

# GELEIDELIJKE SLUITING

## I

INVLOED VAN DE RUWHEID EN DOOR-  
LATENDHEID VAN EEN DAM OP HET  
VOORKOMEN VAN EEN DUIKENDE STRAAL

RAPPORT MODELONDERZOEK

**BIBLIOTHEEK**

Dienst Weg- en Waterbouwkunde

Postbus 5044, 2600 GA DELFT

Tel. 015-699111

**WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM  
DELFT**

**M 731**

Bijvoegsel bij rapport: Geleidelijke sluiting  
W.L. - M 731-I.

---

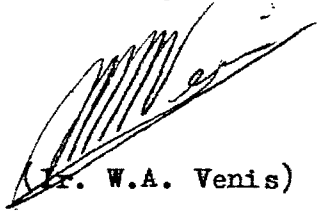
Het in dit rapport beschreven onderzoek had tot doel na te gaan of het optreden van een duikende straal bij een tweedimensionale stroming over een dam beïnvloed wordt door:

- a. de ruwheid van de dam
- b. de doorlatendheid van de dam.

De resultaten van de proeven ad a zijn weergegeven op figuur 1, die van de proeven ad b op figuur 2. De invloed van zowel de ruwheid als de doorlatendheid zijn hierop duidelijk waarneembaar. Op de figuren 3 en 4 is de invloed van de ruwheid als functie van de schaalgrootte weergegeven. Een duidelijk schaafeffect kon hierbij niet worden aangetoond.

Voor de gangbare soorten stortsteen ( $\rho_m \approx 2700 \text{ kg/m}^3$ ) blijkt de stabiliteitsgrens te worden overschreden, voordat een duikende straal optreedt.

's-Gravenhage, 17 maart 1964.



(Ir. W.A. Venis)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

GELEIDELIJKE SLUITING

I

Invloed van de ruwheid en doorlatendheid van een dam op  
het voorkomen van een duikende straal

**BIBLIOTHEEK**

Dienst Weg- en Waterbouwkunde  
Postbus 5044, 2600 GA DELFT  
Tel. 015-699111

M 731

december 1963

03 SEP. 1991

## INHOUD

<u>I. Inleiding</u>	<u>blz.</u>
1. Opdracht	1
2. Conclusies	1
 <u>II. Analyse</u>	 1
 <u>III. Proeven</u>	
1. Invloed van de ruwheid	3
2. Invloed van de doorlatendheid	3
3. Schaalproeven	3
4. Relatie debiet-verval	4

---

## I. INLEIDING.

### 1. Opdracht.

Door de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst werd bij een bespreking op 4 augustus 1960 opdracht gegeven een onderzoek uit te voeren naar het stroombeeld over een dam. Hierbij moest speciaal het voorkomen van duikende stralen worden onderzocht.

### 2. Conclusies.

Uit de proeven met een dam met brede kruin met taluds van 1:2 bleek dat zowel de ruwheid als de doorlatendheid van de dam grote invloed heeft op de overgang van een stroombeeld met een bodemneer naar een toestand met duikende straal. Toename van beide grootheden heeft een vergroting van het verval, waarbij de overgang plaatsvindt tot gevolg.

De invloed van de viskositeit is nagegaan bij een serie dammen met gelijke verhouding van damhoogte en ruwheid. Bij deze serie was deze invloed niet merkbaar (kleinste en grootste steengrootte resp.

0,75 en 7 cm). Doordat bij modelproeven tengevolge van de viskositeit de doorlatendheid en het effect van de ruwheid afnemen, zullen de modelproeven bij eventuele afwijkingen te ongunstig zijn.

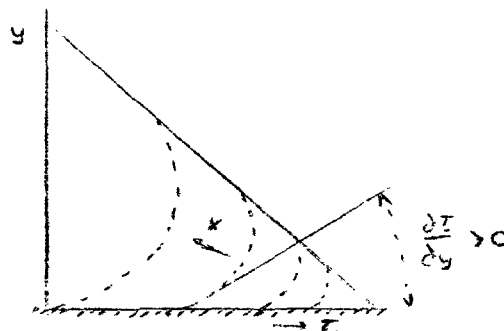
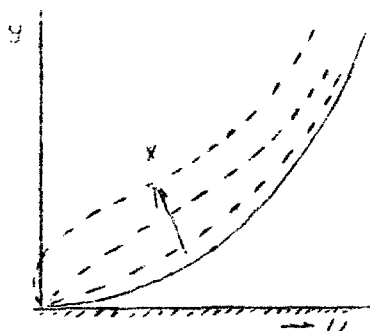
Uit stabiliteitsproeven met los gestort materiaal bleek dat bij toenemend verval de dam bezwijkt voor het optreden van een duikende straal, zodat bij de geleidelijke sluiting geen duikende straal zal optreden. Hierbij moet worden opgemerkt dat dit geldt zolang de dichtheid niet aanmerkelijk groter wordt dan  $2700 \text{ kg/m}^3$ .

## II. ANALYSE.

Het beeld van de stroming over een dam wordt bepaald door de damhoogte  $D$ , de vorm, ruwheid en doorlatendheid van de dam, de waterdiepte benedenstrooms  $d_2$ , het debiet  $q/m'$  en de viskositeit van het water.

Een duikende straal ontstaat wanneer de stroming niet loslaat aan het einde van de damkruin. Wanneer de stroming wel loslaat is dit een gevolg van het oplopen van de waterstand in het vertragsingsgebied achter de dam, dus een positieve drukgradient. Deze positieve drukgradient

heeft de grootste invloed op het deel van de stroom met een kleinere initiele impuls vlak bij de wand. Het snelheidsprofiel zal vervormen en de schuifspanningen zullen kleiner worden totdat er evenwicht is tussen drukgradient en schuifspanningsverdeling. Bij een voldoende grote drukgradient worden de snelheden en schuifspanningen zelfs negatief en de stroming laat los.



