manier: Stel de puls-frequentie is 4 Hz. Het spanningsverloop is dan als volgt:



figuur 6.6.

Eén spanningspuls duurt dan $1/8$ seconde.

Als nu de breedte van één strook 0,5 cm is, dan is de stroomsnelheid :

$$0,5 \text{ cm} / \frac{1}{8} \text{ seconde} = 40 \text{ cm/sec.}$$

Dus door foto's te nemen en de strookbreedte op te meten, kunnen de stroomsnelheden berekend, alsmede de snelheidsprofielen over de vertikaal bepaald worden.

De waterstofbelletjes mogen niet te groot zijn, omdat deze dan te snel stijgen. Immers, de opwaartse kracht is evenredig met de inhoud, dus R^3 , terwijl de weerstand evenredig is met de oppervlakte, dus R^2 . De resulterende vertikale stijgkracht is dus evenredig met R . De grootte van de belletjes is afhankelijk van de loslaatsnelheid en de elektrische spanning. Door een instelbare spanningsbron te gebruiken, kan de juiste spanning bij een bepaalde stroomsnelheid worden gezocht. In het onderhavige geval bleek dat ≈ 30 Volt te zijn.

Verder is uit de proeven gebleken dat deze methode alleen bruikbaar is bij stroomsnelheden rond de 5 cm/sec. Bij lagere snelheden laten de belletjes niet meer los. Bij snelheden hoger dan ongeveer 10 cm/sec zijn de bellobanen bijna niet meer waar te nemen vanwege de turbulente diffusie.

6.8 Kleurstof.

Een andere methode om de stroming zichtbaar te maken, is met behulp van kleurstof. Daartoe is kaliumpermanganaat gebruikt. In formulevorm: KMnO_4 . Dit gebruikte zout, bestaande uit paarse kristallen, geeft in water opgelost een dieppaarse kleurvloeistof. Met deze kleurstof is het mogelijk de stroming op grotere schaal te bekijken. Bijvoorbeeld of de stroomsnelheid aan bakboord in de hopper groter is dan aan stuurboord. Ook dode hoeken, waar het water stilstaat, worden hiermee ontdekt.

In kristalvorm kan het kaliumpermanganaat ook worden gebruikt om wervels aan te tonen. Op de bodem gestrooide kristallen lossen namelijk langzaam op en zijn daardoor kleine kleurvloeistof-bronnen. Wanneer nu een wervel optreedt, zuigt deze als een tornado alle kleurvloeistof in de omgeving van de bodem op en maakt zichzelf op die manier duidelijk zichtbaar.

7. Overvloeiconfiguraties

7.1 Overlaatprincipe.

Alle geteste overvloeiconfiguraties werken volgens het principe van de volkomen overlaat. Hierbij is op de overvloeirand sprake van superkritische stroming, waarbij verstoringen benedenstrooms van deze rand bovenstrooms niet doordringen.

Het voordeel van de volkomen overlaat is dat bij een gegeven afvoer de vleihoogte minimaal is. De vleihoogte is de hoogte van de waterstand in het beun t.o.v. de rand van de overvloeikoker.

Voor de volkomen overlaat geldt de volgende afvoerformule:

$$q = m \cdot \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} g} \cdot H^{3/2} \quad (\text{M.de Vries, b71, p.120})$$

m = afvoercoëfficiënt

q = debiet per eenheid van breedte

H = energiehoogte.

Voor het model geldt:

$$H = a + \frac{u^2}{2g} = 0,10 + \frac{0,051^2}{2 \cdot 9,8} = 0,10 + 1,33 \cdot 10^{-4} \approx 0,10 \text{ [m]}$$

Bij een vleihoogte van circa 2 cm is de snelheidshoogte nog geen 1% van de vleihoogte. Voor de afvoerformule kan dus worden geschreven:

$$q = m \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2}{3} g} \cdot H^{3/2} \approx m \cdot \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} g} \cdot h_1^{3/2}$$

h₁ = vleihoogte

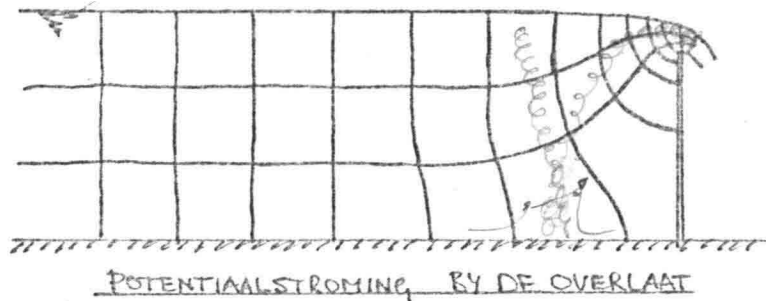
x In de afvoercoëfficiënt m wordt de invloed van wrijving en contractie verdisconteerd. Een waarde m = 1,35 kan als een maximum worden beschouwd. Bij de vleihoogtemetingen is de constante:

$$m \cdot \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} g} = 0,54 \text{ m}$$

bepaald.

7.2 Verklaring voor het ontstaan der wervels.

Voordat het water door de overlaat verdwijnt, wordt het eerst versneld. M.b.v. de potentiaaltheorie kan worden berekend hoe groot en in welke richting die versnelling is. Door in een doorsnede een netwerk van stroomlijnen te schetsen, kan een schatting van het versnellingsgebied worden gemaakt. Met behulp van de waterstofbellen-techniek kunnen de schattingen worden getoetst.



figuur 7.1

Wanneer nu naar het versnellingsgebied toe een aanvoer van rotatie-energie om de vertikaal, door b.v. wandwrijving of von Kármán-wervels t.g.v. een hindernis in de stroming, plaatsvindt, zal deze op een bepaald tijdstip een hoeveelheid rotatie-energie bezitten ter grootte van:
 $E = \frac{1}{2} J \omega^2$. (J is het traagheidsmoment.) Met $J = \frac{1}{2} M r^2$ levert dit:
 $E = \frac{1}{4} M r^2 \omega^2$. [Joule]. Hierbij is de rotatie voorgesteld als een om de vertikaal draaiende cylinder met massa M en straal r. Doordat deze draaiende hoeveelheid water naar boven wordt afgezogen in het versnellingsgebied, moet dezelfde rotatie-energie zich verdelen over een langere, smallere cylinder met dezelfde massa. Een afname van de straal heeft nu onmiddellijk een even grote toename van de rotatiesnelheid ω tot gevolg. Namelijk:

$$E_1 = E_2 \leftrightarrow$$

$$\leftrightarrow \frac{1}{4} M r_1^2 \omega_1^2 = \frac{1}{4} M r_2^2 \omega_2^2 \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{r_1}{r_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

Door de toename van de rotatiesnelheid in deze ontstane wervel neemt de druk af. De wervel werkt nu als een cycloon en zuigt water uit z'n omgeving naar zich toe. Dit fenomeen is zichtbaar in het model, omdat alle kleurstof uit de directe omgeving door de wervel wordt aangezogen.

aan de bodem

Elke overvloeiconfiguratie, waarbij wervels optraden, bleek eigen, specifieke, locaties voor de wervels te hebben. Hieruit mag worden geconcludeerd dat de wervels niet ontstaan door de algemene vorticeiteit van water, maar een duidelijk aanwijsbare oorzaak hebben. In het voorgaande is reeds verondersteld dat rotatie-energie om de vertikaal aanleiding tot wervelvorming geeft. Dergelijke rotatie-energie kan op verschillende manieren ontstaan:

- Tengevolge van stroming langs een ~~vertikale~~ wand.
- Tengevolge van stroming om verticale obstakels (Von Kármán-wervelstraat).
- Tengevolge van kleine neerstromingen.

De invloed van de wervels op de beladingsgraad van de hopper is moeilijk aan te geven. Bij enkele overvloeiconfiguraties waren de wervels zo sterk dat korrels van de bodem werden opgepikt en soms zelfs door de koker verdwenen (zie foto 8). Het bodemmateriaal bestond uit zand met een D_{50} van 1,7 [mm] . (Op prototype-schaal ≈ 34 mm.) Ook na het kunstmatig vormen van een kuil ter plaatse van de wervel bleef de wervel, met op het oog, dezelfde intensiteit voortbestaan.

In totaal zijn vijf overvloeiconfiguraties getest:

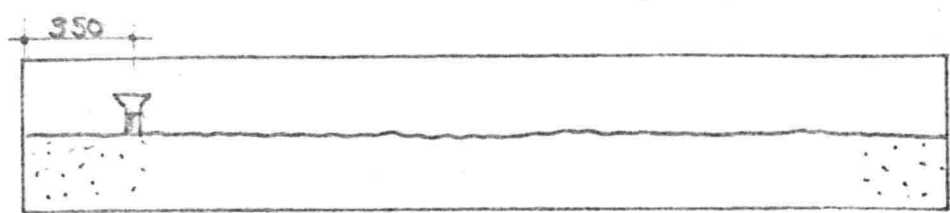
- I - Twee ronde overvloeien aan de zijkant, zoals tegenwoordig op de "Hendrik Zanen" aanwezig.
- II - Halfronde overlaat aan het eind.
- III - Een rechte overlaat aan het eind.
- IV - Een rechte overlaat aan het eind in langsricting.
- V - Twee rechte overlanten in de zijwanden.
(Oude systeem "Hendrik Zanen.")

Bij elke configuratie is gekeken naar:

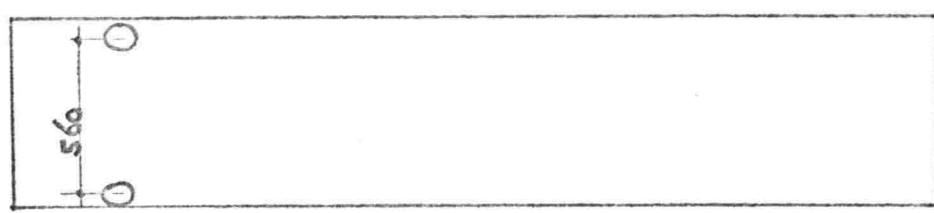
- Wervelvorming.
- Slingergevoeligheid.
- Invloed op de stroming.
- Relatie debiet - vleihoogte.

7.3 I Twee ronde overvloeiën aan de zijkanten.

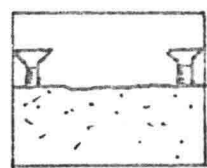
Positie:



ZYAAANZICHT BEUN

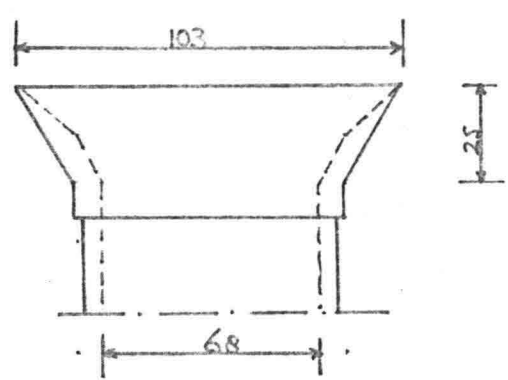


BOVENAANZICHT BEUN

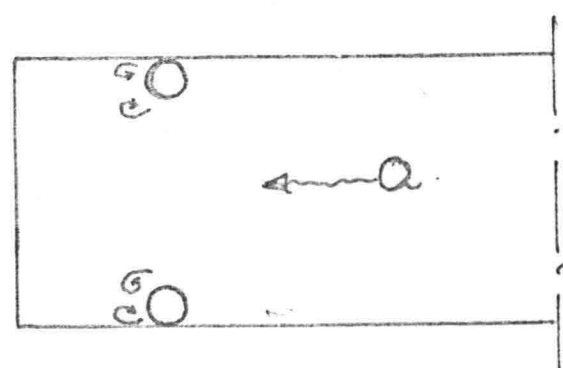


VOORAANZICHT BEUN

Afmetingen:



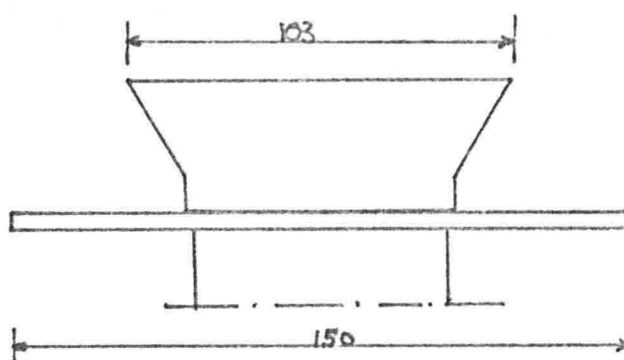
Wervelvorming: Bij iedere koker ontstonden op twee plaatsen wervels:
(draairichting zoals aangegeven)



Hierbij waren de wervels 2 en 3 bijna continu aanwezig, terwijl de wervels 1 en 4 veel minder frequent aanwezig waren. De intensiteit van 2 en 3 was ook duidelijk groter dan die van 1 en 4, blijkens het feit dat alleen bij 2 en 3 zandkorrels opgepikt werden.

Ook na kunstmatige kuilvorming rondom één koker ter diepte van ongeveer 10 cm bleef wervel 3 even krachtig aanwezig. Fijn zand met een D_{50} van 150μ werd direct door de wervels meegezogen in de koker.

Het monteren van een kraag om de koker met een diameter van 15 [cm], leverde geen zichtbare resultaten.

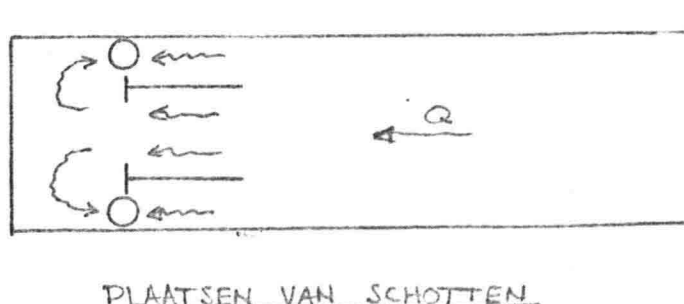


De wervels 2 en 3 gaan met een boog om de kraag heen. Ook het plaatsen van verticale schotten leverde in eerste instantie niet de gewenste resultaten. De wervelvorming werd in sommige gevallen zelfs versterkt.

De oorzaak van de wervelvorming bij deze configuratie moet, gezien de lokatie van de wervels, liggen in het feit dat achter de koker von Kármán-wervels optreden, tengevolge van de doorschietende stroming langs de koker.

Bij afsluiten van de ruimte tussen de zijwand en de koker blijkt dan ook dat wervel 1 en 4 niet meer optreden.

In later stadium bleek het op een juistemanier plaatsen van verticale schotten toch succes te hebben. Uitgaande van de redenering dat de stroming langs de kokers de oorzaak van de wervelvorming was, werden de schotjes zo geplaatst dat de kokers meer symmetrisch aangestroomd zouden worden:



PLAATSEN VAN SCHOTTEN.

Bij verder onderzoek zullen de juiste afmetingen van de schotten nader worden bepaald.

Slingergevoeligheid: De slingergevoeligheid van de diverse overvloei-configuraties, t.g.v. slingering van de zuiger bij ruw weer, is moeilijk in rendementsverlies aan te geven.

Het is echter wel mogelijk de slingergevoeligheid van de configuraties onderling te vergelijken. Bij deze configuratie is getracht met behulp van een slingerschot, ter lengte van het beun, slingering in het beun te simuleren door een staande golf op te wekken. Wezenlijke verschillen zijn daarbij echter niet geconstateerd. Wel kan men stellen dat de gevoeligheid voor dwarsslingering toeneemt met de afstand van de overvloei tot de lengte-as van het schip. Bij deze twee ronde overvloeiën is de gevoeligheid dus groot.

Stromingsinvloed : De effectieve lengte van het beun geeft de afstand weer, vanaf de diffusor, over welke het sediment gelegenheid heeft tot bezinken. De eindgrens van deze lengte wordt bepaald door het begin van het versnellingsgebied bij de overvloei. Verondersteld wordt dat sediment in suspensie eenmaal voorbij deze grens door de overvloei wordt afgezogen. Het komt er dus op neer dat achter deze grens geen sediment meer uitzakt.

Het quotiënt van de effectieve lengte en de totale beunlengte is dus mede van invloed op het hopperrendement. Indien de effectieve lengte veel korter is dan de totale beunlengte, ontstaan er dode hoeken in het beun waar het mengsel niet of nauwelijks doorstroomt. Bij deze configuratie bleek de doorstroming tussen de kokers door naar achteren vrij matig te zijn. Het meeste water werd direct door de kokers afgezogen zonder een omweg te maken via de achterwand.

Het versnellingsgebied begint in model ongeveer 20 cm voor de koker, hetgeen met waterstofbellen-techniek en foto's is vastgelegd.



STROOMLYNENPATROON + GRENS EFFECTIEVE LENGTE

- De grens van de effectieve lengte is met een streep-lijn aangegeven.
- Achter deze lijn bevindt zich een "bijna dood gebied", waar het water zeer langzaam stroomt.

Relatie debiet-vleihoogte.

Afvoerformule: $q = m \cdot \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}g} h_1^{3/2} \rightarrow$

$Q \cdot B^{-1} \cdot g^{-\frac{1}{2}} \cdot h_1^{-3/2} = 0,54 \cdot m$

Overvloeilengte B is in dit geval:

$2\pi D = 2 \cdot \pi \cdot 10,4 = 65,4 \text{ [cm]}$

Δh $\times 10^{-2} \text{ [m]}$	h $\times 10^{-2} \text{ [m]}$	h_1 $\times 10^{-2} \text{ [m]}$	Q $\times 10^{-3} \text{ [m}^3/\text{sec]}$	$Q \cdot B^{-1} \cdot g^{-\frac{1}{2}}$ $\text{[m}^{3/2}\text{]}$	$h_1^{3/2}$ $\text{[m}^{3/2}\text{]}$	0,54 m -
0	19,97	0	0	0	0	-
8,4	21,05	1,08	1,70	$8,3 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	0,74
15,9	21,28	1,31	2,33	$1,1 \cdot 10^{-3}$	1,5 "	0,76
20,8	21,40	1,43	2,67	1,3 "	1,7 "	0,77
34,2	21,66	1,69	3,42	1,7 "	2,2 "	0,76
51,1	21,93	1,96	4,16	2,0 "	2,7 "	0,75
67,0	22,12	2,15	4,75	2,3 "	3,2 "	0,73

Gemiddeld: $0,54 \text{ m} = 0,75 \rightarrow m = 1,39$

Standaardafwijking : 0,01

Een tweede meting leverde:

Δh $\times 10^{-2} \text{ [m]}$	h $\times 10^{-2} \text{ [m]}$	h_1 $\times 10^{-2} \text{ [m]}$	Q $\times 10^{-3} \text{ [m}^3/\text{sec]}$	$Q \cdot B^{-1} \cdot g^{-\frac{1}{2}}$ $\text{[m}^{3/2}\text{]}$	$h_1^{3/2}$ $\text{[m}^{3/2}\text{]}$	0,54 m -
0	18,80	0	0	0	0	-
8,0	19,83	1,03	1,65	$8,1 \cdot 10^{-4}$	$1,05 \cdot 10^{-3}$	0,78
10,9	19,93	1,13	1,92	$9,4 \cdot 10^{-4}$	1,20 "	0,78
15,9	20,08	1,28	2,32	$1,1 \cdot 10^{-3}$	1,45 "	0,76
22,3	20,25	1,45	2,75	$1,3 \cdot 10^{-3}$	1,75 "	0,74
29,0	20,37	1,57	3,15	1,5 "	1,97 "	0,76
42,0	20,55	1,75	3,80	1,9 "	2,32 "	0,82
52,8	20,77	1,97	4,25	2,1 "	2,77 "	0,76
62,5	20,91	2,11	4,60	2,2 "	3,06 "	0,72
72,9	20,99	2,19	4,95	2,4 "	3,24 "	0,74

Gemiddeld: 0,54 m = 0,76 → m = 1,41

Standaardafwijking : 0,03

Meting met één koker:

Overlaatlengte B = 32,7 cm

Δh $\times 10^{-2}$ [m]	h $\times 10^{-2}$ [m]	h_1 $\times 10^{-2}$ [m]	Q $\times 10^{-3}$ [m ³ /sec]	$Q \cdot B^{-1} \cdot g^{-\frac{1}{2}}$ [m ^{3/2}]	$h_1^{3/2}$ [m ^{3/2}]	0,54 m -
0	21,26	0	0	0	0	-
6,9	22,90	1,64	1,55	$1,51 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10 \cdot 10^{-3}$	0,72
11,1	23,19	1,93	1,95	1,90 "	2,68 "	0,71
15,0	23,36	2,10	2,27	2,22 "	3,04 "	0,73
19,2	23,54	2,28	2,56	2,50 "	3,44 "	0,73
23,6	23,70	2,44	2,84	2,77 "	3,81 "	0,73
29,1	23,88	2,62	3,15	3,08 "	4,24 "	0,73
33,3	24,53	3,27	3,37	3,29 "	5,91 "	0,56

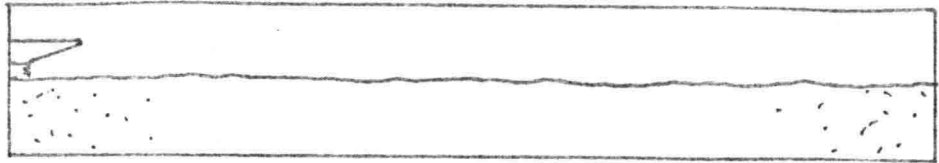
Gemiddeld: 0,54 m = 0,73 → m = 1,35

Standaardafwijking : 0,01

Bij de laatste meetwaarde $\Delta h = 33,3$ was de overlaat gestuwd.

7.4 II De halfronde overlaat aan het eind.

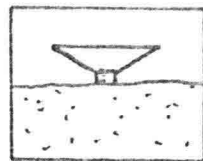
Positie:



ZYAAANZICHT BEUN

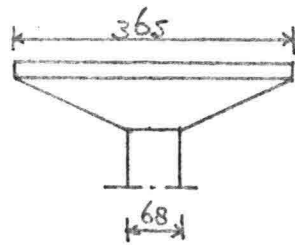


BOVENAANZICHT BEUN

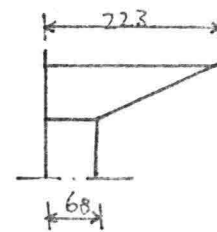


VOORAANZICHT BEUN

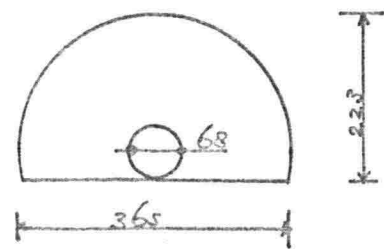
Afmeting:



VOORAANZICHT



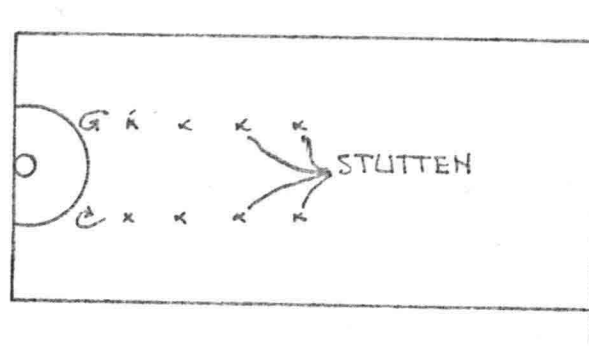
ZYAAANZICHT



BOVENAANZICHT

Wervelvorming:

Bij de halfronde overlaat ontstonden op twee specifieke plaatsen krachtige wervels, namelijk in het verlengde



WERVELVORMING

van de klepstangen en verbanddelen.

Kennelijk werden deze wervels dan ook veroorzaakt door de wervelstraat achter deze stutten.

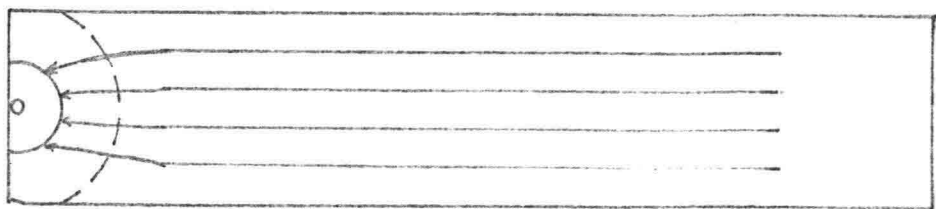
De wervels waren bijna continu aanwezig en waren in staat grof zand - $D_{50} = 1,7$ mm op te wervelen.

