

waterloopkundig laboratorium

stroomsluis Noordland
in de Oosterschelde dam

selectief afzuigen
twee - dimensionaal onderzoek

verslag modelonderzoek

M 1204

juli 1973

Bijvoegsel bij rapport: Stroomsluis Noordland in de Oosterschelde - dam
Selectief afzuigen.
Twee-dimensionaal onderzoek
WL- M 1204.

rijkswaterstaat
dienst getijdewateren
bibliotheek
granadiersweg 31 -
4338 PG middelburg

Indien het oorspronkelijk deltaplan uitgevoerd zou worden, dan zouden er drie zoete meren ontstaan t.w. het Zeeuwse Meer, het Grevelingenmeer en het Veerse Meer. Voor de waterhuishouding van deze meren zijn in de dammen sluizen gepland. De sluisvoeren liggen hoger dan de afgesloten geulen, die door de eb- en vloedbeweging gevormd zijn. Aangezien de menging op grote diepte gering zal zijn, wordt voor de ontzilting gedacht aan het plaatsen van een zgn. "dichtheidsscherm", waarbij aan de bodem een opening wordt aangebracht. Op deze wijze kan men ook het zoute water in de diepe geulen afvoeren. Om een dergelijk scherm te optimaliseren zal men inzicht moeten hebben in het gedrag van de selectieve afvoer van zout water. Een vooronderzoek hiernaar is vastgelegd in nota W-72-133 van de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst. In deze nota komen twee theoretische benaderingen naar voren die, getoetst aan uit de literatuur bekende summere proefgegevens, dit gedrag het beste weergeven. De ene is een benadering van D. Harleman, die ook de grondslag vormt voor dit modelverslag. De tweede benadering is een verdere uitwerking van een beschouwing die prof.dr.ir. J. Schönfeld gegeven heeft, waarbij de spleethoogte onder het scherm niet verwaarloosd wordt. De resultaten van deze benadering, geschreven in de notaties van het onderhavige modelverslag luiden:

Voor $h_r - D \geq \frac{D}{\pi}$ geldt: $q_c = \pi \sqrt{2\epsilon \cdot g} \left\{ \frac{1}{3}(h_r - D) + \frac{2}{3} \frac{D}{\pi} \right\}^{2/3}$

en voor $0 < h_r - D \leq \frac{D}{\pi}$ geldt: $q_c = D \sqrt{2\epsilon g} \sqrt{h_r - D}$

Naar het zich laat aanzien zal de tweede benadering beter voldoen indien $\frac{h_r}{D}$ groot is.

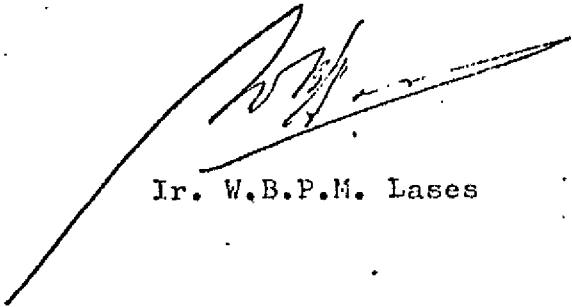
Voor beide theoretische benaderingen is een correctiefactor nodig. Om deze factor goed te bepalen was model onderzoek noodzakelijk. In het modelverslag zijn, voortbouwend op de theoretische benadering van Harleman, tevens formules afgeleid, die beschrijven onder welke omstandigheden een bepaald percentage zoet water door het zoute water

wordt meegevoerd.

Ook de bodemwrijving en de vormgeving van het scherm kunnen van invloed zijn op het maximaal selectief af te voeren debiet en wordt in de correctiefactor tot uitdrukking gebracht. Uit het verslag blijkt dat bij een lange toeleidingsgeul de wrijving wel degelijk invloed heeft op de correctiefactor. Een afronding van de onderkant van het scherm blijkt geen effect te hebben op de correctiefactor. Pijlers (tot 20% van de breedte), als draagconstructie voor het scherm, beperken het maximaal selectief af te voeren debiet niet, hetgeen van belang kan zijn voor de keuze van het constructietype.

De resultaten en conclusies van het verslag geven geen aanleiding tot opmerkingen.

's-Gravenhage 21-2-1975



Ir. W.B.P.M. Lases

stroomsluis Noordland
in de Oosterschelde dam

selectief afzuigen
twee - dimensionaal onderzoek

verslag modelonderzoek

M 1204

juli 1973

INHOUD

blz.

NOTATIES

LIJST VAN FIGUREN

LIJST VAN TABELLEN

1. Inleiding	1
2. Probleemstelling	2
3. Theoretische beschouwingen (twee-dimensionaal)	3
4. Modelopstelling en meetmethode	17
5. Gekozen schalen	20
6. Programma van onderzoek	21
7. Resultaten	24
8. Samenvatting	34
Appendix I : Bepaling interne schuifspanningscoëfficiënt λ_1	37
Appendix II : Dimensionering zoutscherm bij in rekening brengen van wrijvingsverliezen in toestromingskanaal	41
Appendix III : Afschatting invloed wrijving in het prototype	46
REFERENTIES	48
TABELLEN	49
FIGUREN	
FOTO'S	

NOTATIES

- B : breedte van goot, toestromingskanaal en zoutscherm
- C : coëfficiënt van Chézy
- C_1, C_2 : integratie constanten
- C_{11}, C_{22} : integratie constanten
- C_1^*, C_2^* : evenredigheidsconstanten
- D : spleethoogte onder zoutscherm
- Fi : intern Froude-getal betrokken op de spleethoogte bij maximaal selectief afzuigen: $Fi = (q_c/D) / \sqrt{\epsilon g D}$, resp. bij het mee-zuigen van zoetwater: $Fi = (Q_{\text{totaal}}/DB) / \sqrt{\epsilon g D}$.
- Fri : intern Froude-getal betrokken op de dikte van de onderlaag:
 $Fri = (Q/B a_2) / \sqrt{\epsilon g a_2}$
- I : verhang van het grensvlak
- I' : drukgradiënt (appendix I)
- L : lengte toestromingskanaal
- Q, Q_{totaal} : afzuigdebiet bij het zoutscherm
- Q_{zoet} : het ingebrachte zoetwaterdebiet in de oppervlaktelaag van het verkleinde reservoir (Fig. 2)
- Q_c : kritiek afzuigdebiet, waarbij nog net selectief onttrekken mogelijk is ($Q_c = q_c B$)
- R : hydraulische straal
- R_e : getal van Reynolds
-
- a_1, a_2 : laagdikten boven- resp. onderlaag
- a : $a = a_1 + a_2$, totale waterdiepte in toestromingskanaal
- $a_{2,s}$: grootte van a_2 bij of onder het zoutscherm
- $a_{1,s}$: grootte zoetwaterlaag onder het zoutscherm
- a_m : gemeten laagdikte onderlaag in mond goot (Fig. 4)
- a_s : gemeten laagdikte onderlaag nabij zoutscherm bij proeven met toestromingskanaal (Fig. 4)
- g : zwaartekrachtsversnelling
- h : totale waterdiepte in reservoir t.o.v. gootbodem (Fig. 4)
- h_s : laagdikte onderlaag bij zoutscherm (appendix II)
- h_r : laagdikte onderlaag in reservoir, c.q. op grote afstand van het zoutscherm waar de snelheid ≈ 0 (Fig. 4)
- h_m : dikte zoute onderlaag t.p.v. de overgang van reservoir naar toestromingskanaal, waar $u_2 \neq 0$ (appendix II)
- k : k-waarde beschouwd wandmateriaal (appendix I)
- k_i : $k_i = 1/8 \lambda_i$ (interne wrijvingscoëfficiënt)

NOTATIES (vervolg)

n	: percentage meegezogen hoeveelheid zoetwater betrokken op het totale afzuigdebiet (Q_{totaal})
q	: debiet per m' breedte
q_c	: maximale waarde van het selectief af te zuigen debiet per m' breedte
q_1, q_2	: debiet per m' breedte voor boven- resp. onderlaag
q_{max}	: maximale waarde van het zoutwaterdebiet per m' breedte, dat via het toestromingskanaal naar het zoutscherf kan toestromen
q'_{max}	: maximaal af te zuigen debiet per m' breedte behorende bij een gegeven percentage meegezogen zoetwater n
t	: tijd
u_1, u_2	: horizontale snelheid bovenlaag, resp. onderlaag
$u_{2,s}$: horizontale snelheid onderlaag bij het zoutscherf
v_B	: snelheid bij het zoutscherf in geval van radiale toestroming (par. 3.2.)
x	: horizontale coördinaat
Δa_m	: dikte menglaag, behorende bij de meting van a_m (Fig. 4)
Δh_r	: dikte menglaag, behorende bij de meting van h_r (Fig. 4)
Δh	: verval van het grensvlak over de lengte van het toestromingskanaal als gevolg van wrijvingsverliezen (appendix II)
α	: correctiefactor voor het niet-uniform zijn van de snelheidsverdeling, gedefinieerd door $\overline{u_2^2} = \alpha \bar{u}_2^2$. De overstreping betekent gemiddeld over de onderlaag met dikte a_2 .
β	: $\beta = \sqrt{\alpha}$
γ	: correctiefactor
δ	: dikte laminaire sublaag
ϵ	: $\epsilon = \frac{\Delta \rho}{\rho_2}$
λ_b	: bodem schuifspanningscoëfficiënt
λ_w	: wand schuifspanningscoëfficiënt
λ_i	: interne wrijvingscoëfficiënt, schuifspanningscoëfficiënt van het grensvlak
λ_{tot}	: $\lambda_{\text{tot}} = \lambda_i + \lambda_b$ (appendix II)
ν	: kinematische viscositeit
τ_b	: bodem schuifspanning
τ_w	: wand schuifspanning
τ_i	: grensvlakschuifspanning

NOTATIES (vervolg)

ρ_1, ρ_2 : dichtheid boven- resp. onderlaag

$\Delta\rho$: dichtheidsverschil tussen boven- en onderlaag : $\Delta\rho = \rho_2 - \rho_1$

LIJST VAN FIGUREN

1. Schets proefopstelling bij aanbrengen zoetwaterlaag
2. Schets proefopstelling bij de uitvoering van de proeven
3. Details proefopstelling
4. Definitieschetsen
5. Verloop h_r tijdens de proeven, waarbij meerdere situaties achtereenvolgens worden ingesteld
6. Vergelijking meetresultaten selectief afzuigen (referentieproeven) en theoretische benaderingen (par. 3)
7. Vergelijking meetresultaten met theoretische benadering bij inachtnaam van een niet-uniforme snelheidsverdeling
8. Literatuuronderzoek [1], [2]
9. Resultaten proeven met toestromingskanaal
10. Verificatie invloed afzuigconstructie
11. Resultaten proeven met grindbed (bodemruwheid)
12. Resultaten proeven met afgeronde onderkant van het zoutscherm
13. Resultaten proeven met pijlers
14. Resultaten proeven met meezuigen van zoetwater uit de bovenlaag (referentieproeven)
15. Resultaten proeven met meezuigen van zoetwater uit de bovenlaag (met toestromingskanaal $L = 11,35$ m)
16. Resultaten proeven met meezuigen van zoetwater uit de bovenlaag (grindbed en afgeronde onderkant zoutscherm)
17. Resultaten proeven met meezuigen van zoetwater uit de bovenlaag (pijlers)
18. Vergelijking theoretische benadering en proefresultaten bij meezuigen zoetwater
19. Vergelijking theoretische benadering en proefresultaten bij meezuigen zoetwater met $\alpha = 1,25$ (vanwege niet-uniforme snelheidsverdeling)
20. Resultaten proeven met toestromingskanaal in vergelijking met resultaten proeven zonder toestromingskanaal
21. Invloed totale waterdiepte op proefresultaten bij selectief afzuigen
22. Meetgegevens van de duurproeven als functie van de tijd (h_r en a_m)
23. Meetgegevens van de duurproeven als functie van de tijd (dikte menglaag, zoutconc. afzuigdebiet)
24. Zoutvertikalen duurproeven
25. Resultaten duurproeven in vergelijking met de referentieproeven
26. Resultaten λ_1 als functie van Reynolds in vergelijking met literatuurgegevens

LIJST VAN FIGUREN (vervolg)

27. Weerstandscoefficiënt voor stroming door buizen (Nikuradse, 1933)
in vergelijking met proefresultaten λ_b als functie van $Re.$ voor
selectief afzuigen

LIJST VAN TABELLEN

- I Proefoverzicht
- II Meetresultaten
- III Resultaten proeven selectief afzuigen uit: Harleman et.al., "Submerged sluice control of stratified flows", April 1958 [1]
- IV Resultaten proeven selectief afzuigen uit: Harleman et.al., "Withdrawal from two-layer stratified flows", July 1965 [2]
- V Resultaten λ_1 -bepaling

SELECTIEF AFZUIGEN - TWEE-DIMENSIONAAL ONDERZOEK

1 Inleiding

In het kader van de ontziltling van het Zeeuwse Meer nà afsluiting van de Oosterschelde heeft de Deltadienst van de Rijkswaterstaat het Waterloopkundig Laboratorium opdracht gegeven tot het uitvoeren van onderzoek inzake een zoutscherm bij de stroomsluis Noordland in de Oosterscheldedam. Onder een zoutscherm wordt verstaan een verticale wand met aan de bodem een spleetvormige opening, waardoor selectief onttrekken van een zwaardere vloeistof mogelijk is zonder de zich boven de zwaardere vloeistof bevindende lichtere vloeistof mee te zuigen (zie par. 2).

De problemen, die bij dit onderzoek aan de orde zijn gesteld, betreffen o.a. de vormgeving en de dimensionering van het zoutscherm en van een toestromingskanaal, tussen een voor de kust van Noord-Beveland gelegen diepe geul en het zoutscherm.

Dit kanaal moet het mogelijk maken om tot op grote diepte het zoute water tijdens de ontziltingsperiode selectief te kunnen onttrekken.

Het onderzoek is onderverdeeld in een tweetal deelonderzoeken: een tweedimensionaal onderzoek, dat in de eerste plaats bedoeld is als verificatie van de uit de literatuur bekende theoretische beschouwingen en gepubliceerde proefresultaten in verband met de dimensionering van het zoutscherm, en een drie-dimensionaal onderzoek, waarbij de vormgeving van het zoutscherm en het toestromingskanaal wordt onderzocht.

In het onderhavige rapport wordt het twee-dimensionale onderzoek beschreven, waarvoor telefonisch opdracht werd gegeven door de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst, R.W.S., op 13 september 1972 in antwoord op het door het Waterloopkundig Laboratorium gedane voorstel tot onderzoek. (Brief nr. 6555/M 1204 d.d. 8 september 1972.)

Het onderzoek is uitgevoerd in de periode van oktober 1972 tot begin februari 1973 door de heer Wenneker onder leiding van ir. A. van Mazijk, die tevens dit verslag samenstelde.

Voor de samenvatting wordt verwezen naar par. 8.

2 Probleemstelling

Het is denkbaar, dat in de Oosterschelde na afsluiting gelaagde condities kunnen ontstaan, waarbij aan de volgende systemen kan worden gedacht:

- a. zout-zoetgelaagheid gedurende de periode van ontzilting
- b. thermische gelaagdheid als gevolg van zonnestraling.

Daar er bij de genoemde systemen sprake is van een verschil in dichtheid tussen onder- en bovenlaag, is het mogelijk om onder bepaalde condities de verschillende vloeistoffen van elkaar te scheiden met behulp van een schermconstructie, bestaande uit een verticale vlakke wand met aan de bodem een spleetvormige opening. Bij een dergelijke constructie kan de zwaardere onderlaag afgezogen worden, terwijl de lichtere bovenlaag achterblijft. (Dit is selectief onttrekken.) In het vervolg wordt de bovenomschreven schermconstructie een "zoutscherm" genoemd.

Voor een snelle ontzilting van het Zeeuwse Meer na afsluiting wordt de bouw van een zoutscherm aansluitend op de stroomsluis Noordland in de Oosterscheldedam overwogen. Een te baggeren geul vanaf de diepe geul voor de kust van Noord-Beveland naar het zoutscherm moet het daarbij mogelijk maken om tot op grote diepte het zoute water selectief te kunnen onttrekken.

Bij de dimensionering van een zoutscherm doen zich de volgende vragen voor:

- Hoe groot is de maximaal selectief af te zuigen hoeveelheid zwaardere vloeistof, zonder dat tevens de lichtere vloeistof wordt meegezogen?
- Welk verband bestaat er tussen de maximale hoeveelheid selectief af te zuigen vloeistof en de factoren, waarvan deze hoeveelheid afhankelijk is?

Met behulp van de in dit verslag beschreven twee-dimensionale proeven (geen variatie in de breedterichting), zal op deze vragen nader worden ingegaan, waarbij een verificatie van de in de literatuur gegeven theoretische beschouwingen [1] , [2] ¹⁾ (zie ook par. 3) en gepubliceerde proefresultaten op de voorgrond staat. In aansluiting hierop zijn systematisch enkele aspecten van de vormgeving van het zoutscherm onderzocht ter ondersteuning van het drie-dimensionaal onderzoek, alsmede situaties met en zonder toestromingskanaal. Tevens zijn situaties onderzocht, waarbij lichter water (zoet- of warmwater) wordt meegezogen.

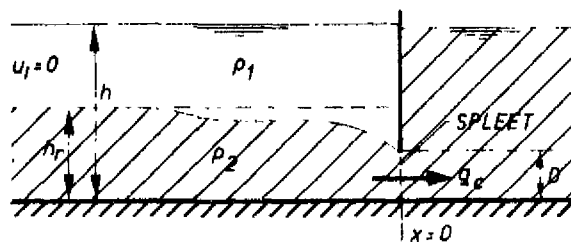
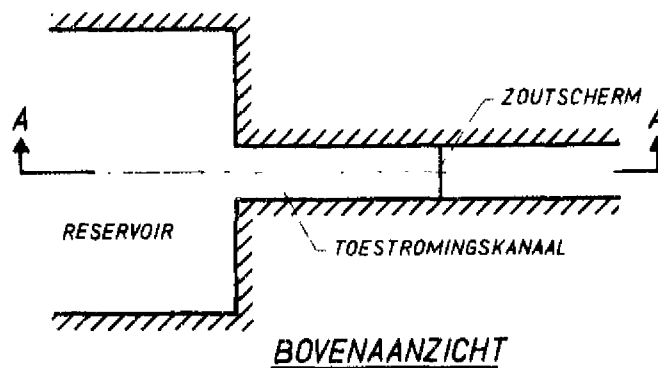
1) Verwijzing naar referenties wordt in de tekst aangegeven met [] .

3 Theoretische beschouwingen (twee-dimensionaal)

3.1 Selectief afzuigen 1 (D van de orde h_r)

3.1.1 Algemeen

Beschouw een reservoir, waarin een twee-lagensysteem heerst (bijv. zout-zoetgelaagdheid) en waarvan men de onderste laag wil verwijderen door middel van een zoutscherm (selectief afzuigen). (Zie onderstaande schets.)



DOORSNEDE A-A

Vanuit het reservoir met grote breedte loopt een toestromingskanaal naar het zoutscherm met een naar verhouding kleine breedte, gelijk aan de breedte van het zoutscherm (vgl. situatie in Zeeuwse Meer, par. 2). De bodem van het toestromingskanaal is horizontaal. In het reservoir wordt de dikte h_r van de onderlaag constant gehouden. Het probleem is nu het bepalen van de maximale hoeveelheid af te zuigen zwaarder water (zoutwater) uit de onderlaag bij een gegeven spleethoogte D onder het zoutscherm, zonder dat water uit de bovenlaag wordt meegezogen bij een gegeven niveau van het grensvlak tussen de beide lagen in het reservoir.

Voor de oplossing van bovenstaand probleem wordt uitgegaan van de bewegingsvergelijkingen voor een twee-lagensysteem:

Bewegingsvergelijking bovenlaag:

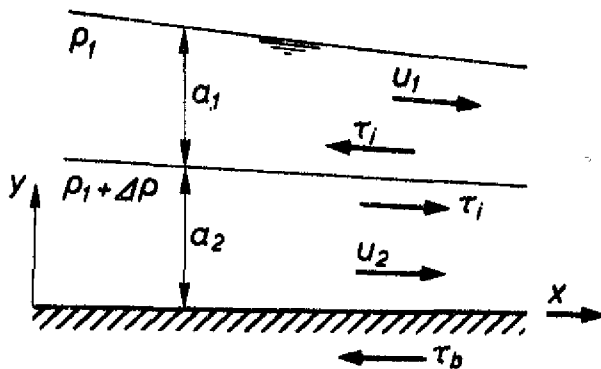
$$\frac{\partial u_1}{\partial t} + u_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} + g \frac{\partial (a_1 + a_2)}{\partial x} = + \frac{\tau_i}{\rho_1 a_1} \quad (1)$$

Bewegingsvergelijking onderlaag:

$$\frac{\partial u_2}{\partial t} + u_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} + g \frac{\partial (a_1 + a_2)}{\partial x} - \frac{\Delta \rho}{\rho_2} g \frac{\partial a_1}{\partial x} = - \frac{(\tau_b + \tau_i)}{\rho_2 a_2} \quad (2)$$

waarin:

- a_1, a_2 : resp. laagdikten van boven- en onderlaag
- u_1, u_2 : resp. horizontale snelheidscomponenten van boven- en onderlaag
- τ_b : bodemschuifspanning
- τ_i : grensvlak schuifspanning
- B : breedte toestromingskanaal, c.q. breedte zoutscherm
- g : zwaartekrachtsversnelling
- ρ_2 : dichtheid onderlaag
- ρ_1 : dichtheid bovenlaag
- $\Delta \rho$: $\Delta \rho = \rho_2 - \rho_1$



$$\rho_1 + \Delta \rho = \rho_2$$

τ_b is positief, wanneer de snelheid u_2 dezelfde richting heeft als de + x-richting

τ_i is positief, wanneer hij u_2 (in positieve x-richting stromend) afremt

DEFINITIESCHETS
(vgl. 1 EN 2)

3.1.2 Beschouwing zonder wrijving

We beschouwen een permanente situatie, terwijl als eerste benadering de grensvlakwrijving (τ_i) tussen de beide lagen, alsmede de bodemwrijving (τ_b) worden verwaarloosd.

Hierdoor kunnen de vergelijkingen (1) en (2) herleid worden tot:

$$u_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} + g \frac{\partial (a_1 + a_2)}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

en

$$u_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} + g \frac{\partial (a_1 + a_2)}{\partial x} - \frac{\Delta \rho}{\rho_2} g \frac{\partial a_1}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

Bij selectief afzuigen geldt $u_1 = 0$ en kan uit (3) en (4) afgeleid worden:

$$\frac{d (a_1 + a_2)}{dx} = 0 \quad (5)$$

en

$$u_2 \frac{du_2}{dx} + \frac{\Delta \rho}{\rho_2} g \frac{da_2}{dx} = 0 \quad (6)$$

Vergelijking (6) geeft na integratie naar x

$$\frac{1}{2} u_2^2 + \frac{\Delta \rho}{\rho_2} g a_2 = C_1 \quad (7)$$

waarin C_1 : integratie constante.

De grote breedte in het reservoir houdt in, dat daar $u_2 = 0$ zodat voor C_1 geschreven mag worden:

$$C_1 = \frac{\Delta \rho}{\rho_2} g h_r \quad (8)$$

waarin h_r : laagdikte van de onderlaag in het reservoir. Deze laagdikte wordt constant gehouden.

Op grond van de continuïteit geldt nabij het zoutscherm:

$$q = a_2 u_2 \quad (9)$$

waarin q : debiet per m breedte in toestromingskanaal.

Vergelijkingen (8) en (9) geven met vergelijking (7)

$$\frac{1}{2} \frac{q^2}{a_2^2} + \frac{\Delta \rho}{\rho_2} g a_2 = \frac{\Delta \rho}{\rho_2} g h_r \quad (10)$$

Definiëren we $a_{2,s}$ als de grootte van a_2 bij het zoutscherm, dan wordt vergelijking (10) aldaar:

$$\frac{1}{2} \frac{q^2}{a_{2,s}^2} + \frac{\Delta\rho}{\rho_2} g a_{2,s} = \frac{\Delta\rho}{\rho_2} g h_r \quad (11)$$

Na herschrijving levert vergelijking (11):

$$q = a_{2,s} \left[2 \frac{\Delta\rho}{\rho_2} g (h_r - a_{2,s}) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

en

$$\frac{dq}{da_{2,s}} = \left(2 \frac{\Delta\rho}{\rho_2} g \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{2} \frac{2h_r - 3a_{2,s}}{(h_r - a_{2,s})^{\frac{3}{2}}} \quad (13)$$

Uit vergelijking (13) volgt dat $\frac{dq}{da_{2,s}} = 0$ voor $a_{2,s} = \frac{2}{3} h_r$

Dienovereenkomstig wordt de maximale waarde voor q gegeven door:

$$q_{\max} = a_{2,s} \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_2} g a_{2,s} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

of wel

$$\frac{u_{2,s}^2}{\frac{\Delta\rho}{\rho_2} g a_{2,s}} = 1 \quad (15)$$

waarin q_{\max} : maximale waarde van q in toestromingskanaal bij $u_1 = 0$
 $u_{2,s}$: $u_{2,s} = q/a_{2,s}$

Volgens vergelijking (15) komt het debiet gegeven door vergelijking (14) overeen met kritische interne stroming aan het eind van het toestromingskanaal (bij het zoutscherm). Dit verklaart, waarom q_{\max} de maximale waarde van het debiet dat door het toestromingskanaal naar het zoutscherm kan stromen, weergeeft.

De hoogte van de spleetopening onder het zoutscherm, wordt aangegeven door D . Er moet nu onderscheid gemaakt worden tussen:

$$D > \frac{2}{3} h_r \quad \text{en} \quad D < \frac{2}{3} h_r.$$

Situatie $D > \frac{2}{3} h_r$

De grootste waarde van q , die kan stromen door het toestromingskanaal wordt

gegeven door vergelijking (14) en houdt verband met de voorwaarde dat $a_{2,s} = \frac{2}{3} h_r$. Bij de afleiding van vergelijking (14) werd bovendien aangenomen dat er selectief afzuigen plaatsvond ($u_1 = 0$).

