

W. A. Venis

STROOMBESTENDIGHEID  
SLUITGATDREMPEL

II

BREDE KRUIN

RAPPORT MODELONDERZOEK

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM  
DELFT

M 711

Bijvoegsel bij rapport M 711-II: Stroombestendigheid  
sluitgatdrempel.

In het rapport wordt een serie proeven beschreven welke in de herfst van 1961 verricht zijn in de grote stroomgoot van het Waterloopkundig Laboratorium "de Voorst". Deze proeven hadden tot doel inzicht te verkrijgen in de stroombestendigheid van steenachtige materialen op een onderwater gestorte dam met brede kruin. In het model, dat tweedimensionaal van karakter was, zijn de volgende grootheden gevariëerd:

1. het gemiddelde steengewicht.
2. de damhoogte.
3. de benedenwaterstand.

Als parameter voor de stabiliteit is de gemiddelde snelheid ter plaatse van de benedenstroomse kruinlijn ingevoerd. Algemeen kan gesteld worden, dat

$$\bar{v}_{kr} = f(h, D, d, \rho_m - \rho_w, \rho_w, g, b, \alpha)$$

Hierin is  $D$  = damhoogte  $\alpha$  = vormcoëfficiënt van de steen  
 $b$  = kruinbreedte.

Voor de betekenis van de overige letters zij verwezen naar de lijst van symbolen in het rapport.

In dimensieloze vorm kan de functie geschreven worden als

$$\frac{\bar{v}_{kr}}{\sqrt{g\Delta d}} = f\left(\frac{h}{d}, \frac{D}{h+D}, \Delta, \alpha, \frac{b}{h}\right)$$

De in de proeven beschouwde waarden van de dimensieloze variabelen zijn

$$5 < \frac{h}{d} < 25$$
$$0,5 < \frac{D}{h+D} < 0,8$$

$$\Delta = 1,85$$

In de proeven was  $b$  een bepaalde functie van  $D$ , terwijl de waarde van de vormcoëfficiënt  $\alpha$  niet nader bepaald is. Binnen het kader van de hier beschouwde waarden van de variabelen bleek het mogelijk de resultaten weer te geven door de volgende betrekking

$$\frac{\bar{v}_{kr}}{\sqrt{g\Delta d}} = 1,4 \log 3,5 \frac{h}{d} \quad (\text{fig. 25})$$

In hoeverre een extrapolatie van deze betrekking naar gebieden buiten de hier beschouwde waarden van de variabelen

$\frac{h}{d}, \frac{D}{h+D}, \Delta, \alpha$  mogelijk is, is niet bekend. Uit proeven voor een dam

met scherpe kruin is wel gebleken dat de gegeven betrekking niet meer geldig is voor kleine waarden van  $\frac{b}{h}$ .

Geadviseerd wordt derhalve deze betrekking alleen te gebruiken binnen het gebied waarover de grootheden gevarieerd zijn indien de verhouding  $\frac{b}{h} \gg 5$  is. Het stroombeeld behoort daarbij een overwegend tweedimensionaal karakter te hebben.

's-Gravenhage, 7 oktober 1963.



(Ir. W.A. Venis)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM.

Stroombestendigheid sluitgatedrempel.

Deel II.

Brede kruin.

Rapport modelonderzoek

Code 30.74

M 711.

augustus 1963

## INHOUD.

	blz
<u>1. Algemeen.</u>	
1.1. Inleiding en opdracht.....	1
1.2. Korte samenvatting van de resultaten.....	1
<u>2. Meetopstelling en meetmethoden.</u>	
2.1. Eisen van de opdrachtgever.....	2
2.2. Meetopstelling.....	2
2.3. Meetmethode.....	3
2.3.1. Bepaling van het "begin van beweging".....	3
2.3.2. Bepaling van de snelheidsverdeling.....	3
2.3.3. Bepaling van de waterstand.....	4
2.3.4. Bepaling van de plaats en de mate van aantasting...	4
<u>3. Metingen.</u>	
3.1. Codering van de proeven.....	5
3.2. Beschrijving van de proeven.....	5
3.3. Meetresultaten.....	6
3.4. Nadere beschouwing van de meetresultaten.....	6
3.4.1. De gemiddelde snelheid als criterium van de stro- mingsweerstand.....	6
3.4.2. Bepaling van de afvoercoëfficiënt van de verschil- lende dammen.....	8

FIGUREN.

1. Gegevens basaltslag.
2. Overzicht meetopstelling proefserie I.
3. Overzicht meetopstelling proefserie II.
4. Overzicht meetopstelling proefserie III.
5. Overzicht meetopstelling proefserie IV.
6. Waterstandsverloop en snelheidsverdeling. Proef I a 1.
7.       "       "       "       "       "       "       Proef Ia 2.
8.       "       "       "       "       "       "       Proef Ia 3.
9.       "       "       "       "       "       "       Proef Ib 1.
10.       "       "       "       "       "       "       Proef Ib 2.
11.       "       "       "       "       "       "       Proef Ib 3.
12.       "       "       "       "       "       "       Proef IIa 1.
13.       "       "       "       "       "       "       Proef IIa 2.
14.       "       "       "       "       "       "       Proef IIa 3.
15.       "       "       "       "       "       "       Proef IIb 1.
16.       "       "       "       "       "       "       Proef IIb 3.
17.       "       "       "       "       "       "       Proef IIIa 1.
18.       "       "       "       "       "       "       Proef IIIa 2.
19.       "       "       "       "       "       "       Proef IIIa 3.
20.       "       "       "       "       "       "       Proef IVa 2.
21.       "       "       "       "       "       "       Proef Ia 2.
22.       "       "       "       "       "       "       Proef Ib 2.
23. Snelheidsvertikalen proef Ib 2.
24. Overschrijdingsfrequentielijn van de verplaatste stenen.  
Proef Ia 3.
25. Toetsing vergelijking 5 aan de meetresultaten.

LIJST VAN SYMBOLEN.

- $d_{50}$  = de mediaan van de korrelverdeling.  
 $d_{kr}$  = de kritieke  $d_{50}$ .  
 $g$  = de versnelling t.g.v. de zwaartekracht.  
 $h$  = de hoogte van de waterstand benedenstrooms t.o.v. de kruin.  
 $h_{dam}$  = de waterdiepte boven de dam.  
 $H$  = de energiehoogte bovenstrooms t.o.v. de kruin.  
 $m$  = de afvoercoëfficiënt voor een volkomen overlaat.  
 $q$  = het debiet per eenheid van breedte.  
 $\bar{v}$  = de gemiddelde snelheid.  
 $\bar{v}_{kr}$  = de kritieke gemiddelde snelheid.  
 $v_*$  = de schuifspanningssnelheid.  
 $v_y$  = de snelheid op de diepte  $y$ .  
 $y$  = de diepte, gemeten vanaf de bodem.  
 $y_0$  = de diepte waar  $v_y = 0$ .  
 $\Delta$  =  $(\rho_m - \rho_w)/\rho_w$ .  
 $K$  = 0,4, de konstante van von Karman.  
 $\mu$  = de afvoercoëfficiënt voor een onvolkomen overlaat.  
 $\rho_m$  = de soortelijke massa van het materiaal.  
 $\rho_w$  = de soortelijke massa van het water.  
 $\tau_{kr}$  = de kritieke bodemschuifspanning.  
 $\tau_0$  = de bodemschuifspanning.

LITERATUUR.

- [1.] Lane E.W.  
Proc. American Soc. of Civ. Eng. September 1953.  
Volume 79, separate nr 280.
- [2.] White C.M.  
The equilibrium of grains on the bed of a stream.  
Proceedings of the Royal Society of London, Series A nr 958.  
vol. 174 p.p. 322-338. February 1940.
- [3.] Sundborg A.  
The river Klaralven.  
A study of fluvial processes.  
Bulletin nr 52 of the Inst. of Hydraulics at the Royal Institute  
of Technology. Stockholm 1956.
- [4.] Waterloopkundig Laboratorium Delft.  
M 598. Deel V.  
Stroombestendigheid los materiaal
- [5.] Waterloopkundig Laboratorium Delft  
M 711. Deel I.  
Stroombestendigheid sluitgatrempel.



## Stroombestendigheid sluitgatrempel.

### Brede kruin.

#### 1. Algemeen.

##### 1.1. Inleiding en opdracht.

Het in dit rapport beschreven onderzoek is een voortzetting van hetgeen is neergelegd in rapport M 711, deel I, betreffende de stroombestendigheid van sluitgatrempels.

De opdracht, verstrekt door de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst van de Rijkswaterstaat, luidt als volgt:

- a. Criteria te bepalen voor de stromingsweerstand van stortsteen op een drempel met vlakke kruin.
- b. Het verband te bepalen tussen deze criteria en een voor de steen kenmerkende grootheid.
- c. De plaats te bepalen waar de grootste aantasting optreedt.

Het onderzoek heeft plaats gevonden in de grote stroomgoot van het Waterloopkundig Laboratorium "de Voorst" in de periode van augustus tot december 1961. De proeven stonden onder leiding van ir. J. van de Kreeke, ingenieur bij de Rijkswaterstaat, tevens samensteller van dit rapport.

##### 1.2. Korte samenvatting van de resultaten.

Uit de proeven blijkt, binnen de grenzen van de onderzochte toestanden, dat:

- a. de kritieke gemiddelde snelheid ( $\bar{v}_{kr}$ ) kan worden voorgesteld als een functie van de logaritmme van de waterdiepte boven de dam ( $h_{dam}$ ).
- b. de grootste aantasting plaatsvindt ter plaatse van de benedenkruinlijn.

## 2. Meetopstelling en meetmethoden.

### 2.1. Eisen van de opdrachtgever.

Ter verkrijging van een zo goed mogelijk inzicht in het gedrag van stortsteen op een dam met vlakke kruin onder invloed van stromend water, dienen de volgende grootheden te worden gevarieerd.

- a. het gemiddelde steengewicht.
- b. de damhoogte en de damvorm.
- c. de benedenwaterstand.

### 2.2. De meetopstelling.

Als steensoort is gekozen basaltslag, waarvan de gegevens zijn vermeld in fig. 1. De proeven zijn gedaan met 3 verschillende steen-graderingen, waarvan de verschillende mediane diameters respectievelijk zijn: 0,021 m, 0,026 m en 0,033 m.

Bij het onderzoek zijn damhoogten van 0,50 m, 0,70 m, 0,80 m en 0,90 m toegepast bij benedenwaterstanden van 0,875 m en 1,00 m (zie de figuren 2, 3, 4 en 5). Alle gegeven maten zijn modelmaten.

De dam heeft een vaste kern met daarop een bekleding van ca. 0,10 m basaltslag. Om de plaats en de wijze van aantasten beter te kunnen waarnemen is de dam voorzien van 7 stroken gekleurde basalt.

Om modeltechnische redenen in verband met het leeg laten lopen van de goot, is naast het damprofiel een gootje gemaakt met behulp van een langsschot (zie de figuren 2, 3, 4 en 5). Dit gootje wordt tijdens het onderzoek afgesloten met behulp van een schuif.

De waterstanden en snelheden worden bepaald met 7 pitotbuizen, welke verspringend ten opzichte van elkaar zijn geplaatst.

Opgemerkt zij dat de vorm van de dam in de regel iets meer afgerond is dan op de bijlagen staat aangegeven.

### 2.3. Meetmethode.

#### 2.3.1. Bepaling van het "begin van beweging".

Om een objectieve bepaling van het "begin van beweging" mogelijk te maken is nagegaan wat bij het opvoeren van de stroomsnelheid met de steentjes gebeurt.

Reeds ver beneden de snelheid, waarbij aantasting optreedt zijn er een aantal stenen die verplaatsen. Deze stenen die in labiel evenwicht verkeren, vallen bij geringe stroomsnelheid om en rollen dan een paar decimeter door. Bij opvoeren van de snelheid worden geen stenen meer verplaatst totdat een snelheid wordt bereikt, waarbij een groot aantal stenen in trilling geraakt. Dit vindt plaats in de omgeving van de benedenkruinlijn. Een geringe verhoging van de snelheid heeft tot gevolg dat de in trilling geraakte stenen omhoog worden gewipt en wegrollen. Dit moment is aangenomen als het moment van het "begin van beweging".

Twee proeven, welke zijn herhaald met een andere waarnemer, tonen aan, dat het op deze manier bepaalde "begin van beweging" onafhankelijk is van de waarnemer.

De resultaten zijn hieronder weergegeven.

<u>Proef</u>	<u><math>\bar{v}_{kr}</math></u> (m/sec).
Ia 2	1,69
Ia 2 (2 <sup>e</sup> meting)	1,73
Ib 2	1,60
Ib 2 (2 <sup>e</sup> meting)	1,63

Voor de codering wordt verwezen naar par. 3.1.

#### 2.3.2. Bepaling van de snelheidsverdeling.

In ongeveer 8 punten van iedere vertikaal is de snelheid gemeten. Om een nauwkeurige weergave van het onderste deel van de

snelheidsvertikaal te verkrijgen in verband met een eventuele berekening van de schuifspanning, zijn hier de meetpunten dicht bij elkaar gekozen.

Het onderste meetpunt ligt op 2 cm boven de bodem.

Voor het instellen van de pitotbuizen is een tijd aangehouden van 20 minuten. Uit de praktijk is gebleken, dat deze periode voldoende lang is.

### 2.3.3. Bepaling van de waterstand.

Als waterstand in een vertikaal is aangehouden het gemiddelde van alle waarden van de statische buis in de meetpunten van die vertikaal.

### 2.3.4. Bepaling van de plaats en de mate van aantasting.

Door de geringe helderheid van het water is het niet mogelijk diep daarin te zien. Het begin van beweging is dan ook alleen waarneembaar dicht bij de ruiten van de observatieruimte. De aantasting hier en op het midden van de dam komen echter vrijwel overeen zoals na afloop van een proef kon worden geconstateerd. De proef is herhaald, indien belangrijke afwijkingen werden geconstateerd.

Als maat van de aantasting is aangehouden het aantal stenen, dat uit een bepaald vak is verplaatst.

### 3. Metingen.

#### 3.1. Codering van de proeven.

Bij de in de figuren 6 t/m 22 weergegeven proeven is onderstaande codering toegepast:

- I kruinhoogte 0,50 m
- II kruinhoogte 0,70 m
- III kruinhoogte 0,80 m
- IV kruinhoogte 0,90 m
  - a. benedenwaterstand 1,00 m
  - b. benedenwaterstand 0,875 m
  - 1. steengewicht  $13,5 \cdot 10^{-3}$  kg
  - 2. steengewicht  $23,5 \cdot 10^{-3}$  kg
  - 3. steengewicht  $52 \cdot 10^{-3}$  kg.

#### 3.2. Beschrijving van de proeven.

Bij de proeven is begonnen met een snelheid, welke beneden de kritieke snelheid ligt. Langzaam is deze daarna verhoogd, door bij een konstante benedenwaterstand de bovenwaterstand op te voeren tot een begin van beweging optreedt (trillen van de stenen). Dit is het tijdstip, waarop met de metingen kan worden begonnen.

In iedere vertikaal is gelijktijdig in een meetpunt de drukhoogte en de snelheid bepaald. Het aantal meetpunten in een vertikaal is ongeveer acht. Na afloop van elk onderzoek is de goot geledigd om de mate van aantasting te kunnen nagaan.

### 3.3. Meetresultaten.

In de figuren 6 t/m 22 is het verloop van de snelheidsvertikalen en het verloop van de waterstand, voor en op de dam, aangegeven.

Voor een van de proeven (Ib 2) is dit tevens op eenzijdig logaritmisch papier gedaan (fig. 23).

Uit deze figuren blijkt, dat de snelheidsvertikaal vóór de dam een logaritmisch verloop heeft, maar op de kruin daar sterk van afwijkt. Slechts het onderste deel van de snelheidsvertikaal vertoont hier een logaritmische verdeling. Naar de benedenkruinlijn toe wordt deze logaritmische verdeling over groter hoogte meer benaderd.

Getracht is op de kruin het schuifspanningsverloop te bepalen uit het logaritmische deel van de snelheidsvertikalen. Doordat de snelheidsverdeling zich nog slechts over een geringe hoogte heeft aangepast en tengevolge van plaatselijke verstoringen in het onderste deel van de snelheidsvertikaal, is dit niet mogelijk. Een en ander is te zien in figuur 23.

De aantasting van de dam vindt in hoofdzaak plaats op de buitenkruinlijn. Het aantal verplaatste stenen welke voor het grootste deel afkomstig zijn uit het aan de buitenkruinlijn grenzende gekleurde vlak op de kruin, varieert van 15 tot 150.

Een analyse van de verplaatste stenen van proef Ia 3 (fig. 24) toont aan, dat de verdeling ongeveer dezelfde is als die van de stenen waaruit de dam is opgebouwd; de  $d_{50}$  is evenwel kleiner.

### 3.4. Nadere beschouwing van de meetresultaten.

#### 3.4.1. De gemiddelde snelheid als criterium van de stromingsweerstand.

In de theorie van de turbulente grenslaag wordt voor een eenparige, permanente kanaalstroming een logaritmisch snelheids-

profiel gevonden, dat voor waarden  $y > y_0$  beschreven wordt door:

$$v_y = \frac{v^*}{K} \ln \frac{y}{y_0} \quad (1)$$

waarin  $v^* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho_w}}$ , de schuifspanningssnelheid

$K = 0,4$ , de constante van von Karman

$y$  = de diepte, waarop de snelheid  $v_y$  heerst, te rekenen van de bovenkant van de bodem af.

$y_0$  = een coëfficiënt, die samenhangt met de ruwheid.

Wanneer aangenomen kan worden dat  $y_0 \ll h$  ( $h$  = waterdiepte), kan uit (1) door integratie tussen de grenzen  $y = y_0$  en  $y = h$ , een betrekking voor de gemiddelde profielsnelheid afgeleid worden:

$$\begin{aligned} \bar{v} &= \frac{1}{h} \int_{y_0}^h v_y dy = \\ &= \frac{v^*}{Kh} \left[ \int_{y_0}^h \ln y dy - \ln y_0 \int_{y_0}^h dy \right] = \\ &= \frac{v^*}{Kh} \left[ y \ln y - y - y \ln y_0 \right] \Big|_{y_0}^h = \\ &= \frac{v^*}{K} \left[ \ln \frac{h}{y_0} - \left( 1 - \frac{y_0}{h} \right) \right]. \end{aligned}$$

Omdat aangenomen werd, dat  $y_0 \ll h$ , kan hiervoor worden geschreven:

$$\begin{aligned} \bar{v} &= \frac{v^*}{K} \left( \ln \frac{h}{y_0} - 1 \right) = \\ &= \frac{v^*}{K} \ln \frac{h}{ey_0} \end{aligned}$$

of 
$$\bar{v} = 5,75 v^* \log \frac{h}{ey_0} \quad (2)$$

Wordt voorts nog aangenomen, dat de grootheid  $y_0$  lineair van de korreldiameter  $d$  afhangt, dan kan voor betrekking (2) geschreven worden:

$$\bar{v} = 5,75 v^* \log c \frac{h}{d} \quad (3)$$

Uit tal van onderzoeken (zie o.a. lit. [1], [2], [4]) is gebleken, dat voor grof materiaal bij een vlakke bodem geldt:

$$v_{kr}^* = \sqrt{0,06 \Delta g d} \quad d_1, D_1 = d_2 \cdot D_2 \quad (4)$$

Substitutie van (4) in (3) geeft:

$$\bar{v}_{kr} = 1,4 \sqrt{\Delta g d} \cdot \log c \frac{h}{d} \quad (5)$$

Hoewel de snelheidsvertikaal ter plaatse van de grootste aantasting slechts over het onderste deel logaritmisch is, blijkt het toch mogelijk de resultaten van het onderzoek met behulp van (5) te beschrijven. Dit moge blijken uit figuur 25, waarin  $\bar{v}_{kr}/\sqrt{\Delta g d}$  is uitgezet tegen  $h/d$ .

### 3.4.2. Bepaling van de afvoercoëfficiënt van de verschillende dammen.

Voorzover de meetnauwkeurigheid dat toeliet, zijn uit de proeven tenslotte nog de afvoercoëfficiënten voor de verschillende damtypen bepaald. Daartoe is gebruik gemaakt van de volgende definities:

Voor een onvolkomen overlaat: 
$$\mu = \frac{q}{h \sqrt{2g(H-h)}}$$

Voor een volkomen overlaat: 
$$m = \frac{q}{\frac{2}{3} H \sqrt{\frac{2}{3} gH}}$$

In deze formules is:

$q$  = de afvoer per  $m$  breedte

$h$  = de hoogte van de waterstand benedenstrooms, boven de kruin.