Slingergevoeligheid:

Aangezien het hart van deze overvloei op de lengte-as van het schip gelegen is en de overvloeirand niet meer dan de straal van de overvloei van deze as is verwijderd, is deze configuratie weinig slingergevoelig.

Stromingsinvloed:

De aanstroming naar deze overlaat is zeer gelijkmatig verdeeld over de breedte. Slechts in de directe omgeving van de overlaat buigen de stroomlijnen af naar het centrum. De effectieve lengte van het beun is dan ook groot te noemen.



BOVENAANZICHT STROOMLIJNEN + EFF. LENGTE

Een klein nadeel vormt het ontstaan van dode hoeken. Deze zijn echter zo klein dat ze van weinig betekenis zullen zijn.

Relatie debiet-vleihoogte

Overlaatlengte B = 65 [cm]

Δh $\times 10^{-2}$ [m]	h $\times 10^{-2}$ [m]	h_1 $\times 10^{-2}$ [m]	Q $\times 10^{-3}$ [m ³ /sec]	$Q \cdot B^{-1} \cdot g^{-\frac{1}{2}}$ [m ^{3/2}]	$h_1^{3/2}$ [m ^{3/2}]	0,54 m -
0	22,63	0	0	0	0	-
6,6	23,82	1,19	1,51	$7,42 \cdot 10^{-4}$	$1,30 \cdot 10^{-3}$	0,57
10,1	24,0	1,37	1,87	$9,19 \cdot 10^{-4}$	$1,60 \cdot 10^{-3}$	0,57
14,6	24,21	1,58	2,23	$1,10 \cdot 10^{-3}$	$1,79 \cdot 10^{-3}$	0,55
19,5	24,36	1,73	2,58	$1,27 \cdot 10^{-3}$	$2,28 \cdot 10^{-3}$	0,56
23,1	24,46	1,83	2,81	$4,38 \cdot 10^{-3}$	$2,48 \cdot 10^{-3}$	0,56
28,8	24,60	1,97	3,14	$1,54 \cdot 10^{-3}$	$2,77 \cdot 10^{-3}$	0,56
34,9	24,74	2,11	3,44	$1,69 \cdot 10^{-3}$	$3,06 \cdot 10^{-3}$	0,55
47,0	24,94	2,31	3,99	$1,96 \cdot 10^{-3}$	$3,51 \cdot 10^{-3}$	0,56
58,6	25,16	2,53	4,46	$2,19 \cdot 10^{-3}$	$4,02 \cdot 10^{-3}$	0,54
71,0	25,29	2,66	4,90	$2,41 \cdot 10^{-3}$	$4,34 \cdot 10^{-3}$	0,56

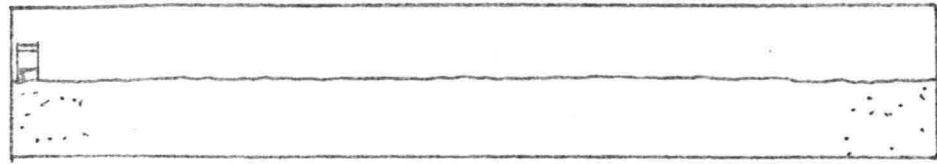
Gemiddeld: 0,54 m = 0,56 → m = 1,04

Standaardafwijking : 0,01.

Opmerking: Aangezien de overlaat niet perfect horizontaal was, werd de 0-stand gekozen bij een zeer klein debiet, waarbij over de helft van de overlaatlengte water stroomde.

7.5 III Een rechte overlaat aan het eind.

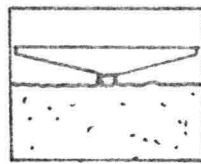
Positie:



ZYAAANZICHT BEUN



BOVENAANZICHT BEUN

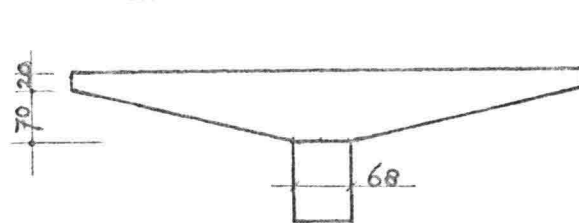


VOORAANZICHT BEUN

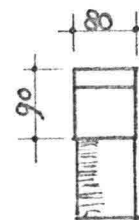
Afmetingen:



BOVENAANZICHT

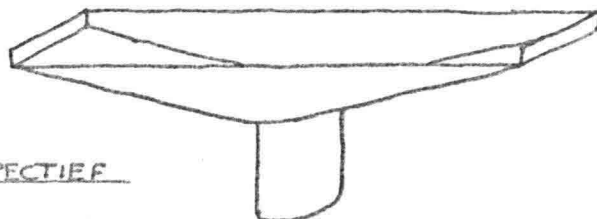


VOORAANZICHT



ZYAAANZICHT

Perspectief:



PERSPECTIEF

Wervelvorming:

Bij deze overlaat ontstonden op vier specifieke plaatsen wervels. Deze wervels waren echter beslist niet krachtig en traden slechts sporadisch op. Ongeveer gedurende de helft van de observatietijd waren wervels aanwezig. Vier wervels tegelijkertijd is geen enkele maal geconstateerd.



De wervels 1 en 4 ontstaan waarschijnlijk t.g.v. stroming langs de wand. De draairichting was dan ook steeds zoals in de figuur aangegeven.

De wervels 2 en 3 vinden hun oorsprong kennelijk in de wervelstraat t.g.v. de stutten. Zowel bij 2 als bij 3 kwamen twee verschillende draairichtingen voor.

Met behulp van de micromolen is de turbulentie gemeten over de breedte, ter plaatse van de wervels, en in de tussenliggende gebieden. Dit is zowel met als zonder stutten gedaan.

De uitwerking van deze metingen toont duidelijk de pieken in turbulentie dicht bij de wand en vlak achter de stutten.

Na verwijderen van de stutten blijken alleen pieken te ontstaan bij de wanden (bijlagen 7 en 8).

Getracht is door middel van een stroomgeleidingsplaat aan de overvloeirand de wervels te voorkomen.



Het resultaat bleek nihil te zijn. De invloed op de vlei-
hoogte is niet onderzocht.

Er zijn ook proeven gedaan, waarbij door middel van turbulen-
tiemetingen de afstand achter een stut werd bepaald waar geen
turbulentiepiek meer werd gemeten. Dit om te zien hoever
de wervelstraat achter de stut nog merkbaar is.

Deze proeven zijn gedaan rond de plaats van de wervel, door
op vijf punten met onderlinge afstand van 1,7 [cm] , de
turbulentie te meten. Na deze vijf punten gemeten te hebben
werd één stut, de laatste, weggehaald. Na opnieuw de vijf
punten doorgemeten te hebben, werd de volgende stut ver-
wijderd enz.

Nadat vier opeenvolgende stutten, twee klepstangen en twee
verbanddelen, waren verwijderd, werd ook nog een meting
verricht waarbij alle stutten over de hele lengte waren
verwijderd.

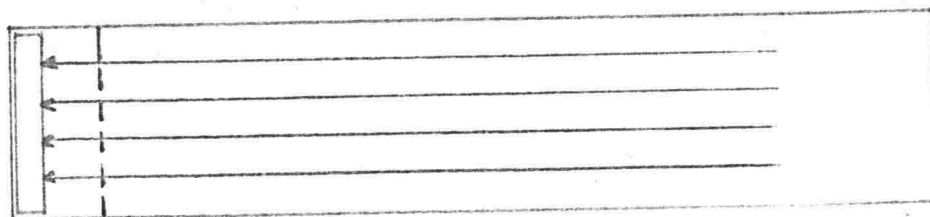
Uit de proeven blijkt dat de wervelstraat twee à drie
stutafstanden - van 10 cm - nodig heeft om te dissiperen
(zie bijlage 6).

Slingergevoeligheid:

Deze is in dit geval weer iets groter dan bij de halfronde
overlaat.

Stromingsinvloed:

De aanstroming is bij deze overlaat het meest ideaal. De
stroomlijnen zijn recht en er treden geen dode hoeken op.
De effectieve lengte is dan ook maximaal.



BOVENAANZICHTSTROOMLIJNEN + EFF. LENGTE

Relatie debiet-vleihoogte.

Meting met stroomgeleidingsplaat.

Overlaatlengte: $B = [66,5]$ cm

Δh $\times 10^{-2}$ [m]	h $\times 10^{-2}$ [m]	h_1 $\times 10^{-2}$ [m]	Q $\times 10^{-3}$ [m ³ /sec]	$Q \cdot B^{-1} \cdot g^{-\frac{1}{2}}$ [m ^{3/2}]	$h_1^{3/2}$ [m ^{3/2}]	0,54 m -
0	22,50	0	0	0	0	-
7,2	23,62	1,12	1,55	$0,74 \cdot 10^{-3}$	$1,19 \cdot 10^{-3}$	0,63
11,0	23,80	1,30	1,94	$0,93 \cdot 10^{-3}$	$1,48 \cdot 10^{-3}$	0,63
14,2	23,90	1,40	2,22	$1,07 \cdot 10^{-3}$	$1,66 \cdot 10^{-3}$	0,64
16,9	24,0	1,50	2,42	$1,16 \cdot 10^{-3}$	$1,84 \cdot 10^{-3}$	0,63
20,7	24,13	1,63	2,66	$1,28 \cdot 10^{-3}$	$2,08 \cdot 10^{-3}$	0,61
25,5	24,21	1,71	2,95	$1,42 \cdot 10^{-3}$	$2,24 \cdot 10^{-3}$	0,63
31,0	24,34	1,84	3,25	$1,56 \cdot 10^{-3}$	$2,50 \cdot 10^{-3}$	0,62
38,5	24,47	1,97	3,62	$1,74 \cdot 10^{-3}$	$2,77 \cdot 10^{-3}$	0,63
46,0	24,56	2,06	3,95	$1,90 \cdot 10^{-3}$	$2,96 \cdot 10^{-3}$	0,64
55,5	24,67	2,17	4,33	$2,08 \cdot 10^{-3}$	$3,20 \cdot 10^{-3}$	0,65
68,5	24,81	2,31	4,81	$2,31 \cdot 10^{-3}$	$3,51 \cdot 10^{-3}$	0,66
80,0	24,95	2,45	5,20	$2,50 \cdot 10^{-3}$	$3,83 \cdot 10^{-3}$	0,65

Gemiddeld: $0,54 \text{ m} = 0,64 \rightarrow \text{m} = 1,10$

Standaardafwijking : 0,01

Nogmaals, nu met de 0-stand gemeten terwijl over de helft van overvloeilengte water stroomde.

Dit als gevolg van het feit dat de koker iets scheef stond; ongeveer 7 mm hoogteverschil tussen links en rechts.

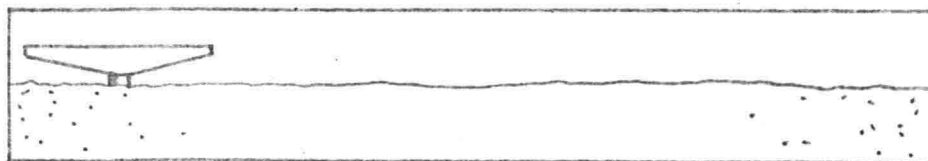
Δh $\times 10^{-2}$ [m]	h $\times 10^{-2}$ [m]	h_1 $\times 10^{-2}$ [m]	Q $\times 10^{-3}$ [m ³ /sec]	$Q \cdot B^{-1} \cdot g^{-\frac{1}{2}}$ [m ^{3/2}]	$h_1^{3/2}$ [m ^{3/2}]	0,54 m -
0	22,54	0	0	0	0	-
7,5	23,63	1,09	1,59	$0,76 \cdot 10^{-3}$	$1,14 \cdot 10^{-3}$	0,67
15,0	23,98	1,44	2,27	$1,09 \cdot 10^{-3}$	$1,73 \cdot 10^{-3}$	0,63
22,0	24,18	1,64	2,75	$1,32 \cdot 10^{-3}$	$2,10 \cdot 10^{-3}$	0,63
29,5	24,34	1,80	3,18	$1,53 \cdot 10^{-3}$	$2,41 \cdot 10^{-3}$	0,63
39,3	24,51	1,97	3,67	$1,76 \cdot 10^{-3}$	$2,77 \cdot 10^{-3}$	0,64
53,0	24,68	2,14	4,24	$2,04 \cdot 10^{-3}$	$3,13 \cdot 10^{-3}$	0,65
67,2	24,82	2,28	4,77	$2,29 \cdot 10^{-3}$	$3,44 \cdot 10^{-3}$	0,67

Gemiddeld: 0,54 m = 0,65 → m = 1,20

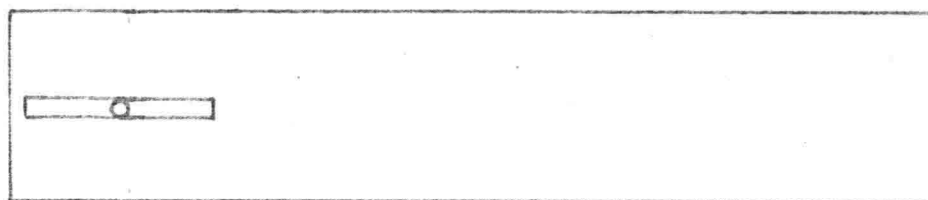
Standaardafwijking : 0,02

7.6 IV Een rechte overlaat aan het eind in langsrichting.

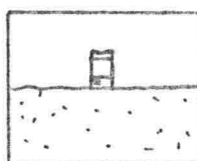
Positie:



ZYAAANZICHT BEUN



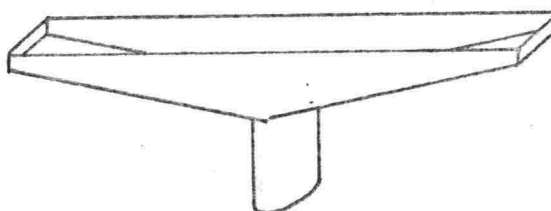
BOVENAANZICHT BEUN



VOORAANZICHT BEUN

Afmetingen: zie voorgaande, echter nu aan alle zijden overlatend.

Perspectief:



PERSPECTIEF

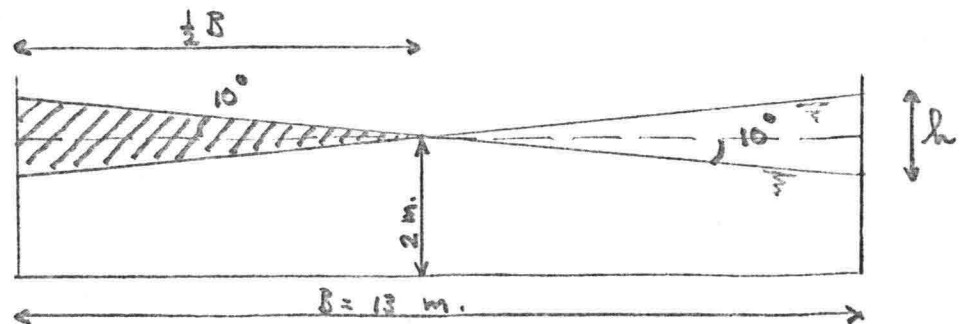
Wervelvorming: Bij deze overlaatconfiguratie is de wervelvorming nihil. Ook na langdurige observatie bleken geen wervels op te treden zoals bij voorgaande configuraties. De oorzaak hiervan is waarschijnlijk dat de overlaatlengte in vergelijking tot voorgaande overlaten, twee keer zo groot is.

De overlaat stroomt namelijk vierzijdig in. Hierdoor zijn de opwaartse versnellingen naar de overlaatrاند toe veel kleiner geworden.

Slingergevoeligheid: Uiteraard is bij deze overlaat de slingergevoeligheid, wat betreft de vleihoogte, minimaal. Bij slinging van het schip zal de waterhoogte op de lengte-as van het beun ongeveer gelijk blijven en aan de zijwanden het sterkst variëren. De stroomsnelheden in dwarsrichting zullen echter op de lengte-as maximaal zijn en aan de wanden minimaal. De vleihoogte zal dus vrij constant blijven. Enerzijds zal de overlaat-constructie in haar eigen omgeving werken als een dempingsschot voor de dwarsgolf. Anderzijds zal de golf bij passeren van de overlaat flinke stroomsnelheden onder de overlaat opwekken. Deze dwarssnelheden zijn overigens beslist niet te verwaarlozen, hetgeen uit volgend voorbeeld moge blijken.

Voorbeeld (prototype)

- Waterdiepte : 2 [m]
- Breedte : 13 [m]
- Uitslag struurboord en bakboord: 10°
- Periode : 8 sec.



WATERSPIEGEL T.G.V. ROLLEN SCHIP.

Neem voor de eenvoud de boot als meebewegende referentie.

$$\tan 10^\circ = 0,18 = \frac{\frac{1}{2} h}{\frac{1}{2} B} = \frac{\frac{1}{2} h}{6,5} \rightarrow \frac{1}{2} h = 1,2 \text{ [m]}.$$

De inhoud van de gearceerde driehoek stroomt gedurende 1 periode heen en terug. Dus in 4 sec van links naar rechts.

Inhoud: $\frac{1}{2} h \cdot \frac{1}{2} B = 1,2 \cdot 6,6 \approx 8,0 \text{ [m}^3/\text{m}^1]$

Debiet door het centrum: $8 \text{ [m}^3/4 \text{ sec]} = 2 \text{ [m}^3/\text{sec]}$

Doorstroomoppervlak per m¹: $2 \text{ [m}^2]$

Gemiddelde stroomsnelheid: $\frac{\text{debiet}}{\text{opp.}} = 1 \text{ [m/sec]}$

Maximale stroomsnelheid: $1 \cdot \sqrt{2} \approx 1,4 \text{ [m/sec]}$

Dit geldt alleen wanneer de slingertijd van het schip en de golf ongeveer gelijk zijn of wanneer de slingertijd van het schip groter is dan die van de golf.

$C = \sqrt{gh} = 4,4 \text{ [m/sec]} \quad L = 26,32 \text{ [m]} \rightarrow T = 13 \text{ sec.}$

In dit geval ontwikkelt de golf zich niet volledig en zullen de snelheden kleiner zijn. Ten opzichte van de stroomsnelheden in de lengterichting zijn deze dwarssnelheden vijf à 6 maal zo groot.

Stromingsinvloed: De stroomverdeling bij deze overlaat was goed. Slechts aan het eindschot ontstonden in de hoeken kleine plaatsen met bijna stilstaand water. Deze zullen echter van weinig betekenis zijn, omdat via het natuurlijk talud onder water toch wel sediment in de hoeken zal komen. Gunstig te noemen is de grote overlaat-lengte. Hierdoor is de vleihoogte gering, waardoor de opwaartse snelheden voor de overlaat laag zullen zijn. De snelheid op de overlaatrand is evenredig met de wortel uit de vleihoogte, hetgeen m.b.v. de wet van Bernoulli eenvoudig kan worden afgeleid. Een kleinere vleihoogte geeft dus kleinere opwaartse snelheden, waardoor minder sediment door de koker zal verdwijnen. Dit al dan niet verdwijnen van sediment door de koker hangt af van de verhouding valsnelheid - opwaartse snelheid. Ook de wervelvorming treedt bij kleinere opwaartse snelheden minder gauw op, hetgeen uit de proeven is gebleken.



BOVENAANZICHT STROOMLIJNEN + EFF. LENGTE

Relatie debiet-vleihoogte.

Overlaatlengte: B = 149 [cm]

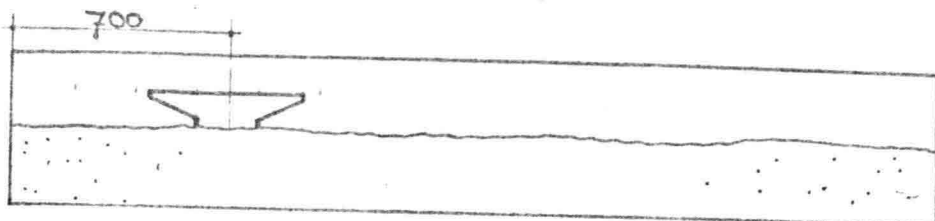
Δh $\times 10^{-2}$ [m]	h $\times 10^{-2}$ [m]	h_1 $\times 10^{-2}$ [m]	Q $\times 10^{-3}$ [m ³ /sec]	$Q \cdot B^{-1} \cdot g^{-\frac{1}{2}}$ [m ^{3/2}]	$h_1^{3/2}$ [m ^{3/2}]	0,54 m -
0	22,05	0	0	0	0	-
6,0	22,65	0,60	1,45	$0,31 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$	0,67
8,2	22,70	0,65	1,68	$0,36 \cdot 10^{-3}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$	0,69
11,6	22,77	0,72	1,99	$0,43 \cdot 10^{-3}$	$6,1 \cdot 10^{-4}$	0,70
15,5	22,83	0,78	2,27	$0,49 \cdot 10^{-3}$	$6,9 \cdot 10^{-4}$	0,71
19,2	22,89	0,84	2,56	$0,55 \cdot 10^{-3}$	$7,7 \cdot 10^{-4}$	0,71
27,0	22,99	0,94	3,05	$0,65 \cdot 10^{-3}$	$9,1 \cdot 10^{-4}$	0,71
34,8	23,04	0,99	3,45	$0,74 \cdot 10^{-3}$	$9,9 \cdot 10^{-4}$	0,75
44,1	23,14	1,09	3,88	$0,83 \cdot 10^{-3}$	$11,4 \cdot 10^{-4}$	0,73
48,8	23,20	1,15	4,09	$0,88 \cdot 10^{-3}$	$12,3 \cdot 10^{-4}$	0,71
57,9	23,27	1,22	4,42	$0,95 \cdot 10^{-3}$	$12,5 \cdot 10^{-4}$	0,70
67,4	23,37	1,32	4,77	$1,02 \cdot 10^{-3}$	$15,2 \cdot 10^{-4}$	0,67

Gemiddeld: 0,54 m = 0,70 → m = 1,30

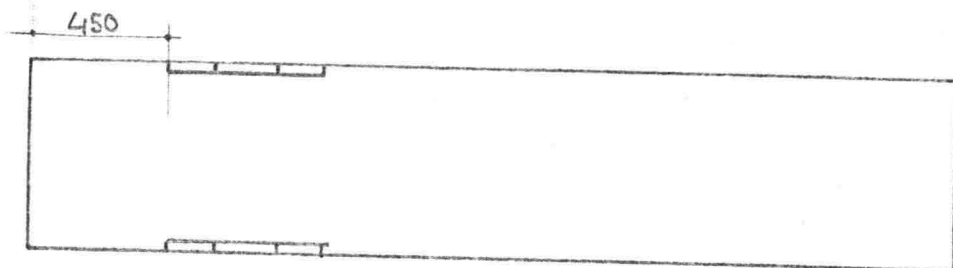
Standaardafwijking : 0,02

7.7 V Twee rechte overlatten in de zijwanden.
(Oude systeem "Hendrik Zanen")

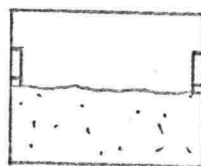
Positie:



ZYAANZICHT BEUN

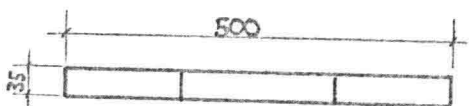


BOVENAANZICHT BEUN

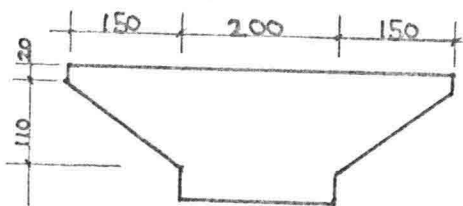


VOORAANZICHT BEUN

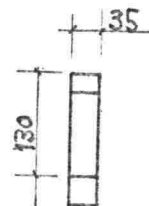
Afmetingen:



BOVENAANZICHT



VOORAANZICHT



ZYAANZICHT

Wervelvorming:

Wat de wervelvorming betreft kan worden verwezen naar configuratie IV. Geen wervels van betekenis.

Slingergevoeligheid: Deze is wat betreft de vleihoogte zeer gevoelig, omdat de afstand t.o.v. de lengte-as van het schip maximaal is.