Echter, teneinde selectief afzuigen te verkrijgen, is het noodzakelijk dat het grensvlak samenvalt met of ligt boven de onderkant van het zoutscherm (= bovenkant spleetopening). Derhalve kan bij $D > \frac{2}{3} h_r$ de maximale waarde van q volgens vergelijking (14) met selectief afzuigen niet verkregen worden. De maximale waarde van q wordt nu bepaald door in vergelijking (10) $a_2 = D$ te stellen:

$$q_c = D \left[2 \frac{\Delta\rho}{\rho_2} g (h_r - D) \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{als } D > \frac{2}{3} h_r \quad (16)$$

waarin q_c : maximale waarde van het selectief af te zuigen debiet q voor de gegeven waarde van D .

Voor de limietgeval dat $D = \frac{2}{3} h_r$ wordt vergelijking (16) gelijk aan vergelijking (14).

$$q_c = q_{\max} \quad \text{voor } D = \frac{2}{3} h_r \quad (17)$$

Situatie $D < \frac{2}{3} h_r$

Onder deze conditie zal zich een waarde van a_2 gelijk aan $\frac{2}{3} h_r$ op korte afstand vóór het zoutscherm instellen. De waarde van q_c komt dan overeen met q_{\max} (vgl. 14) met $a_{2,s} = \frac{2}{3} h_r$, de maximale waarde van q , die door het toestromingskanaal naar het zoutscherm kan toestromen.

In formulevorm:

$$q_c = q_{\max} = \frac{2}{3} h_r \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_2} g \frac{2}{3} h_r \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{voor } D < \frac{2}{3} h_r \quad (18)$$

Vlak vóór het zoutscherm zou nu een overgangsgebied gedefinieerd kunnen worden, waarbij de laagdikte van de onderlaag van een waarde $a_2 = \frac{2}{3} h_r$, optredend op korte afstand vóór het zoutscherm, naar een waarde $a_2 = D$ ter plaatse van de spleetopening onder het scherm. Visueel uitgevoerde waarnemingen van de stromingstoestand ¹⁾ suggereren dat vlak voor het zoutscherm bij selectief afzuigen menging op het grensvlak optreedt. Dit is aannemelijk, vanwege het feit dat de stroming daar ter plaatse superkritisch is:

$u_2^2 / \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_2} g a_2 \right) > 1$. Als gevolg van deze menging vormt zich een menglaagje,

1) Van de verschijnselen bij het zoutscherm bij diverse randcondities zoals bijv. h_r zijn filmopnamen gemaakt.

dat steeds opnieuw al dan niet geheel wordt afgezogen en zich als gevolg van de menging steeds opnieuw vormt. (Foto 4 en 5.) Het steeds weer afzuigen van dit menglaagje zou een gevolg kunnen zijn van het feit dat het dichtheidsverschil mede bepalend is voor het al dan niet meezuigen van de lichtere vloeistof uit de bovenlaag bij gegeven omstandigheden. Zo wordt bij de gegeven condities geen zoetwater meegezogen uit de bovenlaag, maar wel brak water uit de menglaag, daar het dichtheidsverschil tussen de zoute onderlaag en de mengzone kleiner is dan die tussen de zoute onderlaag en de zoete bovenlaag (zie par. 7.2.).

De vergelijkingen (16) en (18) zijn afgeleid onder verwaarlozing van afwijkingen in de hydrostatische drukverdeling, van afwijkingen van een uniforme snelheidsverdeling in de onderlaag en van de wrijving. Derhalve vertegenwoordigen de waarden van q_c , gegeven in de vergelijkingen (16) en (18) een bovengrens voor de werkelijk optredende waarde van q_c .

De theoretische benadering, hier gegeven, is ontleend aan Harleman en Elder (1965) [2], waarbij D dezelfde orde van grootte heeft als h_r .

Het niet-uniform zijn van de snelheidsverdeling in de onderlaag kan worden weergegeven door vergelijking (10) als volgt te beschrijven:

$$\frac{1}{2} \alpha \frac{q_c^2}{a_2^2} + \frac{\Delta\rho}{\rho_2} g a_2 = \frac{\Delta\rho}{\rho_2} g h_r \quad (19)$$

met

$$\alpha \left(\overline{u_2} \right)^2 = \overline{u_2^2}$$

De overstreping betekend hierbij gemiddeld over de vertikaal. In de literatuur wordt bij homogene stroming voor α waarden tussen 1 en 1,1 à 1,2 gegeven.

Definieert men nu:

$$\beta = \sqrt{\alpha} \quad \text{en}$$

$$Fi = \frac{q_c/D}{\sqrt{\epsilon g D}} \quad \text{met } \epsilon = \frac{\Delta\rho}{\rho_2} \quad (20)$$

dan kan men de vergelijkingen (16) en (18) bij inachtnaam van vergelijking (19) tot de volgende vormen herleiden:

$$\beta \text{ Fi} = \sqrt{2 \left(\frac{h_r}{D} - 1 \right)} \quad (21)$$

$$\text{voor } D > \frac{2}{3} h_r$$

en

$$\beta \text{ Fi} = \frac{2}{3} \frac{h_r}{D} \sqrt{\frac{2}{3} \frac{h_r}{D}}$$

$$\text{voor } D < \frac{2}{3} h_r \quad (22)$$

3.1.3. Beschouwing met wrijving

Indien de wrijving in de beschouwing wordt meegenomen, dan kan voor de situatie van selectief afzuigen ($u_1 = 0$) en uitgaande van een permanentie uit de vergelijkingen (1) en (2) worden afgeleid:

$$u_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} - \frac{\Delta \rho}{\rho_2} g \frac{\partial a_1}{\partial x} = - \frac{\tau_b + \tau_i}{\rho_2 a_2} - \frac{\tau_i}{\rho_1 a_1} \quad (23)$$

Stel

$$a_1 + a_2 \approx \text{constant} \quad (u_1 = 0)$$

en definieer:

$$\tau_b = \frac{1}{8} \lambda_b \rho_2 \bar{u}_2^2$$

$$\tau_i = \frac{1}{8} \lambda_i \rho_{1,2} \bar{u}_2^2$$

waarin λ_b : bodemschuifspanningscoëfficiënt
 λ_i : interne schuifspanningscoëfficiënt
 $\rho_{1,2}$: $\rho_{1,2} = \rho_1$ of ρ_2 . Daar bij een zout-zoetstratificatie geldt $\rho_1 \approx \rho_2$, is men vrij in de keuze voor $\rho_{1,2}$.

Voor bovenstaande definities voor τ_b en τ_i wordt tevens verwezen naar [6] .

Veronderstelt men verder dat $\lambda_i \approx \frac{1}{2} \lambda_b$ (zie appendix I) en substitueert men:

$$\lambda_b = \frac{8g}{C^2} \quad (C = \text{coëfficiënt van Chézy}) \quad (\text{zie [6]})$$

dan kan vergelijking (23) worden herleid tot:

$$u_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} + \frac{\Delta \rho}{\rho_2} g \frac{\partial a_2}{\partial x} = - \frac{\bar{u}_2^2}{c^2} g \left\{ \frac{3a_1 + a_2}{2a_1 a_2} \right\} \quad (24)$$

De wrijving weergegeven door de schuifspanningstermen in het rechterlid van vergelijking (23), wordt voor de hiernavolgende kwalitatieve beschouwing benaderd door een constante term. Daartoe worden voor de over het toestromingskanaal variërende grootheden a_1 , a_2 en u_2 in het rechterlid van vergelijking (24) benaderende waarden ingevuld, die constant zijn.

Daar a_2 in het toestromingskanaal de orde van grootte van h_r heeft, mag gesteld worden:

$$a_2 \approx h_r$$

en

$$\bar{u}_2 = \frac{q_2}{a_2} \approx \frac{q_2}{h_r}$$

(q_2 is constant vanwege continuïteit).

Als voorts als benadering mag worden aangenomen, dat a_1 een veelvoud van h_r is, dan is het rechterlid van vergelijking (24) evenredig met

$$q_2^2 \frac{g}{c^2} \frac{1}{h_r^3} \quad (25)$$

zodat voor vergelijking (24) geschreven kan worden:

$$u_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} + \frac{\Delta \rho}{\rho_2} g \frac{\partial a_2}{\partial x} = - C^* q_2^2 \frac{g}{c^2} \frac{1}{h_r^3} \quad (26)$$

waarin C^* : evenredigheidsconstante.

Vergelijking (26) geeft na integratie naar x :

$$\frac{1}{2} u_2^2 + \frac{\Delta \rho}{\rho_2} g a_2 = - C^* q_2^2 \frac{g}{c^2} \frac{1}{h_r^3} x + C_2 \quad (27)$$

waarin C_2 : integratie constante.

De grote breedte in het reservoir ($x = 0$) betekent, dat aldaar $u_2 = 0$, terwijl $a_2 = h_r$.

zodat
$$C_2 = \frac{\Delta\rho}{\rho_2} g h_r \quad (28)$$

Met $q_2 = u_2 a_2$ geven vergelijkingen (27) en (28)

$$q_2 = a_2 \sqrt{\frac{2 \frac{\Delta\rho}{\rho_2} g (h_r - a_2)}{1 + C_1^* \frac{g}{C^2} \times \frac{1}{h_r} \frac{x}{3} 2a_2^2}} \quad (29)$$

Benadert men in de noemer van vergelijking (29) in de term $C_1^* \frac{g}{C^2} \frac{x}{h_r} \frac{1}{3} 2a_2^2$, zijnde de term, die de wrijving weergeeft, eveneens door te stellen $a_2 \approx h_r$, dan vindt men

$$q_2 = a_2 \sqrt{\frac{2 \frac{\Delta\rho}{\rho_2} g (h_r - a_2)}{1 + C_1^* \frac{g}{C^2} \frac{x}{h_r}}} \quad (30)$$

waarin C_1^* : evenredigheidsconstante.

Daar nu de noemer in vergelijking (30) een constante is, kan in analogie met par. 3.1.2. worden geschreven voor het maximaal selectief af te zuigen debiet: (zie ook vgl. 16 en 18).

$$q_c = D \sqrt{\frac{2 \frac{\Delta\rho}{\rho_2} g (h_r - D)}{1 + C_1^* \frac{g}{C^2} \frac{x}{h_r}}} \quad \text{voor } D > \frac{2}{3} h_r \quad (31)$$

$$\text{en } q_c = q_{\max} = \frac{2}{3} h_r \sqrt{\frac{\frac{\Delta\rho}{\rho_2} g \frac{2}{3} h_r}{1 + C_1^* \frac{g}{C^2} \frac{x}{h_r}}} \quad \text{voor } D < \frac{2}{3} h_r \quad (32)$$

De vergelijkingen (31) en (32) geven een kwalitatief inzicht in de invloed van de wrijving op de grootte van het maximaal selectief af te zuigen debiet, en in de mate waarin de diverse grootheden daarbij een rol spelen.

Zo blijkt, dat naarmate de ruwheid groter is (C kleiner) het selectief af te zuigen debiet kleiner wordt. Zo ook wanneer de lengte van het toestromingskanaal x groter wordt. Een grotere h_r daarentegen betekent een relatief groter selectief af te zuigen debiet.

$$u_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} + g \frac{\partial (a_1 + a_2)}{\partial x} = 0 \quad (37)$$

$$u_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} + g \frac{\partial (a_1 + a_2)}{\partial x} - \frac{\Delta \rho}{\rho_2} g \frac{\partial a_1}{\partial x} = 0 \quad (38)$$

Vergelijkingen (37) en (38) geven na integratie

$$\frac{1}{2} u_1^2 + g (a_1 + a_2) = C_{11} \quad (39)$$

$$\frac{1}{2} u_2^2 + g (a_1 + a_2) - \frac{\Delta \rho}{\rho_2} g a_1 = C_{22} \quad (40)$$

waarin C_{11} en C_{22} : integratieconstanten.

Geldt in het reservoir met grote breedte

$$\begin{aligned} u_1 &= 0 \\ u_2 &= 0 \\ a_1 + a_2 &= h \\ a_2 &= h_r, \end{aligned}$$

dan geven de vergelijkingen (39) en (40)

$$\frac{1}{2} u_1^2 + g (a_1 + a_2) = g h \quad (41)$$

$$\text{en } \frac{1}{2} u_2^2 + g (a_1 + a_2) = g h + \frac{\Delta \rho}{\rho_2} g (h_r - h + a_1) \quad (42)$$

Substitueert men in de laatste term van vergelijking (42) $a_1 + a_2 \approx h$, dan vindt men uit vergelijkingen (41) en (42)

$$u_2^2 = u_1^2 + 2 \frac{\Delta \rho}{\rho_2} g (h_r - a_2) \quad (43)$$

Stel vervolgens:

$$\begin{aligned} \text{totale afzuigdebiet per m' breedte} &= q \\ \text{het afgezogen zoetwaterdebiet per m' breedte} &= q_1 \\ \text{het afgezogen zoutwaterdebiet per m' breedte} &= q_2 \end{aligned}$$

waarbij geldt:

$$\left. \begin{aligned}
 q &= q_1 + q_2 \\
 q_1 &= n q \\
 q_2 &= (1 - n) q \\
 &0 \leq n < 1 \\
 q_1 &= \frac{n}{1 - n} q_2 \\
 q_1 &= a_1 u_1 \\
 q_2 &= a_2 u_2
 \end{aligned} \right\} \quad (44)$$

n is het percentage meegezogen hoeveelheid zoetwater (10% meezuigen $\rightarrow n=0,1$).

Na substitutie van vergelijking (44) in vergelijking (43) vindt men:

$$q_2 = a_2 (h - a_2) \sqrt{\frac{2\epsilon g (h_r - a_2)}{(h - a_2)^2 - a_2^2 \left(\frac{n}{1-n}\right)^2}} \quad (45)$$

De aanname $a_1 + a_2 \approx h$ betekent dat in het toestromingskanaal geen verhang optreedt. Dit impliceert, dat u_1 in het toestromingskanaal klein is. Dit geldt als n klein is en/of a_1 (dikte bovenlaag) groot c.q. a_2 (dikte onderlaag) klein.

Het bovenstaande betekent dat $a_2^2 \left(\frac{n}{1-n}\right)^2$ verwaarloosbaar klein gesteld mag worden t.o.v. $(h - a_2)^2$ in de noemer van het rechterlid van vergelijking 45.

Een en ander wordt toegelicht in het navolgende getallen-voorbeeld:

Bij het onderhavige onderzoek geldt: $h = 36$ cm

$$a_2 \approx D = 3 \text{ à } 6 \text{ cm}$$

$$n \leq 0,5 \text{ (50\% zoet meezuigen).}$$

Uitgaande van de maximaal optredende waarden, vindt men voor

$$a_2^2 \left(\frac{n}{1-n}\right)^2 \approx (0,06)^2 \left(\frac{0,5}{1-0,5}\right)^2 = 0,0036$$

$$\text{en voor } (h - a_2)^2 \approx (0,30)^2 = 0,09$$

Het bovenstaande duidt erop, dat genoemde verwaarlozing een beperking in kan houden ten aanzien van de toepasbaarheid van de onderhavige theoretische benadering.

Vergelijking (45) wordt nu:

$$q_2 = a_2 \sqrt{2\varepsilon g (h_r - a_2)} \quad (46)$$

of wel

$$q = \frac{a_2}{1-n} \sqrt{2\varepsilon g (h_r - a_2)} \quad (47)$$

Uitgaande van een gegeven af te zuigen debiet q en een gegeven laagdikte h_r in het reservoir geeft vergelijking (47) impliciet het mee te zuigen zoete water als functie van a_2 . Dit mee te zuigen zoete water is minimaal indien $\frac{dn}{da_2} = 0$. Hiertoe wordt vergelijking (47) herschreven tot:

$$n = 1 - \frac{a_2}{q} \sqrt{2\varepsilon g (h_r - a_2)} \quad (48)$$

$\frac{dn}{da_2} = 0$ levert dan

$$-\frac{1}{q} \sqrt{2\varepsilon g (h_r - a_2)} - \frac{a_2}{2q} \frac{-2\varepsilon g}{\sqrt{2\varepsilon g (h_r - a_2)}} = 0$$

ofwel

$$a_2 = \frac{2}{3} h_r \quad (49)$$

Gesubstitueerd in vergelijking (47) geeft dit:

$$q'_{\max} = \frac{1}{1-n} \frac{2}{3} h_r \sqrt{\varepsilon g \frac{2}{3} h_r} \quad (50)$$

waarin q'_{\max} : het maximaal af te voeren debiet voor een gegeven n .

Vergelijking (50) betekent dat ter plaatse waar $a_2 = \frac{2}{3} h_r$ in de onderlaag kritische stroming optreedt:

$$F_i = 1 \quad (\text{vergelijk ook par. 3.1.2.}).$$

Stel nu dat de spleethoogte D zodanig groot is, dat ter plaatse van de spleet F_i voor de onderlaag gelijk 1 is. Nemen we daarbij aan dat de verhouding tussen de boven- en onderlaag onder het zoutscherm overeenkomt met de debietverhouding, dan geldt:

waarbij

$$\left. \begin{aligned} a_{1,s} : a_{2,s} &= n : (1-n) \\ a_{1,s} + a_{2,s} &= D \end{aligned} \right\} \quad (51)$$

($a_{1,s}$ en $a_{2,s}$ zijn de resp. laagdikten bij de spleet).

Bij kritische stroming in de onderlaag ter plaatse van het zoutscherm geldt dan voor de afmeting van de spleet D:

$$a_{2,s} = (1-n) D = \frac{2}{3} h_r \quad (52)$$

We kunnen nu onderscheiden in analogie met par. 3.1.2.

$$D > \frac{2}{3} h_r \left(\frac{1}{1-n} \right) \quad \text{en}$$

$$D < \frac{2}{3} h_r \left(\frac{1}{1-n} \right)$$

In analogie met par. 3.1.2. kan nu geschreven worden:

Voor $D < \frac{2}{3} h_r \left(\frac{1}{1-n} \right)$ geldt

$$F_i = \left(\frac{1}{1-n} \right) \frac{2}{3} \frac{h_r}{D} \sqrt{\frac{2}{3} \frac{h_r}{D}} \quad (53)$$

(maximaal aan te voeren debiet).

Voor $D > \frac{2}{3} h_r \left(\frac{1}{1-n} \right)$ geldt (zie verg. 47)

$$q = \frac{1}{1-n} a_{2,s} \sqrt{2\varepsilon g (h_r - a_{2,s})} \quad (54)$$

met $a_{2,s} = (1-n) D$ (zie verg. 49 en 52)

wordt vergelijking (54) dus

$$q = \frac{1}{1-n} (1-n) D \sqrt{2\varepsilon g \left(h_r - (1-n) D \right)}$$

en met $F_i = \frac{q/D}{\sqrt{\varepsilon g D}}$

$$F_i = \sqrt{2 \left(\frac{h_r}{D} - (1-n) \right)} \quad (55)$$

voor $D > \frac{2}{3} h_r \left(\frac{1}{1-n} \right)$

4 Modelopstelling en meetmethode

Het onderzoek is uitgevoerd in de getijgoot (zie Fig. 1). De breedte van de goot is 0,67 m en de bij de proeven ingestelde waterdiepte 0,36 m. De goot mondt uit in een bassin met afmetingen van 6 x 8 x 1,5 m. Voor het uitvoeren van de proeven is het oppervlak van het bassin verkleind tot 3 x 3,5 m, terwijl de onderkant van de daartoe aangebrachte wanden tot circa 30 cm boven de bodem van het bassin reikt. Een dergelijke constructie wordt in het vervolg aangeduid met "duikschot". Aan de zijde tegenover de goot heeft het bassin een in hoogte verstelbare overstortrand. Op 70 cm afstand van deze rand bevindt zich eveneens een duikschot. In het verkleinde bassin (reservoir) en de goot wordt een twee-lagensysteem aangebracht en wel als volgt: Eerst wordt het totale bassin en de goot met zoutwater gevuld. De waterdiepte wordt ingesteld met de overstortrand op $36 \pm 0,3$ cm, in de goot gemeten. Aan het einde van de goot bevindt zich een compartiment van 2 m lengte, van waaruit vervolgens zoetwater wordt ingebracht via een in verticale zin beweegbare schuif met stroomgeleiding (zie Fig. 1, detail B). Met de schuif wordt het zoetwaterdebiet boven de schuif zodanig geregeld, dat de menging van het zoete water met het zoute water bij het inlaten tot een minimum wordt beperkt.

Na het aanbrengen van de zoete bovenlaag wordt het zoutscherm aangebracht op de gewenste afstand L vanaf het reservoir (Fig. 2).

Bij de proef wordt een permanente stromingstoestand ingesteld, en wel zodanig, dat, òf nog net alleen zoutwater wordt afgezogen uit het reservoir onder het zoutscherm door, òf een zeker volumepercentage aan zoetwater daarbij wordt meegezogen. Dit wordt als volgt gerealiseerd:

Tijdens de proef wordt tussen de overstortrand en het op 70 cm daarvoor zich bevindende duikschot een zoutwaterdebiet ingebracht (Fig. 2), dat zodanig groot is, dat gedurende de gehele proef er altijd een overstort is over de overstortrand, zodat de waterspiegel in het reservoir constant is tijdens de proef. Aan het begin van een proef wordt een bepaald afzuigdebiet bij het zoutscherm ingesteld, zodanig dat bij de gegeven laagdikten van zout- en zoetwater ook een hoeveelheid zoetwater mee wordt afgezogen. Hierdoor vermindert de hoeveelheid zoetwater, die zich in het verkleinde reservoir en in de goot tot aan het zoutscherm bevindt. -Een eventuele menglaag, ontstaan bij het aanbrengen van het zoete water, wordt tevens afgezogen, wat een scherp grensvlak tot gevolg heeft (zie Fig. 5).- Het gevolg

is, dat in het verkleinde reservoir de zoute onderlaag dikker wordt en de zoete bovenlaag dunner, totdat zich een evenwicht heeft ingesteld, waarbij net geen zoetwater meer wordt meegezogen. Uit continuïteitsoverwegingen geldt, dat het onder het zoutscherm afgezogen debiet Q_{totaal} gelijk is aan het onder de desbetreffende duikschotten toestromende zoute water naar het verkleinde reservoir, dat tussen de overstortrand en het daarvóór liggende duikschot wordt ingevoerd (Q_{zout}).

Voor het verkrijgen van een permanentie, waarbij een zeker volumepercentage van het afzuigdebiet (Q_{totaal}) uit zoetwater bestaat (Q_{zoet}), wordt aan de kopse rand van het verkleinde reservoir, gelegen tegenover de goot het gewenste zoetwaterpercentage Q_{zoet} met een nauwkeurigheid van $\pm 0,1$ l/s ingebracht via een daarvoor aangebrachte geleidingsconstructie, welke ervoor moet zorgen dat bij het inbrengen van het zoete water het grensvlak door menging niet verstoord wordt. (Zie Fig. 1, detail C.) Vanwege de continuïteit stelt zich het grensvlak, zijnde de overgang van het zoute naar het zoete water, in het verkleinde reservoir automatisch in op de permanentie, waarvoor geldt:

$$Q_{\text{totaal}} = Q_{\text{zoet}} + Q_{\text{zout}}$$

waarin

Q_{totaal}	: het bij het zoutscherm afgezogen debiet
Q_{zoet}	: het ingebrachte debiet aan zoetwater
Q_{zout}	: het via de duikschotten toestromende debiet aan zoutwater van het inbrengpunt bij de overstortrand naar het verkleinde reservoir.

Ter bepaling of zich een permanentie heeft ingesteld, wordt met behulp van geleidbaarheidsmeetapparatuur de positie van het grensvlak in het verkleinde reservoir gevolgd. Tevens wordt de zoutconcentratie van het afgezogen water continu gemeten met geleidbaarheidsmeetapparatuur.

Om de verblijftijd in de gootsectie achter het zoutscherm, van waaruit Q_{totaal} wordt afgezogen, minimaal te doen zijn in verband met faseverschuiving tussen het moment dat er een bepaald percentage zoetwater wordt meegezogen bij het scherm en het moment van meting van de daarbij behorende zoutconcentratie in het afzuigstelsel (zie onder), is aansluitend op het zoutscherm een "afzuigconstructie" aangebracht (Fig. 2,3), waarvan zich de afgesloten bovenkant op 10 cm vanaf de gootbodem bevindt.

De "afzuigconstructie" heeft een lengte van circa 2 m. Via een opening in de bovenkant van de "afzuigconstructie" wordt Q_{totaal} afgezogen door middel van een pomp. Het afgezogen debiet wordt gemeten met een elektromagnetische debietmeter of een rotameter met een nauwkeurigheid van $\pm 0,1$ l/s.

Een geleiding zorgt ervoor, dat zich aan de bovenzijde van de afzuigconstructie geen zoetwater kan ophopen, zodat de zoutconcentratie gemeten achter de pomp een correcte waarde aangeeft. (Zie Fig. 3.)

Zodra de evenwichtssituatie (permanentie) is bereikt, wordt met behulp van een beweegbare zoutopnemer (geleidbaarheidsmeetapparatuur) het dichtheidsverloop over de vertikaal bepaald in het verkleinde reservoir en in 1 of 2 punten in de goot (Fig. 2), terwijl het dichtheidsverschil $\Delta\rho$ tussen de zoute onderlaag en zoete bovenlaag bepaald wordt door bemonstering met behulp van areometers (nauwkeurigheid $\pm 0,2 \text{ kg/m}^3$). Uit de gemeten dichtheidsvertikalen kan de positie van het grensvlak ten opzichte van de gootbodem worden bepaald. Als de zoutconcentratie van het zoute water op 100% wordt gesteld en die van het zoete water op 0%, dan wordt de positie van het grensvlak gedefinieerd door een zoutconcentratie van 50%.

Bij bovenstaand meetsysteem is het mogelijk meerdere situaties achter elkaar door te meten. Immers, nadat zich een permanentie heeft ingesteld waarbij nog net geen zoetwater wordt meegezogen, kan men het afzuigdebiet Q_{totaal} verhogen, waarbij in eerste instantie weer zoetwater uit de bovenlaag wordt meegezogen totdat het grensvlak zo hoog is gestegen, dat zich opnieuw de voorwaarde voor selectief afzuigen heeft ingesteld [1]. Op identieke wijze kan het percentage mee te zuigen zoetwater worden verhoogd. Hierbij zakt het grensvlak in eerste instantie, totdat zich de voorwaarde heeft ingesteld, dat

$$Q_{\text{totaal}} = Q_{\text{zoet}} + Q_{\text{zout}}.$$

5 Gekozen schalen

Het onderhavige onderzoek wordt in de eerste plaats verricht in het kader van de ontziling van het Zeeuwse Meer (par. 1).