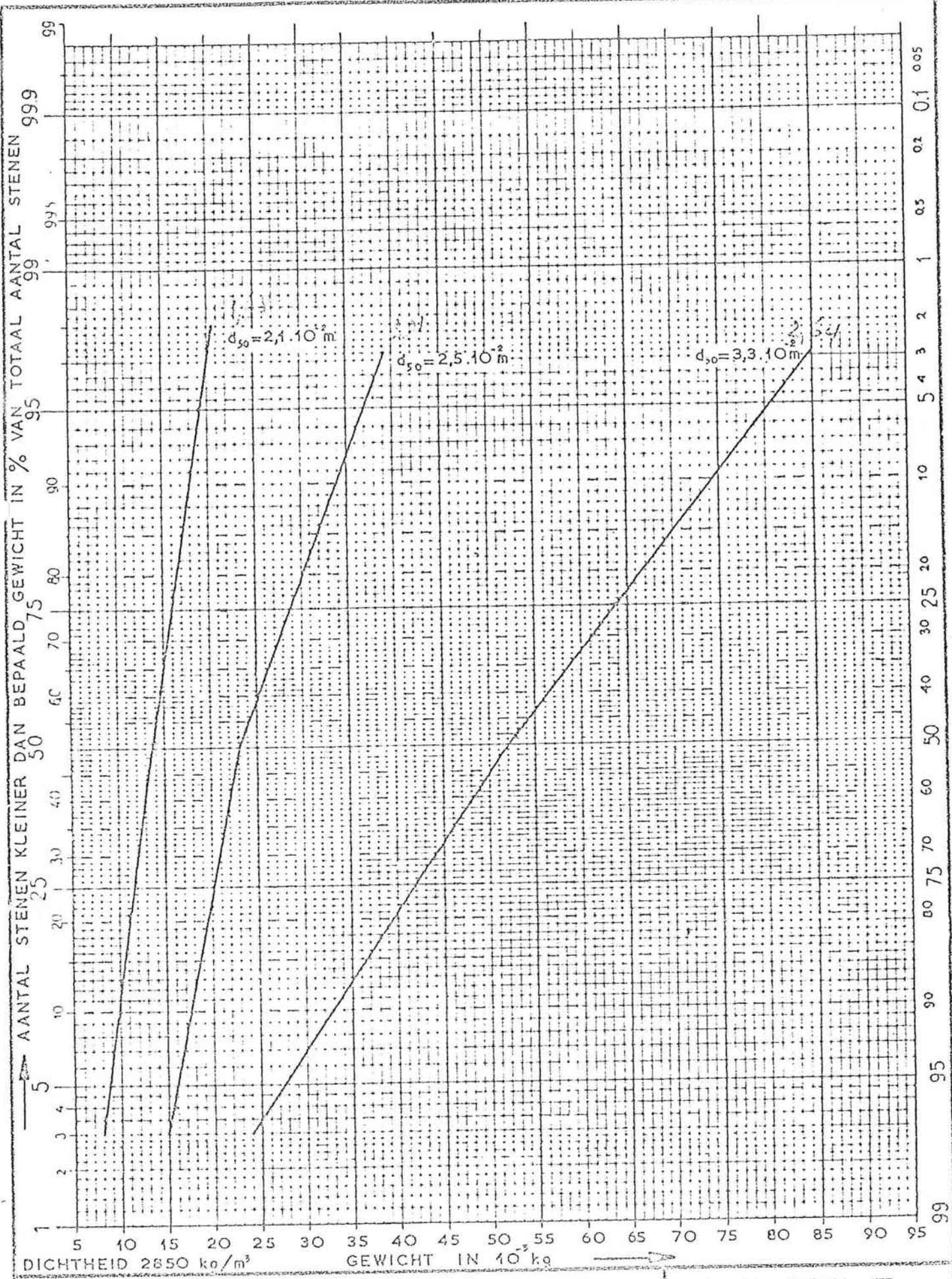
$H$  = de energiehoogte bovenstrooms t.o.v. de kruin.

Als kruinhoogte is aangehouden de gemiddelde hoogte van de kruin.

De grootte van de afvoercoëfficiënten is vermeld in de figuren

6 t/m 22.



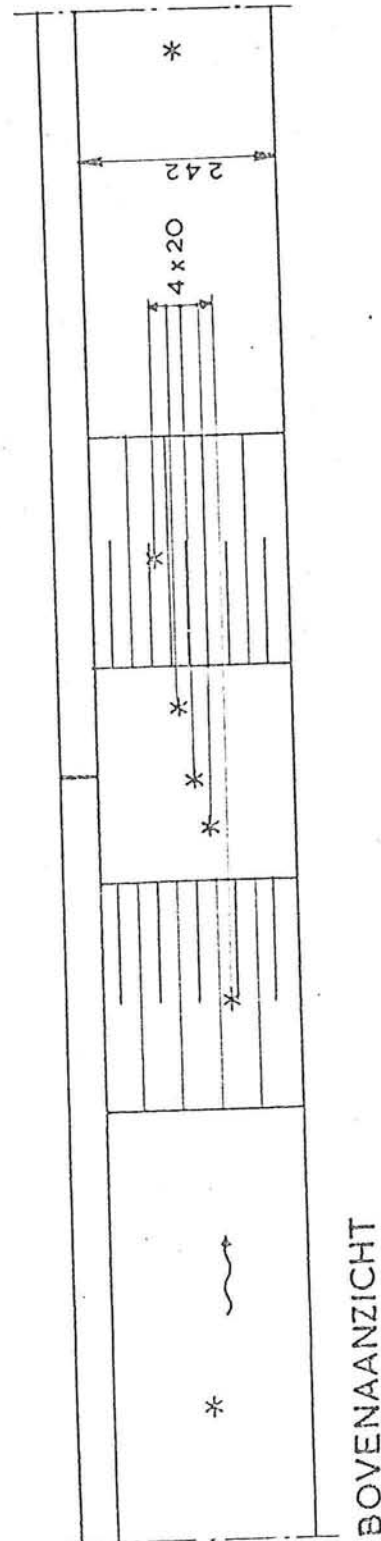
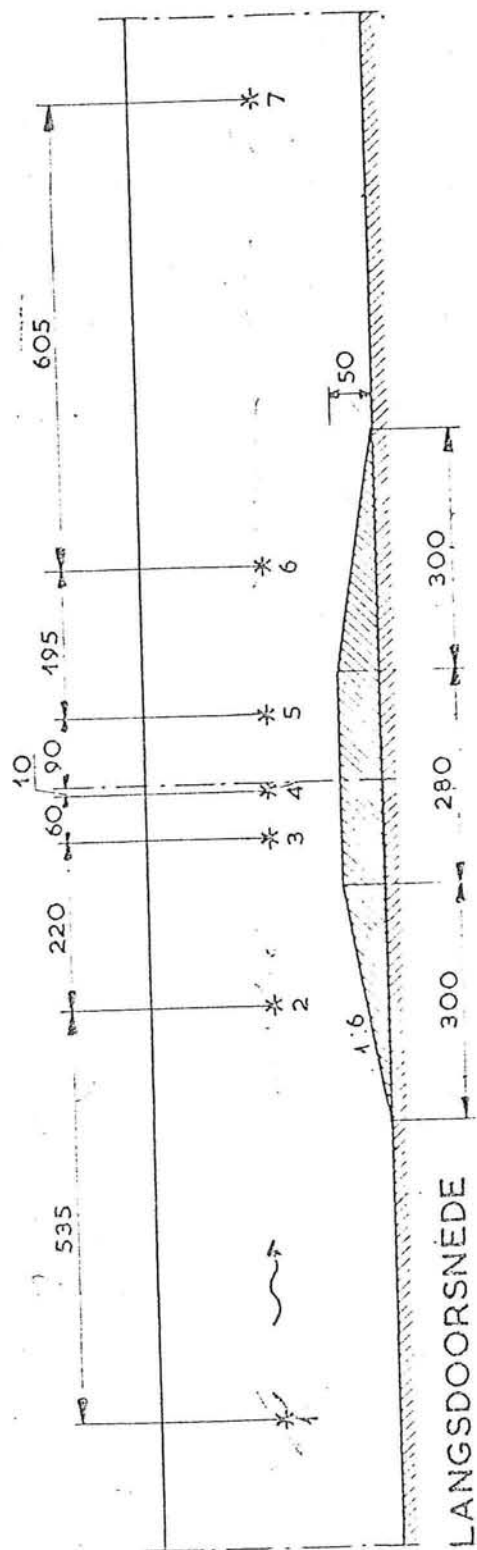


GEGEVENS BASALTSLAG

M.711 - DEEL II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG. 1



\* PITOTBUIS  
ALLE MATEN IN CM.

OVERZICHT MEETOPSTELLING  
PROEFSERIE I (damhoogte 50cm.)

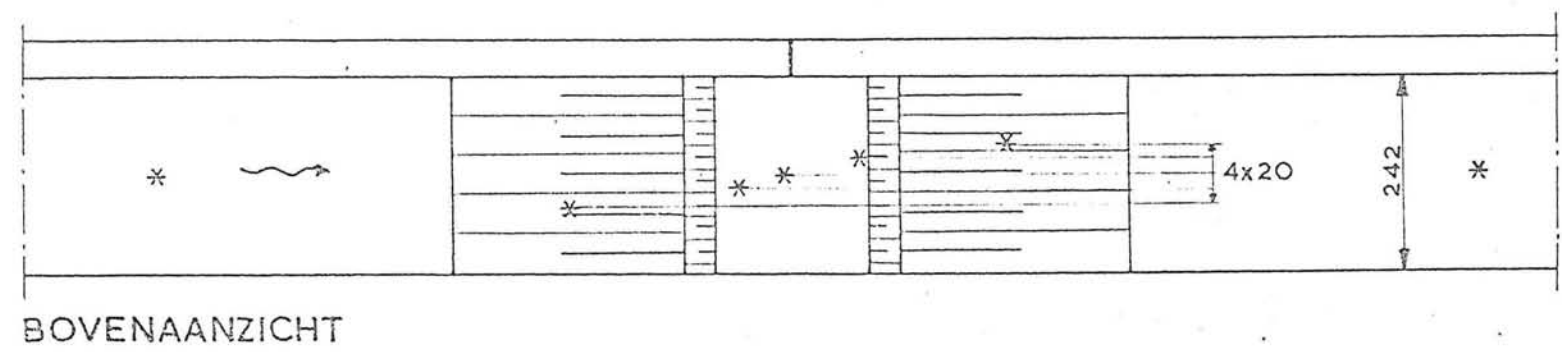
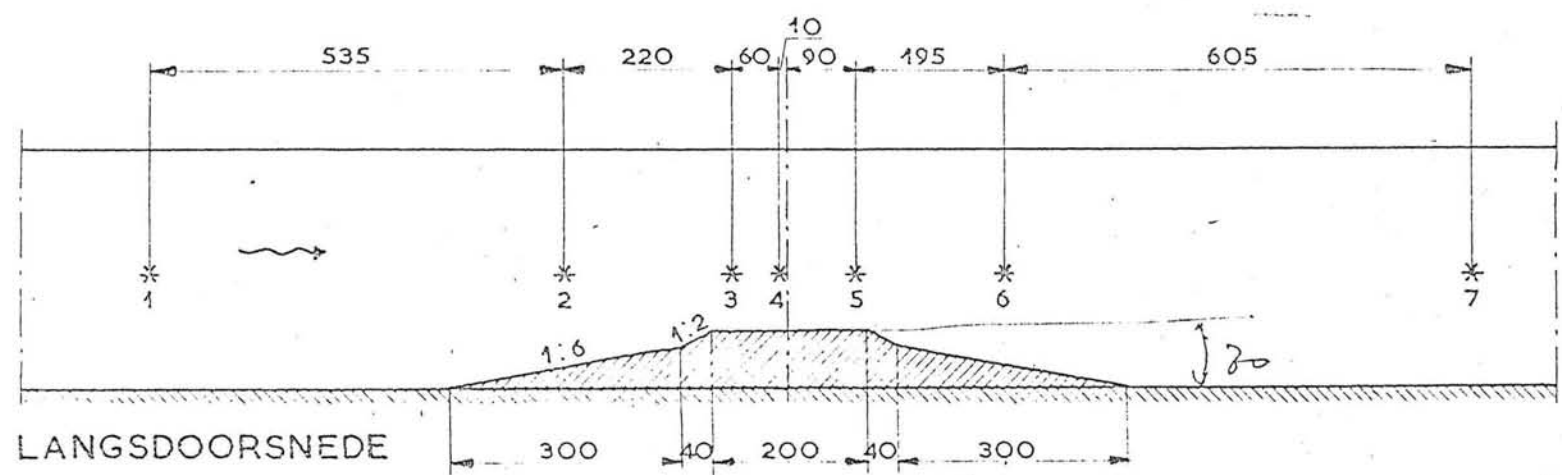
M.711-DEEL II

SCHAAL 1:100

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

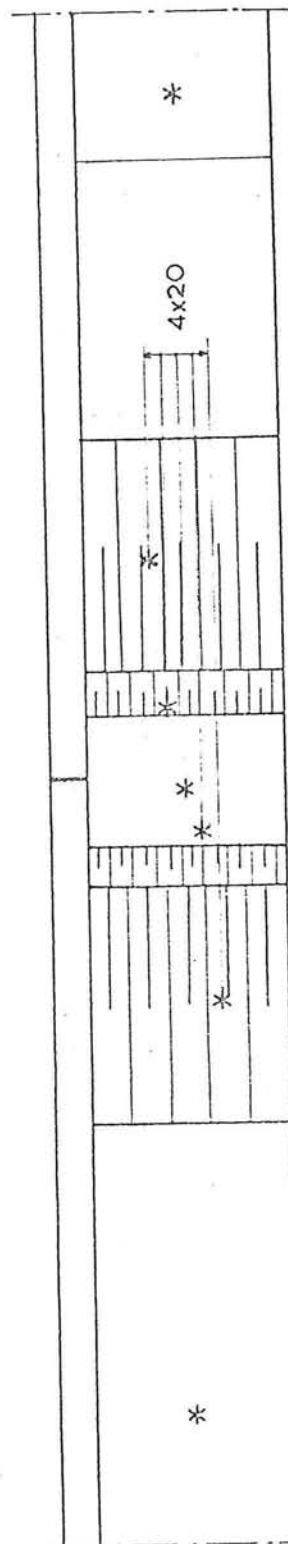
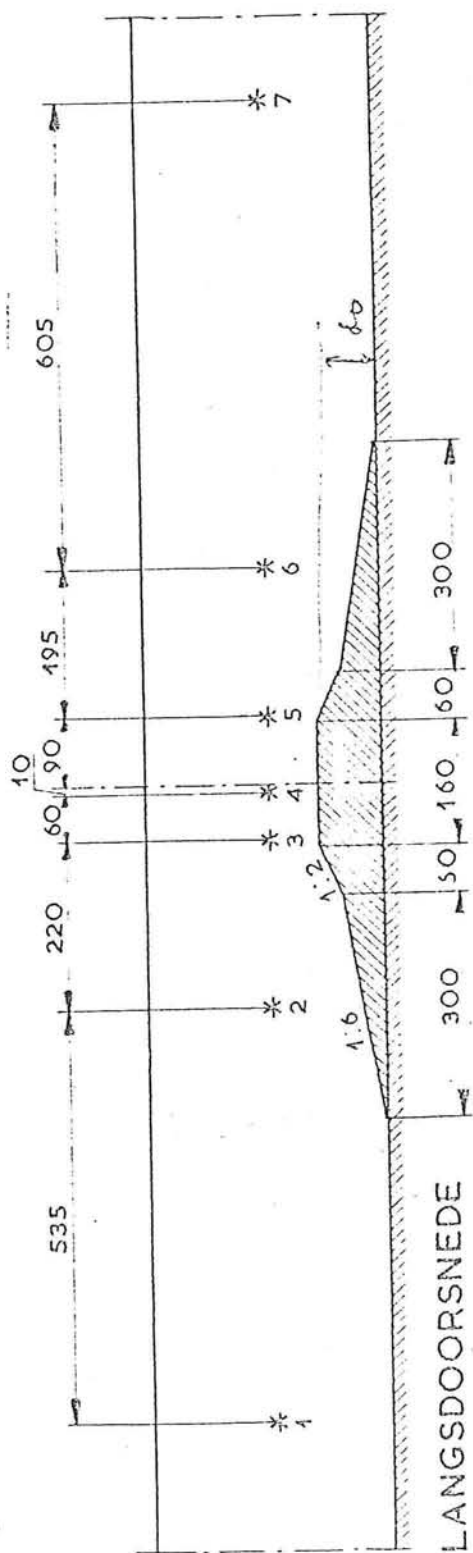
FIG. 2

OVERZICHT MEETOPSTELLING  
 PROEFSERIE II (damhoogte 70cm.)  
 WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM



\* PITOTBUIS  
 ALLE MATEN IN cm.

M. 714 - DEEL II  
 SCHAAL 1:100  
 FIG. 3



\* PITOTBUIS  
 ALLE MATEN IN cm.

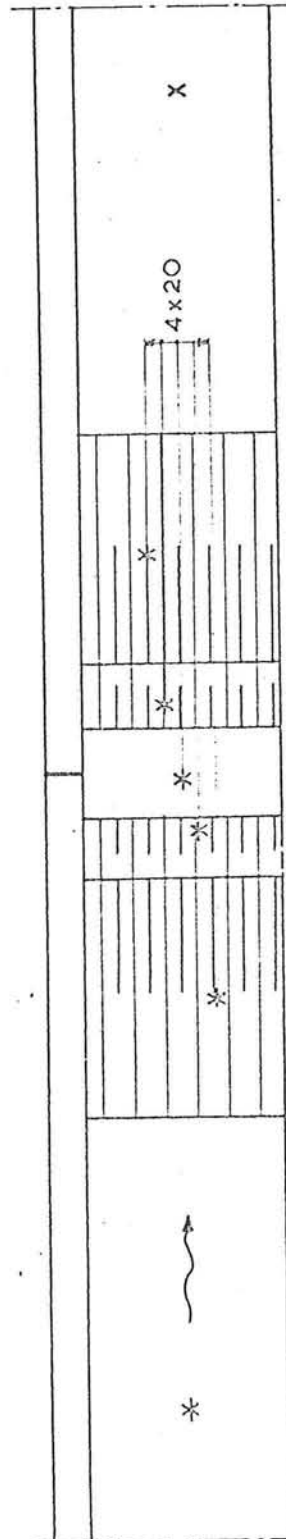
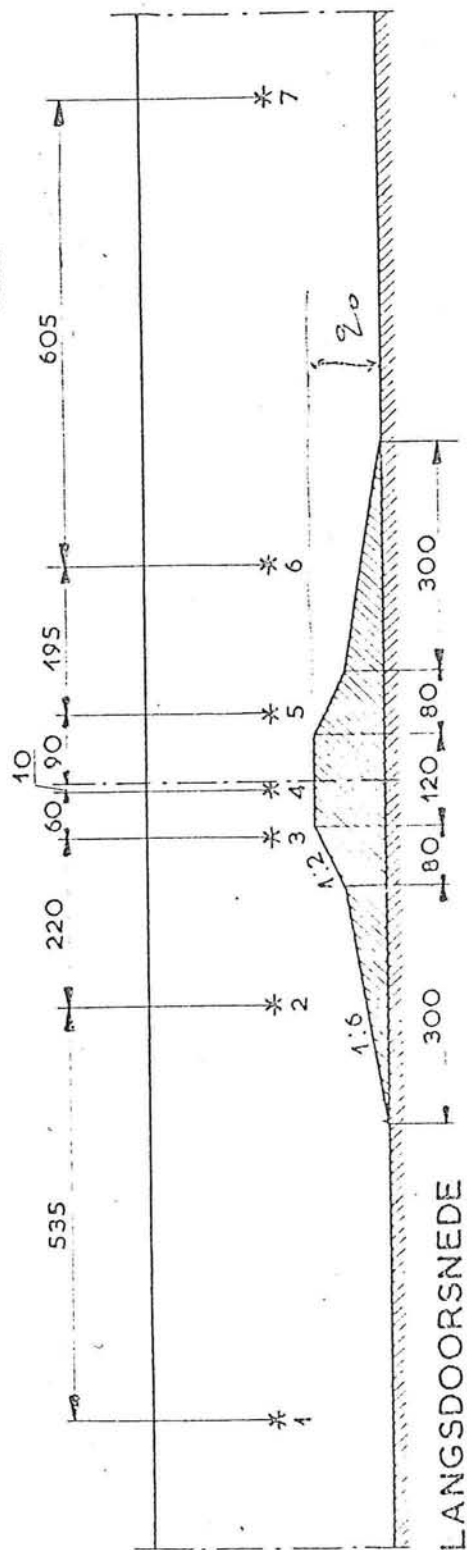
OVERZICHT MEETOPSTELLING  
 PROEFSERIE III (damhoogte 80 cm.)

M.711-DEEL II

SCHAAL 1:100

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG. 4



\* PITOTBUIS  
ALLE MATEN IN cm.

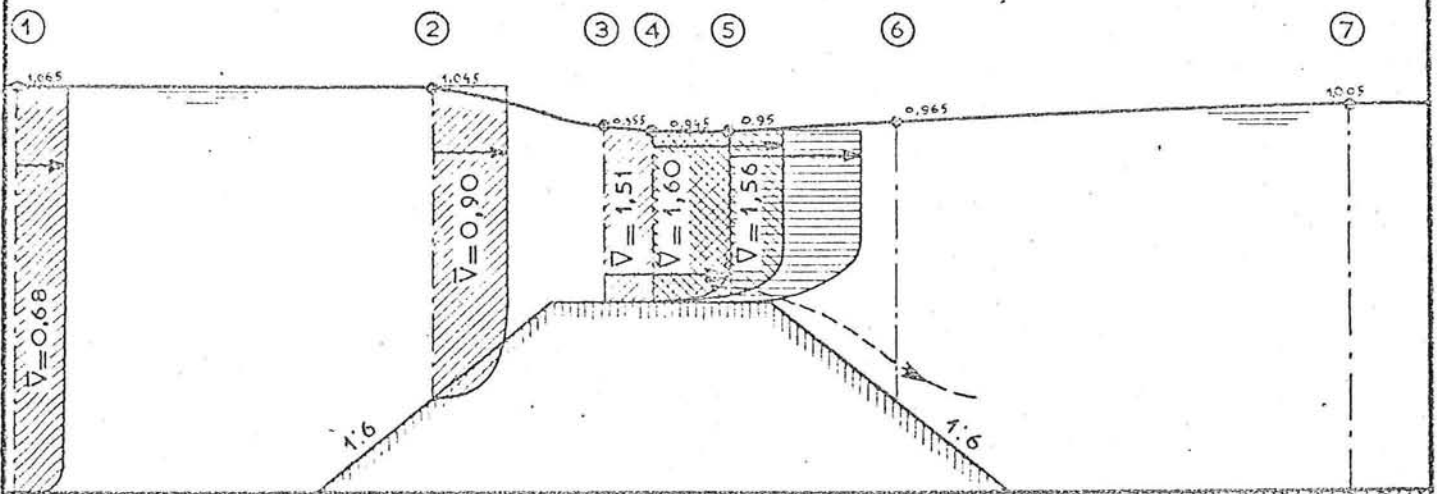
OVERZICHT MEETOPSTELLING  
PROEFSERIE IV (damhoogte 90 cm.)

