

waterloopkundig laboratorium  
delft hydraulics laboratory

handboek ontgroningen

analyse geometriefaktor  $\alpha$  in een extreem  
driedimensionaal geval

verslag ontgrondingsonderzoek

---

Q 647

december 1987

---

handboek ontgroningen

analyse geometriefaktor  $\alpha$  in een extreem  
driedimensionaal geval

verslag ontgrondingsonderzoek

---

Q 647

december 1987

INHOUD

	blz.
1. <u>Inleiding</u> .....	1
2. <u>Onderzoek M1385</u> .....	2
3. <u>Analyse geometriefaktor <math>\alpha</math></u> .....	3
3.1 Waarde van $\alpha$ .....	3
3.2 Verloop van $\alpha$ .....	4
4. <u>Opmerkingen</u> .....	7
5. <u>Konklusies</u> .....	8

FIGUREN

- 1 Langsprofielen op verschillende tijdstippen
- 2 Tijd- ontgrondingsrelatie voor raai 2, invloed van bovenaanvoer zand
- 3  $\gamma$  als functie van  $h_{\max}/h_o$

FOTO

- 1 Ontgrondingskuil in evenwichtssituatie tengevolge van éénzijdige aanstroming



1. Inleiding

In het onderzoek Q496 werd een verbeterde versie van de tijd-ontgrondingsrelatie gepresenteerd, waarmee het binnen zekere grenzen lukt de geometriefactor  $\alpha$  gedurende de ontwikkeling van de ontgrondingen konstant te houden (zie verslag evaluatie ontgrondingen, voorstel aanpassing verwerkingsprocedure, april 1987).

In het kader van het "Handboek Ontgrondigen" werd de vraag gesteld in hoeverre de bevindingen van voornoemd onderzoek ook opgaan voor situaties met een sterk driedimensionaal karakter. Hierbij werd gedacht aan een analyse van de geometriefactor  $\alpha$  bij het onderzoek M1385 (zie verslag WL8-44, ontgrondingen bij de putten van de pijleroplossing, april 1976).

Deze analyse is in september 1987 uitgevoerd door J. Driegen, die tevens deze notitie heeft samengesteld.

## 2. Onderzoek M1385

Het onderzoek M1385 betrof de ontgroning bij de putten van een indertijd vigerende pijleroplossing (zie voorbeeld foto 1 en figuur 1). Omdat er rondom de put geen bodemverdediging was aangebracht, was en sprake van een situatie met doorgaand materiaaltransport. Daar bovendien het onderzoek in het bijzonder was gericht op het bereiken van de evenwichtsdiepte, werd een ontgrondingsproef redelijk lang na het bereiken van  $t_1$  (waarbij  $h_{\max} = h_o$ ) doorgevoerd (zie het gemeten tijd-ontgrondingsverloop in figuur 2).

Om een vergelijking te kunnen maken met ontgrondingsonderzoeken zonder bovenaanvoer van zand werd uit de tijd-ontgrondingslijn  $h_{\max}(t)$  voor de situatie met bovenaanvoer een tijd-ontgrondingslijn  $h_{\max}(t)$  ongereduceerd bepaald voor de situatie zonder bovenaanvoer (zie ook figuur 2).

Volgens het systematische ontgrondingsonderzoek M648/M863 kan voor  $t_1$  worden geschreven:

$$t_1 = k \cdot \Delta^{1,7} (\bar{\alpha} u_{kr})^{-4,3} \cdot h_o^2 \quad \text{met } k = 250 \quad (1)$$

waarin:

$h_{\max}(t)$	= maximale ontgrondingsdiepte op het tijdstip $t$	[m]
$h_o$	= oorspronkelijke waterdiepte	[m]
$t$	= tijd	[uren]
$t_1$	= tijd waarin $h_{\max} = h_o$ wordt	[uren]
$\Delta$	= relatieve dichtheid bodemmateriaal onder water	[-]
$\alpha$	= dimensioze faktor afhankelijk van de geometrie bovenstrooms van de ontgrondingskuil	[-]
$\bar{u}$	= gemiddelde stroomsnelheid ( $= \frac{Q}{A}$ )	[m/s]
$Q$	= debiet door de gehele waterloop	[m <sup>3</sup> /s]
$A$	= doorstroomoppervlak ter plaatse van de rand van de bodemverdediging	[m <sup>2</sup> ]
$u_{kr}$	= stroomsnelheid waarbij het bodemmateriaal juist in beweging komt (bij waterdiepte $h_o$ )	[m/s]

en aangetoond werd dat deze relatie ook voor de onderhavige geometrie geldt (met en zonder bovenaanvoer).