Bovendien moet dit twee-dimensionale onderzoek tot op zekere hoogte als ondersteuning van het drie-dimensionale onderzoek dienen. Met name vanwege dit laatste zijn spleethoogten en waterdiepte voor het zoutscherm (toestromingskanaal) met dezelfde schaal ingesteld als bij het drie-dimensionaal geometrisch gelijkvormige model, te weten 1 : 100. Daar op Froude-schaal wordt gestroomd, is de schaal voor de debieten per m breedte 1 : 1000. Voor de in te stellen dichtheden wordt evenals bij het drie-dimensionale model een schaal 1 : 1 gehanteerd.

6 Programma van onderzoek

Het programma van onderzoek kan onderverdeeld worden naar de volgende drie doelstellingen van het onderzoek:

- verificatie van bestaande theoretische beschouwingen (zie par. 3 en de diverse referenties).
De proeven hiervoor uitgevoerd worden aangeduid als referentieproeven (zie tabel I: proefoverzicht)
- kwalitatieve informatie voor de prototypesituatie bij de Oosterschelddam (toestromingskanaal, bodemruwheid)
- vormgeving van het zoutscherm door middel van een kwalitatief onderzoek, mede ter ondersteuning van het drie-dimensionaal onderzoek.

In het kader van de verificatie van theoretische beschouwingen zijn de volgende grootheden gevarieerd, waarbij het met name gaat om de relatie tussen het maximaal selectief af te zuigen debiet en het niveau van het grensvlak in het reservoir (par. 3.1.2.).

- het afzuigdebiet (Q_{totaal})
- de hoogte van de spleet onder het zoutscherm (D)
Daar voor de dimensionering van het zoutscherm in de Oosterschelddam slechts twee spleethoogten door R.W.S. werden beschouwd te weten 3 en 6 m, zijn voor de proeven de onderzochte afmetingen 3 en 6 cm.
- het dichtheidsverschil ($\Delta\rho$)
Hiervoor zijn twee waarden onderzocht: 20 kg/m^3 in verband met de situatie gedurende de periode van ontzilting, en 2 kg/m^3 in verband met het mogelijk optreden van thermische stratificaties na de ontzilting die door selectieve onttrekking eventueel bestreden moeten kunnen worden. (Een dichtheidsverschil van 2 kg/m^3 is vergelijkbaar met het dichtheidsverschil tussen warm en koud water bij thermische stratificaties.)
- de procentuele hoeveelheid meegezogen zoetwater uit de bovenlaag (Q_{zoet})
Daar bij de ontzilting een periode zal optreden, dat ook zoetwater uit de bovenlaag wordt meegezogen, is tevens onderzocht hoe snel het percentage afgezogen zoutwater afneemt bij toenemend afzuigdebiet (Q_{totaal}) bij de diverse omstandigheden.
- Ter verificatie van de veronderstelling dat de "afzuigconstructie" (zie par. 4) geen invloed zou hebben op de proefresultaten, zijn voorts enkele proeven uitgevoerd zonder deze constructie.

Ten behoeve van kwalitatieve informatie voor de prototype situatie zijn de volgende grootheden nader onderzocht:

- de lengte van het toestromingskanaal (L)

Dit is de afstand vanaf het reservoir (bassin, zie Fig. 2) tot aan het zoutscherm. De proeven uitgevoerd ten behoeve van de verificatie van de theoretische beschouwingen (par. 3) zijn uitgevoerd met een kort toestromingskanaal ($L = 1,35$ m), zodat de wrijving van wanden en bodem verwaarloosbaar klein gesteld mocht worden. In het prototype wordt een toestromingskanaal naar het zoutscherm gebaggerd met circa 1 à 1,2 km lengte. Derhalve zijn ook proeven uitgevoerd met $L = 11,35$ m.

- bodemruwheid

In het prototype wordt bij het zoutscherm een bodemverdediging aangebracht. In het model is de invloed van deze extra ruwheid op het selectief afzuigen nagegaan, door een grindbed ter plaatse van het zoutscherm aan te brengen, dat vanaf 1 m (modelmaat) vóór het zoutscherm tot onder het zoutscherm reikte. De diameter van het grind bedroeg 5 mm, wat overeenkomt met de te gebruiken stortsteen (stukken van 80-300 kg) in het prototype.

- variatie van het afzuigdebiet met de tijd (dQ/dt)

Alle proeven zijn als permanenties uitgevoerd (par. 4). Daar echter in het prototype het afzuigdebiet (Q_{totaal}) varieert met de getijbeweging op zee, is in aansluiting hierop een kwalitatief onderzoek uitgevoerd, waarbij het afzuigdebiet stapsgewijs werd verhoogd met een stapgrootte van 0,5 l/s en wel iedere 10 minuten (modelmaten) (zie Fig. 20). Bij de uitgangssituatie is een dusdanige zoetwaterlaag aangebracht (zie voor het instellen daarvan par. 4), dat in het begin geen zoetwater wordt meegezogen. Tijdens de proef wordt geen zoetwater toegevoerd ($Q_{\text{zoet}} = 0$). De bovenomschreven proef wordt in het vervolg "duurproef" genoemd. Daar in het prototype geen scherp grensvlak mag worden verwacht, is een duurproef uitgevoerd met een vrij scherp grensvlak en een duurproef met een menglaag van enige afmeting.

Ten aanzien van de vormgeving van het zoutscherm, zijn de volgende configuraties van de spleetopening onder het zoutscherm onderzocht:

- een afgeronde onderkant van het zoutscherm (Fig. 3 en 12), waarbij de afronding een kwart cirkel beschrijft met een straal van $1/3$ van de hoogte van de spleetopening, er daarbij van uitgaande dat de maximaal optredende contractiecoëfficiënt onder het zoutscherm in de orde van $2/3$ ligt

- pijlers in de spleetopening onder het zoutscherm. In het prototype bevinden zich onder het zoutscherm pijlers ter ondersteuning van de constructie. In een kwalitatief onderzoek is de invloed van de pijlers op het maximaal selectief af te zuigen debiet bij diverse condities nagegaan. De breedte van de pijlers was 3 cm in het model, terwijl de hart op hart afstand van de pijlers 17 cm bedroeg (zie Fig. 13 en 17).

7 Resultaten

7.1

Een overzicht van de uitgevoerde proeven met vermelding van de omstandigheden wordt gegeven in Tabel I. In Tabel II zijn de meetresultaten verzameld. In de figuren wordt evenals in de tekst voor de afmeting van de spleethoogte D en het dichtheidsverschil tussen boven- en onderlaag $\Delta\rho$ een afgeronde waarde gegeven: $D = 3$ resp. 6 cm en $\Delta\rho = 20$ resp. 2 kg/m³. In tabel II worden de werkelijk gemeten waarden gegeven.

De laagdikten van de onderlaag, weergegeven door de grootheden h_r , a_m en a_s (zie definitieschetsen Fig. 4) zijn bepaald, nadat zich een permanente stromingstoestand had ingesteld. Het criterium hiervoor wordt gegeven door de toename van h_r per tijdseenheid (dh_r/dt). Indien dh_r/dt kleiner of gelijk is aan 1 mm per 5 min., dan wordt van een permanente toestand gesproken. Bij de proeven werd dit doorgaans na 30 min. bereikt (Fig. 5). Bij het reservoir met een oppervlakte van circa 11 m², inclusief toestromingskanaal ($L = 1,35$ m), komt een stijging van 1 mm per 5 min. van het grensvlak in de situatie dat $Q_{zoet} = 0$ (selectief afzuigen, zie instellen permanentie par. 4) overeen met een zoetwaterdebiet van $0,04$ l/s, wat bij een totaal afzuigdebiet van 1 l/s een 4% zoetwater meezuigen zou betekenen (vergelijk meetmethode in [2]). Daar echter de nauwkeurigheid, waarmee de laagdikte van de onderlaag bepaald kan worden, eveneens in de orde van 1 mm ligt, mag gesteld worden, dat bovenstaand criterium voor het bereiken van een permanentie binnen de meetnauwkeurigheid valt. De met behulp van de vaste zoutopnemer gemeten zoutconcentratie van het afzuigdebiet (par. 4, Fig. 2) bevestigde de juistheid van bovengenoemd criterium. (In Fig. 23 blijkt doorgaans na 10 min. de zoutconcentratie reeds gelijk 100% te zijn, dus geen zoet meezuigen.)

7.2

De resultaten van de referentieproeven (par. 6) geven een verschil te zien met de theoretische benadering, beschreven in par. 3.1.2. (Fig. 6), evenals de gepubliceerde proeven [1], [2]. (Zie in Fig. 8 de overeenkomst tussen de referentieproeven en de literatuurgegevens.) Bij een gegeven h_r -waarde, $\Delta\rho$ en D , is het maximale debiet, waarbij nog net selectief afzuigen mogelijk is ($Q_{totaal} = Q_c = q_c \cdot B$) bij de proef kleiner dan volgens de theore-

tische benadering verwacht zou worden. Dit verschil zou mogelijk door de volgende punten verklaard kunnen worden:

- definitie van het grensvlak bij de bepaling van de dikte van de onderlaag (h_r) (Fig. 5). De positie van het grensvlak wordt gedefinieerd door het punt in verticale richting, waar de zoutconcentratie 50% is van de zoutconcentratie in de onderlaag (dichtheid ρ_2). Daar de overgangslaag tussen onder- en bovenlaag gemiddeld circa 1 cm bedraagt, en hierbinnen redelijkerwijs gezien het grensvlak gedefinieerd moet worden, zou derhalve afhankelijk van de definitie van het grensvlak een variatie van $\pm 0,15$ in de grootte h_r/D bij $D = 3$ cm mogelijk zijn
- definitie van de grootte van $\Delta\rho$. Bij de bewerking van de proefresultaten wordt voor de bepaling van het interne Froude-getal, betrokken op de spleethoogte, de $\Delta\rho$ gedefinieerd als het dichtheidsverschil tussen onder- en bovenlaag. Uit de duurproeven met en zonder menglaag (zie ook par. 7.10) blijkt, dat bij de proef met menglaag bij een kleiner afzuig-debiet reeds de menglaag wordt meegezogen (en daarbij dus een zoetwaterpercentage), dan bij de proef zonder menglaag de zoete bovenlaag. Op grond hiervan mag gesteld worden, dat bij het selectief afzuigen niet de "overall" $\Delta\rho$ tussen onder- en bovenlaag maatgevend is, maar de $\Delta\rho$ tussen de onderlaag en een waarde liggende tussen de dichtheid van de onderlaag en de bovenlaag. Een analyse van de duurproeven met menglaag geeft aanwijzingen dat deze laatstgenoemde dichtheid gemeten wordt in het punt waar de snelheid van de onderlaag tot nul nadert. (Zie par. 7.10.).

Stel bijv. dat in plaats van de $\Delta\rho$ tussen onder- en bovenlaag een waarde gelijk $\frac{3}{4} \Delta\rho$ zou moeten worden gehanteerd. Dit betekent voor het interne Froude-getal (Fi) dat dit met een factor 1,15 moet worden vermenigvuldigd, terwijl de gevonden Fi voor de meetresultaten met circa 1,25 moet worden vermenigvuldigd om met de theoretische benadering (vgl. 16 en 18) overeen te komen

- voor de situatie dat $D < \frac{2}{3} h_r$ is er nabij het zoutscherm een overgang van een laagdikte van de onderlaag met een waarde $a_2 = \frac{2}{3} h_r$ naar een waarde $a_2 = D$ (zie par. 3.1.2). In dit overgangsgebied treedt menging op. Het menglaagje dat zich daardoor vlak voor het zoutscherm vormt, zou gezien het bovenstaande eveneens tot gevolg kunnen hebben, dat een kleinere $\Delta\rho$ bij het criterium voor selectief afzuigen gehanteerd moet worden, dan het verschil tussen onder- en bovenlaag
- ongelijkmatige verdeling van de aanstroomsnelheid over breedte en hoogte.

In Fig. 7 wordt dit theoretisch weergegeven door de factor β (zie ook par. 3.1.2.). De aanname van een driehoekig snelheidsverloop over de vertikaal in de onderlaag (maximale snelheid op $\frac{1}{2} a_2$, a_2 is dikte onderlaag; snelheid is 0 bij de bodem en op de diepte a_2) levert een $\alpha = 1,33$ ($\beta = 1,15$). Verwacht mag worden, dat bij de uitgevoerde proeven een α -waarde geldt, die kleiner is dan 1,33

- de wrijving mag bij de proeven met $L = 1,35$ m gezien de gladheid van het model en de geringe afstand van 1,35 m van het reservoir naar het zoutscherm worden verwaarloosd.

7.3

De uitgevoerde proeven met een toestromingskanaal ($L = 11,35$ m) moeten naar verwachting vanwege de wrijvingsverliezen door bodem-, wand- en grensvlakwrijving over de lengte L een kleinere waarde voor Q_c geven, dan bij de referentieproeven met $L = 1,35$ (zie par. 7.2) (vergelijk ook [1]). De gevonden meetresultaten zijn hiermee in overeenstemming (Fig. 9).

Bij de proeven met toestromingskanaal was het tevens mogelijk om een verhangmeting uit te voeren voor het grensvlak (zie definitieschets, Fig. 4). Met behulp van de bewegingsvergelijkingen voor onder- en bovenlaag was het verder mogelijk de schuifspanningscoëfficiënten voor bodem-, wand- en grensvlakwrijving te bepalen. (λ_b , λ_w resp. λ_i .) In appendix I wordt dit nader toegelicht.

In Fig. 27 is nagegaan bij welke proeven de stroming in de onderlaag in het overgangsgebied van laminair naar turbulent ligt. Dit blijkt slechts bij 3 proeven het geval te zijn, waarvoor derhalve geen λ_i is bepaald (zie Tabel V). In Fig. 26 zijn de gevonden waarden voor de interne schuifspanningscoëfficiënt als functie van het Reynolds-getal weergegeven, terwijl in Tabel V de getalwaarden worden gepresenteerd. De resultaten betreffende de interne schuifspanningscoëfficiënt worden in Fig. 26 tevens vergeleken met literatuurgegevens geldend voor een stilstaande zouttong. Dit vanwege de overeenkomst tussen de situatie van een stilstaande zouttong en het selectief afzuigen: in beide gevallen staat één van de lagen stil. Bij de stilstaande zouttong is het Re-getal gedefinieerd door

$$Re = \frac{u_1 R_1}{\nu}$$

waarin u_1 : snelheid bovenlaag
 R_1 : laagdikte bovenlaag.

In analogie hiermee wordt voor de situatie met selectief afzuigen het Re-getal gedefinieerd door

$$Re = \frac{u_2 R_2}{\nu}$$

waarin u_2 : snelheid onderlaag
 R_2 : $1/3 a_2$
 a_2 : laagdikte onderlaag.

Daar bij de stilstaande zouttong de hydraulische straal gedefinieerd wordt als de afstand vanaf het grensvlak tot aan de vrije waterspiegel, is bij het selectief afzuigen de hydraulische straal gedefinieerd als de afstand vanaf het grensvlak tot een fictieve vrije waterspiegel in de onderlaag: dit is daar waar de snelheidsgradiënt du/dy nul is (schuifspanning = 0). Hiervoor is aangenomen dat de schuifspanning aan de bodem in orde van grootte tweemaal de grensvlak schuifspanning is, zodat de schuifspanning 0 is ($du/dy = 0$) op $2/3 a_2$ vanaf de bodem gemeten.

R_2 is derhalve $1/3 a_2$. N.B. In het bovenstaande wordt uitgegaan van een twee-dimensionale situatie, dit wil zeggen de breedte is ∞ .

Daar de proefresultaten voor λ_1 aansluiten bij die voor een stilstaande zouttong, terwijl ook λ_1 -waarden voor een stilstaande zouttong in het prototype zijn gegeven (Boulot en Daubert, Fig. 26) kan λ_1 bepaald worden voor selectief afzuigen bij andere Re-getallen dan waarbij de proeven zijn uitgevoerd. (Zie verder appendix II: Dimensionering zoutscherm bij het in rekening brengen van wrijvingsverliezen in het toestromingskanaal.)

In par. 3.1.3. is een kwalitatieve benadering gegeven van het selectieve afzuigen onder inachtnaam van de wrijving in het toestromingskanaal. Daar bij een grotere waarde van de spleethoogte D en bij een kleiner dichtheidsverschil $\Delta\rho$ (vergelijk $D = 3 \rightarrow 6$ cm en $\Delta\rho = 20 \rightarrow 2$ kg/m³) de laagdikte van de onderlaag groter wordt (zie Tabel II de desbetreffende proeven), mag op grond van vergelijkingen (31) en (32) een groter maximaal selectief af te zuigen debiet worden verwacht, dan bij een kleinere D en grotere $\Delta\rho$. De tendenties gevonden bij de proeven en weergegeven in Fig. 9 zijn hiermee in overeenstemming. Dit in tegenstelling tot de referentieproeven, waarbij de wrijving verwaarloosbaar klein is gesteld.

7.4

De proeven uitgevoerd zonder de afzuigconstructie, geven aan, dat deze constructie geen invloed heeft op de proefresultaten (Fig. 10).

7.5

Bij een aantal proeven is een grindbed aangebracht bij het zoutscherm (par. 6). De gegeven resultaten geven in vergelijking met de referentieproeven zonder grindbed geen verschil te zien (Fig. 11) bij de situatie van selectief afzuigen. Dit zou een gevolg kunnen zijn van het feit dat het grindbed zich hoofdzakelijk daar bevindt, waar de versnellingstermen maatgevend zijn bij de gegeven proefomstandigheden. (Zie par. 3.1.2., het gebied waar a_2 loopt van $2/3 h_r$ naar D.)

Bij de situaties dat zoetwater wordt meegezogen traden er wel enige verschillen op (Fig. 16).

7.6

In het kader van de vormgeving van de onderkant van het zoutscherm zijn een aantal proeven uitgevoerd met een afgeronde onderkant. Als afronding is gekozen een kwart cirkel met een straal van $1/3 D$, zodat de werkelijke opening nog slechts $2/3 D$ bedroeg. (Zie inzet Fig. 12.) Op grond van vergelijking (18) par. 3.1.2. geldt dat voor de situatie $D < 2/3 h_r$ het maximaal selectief af te zuigen debiet onafhankelijk is van de grootte van de spleetopening. In dit geval treedt er namelijk reeds kritische stroming op vóór het zoutscherm. Zodra echter $D \geq 2/3 h_r$ is de afmeting van de spleet wel bepalend voor het maximaal selectief af te zuigen debiet (vgl. 16, par. 3.1.2.). Een en ander betekent dat bij hoge debieten (kritische stroming treedt vóór het scherm reeds op) het er niet toe doet welke waarde men voor de spleethoogte neemt in de dimensieloze grootheden h_r/D en Fi . Het resultaat zal naar verwachting overeenstemmen met het resultaat van de referentieproeven. Bij kleine afzuigdebieten echter zal het bovengenoemde zoutscherm met afgeronde onderkant gaan overeenstemmen met een zoutscherm met scherpe onderkant en een spleethoogte gelijk aan de werkelijke opening ($2/3 D$). In de spleet treedt dan namelijk kritische resp. sub-kritische ($Fi < 1$) stroming op. Voor de bewerking van de meetresultaten van de proeven met kleine debieten zal dan ook niet $D = 6$ cm, maar $D = 2/3 \times 6$ cm moeten worden genomen om overeenstemming met de resultaten van de referentieproeven te verkrijgen. In Fig. 12 (zie ook Fig. 16) is in de betreffende formules voor $D=4$ cm genomen. De overeenkomst tussen de aldus bewerkte resultaten van het afgeronde scherm en die van de referentieproeven bevestigen het bovenstaande. Tot slot zij nog opgemerkt, dat eventuele contractie onder het zoutscherm

slechts dan invloed op het maximaal selectief af te zuigen debiet heeft als onder het zoutscherm sub-kritische stroming optreedt. Daar echter in dat geval het debiet dusdanig klein is, dat bij de beschouwde spleetafmeting er nauwelijks contractie optreedt, kan geconcludeerd worden dat voor de onderzochte situaties een afronding van de onderkant van het zoutscherm met betrekking tot het selectief afzuigen geen betekenis heeft.

Beschouwen we het zoutscherm als een onderdeel van het gehele sluizencomplex, dan moet echter gesteld worden, dat de afronding van de onderkant van het zoutscherm (spleethoogte 6 m met een afrondingsstraal van 2 m, zodat de werkelijke hoogte 4 m is, prototypemaat) de afvoercoëfficiënt in positieve zin beïnvloedt (factor 1,5 x). Dat wil zeggen, dat het verval over sluis en zoutscherm bij een afgeronde onderkant minder hoeft te zijn om hetzelfde debiet te kunnen afzuigen dan bij een zoutscherm met een spleethoogte van 4 m en een scherpe onderkant.

Aangezien verder de sluis met zoutscherm ontworpen is op een spleethoogte van 6 m en een contractiecoëfficiënt van circa 0,65 is het voordeel van een afronding, dat een quasi spleethoogte van 4 m wordt bereikt, zodat tot een grotere diepte selectief kan worden afgezogen zonder de afvoercapaciteit te reduceren.

7.7

Bij de proeven, uitgevoerd met pijlers, geldt hetzelfde als bij het afgeronde scherm:

Indien kritische stroming reeds vóór het zoutscherm optreedt, zijn de meetresultaten onafhankelijk van het al dan niet aanwezig zijn van pijlers in de spleet onder het zoutscherm. Voor de grootheid $Fi = (Q/B.D.)/\sqrt{egD}$ moet dan voor de breedte B de breedte van het toestromingskanaal worden genomen, waarbij een overeenstemming met de referentieproeven zonder pijlers mag worden verwacht (zie Fig. 13). Indien tussen de pijlers kritische of sub-kritische stroming optreedt, zou in de grootheid $Fi = (Q/B.D.)/\sqrt{egD}$ voor B de gesommeerde breedten, gemeten tussen de pijlers moeten worden genomen. Indien de proeven 126, 130 en 131 aldus zouden worden bewerkt, stemmen de resultaten niet overeen met de referentieproeven.

Omdat de kritische afvoer (het nog net selectief afzuigen) in dit geval ook afhankelijk is van de benedenstroomse condities, waarover weinig te zeggen valt, moet een verklaring achterwege blijven. N.B. In figuur 13 is bij de

bewerking van alle proeven voor B de breedte van het toestromingskanaal aangehouden evenals in Fig. 17.

7.8

De meetresultaten van de proeven, waarbij meezuigen van zoetwater uit de bovenlaag optreedt, zijn op dezelfde wijze bewerkt als de proeven met selectief afzuigen ($Q_{\text{zoet}} = 0$).

De resultaten van deze proeven zijn samen met de resultaten van selectief afzuigen ($Q_{\text{zoet}} = 0$) weergegeven in de Fig. 14, 15, 16 en 17.

In Fig. 18 zijn de proefresultaten van de referentieproeven vergeleken met de theoretische benadering betreffende de situatie dat zoetwater wordt meegezogen (zie par. 3.3.). In Fig. 19 zijn de proefresultaten van de referentieproeven eveneens vergeleken met de theoretische benadering gegeven in par. 3.3., maar nu is tevens het niet-uniform zijn van het snelheidsprofiel in rekening gebracht door de factor α . (Vergelijk par. 3.1.2., vgl. 21 en 22.) Voor $\alpha = 1,25$ vindt men een goede overeenkomst.

In Fig. 20 zijn in analogie met Fig. 9 proefresultaten, gevonden bij de situatie met het lange toestromingskanaal ($L = 11,35$ m) vergeleken met de resultaten van de referentieproeven ($L = 1,35$ m).

Uit de meetresultaten van de referentieproeven (Fig. 14) kan afgeleid worden, dat uitgaande van de situatie waarbij nog net selectief afzuigen mogelijk is, en uitgaande van gegeven randcondities h_r , Δp en D een verhoging van het afzuigdebiet met ΔQ een meezuigen van zoetwater tot gevolg heeft, waarbij de hoeveelheid meegezogen zoetwater bij benadering gelijk is aan ΔQ , behalve bij de stap van 0% naar 10% meezuigen, dan is de meegezogen hoeveelheid zoetwater kleiner dan ΔQ . Een mogelijke oorzaak zou kunnen zijn, dat zich bij de situatie van selectief afzuigen een mengzone vormt vlak voor het zoutscherm, welke bij de situatie van zoetwater meezuigen afwezig is (zie in dit verband de definitie van Δp in par. 7.2.).

De theoretische benadering, gedaan in par. 3.3. betreffende de situatie van zoetwater meezuigen, leidt tot dezelfde conclusie als de bovengenoemde, die volgt uit de proeven:

Een toename van het afzuigdebiet, uitgaande van de situatie van selectief afzuigen, met ΔQ , betekent een meezuigen van een hoeveelheid zoetwater gelijk aan ΔQ . (Vergelijk in de figuren 18 en 19 de proefresultaten met de theoretische benadering.)

De tendenties gevonden bij de diverse onderzochte situaties zoals toestromingskanaal ($L = 11,35$), grindbed, pijlers etc. t.o.v. de referentieproeven met selectief afzuigen ($Q_{\text{zoet}} = 0$), worden ook bij de situaties, waarbij zoetwater uit de bovenlaag wordt meegezogen doorgaans teruggevonden. Hierbij diende de resultaten van de referentieproeven met $\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$ als vergelijkingsbasis (Fig. 14).

7.9

Daar de zoutwaterlaagdikte h_r in het reservoir maximaal de waarde van de totale waterdiepte h kan bereiken, kan uitgaande van een gegeven spleethoogte D een maximale waarde voor h_r/D worden bepaald. Voor de resp. proeven, selectief afzuigen met $D = 3$ en 6 cm is dit maximum bij $h = 36 \text{ cm}$ resp. 6 .

Daar de condities van de bovenlaag bij selectief afzuigen (horizontale waterspiegel, snelheid bovenlaag gelijk nul) niet afhankelijk zijn van de zoetwaterlaagdikte, mag worden aangenomen, dat zowel de experimentele als de theoretische lijn uit Fig. 6, welke het verband aangeven tussen Fi en h_r/D , geldig zijn tot de resp. maxima voor h_r/D (zie Fig. 21).