M. 711-DEEL II

SCHAAL 1:100

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG. 5

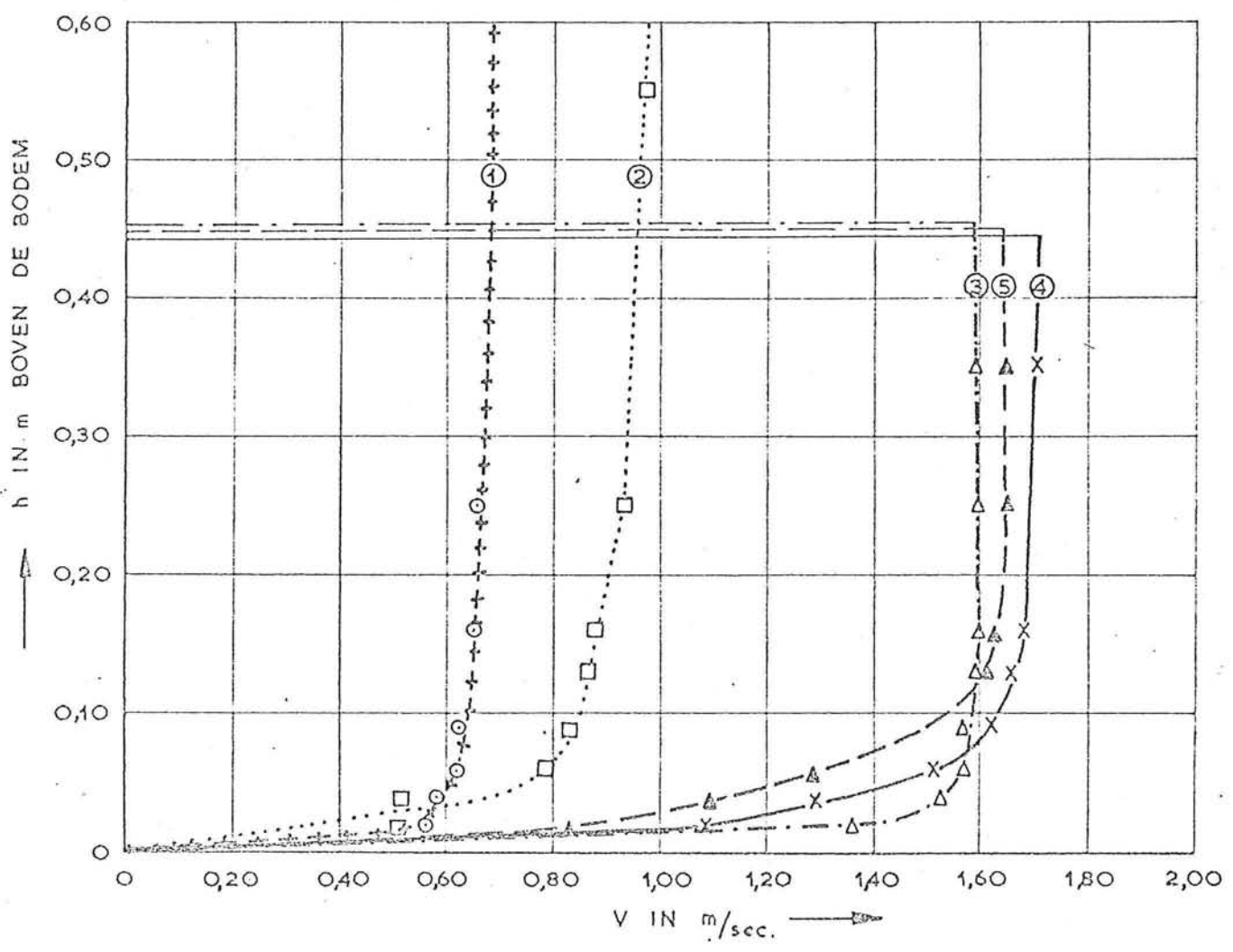


OVERZICHT

HOR. SCHAAL 1:100  
VERT. SCHAAL 1:20

$q = 0,72 \text{ m}^2/\text{sec.}$   
 $z = 0,06 \text{ m}$   
 $\mu = 1,11$

$d_{50} = 0,021 \text{ m}$   
 $G_{50} = 0,0135 \text{ kg}$



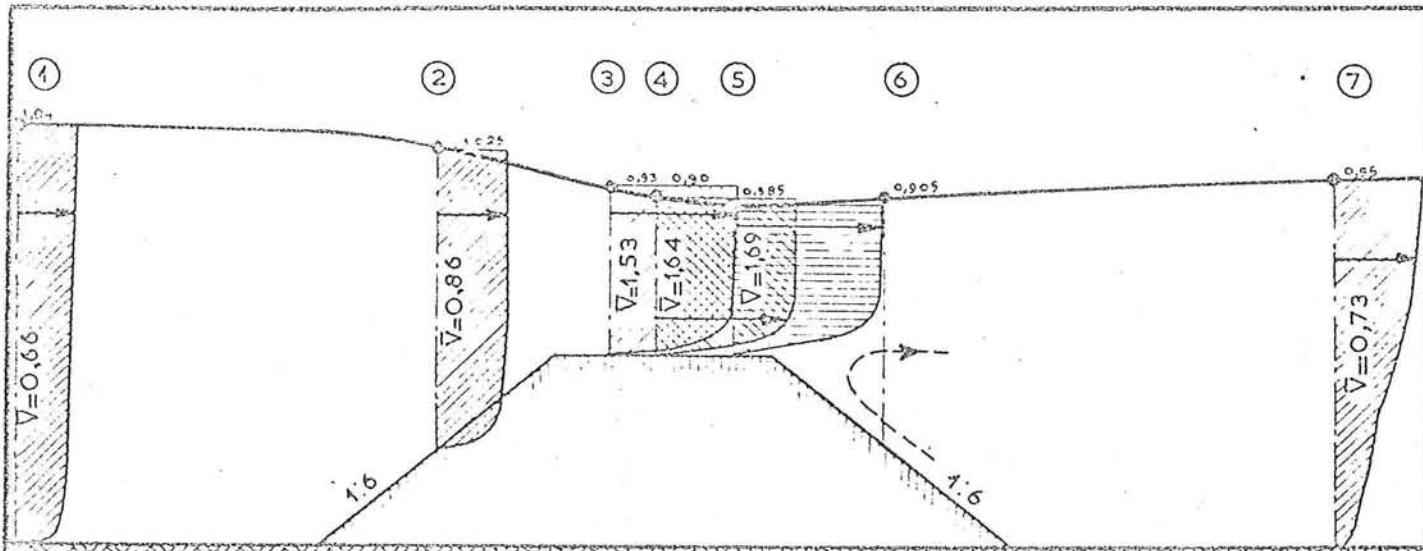
SNELHEIDSVERTICALEN

WATERSTANDSVERLOOP EN  
SNELHEIDSVERDELING

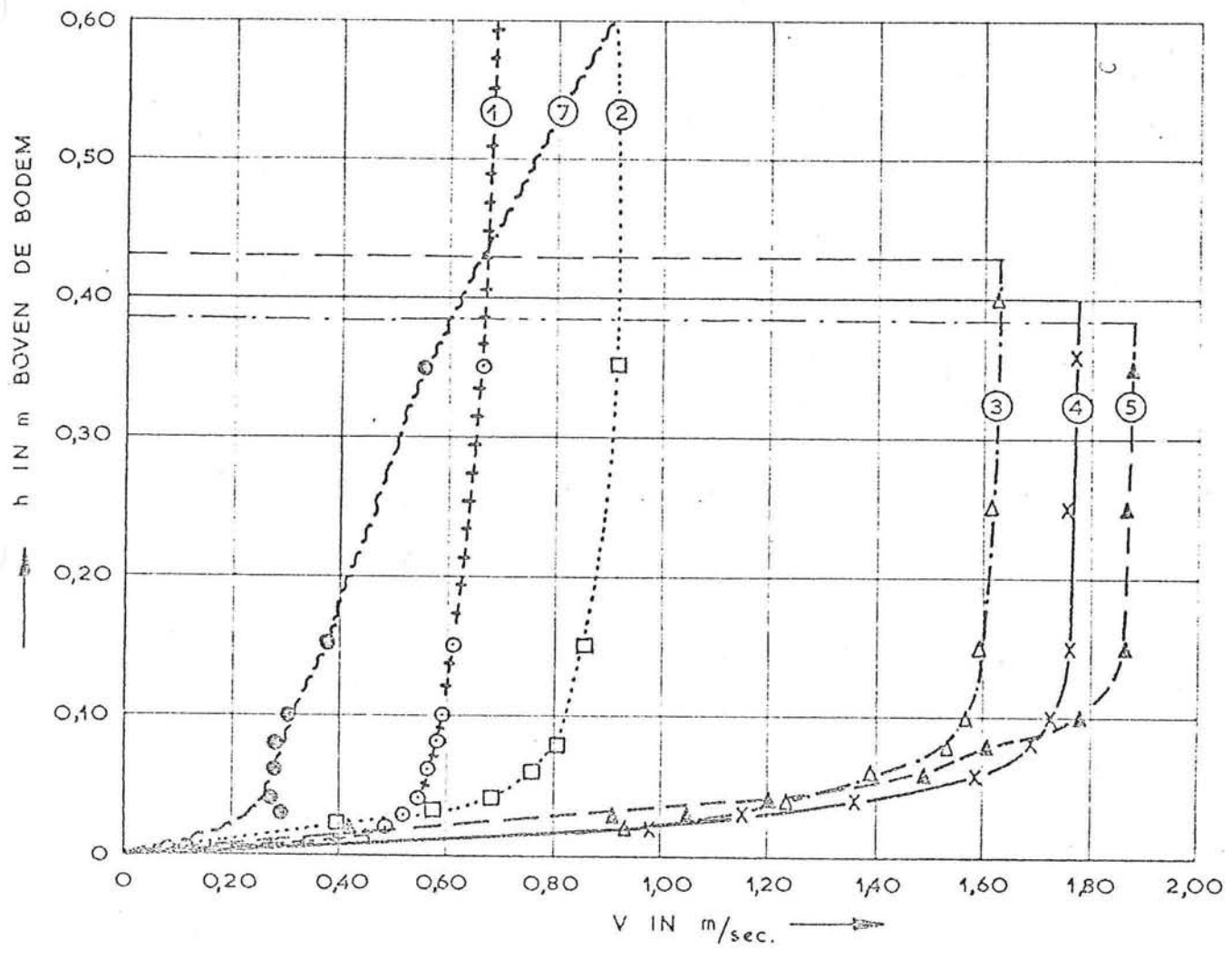
M. 711 — DEEL II  
PROEF I α 1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG. 6



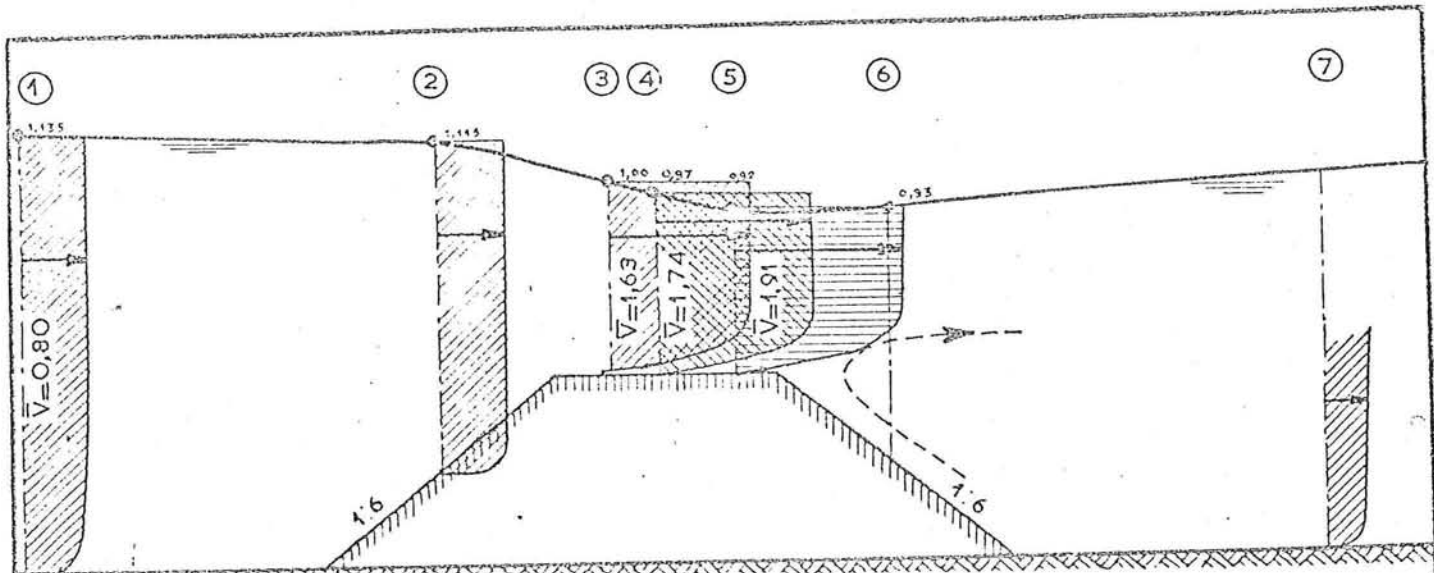
OVERZICHT      HOR. SCHAAL 1:100       $q = 0,68 \text{ m}^3/\text{sec.}$        $d_{50} = 0,026 \text{ m}$   
 VERT. SCHAAL 1:20       $z = 0,09 \text{ m}$        $\mu = 1,02$        $G_{50} = 0,0235 \text{ kg}$