Stromingsinvloed: De doorstroming naar achteren is zeer slecht. In het gehele achterste deel - ongeveer 1/3 van het totale beun - staat het water nagenoeg stil. Dit heeft uiterst nadelige gevolgen voor de sedimentatie achterin. De aanvoer is namelijk nihil. De effectieve lengte is minimaal.



BOVENAANZICHT STROOMLYNEN + EFF. LENGTE

Relatie debiet-vleihoogte.

Overlaatlengte: B = 114 [cm].

Δh $\times 10^{-2}$ [m]	h $\times 10^{-2}$ [m]	h_1 $\times 10^{-2}$ [m]	Q $\times 10^{-3}$ [m ³ /sec]	$Q \cdot B^{-1} \cdot g^{-\frac{1}{2}}$ [m ^{3/2}]	$h_1^{3/2}$ [m ^{3/2}]	0,54 m -
0	22,52	0	0	0	0	-
9,15	23,34	0,82	1,75	$0,49 \cdot 10^{-3}$	$0,74 \cdot 10^{-3}$	0,66
12,6	23,43	0,91	2,05	$0,57 \cdot 10^{-3}$	$0,87 \cdot 10^{-3}$	0,66
16,6	23,50	0,98	2,37	$0,66 \cdot 10^{-3}$	$0,97 \cdot 10^{-3}$	0,68
20,6	23,58	1,06	2,65	$0,74 \cdot 10^{-3}$	$1,09 \cdot 10^{-3}$	0,68
25,3	23,65	1,13	2,95	$0,83 \cdot 10^{-3}$	$1,20 \cdot 10^{-3}$	0,69
30,9	23,73	1,21	3,24	$0,91 \cdot 10^{-3}$	$1,33 \cdot 10^{-3}$	0,68
39,5	23,84	1,32	3,68	$1,03 \cdot 10^{-3}$	$1,52 \cdot 10^{-3}$	0,68
47,1	23,91	1,39	4,01	$1,12 \cdot 10^{-3}$	$1,64 \cdot 10^{-3}$	0,69
64,6	24,08	1,56	4,67	$1,31 \cdot 10^{-3}$	$1,95 \cdot 10^{-3}$	0,67
73,1	24,15	1,63	4,95	$1,39 \cdot 10^{-3}$	$2,08 \cdot 10^{-3}$	0,67

Gemiddeld: 0,54 m = 0,68 m = 1,26

Standaardafwijking : 0,01

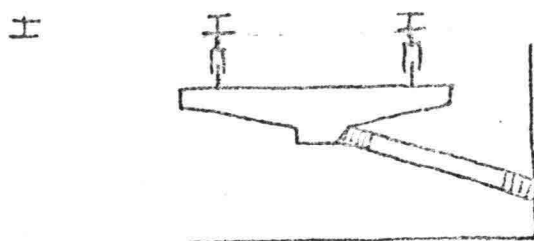
7.8 Samenvatting overvloei configuraties.

Overvloeisysteem	Wervel- vorming	Slinger- gevoeligheid	Effectieve hopperlengte	Vleihoogte- coëfficiënt	Conclusie
I Twee ronde overvloeien aan de zij- kant	--	--	-	0,75	zeer slecht
II Halfronde overvloei aan het eind	--	+	+	0,56	matig
III Rechte over- vloei aan het eind	±	±	++	0,64	goed
IV Rechte over- vloei in het midden in langsrichting	++	++	+	0,70	zeer goed
V Twee rechte overvloeien aan de zij- kant	++	--	--	0,68	slecht

Betekenis: ++ : zeer goed
+ : goed
± : matig
- : slecht
-- : zeer slecht.

7.9 Constructieve aanbevelingen overvloei configuraties.

Geconcludeerd kan worden dat de rechte overvloei in het midden in de langsrichting van het beun als beste naar voren komt. Uitvoeringstechnisch is deze overlaat echter geenszins eenvoudig. Doorvoering van de afvoerkoker door de z.g. kippekooi betekent over het algemeen aantasting van de langsscheepse stijfheid. Een mogelijke oplossing zou zijn de afvoer via een koker met twee rubber zakken door het beuneindschot of door één der zijden te voeren (zie schets).



DRSN. BEUN + OVERVLOEI

Als tweede alternatief kan de rechte overvloei aan het eind van het beun worden genoemd. De afvoer kan d.m.v. telescoop-pijpen door het schuine deel van het beuneindschot lopen. Verbanddelen en klepstangen moeten zoveel mogelijk in de buurt van de overlaat - afstand 6 à 8 meter - worden vermeden. Dit om wervelvorming te voorkomen. Voor zover hier niet aan kan worden voldaan, verdient het aanbeveling de stangen te stroomlijnen en wel zodanig dat zo min mogelijk turbulentie kan worden opgewekt.

Verbeteringen aan het bestaande systeem van de "Hendrik Zanen."

De doorstroming naar achteren kan verbeterd worden door langsschotten t.p.v. de verbanddelen aan weerszijden te plaatsen. Wervels kunnen worden voorkomen door het plaatsen van dwarsschotten (zie foto 9). De juiste afmetingen van de schotten worden in vervolproeven nader onderzocht.

8. Inbrengsystemen.

Doel van het inbrengsysteem is het opgezogen water-zand mengsel zo rustig mogelijk in het beun te brengen. Bij de beoordeling van het inbrengsysteem is gelet op de volgende drie aspecten:

- Snelheidsverdeling over de breedte.
- Turbulentieverloop over de lengte.
- Ontgrondingskuil.

De snelheidsverdeling over de breedte van het beun is m.b.v. kleurstof en met de micromolen bepaald.

Het turbulentieverloop over de lengte is ook met de micromolen bepaald.

De ontgrondingskuil is met het oog waargenomen en fotografisch vastgelegd.

8.1 Bestaande systeem.

Bij proeven in het model met het standaard-debiet van 3,35 liter/sec bleek dat de snelheidsverdeling over de breedte beslist niet optimaal was. Langs de wanden was de stroming sterk en in het midden stroomde het water zelfs af en toe in tegengestelde richting.

Ook kon het zijn dat de ene keer de stroming rechts veel sterker was dan links en omgekeerd. Bij metingen met de micromolen bij verschillende debieten bleek de hoofdstroom de ene keer rechts te liggen en de andere keer links.

In eerste instantie werd de oorzaak hiervoor gezocht in een draaistroom in de aanvoerleiding t.g.v. enkele opeenvolgende scherpe bochten.

Later, toen de bovenzijde van de diffusor door plexiglas was vervangen, bleek het fenomeen z'n oorsprong te vinden in het scheef aanliggen van de stroming tegen de bovenzijde van de diffusor (zie foto 17).

Verwijderen van deze bovenplaat leverde een betere gelijkmatige stroming over de breedte (zie bijlage 24).

Onder de diffusor ontstond een flinke ontgrondingskuil met voortdurend opwervelend zand.

8.2 Verbeteringen bestaande systeem.

In het oude systeem ging het water bij het begin van de diffusor van subkritische stroming over in superkritische stroming, oftewel schietend water. Hierbij trad een vrij vloeistofoppervlak op en was de druk bij het begin van de diffusor dus gelijk aan de atmosferische druk.

De energiehoogte van het water t.o.v. de waterspiegel in het beun is in dit geval:

$$H = a_A + \frac{u_A^2}{2g} = \text{drukhoogte} + \text{snelheidshoogte}$$

(zie bijlage 10).

Doordat later een doorzichtige plexiglasplaat op de diffusor werd gemonteerd, is zichtbaar geworden hoe het water in de diffusor kon worden gestuwd. Namelijk door de helft van de uitstroomopening tijdelijk met de hand dicht te houden. Dit hoefde slechts enkele seconden te gebeuren. Daarna bleef het water bij de opening tegen de bovenkant liggen, waarna de ingesloten luchtbel langzaam verdween. Voorwaarde was in dit geval wel dat bovenstrooms geen valse lucht aangezogen mocht worden.

Het grote voordeel van het gesloten systeem is dat de energiehoogte lager ligt in vergelijking met de open diffusor. In dit geval is de energiehoogte:

$$H = a_B + \frac{u_B^2}{2g}$$

(zie bijlage 11).

Turbulentiemetingen over de lengte tonen een groot verschil tussen de open en gesloten diffusor. Bij iedere meting verloopt de turbulentie op dezelfde wijze. Namelijk over de eerste helft van het beun neemt de turbulentie hyperbolisch af om daarna tot de overlaat bijna constant te blijven.

Verwacht werd dat het constante deel, de turbulentie, tengevolge van de ruwheid van het model, voorstelde. Het constante deel bleek echter een factor twee te verschillen, tussen de open en de gesloten diffusor (zie bijlage 24).

Het blijkt dus van groot belang de diffusor gesloten te houden.

Ook de ontgrondingskuil is bij de gesloten diffusor minder diep, doordat de snelheden veel lager zijn. (Doorstroomoppervlak is groter bij hetzelfde debiet.)

Het aanbrenge van een geleideplaat onder de diffusor voorkomt het ontstaan van de ontgrondingskuil. Bij de open diffusor verslechtert de snelheidsverdeling over de breedte, wanneer de geleideplaat wordt gemonteerd. De snelheden langs de wanden worden in dat geval groter dan die in het midden. Bij de gesloten diffusor is deze verdeling echter beter. Ook de invloed op de turbulentie met en zonder geleideplaat is gemeten (zie bijlage 24).

Het aanbrengen van een palengordijn stoelt op de gedachte dat grote energierijke wervels bij de inbreng in stukjes gesneden worden bij het passeren van het palengordijn, waardoor de afbraak van turbulentie sneller plaatsvindt. De dissipatie van turbulentie geschiedt namelijk via een procedé van steeds kleinder wordende wervels, die tenslotte in warmte worden omgezet. Met behulp van dit palengordijn wordt dit proces versneld door de wervelgrootte te limiteren (zie foto 19).

Het palengordijn bestond in dit geval uit vertikaal naast elkaar staande klepstangen, met doorlaatopeningen ter grootte van de klepstangdiameter. Deze werden geplaatst in vak 1. In het prototype zou men kunnen denken aan een kettinggordijn, hangend aan een dekbalk.

Bij de turbulentiemetingen is ook de invloed van het palengordijn gemeten (zie bijlage 24).

8.3 Verdronken systeem.

De laatste geteste variant is het "verdronken" inbrengsysteem. In dit geval is de plexiglasplaat doorgezet tot beneden de waterspiegel via een gekromd eindstuk (zie bijlage 12). De gedachte hierachter is dat de energiehoogte nog kleiner wordt:

$$H = \frac{u^2}{2g} .$$

De energiehoogte t.o.v. de waterspiegel bestaat nu alleen nog maar uit snelheidshoogte. De diffusor werkt volledig als een hevel.

De moeilijkheid was in dit geval dat ingesloten lucht niet uit de diffusor verdween, omdat de stroomsnelheden daartoe te gering waren. Door met een slangetje lucht uit de diffusor weg te zuigen bleek het echter goed mogelijk de diffusor geheel met water gevuld te krijgen. In de praktijk zou dit met behulp van een vacuümpomp kunnen geschieden.

Turbulentiemetingen wezen uit dat het "verdronken" inbrengsysteem de laagste turbulentie-intensiteit leverde. Bij dit systeem is de in turbulentie om te zetten energie dan ook het geringst (zie bijlage 24).

8.4 Energiebalans van het inbrengsysteem (prototype).

Open diffusor.

$$Q = 6 \text{ [m}^3\text{/sec]}$$

$$A = 1,44 \times 0,88 = 1,26 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\bar{u}_A = \frac{Q}{A} = \frac{6}{1,26} = 4,8 \text{ [m/sec]}$$

Energiehoogte t.o.v. de waterspiegel in het beun:

$$H = a_A + \frac{u_A^2}{2g} = 2,5 + 1,18 = 3,68 \text{ [m]}$$

Energie-inbreng:

$$E = MgH = \rho Q \cdot g \cdot H = 1000 \cdot 6 \cdot 9,8 \cdot 3,68 = 216 \text{ [kW]}$$

Gesloten diffusor:

$$Q = 6 \text{ [m}^3\text{/sec]}$$

$$A = 0,63 \times 4,0 = 2,5 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\bar{u}_B = \frac{Q}{A} = \frac{6}{2,5} = 2,4 \text{ [m/sec]}$$

Energiehoogte t.o.v. referentie:

$$H = a_B + \frac{u_B^2}{2g} = 1,0 + \frac{2,4^2}{2 \cdot 9,8} = 1,29 \text{ [m]}$$

Energie-inbreng:

$$E = MgH = \rho Q \cdot g \cdot H = 1000 \cdot 6 \cdot 9,8 \cdot 1,29 = 75,8 \text{ [kW]}$$

Verdronken diffusor:

$$Q = 6 \text{ [m}^3\text{/sec]}$$

$$A = 5,3 \times 0,7 = 3,7 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\bar{u}_C = \frac{Q}{A} = \frac{6}{3,7} = 1,6 \text{ [m/sec]}$$

Energiehoogte t.o.v. referentieniveau:

$$H = a_C + \frac{u_C^2}{2g} = 0 + \frac{1,6^2}{2 \cdot 9,8} = 0,13 \text{ [m]}$$

Energie-inbreng:

$$E = \rho Q \cdot g \cdot H = 1000 \cdot 6 \cdot 9,8 \cdot 0,13 = 7,6 \text{ [kW]}$$

Wanneer de energie-inbreng van de open diffusor 100% wordt genoemd, correspondeert de gesloten diffusor met een energie-inbreng van 35% en de verdronken diffusor met 4%. De hoeveelheid ingebrachte energie is dus grotendeels afhankelijk van de vormgeving van de diffusor. Dit is van belang omdat alle extra ingebrachte energie in turbulentie wordt omgezet. Bovendien levert een kleinere opvoerhoogte direct een besparing op het pompvermogen.

Dat extra ingebrachte energie in turbulentie wordt omgezet, kan in bijlage 24 worden geverifiëerd. Daar worden verschillende inbrengsystemen, wat betreft turbulentieverloop, met elkaar vergeleken. In elk vak wordt de verhouding tussen de turbulente snelheidsfluctuatie en de gemiddelde snelheid weergegeven.

Kwadrateren van u' levert een maat voor de turbulentie-intensiteit. Vergelijken van de drie genoemde diffusors, wat betreft het opwekken van turbulentie $(u')^2$, gemeten in de vakken 6 t/m 10, levert gemiddeld:

Open diffusor	$(u')^2$	=	100%
Gesloten diffusor	$(u')^2$	=	40%
Verdronken diffusor	$(u')^2$	=	19%

De verklaring voor de hoge waarde - 19% i.p.v. 4% - bij de verdronken diffusor is gelegen in het feit dat bij de modelproeven de waterspiegel op zodanige hoogte lag dat de drukhoogte voor gesloten en verdronken diffusor hetzelfde was. Slechts de snelheidshoogte was in dit geval verschillend.

Vergelijken van de energie-inbreng t.g.v. snelheidshoogte alleen, levert wel een verhouding van 40 en 19%.

8.5 Samenvatting.

Tijdens het onderzoek zijn de volgende inbrengsystemen getest:

- open diffusor
- gesloten diffusor
- verdronken diffusor.

Deze drie configuraties al dan niet gecombineerd met:

- geleideplaat
- palengordijn.

Hierbij is gelet op de reeds eerder genoemde aspecten:

- snelheidsverdeling over de breedte
- turbulentieverloop over de lengte
- ontgrondingskuil.

Samengevat kan het volgende worden geconcludeerd:

	Snelheids- verdeling	Turbulentie- niveau	Ontgrondings- kuil	Conclusie
Open diffusor	--	--	-	zeer slecht
Gesloten diffusor	++	+	+	goed
Verdronken diffusor	+	++	--	goed

8.6 Constructieve aanbevelingen voor het inbrengsysteem.

Diffusor.

Het blijkt van belang de diffusor zo te ontwerpen dat de som van dynamische en statische energie van het ingebrachte mengsel gedurende de laadcyclus zo gering mogelijk is. Alle extra ingebrachte energie wordt in turbulentie omgezet. Grotere turbulentie heeft tot gevolg dat meer sediment in suspensie blijft en leidt daardoor tot grotere overvloeiverliezen. Minimaliseren van de ingebrachte energie kan op twee manieren gebeuren. De belangrijkste is dat het hoogteverschil tussen het vrije vloeistofoppervlak in het beun en in de diffusor zo klein mogelijk wordt. Dit kan worden bewerkstelligd door de diffusor d.m.v. een drijvend ponton op de waterspiegel in het beunte laten drijven. Het is dan wel van essentieel belang dat de goot en de diffusor luchtdicht zijn. Voor de verdeelkleppen zullen dan ook baggerafsluiters moeten worden gebruikt. Indien voor een ronde persgoot wordt gekozen, kan voor het scharnierpunt een zuigzak worden gebruikt. In dit punt kan namelijk een onderdruk van circa 4 mwk optreden. Tevens heeft een ronde goot een gunstiger slijtagegedrag.

Turbulentiegordijn.

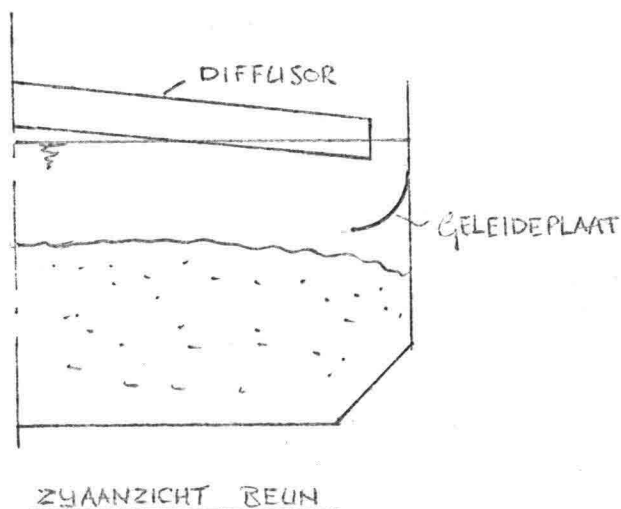
De turbulentie in de hopper kan voor een deel worden gereduceerd door het water direct na de inbreng een "gordijn" van loshangende kettingen of palen te laten passeren. De werking berust op het opbreken van grote energierijke turbulente wervels, waardoor de turbulentie sneller in warmte wordt gedissipeerd. Uit de proeven (bijlage 24) blijkt een reductie van de turbulentie van circa 30% op te treden. Het gordijn wordt vrij hangend gekozen om verstoppingen, zoals bij vaste roosters en woelbakken, te voorkomen.

Stroomgeleidingsplaat.

De voordelen van een stroomgeleidingsplaat onder de diffusor zijn:

- De ontgrondingskuil t.g.v. hoge stroomsnelheden van het water uit de diffusor wordt voorkomen.
- Het turbulentieniveau in de hopper daalt.
- Betere stroomverdeling over de breedte van de hopper.
- Geen stuwing op het schuine eindschot van het beun.

Het principe van de stroomgeleidingsplaat is dat de naar beneden gerichte snelheden uit de diffusor naar voren worden omgebogen. Bij een drijvende diffusor kan deze geleidingsplaat aan het ponton worden gemonteerd.



SYMBOLENLIJST

<u>Symbol</u>	<u>Definitie</u>	<u>Dimensie</u>
A	Doorstroomoppervlak	m^2 <i>l²</i>
a	Waterdiepte	m
B	Overlaatlengte	m
b	Breedte	m
C	Chezy-coëfficiënt	$m^{1/2} / sec$
C_D	Vormweerstand-coëfficiënt	-
D	Diameter	m
D_{50}	Korrel diameter van zandmengsel door 50% overschreden	m
E	Energie-inbreng (vermogen)	kWatt
F	Kracht	N
g	Zwaartekrachtsvernelling	m/sec^2
H	Energiehoogte	m
h	Peilbuisstand	cm
Δh	Debietmanometeraflezing	cm
h_1	Vleihoogte	m
i	Verhang	-
J	Traagheidsmoment van een cylinder	kgm^2
L	Golf lengte	m
M	Massa	kg
m	Afvoercoëfficiënt	-
O	Oppervlak	m^2
Q	Debiet	m^3/sec
q	Specifiek debiet	m^2/sec
R	Hydraulische straal	m
Re	Getal van Reynolds	-
RMS	Root Mean Square	-
r	Straal	m
T	Periode	sec
u	Lokale snelheid	m/sec
u'	Turbulente snelheid in x-richting	m/sec
\bar{u}	Gemiddelde snelheid	m/sec
v'	Turbulente snelheid in y-richting	m/sec
w	Valsnelheid van een zandkorrel	cm/sec

<u>Symbol</u>	<u>Definitie</u>	<u>Dimensie</u>
ϵ	Diffusie-coëfficiënt	m^2/sec
μ	Micrometer = 10^{-3} mm	
ν	Kinematische viscositeit	m^2/sec
ρ	Dichtheid van water	kg/m^3
τ	Schuifspanning	N/m^2
ω	Rotatiesnelheid	rad/sec
Δ	Relatieve dichtheid	-

LITERATUURLIJST

- Booy, R. (1980) - Turbulentie. Collegedictaat b82, THD, C.T.
- Bree, S.E.M. de - Het beladen van sleepopperzuigers. IHC-Holland.
- Breusers, H.N.C. (1964) - Bezinking van vaste stoffen. WL - Delft.
Informatie nr. V 146, april.
- Boogert, J.van den - Publicatie IHC-Holland.
- Ismail, S. (1968) - Evaluation of efficiency of a rectangular settling tank. The Institution of Engineers, India, febr.1968, p.p. 65-81.
- Rouse, H. (1938) - Fluid mechanics for hydraulic engineers. McGraw-Hill.
- Vries, M. de (1980) - Vloeistofmechanica. Collegedictaat b72, THD, C.T.
- Vries, M. de (1976) - Waterloopkundig Onderzoek. Collegedictaat b80, THD, C.T.

Debietmeting 1.

$\Delta h \approx 35 \text{ cm} \rightarrow Q = 3,45 \text{ l/sec.}$

Gewicht van de bak: 2,3 kg.

Δh [cm]	Tijd [sec]	Gewicht [kg] Bak + water	Gewicht water [kg]	Q [l/sec]
34,7	5	19,5	17,2	3,44
34,8	4,75	18,75	16,45	3,46
34,8	5,1	19,5	17,2	3,37
34,8	5,5	20,8	18,5	3,36
34,8	7,0	26,25	23,95	3,42
34,8	6,4	24,0	21,7	3,39
34,8	6,35	24,4	22,1	3,48
34,8	5,7	21,75	19,45	3,41
34,8	5,65	21,75	19,45	3,44
34,8	6,5	24,65	22,35	<u>3,44</u> +
				34,2

Gemiddeld : 3,42 l/sec.

Standaardafwijking : 0,04 l/sec.

Tabel : $3,20 + \frac{4,8}{5,0} \times 0,25 = 3,44 \text{ l/sec.}$

Gemeten : $3,42 \pm 0,04 \text{ l/sec.}$

Debietmeting 2.

$\Delta h \approx 80 \text{ cm} \rightarrow Q = 5,2 \text{ l/sec.}$

(Kan niet met één overlaat worden gemeten vanwege de te kleine afvoercapaciteit).

	Δh	Tijd [sec]	Gewicht [kg] Bak + water	Gewicht water [kg]	Q [l/sec]
Overlaat 2	79,8	7,0	19,7	17,4	2,49
	79,8	10,0	26,6	24,3	2,43
	79,8	8,5	22,9	20,6	2,42
	79,8	8,7	23,6	21,3	2,45
	79,8	8,95	24,2	21,9	2,45 $\rightarrow \Sigma$ 12,24
Overlaat 1	79,8	8,1	24,8	22,5	2,78
	79,8	8,7	26,5	24,2	2,78
	79,8	7,6	23,6	21,3	2,80
	79,8	9,4	29,0	26,7	2,84
	79,8	10,4	31,5	29,2	2,81 $\rightarrow \Sigma$ 14,01

Overlaat 2 : $\Sigma = 12,24$ gemiddeld : 2,45 l/sec.
standaardafwijking: 0,03 l/sec.

Overlaat 1 : $\Sigma = 14,01$ gemiddeld : 2,80 l/sec.
standaardafwijking: 0,02 l/sec.

Totaal gemeten : $2,45 + 2,80 = 5,25 \pm 0,05$ l/sec.

Tabel : $79,8 \text{ cm} \quad 5,03 + \frac{4,8}{5,0} \times 0,17 = 5,19$ l/sec.