Het afnemen van de schuifspanning bij de wand is ook te zien aan de bewegingsvergelijking bij de wand<sup>xx</sup>:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial \tau}{\partial y} > 0.$$

Bij een ruwe wand is bij dezelfde gemiddelde snelheid de snelheid bij de wand lager. Hierdoor zal de stroom bij de wand eerder tot stilstand komen dan bij een gladde wand, waardoor de stroming eerder loslaat.

Op enige afstand voor het loslaatpunt is de druk minimaal. Bij een doorlatende dam zal op deze plaats water uittreden.



Dit uittreden geeft een vertraging van de stroom bij de wand en een vermindering van de wandschuifspanning<sup>xxx</sup> waardoor de stroming eerder loslaat.

Het is niet mogelijk de invloed van de ruwheid alleen te bepalen daar ook de vorm en lengte van de dam belangrijk zijn.

<sup>xx</sup> A.A. Townsend. The development of turbulent boundary layers with negligible wall stress. Journal of Fluid Mechanics 8 (1960), pp 143-155.

<sup>xxx</sup> H.S. Mickley and R.S. Davis. Momentum transfer for flow over a flat plate with blowing. NACA Techn. Note 4017 (1957).

### III. PROEVEN.

#### 1. 1<sup>e</sup> serie. Invloed van ruwheid.

De eerste serie proeven is gedaan met een dam met hoogte 0,2 m, lengte aan de voet 1,6 m en taluds 1:2, in een goot met breedte 0,5 m. De kruin was afgerond met een straal van 0,6 m. Bij iedere serie proeven is bij een aantal benedenwaterstanden het debiet vergroot tot een duikende straal optrad. Als overgang is het punt aangehouden waarop de straal gaat duiken bij enige verstoring d.m.v. een plankje en daarna blijft duiken. De waarden van het verval en het debiet zijn uitgezet in fig. 1, voor een aantal ruwheden.

Uit de figuur is duidelijk te zien dat bij een toenemende ruwheid de overgang naar een duikende straal later optreedt. Daar in het model het Reynoldsgetal kleiner is dan in het prototype, zal de dam bij een bepaalde ruwheid te glad worden weergegeven.

#### 2. 2<sup>e</sup> serie. Invloed van de doorlatendheid.

De tweede serie proeven is met dezelfde dam gedaan. Vergeleken zijn een gladde dam (zink) met en zonder gaatjes ter plaatse van de benedenstroomse kruinlijn. Aan de bovenstroomse zijde was een gat  $\emptyset$  3 cm aangebracht waardoor in de dam overdruk heerste.

In fig. 2 is duidelijk te zien dat de doorlatendheid een gunstige invloed op het loslaten van de straal heeft. Dit blijkt ook uit de vergelijking van een ruwe ondoorlatende en een ruwe doorlatende dam.

#### 3. 3<sup>e</sup> serie. Schaalproeven.

Voor een onderzoek naar mogelijke schaafeffekten zijn vergeleken lange dammen (lengte aan de voet 8 D, taluds 1:2) met damhoogten  $D = 0,4, 0,2$  en  $0,1$  m in een goot met breedte 1,5 m. De ruwheid  $k$  werd daarbij evenredig verkleind.

In fig. 3 zijn de resultaten weergegeven voor 2 waarden van de relatieve ruwheid:  $k/D = 0,037$  en  $0,075$ . In de figuur is te zien dat de overgang naar duiken later optreedt bij een grotere ruwheid en dat geen duidelijke schaafeffekten voorkomen, hoewel bij  $D = 0,1$  m de kritieke vervallen gemiddeld wat groter zijn. Voor de overgang zijn weer aangehouden de waarden van het verval waarbij met enige verstoring d.m.v. een plank duiken optrad. Door het subjectieve karakter van deze bepaling zijn afwijkingen mogelijk.

In een tweede serie schaalproeven is gestroomd met een korte dam (lengte van de voet 5 D). Ter aanvulling is hierbij een proef in de stroomgoot in het laboratorium "De Voorst" gedaan (gootbreedte 3,0 m, D = 1,28 m). De resultaten voor D = 0,1, 0,2, 0,4 en 1,28 m stemmen goed overeen (zie fig. 4). Bij D = 0,4 m is ook een proef gedaan met een benedenstrooms talud 1:4. Dit gaf bij lage benedenwaterstanden zelfs een vergroting van het kritieke verval en debiet, doordat bij lage waterstanden langs het benedenstrooms talud een eenparige stroming ontstond. Bij een flauwer talud waren de snelheden in deze stroming lager, ( $\bar{v} = C\sqrt{RI}$ ), waardoor een duikende straal later optrad.

#### 4. Relatie debiet-verval.

Van de serie schaalproeven met lange dammen zijn de gemeten vervallen en waterstanden gebruikt voor de bepaling van

$$m = \frac{q}{\frac{2}{3}\sqrt{\frac{2}{3}gH_1^3}} \quad H_1 \geq 3/2 h_2$$

en

$$\mu = \frac{q}{h_2\sqrt{2g(H_1-h_2)}} \quad H_1 \leq 3/2 h_2$$

waarin: q = debiet per m'.