SNELHEIDSVERTICALEN

WATERSTANDSVERLOOP EN  
 SNELHEIDSVERDELING

M. 711 — DEEL II  
 PROEF Ia 2

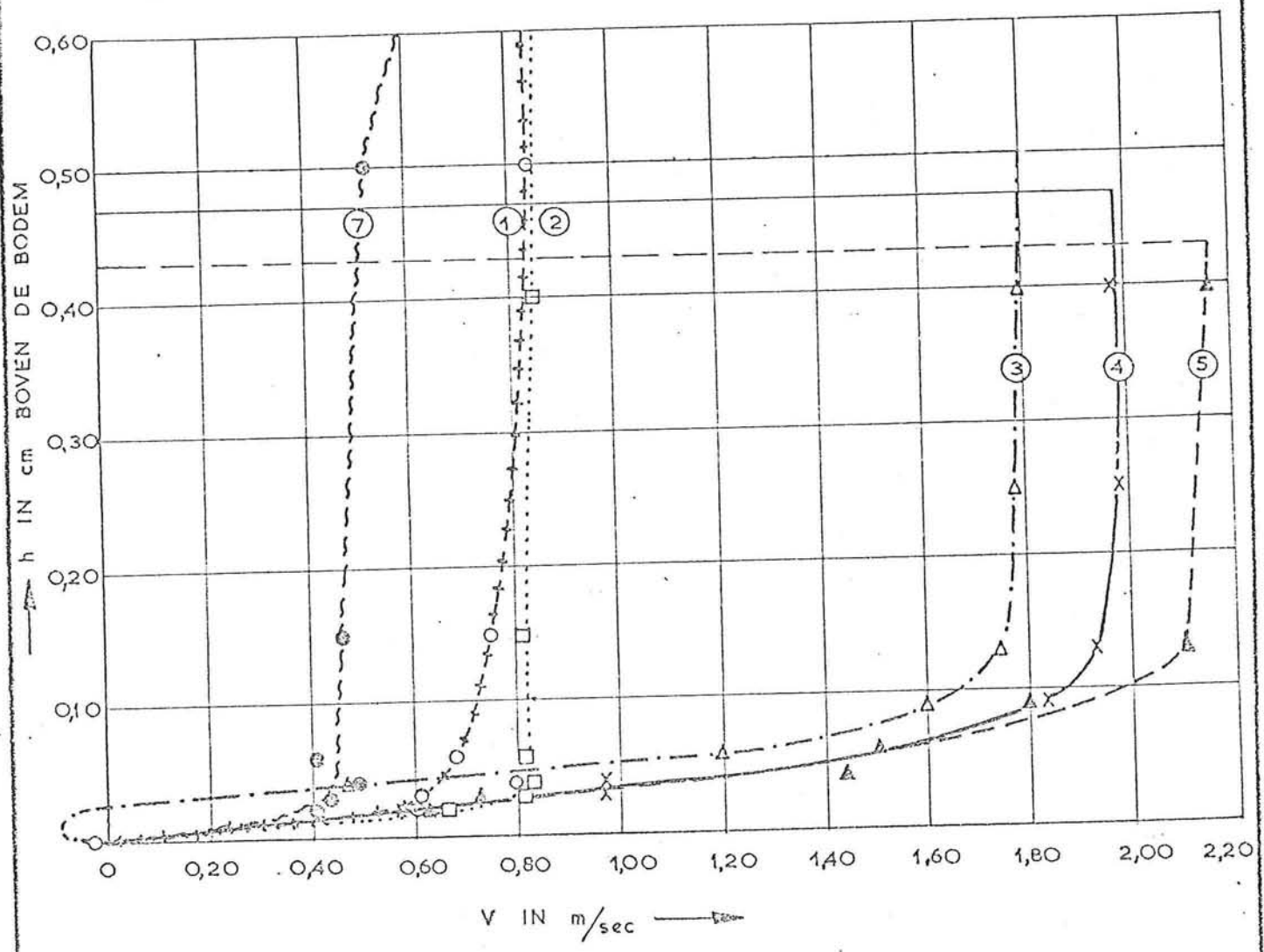


OVERZICHT

HOR SCHAAL 1 100  
 VERT SCHAAL 1 20

$q = 0,90 \text{ m}^2/\text{sec}$   
 $z = 0,135 \text{ m}$   
 $\mu = 0,99$

$d_{50} = 0,033 \text{ m}$   
 $G_{50} = 0,052 \text{ kg}$



SNELHEIDSVERTICALEN

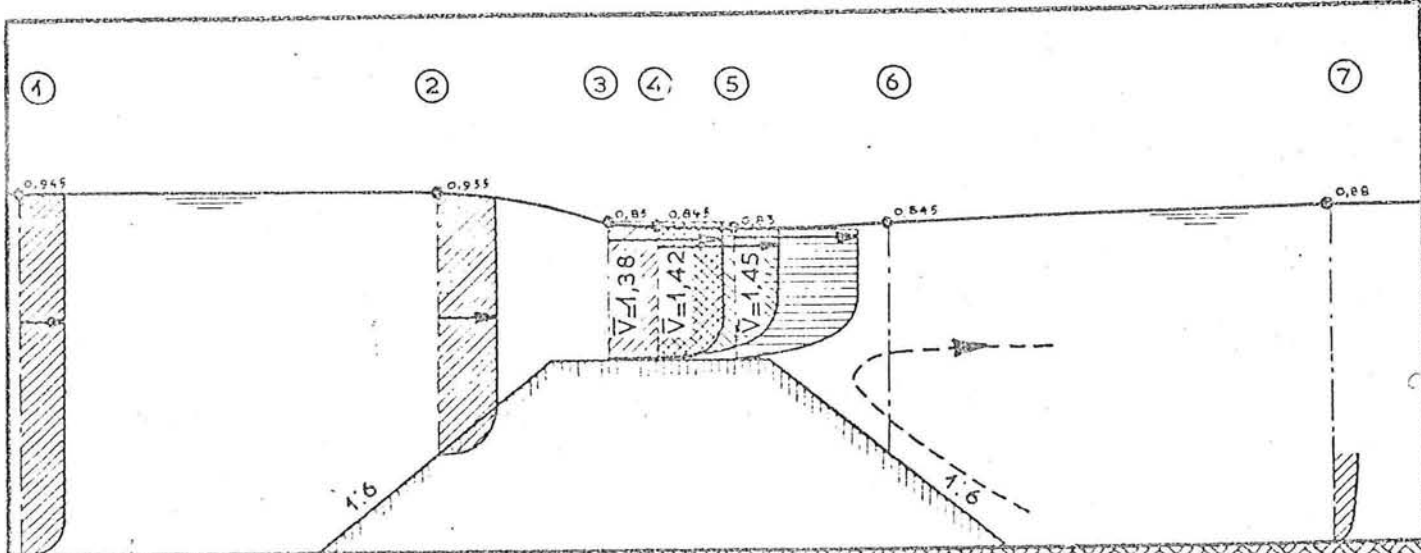
WATERSTANDSVERLOEP EN  
 SNELHEIDSVERDELING

M. 711 — DEEL II  
 PROEF Ia 3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG. 8





OVERZICHT

HOR. SCHAAL 1:100

VERT. SCHAAL 1:20

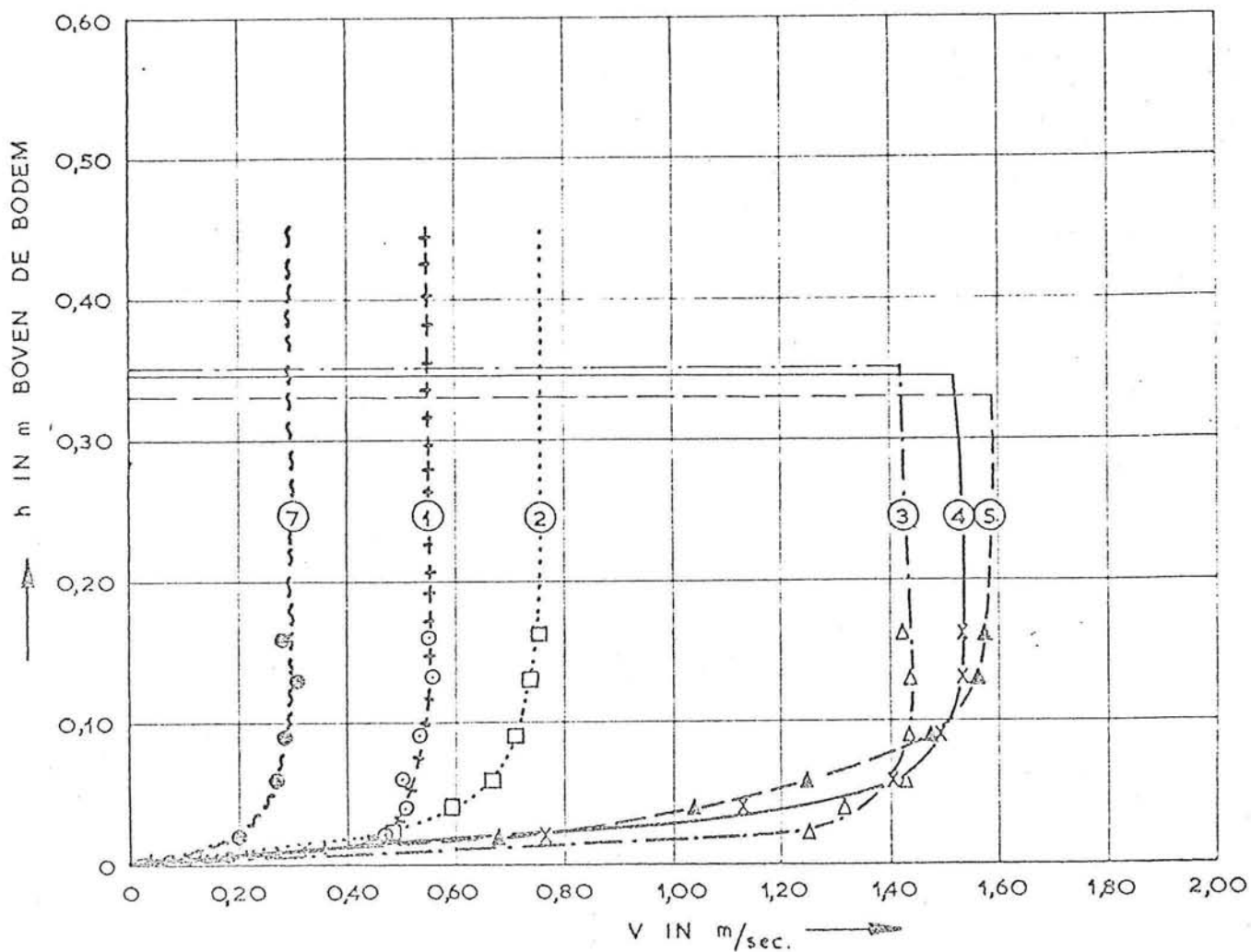
$q = 0,51 \text{ m}^2/\text{sec}$

$z = 0,065 \text{ m}$

$\mu = 1,07$

$d_{50} = 0,021 \text{ m}$

$G_{50} = 0,0135 \text{ kg}$



SNELHEIDSVERTICALEN

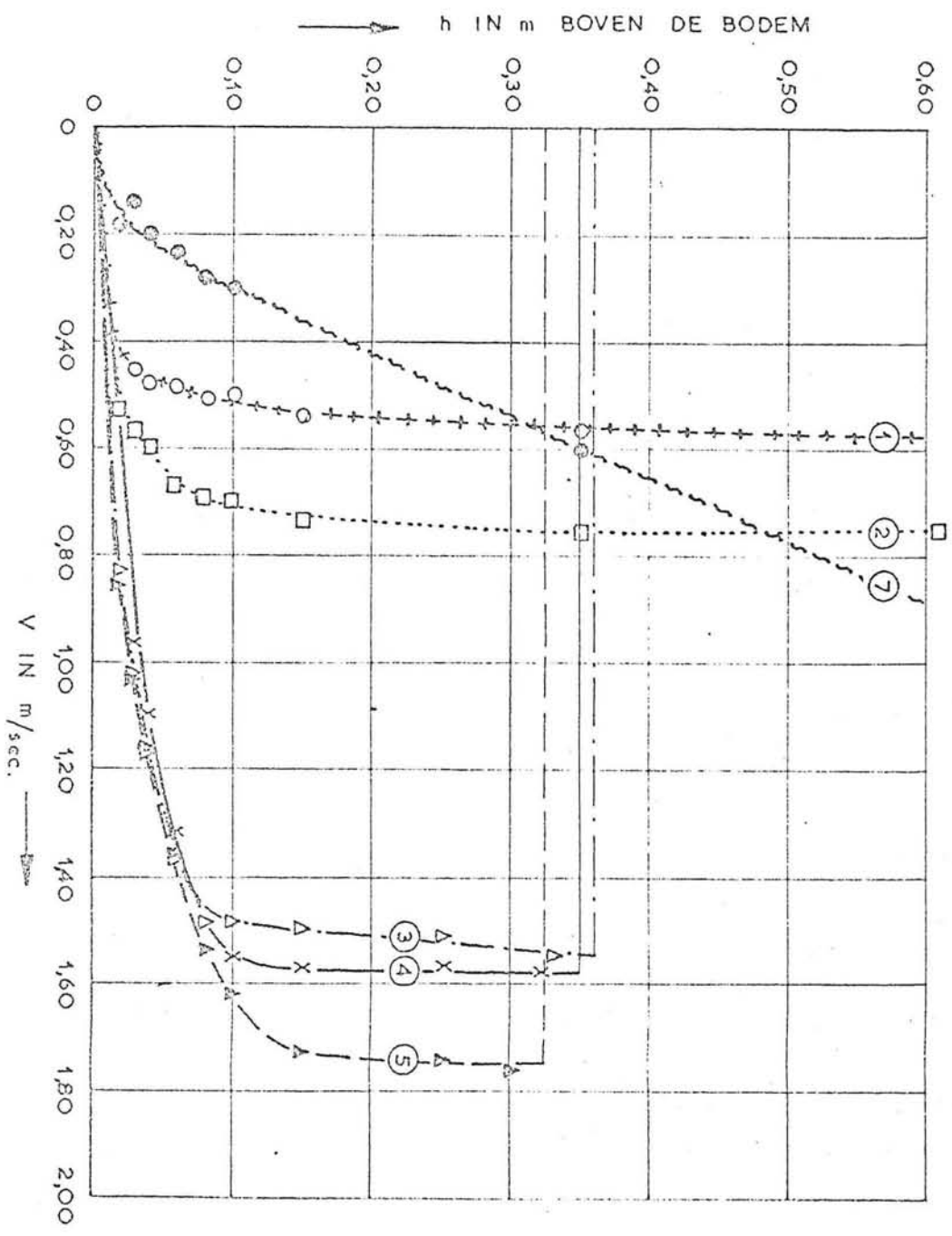
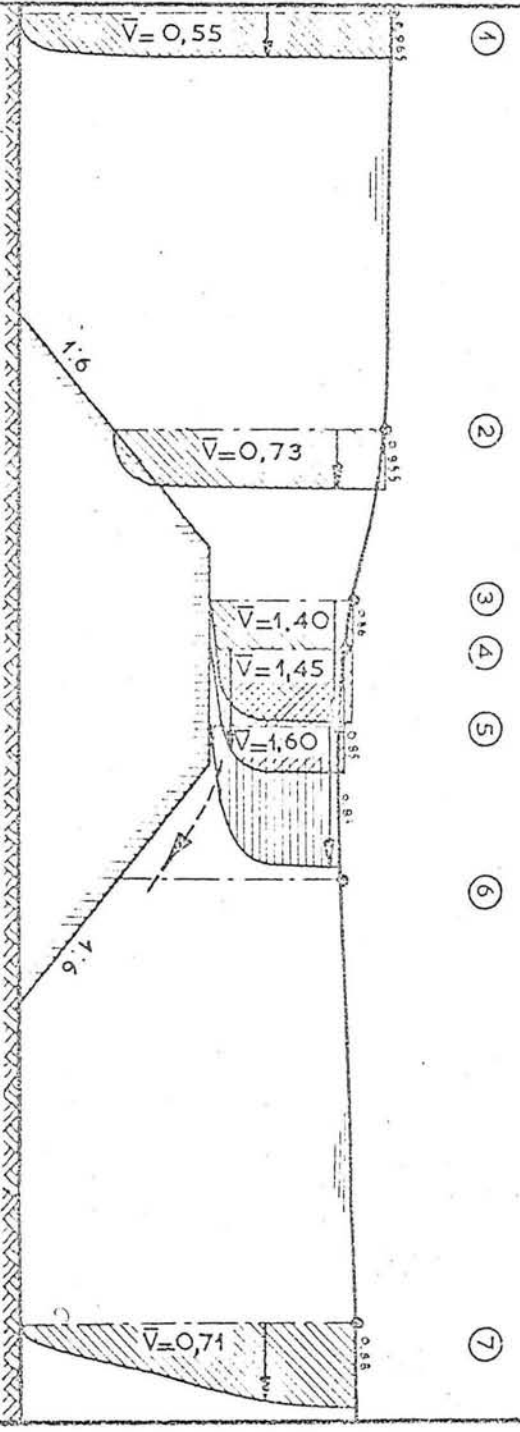
WATERSTANDSVERLOOP EN  
SNELHEIDSVERDELING

M. 711 — DEEL II

PROEF Ib1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG. 9



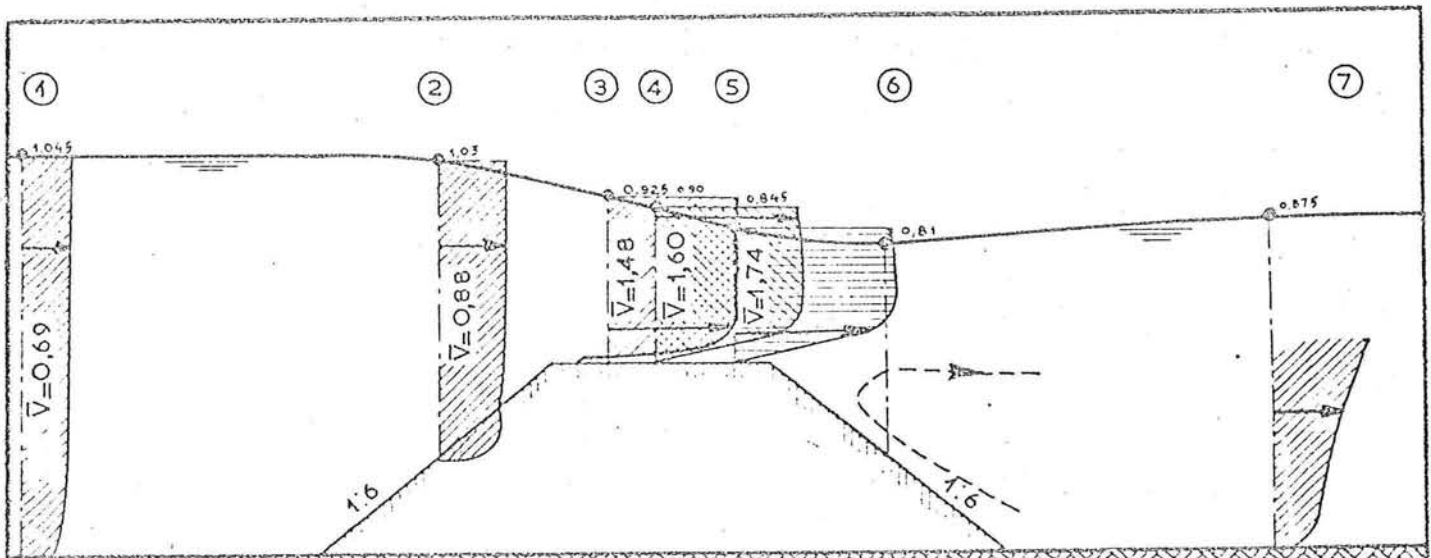
SNELHEIDSVERTICALEN

WATERSTANDSVERLOOP EN  
 SNELHEIDSVERDELING

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 711 - DEEL II  
 PROEF I b 2