Debietmeting 3.

$$\Delta h \approx 13,2 \text{ cm} \rightarrow Q = 2,12 \text{ l/sec.}$$

Δh [cm]	Tijd [sec]	Gewicht [kg] Bak + water	Gewicht water [kg]	Q [l/sec]
13,2	11,9	27,5	25,2	2,12
13,2	11,8	27,5	25,2	2,14
13,2	11,3	26,0	23,7	2,10
13,2	11,75	27,2	24,9	2,12
13,2	12,6	28,7	26,4	2,10
13,2	14,45	32,7	30,4	2,10
13,2	11,9	27,4	25,1	2,11
13,2	11,3	25,8	23,5	2,08
13,2	10,35	24,1	21,8	<u>2,11</u> +
				18,98

$$\Sigma = 18,89 \rightarrow \text{Gemiddeld} : 2,11 \text{ l/sec.}$$

$$\text{Standaardafwijking: } 0,02 \text{ l/sec.}$$

$$\text{Gemeten} : 2,11 \pm 0,02 \text{ l/sec.}$$

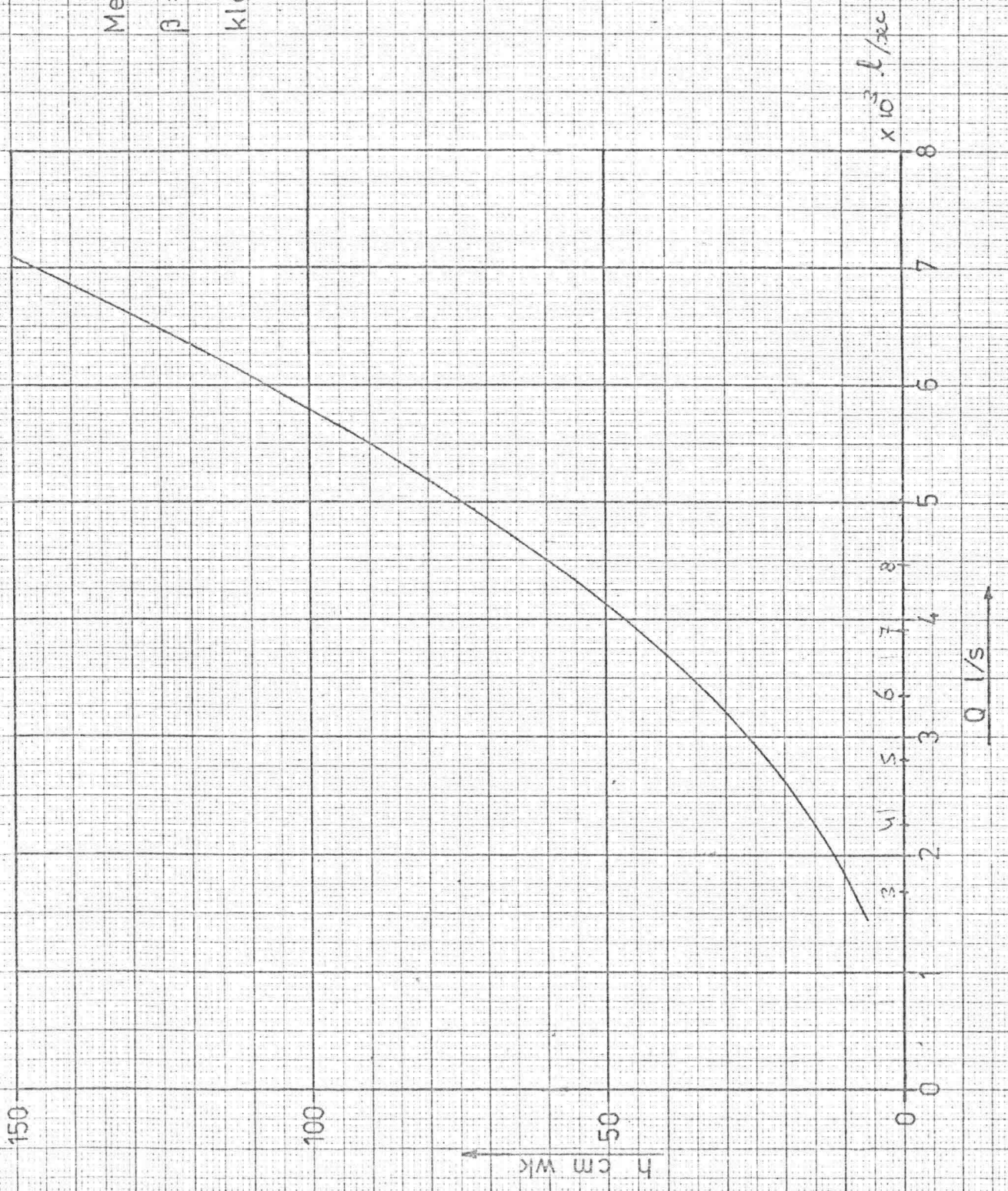
$$\text{Tabel} : 13,2 \rightarrow 2,03 + \frac{1,2}{2} \times 0,16 = 2,13 \text{ l/sec}$$

Resumerend kunnen we stellen dat bij hoge debieten (5 l/sec) de tabel te weinig aangeeft $\approx 1\%$.

Bij lage debieten (2 l/sec) geeft de tabel te veel aan $\approx 1\%$.

Bij gemiddelde debieten van $\approx 3,5$ l/sec is de tabel goed.

Meeflens 50/83
 $\beta = 0.6$
kleurcode: geel



H IN CM WATERKOLOM, Q IN L/S

MEETFLENS D= 83.1MM D_KL= 67.2MM BETA= 0.8

DH	Q	DH	Q
6	3.06	45	8.21
7	3.30	50	8.65
8	3.52	55	9.07
9	3.73	60	9.47
10	3.92	65	9.86
12	4.29	70	10.23
14	4.63	75	10.59
16	4.94	80	10.94
18	5.24	85	11.27
20	5.51	90	11.60
22	5.78	95	11.91
24	6.03	100	12.22
26	6.27	110	12.82
28	6.50	120	13.38
30	6.73	130	13.93
35	7.25	140	14.45
40	7.74	150	14.96

MEETFLENS D= 83.1MM D_KL= 50.4MM BETA= 0.6

DH	Q	DH	Q
6	1.45	45	3.91
7	1.56	50	4.12
8	1.66	55	4.32
9	1.76	60	4.51
10	1.86	65	4.69
12	2.03	70	4.86
14	2.19	75	5.03
16	2.34	80	5.20
18	2.49	85	5.36
20	2.62	90	5.51
22	2.75	95	5.66
24	2.87	100	5.81
26	2.98	110	6.09
28	3.09	120	6.36
30	3.20	130	6.61
35	3.45	140	6.86
40	3.69	150	7.10

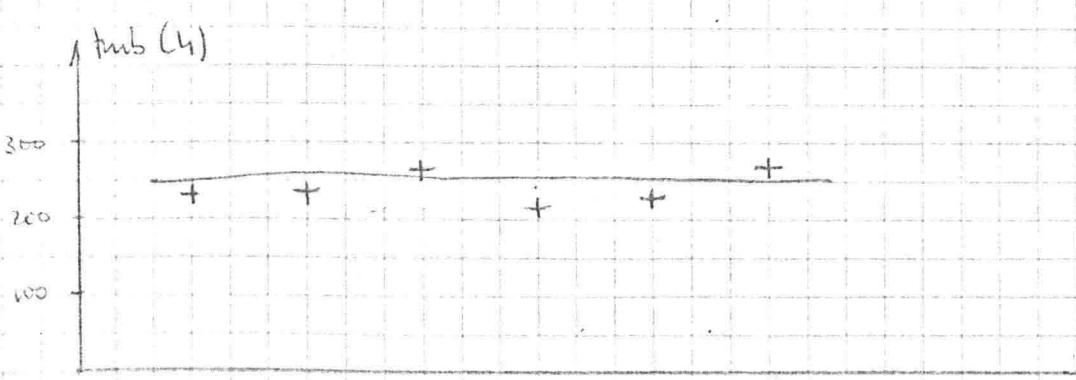
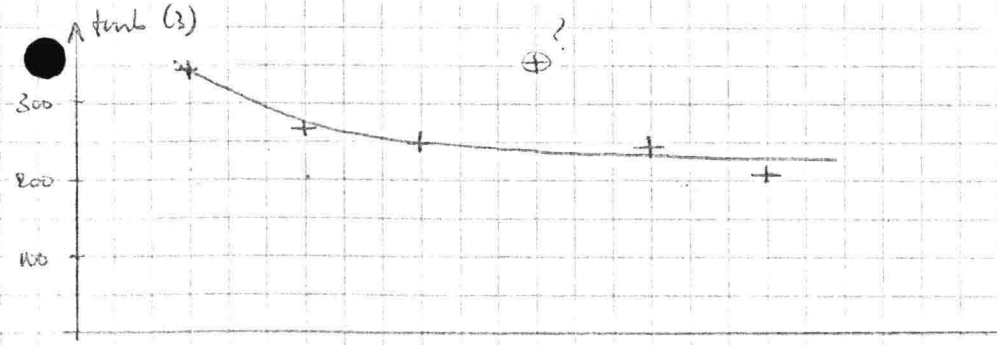
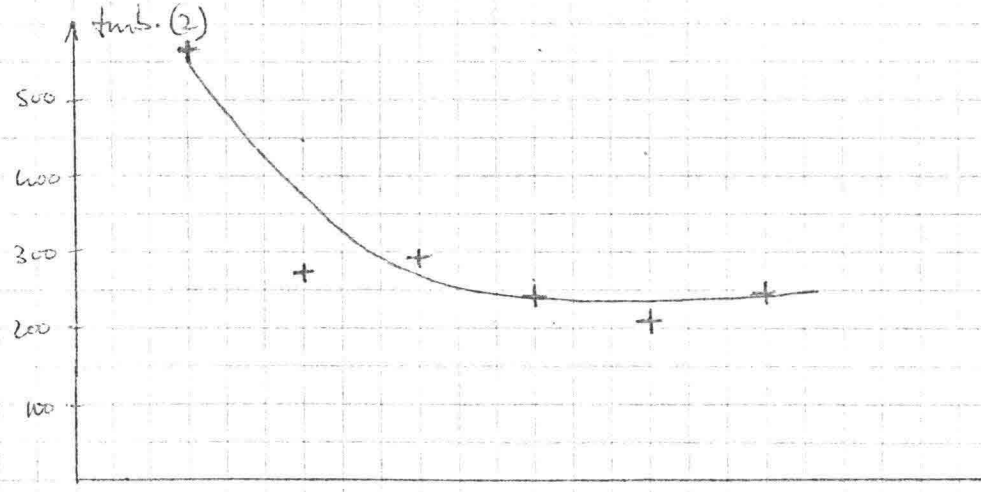
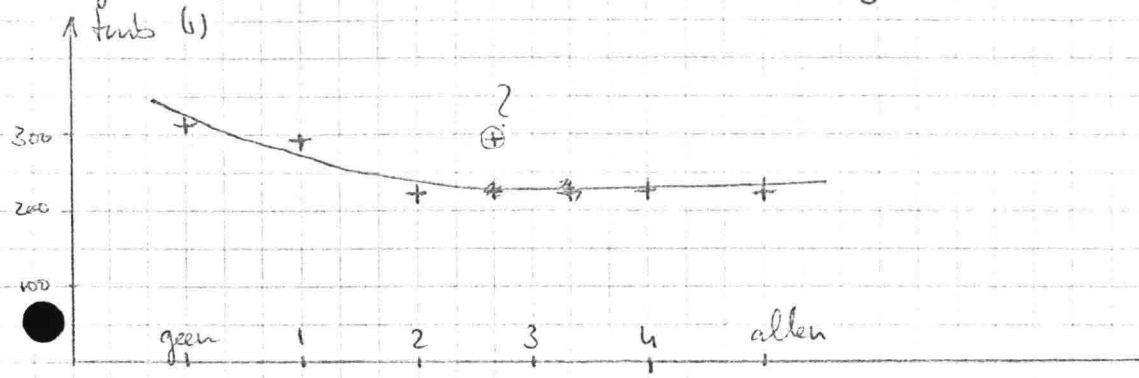
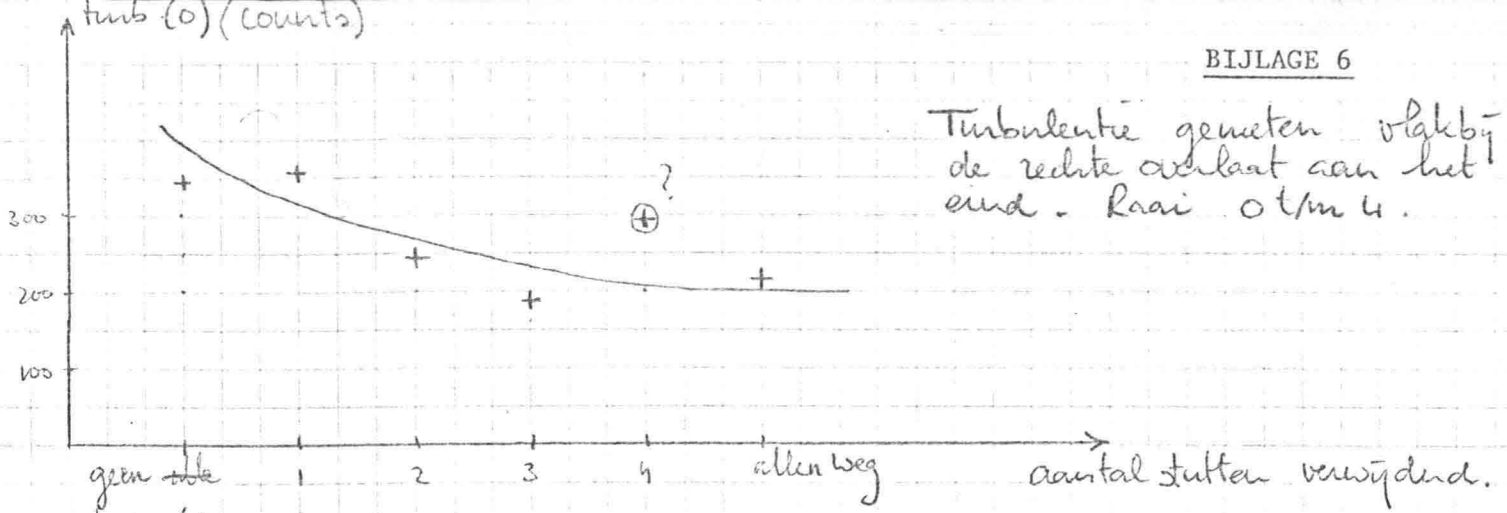
$$Q = A \cdot \sqrt{h^3}$$

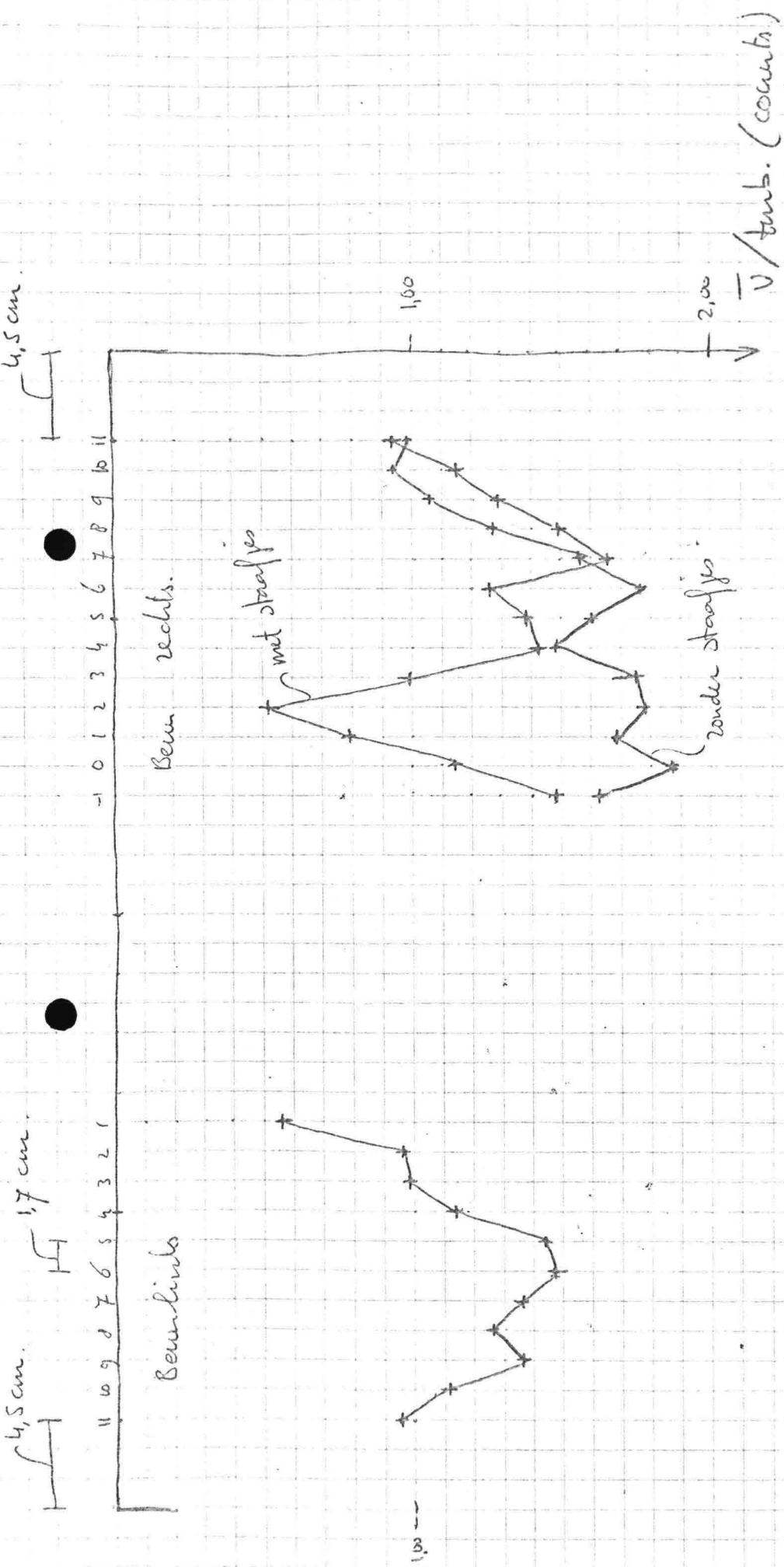
$$A = 0,58$$

MEETFLENS D= 83.1MM D_KL= 42.0MM BETA= 0.5

DH	Q	DH	Q
6	0.96	45	2.60
7	1.03	50	2.73
8	1.10	55	2.87
9	1.17	60	2.99
10	1.23	65	3.12
12	1.35	70	3.23
14	1.45	75	3.35
16	1.55	80	3.45
18	1.65	85	3.56
20	1.73	90	3.66
22	1.82	95	3.76
24	1.90	100	3.85
26	1.98	110	4.04
28	2.05	120	4.22
30	2.12	130	4.39
35	2.29	140	4.56
40	2.45	150	4.72

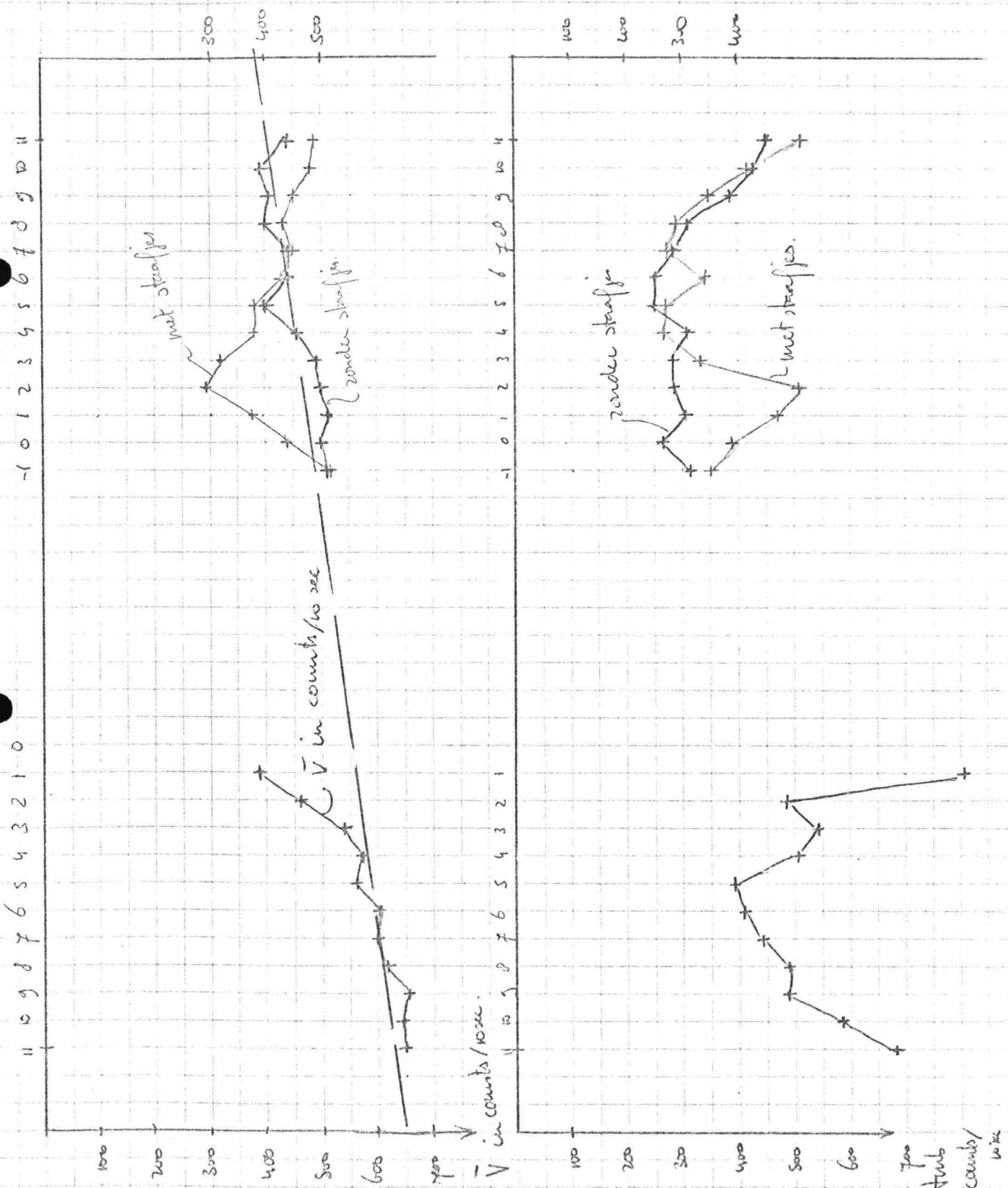
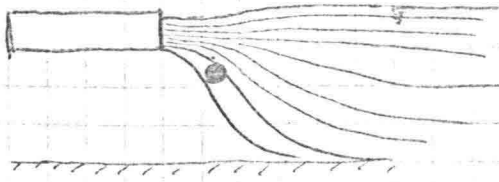
Turbulentie gemeten vlakbij de rechte overlaat aan het eind. Raai 0 t/m 4.