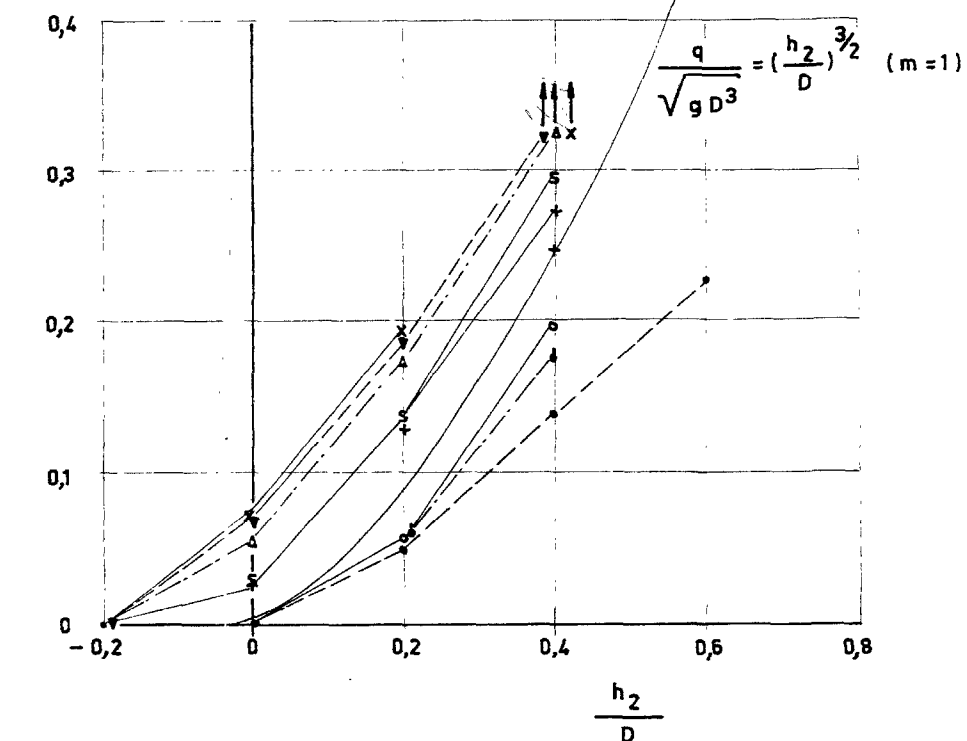
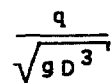
$h_2$  = benedenwaterstand t.o.v. damkruin.

$H_1$  = bovenstroomse energiehoopte t.o.v. damkruin.

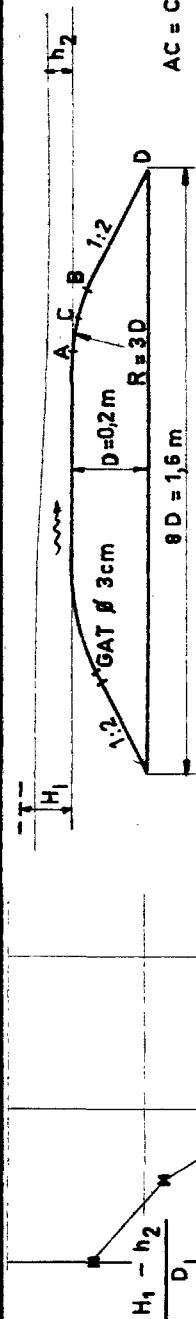
De waarden van m (zie fig. 5) blijken alleen afhankelijk te zijn van  $H_1$ , niet van  $h_2$  en nemen iets toe met afnemende ruwheid (vooral bij kleine waterdiepten boven de dam). De  $\mu$ -waarden nemen af met afnemende  $h_2$  (relatief meer weerstand) en toenemend verval (grotere daling van de waterspiegel aan het eind van de dam, meer vertragsingsverlies).

---





- |   |   |              |        |           |        |            |             |
|---|---|--------------|--------|-----------|--------|------------|-------------|
| • | DAM   | GEHEEL       | GLAD   |           |        |            |             |
| • | "   | "            | "      | MET STRIP | 2 mm   | HOOG       | IN A        |
| • | "   | "            | "      | "         | "      | "          | IN B        |
| • | "   | "            | "      | STEENGAAS | VAN B  | TOT C      |             |
| • | "   | "            | "      | "         | "      | C          | D           |
| Δ | DAM   | ONDOORLATEND | BEDEKT | MET       | STENEN | $k = 0,30$ | cm          |
| ▽ | "   | "            | "      | "         | "      | "          | $= 0,60$ cm |
| x | "   | "            | "      | "         | "      | "          | $= 1,50$ cm |
| ↑ | OVERGANG NOG NIET BEREIKT ( $q_{max}$ VAN GOOT BEREIKT) |              |        |           |        |            |             |



• DAM GEHEEL GLAD ONDOORLATEND

- Δ " MET GAATJES  $\phi$  3 mm H.O.H. 2 cm VAN A TOT B
- Δ " " " " " " " A " D
- " " " " " " " A " B