FIG. 40



OVERZICHT

HOR. SCHAAL 1:100

VERT. SCHAAL 1:20

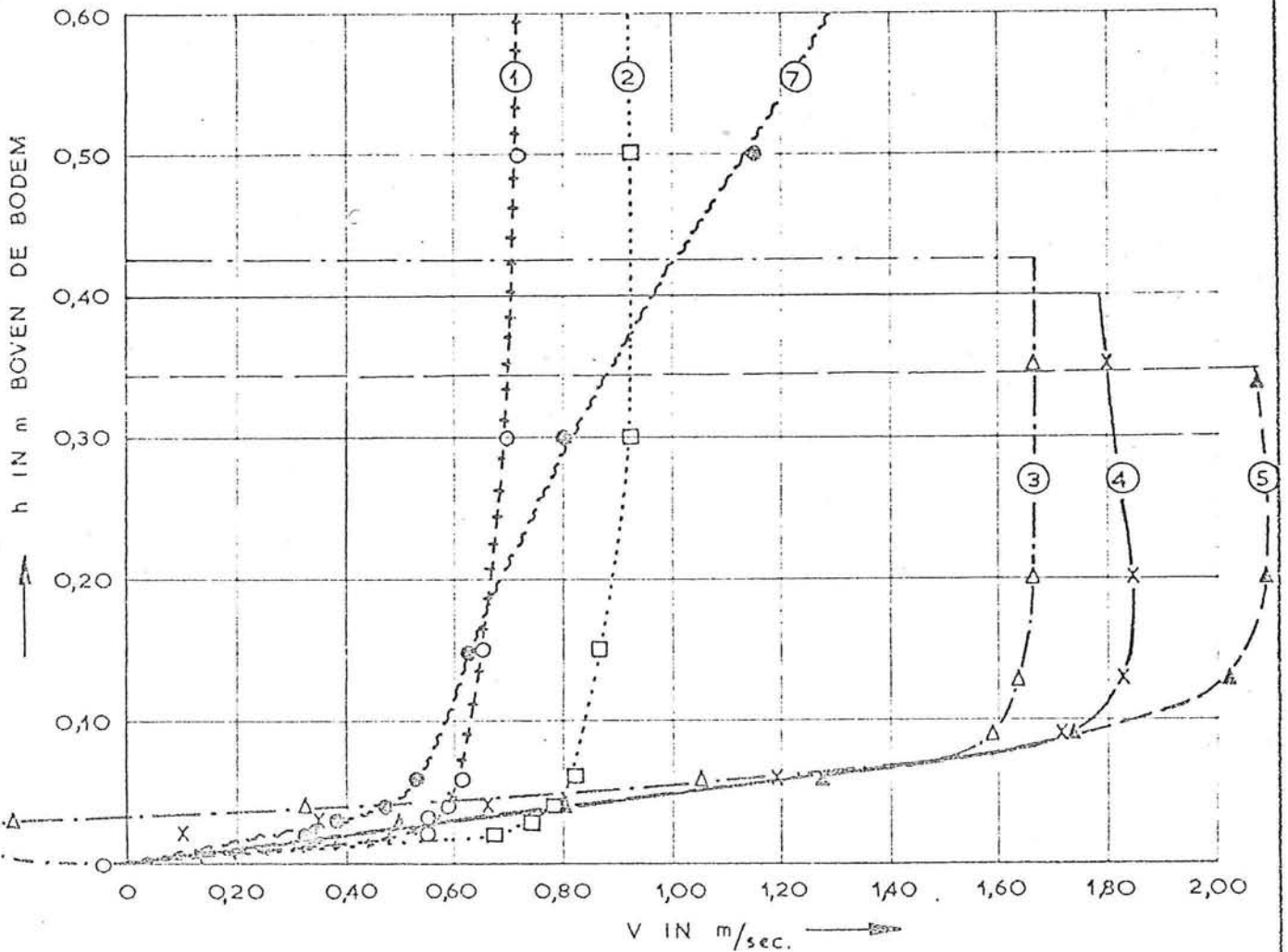
$q = 0,73 \text{ m}^2/\text{sec}$

$z = 0,17 \text{ m}$

$\mu = 1,00$

$d_{50} = 0,033 \text{ m}$

$G_{50} = 0,052 \text{ kg}$



SNELHEIDSVERTICALEN

WATERSTANDSVERLOOP EN

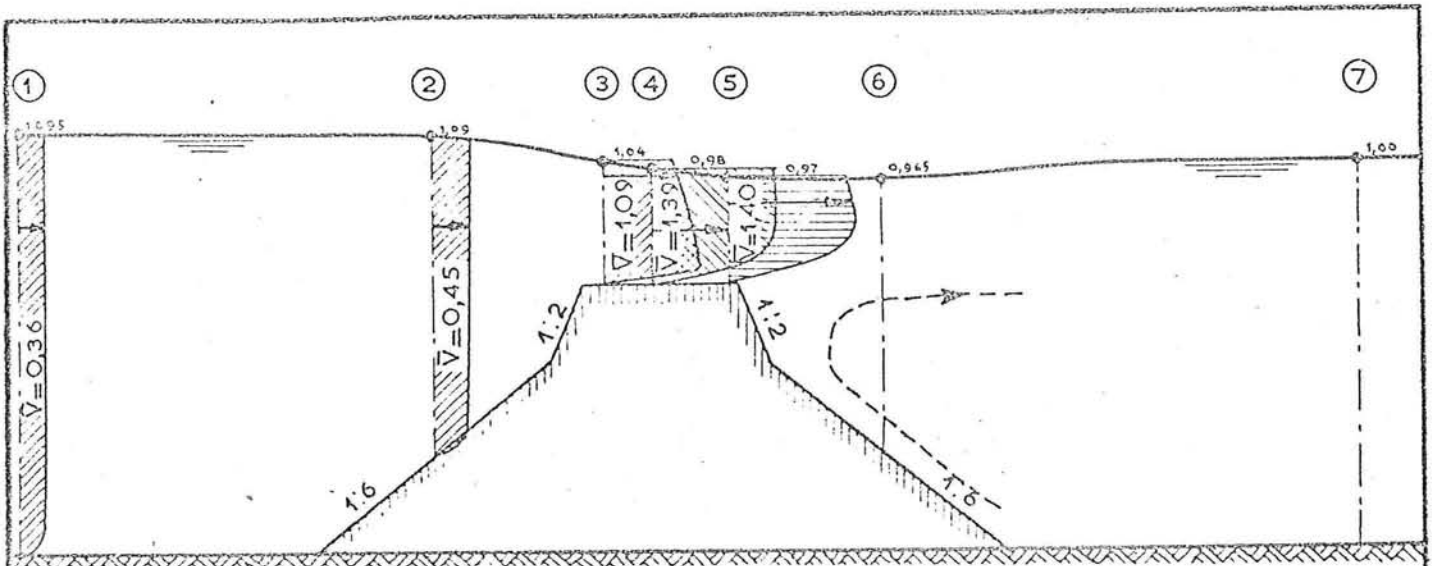
SNELHEIDSVERDELING

M. 711 — DEEL II

PROEF I b 3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG. 11



OVERZICHT

HOR. SCHAAL 1:100

VERT. SCHAAL 1:20

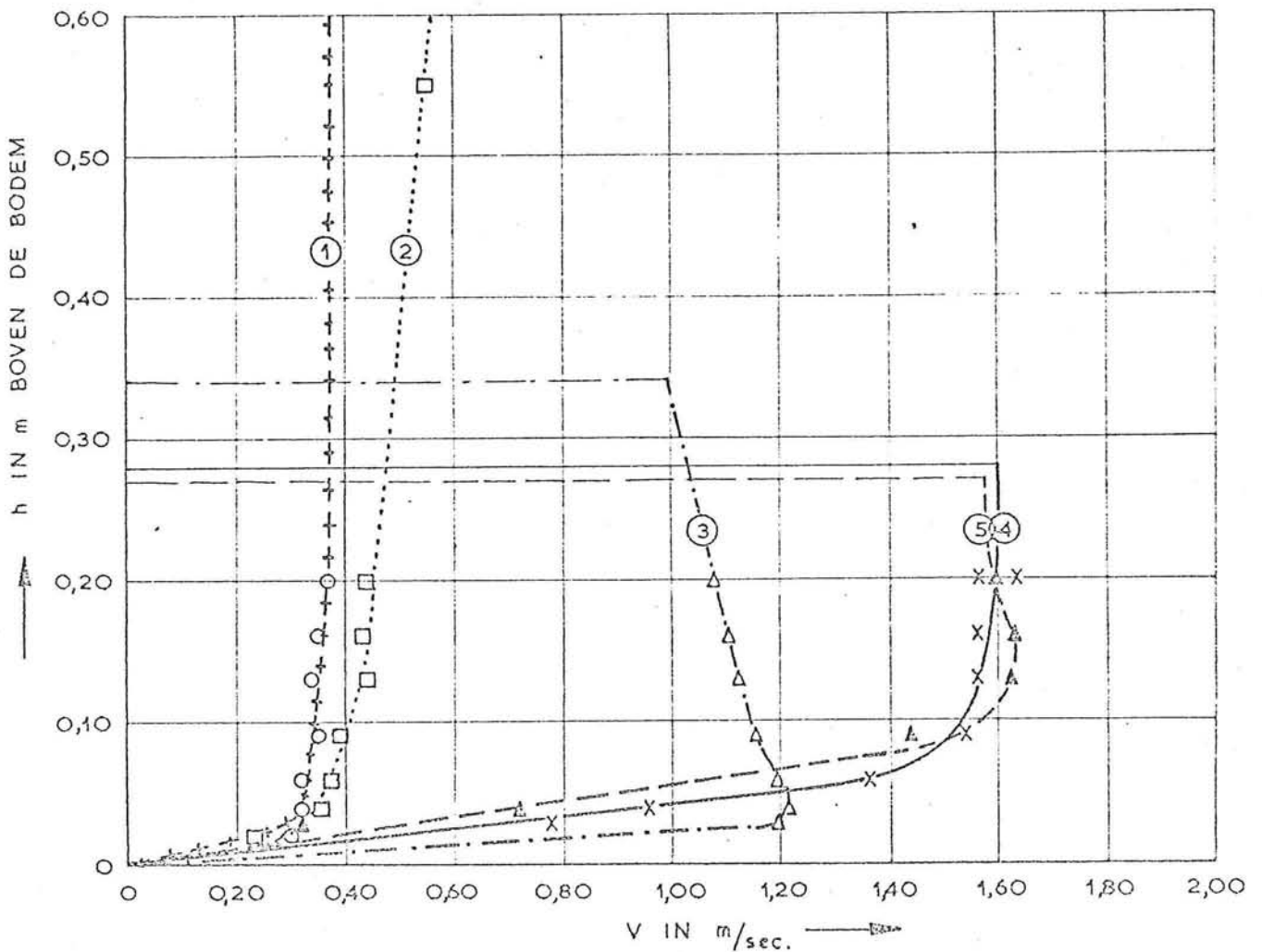
$g = 0,40 \text{ m}^2/\text{sec}$

$z = 0,095 \text{ m}$

$\mu = 0,94$

$d_{50} = 0,021 \text{ m}$

$G_{50} = 0,0135 \text{ kg}$



SNELHEIDSVERTICALEN

WATERSTANDSVERLOOP EN

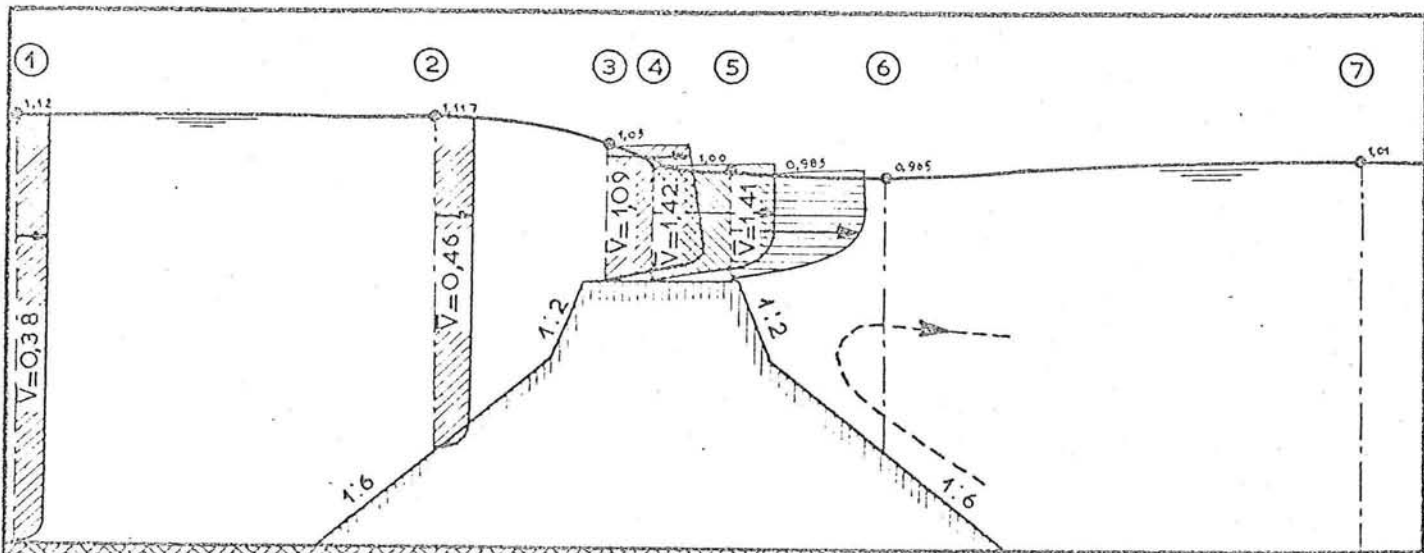
SNELHEIDSVERDELING

M. 711 -- DEEL II

PROEF II a 1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG. 12



OVERZICHT

HOR. SCHAAL 1:100

VERT. SCHAAL 1:20

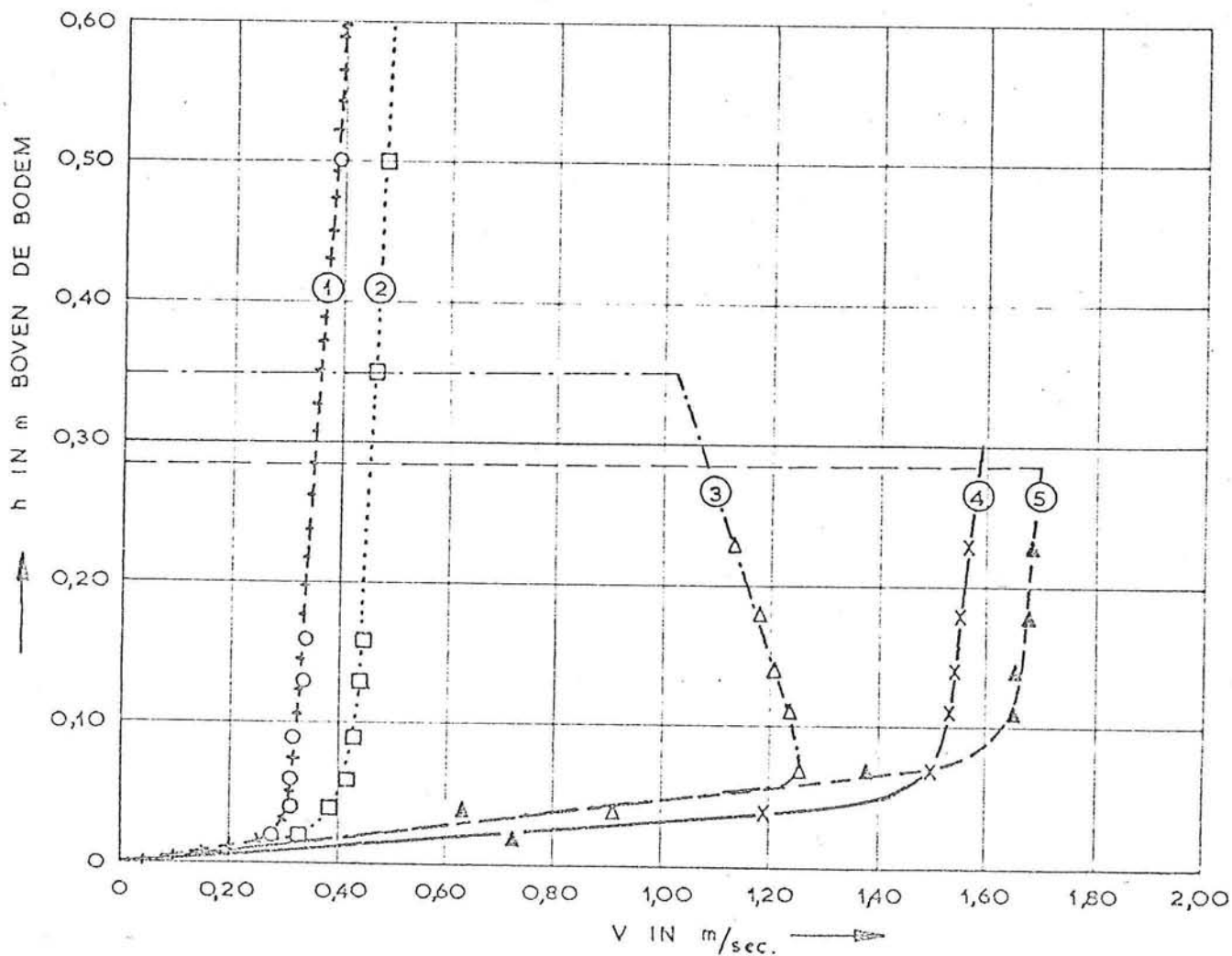
$q = 0,425 \text{ m}^3/\text{sec}$

$z = 0,11 \text{ m}$

$\mu = 0,90$

$d_{50} = 0,026 \text{ m}$