Gebaseerd op relatie (1) en met behulp van de resultaten volgens figuur 2 werd de geometriefaktor  $\alpha$  in het licht van Q496 geanalyseerd. Voor de waarden van  $t_1$  en  $\bar{u}$  werden de gegevens van M1385 proef T2 gebruikt.

### 3. Analyse geometriefaktor $\alpha$

#### 3.1 Waarde van $\alpha$

Ten behoeve van de berekening van  $\alpha$  is, naast de uit het model bekende groot-heden, een invulling voor de k-waarde nodig. Uit het systematische ontgron-dingsonderzoek bleek een optimaal geldende k-waarde van 250. Zoals al bij het onderzoek M1385 werd gesteld wijkt de onderhavige geometrie nogal af van de geometrieën in het systematische onderzoek. Bij variatie van k van 100 tot 500 blijkt  $\alpha$  te variëren van 5,2 tot 7,3 (met bovenaanvoer) en van 5,5 tot 7,8 (zonder bovenaanvoer). Deze variatie in  $\alpha$  had weinig invloed op het eindresul-taat.

Bij de analyse is gerekend met een k-waarde van 330 zoals die volgde uit een latere optimalisatie bij een aantal geselecteerde proeven uit het systemati-sche onderzoek (naar aanleiding van de automatisering van de gegevensverwer-king in het kader van het projekt M1001). Met

$$t_1 = 330 \cdot \Delta^{1,7} \cdot (\alpha \bar{u} - u_{kr}) \cdot h_0^2 \quad (2)$$

volgde een  $\alpha$  van 6,76 (met bovenaanvoer) en een  $\alpha$  van 7,14 (zonder bovenaan-voer).

Hierbij moet worden gezegd dat ondanks de twijfel omtrent de juiste waarde van k voor deze exclusieve geometrie een grote waarde van  $\alpha$  zeker tot de mogelijk-heden behoort.

Ten eerste is de hier berekende  $\alpha$  gerelateerd aan  $\bar{u} = \frac{Q}{A}$  m/s in de ongestoorde stroom. Indien  $\alpha$  berekend wordt met de netto doorstroomopening volgens de ge-bruikelijke afspraken, dan wordt een  $\alpha$  van bijvoorbeeld 7,14 gereduceerd tot 6,28. Ten tweede kan de nog resterende hoge waarde van  $\alpha$  worden benaderd met de afsplitsing van de ontgrondingsparameter  $\alpha \bar{u}$  in de lokale waarden voor  $\alpha$  en u volgens het onderzoek R2041 (zie notitie berekening ontgroningen door middel van schatten van  $\alpha$  met behulp van stroomsnelheidsverdeling, juni 1984). In het voorbeeld is  $\alpha \bar{u} = 7,14 \times 0,70 = 5,00$  m/s en, indien wordt gesteld  $\alpha \bar{u} = \alpha_\ell u_\ell$ , is dus ook  $\alpha_\ell u_\ell = 5,00$  m/s. Nu kan over de turbulentiegrond rondom de onder-havige konstruktie, en daardoor grotendeels ook over  $\alpha_\ell$ , niet veel gezegd worden. Betreffende de stroomsnelheid ter plaatse van de grootste ontgron-



dingen naast de put lopen de meningen uiteen van  $1 \text{ à } 2 \times \bar{u}$  ( $\bar{u}$  = oorspronkelijke aanstroomsnelheid) voor de vertikaal gemiddelde stroomsnelheid tot  $2 \times \bar{u}$  voor de stroomsnelheid langs de bodem.

Indien  $u_\ell = 2 \times 0,7 = 1,4 \text{ m/s}$  dan zou  $\alpha_\ell = 3,57$  zijn, hetgeen redelijk goed aansluit bij de maximaal gevonden  $\alpha_\ell \approx 4$  bij het ontgrondingsonderzoek voor de Stormvloedkering Oosterschelde met op de rand van de lange bodemverdediging een naar verwachting vrij normale opbouw van de stroomsnelheidsvertikaal.