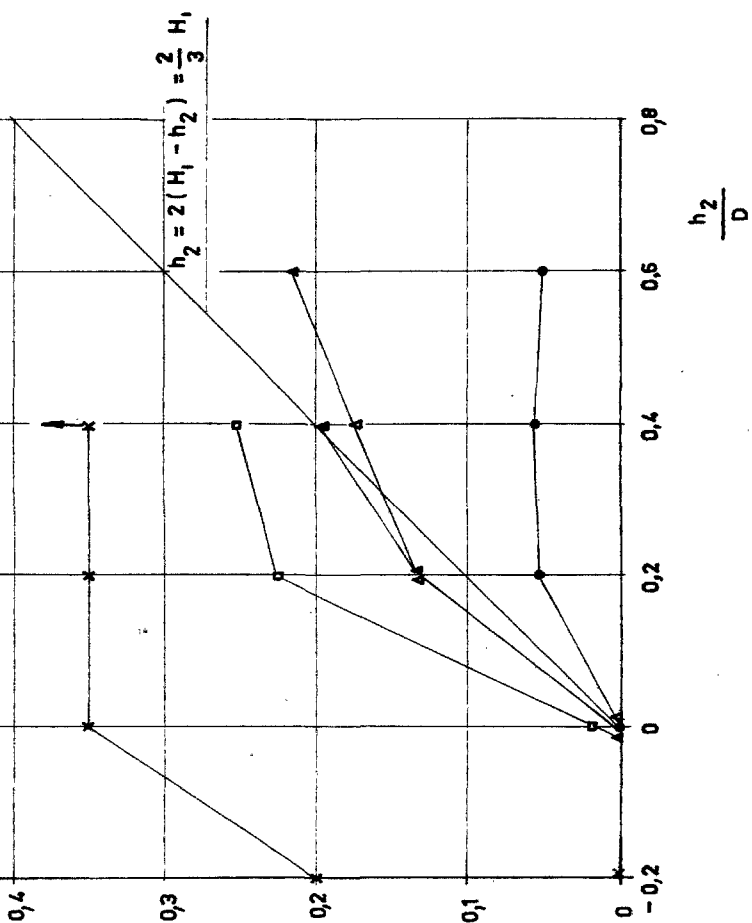
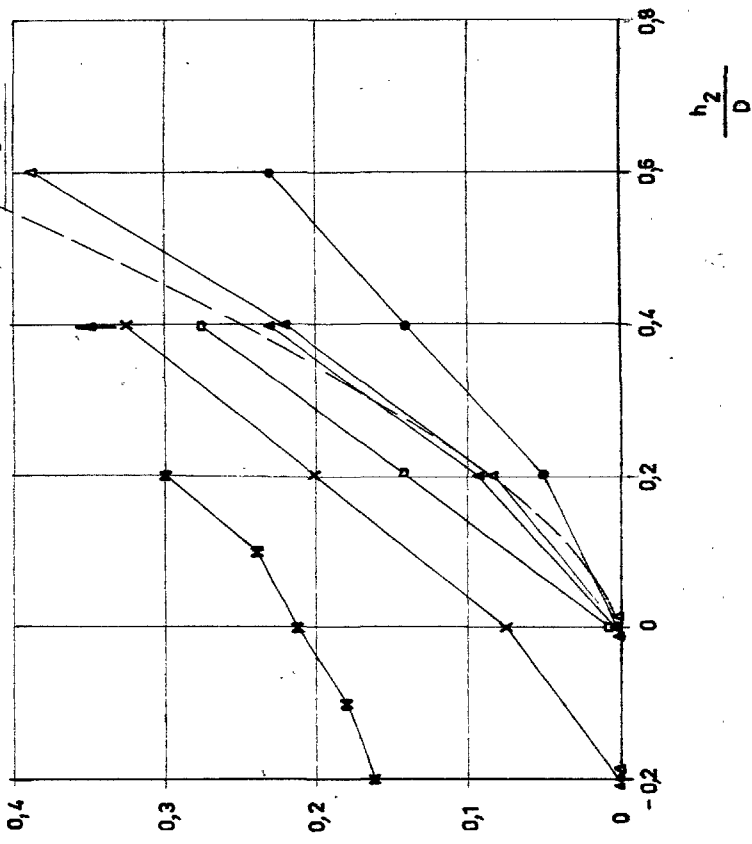
x DAM ONDOORLATEND AFGEDEKT MET STENEN  $k = 1,5 \text{ cm}$

■ DAM DOORLATEND OPGEBOUWD MET STENEN  $k = 1,5 \text{ cm}$

↑ OVERGANG NOG NIET BEREIKT

$$\frac{q}{\sqrt{gD^3}}$$

$$\frac{q}{\sqrt{gD^3}} = \left(\frac{h_2}{D}\right)^{3/2}$$



INVLOED DOORLATENDHEID OP OVERGANG  
NAAR DUKKENDE STRAAL. LANGE DAM.

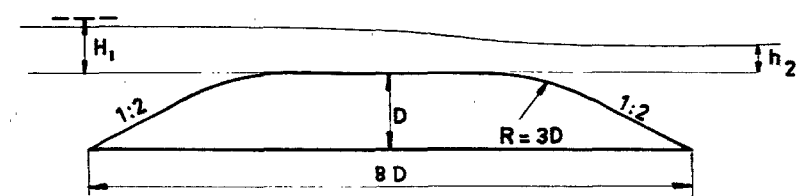
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 731-I