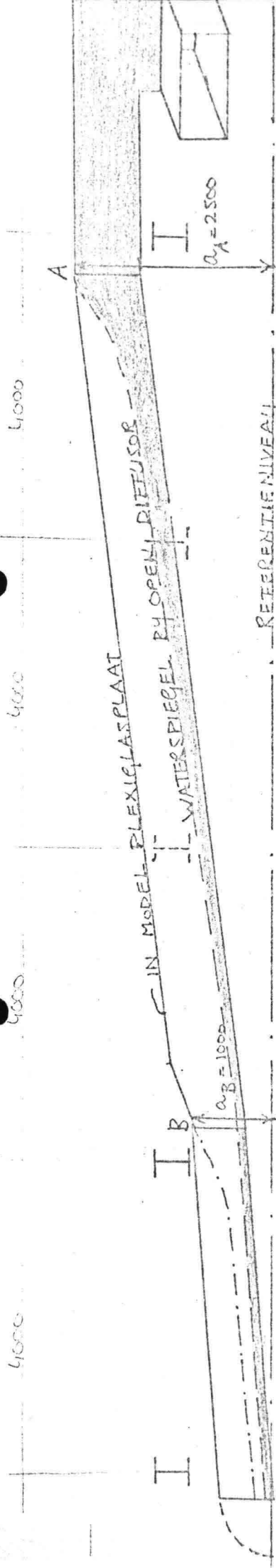




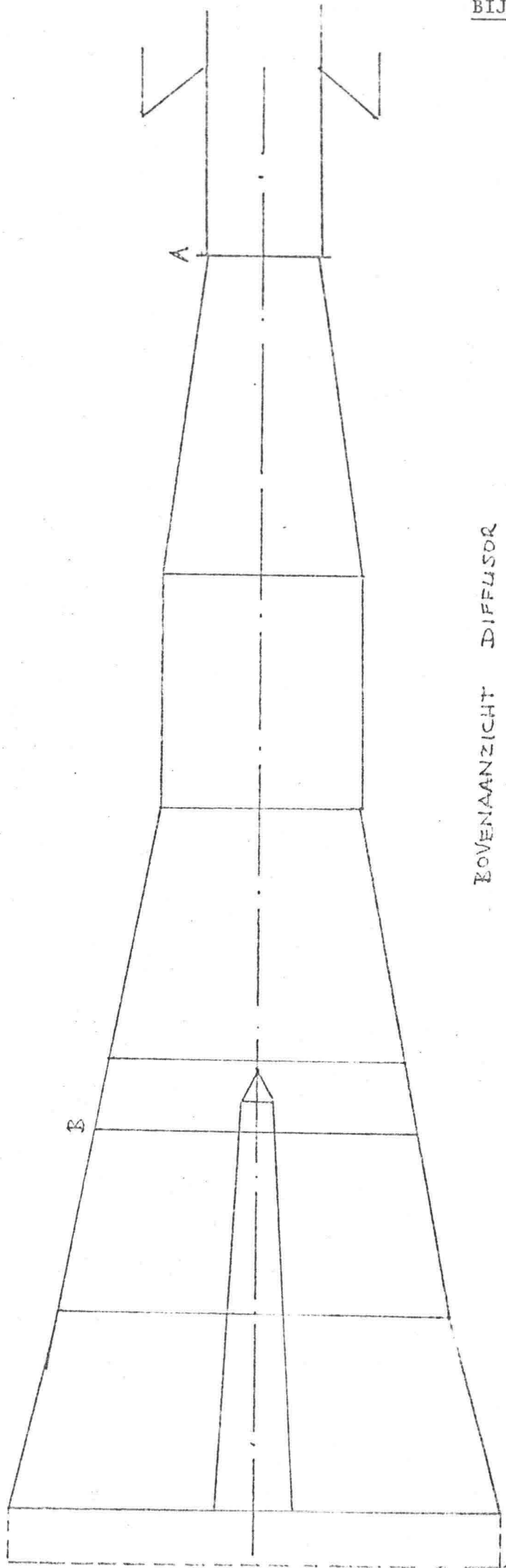
Turbulentiemetingen over de breedte voor de rechte overlaat.

Snelheids- en tubuleringmetingen vlak voor de rechte overlaat aan het eind van de beem



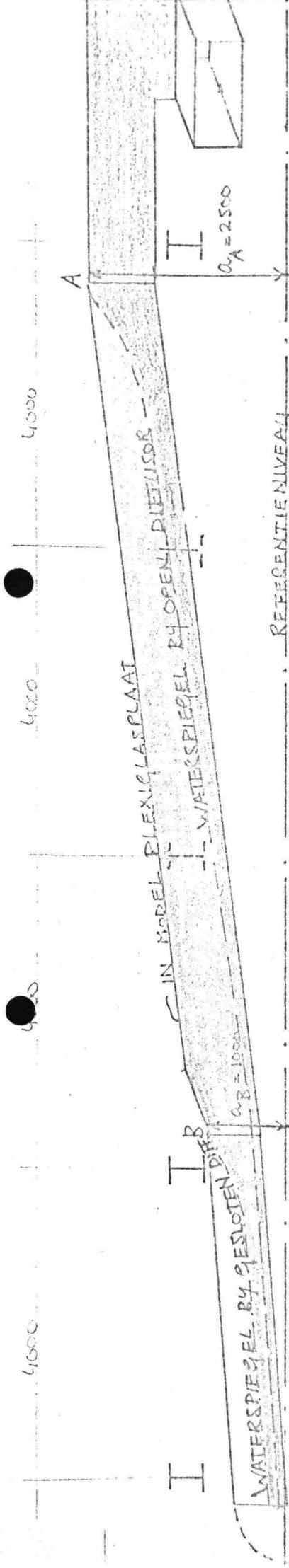


ZYANZICHT DIFFUSOR
Schaal 1:70

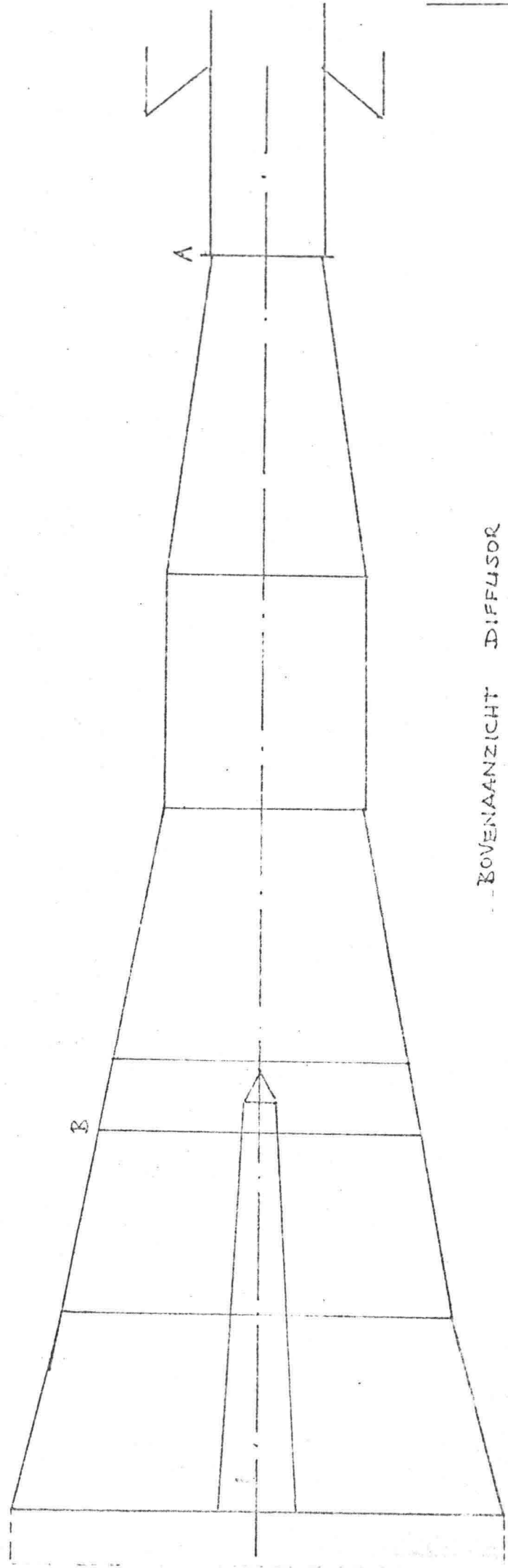


BOVENAANZICHT DIFFUSOR

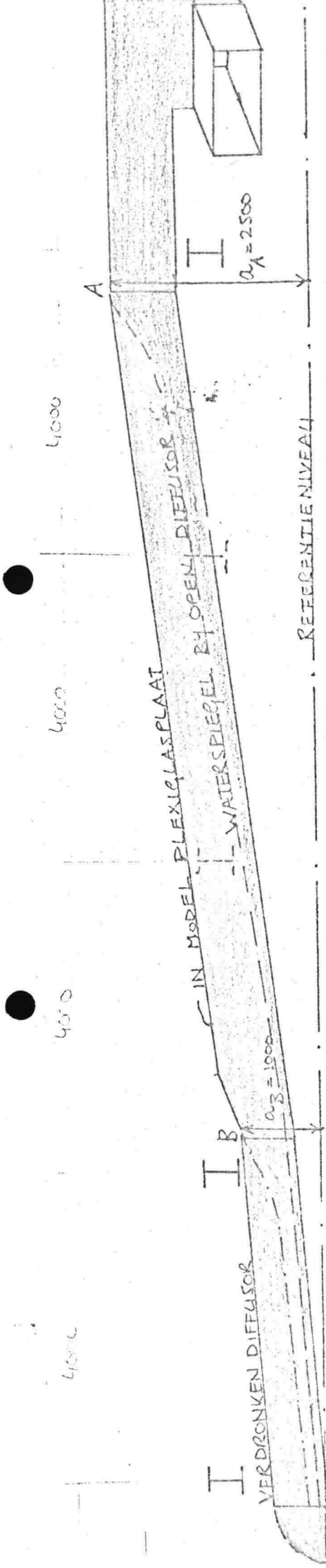
Schaal 1:70



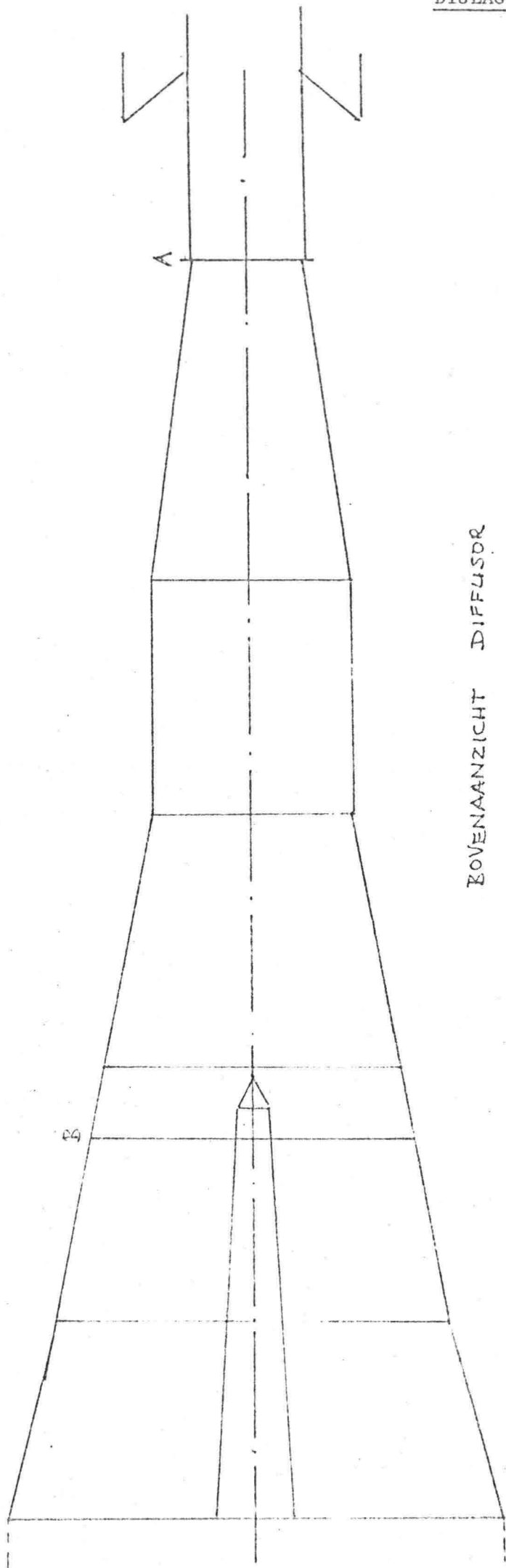
ZYAAANZICHT DIFFUSOR
Schaal 1:70



BOVENAANZICHT DIFFUSOR
Schaal 1:70



ZYVAANZICHT DIFFUSOR
Schaal 1:70



BOVENAANZICHT DIFFUSOR
Schaal 1:70

Meting van turbulentie achter de stutten.

u/\bar{u}

0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0

Volkm.

10

9

8

7

6

5

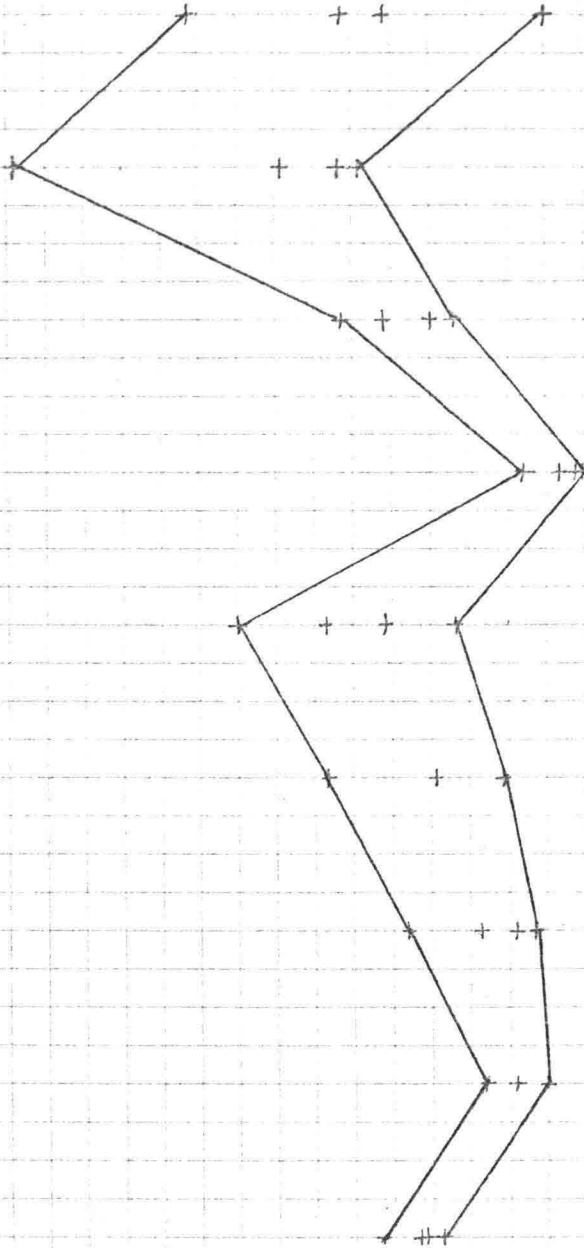
4

3

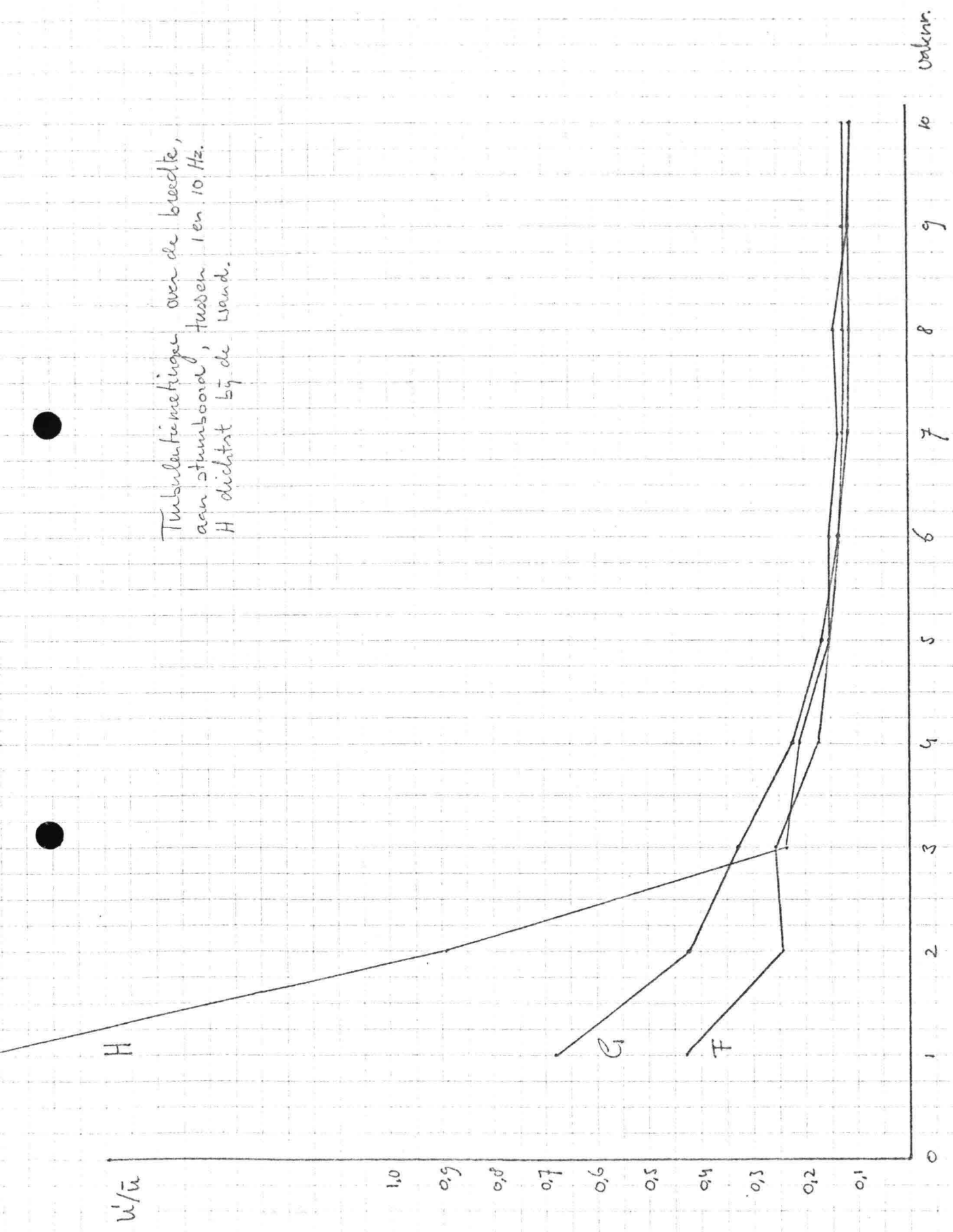
2

1

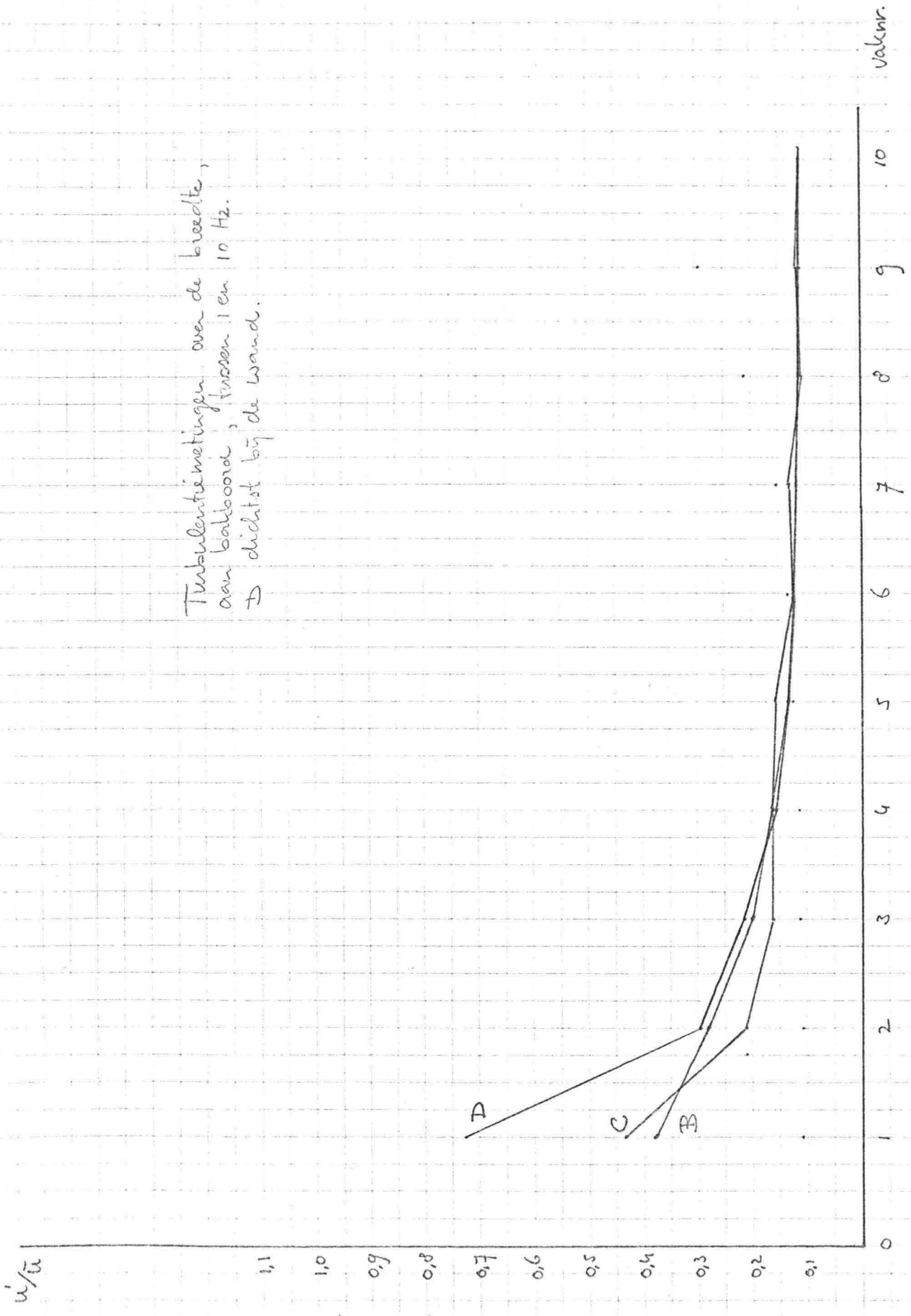
0

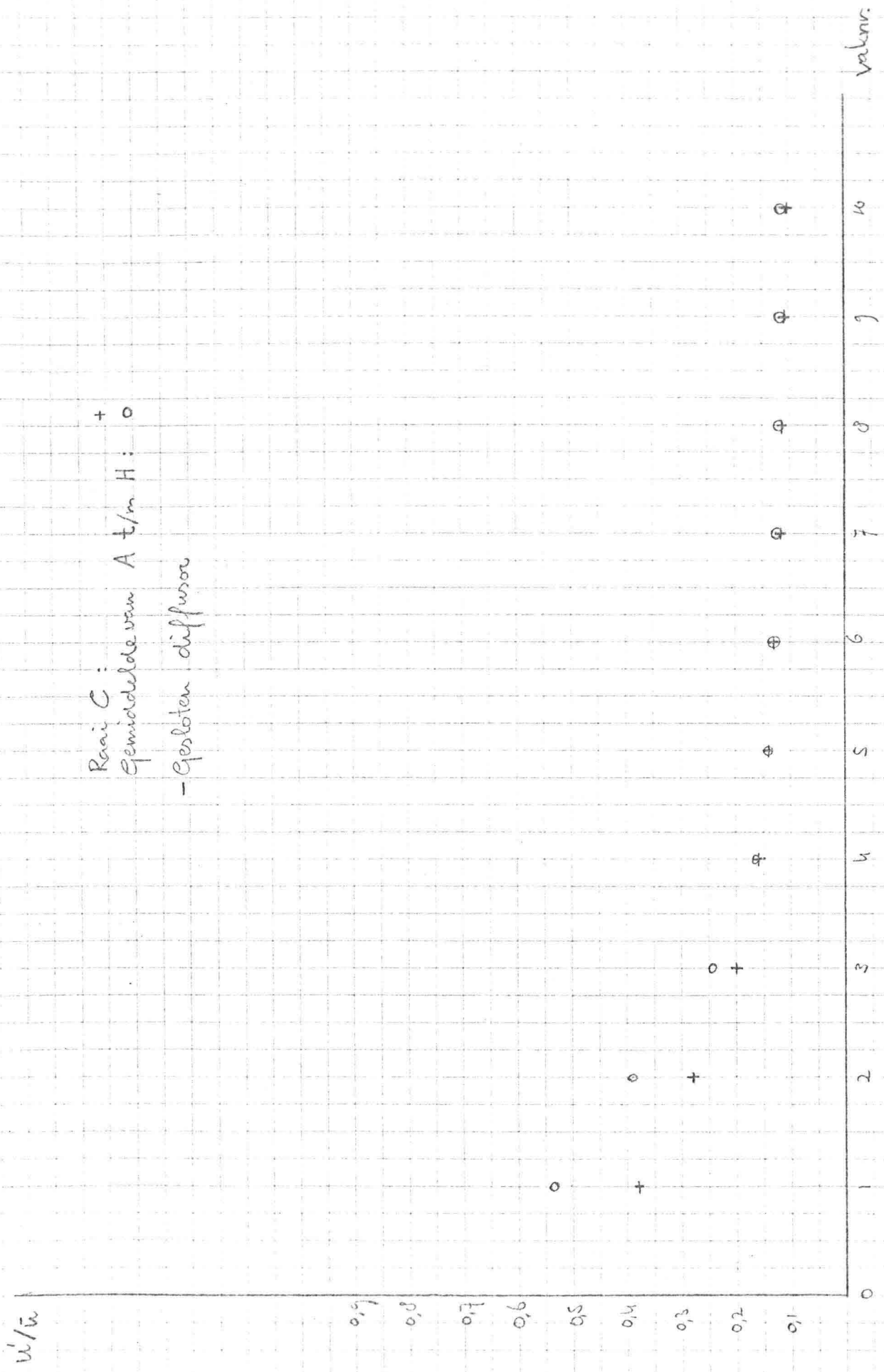


Turbulentie metingen over de breedte, aan stuurboord, tussen 1 en 10 Hz. H dichtst bij de wand.