$G_{50} = 0,0235 \text{ kg}$



SNELHEIDSVERTICALEN

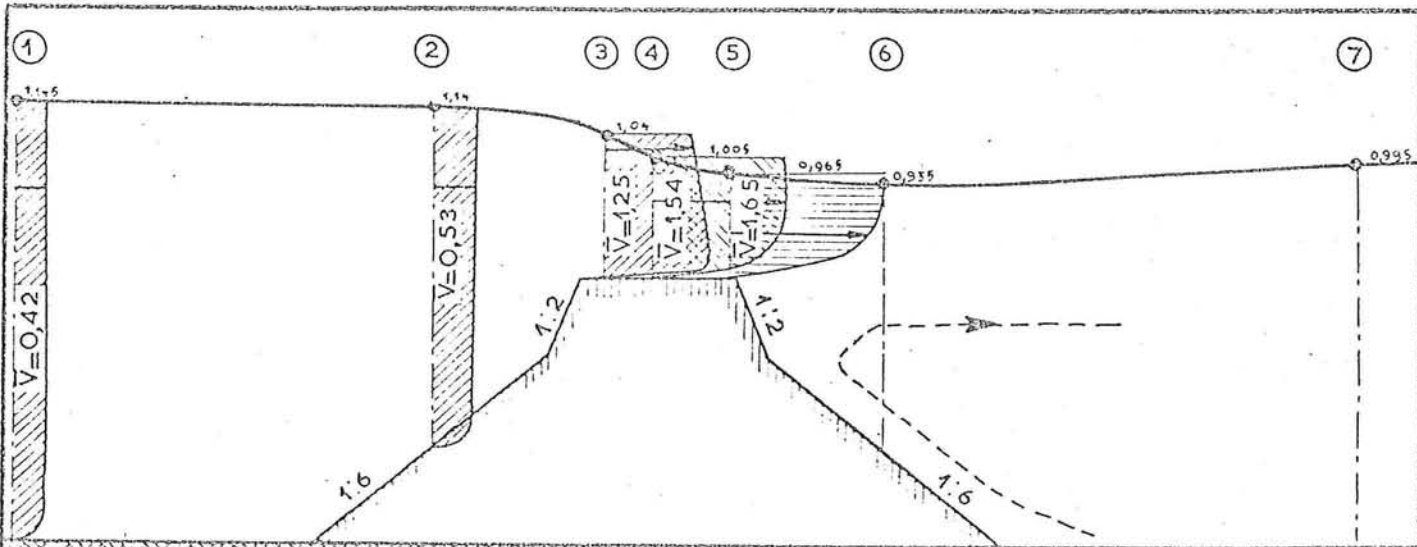
WATERSTANDSVERLOOP EN  
SNELHEIDSVERDELING

M. 711 - DEEL II

PROEF II a 2

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG. 13

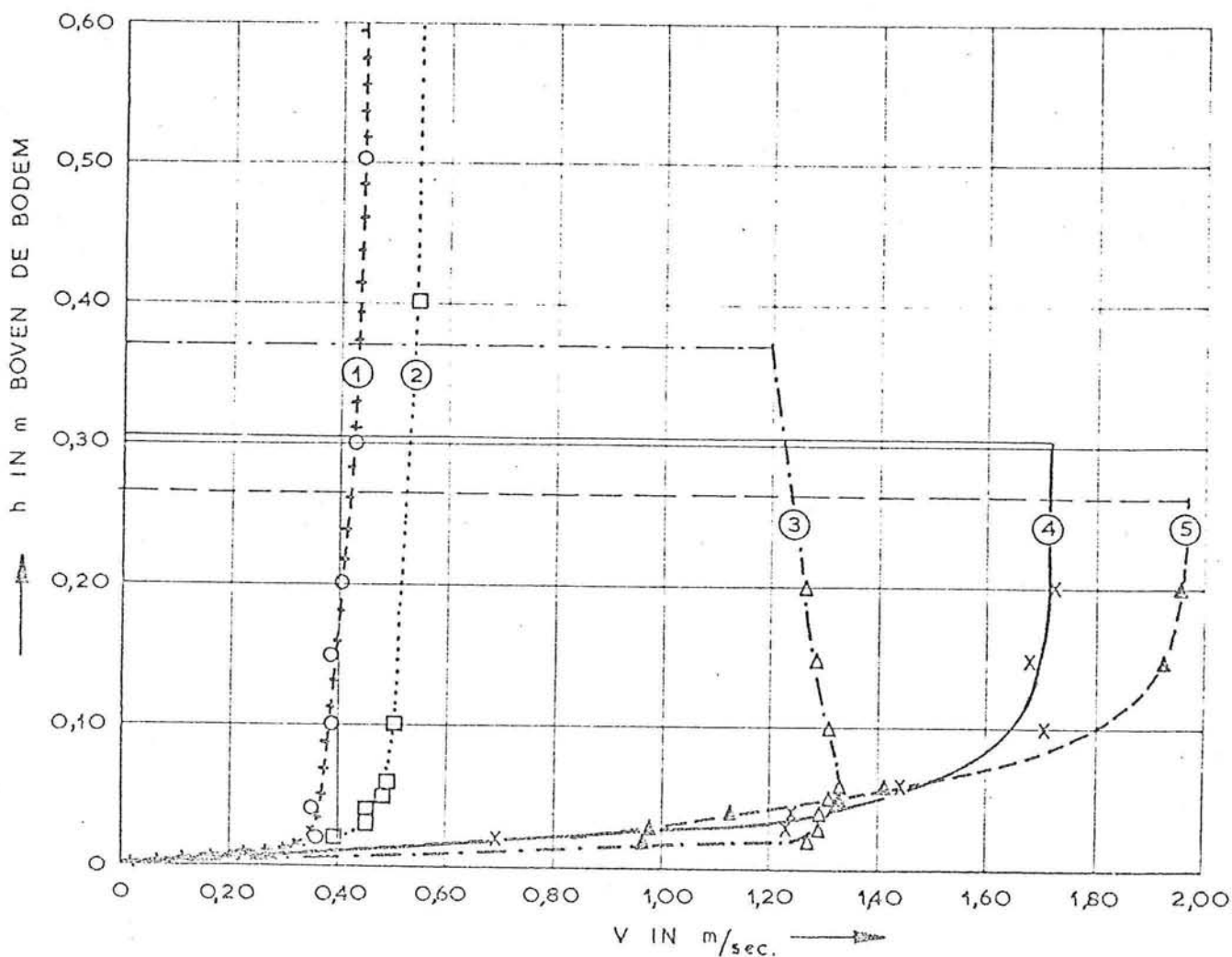


OVERZICHT

HOR. SCHAAL 1.100  
 VERT. SCHAAL 1.20

$q = 0,49 \text{ m}^2/\text{sec}$   
 $z = 0,15 \text{ m}$   
 $m = 0,94$

$d_{50} = 0,033 \text{ m}$   
 $G_{50} = 0,052 \text{ kg}$



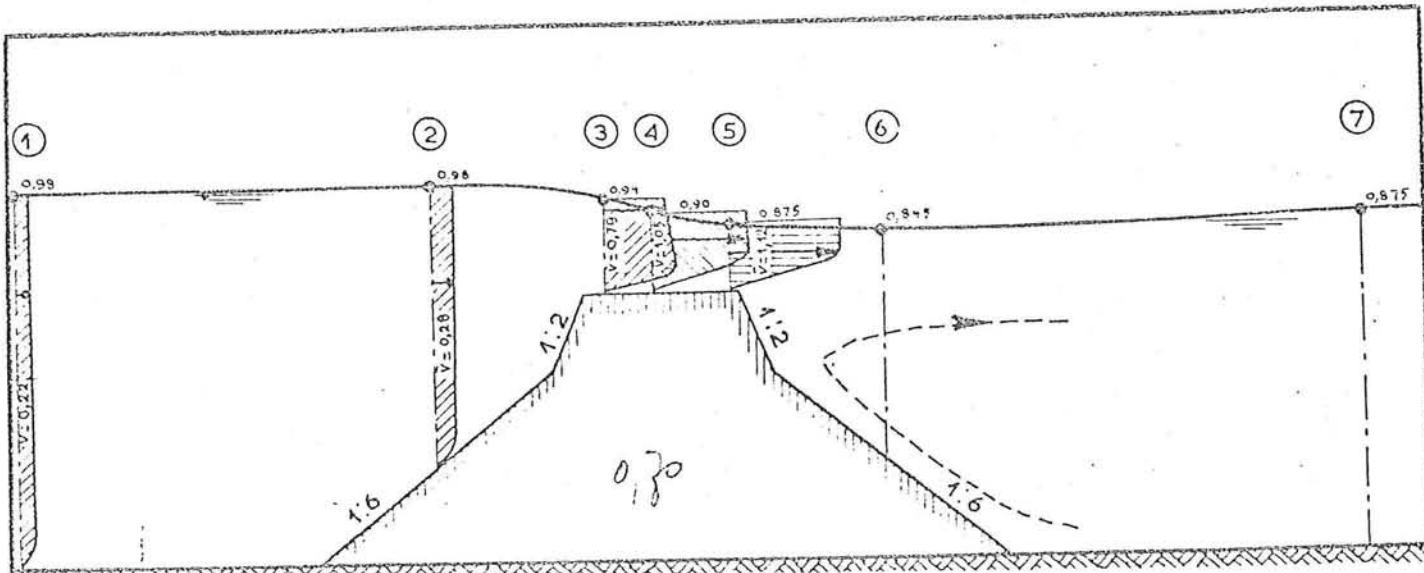
SNELHEIDSVERTICALEN

WATERSTANDSVERLOOP EN  
 SNELHEIDSVERDELING

M. 711 — DEEL II  
 PROEF II a 3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG. 14

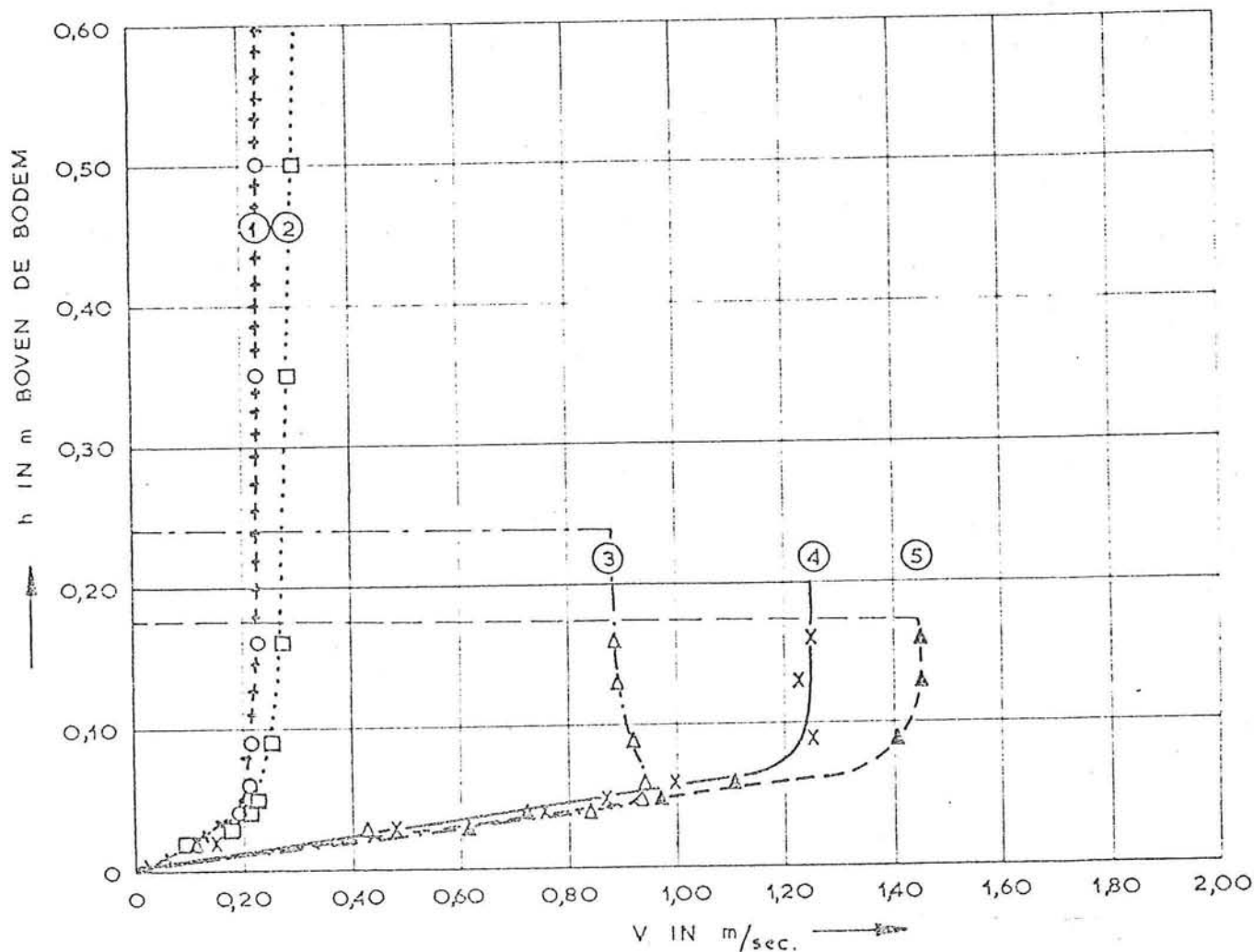


OVERZICHT

HOR. SCHAAL 1:100  
 VERT. SCHAAL 1:20

$d_{50} = 0,021 \text{ m}$

$G_{50} = 0,0135 \text{ kg}$



SNELHEIDSVERTICALEN

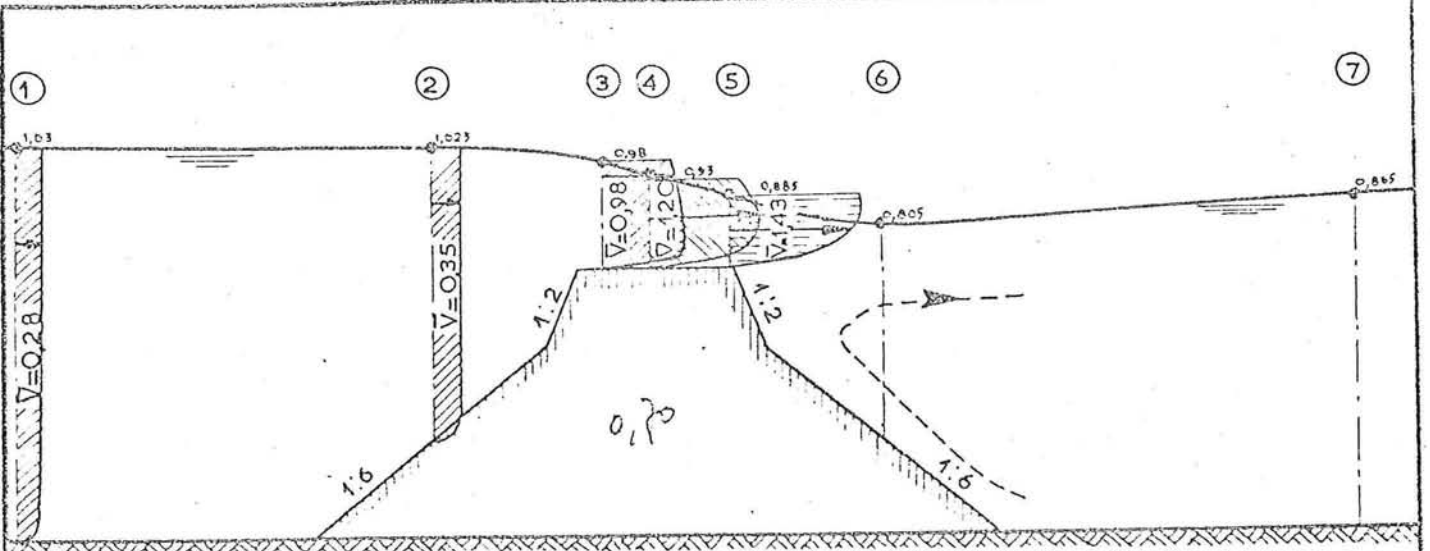
WATERSTANDSVERLOOP EN  
 SNELHEIDSVERDELING

M. 711 — DEEL II

PROEF II b1

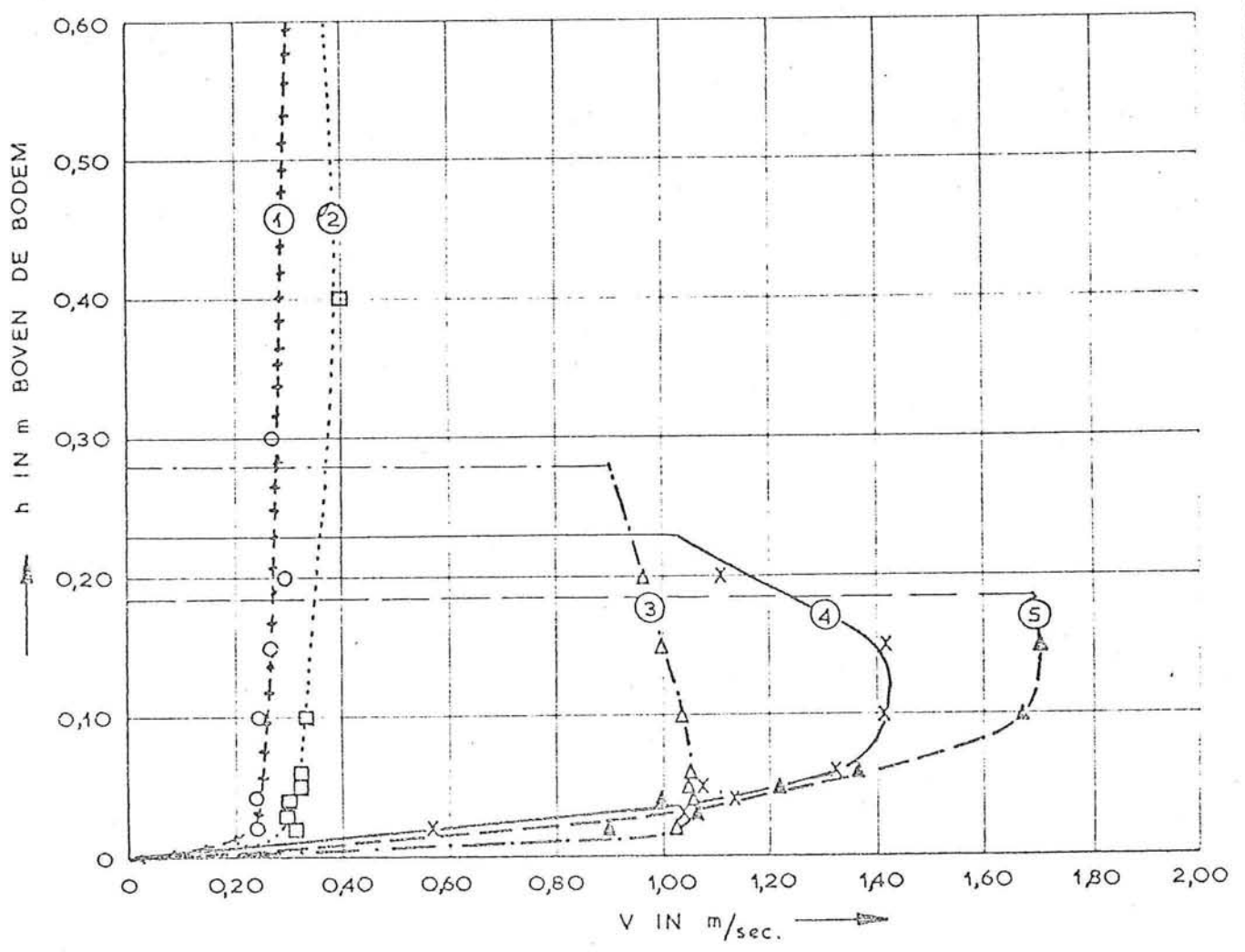
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG. 15