Voor de situaties, waarbij tevens zoetwater uit de bovenlaag wordt meegezogen kan het volgende gesteld worden: Voor hoge waarden van het afzuigdebiet (Q_{totaal}) (grote Fi), zal naar verwachting het dichtheidsverschil tussen onder- en bovenlaag van secundaire betekenis worden met betrekking tot het stroombeeld. Hiervan uitgaande zou verondersteld mogen worden dat onder- en bovenlaag even snel stromen, zodat bijv. bij een 50% meezuigen van zoetwater de bovengrens voor h_r ligt bij 50% van de totale waterdiepte h en bij bijv. 30% meezuigen van zoetwater bij 70% van de totale waterdiepte.

Voor bovenstaande voorbeelden betekent dit, dat bij $h = 36 \text{ cm}$ en $D = 6 \text{ cm}$ bij toenemende Q_{totaal} c.q. Fi , h_r nadert tot $25,2 \text{ cm}$ ($h_r/D \rightarrow 4,2$) bij 30% meezuigen en tot 18 cm ($h_r/D \rightarrow 3$) bij 50% meezuigen. De afwijkingen voor de hogere waarden van Fi van de resultaten voor de situatie van $D = 6 \text{ cm}$ en $\Delta\rho = 2 \text{ kg/m}^3$ t.o.v. de referentieproeven met $\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$ (zie Fig. 14: de resultaten van 30% en 50% zoet meezuigen) zouden het bovenstaande kunnen bevestigen.

7.10

De duurproeven zijn als volgt uitgevoerd. Uitgaande van een gegeven tweelagensysteem is iedere 10 min. het afzuigdebiet verhoogd (Fig. 22 en 23). Tijdens de proef is geen zoetwater aan de bovenlaag in het verkleinde reservoir toegevoegd. De beginomstandigheden (h_r en Q_{totaal}) ware zodanig, dat bij het eerste ingestelde afzuigdebiet geen "kortsluiting" (dit is meezuigen van zoetwater) plaatsvond. Op een bepaald moment is het afzuigdebiet echter zodanig groot dat kortsluiting optreedt. Het gevolg is dat het grensvlak stijgt totdat nog net geen zoetwater meer wordt meegezogen (vergelijk instellen van een permanentie par. 4).

Bij de duurproef met scherp grensvlak doet zich het volgende verschijnsel voor: Tijdens het afzuigen, waarbij Q_{totaal} kleiner is dan het maximaal selectief af te zuigen debiet (Q_c) bij de gegeven omstandigheden, neemt vlak voor het zoutscherm de dikte van de grenslaag toe, er vormt zich een menglaag, welke weer verdwijnt zodra Q_{totaal} ongeveer gelijk wordt aan het maximaal selectief af te zuigen debiet (Q_c). (Fig. 23, 24, foto 1, 2, 3 en 4.) De meetresultaten gevonden voor de situaties waarbij na de debietverhoging in eerste instantie kortsluiting optrad, en die bepaald werd na 10 min., zijn in Fig. 25 vergeleken met de referentieproeven.

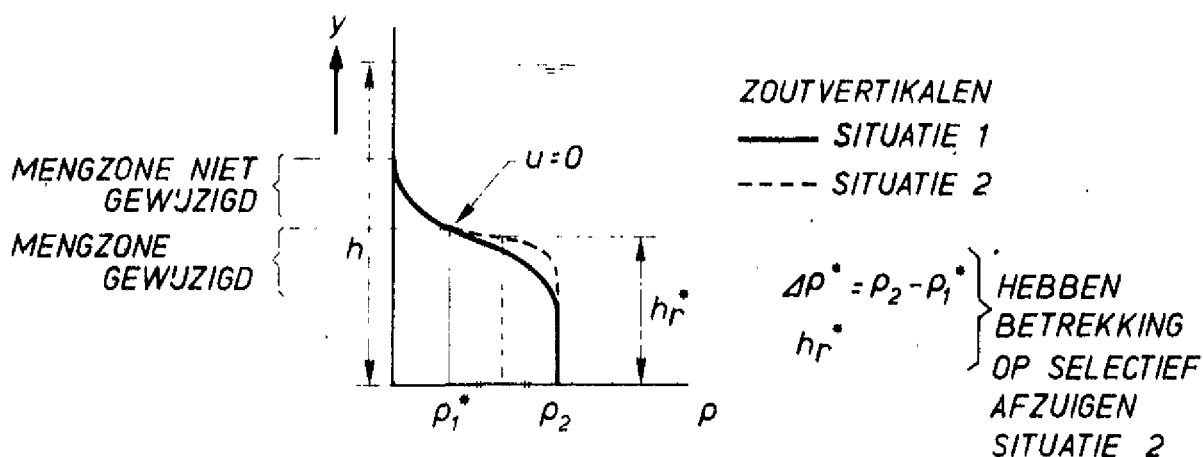
Bij de proeven met een menglaag verdwijnt met toenemend debiet, als gevolg van kortsluiting de menglaag. De grootte van h_r is bepaald vanaf de gootbodembodem tot de 50%-zoutconcentratie (zie definitie grensvlak par. 4 en 7.2.). In Fig. 25 zijn de aldus bewerkte meetresultaten weergegeven (zie ook Tabel II).

Zoals in par. 7.2. is aangegeven, is voor het al dan niet meezuigen van lagen met een lagere zoutconcentratie het dichtheidsverschil $\Delta\rho$ mede bepalend. Daar bij de situatie met mengzone de dichtheidsgradiënt dp/dy bij de overgang van de onderlaag naar de mengzone kleiner is dan bij de situatie met een scherp grensvlak, mag verwacht worden, dat bij de proef met mengzone eerder kortsluiting optreedt (de mengzone wordt in eerste instantie meegezogen), dan bij de situatie met scherp grensvlak. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de onderlaag gemeten vanaf de bodem tot aan het begin van de mengzone in beide situaties gelijk is. Bij de uitgangssituatie van de uitgevoerde proeven was dit bij benadering in het reservoir het geval (zie Fig. 24).

De metingen van de zoutconcentratie van het afzuigdebiet bevestigen het bovenstaande. (Fig. 23.)

Daar de zoutconcentratie van het afzuigdebiet (Fig. 23) voor de proeven met mengzone steeds na 10 min. na de debietverhoging 100% bedraagt, kan de situatie op dat tijdstip als selectief afzuigen worden gekenmerkt. Op grond van het bovenstaande zou nu voor een bewerking van de meetresultaten een kleinere $\Delta\rho$ genomen moeten worden, dan het dichtheidsverschil tussen bodem- en oppervlaktelaag aangeeft.

Voor het bepalen van deze $\Delta\rho = \Delta\rho^*$ zou men als volgt te werk kunnen gaan: Bepaal het punt in de mengzone, waar de snelheid lopende langs de vertikaal nul wordt en bepaal in dat punt de dichtheid ρ_1^* . Als de dichtheid van de bodemlaag ρ_2 is, wordt $\Delta\rho^* = \rho_2 - \rho_1^*$ en wordt $h_r = h_r^*$ gemeten vanaf de bodem tot het punt, waar de dichtheid het gemiddelde is van ρ_2 en ρ_1^* . Voor het bepalen van het punt in de mengzone, waar de snelheid nul is, worden de zoutvertikalen van twee opeenvolgende situaties met elkaar vergeleken.



Uit deze vergelijking kan bepaald worden, welk gedeelte van de mengzone zich heeft gewijzigd na de debietverhoging, c.q. welk gedeelte van de mengzone stroomde bij situatie 2 (zie bijgaande schets) en welk gedeelte niet. De overgang tussen beide genoemde gedeelten is het punt, waar de snelheid in de mengzone gelijk nul is. Een dergelijke bewerking van de proefresultaten geeft de gecorrigeerde resultaten in Fig. 25. De overeenkomst tussen deze gecorrigeerde resultaten van de duurproeven met mengzone en de referentieproeven duiden nog eens op het essentiële belang van de keuze van $\Delta\rho$ en de definitie van h_r c.q. van het grensvlak (par. 7.2).

8 Samenvatting

In de literatuur worden theoretische benaderingen (twee-dimensionaal) en proefresultaten gegeven van het selectief afzuigen van een zoute onderlaag onder een zoete bovenlaag vandaan (par. 3.1.2., [1] , [2]), door middel van een zgn. zoutscherm. Met behulp van de theoretische benadering is het mogelijk om voor een gegeven situatie het zoutscherm optimaal te dimensioneren.

In het onderhavige verslag is een verificatie van deze theorie en de gepubliceerde proeven uitgevoerd. Het uitgevoerde onderzoek stemt overeen met de gepubliceerde proeven (Fig. 8), terwijl er wel een verschil is met de theoretische benadering. Dit verschil kan o.m. verklaard worden door de verwaarlozingen gedaan bij de theoretische benadering (zoals bijv. de niet-uniforme snelheidsverdeling en afwijkingen in de hydrostatische drukverdeling; zie verder par. 7.2.). Deze verwaarlozingen kunnen voor de onderzochte situaties benaderd worden door een constante factor γ . De lengte van het toestromingskanaal naar het zoutscherm is daarbij zodanig klein, dat wrijvingsverliezen mogen worden verwaarloosd. Aldus kan gesteld worden, dat voor de dimensionering van een zoutscherm voor de situatie van selectief afzuigen gebruik gemaakt kan worden van onderstaande formules, mits de condities bij het te dimensioneren zoutscherm liggen binnen het onderzochte gebied (grootte van het af te zuigen debiet etc.) en mits het toestromingskanaal zodanig kort is, dat de wrijving mag worden verwaarloosd.

$$\gamma \quad F_i = \sqrt{2 \left(\frac{h_r}{D} - 1 \right)} \quad \text{voor } D > \frac{2}{3} h_r$$

en

$$\gamma \quad F_i = \frac{2}{3} \frac{h_r}{D} \sqrt{\frac{2}{3} \frac{h_r}{D}} \quad \text{voor } D < \frac{2}{3} h_r$$

waarin

$$F_i : F_i = \frac{q_c / D}{\sqrt{\epsilon g D}}$$

D : spleethoogte

q_c : maximaal selectief af te zuigen debiet per m. breedte

$$\epsilon : \epsilon = \frac{\Delta \rho}{\rho_c}$$

$$\Delta \rho : \Delta \rho = \rho_2 - \rho_1$$

ρ_1 : dichtheid bovenlaag

ρ_2 : dichtheid onderlaag

h_r : laagdikte zoute onderlaag op grote afstand vóór het zoutscherm

γ : correctiefactor, vanwege de verwaarlozingen

Op grond van de gepubliceerde proefresultaten en het huidige onderzoek mag voor het door het onderzoek bestreken gebied (qua F_i en h_p/D) de factor γ op 1,25 worden gesteld voor een korte aanstroomb lengte (zie Fig. 7).

De invloed van de wrijving in het geval van een zoutscherm met toestromingskanaal zou in eerste benadering kunnen worden afgeschat met behulp van vergelijkingen (31) en (32), par. 3.1.3. en opgenomen kunnen worden in de factor γ . In appendix III is een afchatting gemaakt voor de invloed van de wrijving in de prototype situatie bij de Oosterscheldedam, uitgedrukt in een factor γ_1 . Deze berekende factor blijkt een waarde van circa 1,4 te hebben. De proeven met overeenkomstige condities ($D = 6$ cm, $\Delta\rho = 20$ kg/m³) in vergelijking tot de referentieproeven, waarbij de wrijving mag worden verwaarloosd (Fig. 9) geven voor $\gamma_1 \approx 1,2$.

Het lijkt redelijk laatstgenoemde waarde voor het prototype aan te houden. In appendix II is een meer nauwkeurige methode aangegeven voor het in rekening brengen van de invloed van de wrijving op het selectief afzuigen. Daar in het prototype een menglaag verwacht mag worden, dient men bij het gebruik van bovenstaande formules bovendien een kleinere $\Delta\rho$ te hanteren, dan die welke het dichtheidsverschil tussen bodem- en oppervlaktelaag aangeeft. In bovenstaande γ -waarde, gelijk 1,25 is de invloed van de menglaag verwerkt voor een menglaagdikte van 1 cm model, dit is 1 m in het prototype. Indien echter in het prototype een beduidend grotere menglaag mag worden verwacht, moet hiermee rekening worden gehouden door een kleinere $\Delta\rho$ -waarde in de formules in te voeren, hetgeen betekent dat als gevolg van de menglaag tot een kleinere diepte selectief kan worden afgezogen dan bij een scherp grensvlak (par. 7.10). Een en ander kan wederom in de factor γ worden meegenomen, terwijl voor $\Delta\rho$ dan wel het verschil in dichtheid tussen bodem- en oppervlaktelaag wordt gehanteerd. Stel bijv. dat men vanwege de mengzone voor $\Delta\rho$ in de bovenstaande vergelijkingen $0,75 \Delta\rho$ moet substitueren. Dit komt in bovenstaande vergelijkingen overeen met $\gamma_2 = 1/\sqrt{0,75} = 1,15$.

Samenvattend kan gesteld worden dat voor een eerste dimensionering van het zoutscherm bij de Oosterscheldedam uitgegaan kan worden van bovenstaande formules, waarbij

$$\gamma = \gamma_0 \gamma_1 \gamma_2$$

waarin γ_0 : factor, die de invloed weergeeft van de diverse verwaarlozingen zoals het niet-uniforme snelheidsprofiel en de kromming van de stroomlijnen bij een kort toestromingskanaal, en een beperkte menglaag (γ_0 is van de orde 1,25).

- γ_1 : factor, die een eerste afschatting is van de invloed van de wrijving in het toestromingskanaal. (Zie appendix II.)
- γ_2 : een factor is, welke bepaald wordt door de dikte van de menglaag

terwijl de omstandigheden niet buiten het onderzochte gebied qua F_i en h_r/D -waarde mogen liggen.

Uit het gedane onderzoek blijkt, dat een bodembescherming ter plaatse van het zoutscherm tot op 100 m ervoor geen consequenties heeft voor het selectief afzuigen. Een afgeronde onderkant van het zoutscherm, heeft voor de onderzochte situaties wat betreft het selectief afzuigen geen betekenis, indien de netto hoogte als D in de formules wordt gehanteerd. Gezien als onderdeel van het gehele sluizencomplex (sluis en zoutscherm) betekent een afronding echter een verbetering in de afvoercoëfficiënt van het sluizencomplex als geheel (zie verder par. 7.6.). Het aanbrengen van pijlers onder het zoutscherm, blijkt bij de uitgevoerde proeven geen invloed op het maximaal selectief af te zuigen debiet te hebben bij de diverse randcondities (c.q. bij de gegeven verhouding van pijlerafmeting ten opzichte van openingsbreedte tussen de pijlers).

Binnen het in dit verslag beschouwde gebied qua randcondities (zoals afzuigdebiet, grote van de zoutwaterlaag etc.) blijkt dat bij verhoging van het afzuigdebiet, uitgaande van de situatie van nog net selectief afzuigen, een hoeveelheid zoetwater uit de bovenlaag wordt meegezogen, die bij benadering gelijk is aan de toename van het debiet, gemeten t.o.v. het kritieke afzuigdebiet, geldend voor selectief afzuigen. Hierbij wordt uitgegaan van een scherp grensvlak (dikte mengzone circa 1 cm modelmaat).

Appendix I

Bepaling interne schuifspanningscoëfficiënt λ_i

Voor de bepaling van de interne schuifspanningscoëfficiënt λ_i met behulp van het gemeten verhang van het grensvlak bij de proeven met toestromingskanaal, wordt van de volgende formules gebruik gemaakt (twee-dimensionaal):
 Bewegingsvergelijking onderlaag:

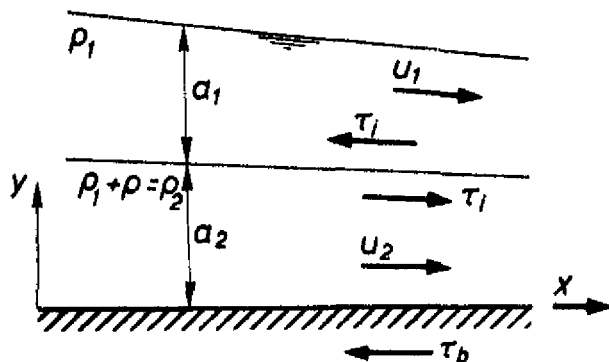
$$u_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} + g \frac{\partial (a_1 + a_2)}{\partial x} - \frac{\Delta \rho}{\rho_2} g \frac{\partial a_1}{\partial x} = - \frac{(\tau_b + \tau_i)}{\rho_2 a_2} - \frac{2 \tau_w}{\rho_2 B} \quad (I.1)$$

bewegingsvergelijking bovenlaag:

$$g \frac{\partial (a_1 + a_2)}{\partial x} = + \frac{\tau_i}{\rho_1 a_1} \quad (I.2)$$

- waarin
- a_1, a_2 : resp. laagdikten van boven- en onderlaag
 - u_1, u_2 : resp. hor. snelheidscomponenten van boven- en onderlaag
 - τ_b : bodemschuifspanning
 - τ_w : wandschuifspanning
 - τ_i : grensvlakschuifspanning
 - B : breedte beschouwde rechthoekige kanaal (goot)
 - g : zwaartekrachtversnelling
 - ρ_2 : dichtheid onderlaag
 - ρ_1 : dichtheid bovenlaag
 - $\Delta \rho$: $\Delta \rho = \rho_2 - \rho_1$

In bovenstaande vergelijkingen is uitgegaan van een permanente stromingstoestand, terwijl $u_1 = 0$ en τ_w voor de bovenlaag gelijk nul is.



Definitieschets voor vgl. I.1 en I.2

Door vergelijking I.2 af te trekken van vergelijking I.1 vindt men

$$u_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} - \frac{\Delta \rho}{\rho_2} g \frac{\partial a_1}{\partial x} = - \frac{(\tau_b + \tau_i)}{\rho_2 a_2} - \frac{2\tau_w}{\rho_2 B} - \frac{\tau_i}{\rho_1 a_1} \quad (I.3)$$

Stel nu: $a = a_1 + a_2$ is bij benadering constant, zodat geldt

$$\frac{\partial a}{\partial x} = 0 \quad (I.4)$$

en definieer

$$\tau_b = \frac{1}{8} \lambda_b \rho_2 (\bar{u}_2)^2 \quad (I.5)$$

$$\tau_i = \frac{1}{8} \lambda_i \rho_{1,2} (\bar{u}_2)^2 \quad (I.6)$$

$$\tau_w = \frac{1}{8} \lambda_w \rho_2 (\bar{u}_2)^2 \quad (I.7)$$

waarin $\lambda_b, \lambda_i, \lambda_w$: de resp. schuifspanningscoëfficiënten

\bar{u}_2 : gemiddelde snelheid over de onderlaag

$\rho_{1,2}$: dichtheid van boven- of onderlaag ($\rho_1 \approx \rho_2$ in de situatie van een zout-zoetgelaagdheid).

Substitueer vergelijking (I.4) tot en met (I.7) in vergelijking (I.3):

$$u_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} + \frac{\Delta \rho}{\rho_2} g \frac{\partial a_2}{\partial x} = \bar{u}_2^2 \left\{ - \frac{1}{8} \frac{\lambda_b}{a_2} - \frac{1}{8} \lambda_i \frac{a_1 + a_2}{a_1 a_2} - \frac{2}{8} \frac{\lambda_w}{B} \right\} \quad (I.8)$$

Verder geldt:

$$\lambda_b = \lambda_w = \frac{8g}{c^2} \quad (I.9)$$

met
$$c = 18 \log \frac{12R}{k + 0,3\delta} \quad (I.10)$$

waarin C : Chézy-coëfficiënt

R : hydraulische straal

k : k -waarde van bodem- en wandmateriaal (in het onderhavige geval van perspex)

δ : dikte laminaire sublaag

terwijl voor δ en R resp. wordt gesteld

$$\delta = \frac{11,6 \nu}{\sqrt{gRI'}}$$

$$R = \frac{B \cdot \frac{2}{3} \cdot a_2}{B + \frac{2}{3} \cdot 2 \cdot a_2}$$

waarin I' : drukgradiënt (verhang piëzometrisch niveau): $I' = \epsilon I$
 I : verhang grensvlak (gemeten)
 ϵ : $\epsilon = \frac{\Delta p}{\rho_2}$
 ν : $\nu = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}$ (bij 15°C)
 k : $k = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}$
 g : $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Bij de definitie van de hydraulische straal, wordt ervan uitgegaan, dat de snelheid in de onderlaag maximaal is op $2/3 a_2$ gemeten vanaf de bodem (dit is waar $\partial u/\partial y = 0$ of de schuifspanning gelijk nul is). Dit punt is derhalve te vergelijken met een vrije waterspiegel (zie hieronder). De invloed van de ligging van dit maximum op λ_i is vrij gering.

Voor de berekening van λ_i , kan vergelijking (I.8) nog omgewerkt worden tot:

$$\lambda_i = \frac{8\bar{a}_1 \bar{a}_2}{(\bar{a}_1 + \bar{a}_2)} \left\{ - \frac{\bar{u}_2 \left(\frac{\partial \bar{u}_2}{\partial x} \right) + \epsilon g \left(\frac{\partial \bar{a}_2}{\partial x} \right)}{(\bar{u}_2^2)} - \frac{1}{4} \frac{\lambda_w}{B} - \frac{1}{8} \frac{\lambda_b}{\bar{a}_2} \right\}$$

waarin $\bar{\quad}$: waarde gemiddeld over het traject, waarover het verhang $\frac{\partial a_2}{\partial x} = I$ is gemeten.

De resultaten zijn vergeleken met de resultaten gevonden in de literatuur voor een stilstaande zouttong. Deze vergelijking is gekozen vanwege de overeenkomst in stromingstoestand. In beide situaties staat één laag stil. Daar bij de stilstaande zouttong het verloop van de schuifspanning van een waarde τ_i bij het grensvlak lineair naar 0 loopt aan het wateroppervlak en bij het selectief afzuigen van een waarde τ_i op het grensvlak naar een waarde 0 op $2/3 a_2$ vanaf de bodem ($\frac{\partial u}{\partial y} = 0$ op $2/3 a_2$ vanaf de bodem, zie bovenstaande aanname, gebaseerd op het feit dat doorgaans de $\tau_i = 1/2 \tau_b$), wordt voor de grootheid H in het getal van Reynolds $Re = \frac{u_* H}{\nu}$ bij de

stilstaande zouttong de laagdikte van de bovenlaag genomen en bij het selectief afzuigen $1/3 a_2$. (Beschouwd wordt een twee-dimensionale toestand of wel een oneindig breed kanaal, zodat de hydraulische straal gelijkgesteld kan worden aan een dieptemaat: $R = H$.) Voor het Reynolds-getal bij selectief afzuigen wordt nu geschreven

$$Re = \frac{u_2 \cdot 1/3 a_2}{\nu}$$

daar $u_2 \cdot a_2 = q_2$, geldt $Re = \frac{1/3 q_2}{\nu}$

In Fig. 26 zijn de berekende waarden van λ_i als boven aangegeven uitgezet tegen $Re = \frac{1/3 q_2}{\nu}$, waarin q_2 het afzuigdebiet per m breedte is. (Zie voor de berekende waarden Tabel V.) De proeven 57, 159 en 172 geven een berekende λ_b -waarde, die volgens Fig. 27 (zie [4]), in het overgangsg gebied ligt van laminair naar turbulent. Op grond hiervan wordt aangenomen dat de λ_b niet betrouwbaar kan worden berekend en derhalve ook λ_i niet.

Appendix II

Dimensionering zoutscherm bij het in rekening brengen van wrijvingsverliezen in het toestromingskanaal

1 Inleiding

In het onderstaande wordt een methode aangegeven, hoe uitgaande van een gegeven spleethoogte D , een dichtheidsverschil $\Delta\rho$, een af te zuigen debiet, een lengte van een toestromingskanaal L naar het zoutscherm en bij bekende waarden van λ_i en λ_b (schuifspanningscoëfficiënt voor grensvlak en bodem en/of wand), de grootte van de zoutwaterlaagdikte h_r op grote afstand van het zoutscherm kan worden bepaald, waarbij nog net selectief onttrekken mogelijk is. De grootte van h_r op grote afstand van het zoutscherm (dit is daar waar de snelheden ~ 0 zijn) kan berekend worden met behulp van een verhanglijnenberekening, indien nabij of ter plaatse van het zoutscherm de laagdikte van de onderlaag, in het vervolg aangeduid met h_s , bekend is.

2 Bepaling h_s

Uit de theoretische benadering par. 3 waarbij wrijving wordt verwaarloosd blijkt, dat er zich twee situaties kunnen voordoen:

$$D > \frac{2}{3} h_r \quad \text{en} \quad D < \frac{2}{3} h_r.$$

Indien $D > \frac{2}{3} h_r$ geldt bij selectief afzuigen dat $Fri \leq 1$ ter plaatse van het zoutscherm. Indien $D < \frac{2}{3} h_r$ geldt dat op enige afstand voor het scherm een waarde van $Fri = 1$ optreedt. (Voor de definitie van Fri , zie vgl. II.1.)

In aansluiting hierop wordt voor een gegeven debiet Q_{totaal} , breedte van het zoutscherm (= breedte toestromingskanaal) en $\Delta\rho$ c.q. $\varepsilon = \frac{\Delta\rho}{\rho_2}$ nagegaan hoe groot de laagdikte van de onderlaag (a_2) moet zijn, opdat

$$Fri = \frac{Q_{\text{totaal}}/B \cdot a_2}{\sqrt{\varepsilon g a_2}} = 1 \quad (\text{II.1})$$

In analogie met het bovenstaande kunnen zich twee mogelijkheden voordoen:

$$a_2 \leq D \quad \text{of} \quad a_2 > D$$

Indien $a_2 \leq D$, zal bij selectief afzuigen voor een punt onder het zoutscherm gelden $F_i \leq 1$ (F_i betrokken op de spleethoogte D).

Voor de grootte van h_s wordt dan geschreven

$$h_s = a_2 = D$$

Indien $a_2 > D$ zal bij selectief afzuigen op korte afstand voor het scherm $F_{ri} = 1$ optreden. Voor h_s wordt dan geschreven: $h_s = a_2$ geldend vóór het zoutscherm, waar $F_{ri} = 1$.