Turbulentie metingen over de breedte,
aan balboord, tussen 1 en 10 Hz.
D dichtst bij de wand.





Meting IV

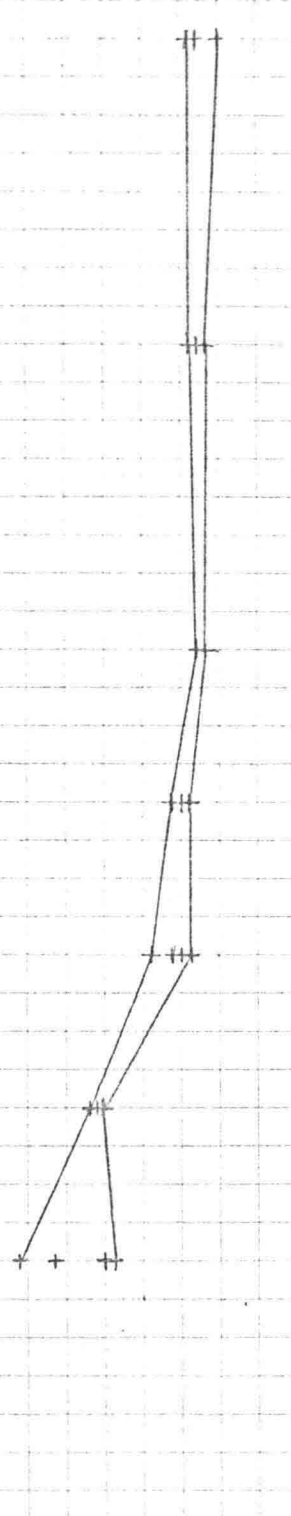
- Gesloten duffwaa
- Staalprofiel
- Eendelephant

v_i/\bar{v}

0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0

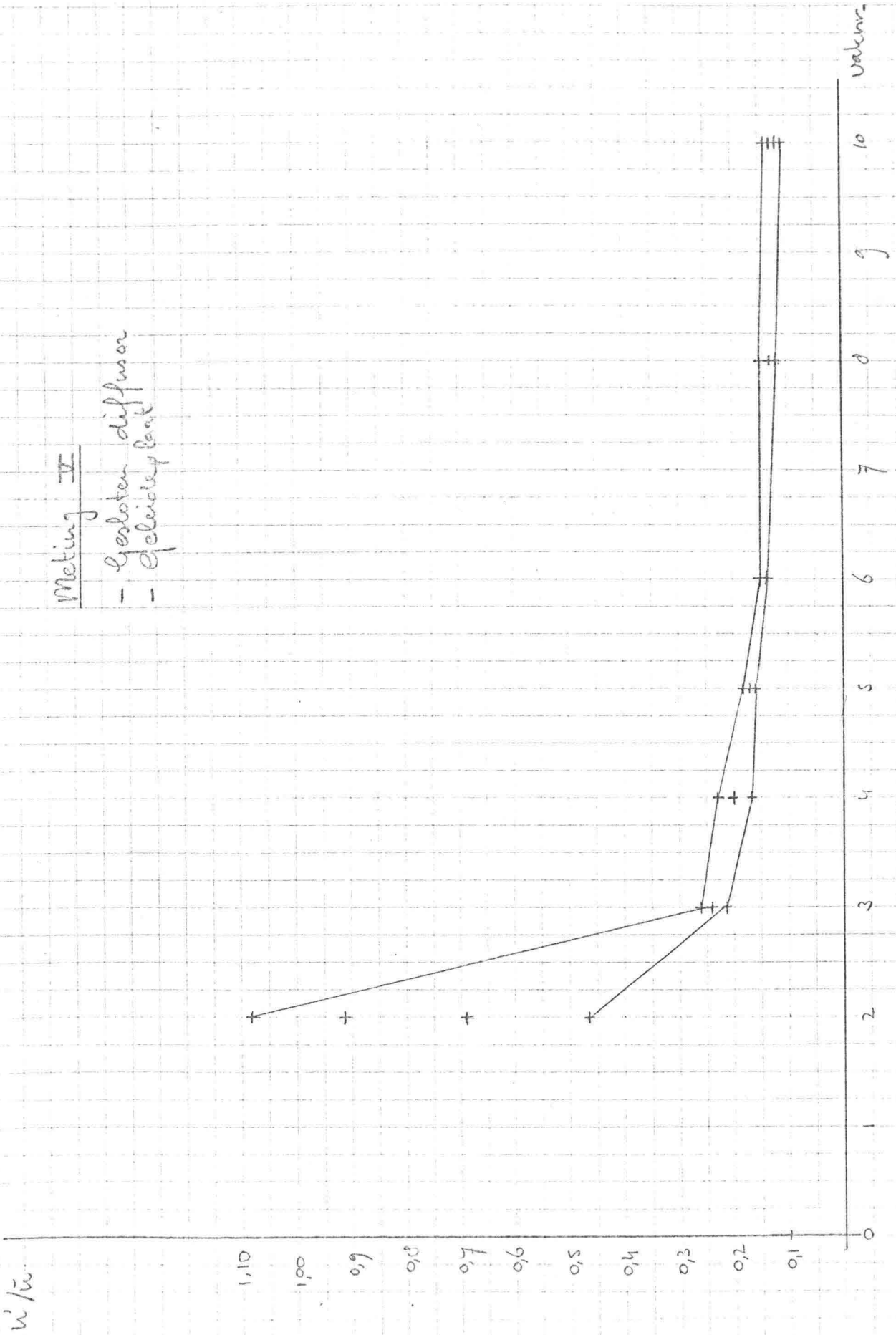
Waarnr.

10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0

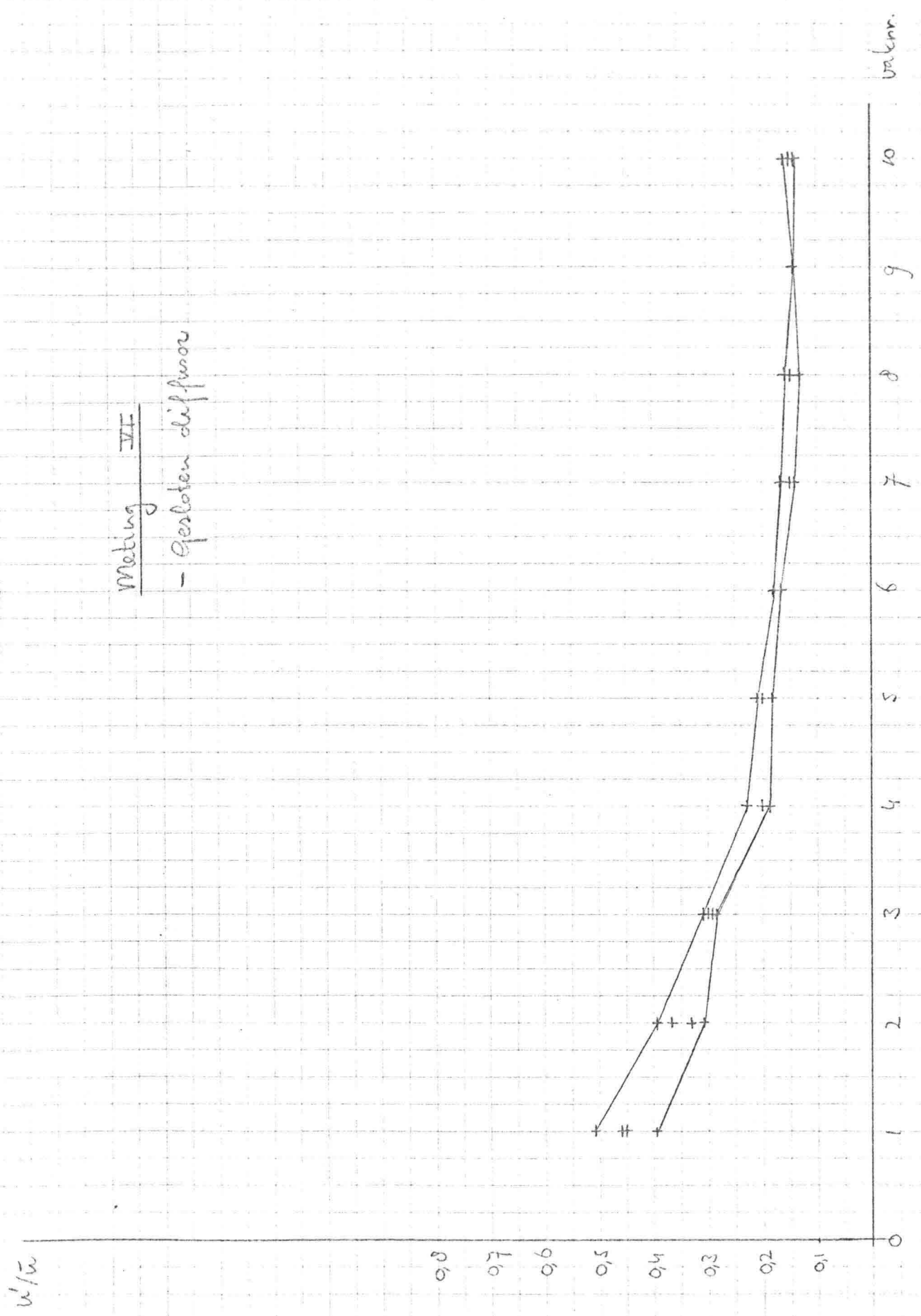


Meting II

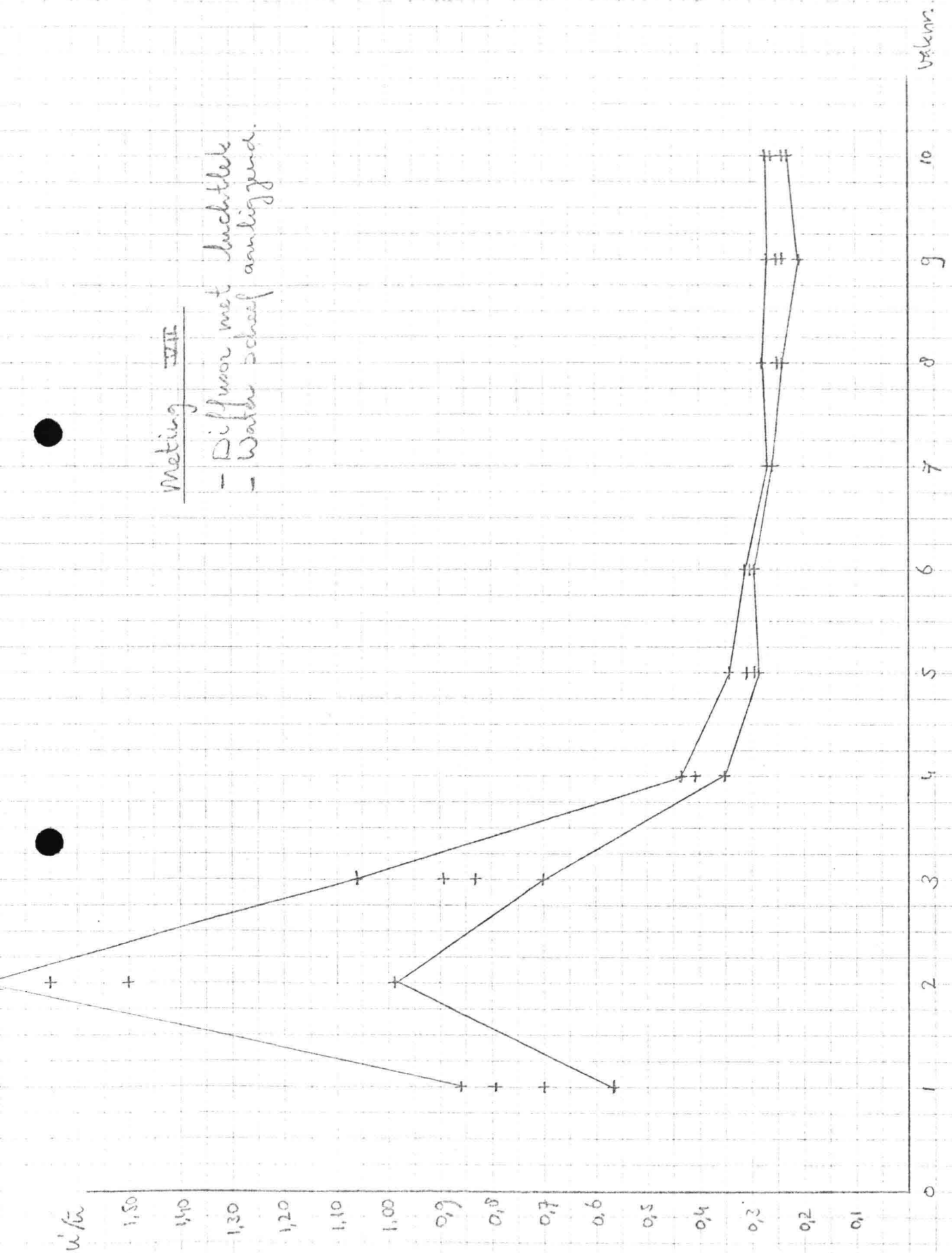
- Gesloten diffusor
- Geleidelijk



Meting IVF
 - Gesloten diffusor

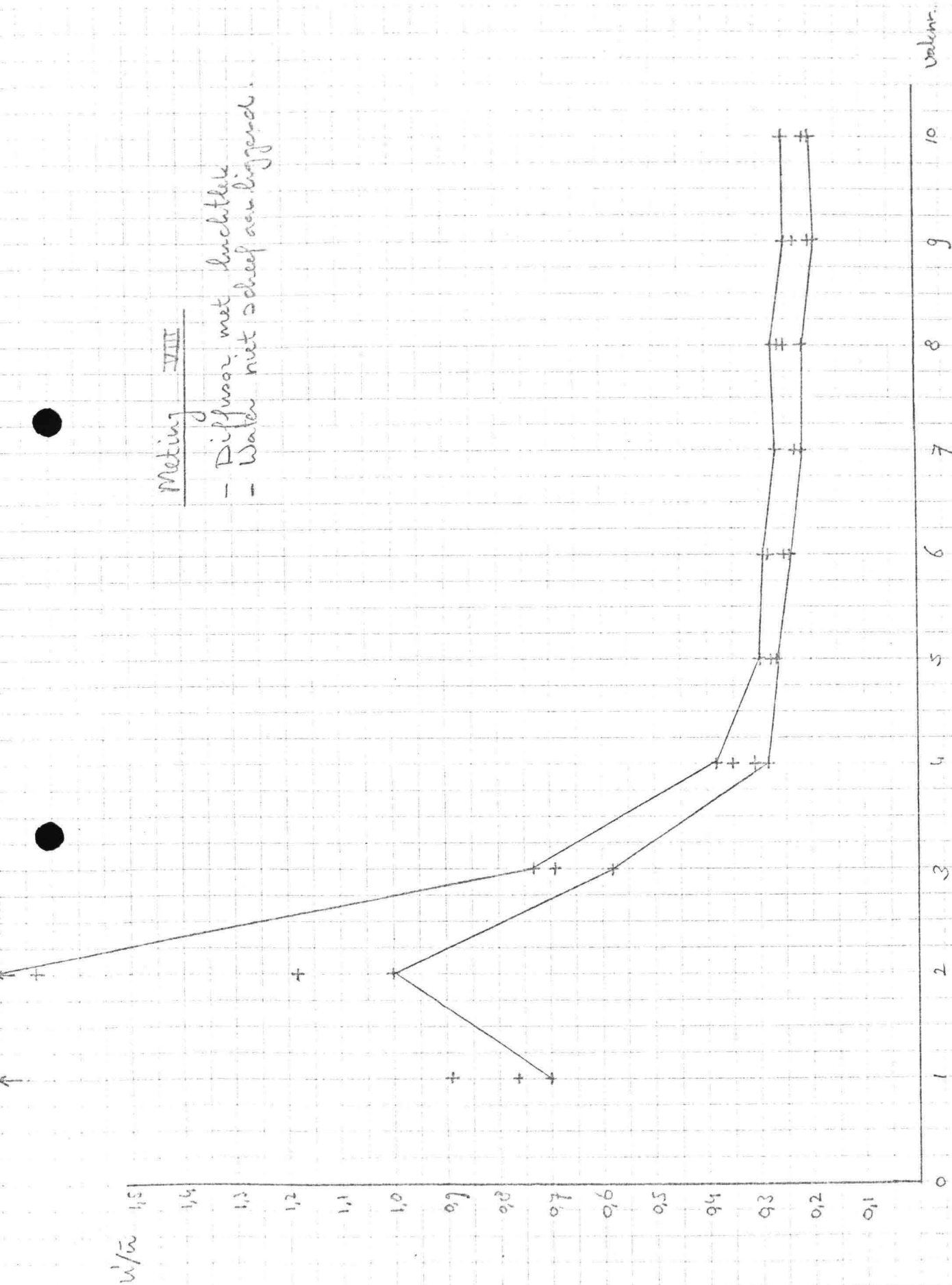


Meting VIII
 - Diffusor met luchtlek
 - Water scheef aanliggend.



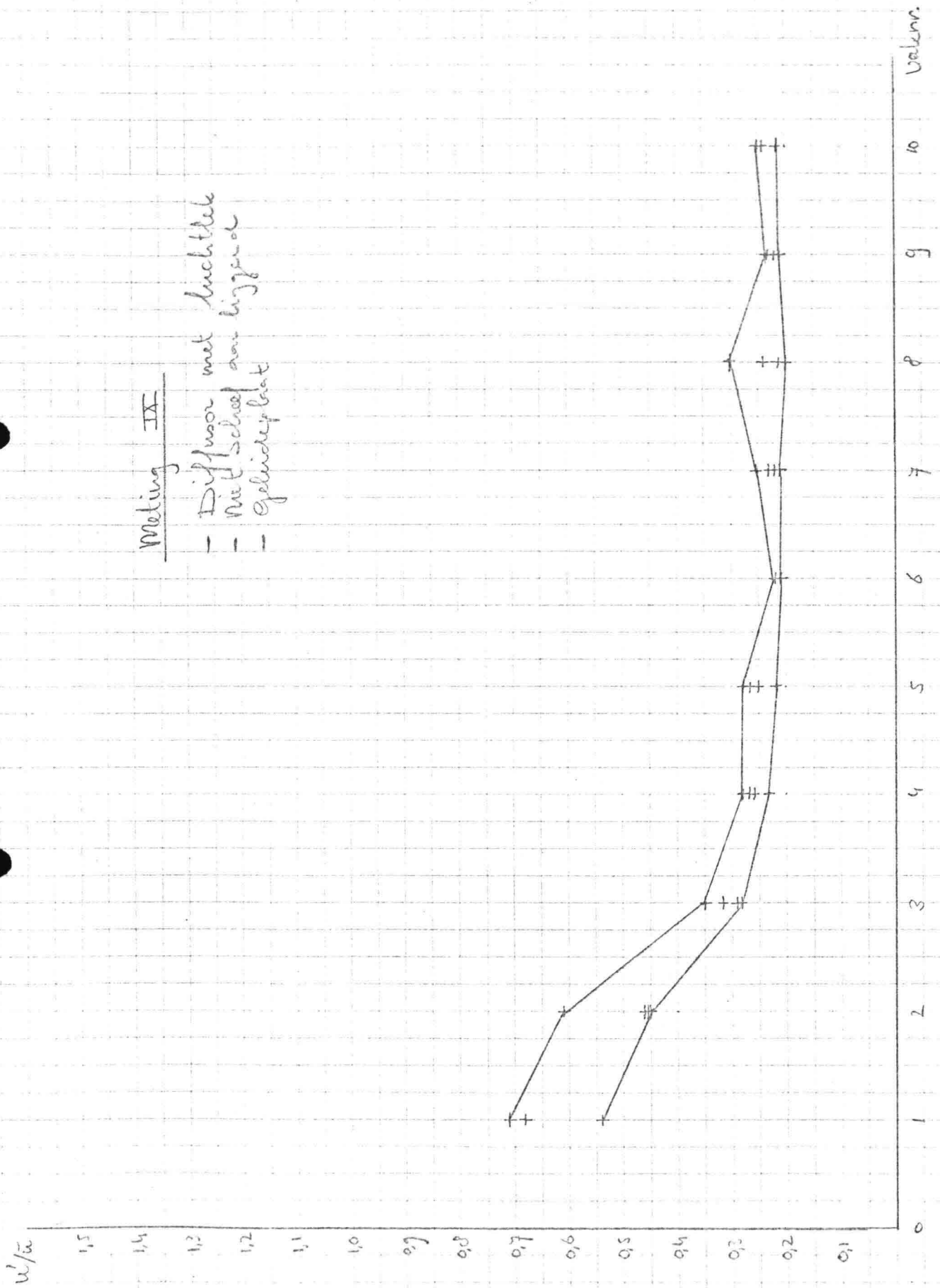
Meting VIII

- Diffusor met luchtlek
- Water niet scheef aanliggend.