Ervan uitgaande dat in het onderhavige geval langs de bodem een stroomsnelheid van  $2 \times \bar{u}$  gehaald kan worden, dan kan  $\alpha_\ell = 3,57$  gezien worden als een  $\alpha'_\ell$  waar uitsluitend de turbulentie-intensiteit en de stroomsnelheid aan de bodem is inbegrepen en niet meer de vorm van de stroomsnelheidsvertikaal.

Indien  $u_\ell = 1 \times 0,7 \text{ m/s}$  dan zou  $\alpha_\ell = 7,14$  zijn, hetgeen in dit geval ook mogelijk is onder de veronderstelling dat de maximale  $\alpha_\ell$  zal optreden bij ontgroningen rond de onderhavige konstruktie (volledige afsluiting met sterke 3 D-effecten, geen bodemverdediging).

Nader onderzoek met stroomsnelheids- en turbulentiemetingen zal kunnen uitwijzen welke zienswijze de juiste is.

### 3.2 Verloop van $\alpha$

In het onderzoek Q 496 werd gevonden dat onder bepaalde omstandigheden de geometriefaktor  $\alpha$  tijdens het ontgrondingsverloop konstant blijft, indien het verloop van de k-waarde

$$k_x = 330 \left( \frac{h_{\max}}{h_o} \right)^{2,53} \quad (3)$$

in de algemene tijd-ontgrondingsrelatie

$$t_x = \frac{k_x \cdot \Delta^{1,7} \cdot h_o^2}{(\alpha \bar{u} - u_{kr})^{4,3}} \quad (4)$$

wordt geschreven als

$$k_x = 330 \left( \frac{h_{\max}}{h_o} \right)^{\frac{1}{\gamma_x} - p} \quad (5)$$

waarin:

$\gamma_x$  = helling tijd-ontgrondingslijn op het tijdstip  $t_x$  [-]

p = verloop  $\gamma_x$  [-]

Door dit resultaat heeft  $\alpha$  een meer fysische betekenis, omdat  $\alpha$  dan kan worden beschouwd als een faktor die afhankelijk is van de ook onveranderende geometrie bovenstrooms van de rand van de bodemverdediging. Bovendien werd hiermee bereikt dat relatie (4) in combinatie met (5) niet uitsluitend behoeft te worden gebruikt bij berekening van  $\alpha$  in een bepaalde ontwikkelingsfase  $h_{\max}/h_o$ , maar ook direkt het tijd-ontgrondingsverloop eenduidig beschrijft. In de volgende toets van relatie (5) is gebruik gemaakt van het berekende tijd-ontgrondingsverloop zonder bovenaanvoer (zie figuur 2), omdat relatie (4) in feite is ontwikkeld bij stromingsomstandigheden zonder bovenaanvoer.

Berekening  $\alpha$  met de M648/M863/M1001 - versie van de tijd-ontgrondingsrelatie vóór Q496:

Met behulp van de relaties (3) en (4) volgt voor

$t_1$  een  $\alpha = 7,14$  en voor

$t_{1/2}$  een  $\alpha = 6,72$ , dus een verlopende  $\alpha$ .

Berekening  $\alpha$  met de verbeterde versie van de tijd-ontgrondingsrelatie na Q496:

Bij diverse waarden voor  $h_{\max}/h_o$  is in figuur 2 de bijbehorende helling  $\gamma$  van het tijd-ontgrondingsverloop opgemeten.

Dit resulteerde in figuur 3, waaruit vervolgens voor het rechtlijnig verloop tussen  $t_{1/2}$  en  $t_1$  de waarde van  $p$  werd bepaald met

$$p = 2 \log (\gamma_1/\gamma_2) \quad (6)$$

$$= 2 \log (0,38/0,56) = - 0,3368$$

Met behulp van de relaties (4) en (5) volgt nu voor

$t_1$  een  $\alpha = 7,14$  en voor

$t_{1/2}$  een  $\alpha = 7,15$ , dus inderdaad sprake van een vaste waarde voor  $\alpha$ .

Hiermee is aangetoond dat ook voor de onderhavige bijzondere geometrie met sterke 3D-effecten de theorie van Q496 geldig is, dat wil zeggen met de ook indertijd genoemde beperking dat  $p$  konstant moet zijn. Dit gaat ook op voor het tijd-ontgrondingsverloop met bovenaanvoer (met  $\alpha = 6,76$ ).