3 Verhanglijnen berekening

Voor de bepaling van h_r wordt de verhanglijn van het grensvlak berekend, waarbij wordt uitgegaan van vergelijking (I.8) uit appendix I:

$$u_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} + \frac{\Delta \rho}{\rho_2} \quad g \quad \frac{\partial a_2}{\partial x} = u_2^2 \left\{ -\frac{1}{8} \frac{\lambda_b}{a_2} - \frac{1}{8} \lambda_i \frac{a_1 + a_2}{a_1 a_2} - \frac{2}{8} \frac{\lambda_w}{B} \right\} \quad (\text{II.2})$$

Verwaarlozen we de wandwrijving en stellen we

$a_1 \gg a_2$, dan geldt

$$u_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} + \frac{\Delta \rho}{\rho_2} \quad g \quad \frac{\partial a_2}{\partial x} = -\frac{u_2^2}{8 a_2} \left\{ \lambda_b + \lambda_i \right\} \quad (\text{II.3})$$

Stel verder : $u_2 = q_2 / a_2$ (II.4)

$$\lambda_{\text{tot}} = \lambda_b + \lambda_i \quad (\text{II.5})$$

Substitutie van vergelijkingen (II.4) en (II.5) in vergelijking (II.3) geeft dan

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{q_2^2}{2 a_2^2} \right) = -\frac{\Delta \rho}{\rho_2} \quad g \quad \frac{d a_2}{dx} - \frac{q_2^2}{3 a_2^3} \frac{\lambda_{\text{tot}}}{8} \quad (\text{II.6})$$

Daar q_2 onafhankelijk van x is, geldt:

$$-\frac{q_2^2}{3 a_2^3} \frac{d a_2}{dx} = -\epsilon \quad g \quad \frac{d a_2}{dx} - \frac{q_2^2}{3 a_2^3} \frac{\lambda_{\text{tot}}}{8} \quad (\text{II.7})$$

$$\text{of} \quad \frac{da_2}{dx} = - \frac{q_2^2 \lambda_{\text{tot}}}{8 a_2^3} \left/ \left(\epsilon g - \frac{q_2^2}{a_2^3} \right) \right. \quad (\text{II.8})$$

Partieel integreren geeft dan:

$$\begin{aligned} \left(\frac{a_2^3}{3} \epsilon g - \frac{q_2^2}{2} \right) da_2 &= - \frac{q_2^2 \lambda_{\text{tot}}}{8} dx \\ \epsilon g \frac{a_2^4}{4} \Big|_1^2 - q_2^2 a_2 \Big|_1^2 &= - \frac{q_2^2}{8} \lambda_{\text{tot}} x \Big|_1^2 \end{aligned} \quad (\text{II.9})$$

waarbij geïntegreerd wordt van een punt 1, waar geldt: $x = 0$ en

$$a_2 = h_m$$

naar een punt 2, waar geldt: $x = x$ en

$$a_2 = h_s$$

Vergelijking (II.8) wordt dan:

$$\epsilon g \left(\frac{h_s^4}{4} - \frac{h_m^4}{4} \right) - q_2^2 (h_s - h_m) = - \frac{q_2^2}{8} \lambda_{\text{tot}} x$$

of wel

$$x = - \frac{2\epsilon g}{q_2^2 \lambda_{\text{tot}}} \left(h_s^4 - h_m^4 \right) + \frac{8}{\lambda_{\text{tot}}} (h_s - h_m) \quad (\text{II.10})$$

In bovenstaande vergelijking (II.10) schrijft men voor x de lengte van het toestromingskanaal, terwijl h_m de laagdikte is ter plaatse van de overgang van reservoir ($u_2 = 0$) naar toestromingskanaal waar $u_2 \neq 0$.

Voor de bepaling van h_r moet dus bij h_m nog de snelheidshoogte worden opgeteld:

$$h_r = h_m + \frac{q_2^2 / h_m^2}{2 \epsilon g} \quad (\text{II.11})$$

4 Rekenvoorbeeld

Gegeven : - totale waterdiepte $h = 36$ m

- spleethoogte zoutscherm $D = 6$ m

- dichtheidsverschil tussen bodem- en oppervlaktelaag:

$$\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3 \quad (\varepsilon = 0,02)$$

- versnelling zwaartekracht $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- lengte toestromingskanaal $L = 1000 \text{ m}$
- viscositeit $\nu = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}$

Stel : ruwheid C (Chézy-waarde) = $60 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ zodat $\lambda_b = 8g/C^2 = 0,0218$

Stel breedte toestromingskanaal zodanig groot, dat λ_w/B (vgl. II.2) verwaarloosbaar klein is.

Stel af te zuigen debiet $q = 10 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}'$

$$\text{Dan } Re = \frac{1/3 q}{\nu} \approx 3.000.000 = 3 \cdot 10^6$$

Volgens Fig. 26: $k_i = 4 \cdot 10^{-4}$, dus $\lambda_i = 3,2 \cdot 10^{-3}$.

Bepaling h_s

$$Fr_i = \frac{10/a_2}{\sqrt{0,02 \cdot 9,81 \cdot a_2}} = 1$$

$$a_2^3 = 509,68$$

$$\text{dus } a_2 = 7,98 \text{ m}$$

$$\text{zeg } a_2 = 8 \text{ m} > D$$

dus $h_s = 8 \text{ m}$.

Bepaling h_m

Stel in vergelijking (II.10): $\lambda_{\text{tot}} = \lambda_b + \lambda_i = 0,025$

Na substitutie van bovenstaande gegevens, wordt vergelijking (II.10):

$$1000 = -643,07 + 0,157 h_m^4 + 2560 - 320 h_m$$

$$\text{of } 0,157 h_m^4 - 320 h_m + 916,93 = 0$$

Proberenderwijs blijkt $h_m \approx 11,60$ (op 10 cm naar boven afgerond).

Bepaling h_r

$$h_r = 11,60 + 1,90 = 13,50 \text{ m}.$$

Op deze wijze is voor vorenstaande basisgegevens zoals h , D , $\Delta\rho$, C , L en onder verwaarlozing van de term λ_w/B één en ander uitgerekend voor een aantal debieten.

Door de resultaten te vergelijken met de theoretische benadering voor de situatie zonder wrijving (vgl. 16 en 18, par. 3.1.2.) kan nagegaan worden in hoeverre het verschil tussen deze theoretische benadering en de berekende resultaten door een factor γ_1 kunnen worden benaderd. γ_1 wordt gedefinieerd door

$$\gamma_1 \text{ Fi} = \sqrt{2\left(\frac{h_r}{D} - 1\right)} \quad \text{voor } D > \frac{2}{3} h_r \quad (\text{II.12})$$

$$\text{en } \gamma_1 \text{ Fi} = \frac{2}{3} \frac{h_r}{D} \sqrt{\frac{2}{3} \frac{h_r}{D}} \quad \text{voor } D < \frac{2}{3} h_r \quad (\text{II.13})$$

(Vergelijk appendix III.)

Eén en ander wordt in onderstaande tabel weergegeven:

$q \left[\text{m}^3/\text{s.m}' \right]$	$\text{Fi} = \frac{q/D}{\sqrt{\epsilon g D}}$	h_r/D	γ_1
5	0,77	1,49	1,28
10	1,54	2,25	1,19
15	2,30	2,89	1,16
20	3,07	3,45	1,13
25	3,84	3,97	1,12
30	4,61	4,46	1,11

Uit het bovenstaande blijkt dat voor de beschouwde situatie de invloed van de wrijving met $\gamma_1 \approx 1,2$ kan worden weergegeven. Volgens appendix III geven vergelijkingen (31) en (32), par. 3.1.3. als eerste benadering voor de invloed van de wrijving voor dezelfde situatie als boven beschouwd een waarde voor $\gamma_1 = 1,4$, terwijl de proefresultaten met een lange goot t.o.v. de proefresultaten met een korte goot een $\gamma_1 \approx 1,2$ geven (zie verder appendix III).

Appendix IIIAfschatting invloed wrijving in het prototype

Voor een eerste afschatting van de wrijving in het prototype, zou kunnen worden uitgegaan van vergelijkingen (31) en (32).

Benoem:

$$\sqrt{1 + c_1^* \frac{g}{c^2} \frac{x}{h_r}} = \gamma_1 \quad (\text{III.1})$$

Vergelijkingen (31) en (32) zijn dan te herschrijven als

$$\gamma_1 \quad \text{Fi} = \sqrt{2 \left(\frac{h_r}{D} - 1 \right)} \quad \text{voor } D > \frac{2}{3} h_r \quad (\text{III.2})$$

(zie ook vgl. 21, par. 3.1.2.)

en

$$\gamma_1 \quad \text{Fi} = \frac{2}{3} \frac{h_r}{D} \sqrt{\frac{2}{3} \frac{h_r}{D}} \quad \text{voor } D < \frac{2}{3} h_r \quad (\text{III.3})$$

(zie ook vgl. 22, par. 3.1.2.)

Met behulp van vergelijkingen (III.2) en (III.3) zou voor een gegeven situatie, waarvoor γ_1 een constante grootte is, een zoutscherm kunnen worden gedi-mensioneerd.

Uit vergelijkingen (24), (25) en (26) (par. 3.1.3.) is af te leiden, dat $\frac{c^*}{h_r^3}$ in vergelijking 26 geschreven kan worden als

$$\frac{c^*}{h_r^3} = \frac{3a_1 + a_2}{2a_1 a_2} \frac{1}{a_2^2} \quad (\text{III.4})$$

Verder kan gesteld worden dat:

$$a_2 \leq h_r \rightarrow \text{benader } a_2 \approx h_r$$

en

$$a_1 < h \text{ (totale waterdiepte)} \rightarrow \text{benader } a_1 \approx h$$

Stel verder $D \approx \frac{2}{3} h_r$.

Uitgaande van de situatie dat

$$D = 6 \text{ m (prototype maat)}$$

$$h = 36 \text{ m}$$

geeft substitutie van

$$a_2 = h_r$$

$$a_1 = h = 6 D = 4 h_r \text{ in vergelijking (III.4) voor } C^*$$

$$C^* = 1,625.$$

Uit vergelijkingen (29) en (30) blijkt voorts, dat

$$C_1^* = 2 C^* = 3,25.$$

Stel dat in het prototype verder geldt

$$x = 1000 \text{ m}$$

$$C = 60 \text{ m}^{1/2}/\text{s} \text{ (Chézy-waarde)}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

en schrijft men $h_r = 1,5 D = 9 \text{ m}$ (zie benadering hier boven)

dan wordt $\gamma_1 = 1,4$.

Voor de proeven met $D = 6 \text{ cm}$ en $\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$, uitgevoerd met een toestromingskanaal, lengte circa 10 m kan eenzelfde afschatting van γ_1 worden gegeven. Daar de eigen-ruwheid van het model zodanig klein is, dat daarvoor eveneens een Chézy-waarde gelijk $60 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ genomen mag worden, geldt ook voor het model $\gamma_1 = 1,4$.

Door de proefresultaten, geldend voor bovenstaande omstandigheden in Fig. 9 te vergelijken met de referentieproeven, vindt men een experimentele waarde voor γ_1 . Deze blijkt in orde van grootte 1,2 te zijn.

Bovenstaande berekening geeft dus een te grote waarde van γ_1 . Het lijkt redelijk de waarde van het modelonderzoek namelijk $\gamma_1 = 1,2$ aan te houden, zodat voor het zoutscherm met toestromingskanaal geldt:

$$\gamma = \gamma_0 \cdot \gamma_1 = 1,25 \cdot 1,2 = 1,5$$

REFERENTIES

1. Harleman, D.R.F., Gooch, R.S. and Ippen, A.T., Submerged sluice control of stratified flow, Proc. A.S.C.E. vol. 84, no. HY2, April, 1958.
2. Harleman, D.R.F. and Elder, R.A., Withdrawal from two-layer stratified flows, Proc. A.S.C.E., vol. 91, no. HY4, July, 1965.
3. Ippen, A.T., Harleman, D.R.F., Steady-state characteristics of sub-surface flow, "Gravity Waves", National Bureau of Standards Circular 521, November 28, 1952, p.p. 79-94.
(Nader toegelicht in W.L. informatie V 148).
4. Waterloopkundig Laboratorium, "Uitwisselingsstromen bij schutsluizen, Verband tussen grensvlak-schuifspanningscoëfficiënt en getal van Reynolds", M 772, Waterloopkundig Laboratorium, Delft, april 1968.
5. Schönfeld, J.C., T.H. Delft, college dictaat, 1965.
6. Abraham, G., International Course in hydraulic engineering, reference note 1970-71, DIST 5, Delft Hydraulics Laboratory, Delft.
7. Vreugdenhil, C.B., Informatieblad no. V204, Afd. dichtheidsstromen, code 19.40, "Wrijvingscoëfficiënten op het grensvlak van een twee-lagenstelsel, Waterloopkundig Laboratorium, Delft, november 1971.
8. Lases, W.B.P.M., "De grootte van de coëfficiënt van interne wrijving bij een twee-lagensysteem", rapport W73-016, Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst, R.W.S., (in voorbereiding).
9. Ippen, A.T. en D.R.F. Harleman - Steady state characteristics of sub-surface flow, Symposium "Gravity Waves", Nat. Bur. Standards Circ. 521, 1952, 79-94.
10. Lanzoni, G. - Correnti di densità; contributo allo studio sperimentale del cuneo d'intrusione di acqua salata, Energia Elettrica 1959 no. 10, 877-882.

REFERENTIES (vervolg)

11. Riddell, J.F. - Densimetric exchange flow in rectangular channels, IV. The arrested saline wedge, La Houille Blanche 25, 4 (1970) 317-329.
12. Hendrikse, M. - The effect of resistance bars upon an arrested salt wedge, Master of Science Thesis M.I.T. 1965, Speurwerkverslag S57 W.L.
13. Zanotti, A. - Il cuneo salino nei canali con sfocio in mare, Energia Elettrica 1965 no. 7, 462-473.
14. Boulot, F. en A. Daubert - Modèle mathématique de la salinité sous une forme stratifiée en regime non-permanent, 13 th Congress IAHR, Kyoto 1969, paper C 38.
15. Keulegan, G.H. - The mechanism of an arrested saline wedge, in Ippen (ed). Estuary and coastline hydrodynamics, Mc Grawhill, New York, 1966.

TABEL I

Proefoverzicht

L [m]	D [cm]	$\Delta\rho$ [kg/m ³] (orde grootte)	bijzonderheden	proefnummer
1,35	3,1	20	referentieproeven	1 - 27
1,35	6,1	20	referentieproeven	28 - 47
1,35	3,1	20	proeven zonder afzuigconstr.	48 - 51
1,35	6,1	20	proeven zonder afzuigconstr.	52 - 56
11,35	3,1	20	geen	57 - 77
1,35	3,1	2	referentieproeven	78 - 83
1,35	6,1	2	referentieproeven	84 - 99
1,35	6,1	20	proeven met grindbed	100 - 111
1,35	6,1	20	proeven met afgerond scherm	112 - 125
1,35	6,1	20	proeven met pijlers	126 - 138
1,35	6,1	20	duurproeven met scherp grensvlak	139 - 148
1,35	6,1	20	duurproeven met menglaag	149 - 158
11,35	6,1	2	geen	159 - 171
11,35	6,1	20	geen	172 - 179

TABEL II

Meetresultaten

proef- nr.	D [cm]	ϵ	Q_{totaal} [$10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$]	Q_{zoet} [$10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$]	bezo waarneming ²⁾			Fi = ¹⁾ $\frac{Q/B \cdot D}{\epsilon g D}$	$\frac{h_r}{D}$
					zee h_r [cm]	mond a_m [cm]	scherm a_s [cm]		
1	3,1	0,018	1,0	0,0	4,9	4,1		0,65	1,58
2	3,1	0,018	1,0	0,1	4,05	3,25		0,65	1,31
3	3,1	0,018	1,0	0,2	3,45	3,1		0,65	1,11
4	3,1	0,018	1,0	0,3	3,05	2,7		0,65	0,98
5	3,1	0,018	1,0	0,5	2,6	2,2		0,65	0,84
6	3,1	0,018	2,0	0,0	6,5	5,65		1,30	2,10
7	3,1	0,019	2,0	0,0	6,75	5,4		1,26	2,18
8	3,1	0,019	3,0	0,0	8,65	6,95		1,89	2,79
9	3,1	0,019	3,0	0,3	7,3	5,45		1,89	2,35
10	3,1	0,019	3,0	0,6	6,9	5,15		1,89	2,23
11	3,1	0,018	3,0	0,9	6,4	4,75		1,95	2,06
12	3,1	0,018	3,0	1,5	5,25	4,05		1,95	1,69
13	3,1	0,018	5,0	0,0	12,0	10,0		3,24	3,87
14	3,1	0,019	5,0	0,0	11,65	9,7		3,16	3,76
15	3,1	0,019	5,0	0,5	9,9	7,2		3,16	3,19
16	3,1	0,018	5,0	1,0	9,25	6,85		3,24	2,98
17	3,1	0,018	5,0	1,5	8,55	6,2		3,24	2,76
18	3,1	0,017 ⁵	5,0	2,5	7,25	5,65		3,29	2,34
19	3,1	0,017	6,0	0,0	13,65	11,1		4,00	4,40
20	3,1	0,017	7,0	0,0	14,75	11,95		4,67	4,76
21	3,1	0,019	7,0	0,0	14,45	12,4		4,42	4,66
22	3,1	0,019	7,0	0,7	12,5	9,3		4,42	4,03
23	3,1	0,019	7,0	1,4	11,5	8,55		4,42	3,71
24	3,1	0,018	7,0	2,1	10,85	8,45		4,54	3,50
25	3,1	0,018	7,0	3,5	9,2	5,7		4,54	2,96
26	3,1	0,017	8,0	0,0	16,6	13,75		5,34	5,35
27	3,1	0,019	8,0	0,0	16,1	13,6		5,05	5,19
28	6,1	0,019	1,0	0,0	6,7	6,4		0,23	1,10
29	6,1	0,019	1,0	0,1	5,75	5,6		0,23	0,94
30	6,1	0,019	1,0	0,2	5,35	5,2		0,23	0,88

1) Voor Q wordt Q_{totaal} gesubstitueerd.

2) Bezo staat voor beweegbare zoutopnemer (zie Fig. 4 en par. 4).

TABEL II (vervolg)

proef- nr.	D [cm]	ϵ	Q_{totaal} [$10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$]	Q_{zoet} [$10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$]	bezo waarneming			Fi = $\frac{Q/B.D}{\epsilon g D}$	$\frac{h_r}{D}$
					zee h_r [cm]	mond a_m [cm]	scherm a_s [cm]		
31	6,1	0,019	1,0	0,3	4,9	4,8		0,23	0,80
32	6,1	0,019	1,0	0,5	4,0	3,9		0,23	0,66
33	6,1	0,019	2,0	0,0	7,4	6,2		0,46	1,21
34	6,1	0,019	3,0	0,0	8,75			0,69	1,43
35	6,1	0,020	3,0	0,0	8,6	7,25		0,66	1,41
36	6,1	0,020	3,0	0,3	7,35	5,8		0,66	1,20
37	6,1	0,020	3,0	0,6	6,7	5,0		0,66	1,10
38	6,1	0,020	3,0	0,9	6,2	4,55		0,66	1,02
39	6,1	0,020	3,0	1,5	5,05	3,75		0,66	0,83
40	6,1	0,019	5,0	0,0	11,75	9,75		1,14	1,93
41	6,1	0,019	5,0	0,0	11,85	10,1		1,14	1,94
42	6,1	0,019	5,0	0,5	9,8	7,2		1,14	1,61
43	6,1	0,019	5,0	1,0	9,1	6,5		1,14	1,49
44	6,1	0,019	5,0	1,5	8,25	6,0		1,14	1,35
45	6,1	0,019	5,0	2,5	6,6	5,2		1,14	1,08
46	6,1	0,019	7,0	0,0	14,15	11,4		1,60	2,32
47	6,1	0,019	7,8	0,0	15,8	13,3		1,78	2,59
48	3,1	0,019	0,8	0,0	4,25	3,8		0,51	1,37
49	3,1	0,019	1,0	0,0	4,6	4,15		0,64	1,48
50	3,1	0,019	1,5	0,0	5,45	4,5		0,95	1,76
51	3,1	0,019	2,0	0,0	6,25	5,0		1,27	2,02
52	6,1	0,019	2,0	0,0	7,1	6,3		0,46	1,16
53	6,1	0,019	2,5	0,0	7,65	6,45		0,58	1,25
54	6,1	0,019	4,0	0,0	9,4	7,45		0,92	1,54
55	6,1	0,019	5,0	0,0	10,85	8,5		1,15	1,78
56	6,1	0,019	8,0	0,0	14,95	12,15		1,84	2,45
57	3,1	0,019	1,0	0,0	5,3	5,05	3,6	0,64	1,71
58	3,1	0,019	1,0	0,1	5,05	4,85	3,25	0,64	1,63
59	3,1	0,019	1,0	0,2	4,8	4,55	2,9	0,64	1,55
60	3,1	0,019	1,0	0,5	3,9	3,8	2,2	0,64	1,26
61	3,1	0,019	2,0	0,0	8,05	7,5	5,25	1,28	2,60
62	3,1	0,019	3,0	0,0	9,75	9,05	6,65	1,92	3,15
63	3,1	0,019	3,0	0,0	9,65	8,95	6,4	1,89	3,11

TABEL II (vervolg)

proef nr.	D [cm]	ϵ	Q_{totaal} [$10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$]	Q_{zoet} [$10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$]	bezo waarneming			Fi = $\frac{Q/B \cdot D}{\epsilon g D}$	$\frac{h_r}{D}$
					zee h_r [cm]	mond a_m [cm]	scherm a_s [cm]		
64	3,1	0,019	3,0	0,3	8,95	8,25	5,7	1,90	2,89
65	3,1	0,019	3,0	0,6	8,3	7,75	5,3	1,90	2,68
66	3,1	0,019	3,0	0,9	7,7	7,2	4,85	1,90	2,48
67	3,1	0,019	3,0	1,5	6,5	5,85	3,75	1,90	2,10
68	3,1	0,019	4,0	0,0	11,35	10,25	7,35	2,53	3,66
69	3,1	0,019	5,0	0,0	13,25	12,2	9,25	3,18	4,27
70	3,1	0,019	5,0	0,0	13,1	11,65	8,55	3,18	4,23
71	3,1	0,019	5,0	0,5	12,2	10,9	7,8	3,17	3,94
72	3,1	0,019	5,0	1,0	11,05	9,9	6,65	3,17	3,56
73	3,1	0,018 ⁵	5,0	1,5	10,05	9,05	6,25	3,19	3,24
74	3,1	0,018 ⁵	5,0	2,5	9,1	8,1	5,3	3,20	2,94
75	3,1	0,018	7,0	0,0	16,55	15,05	11,25	4,53	5,34
76	3,1	0,019	3,0	0,0	9,2	8,35	6,25	1,91	2,97
77	3,1	0,018 ⁵	3,0	3,0	2,05	1,9	1,4	1,92	0,66
78	3,1	0,0026 ⁵	1,0	0,0	7,8	6,1		1,70	2,52
79	3,1	0,0026 ⁵	2,0	0,0	12,5	9,8		3,39	4,03
80	3,1	0,0027	3,0	0,0	15,25	12,1		5,02	4,92
81	3,1	0,0028	4,0	0,0	18,55	15,25		6,61	5,98
82	3,1	0,0028 ⁵	5,0	0,0	21,7	17,0		8,18	7,00
83	3,1	0,0025 ⁵	7,0	0,0	27,15	22,05		12,13	8,76
84	6,1	0,0027	1,0	0,0	8,45	7,15		0,61	1,38
85	6,1	0,0026 ⁵	1,0	0,1	8,05	6,35		0,62	1,32
86	6,1	0,0027 ⁵	1,0	0,2	7,2	5,5		0,60	1,18
87	6,1	0,0028	1,0	0,3	6,5	4,85		0,60	1,07
88	6,1	0,0027	1,0	0,5	5,45	4,2		0,61	0,89
89	6,1	0,0027	2,0	0,0	12,05	9,1		1,22	1,97
90	6,1	0,0027	3,0	0,0	15,75	12,65		1,83	2,58
91	6,1	0,0027	3,0	0,3	14,1	10,2		1,83	2,31
92	6,1	0,0027	3,0	0,6	13,05	9,75		1,83	2,14
93	6,1	0,0027	3,0	1,5	10,5	8,8		1,83	1,72
94	6,1	0,0026 ⁵	5,0	0,0	22,7	16,65		3,08	3,72
95	6,1	0,0024 ⁵	5,0	0,0	21,4	16,2		3,20	3,51
96	6,1	0,0024	5,0	0,5	19,85	13,55		3,23	3,25

TABEL II (vervolg)

proef nr.	D [cm]	ϵ	Q_{totaal} [$10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$]	Q_{zoet} [$10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$]	bezo waarneming			Fi = $\frac{Q/B \cdot D}{\epsilon g D}$	$\frac{h_r}{D}$
					zee h_r [cm]	mond a_m [cm]	scherm a_s [cm]		
97	6,1	0,0022 ⁵	5,0	1,0	18,95	12,85		3,33	3,11
98	6,1	0,0019 ⁵	5,0	1,5	16,85	13,45		3,56	2,76
99	6,1	0,0015	5,0	2,5	15,75	9,5		4,05	2,58
100	6,1	0,019	1,0	0,0	7,05	6,7		0,23	1,16
101	6,1	0,019 ⁵	1,0	0,1	6,35	6,1		0,23	1,04
102	6,1	0,019 ⁵	1,0	0,3	5,35	5,1		0,23	0,88
103	6,1	0,019	1,0	0,5	4,3	4,2		0,23	0,70
104	6,1	0,019 ⁵	3,0	0,0	9,6	7,9		0,68	1,57
105	6,1	0,019	3,0	0,0	9,2	7,85		0,69	1,51
106	6,1	0,019 ⁵	3,0	0,3	8,15	6,55		0,68	1,34
107	6,1	0,019	3,0	0,9	7,05	5,55		0,68	1,16
108	6,1	0,019 ⁵	5,0	0,0	12,4	10,15		1,13	2,03
109	6,1	0,018 ⁵	5,0	0,5	10,9	8,35		1,16	1,79
110	6,1	0,019	5,0	1,5	9,35	7,35		1,15	1,53
111	6,1	0,019 ⁵	5,0	2,5	7,45	6,15		1,13	1,22
112 ¹⁾	6,1	0,019 ⁵	1,0	0,0	5,55	5,1		0,23 (0,425)	0,91 (1,39)
113	6,1	0,019 ⁵	1,0	0,1	4,8	4,35		0,23 (0,425)	0,79 (1,2)
114	6,1	0,019 ⁵	1,0	0,3	3,6	3,05		0,23 (0,425)	0,59 (0,9)
115	6,1	0,019 ⁵	1,0	0,5	2,9	2,5		0,23 (0,425)	0,48 (0,725)
116	6,1	0,019	3,0	0,0	8,35	6,7		0,69 (1,29)	1,37 (2,09)
117	6,1	0,019	3,0	0,0	8,4	6,75		0,69 (1,29)	1,38 (2,1)
118	6,1	0,019	3,0	0,3	7,2	5,35		0,69 (1,29)	1,18 (1,8)
119	6,1	0,019	3,0	0,9	6,2	4,4		0,69 (1,29)	1,02 (1,55)
120	6,1	0,019	5,0	0,0	11,4	9,35		1,14 (2,15)	1,87 (2,85)
121	6,1	0,019 ⁵	5,0	0,5	9,9	7,1		1,14 (2,13)	1,62 (2,475)
122	6,1	0,019	5,0	1,5	8,35	6,1		1,14 (2,15)	1,37 (2,09)

¹⁾ De tussen haakjes gegeven waarden zijn betrokken op $D = 4 \text{ cm}$
(proeven 112 t/m 125).