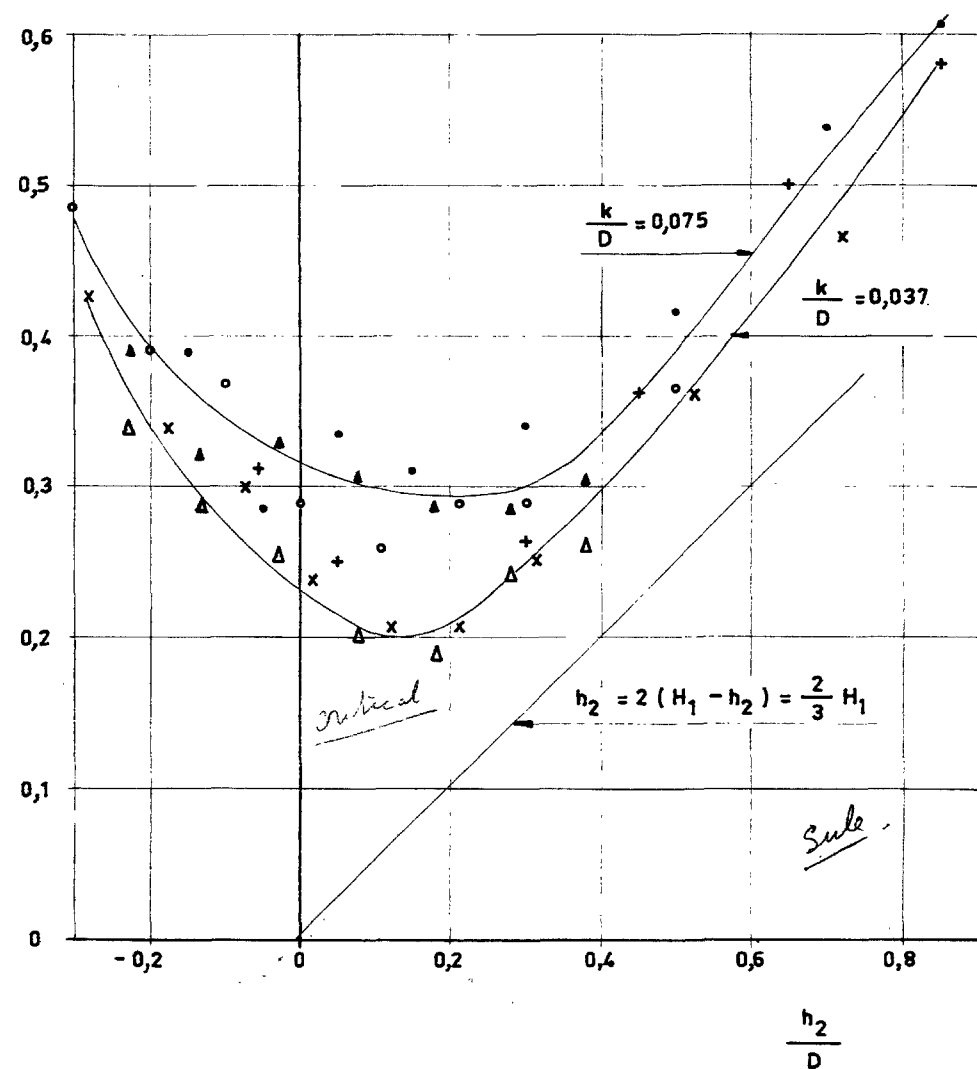
FIG. 2

3.

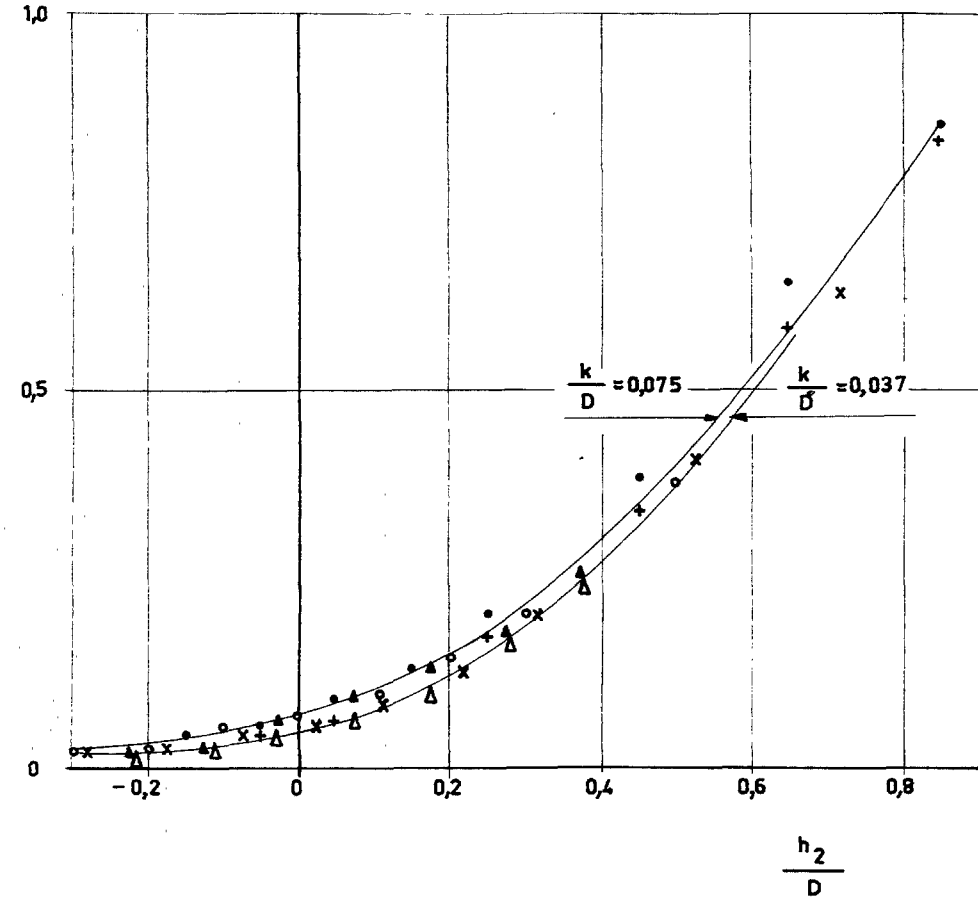
SERIE	D	k
Δ 400	40 cm	3 cm
Δ 410	40 "	1,5 "
• 420	20 "	1,5 "
x 430	20 "	0,75 "
• 440	10 "	0,75 "
+ 450	10 "	0,37 "