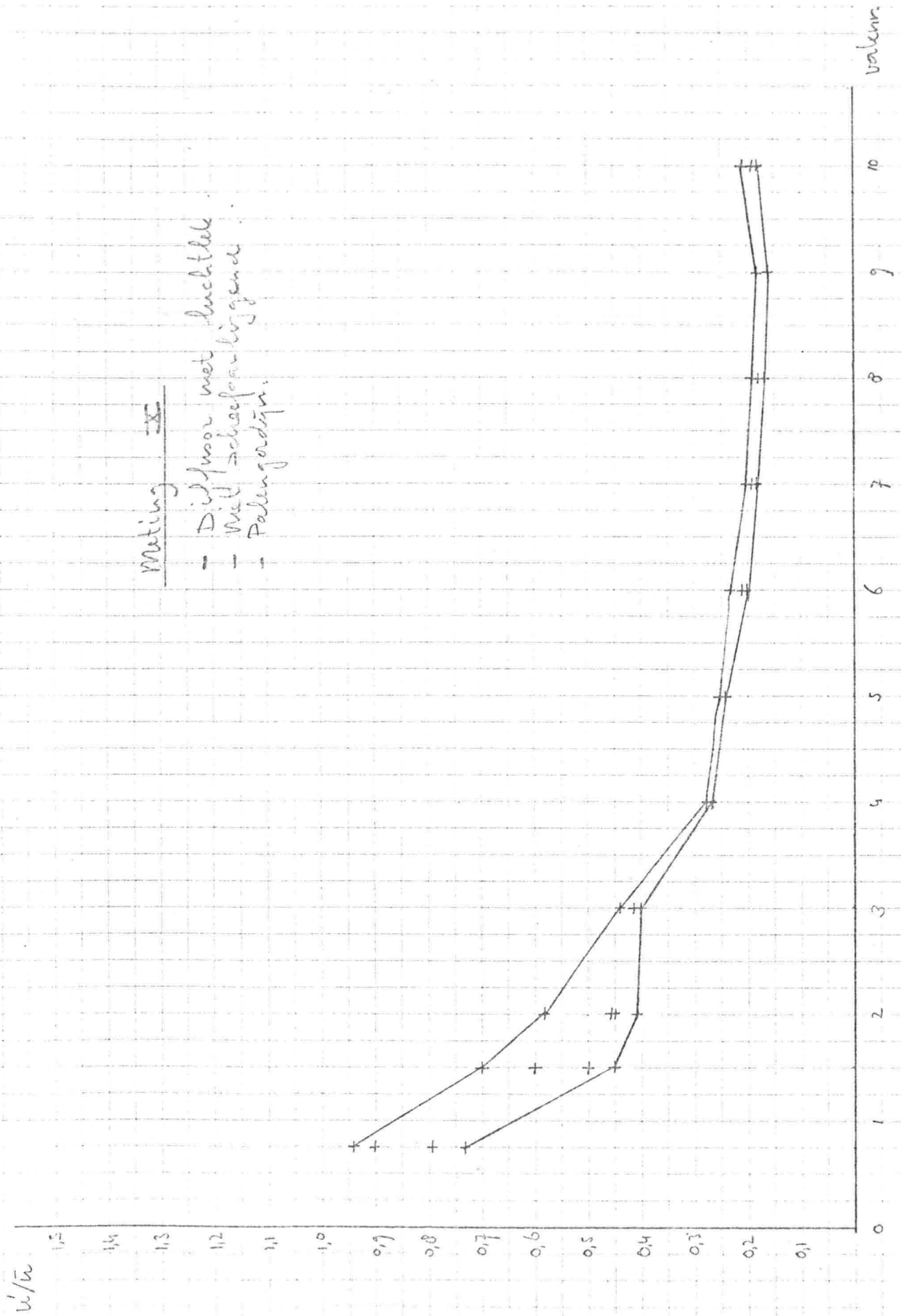
Meting IX

- Diffusor met luchtlek
- met schuif van bijzaak
- gelindedat



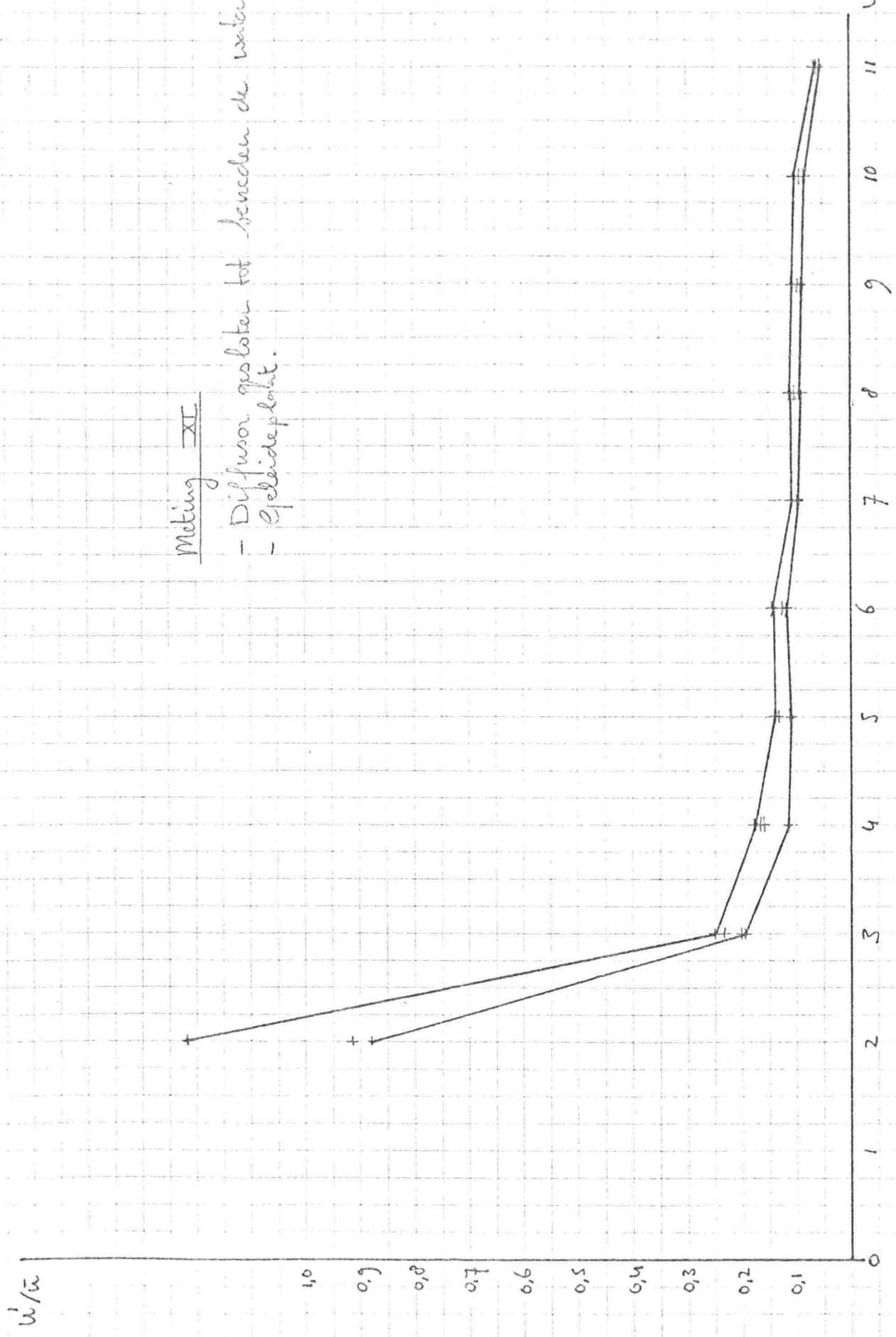
Meting IX

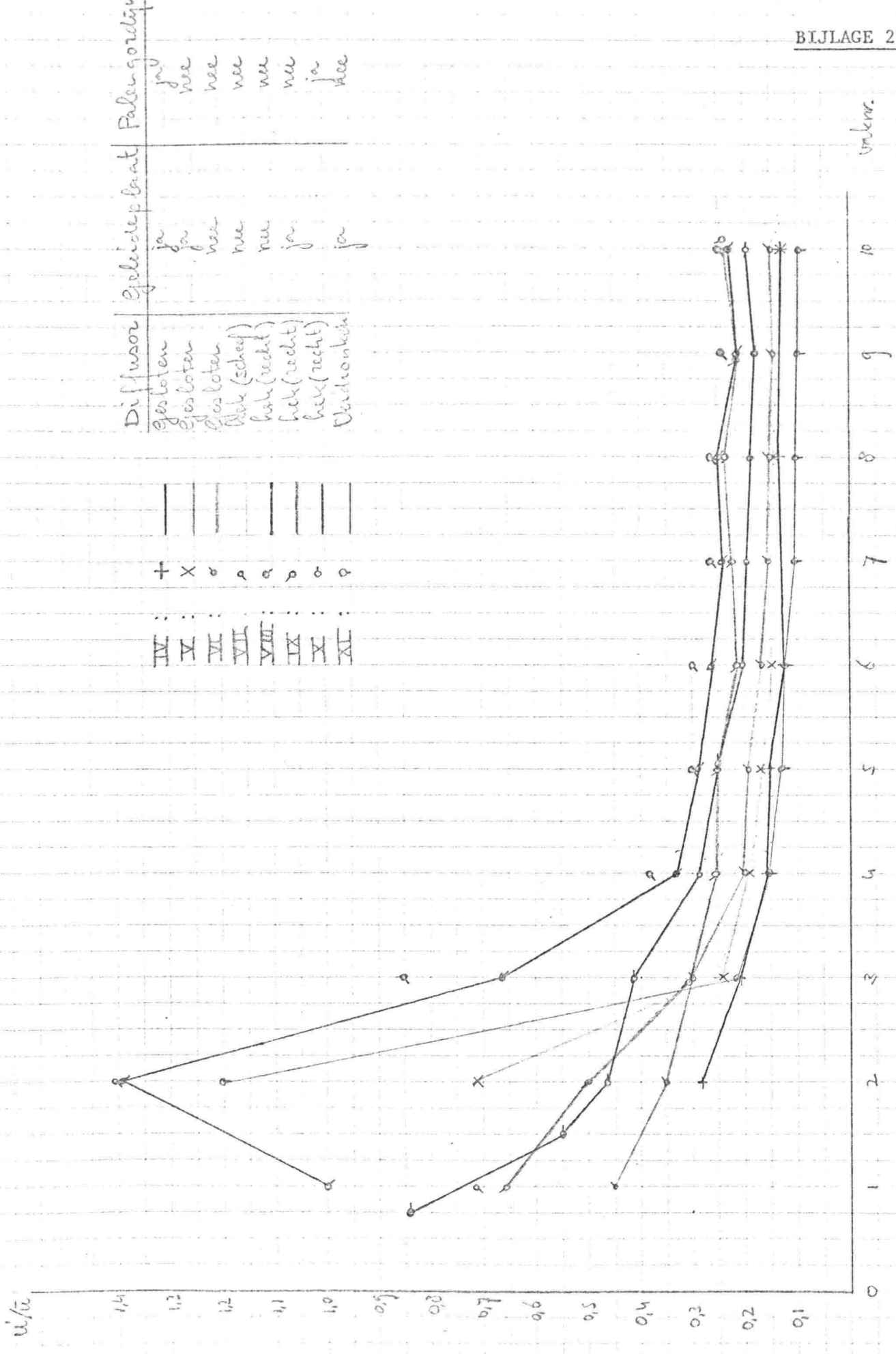
- Duid voor met luchtlek
- Nisil → schoofomlijgende
- Pallen gordijn.



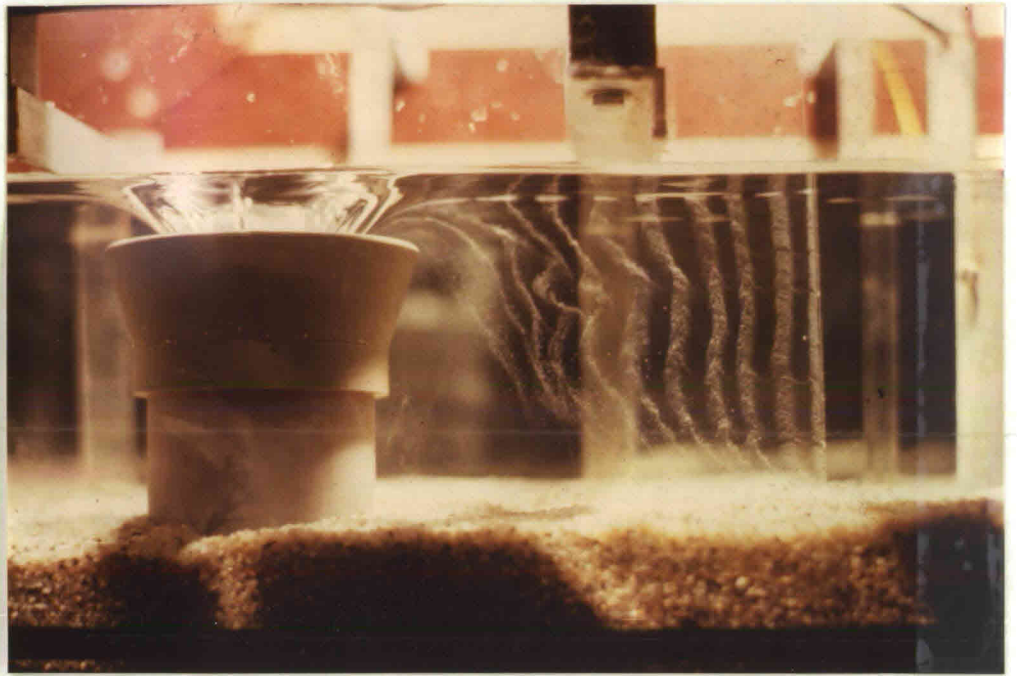
Meting XI

- Diffusor gesloten tot beneden de waterspiegel.
- Afleidingsplaat.

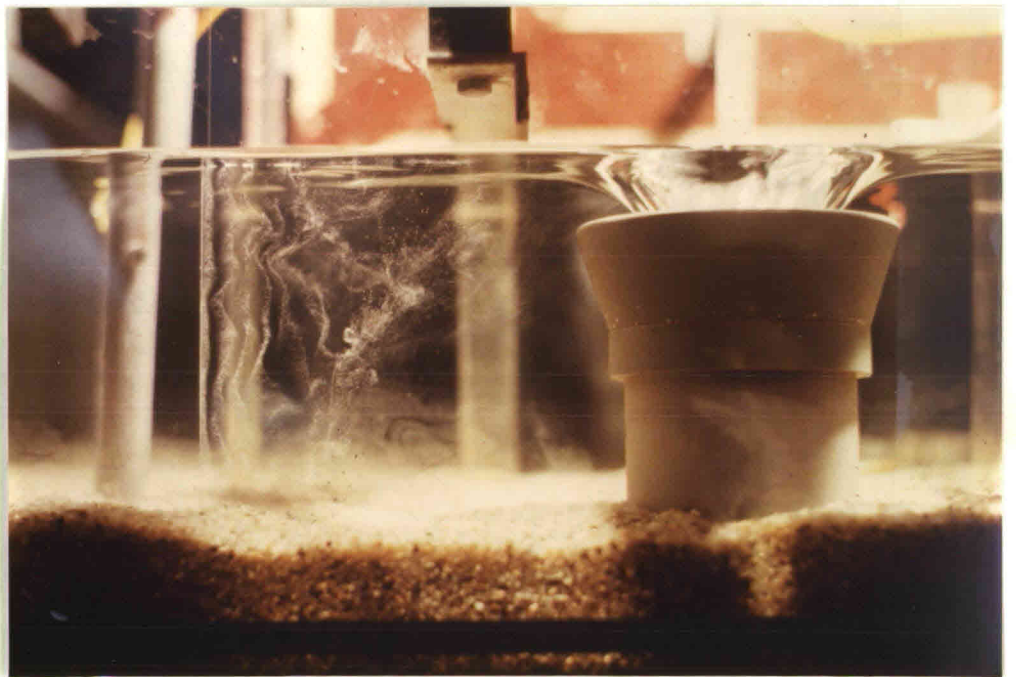




Vindno.



1. Waterstoffbellentechniek bij ronde overvloei,
b.b.-zijde.



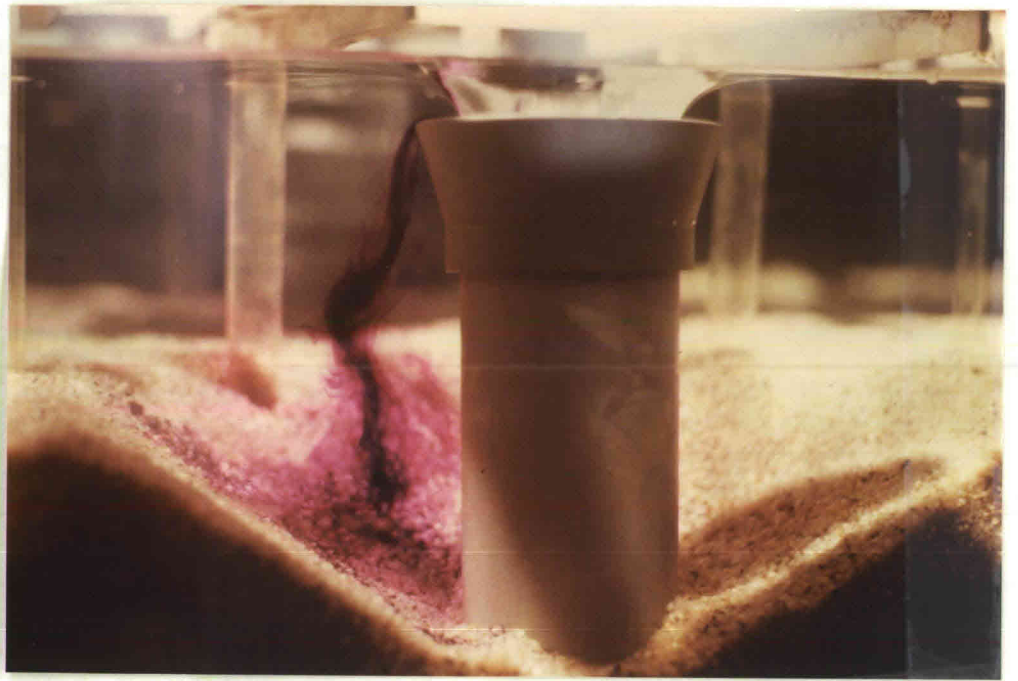
2. Waterstoffbellentechniek bij ronde overvloei,
b.b.-zijde



3. Wervelvorming bij ronde overvloei



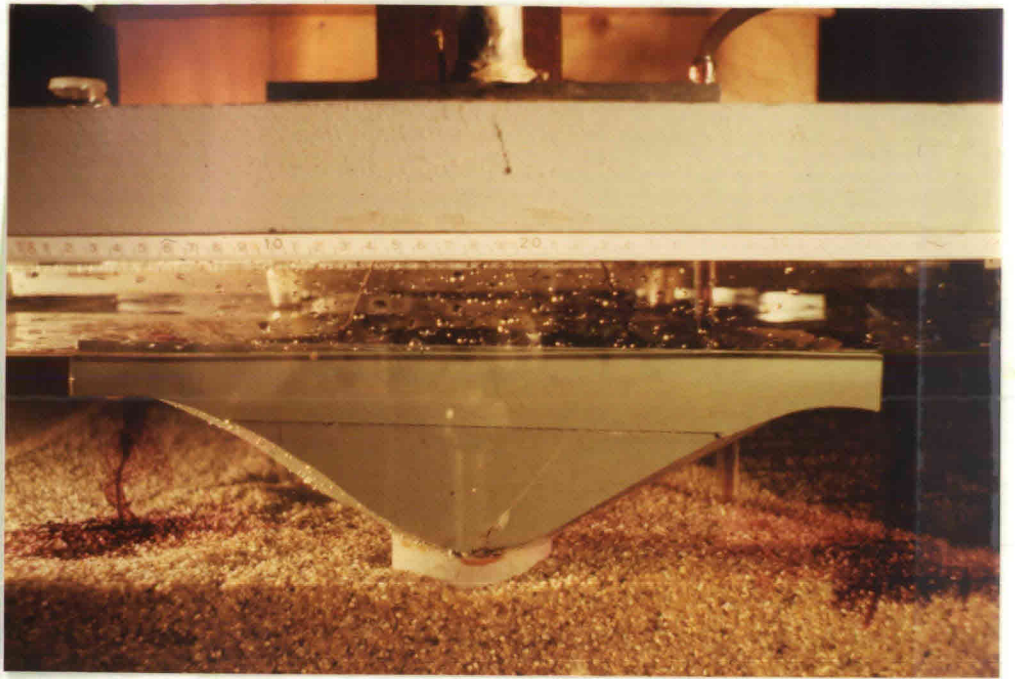
4. Wervelvorming bij ronde overvloei ondanks kraagconstructie



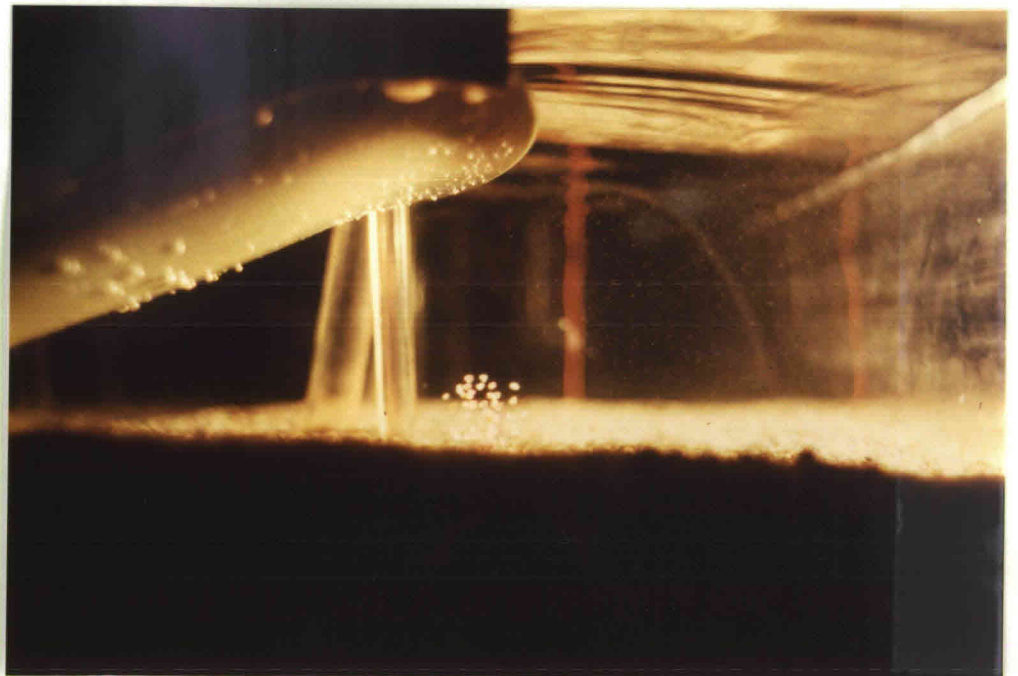
5. Wervelvorming bij ronde overvloei ondanks kunstmatige kuilvorming



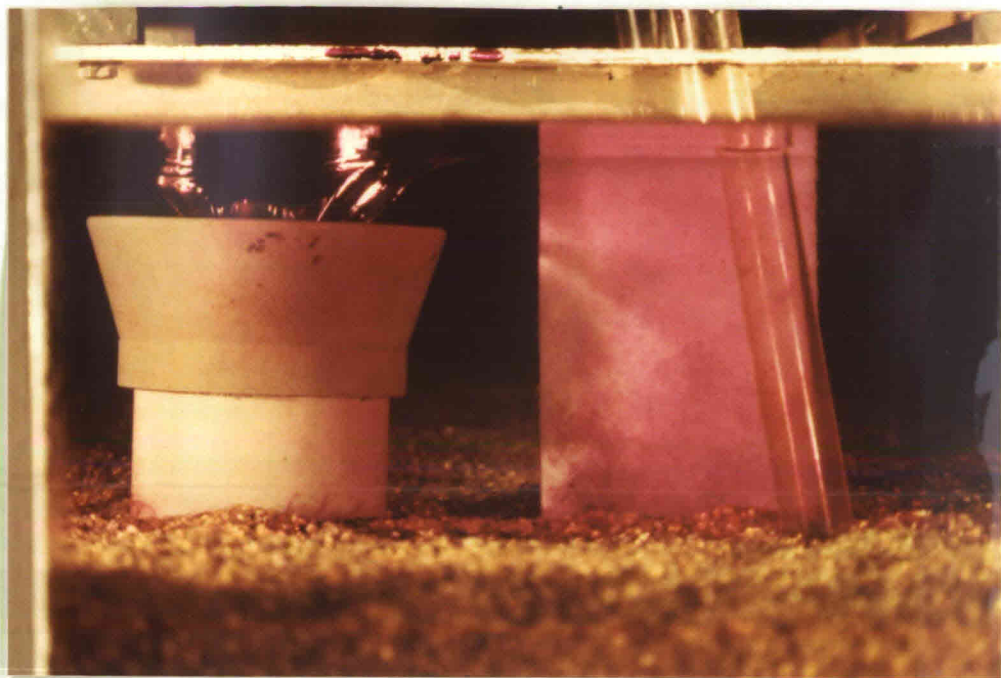
6. Wervelvorming bij halfronde overvloei, gezien vanaf s.b.-zijde beun



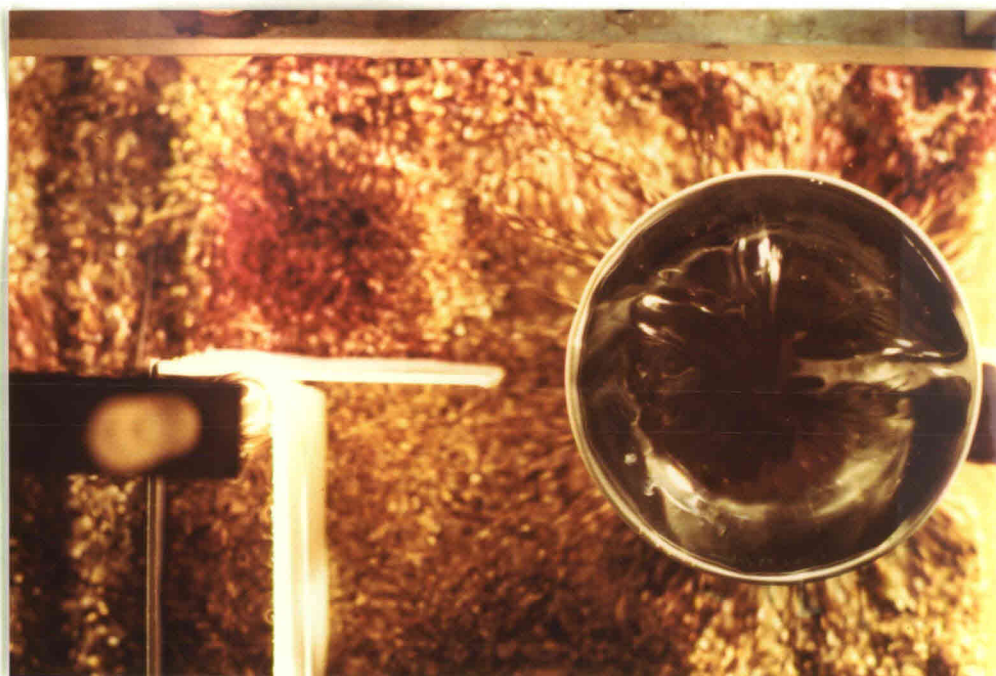
7. Wervelvorming bij halfronde overvloei,
gezien vanaf voorzijde beun