TABEL II (vervolg)

proef nr.	D [cm]	ϵ	Q_{totaal} [$10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$]	Q_{zoet} [$10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$]	bezo waarneming			Fi = $\frac{Q/B \cdot D}{\epsilon g D}$	$\frac{h_r}{D}$
					zee h_r [cm]	mond a_m [cm]	scherm a_s [cm]		
123 ¹⁾	6,1	0,019	5,0	2,5	7,1	5,25		1,14 (2,15)	1,16 (1,78)
124	6,1	0,019 ⁵	7,0	0,0	14,1	11,45		1,59 (2,98)	2,31 (3,53)
125	6,1	0,019 ⁵	7,7	0,0	15,45	12,75		1,75 (3,27)	2,53 (2,86)
126	6,1	0,019	1,0	0,0	6,65	6,35		0,23	1,09
127	6,1	0,019	1,0	0,1	6,05	5,8		0,23	0,99
128	6,1	0,019 ⁵	1,0	0,3	4,85	3,4		0,23	0,80
129	6,1	0,019	1,0	0,5	3,95	3,75		0,23	0,65
130	6,1	0,019	3,0	0,0	8,55	7,15		0,69	1,40
131	6,1	0,019 ⁵	3,0	0,0	8,8	7,35		0,68	1,44
132	6,1	0,019	3,0	0,3	7,45	5,7		0,69	1,22
133	6,1	0,018 ⁵	3,0	0,9	6,45	4,6		0,69	1,06
134	6,1	0,019 ⁵	5,0	0,0	11,6	9,6		1,13	1,90
135	6,1	0,019 ⁵	5,0	0,5	10,0	7,25		1,13	1,64
136	6,1	0,019 ⁵	5,0	1,5	8,5	6,35		1,13	1,39
137	6,1	0,019	5,0	2,5	7,1	5,25		1,14	1,16
138	6,1	0,019 ⁵	7,0	0,0	14,3	11,65		1,58	2,34
139 ²⁾	6,1	0,019	3,0	0,0	8,6	7,1		0,69	1,41
140 ³⁾	6,1	0,019	1,0	0,0	8,7	8,45		0,23	1,43
141 ³⁾	6,1	0,019	1,5	0,0	8,75	8,15		0,34	1,43
142 ³⁾	6,1	0,019 ⁵	2,0	0,0	8,8	8,0		0,45	1,44
143 ³⁾	6,1	0,019 ⁵	2,5	0,0	8,9	7,95		0,57	1,46

1) De tussen haakjes gegeven waarden zijn betrokken op $D = 4 \text{ cm}$ (proeven 112 t/m 125).

2) Ter verkrijging van een scherp grensvlak is eerst een debiet $Q_{\text{totaal}} = 3 \text{ l/s}$ ingesteld, waarbij bij de gegeven laagdikte in eerste instantie zoetwater werd meegezogen.

3) Bij deze proeven $Q < Q_c = q_c \cdot B$, derhalve niet weergegeven in Fig. 23, vergelijk Fig. 20 en 21.

TABEL II (vervolg)

proef nr.	D [cm]	ϵ	Q_{totaal} [$10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$]	Q_{zoet} [$10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$]	bezo waarneming			Fi = $\frac{Q/B \cdot D}{\epsilon g D}$	$\frac{h_r}{D}$
					zee h_r [cm]	mond a_m [cm]	scherm a_s [cm]		
144	6,1	0,019 ⁵	3,0	0,0	9,15	7,65		0,68	1,50
145	6,1	0,019 ⁵	3,5	0,0	9,35	7,7		0,79	1,53
146	6,1	0,019 ⁵	4,0	0,0	9,9	7,9		0,91	1,62
147	6,1	0,019 ⁵	4,5	0,0	10,6	8,3		1,02	1,74
148	6,1	0,019 ⁵	5,0	0,0	11,3	8,75		1,14	1,85
149 ⁴⁾	6,1	0,019	1,0	0,0	11,55	11,7		0,23	1,89
150 ⁴⁾	6,1	0,019 ⁵	1,5	0,0	11,65	11,7		0,34	1,91
151	6,1	0,019 ⁵	2,0	0,0	11,6	11,8		0,46	1,90
152	6,1	0,019 ⁵	2,5	0,0	11,6	11,65		0,57	1,90
153	6,1	0,019	3,0	0,0	11,75	11,4		0,69	1,93
154	6,1	0,019	3,5	0,0	12,0	9,6		0,80	1,97
155	6,1	0,019	4,0	0,0	12,15	10,15		0,92	1,99
156	6,1	0,019	4,5	0,0	12,55	10,45		1,03	2,06
157	6,1	0,019	5,0	0,0	12,9	10,75		1,14	2,11
158	6,1	0,019	7,0	0,0	14,05	11,35		1,60	2,30
159	6,1	0,0023 ⁵	1,0	0,0	10,1	9,5	7,15	0,65	1,66
160	6,1	0,0025	2,0	0,0	14,55	13,1	9,05	1,26	2,39
161	6,1	0,0022 ⁵	2,0	0,4	13,15	12,0	8,1	1,33	2,16
162	6,1	0,0024	2,0	0,6	11,85	11,0	6,9	1,29	1,94
163	6,1	0,0021 ⁵	2,0	1,0	9,8	8,7	5,5	1,36	1,61
164	6,1	0,0021	3,0	0,0	17,9	16,5	11,25	2,08	2,93
165	6,1	0,0021 ⁵	3,0	0,0	18,25	16,0	11,1	2,05	2,99
166	6,1	0,0021	3,0	0,9	15,5	13,45	8,8	2,08	2,54
167	6,1	0,0020	3,0	1,5	12,6	11,3	6,65	2,12	2,07
168	6,1	0,0020	4,0	0,0	22,05	19,95	12,8	2,81	3,61
169	6,1	0,0020	5,0	0,0	26,5	23,45	15,8	3,55	4,34
170	6,1	0,0018	5,0	1,0	22,8	21,15	13,6	3,75	3,74
171	6,1	0,0017 ⁵	5,0	1,5	19,9	19,9	10,9	3,79	3,26

4) Er treedt nog geen kortsluiting op (Fig. 21).

TABEL II (vervolg)

proef nr.	D [cm]	ε	Q _{totaal} [10 ⁻³ m ³ /s]	Q _{zoet} [10 ⁻³ m ³ /s]	bezo waarneming			Fi = $\frac{Q/B.D}{\epsilon g D}$	$\frac{h_r}{D}$
					zee h _r [cm]	mond a _m [cm]	scherm a _s [cm]		
172	6,1	0,019	1,0	0,0	6,7	6,65	6,15	0,23	1,10
173	6,1	0,019 ⁵	3,0	0,0	9,6	8,85	6,85	0,68	1,57
174	6,1	0,019 ⁵	4,0	0,0	11,65	10,85	7,8	0,91	1,91
175	6,1	0,020	4,0	1,2	8,85	7,85	5,1	0,90	1,45
176	6,1	0,019 ⁵	4,0	2,0	6,9	6,4	3,75	0,90	1,13
177	6,1	0,020 ⁵	5,0	0,0	12,9	11,55	8,65	1,11	2,11
178	6,1	0,020	7,0	0,0	16,35	14,7	10,65	1,56	2,68
179	6,1	0,019 ⁵	7,0	3,5	9,2	9,1	5,5	1,58	1,51

TABEL III Resultaten proeven selectief afzuigen uit: Harleman et.al.,
"Submerged sluice control of stratified flow", April 1958 [1]

Algemene gegevens

breedte goot $B = 11,43 \text{ cm (4.5")}$
 lengte toestromingskanaal $L = 7,62 \text{ cm (3.0")}$
 spleethoogte $D = \text{variabel}$
 totale waterdiepte $h = 40 \text{ cm}$

proef nr.	D [cm]	Q_{totaal} [in ³ /sec]	ϵ	$\frac{h_r}{D}$	Fi
11	2,54	5,6	0,0050	1,60	0,90
12	2,54	9,0	0,0049	2,25	1,51
21	3,81	6,8	0,0062	1,27	0,53
22	3,81	10,3	0,0060	1,57	0,82
23	3,81	12,6	0,0059	1,73	1,01
24	3,81	17,4	0,0050	2,20	1,52
25	3,81	23,2	0,0046	2,64	2,11
31	5,08	7,2	0,0047	1,20	0,42
32	5,08	11,4	0,0047	1,45	0,68
33	5,08	14,2	0,0046	1,60	0,84
34	5,08	18,7	0,0043	1,75	1,15
41	6,35	11,4	0,0025	1,36	0,65
42	6,35	15,4	0,0025	1,52	0,88
43	6,35	22,0	0,0025	1,96	1,26

$$Fi = \frac{Q_{\text{totaal}}/B.D}{\sqrt{\epsilon g D}} = \frac{q_c/D}{\sqrt{\epsilon g D}}$$

TABEL IV Resultaten proeven selectief afzuigen uit: Harleman et.al.,
"Withdrawal from two-layer stratified flows", July 1965 2

Algemene gegevens

breedte goot B = 11,43 cm (4.5")
 lengte toestromingskanaal L ≈ 33 cm
 spleethoogte D = 3,81 cm (1.5")
 totale waterdiepte h ≈ 40 cm

proef nr.	Q _{totaal} (cu in. per sec)	ε	$\frac{h_r}{D}$	Fi
11-1	3,2	0,0031	1,36	0,35
11-2	5,2	0,0031	1,45	0,57
11-3	7,0	0,0031	1,70	0,77
11-4	10,2	0,0030	1,91	1,15
11-5	12,1	0,0030	2,15	1,36
11-6	16,6	0,0030	2,62	1,86
11-7	23,0	0,0029	3,24	2,63
11-8	31,7	0,0028	4,10	3,69
12-1	8,4	0,0029	1,84	0,96
12-2	13,5	0,0029	2,40	1,54
12-3	19,7	0,0029	3,01	2,25
12-4	27,3	0,0028	3,79	3,18
12-5	40,1	0,0027	5,14	4,75
12-6	2,6	0,0023	1,26	0,33
12-7	5,8	0,0023	1,52	0,74

1) Resultaten bij 1% zoetwater meezuigen.

$$Fi = \frac{Q_{\text{totaal}}/B \cdot D}{\epsilon g D} = \frac{q_c/D}{\epsilon g D}$$

TABEL V

Resultaten λ_i -bepaling

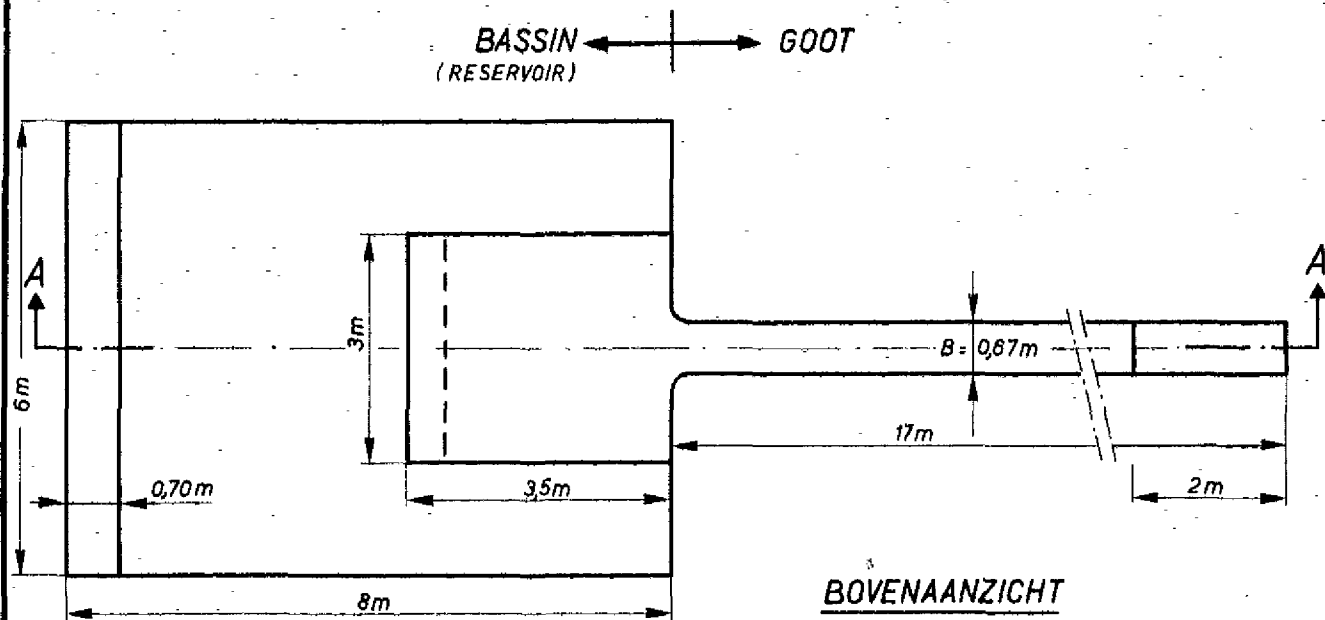
proef nr.	λ_b	λ_i	$k_i = \frac{1}{8} \lambda_i$	Re_1	Re_2	Fri^1
57	0,047	-	-	3148	413	0,02
61	0,037	0,024	0,003	6084	826	0,04
62	0,033	0,016	0,002	8828	1240	0,05
63	0,033	0,015	0,001875	8892	1240	0,05
68	0,031	0,011	0,001375	11624	1653	0,07
69	0,029	0,022	0,00275	13952	2066	0,08
70	0,029	0,013	0,001625	14164	2066	0,09
75	0,026	0,025	0,003125	18824	2893	0,10
159	0,046	-	-	2908	413	0,04
160	0,036	0,023	0,002875	5632	826	0,09
164	0,033	0,012	0,0015	8100	1240	0,15
165	0,033	0,006	0,00075	8116	1240	0,15
168	0,030	0,013	0,001625	10524	1653	0,21
169	0,028	0,021	0,002625	12416	2066	0,22
172	0,047	-	-	2948	413	0,01
173	0,034	0,010	0,00125	8764	1240	0,05
174	0,030	0,027	0,003375	11516	1653	0,06
177	0,029	0,015	0,001875	14120	2066	0,08
178	0,026	0,028	0,0035	19056	2893	0,10

$$Re_2 = \frac{1}{3} \frac{a_2}{\nu} \quad \text{met } \nu = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}$$

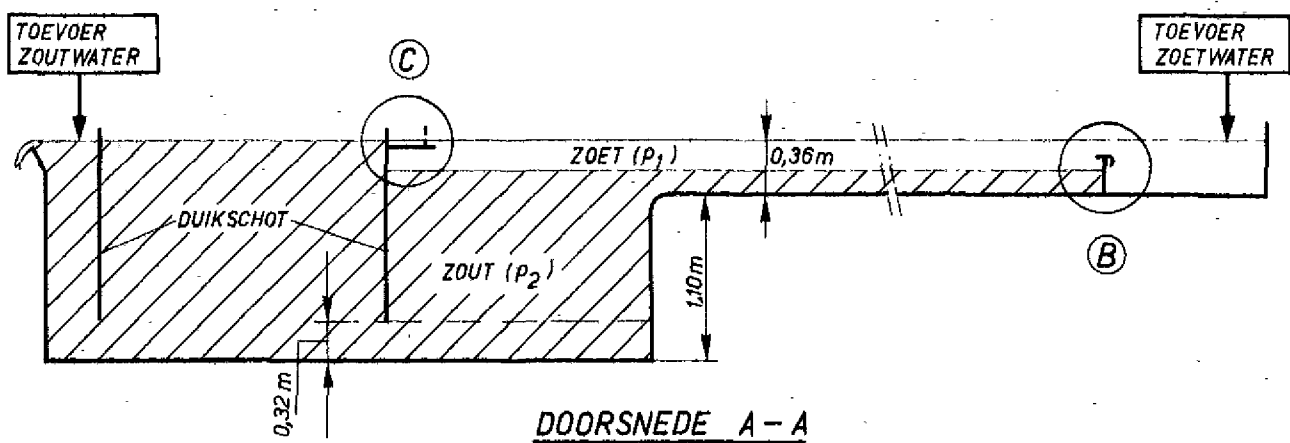
$$Fri^1 = \frac{u_2^2}{g h} ; h = \text{totale waterdiepte}$$

$$Re_1 = \frac{u_2 D}{\nu} \quad (\text{zie Fig. 27}) = \frac{4 u_2 R_2}{\nu} \quad \text{met } R_2 = \frac{B \cdot \sum_{i=1}^n a_i}{B + \sum_{i=1}^n 2 \cdot a_i} \text{ en}$$

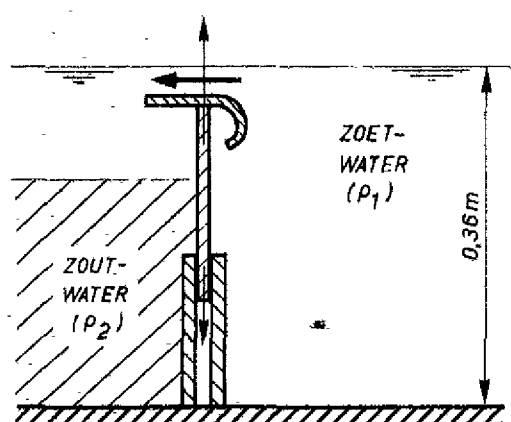
$$\nu = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}$$



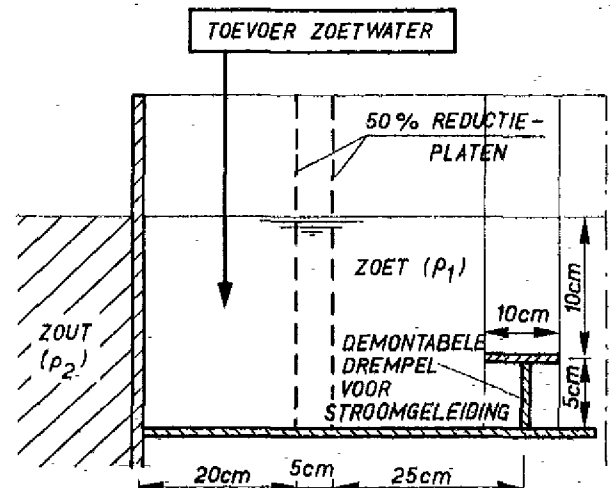
BOVENAANZICHT



DOORSNEDE A - A



(B) IN VERTIKALE ZIN VERSTELBARE SCHUIF MET STROOMGELEIDING VOOR AANBRENGEN ZOETWATERLAAG



(C) WOELBAKCONSTRUCTIE VOOR INBRENGEN ZOETWATER TIJDENS PROEFUITVOER (ZIE FIG.2)

SCHETS PROEFOPSTELLING BIJ AANBRENGEN ZOETWATERLAAG

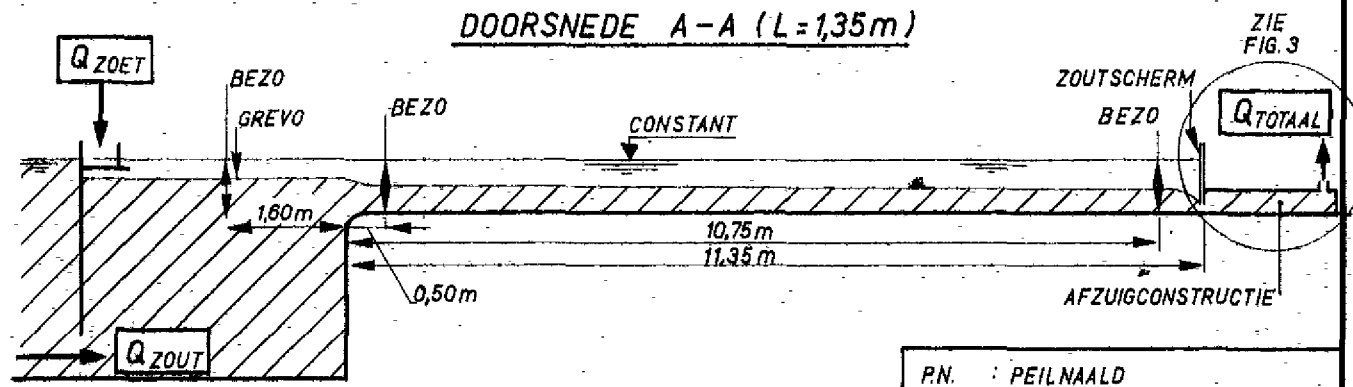
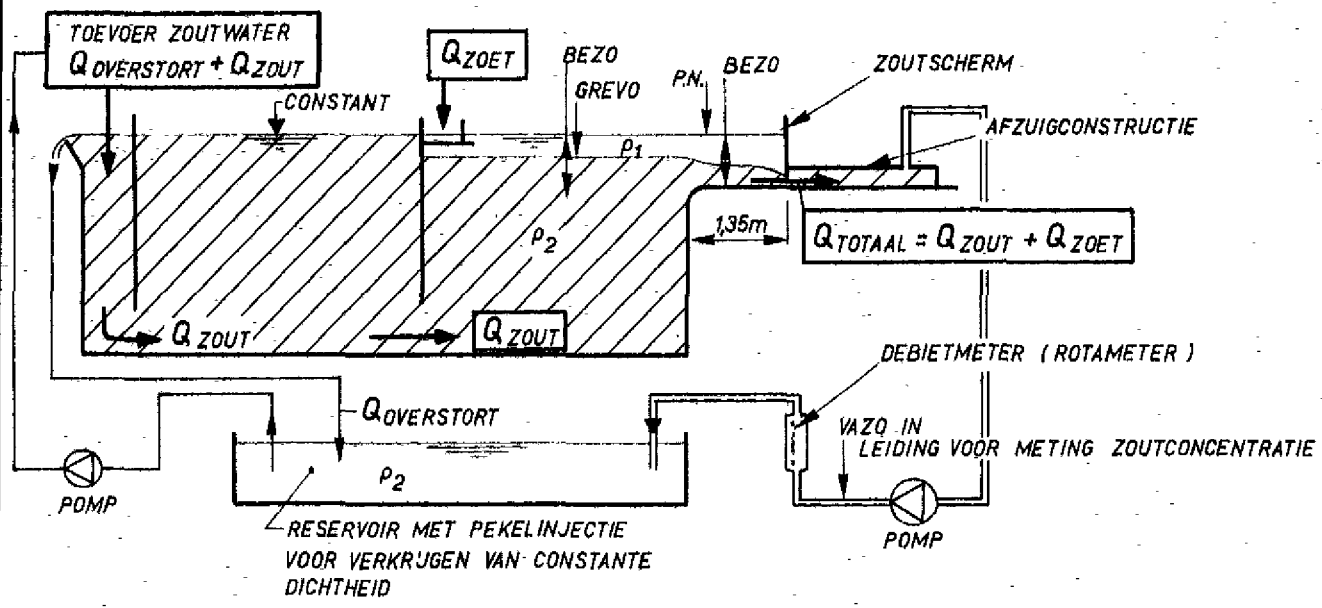
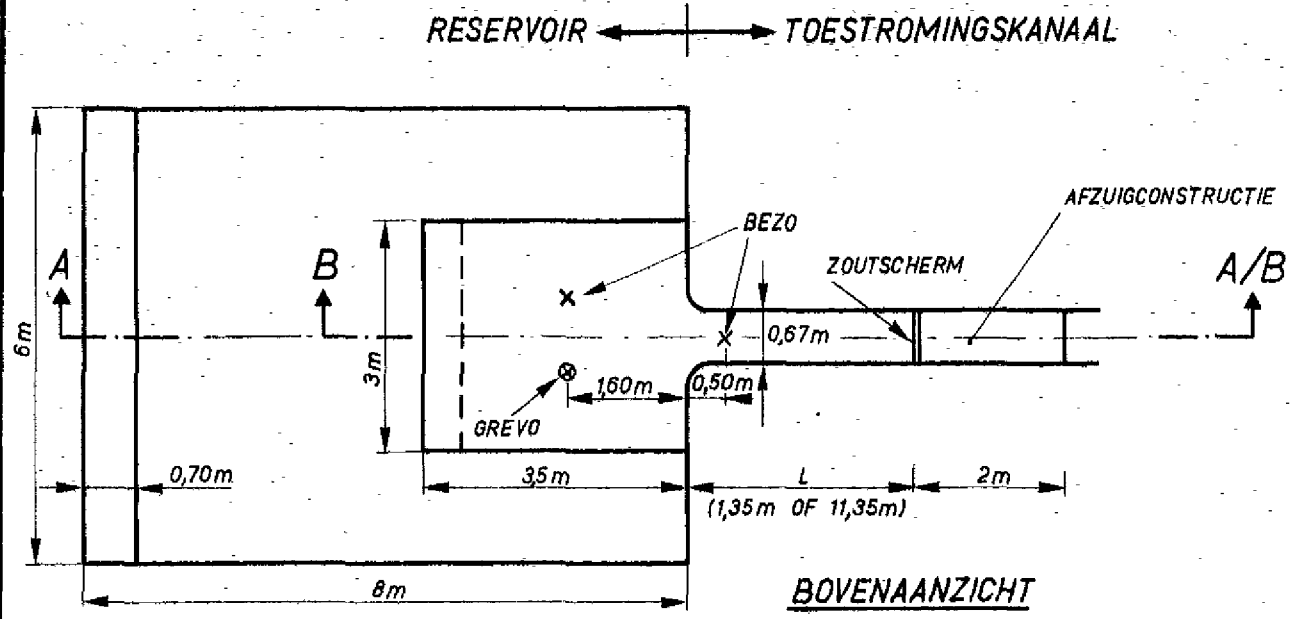
JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1204-1001