OVERZICHT      HOR. SCHAAL 1:100  
 VERT. SCHAAL 1:20

$d_{50} = 0,033 \text{ m}$   
 $G_{50} = 0,052 \text{ kg}$



SNELHEIDSVERTICALEN

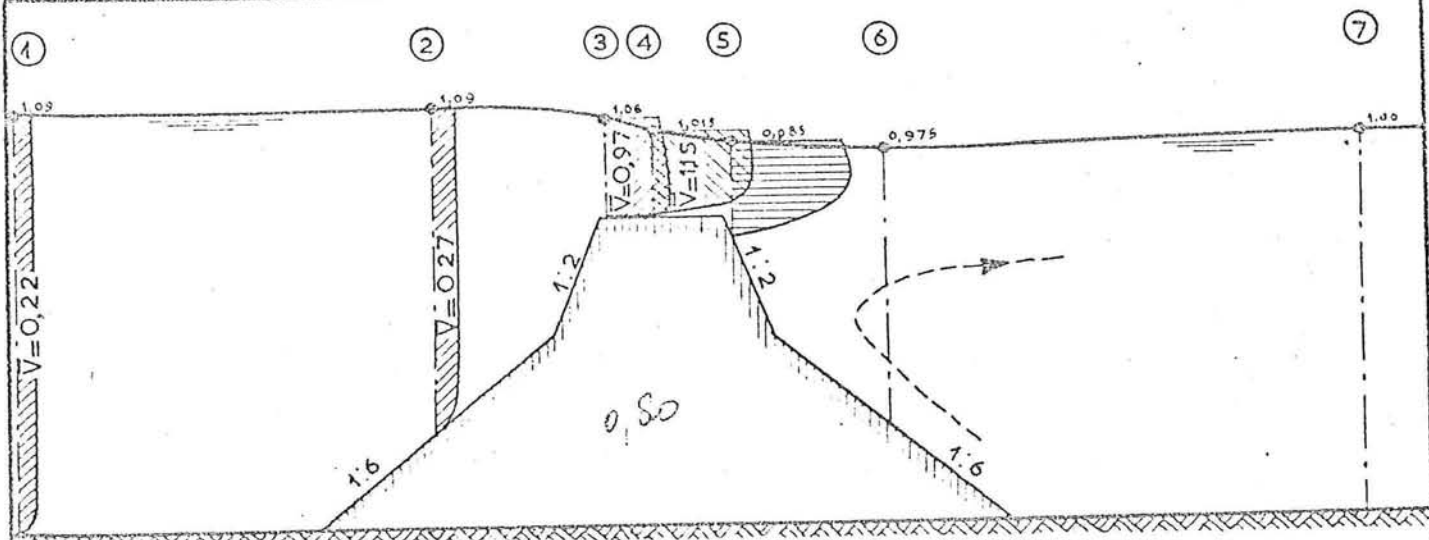
WATERSTANDSVERLOOP EN  
 SNELHEIDSVERDELING

M. 711 — DEEL II  
 PROEF II b 3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

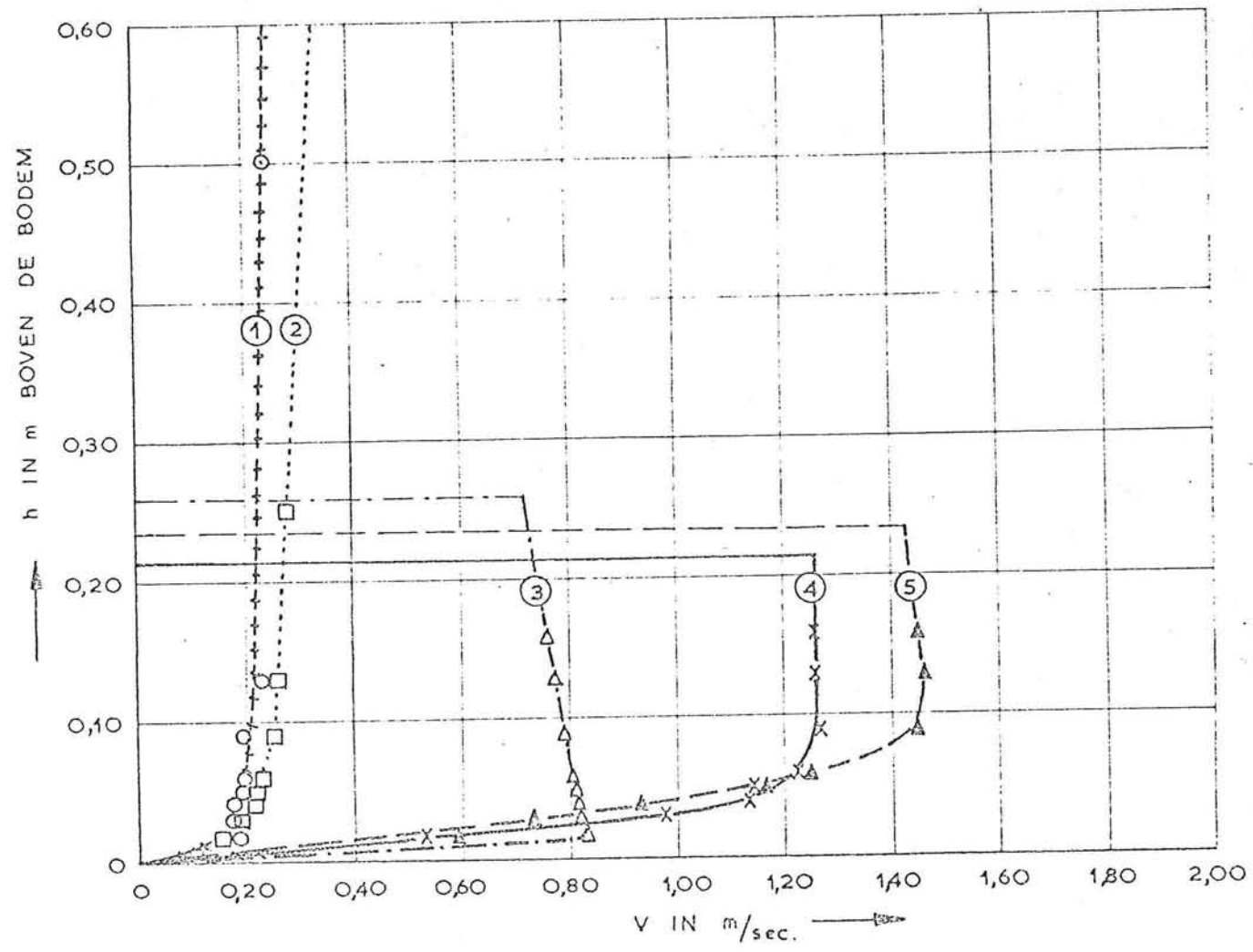
FIG. 16





OVERZICHT  
 HOR. SCHAAL 1:100  
 VERT. SCHAAL 1:20

$d_{50} = 0,021 \text{ m}$   
 $G_{50} = 0,0135 \text{ kg}$



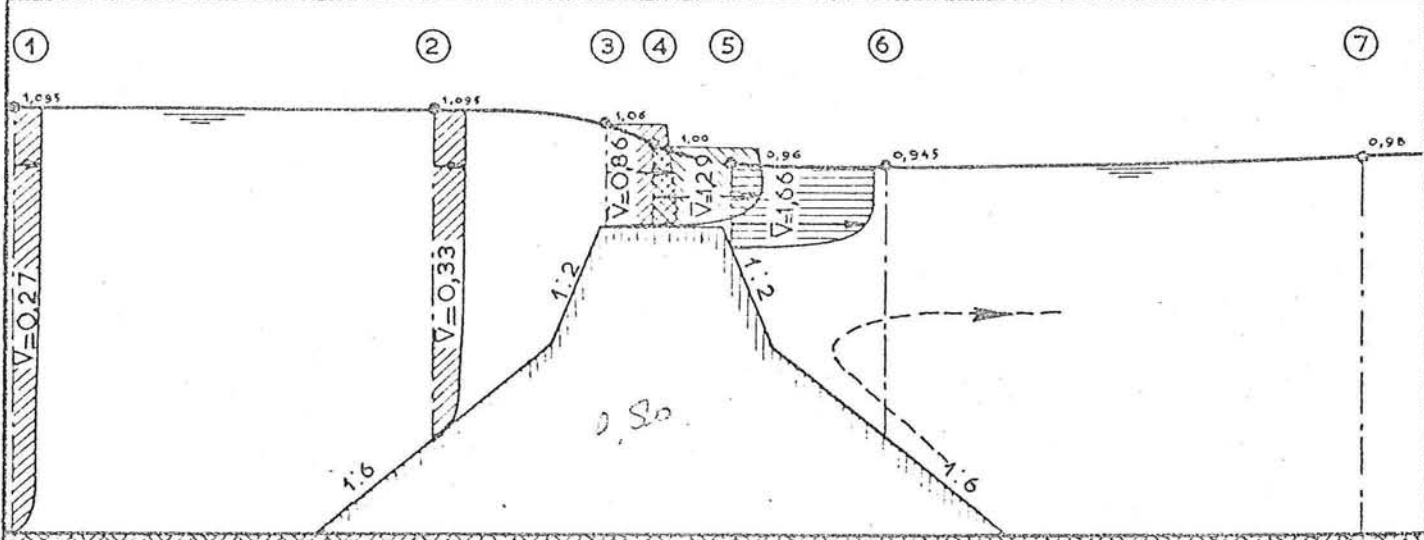
SNELHEIDSVERTICALEN

WATERSTANDSVERLOOP EN  
 SNELHEIDSVERDELING

M. 711 — DEEL II  
 PROEF III a1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG. 17



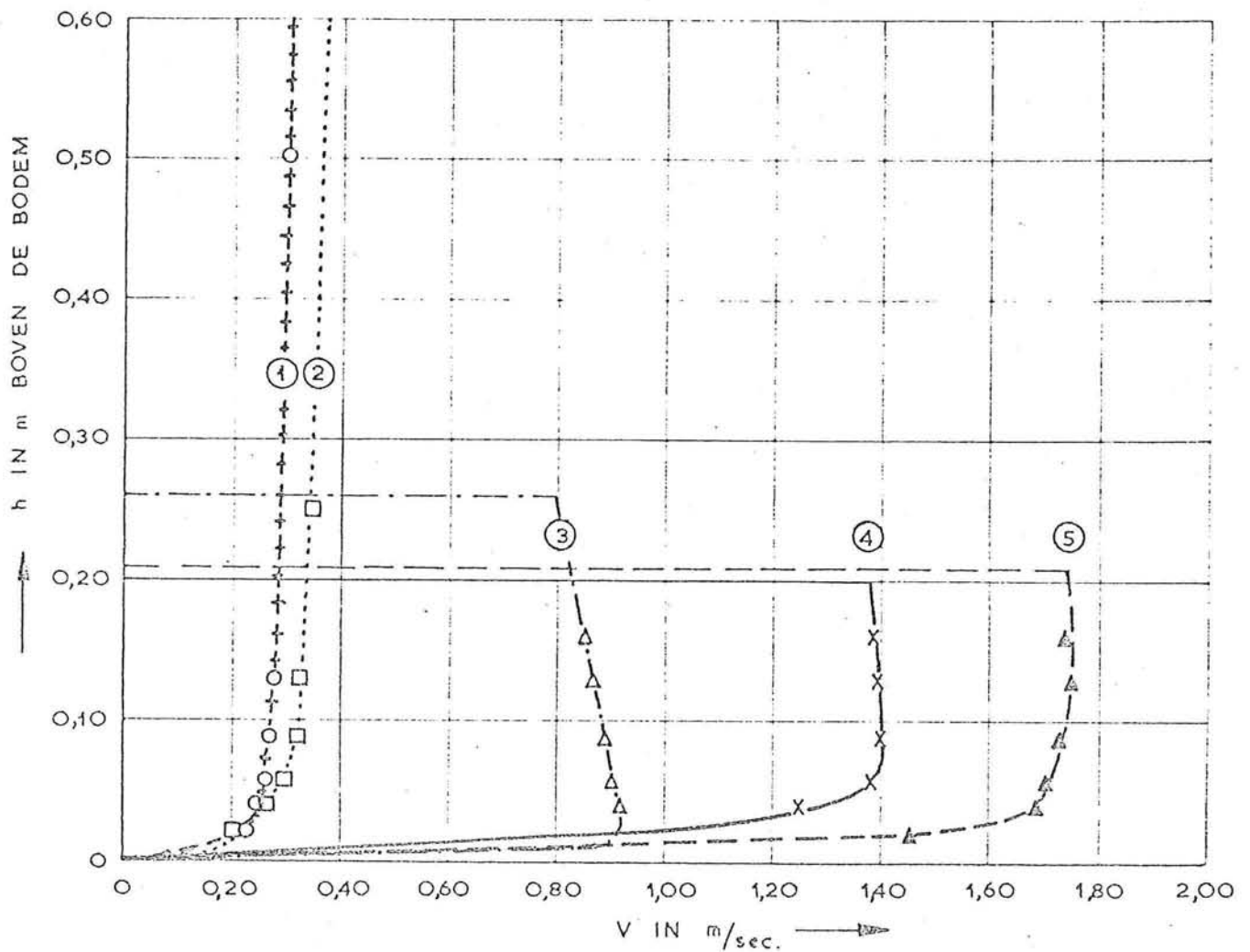
OVERZICHT

HOR SCHAAL 1:100

VERT SCHAAL 1:20

$d_{50} = 0,026 \text{ m}$

$G_{50} = 0,0235 \text{ kg}$



SNELHEIDSVERTICALEN

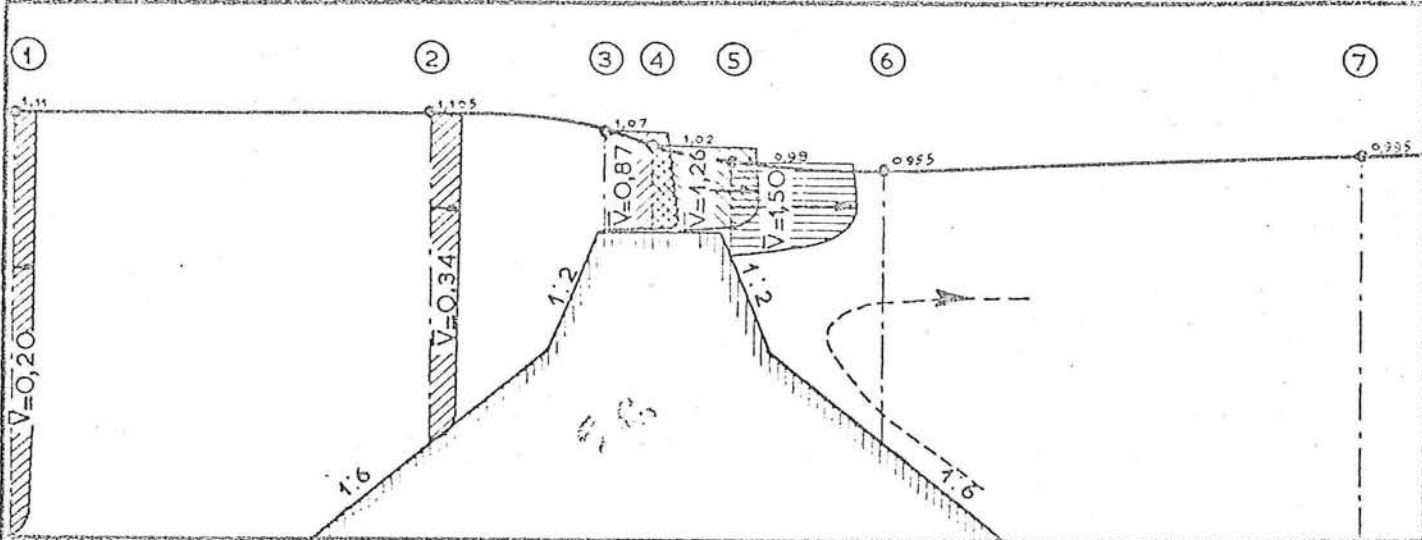
WATERSTANDSVERLOOP EN  
SNELHEIDSVERDELING

M. 711 - DEEL II

PROEF III a 2

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

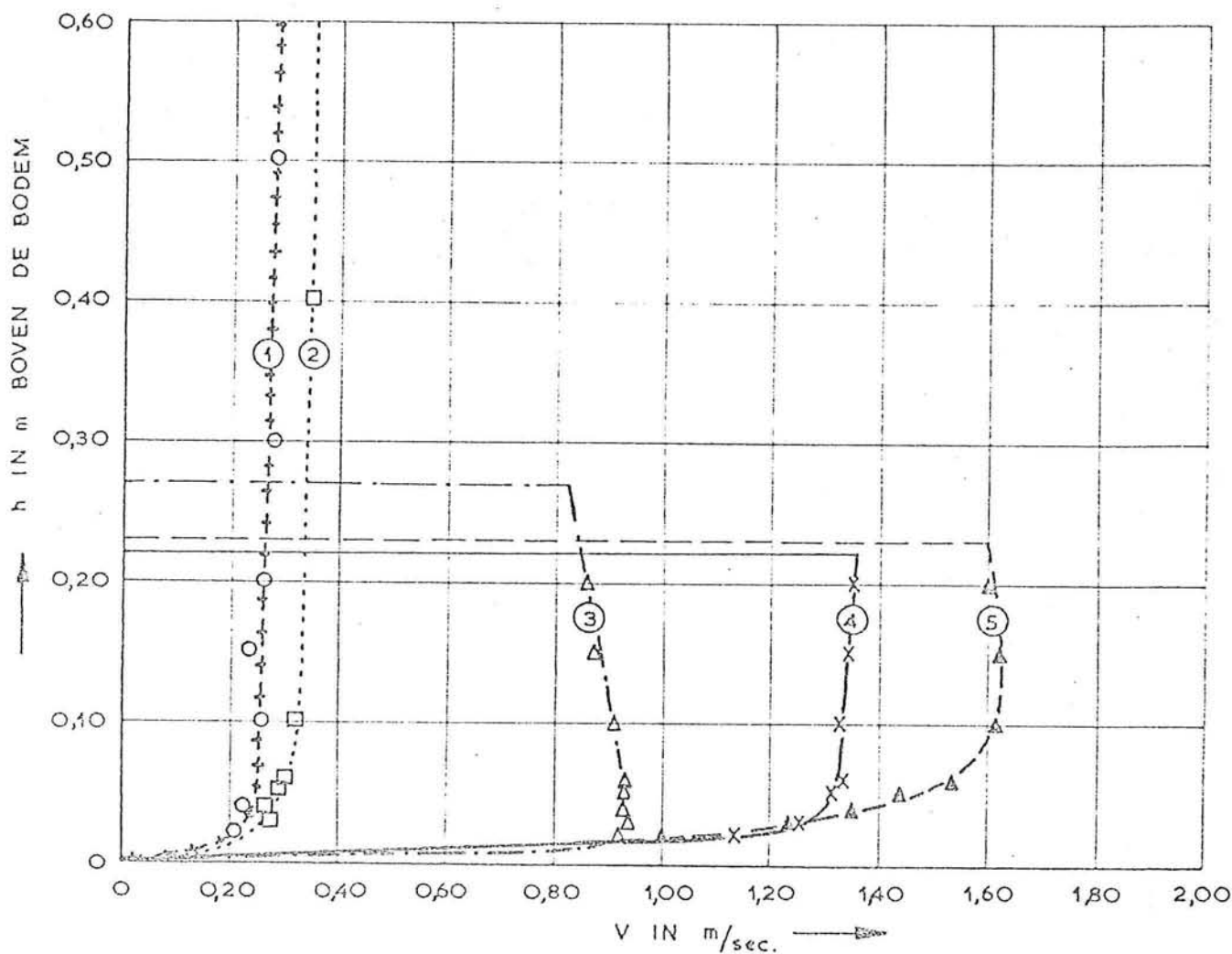
FIG. 18



OVERZICHT  
 HOR. SCHAAL 1:100  
 VERT. SCHAAL 1:20

$d_{50} = 0,033 \text{ m}$

$G_{50} = 0,052 \text{ kg}$



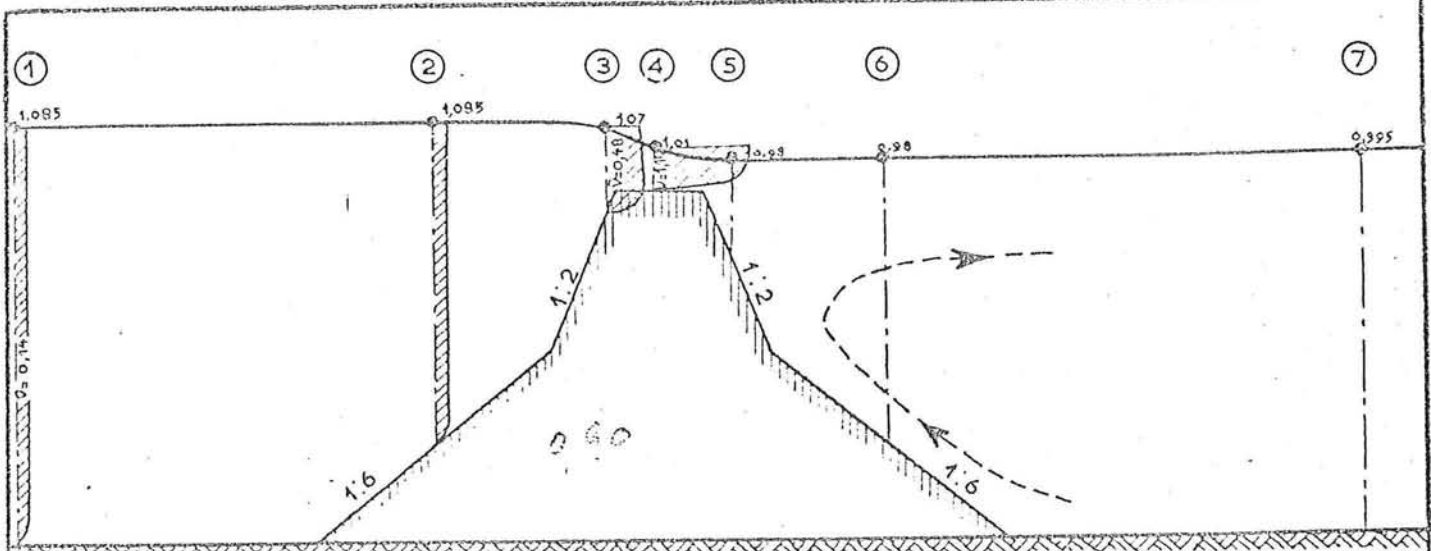
SNELHEIDSVERTICALEN

WATERSTANDSVERLOOP EN  
 SNELHEIDSVERDELING

M. 711 — DEEL II  
 PROEF III a 3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG. 19

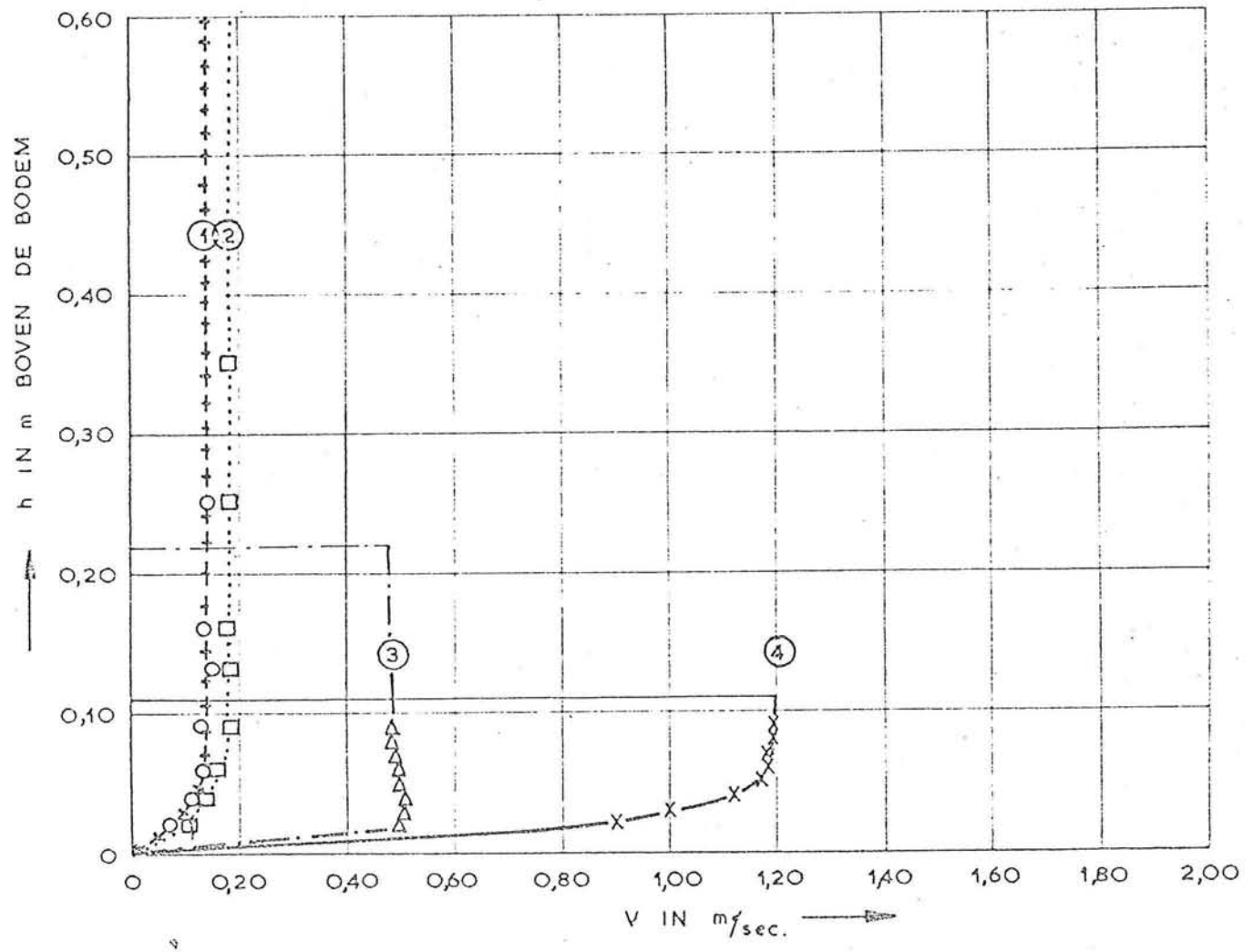


OVERZICHT

HOR. SCHAAL 1:100  
 VERT. SCHAAL 1:20

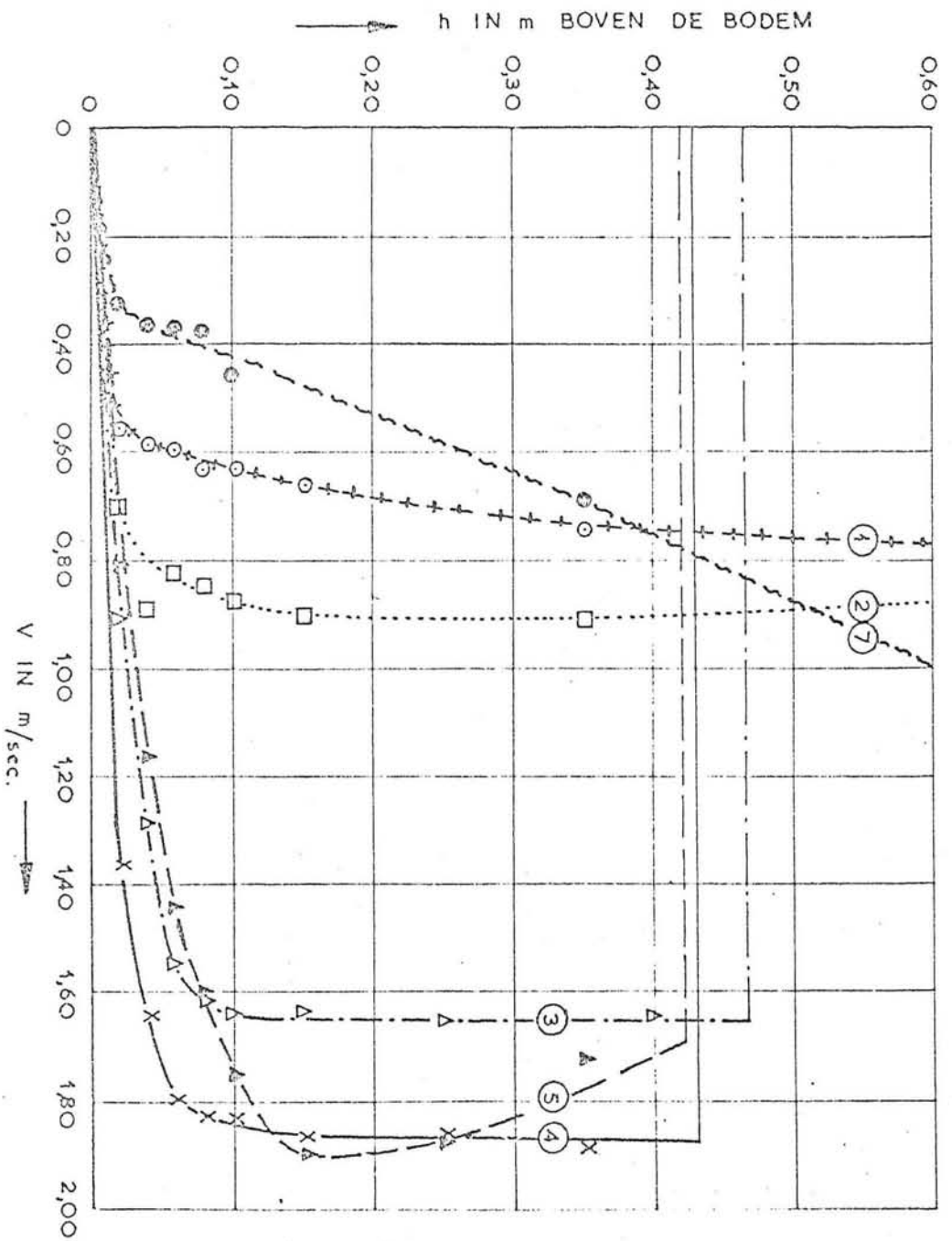
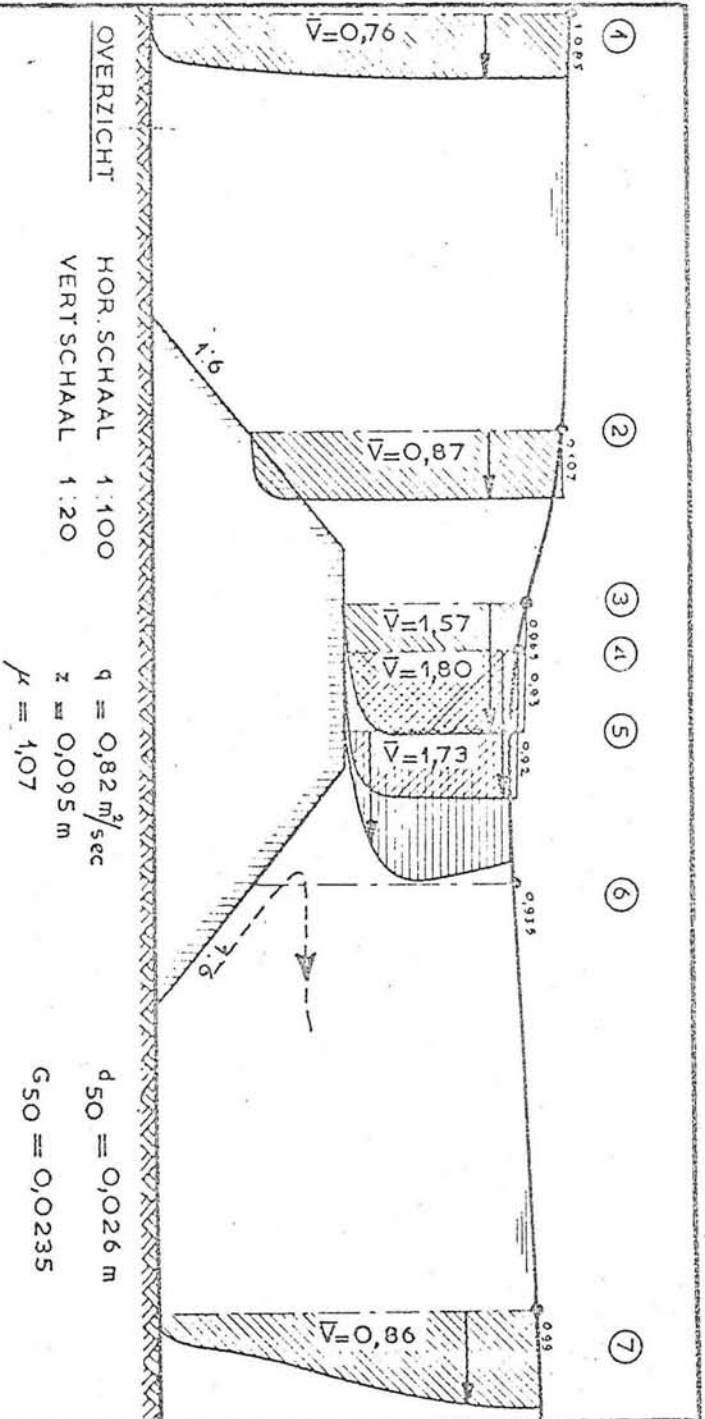
$d_{50} = 0,026 \text{ m}$

$G_{50} = 0,0235 \text{ kg}$



SNELHEIDSVERTICALEN

WATERSTANDSVERLOOP EN SNELHEIDSVERDELING	M. 711 — DEEL II
	PROEF IV a 2
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	FIG. 20