$$\frac{H_1 - h_2}{D}$$

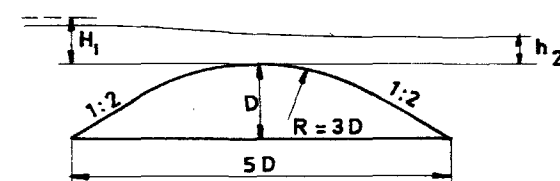


$$\frac{q}{\sqrt{g D^3}}$$

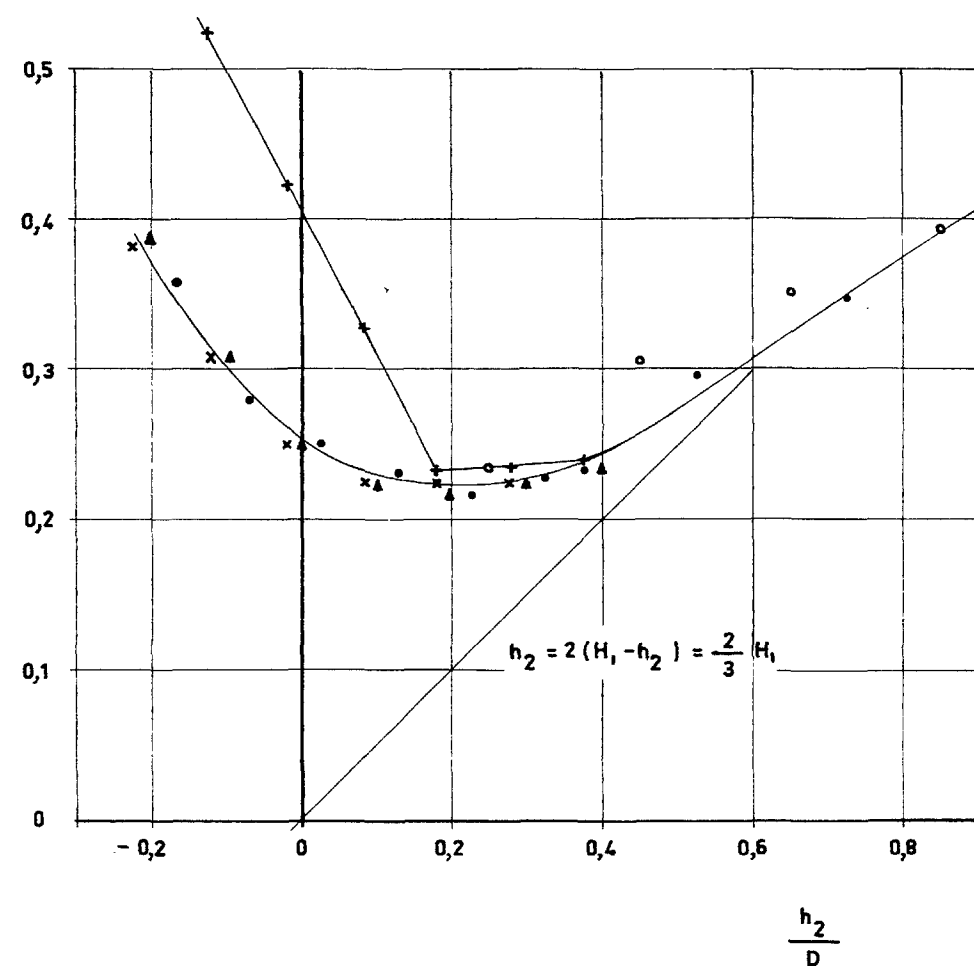


OVERGANG NAAR DUIKENDE STRAAL (SCHAALPROEVEN)			cs.
LANGE RUWE DAM (ONDOORLATEND)			
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M. 731-I	FIG. 3	

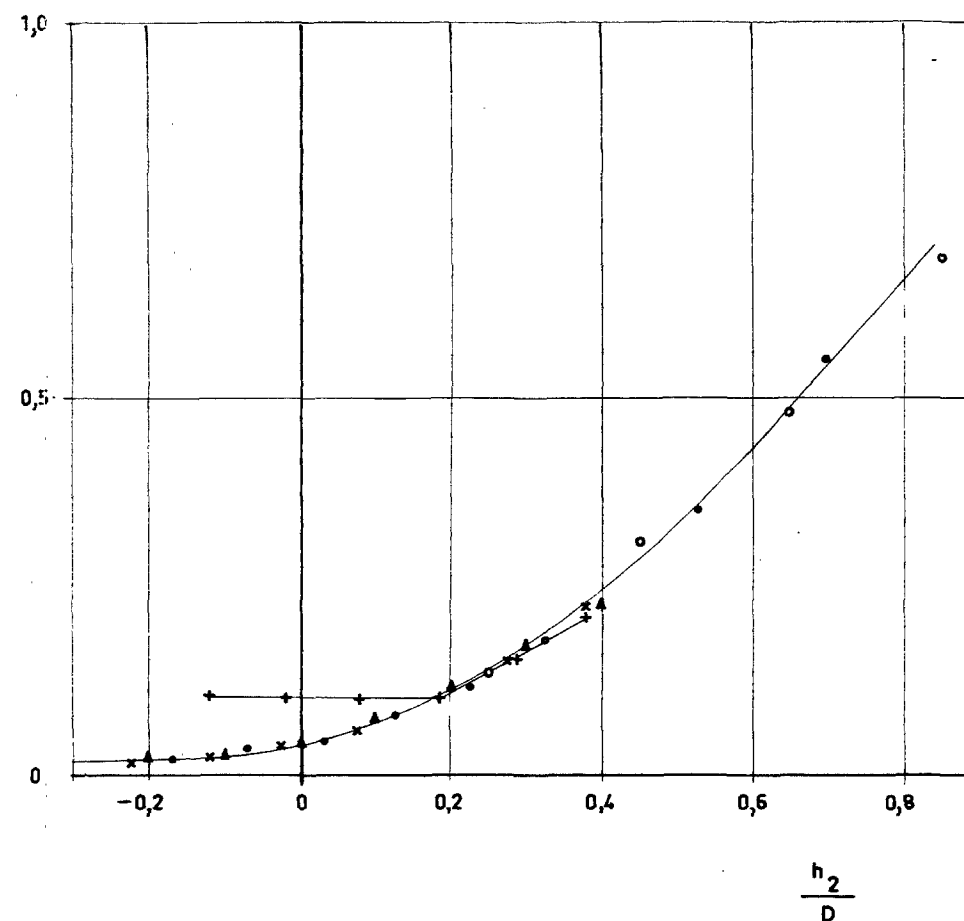
SERIE	D	k	TALUDS
x 460	40 cm	3 cm	1:2
• 480	20 "	1,5 "	1:2
o 510	10 "	0,75 "	1:2
▲ 610	128 "	7 "	1:2
+ 470	40 "	3 "	BENEDENSTROOMS TALUD 1:4