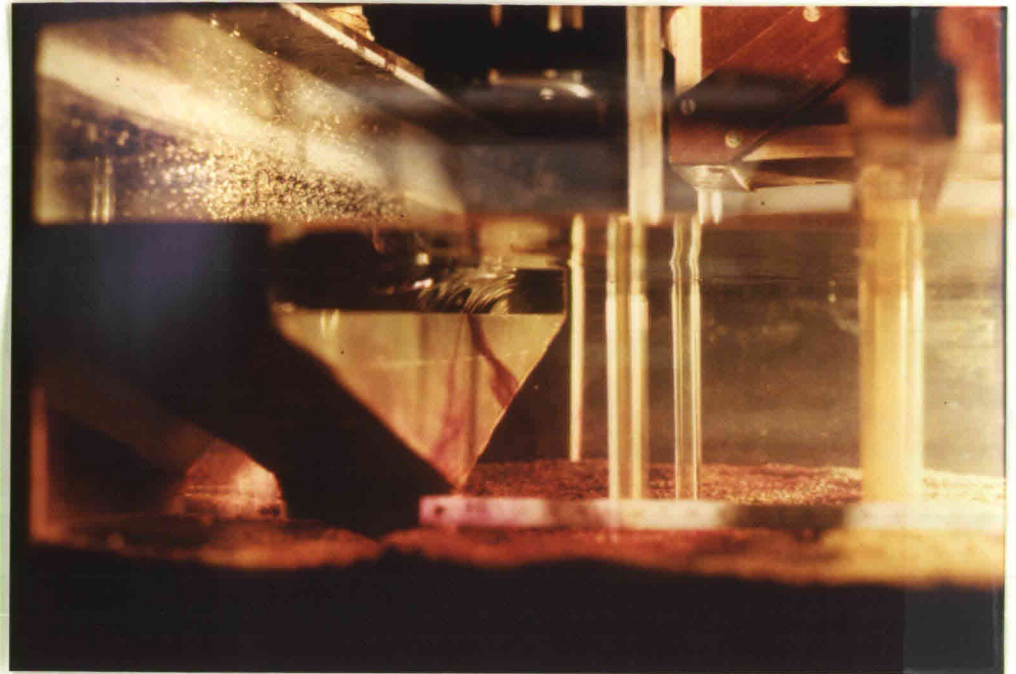
8. Opwerveling korrelmateriaal, $D_{50} = 1,7$ mm



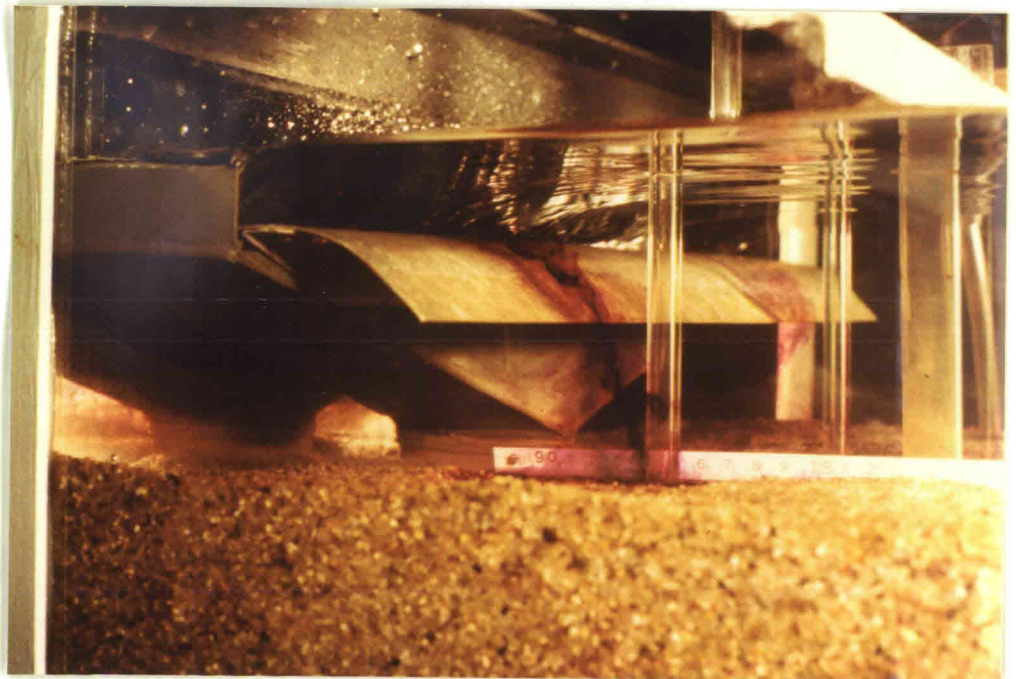
9. Schotten tegen wervelvorming bij ronde overvloei
aan s.b.-zijde, gezien vanaf voorzijde beun



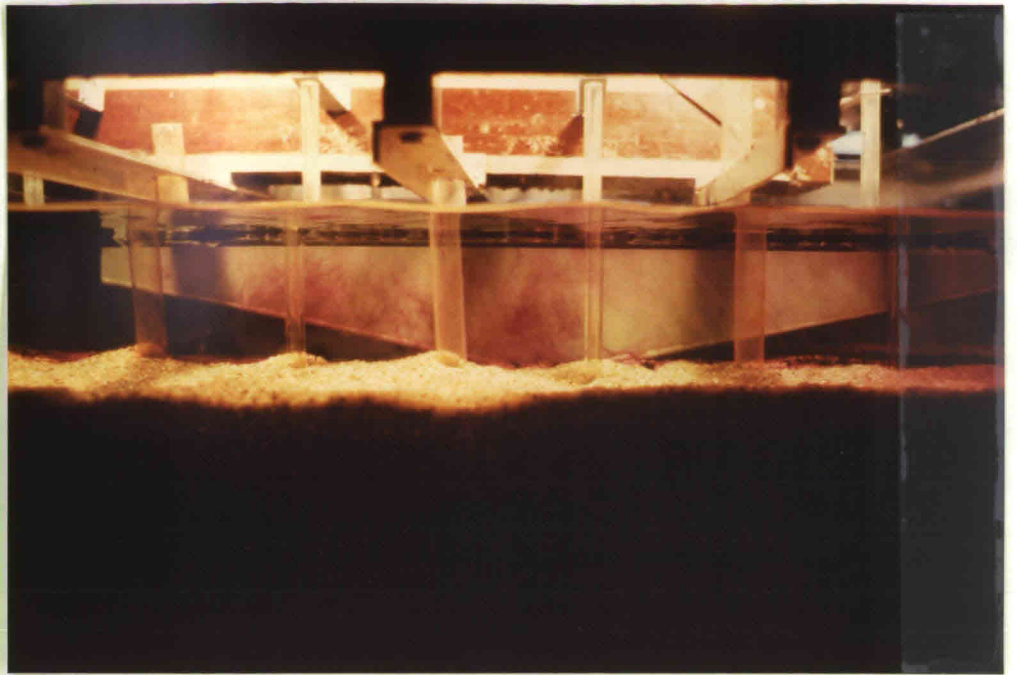
10. Bovenaanzicht schotten tegen wervelvorming



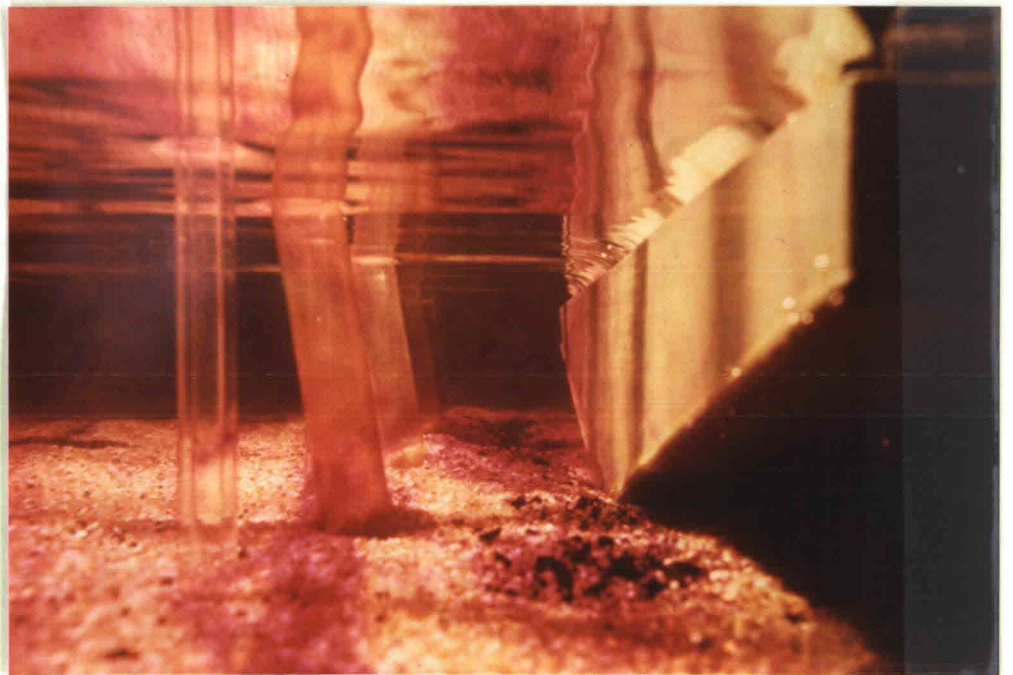
11. Wervelvorming bij rechte overvloei aan het
eind van het beun



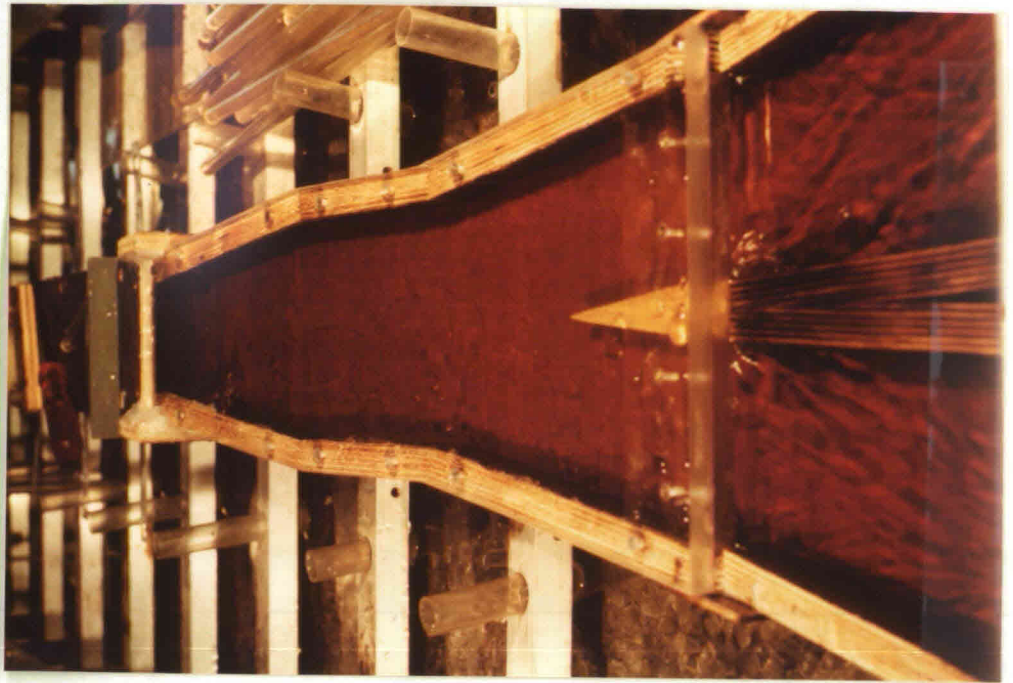
12. Wervelvorming bij rechte overvloei aan het eind
met stroomgeleidingsplaat



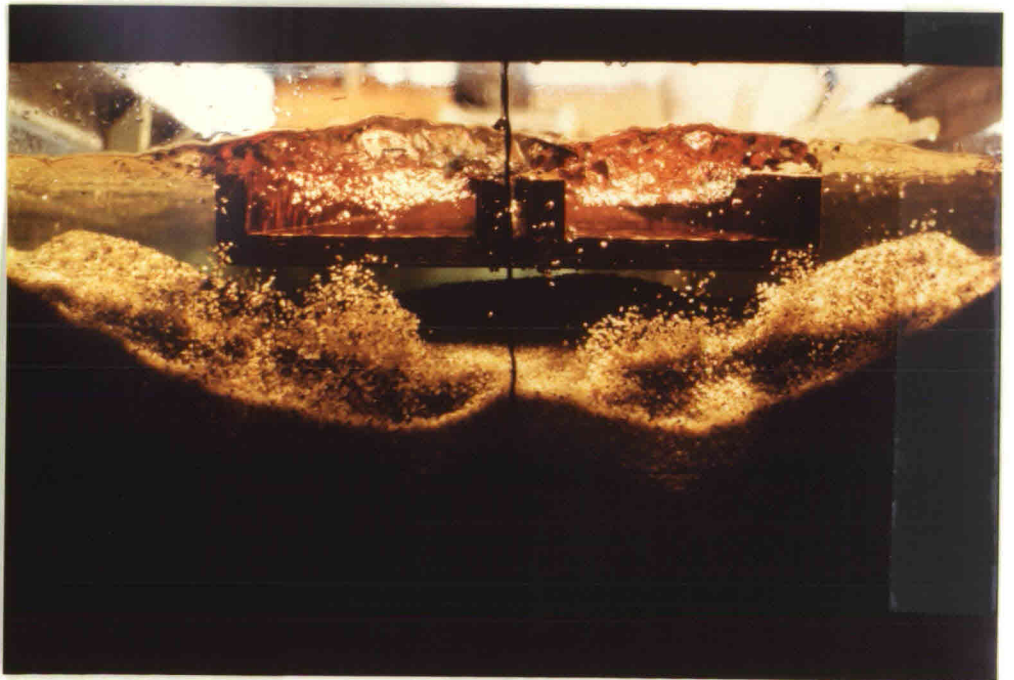
13. Geen wervelvorming bij rechte overvloei in
langsrichting van het beun



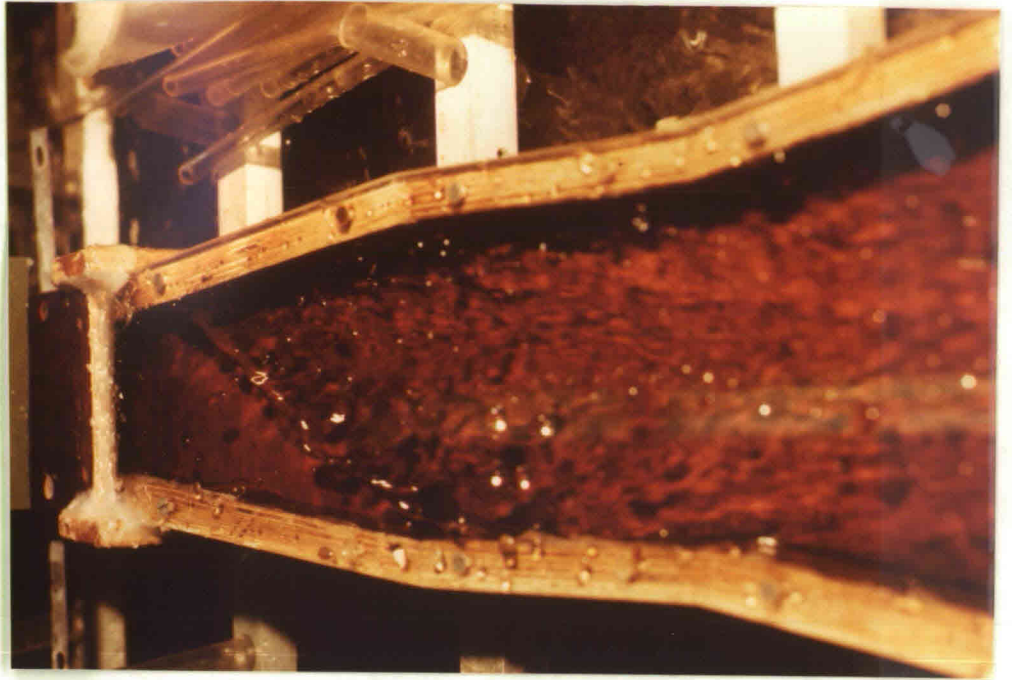
14. Geen wervelvorming bij rechte overvloei in
langsrichting, gezien vanaf voorzijde beun



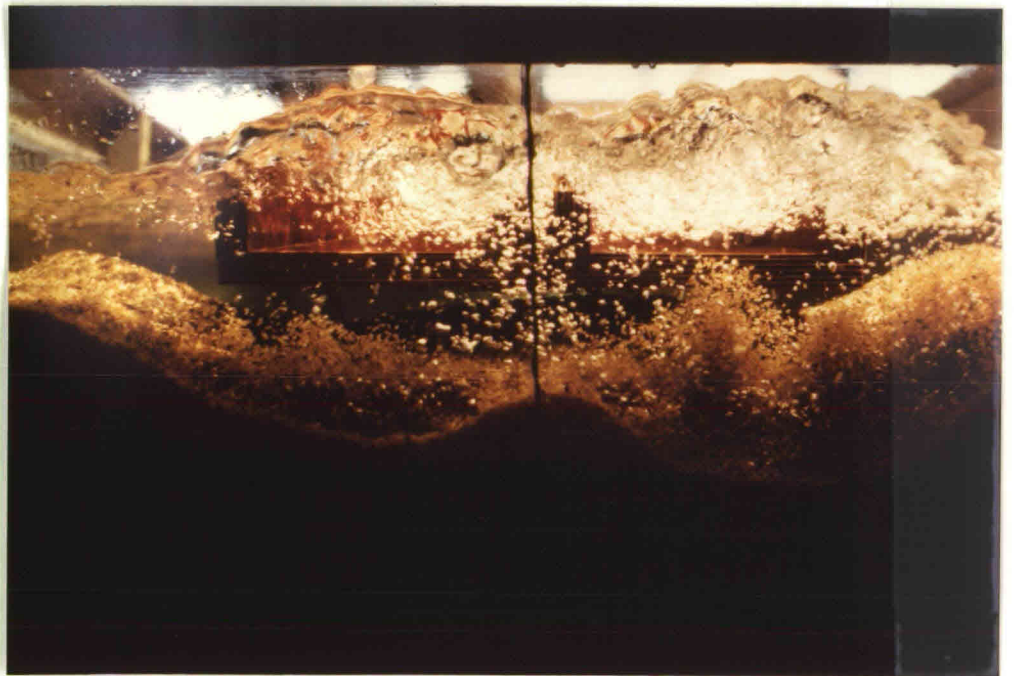
15. Gesloten diffusor met plexiglasplaat



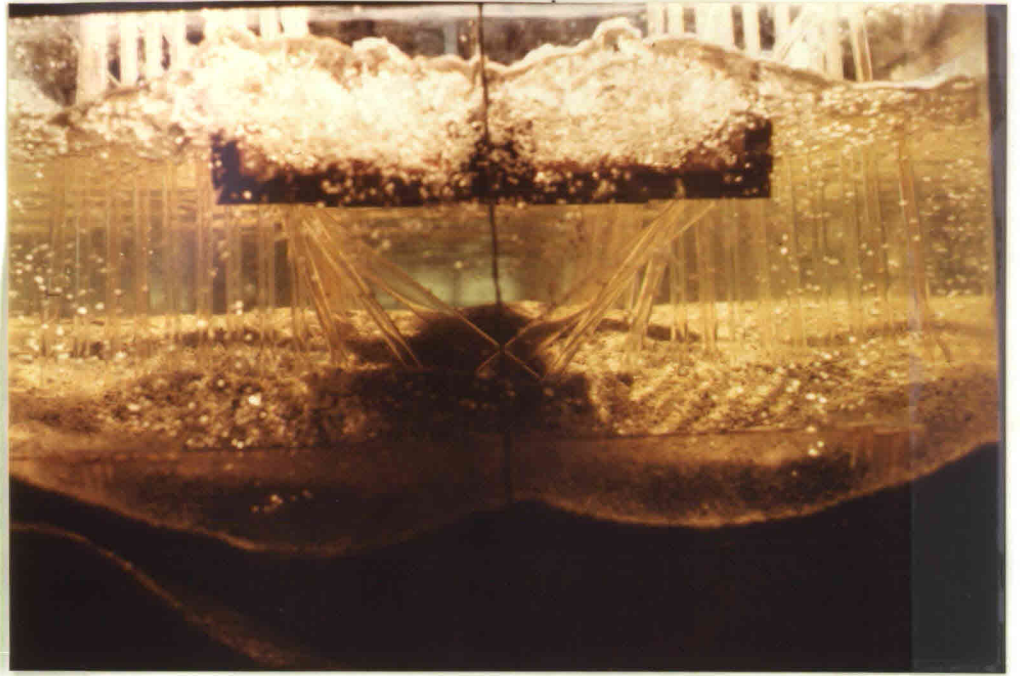
16: Opwerpen van zand ($D_{50} = 1,7$ mm) onder de diffusor



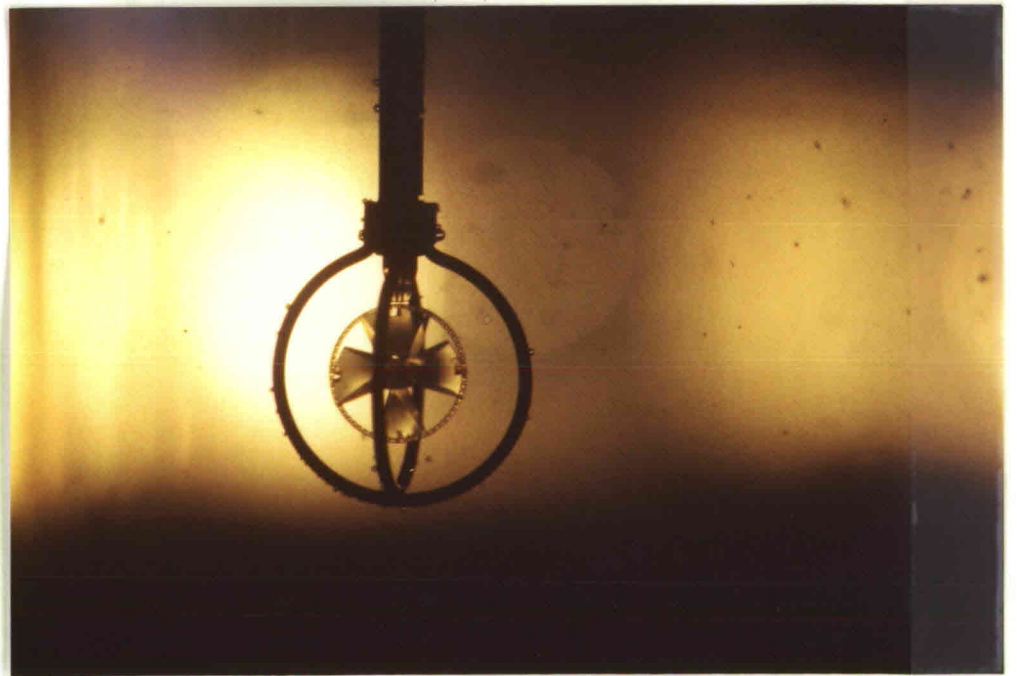
17. Scheef aanliggen van de stroming in de diffusor



18. Scheve ontgrondingskuil onder de diffusor ten gevolge van scheef aanliggen van de stroming



19. Palengordijn onder de diffusor



20. Micromolen