SNELHEIDSVERTICALEN

WATERSTANDSVERLOOP EN

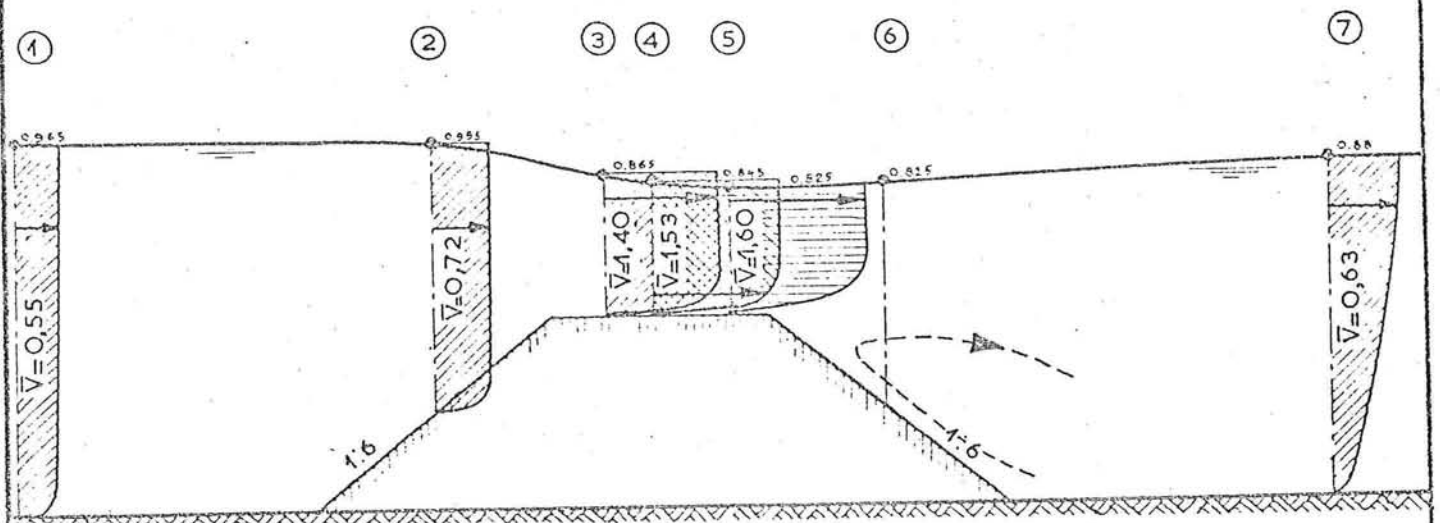
SNELHEIDSVERDELING

M. 744 - DEEL II

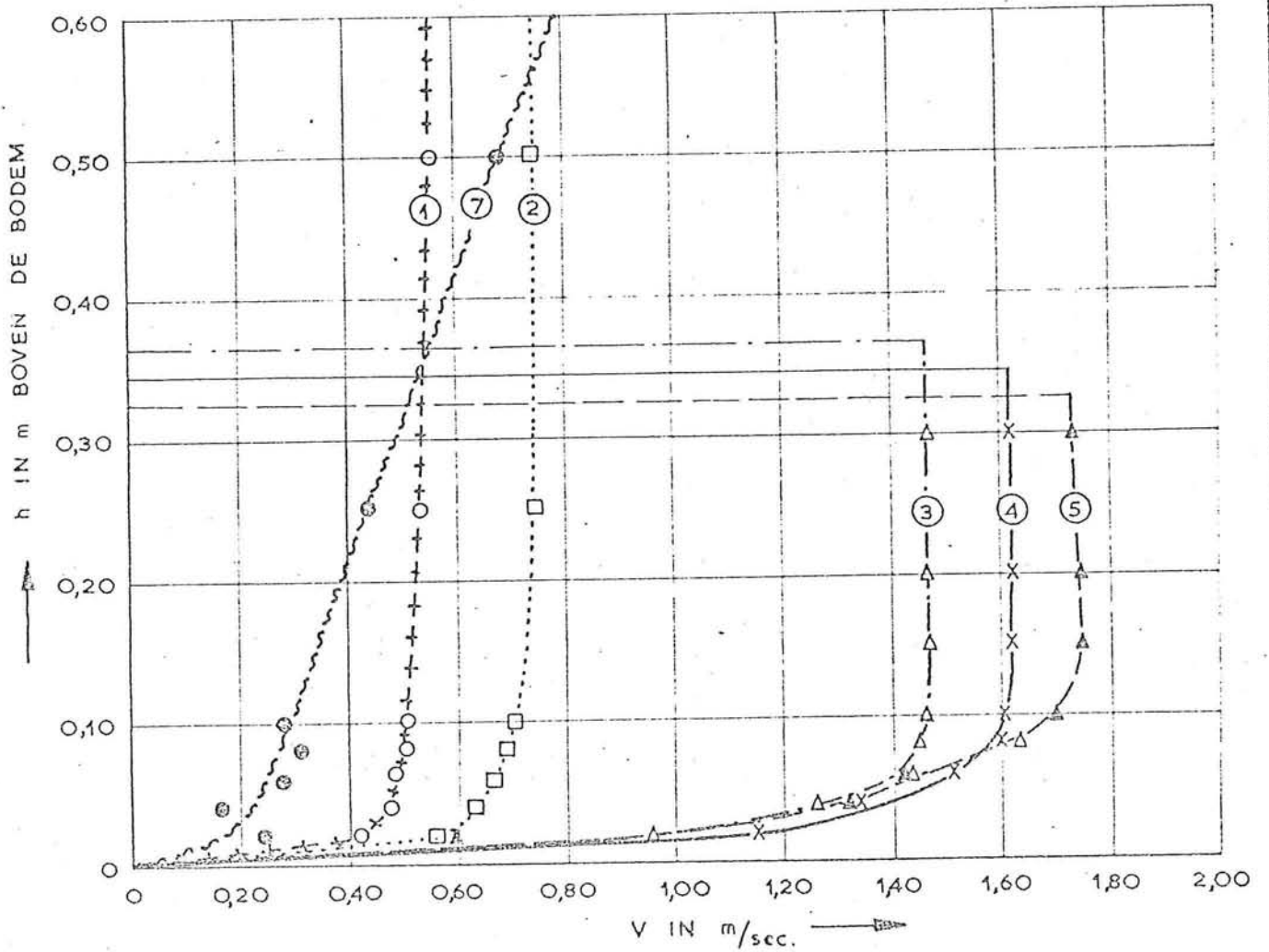
PROEF Id2

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG. 21



OVERZICHT      HOR. SCHAAL 1:100       $q = 0,53 \text{ m}^2/\text{sec}$        $d_{50} = 0,026 \text{ m}$   
 VERT. SCHAAL 1:20       $z = 0,085 \text{ m}$        $\mu = 1,00$        $G_{50} = 0,0235 \text{ kg}$



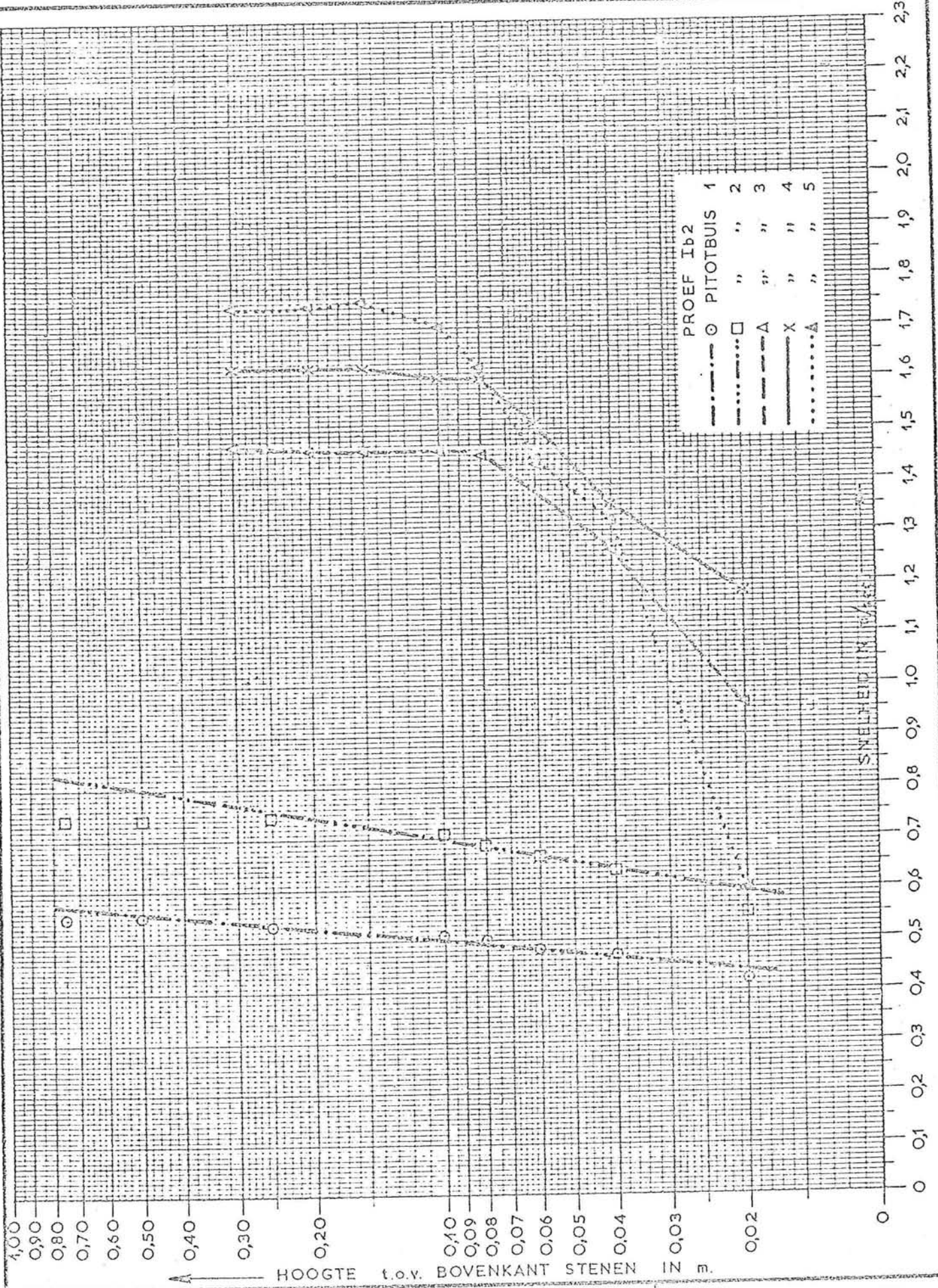
SNELHEIDSVERTICALEN

WATERSTANDSVERLOOP EN  
 SNELHEIDSVERDELING

M. 711 — DEEL II  
 PROEF I b2

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG. 22

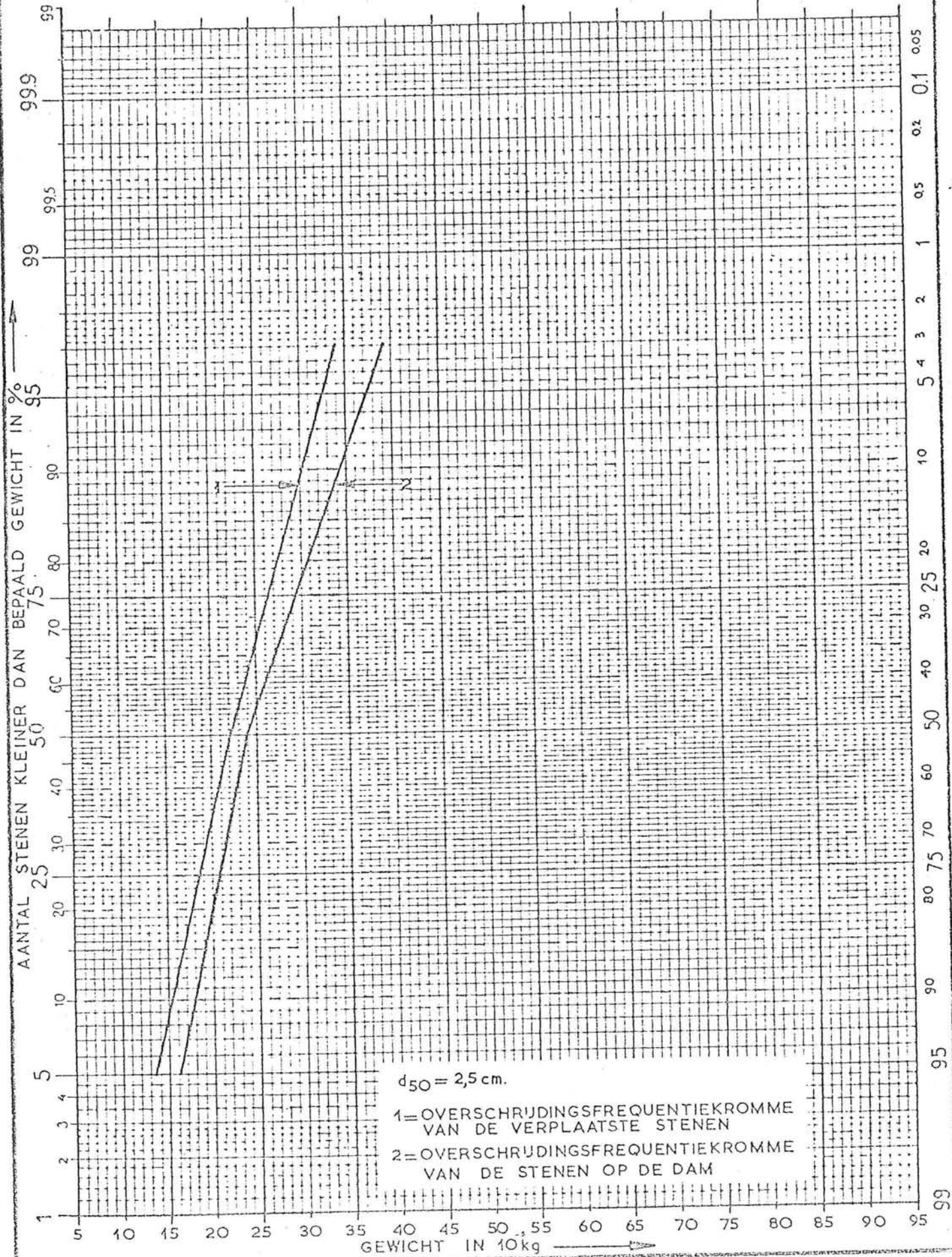


SNELHEIDSVERTIKALEN  
PROEF Ib2

M. 711-DEEL II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG. 23



OVERSCHRJDINGSFREQUENTIELIJN VAN DE VERPLAATSTE STENEN

M. 711-DEEL II  
PROEF Ia3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

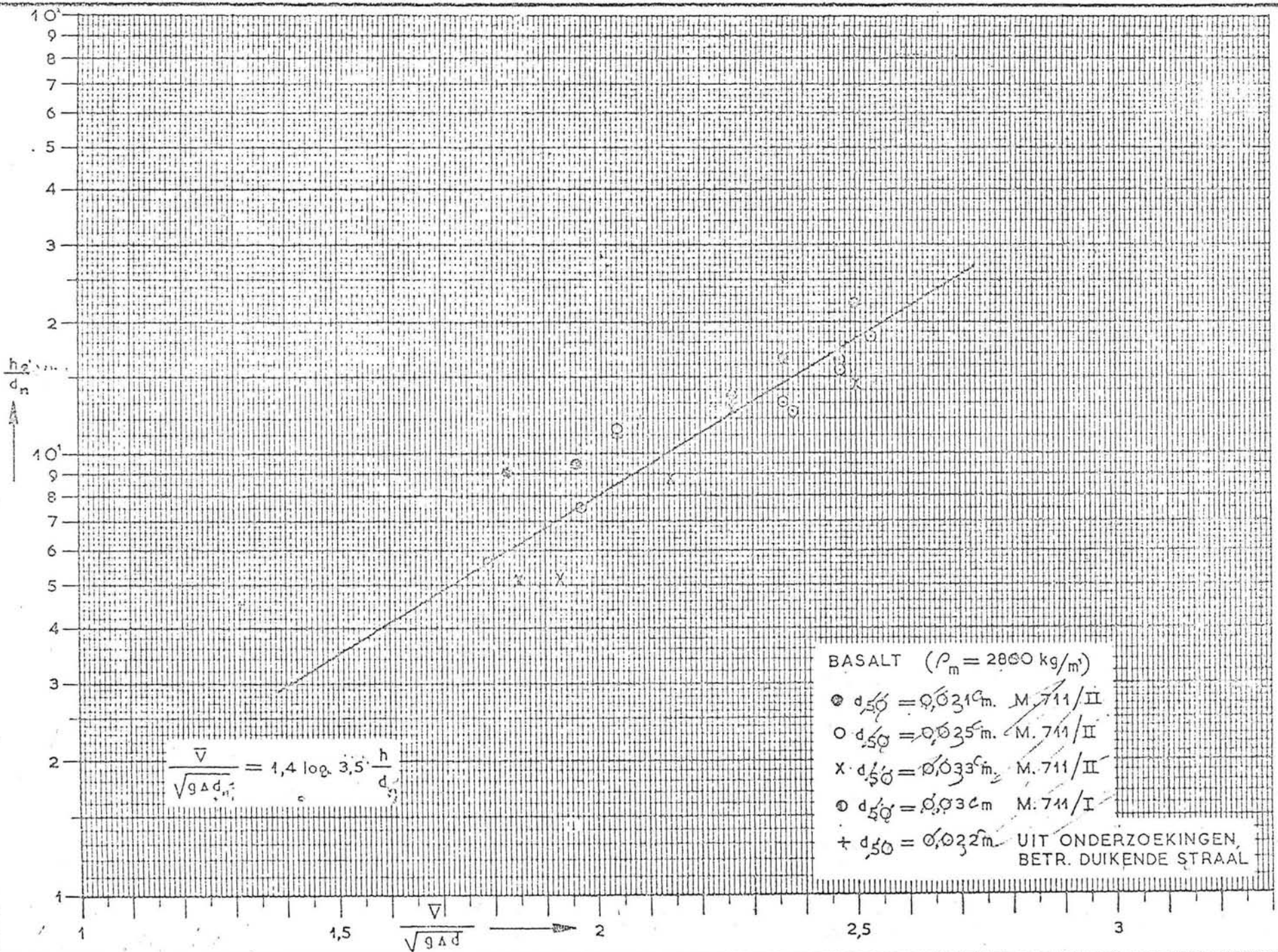
FIG. 24

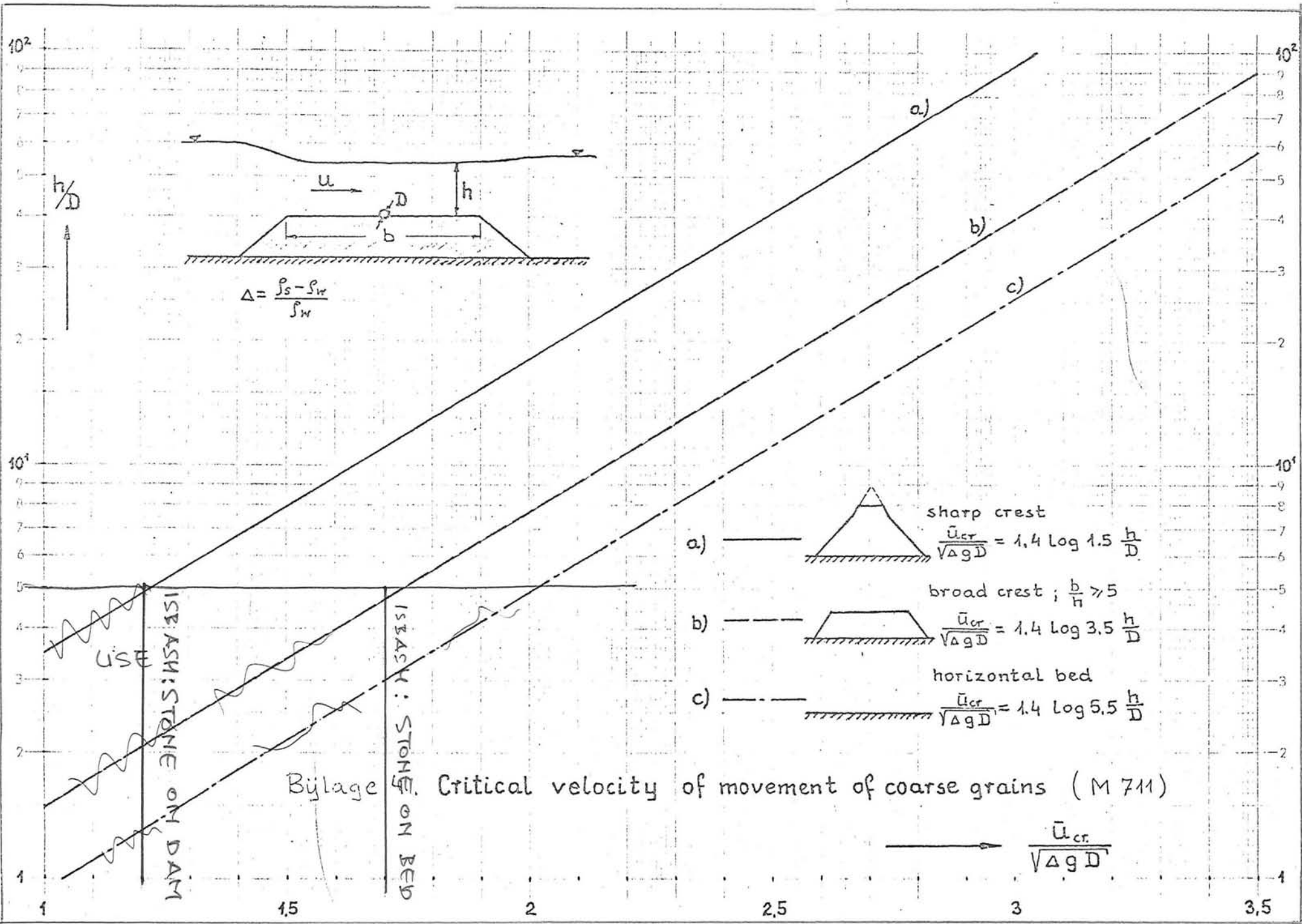


TOETSING VERGELIJKING 5 AAN DE  
MEETRESULTATEN.  
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 711 - DEEL II

FIG. 25





M 711

1951

1-1-11 1-1-13