In figuur 3 is te zien dan voor  $t_1 > 1$  het verloop van  $\gamma$ , dus de koëfficiënt  $p$ , niet meer konstant is (voor het onderhavige geval). Indien met de relaties

(4) en (5) en  $p = -0,3368$  een  $\alpha$  wordt berekend voor  $t_2$ , dus voor  $2h_{\max} = h_0$ , dan volgt  $\alpha = 8,22 \neq 7,14$ , zodat ook hier is aangetoond dat de veronderstelde beperking (van  $p$  konstant) juist is.

Zouden we nu bijvoorbeeld tussen  $t_1$  en  $t_2$  een nieuwe  $p$  en opnieuw  $\alpha$  uitrekenen dan volgt

$$p = \log (\gamma_2 / \gamma_1) \quad (7)$$

$$= \log (0,266 / 0,38) = - 0,1549$$

en met de relaties (4) en (5) een  $\alpha = 7,99 \neq 7,14$ . Dit wil zeggen dat op deze manier het geldigheidsgebied van relatie (5) niet is uit te breiden.

#### 4. Opmerkingen

Het berekenen van de ongereduceerde tijd-ontgrondingslijn, zoals dit bij het onderzoek M1385 plaats vond, dient met enige reserve te worden beschouwd (in hoeverre zijn de toegepaste relaties voor het reduceren vanwege bovenaanvoer en voor het berekenen van bovenstrooms transport voor het onderhavige geval geldig?).

Met het oog op deze vraag is in figuur 2 ook de ongereduceerde tijd-ontgrondingslijn getrokken die zou horen bij het verloop van  $\gamma$  uit figuur 3 met een blijvend konstante waarde voor  $p$  van  $-0,3368$ .

Uit figuur 3 is hierbij af te leiden dat de evenwichtsdiepte in dit geval globaal  $2,5 h_0 \hat{=} 5 h_0$  bedraagt bij een aanname voor het bereiken van het evenwicht bij  $\gamma = 0,1 \hat{=} 0,01$ .

Opmerkelijk is dat tot een evenwichtsdiepte van  $4 h_0$  wordt gekomen, indien voor de berekening van het evenwicht wordt aangehouden:

$$\frac{h_{\max}}{h_{\text{ev}}} = \tanh t \quad (8)$$

dus met gebruikmaking van de functie tangens hyperbolicus, welke voor grote waarden van  $t$  naar de asymptoot  $h_{\max}/h_{\text{ev}} = 1$  loopt.

Afgeleid uit relatie (8) volgt dan voor de evenwichtsdiepte:

$$h_{\text{ev}} = h_0 \coth t_1 \quad (9)$$

Nader onderzoek is wenselijk in hoeverre deze hyperbolische functies op deze wijze bruikbaar zijn voor berekening van de evenwichtsdiepte.