$$\frac{H_1 - h_2}{D}$$



$$\frac{q}{\sqrt{g D^3}}$$



OVERGANG NAAR DUIKENDE STRAAL. (SCHAALPROEVEN)

KORTE RUWE DAM (ONDOORLATEND)

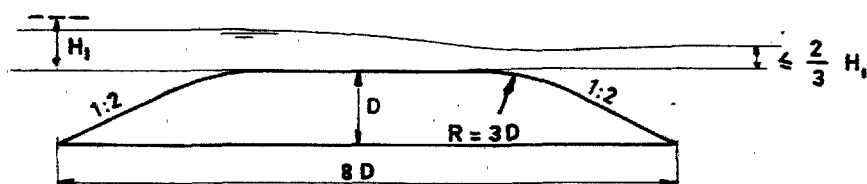
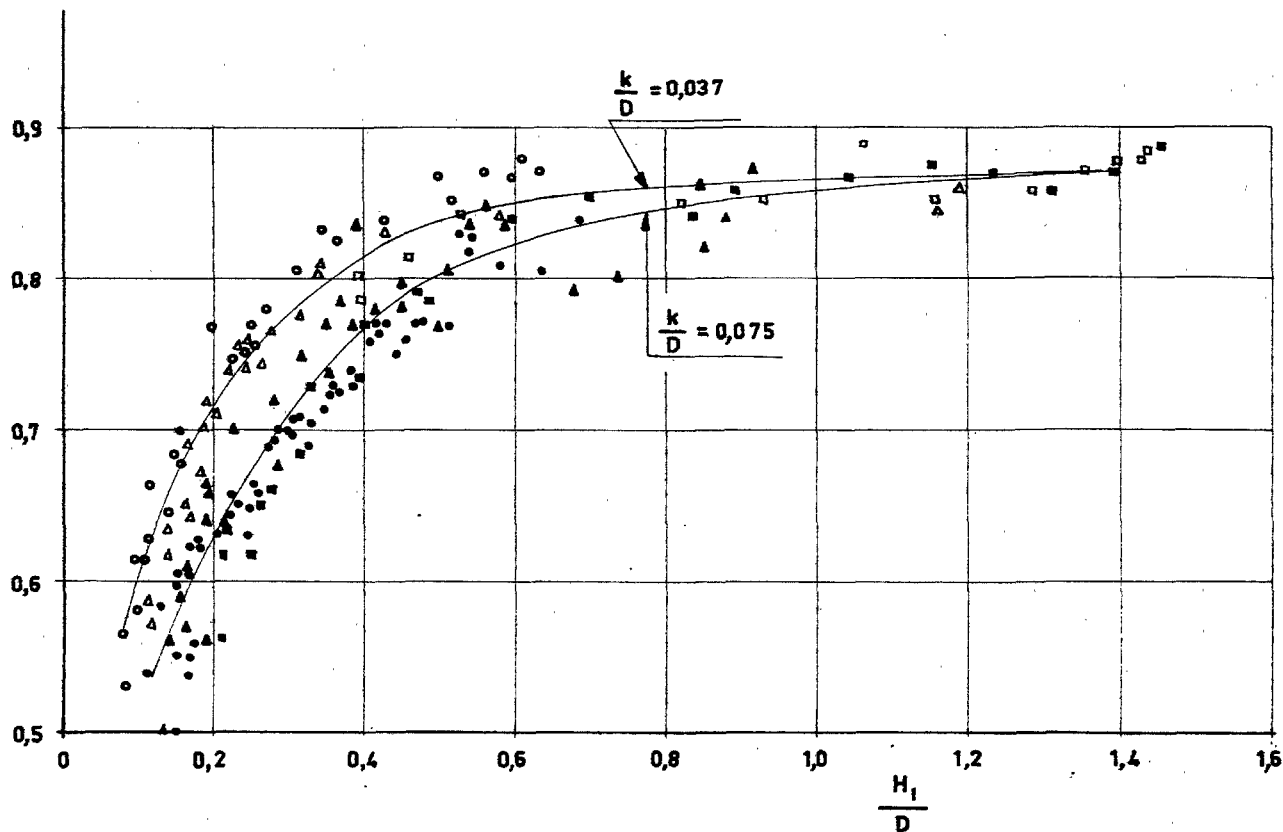
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 731-I

FIG. 4

23

$$m = \frac{q}{\frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} g H_1^3}}$$