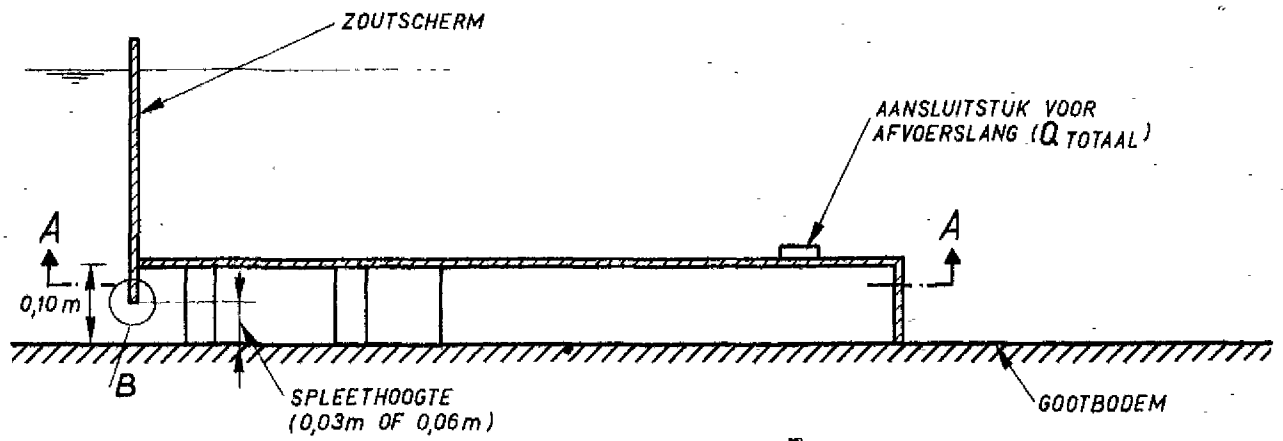
FIG.1



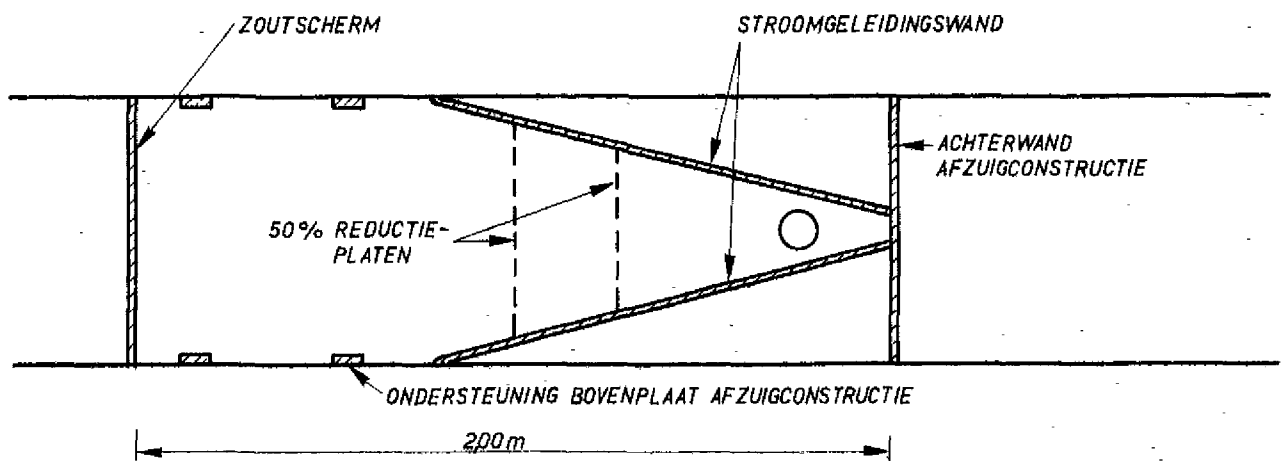
PN : PEILNAALD
 VAZO : VASTE ZOUTOPNEMER
 BEZO : BEWEEGBARE ZOUTOPNEMER
 GREVO : GRENSVLAKVOLGER

SCHETS PROEFOPSTELLING BIJ DE UITVOERING VAN DE PROEVEN.

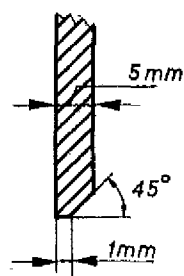
JB
 A4



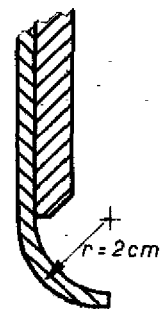
ZJAANZICHT AFZUIGCONSTRUCTIE



DOORSNEDE A-A



SCHERPE ONDERKANT



AFGERONDE ONDERKANT

DETAIL B

DETAILS PROEFOPSTELLING

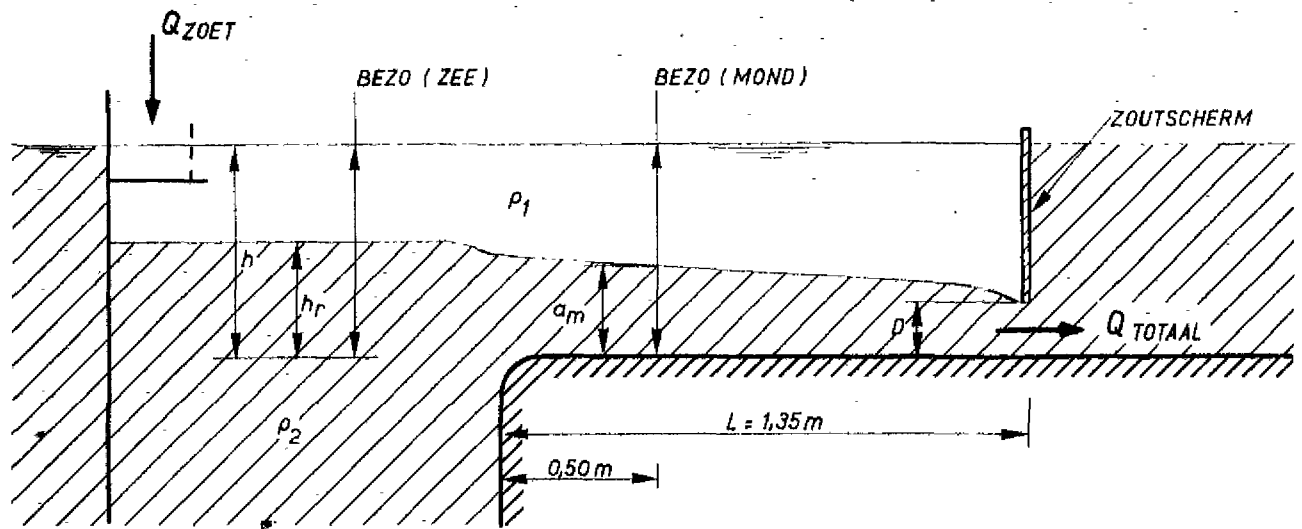
JB

A4

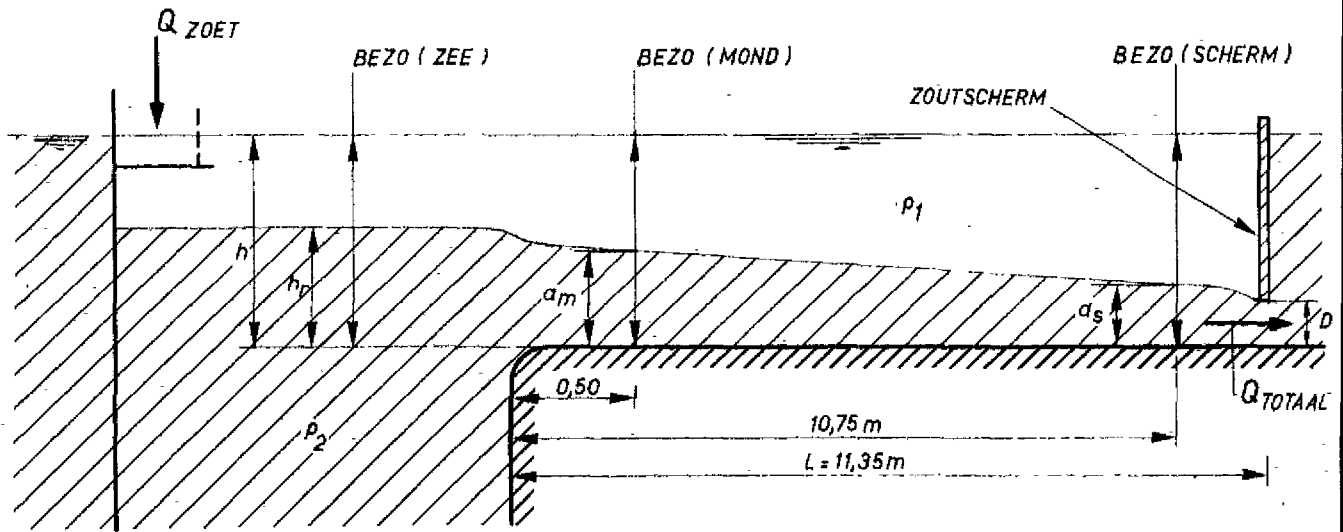
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1204 - 1003

FIG. 3



DEFINITIE SCHETS PROEVEN MET $L=1,35m$



DEFINITIE SCHETS PROEVEN MET $L=11,35m$

B : BREEDTE GOOT = 0,67m

ρ_1 : DICHTHEID ZOETWATER

D : SPLEETHOOGTE

ρ_2 : DICHTHEID ZOUTWATER

$$\epsilon = (\rho_2 - \rho_1) / \rho_2 = \Delta\rho / \rho_2$$

DEFINITIE SCHETSEN

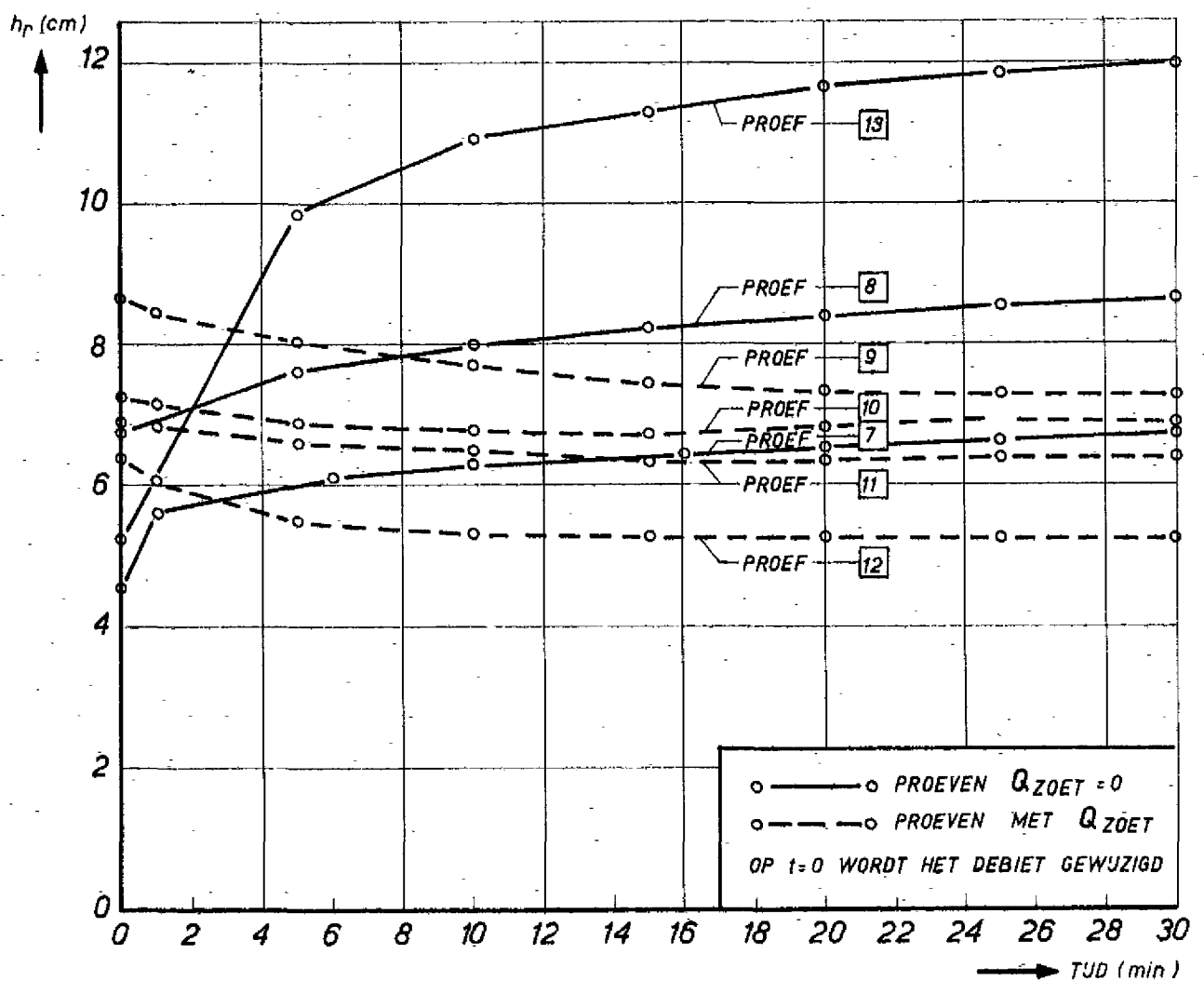
JB

A4

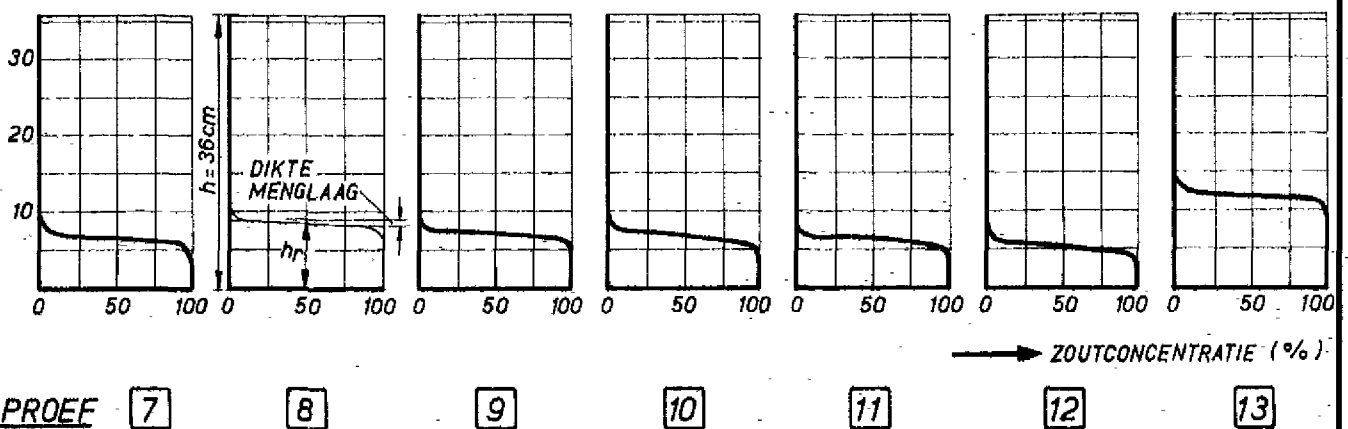
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1204-1004

FIG. 4

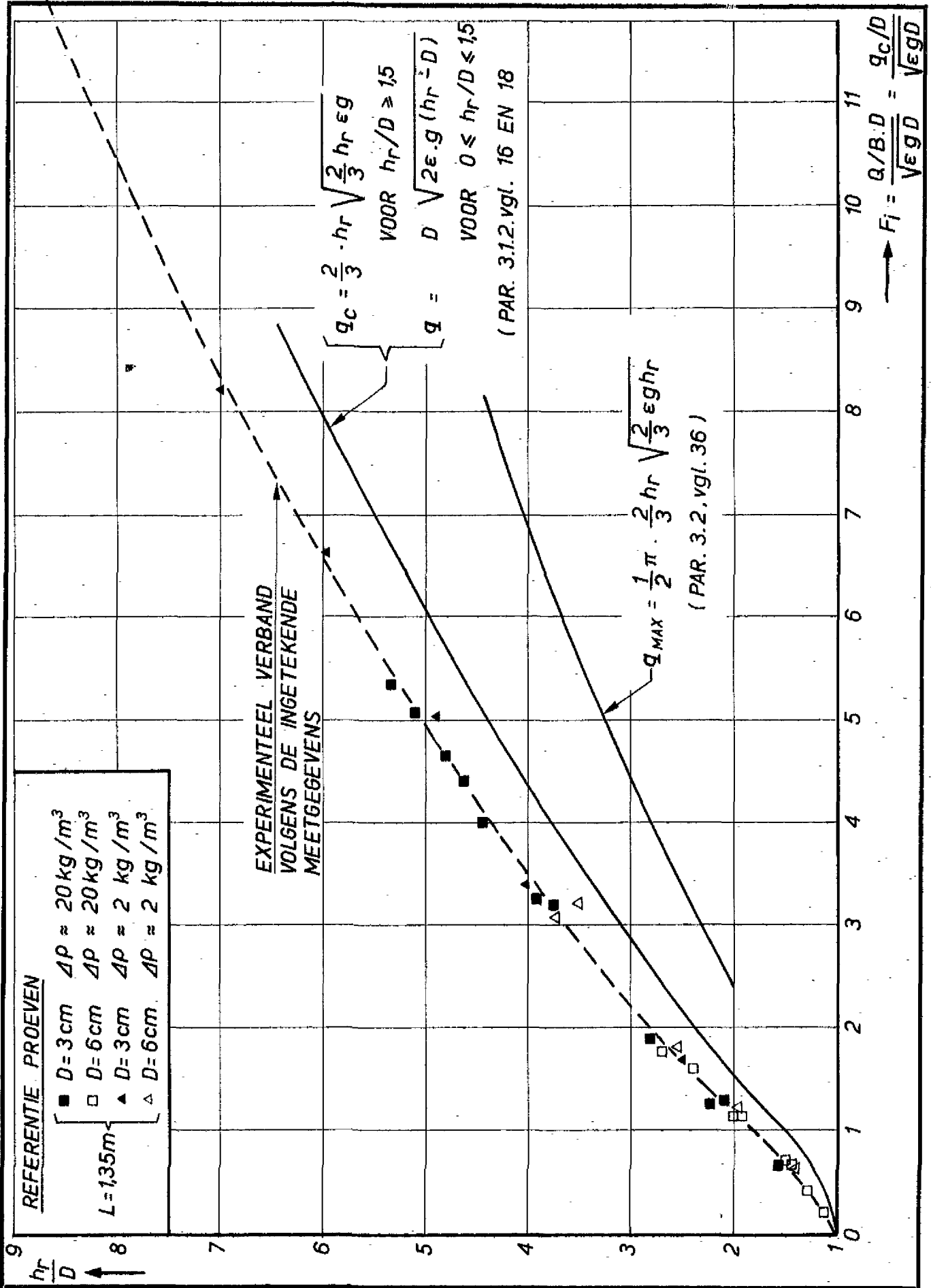


① VERLOOP h_r TJDENS INSTELLEN MEERDERE PERMANENTIES IN SUCCESSIE



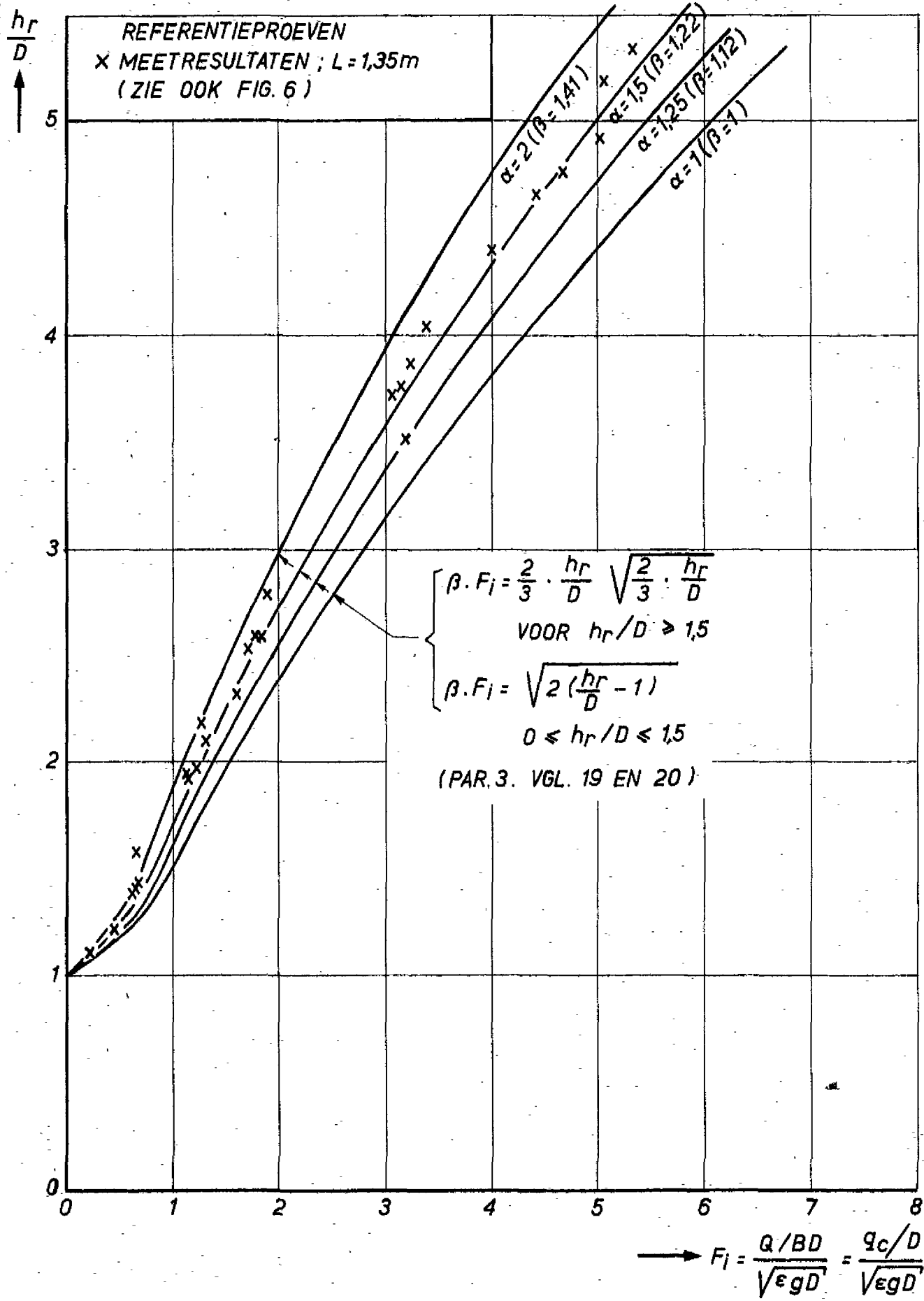
② DICHTHEIDSVERTIKALEN OP $t = 30$ min (IN RESERVOIR)

VERLOOP h_r TJDENS DE PROEVEN WAARBU MEERDERE SITUATIES ACHTEREENVOLGEND WORDEN INGESTELD



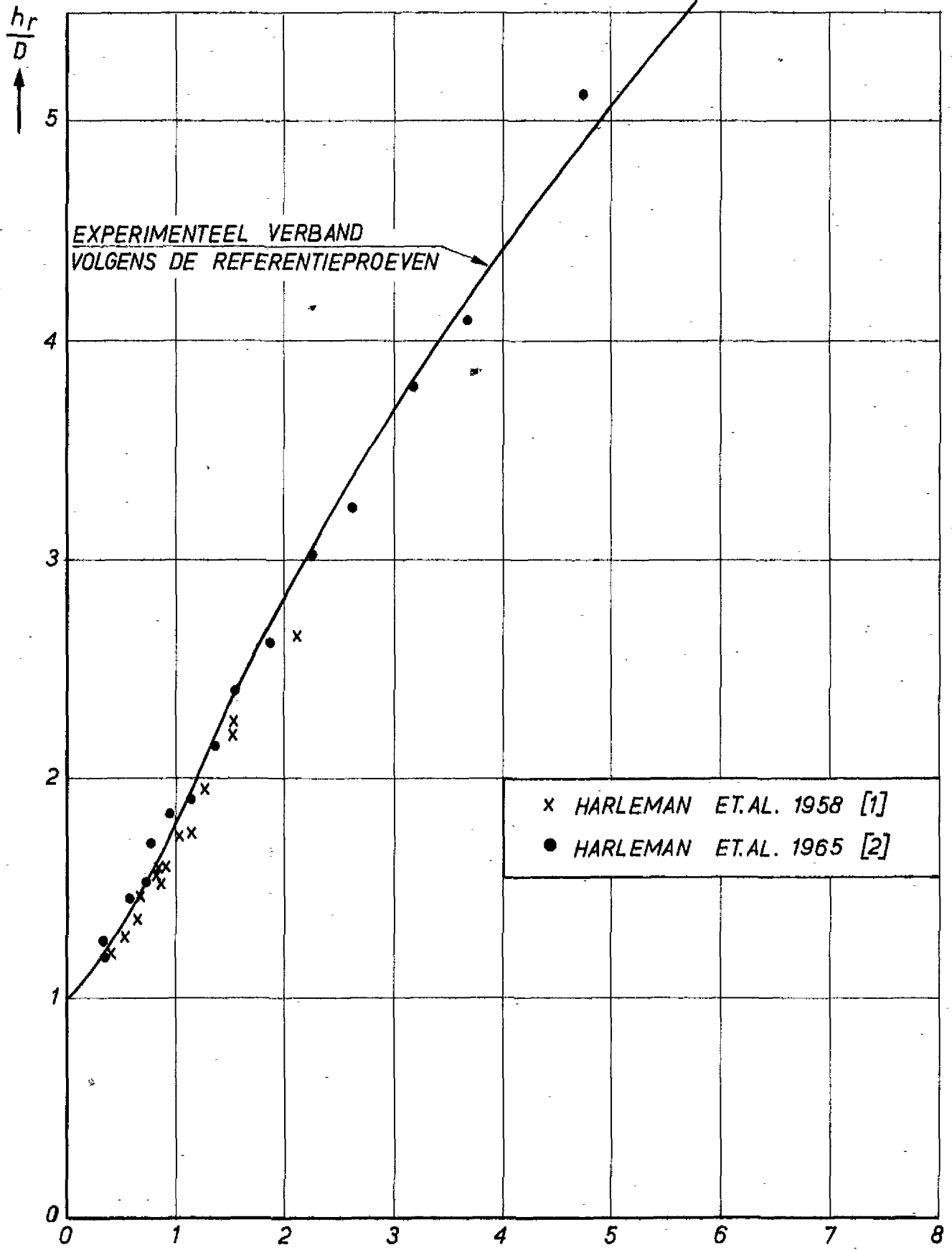
VERGELUKING MEETRESULTATEN SELECTIEF AFZUIGEN
 (REFERENTIEPROEVEN) EN THEORETISCHE BENADERING (par. 3)