## 5. Konklusies

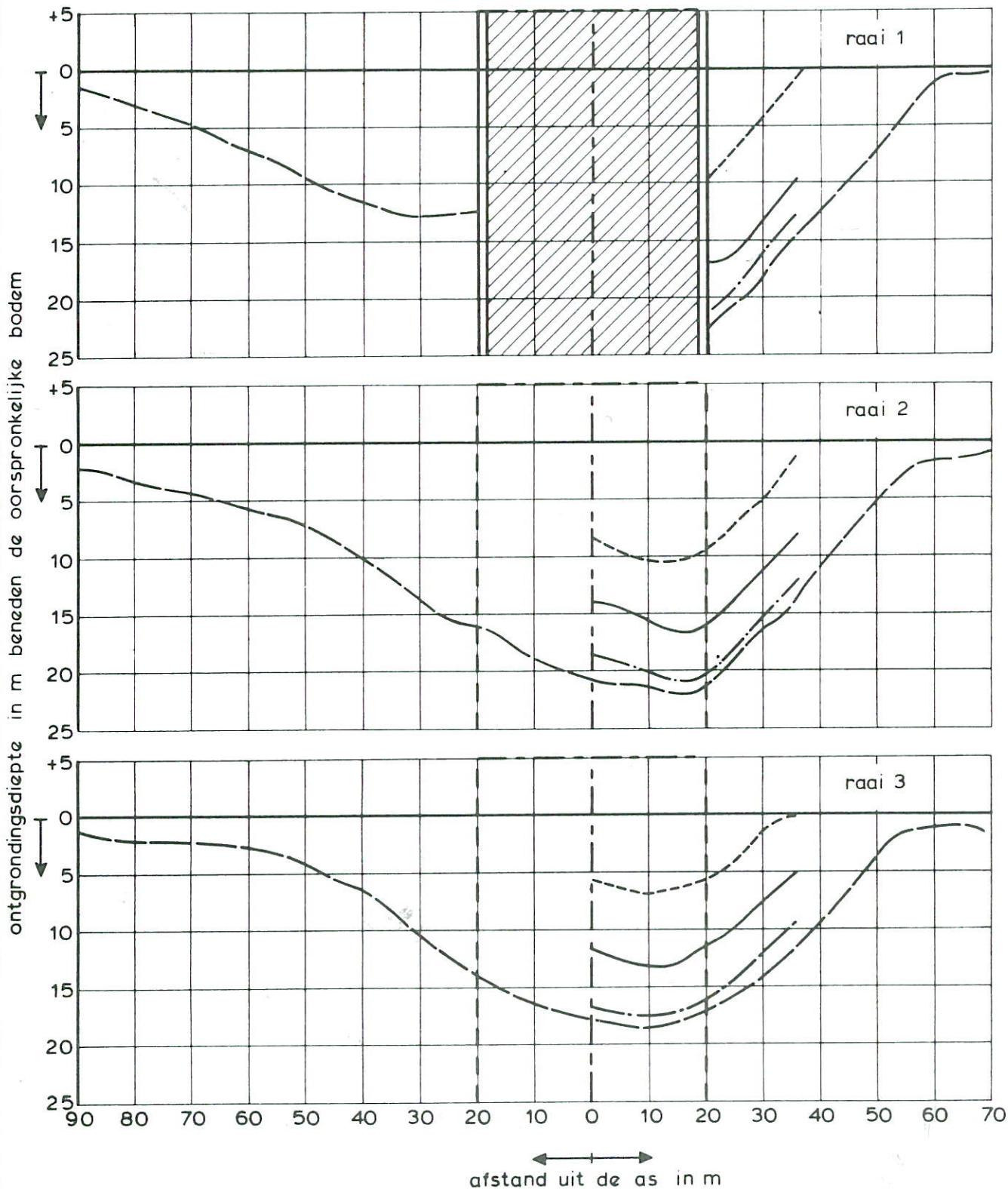
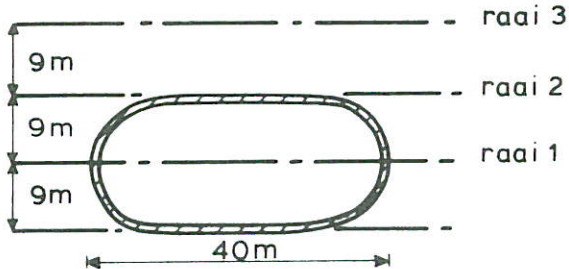
Voor ontgroningen bij een sterk 3-dimensionaal stroombeeld, als bij de onderhavige situatie met putten, volgt een grote waarde voor de geometriefaktor  $\alpha$ . Ondanks twijfel omtrent de juiste invulling voor de k-waarde bij berekening van  $\alpha$ , is een grote waarde voor  $\alpha$  zeer wel mogelijk. Nader onderzoek zou kunnen uitwijzen voor welk deel dit voor rekening komt van de grote turbulentie-intensiteit en voor welk deel van de grote lokale stroomsnelheid ter plaatse van de grootste ontgroningen langs de put.

De in het onderzoek Q496 gevonden relatie om  $\alpha$  konstant te houden, te weten

$$t_x = \frac{330 \left(\frac{h_{\max}}{h_o}\right) \frac{1}{\gamma_x}^{-p} \cdot \Delta^{1,7} \cdot h_o^2}{(\alpha \bar{u} - u_{kr})^{4,3}} \quad (10)$$

voldoet ook in het onderhavige extreme geval. Tevens geldt ook hier als geldigheidsgebied van relatie (10) dat de koëfficiënt  $p$  konstant moet zijn.