SERIE	D	k
• 400	40 cm	3 cm
▲ 420	20 "	1,5 "
■ 440	10 "	0,75 "
◦ 410	40 "	1,5 "
△ 430	20 "	0,75 "
□ 450	10 "	0,375 "

m - WAARDEN LANGE DAM (ONDOORLATEND)

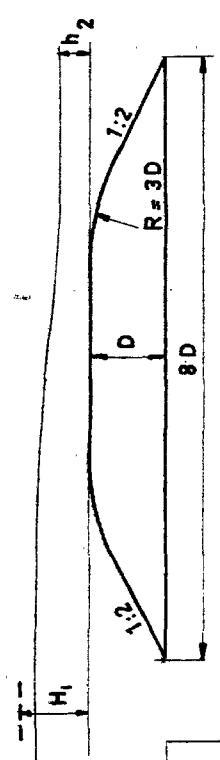
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.731-I

FIG. 5

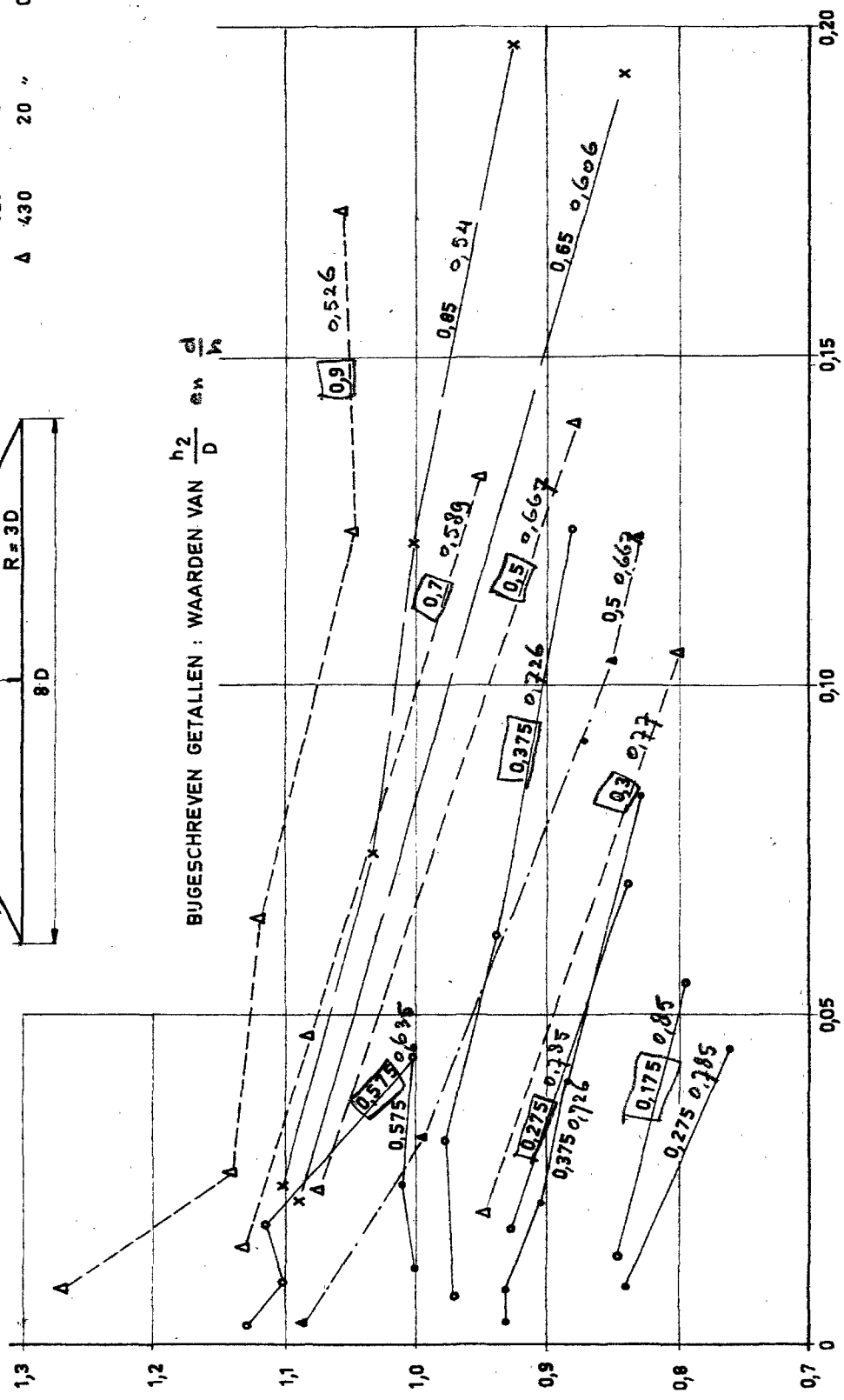
B.

SERIE	D	k
• 400	40 cm	3 cm
• 410	"	1,5 "
Δ 420	20 "	1,5 "
Δ 430	20 "	0,75 "



$$\mu = \frac{q}{h_2^2 \sqrt{2g(H_1 - h_2)}}$$

BUGESCHREVEN GETALLEN : WAARDEN VAN  $\frac{h_2}{D}$  en  $\frac{d}{h}$



$$\frac{H_1 - h_2}{D} = \frac{H_1 - h_2}{h} \cdot \frac{h}{D}$$

$$\frac{d}{h} = \frac{1}{1 + \frac{h-d}{d}}$$

$$\frac{d}{h} = 1 - \frac{h-d}{h} = 1 - \frac{h-d}{d} \cdot \frac{d}{h}$$

μ WAARDEN LANGE RUWE DAM (ONDOORLATEND)