- na 10 min
- na 30 min
- .- na 1,5 uur
- na 3 uur



LANGSPROFIELEN OP VERSCHILLENDE TIJDSTIPPEN

T2 M1385

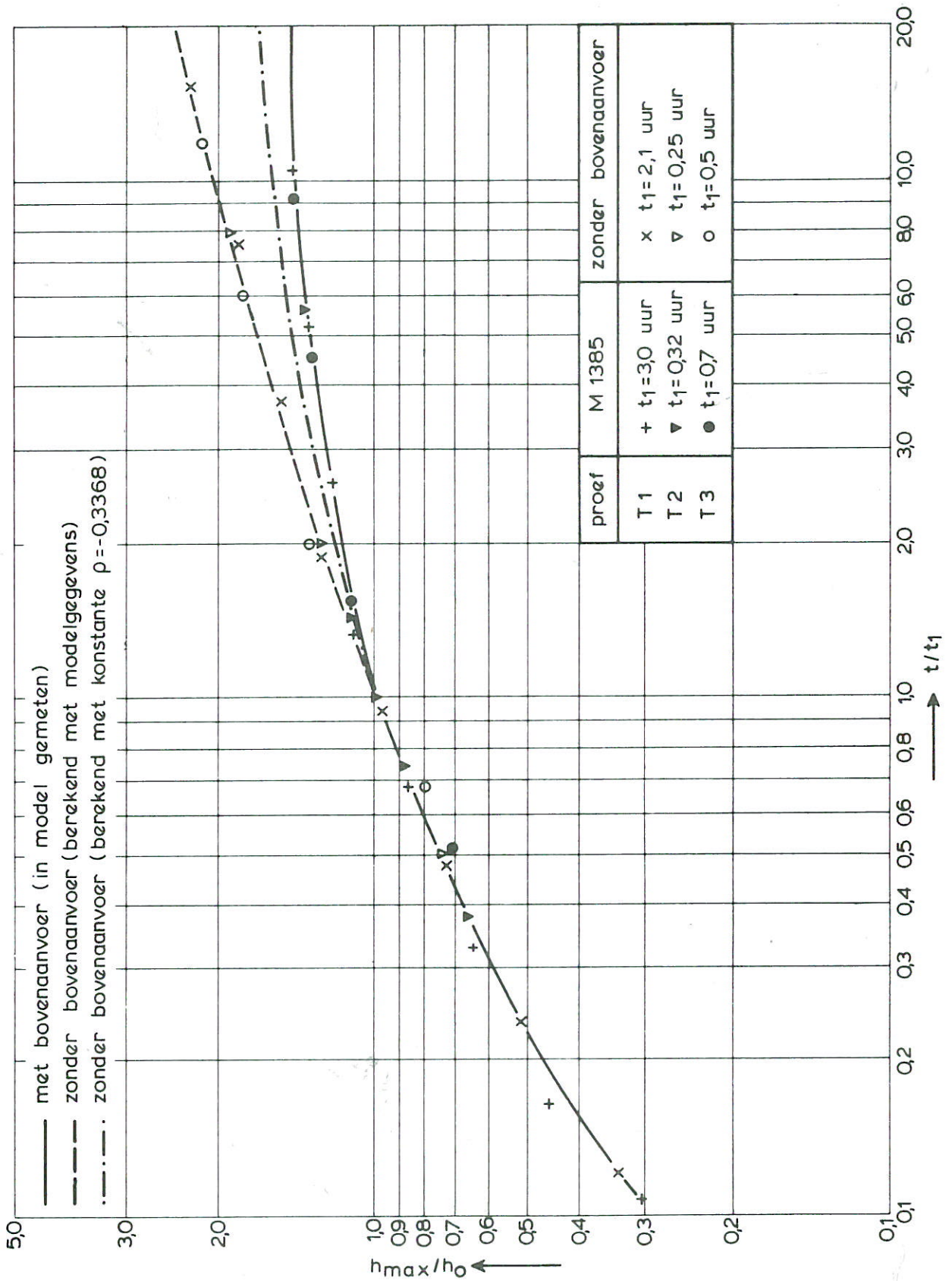
$\bar{U}$  model = 0,7 m/s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

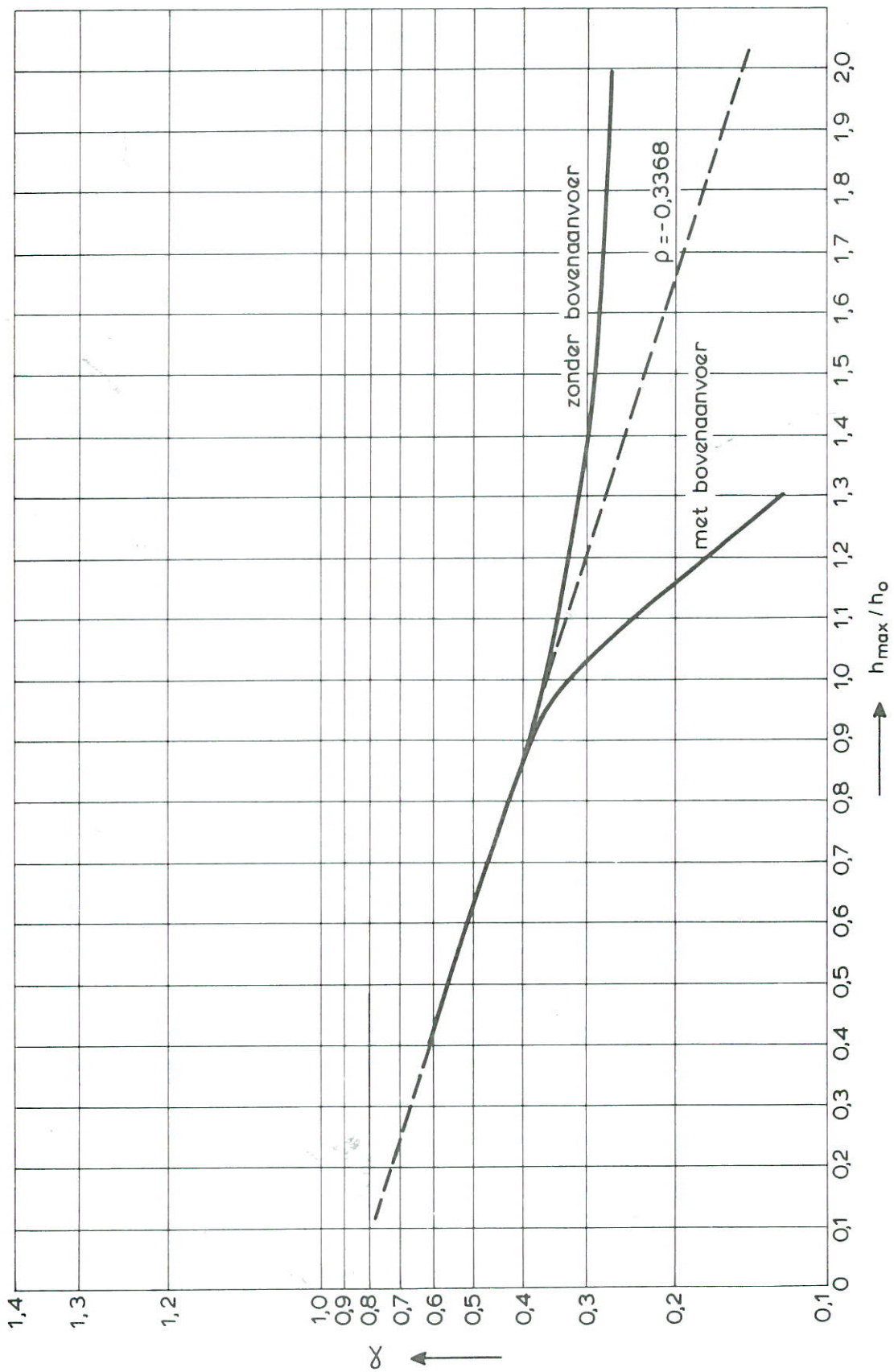
Q 647

FIG. 1





T'JD - ONTGRONDINGSRELATIE VOOR RAAI 2  
 INVLOED VAN BOVENAANVOER ZAND



$\chi$  ALS FUNKTIE VAN  $h_{\max}/h_0$





T1  $\bar{u}_{\text{model}} = 0,45 \text{ m/s}$

$h_0$  (prototype) = 15 m

Foto 1 Ontgrondingskuil in evenwichtssituatie tengevolge van éénzijdige aanstroming



p.o. box 177

2600 mh delft

the netherlands