JB
 A4



VERGELUKING MEETRESULTATEN MET THEORETISCHE
 BENADERING BIJ INACHTNAME VAN EEN NIET-
 UNIFORME SNELHEIDSVERDELING

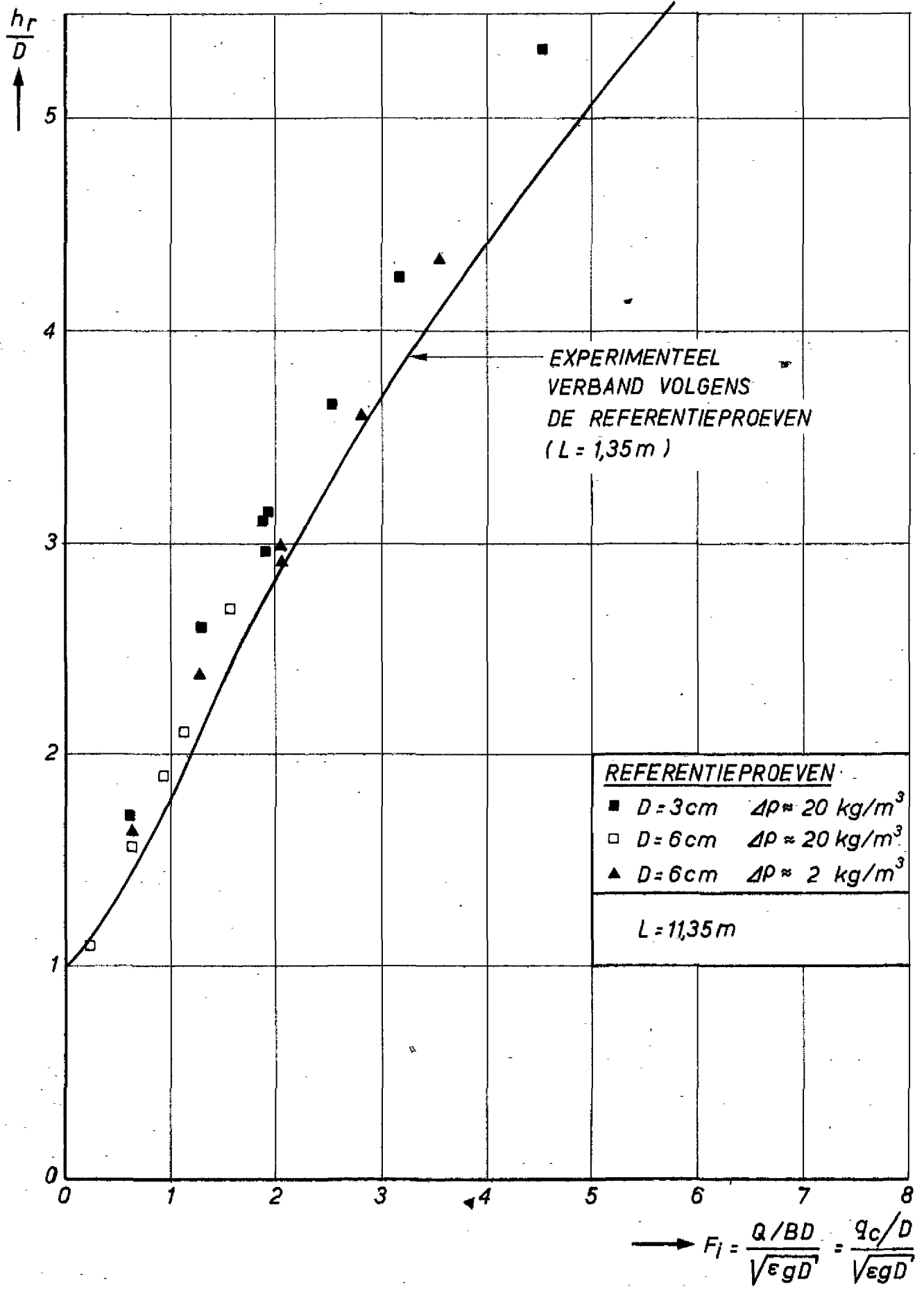
JB
 A4



$$F_i = \frac{Q/BD}{\sqrt{\epsilon g D}} = \frac{q_c/D}{\sqrt{\epsilon g D}}$$

LITERATUURONDERZOEK [1] [2]

JB
A4



RESULTATEN PROEVEN MET TOESTROMINGSKANAAL

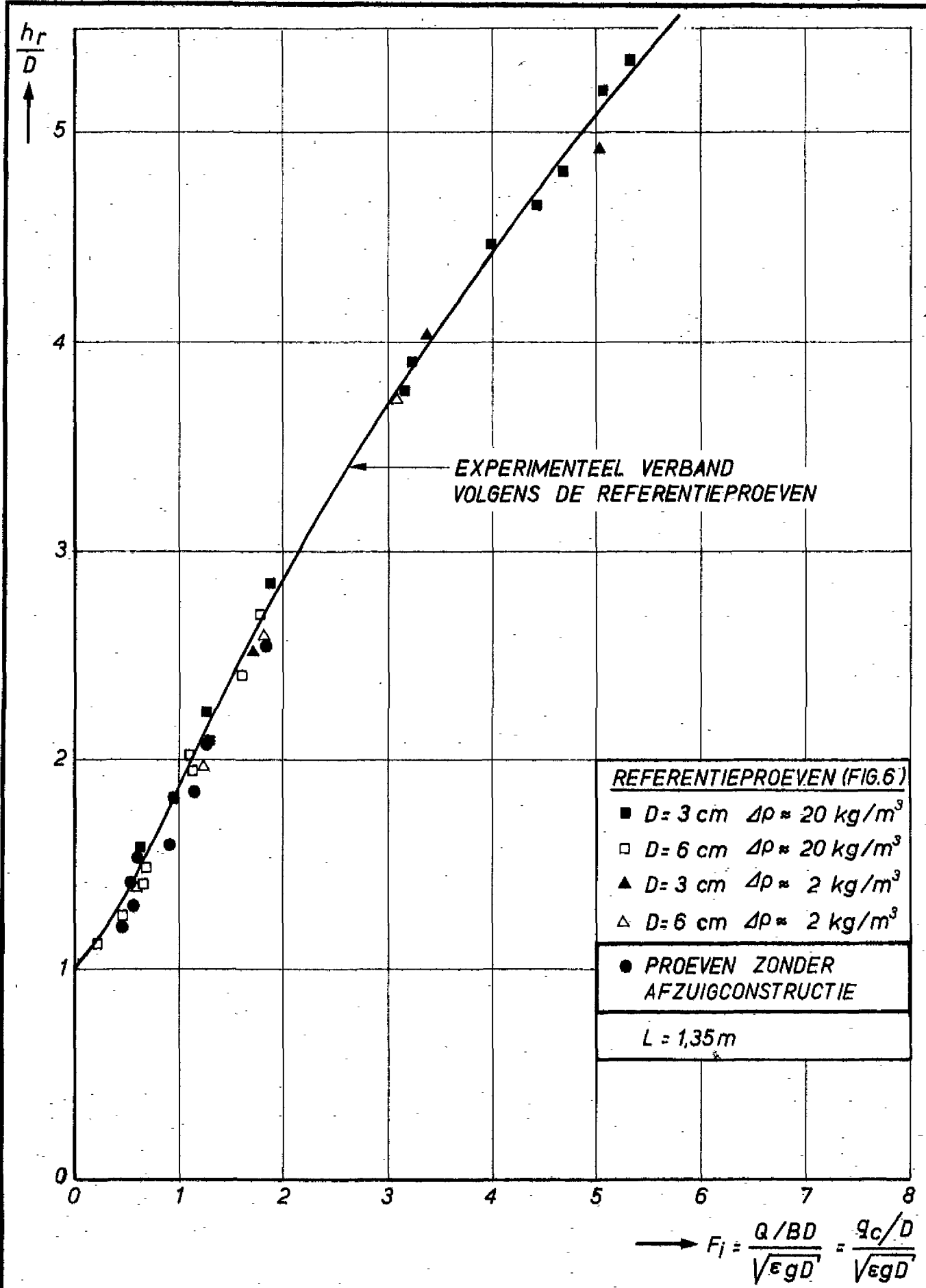
JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

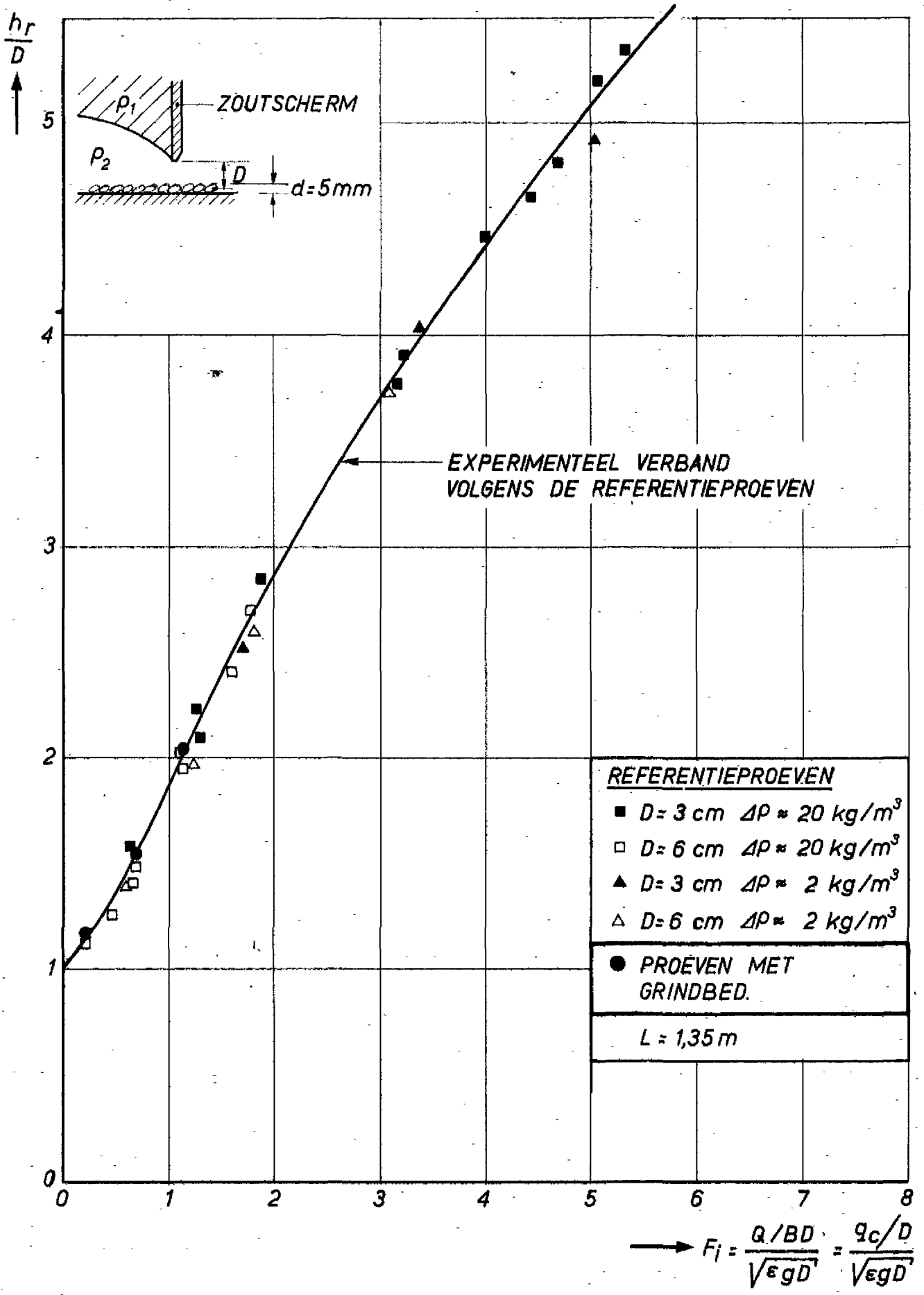
M.1204-1009

FIG. 9



VERIFICATIE INVLOED AFZUIGCONSTRUCTIE

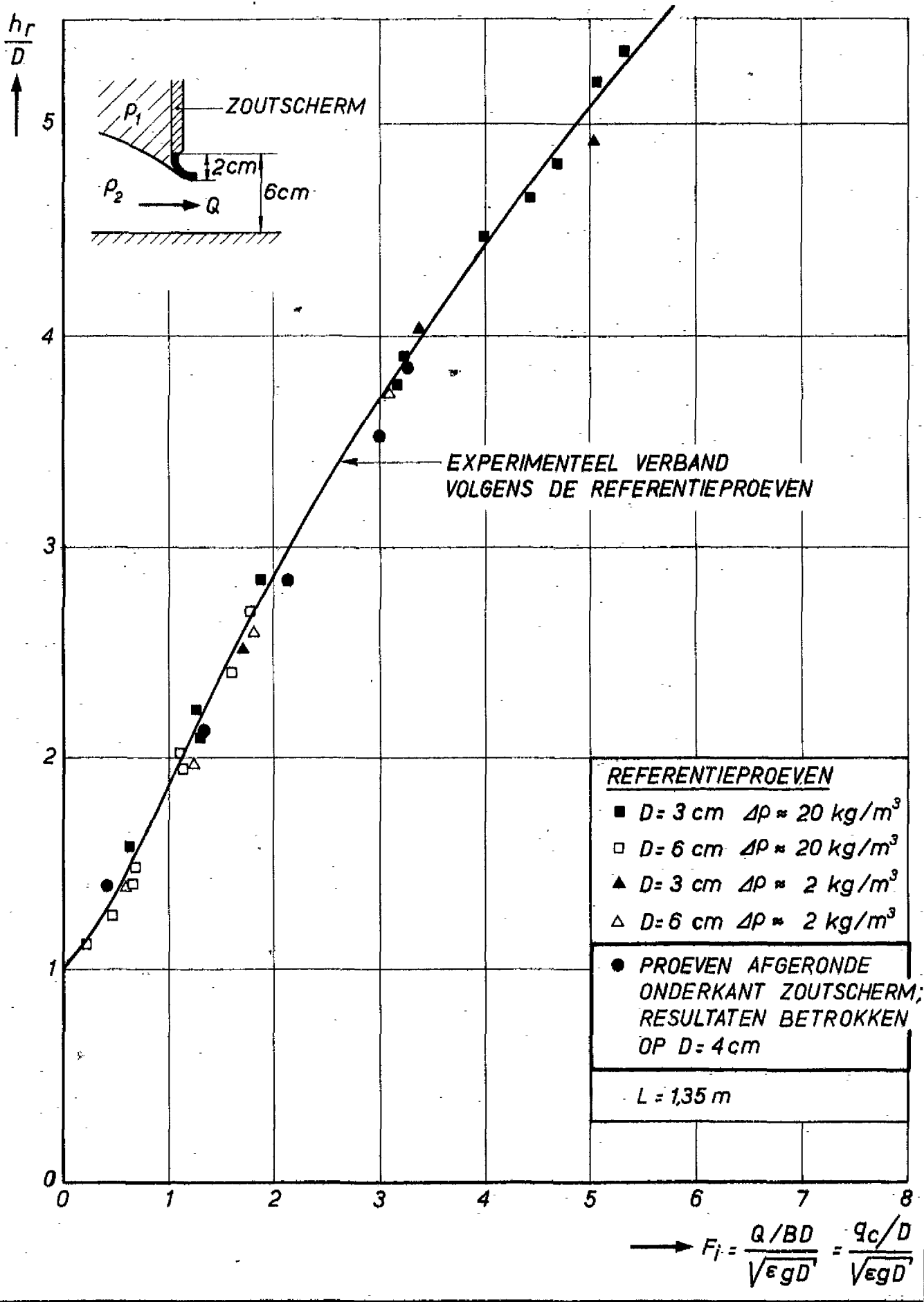
JB
A4



RESULTATEN PROEVEN MET GRINDBED. (BODEMRUWHEID)

JB

A4

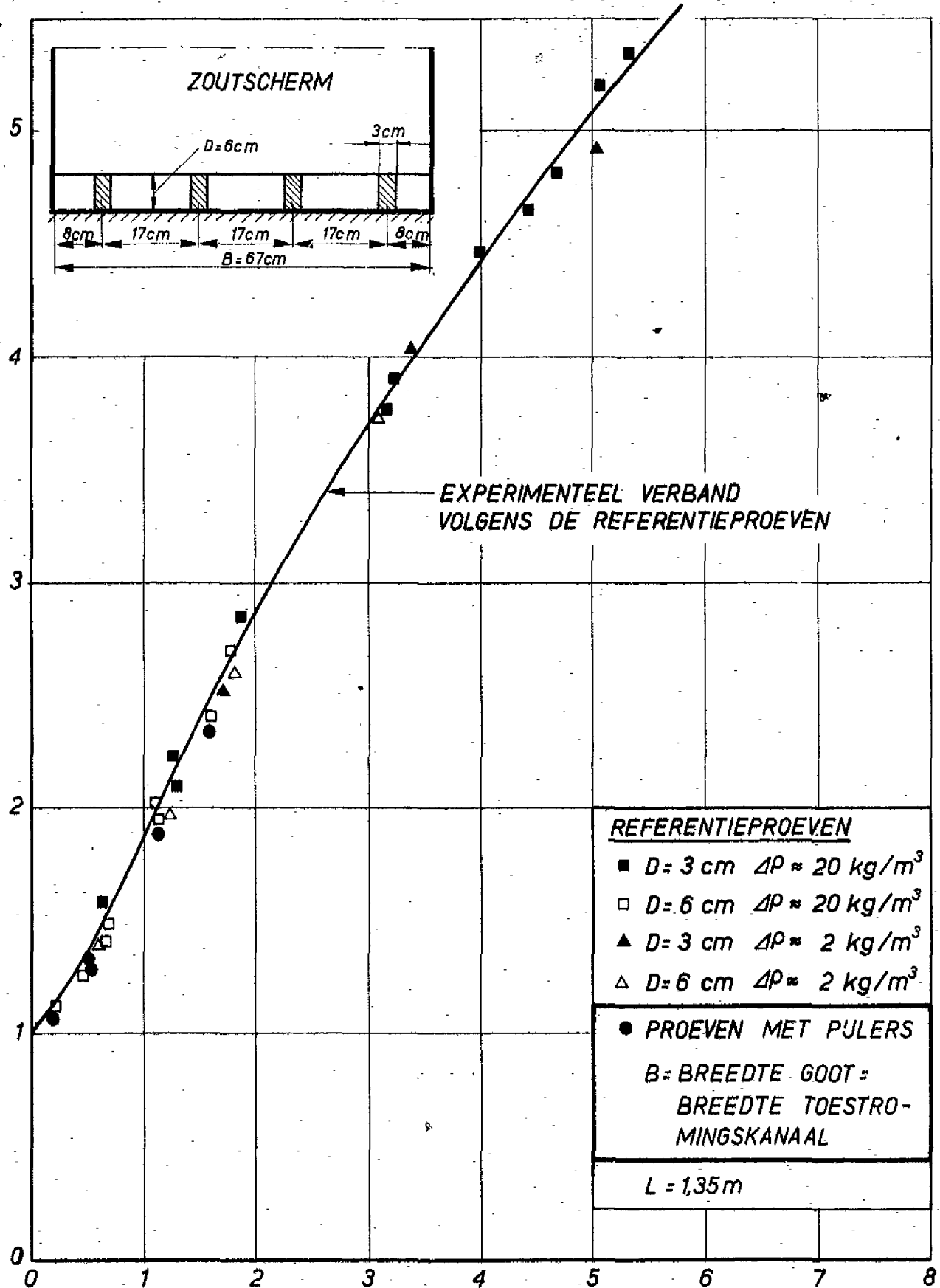
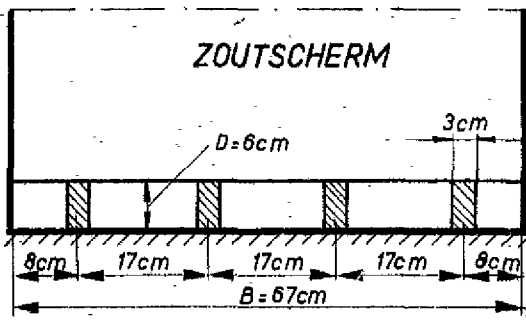


RESULTATEN PROEVEN MET AFGERONDE ONDERKANT VAN HET ZOUTSCHERM

JB

A4

$\frac{h_r}{D}$
↑



EXPERIMENTEEL VERBAND
VOLGENS DE REFERENTIEPROEVEN

REFERENTIEPROEVEN

- D = 3 cm $\Delta\rho \approx 20 \text{ kg/m}^3$
- D = 6 cm $\Delta\rho \approx 20 \text{ kg/m}^3$
- ▲ D = 3 cm $\Delta\rho \approx 2 \text{ kg/m}^3$
- △ D = 6 cm $\Delta\rho \approx 2 \text{ kg/m}^3$

● PROEVEN MET PULERS
B = BREEDTE GOOT =
BREEDTE TOESTRO-
MINGSKANAAL

L = 1,35 m

$$F_1 = \frac{Q/BD}{\sqrt{\epsilon g D^3}} = \frac{q_c/D}{\sqrt{\epsilon g D^3}}$$

RESULTATEN PROEVEN MET PULERS

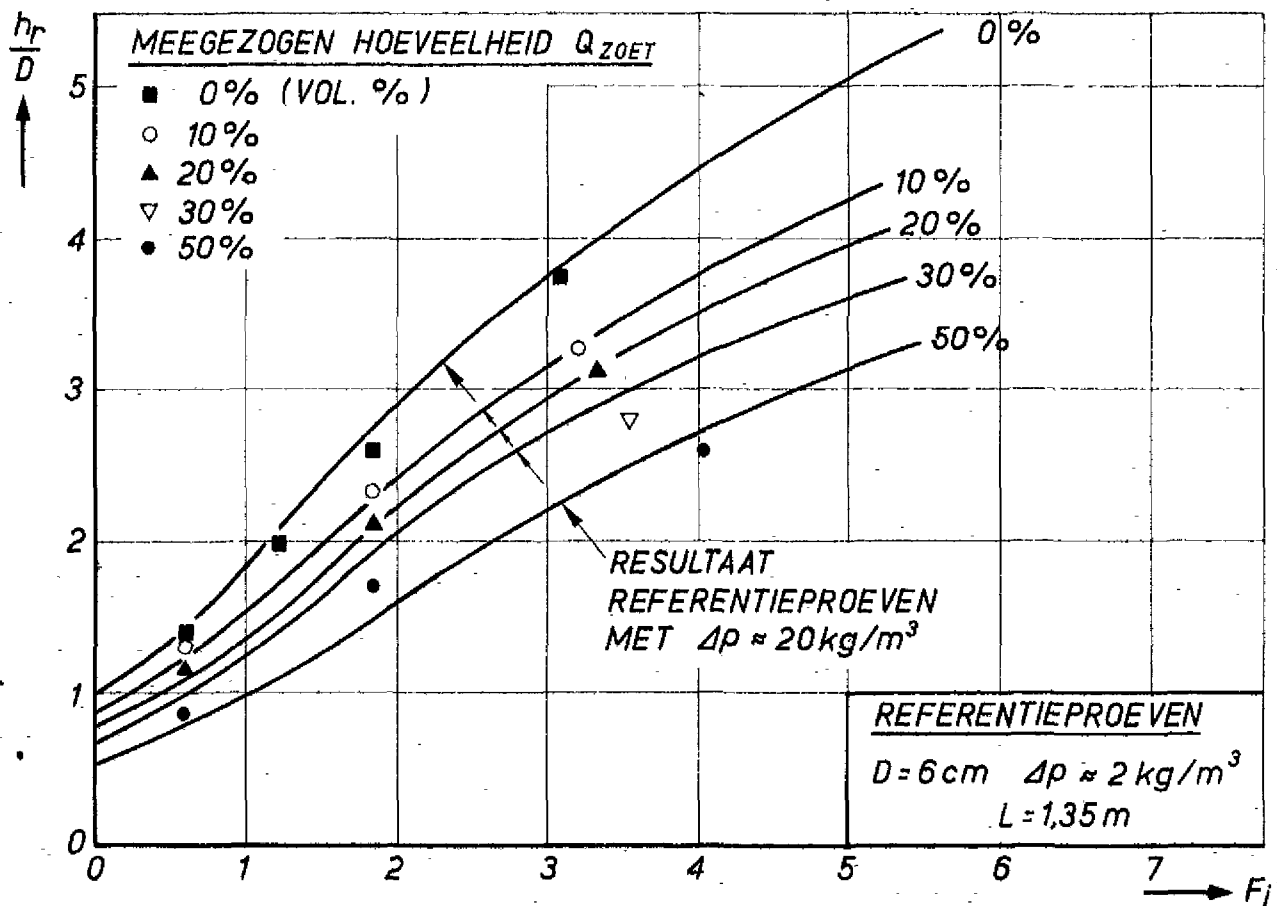
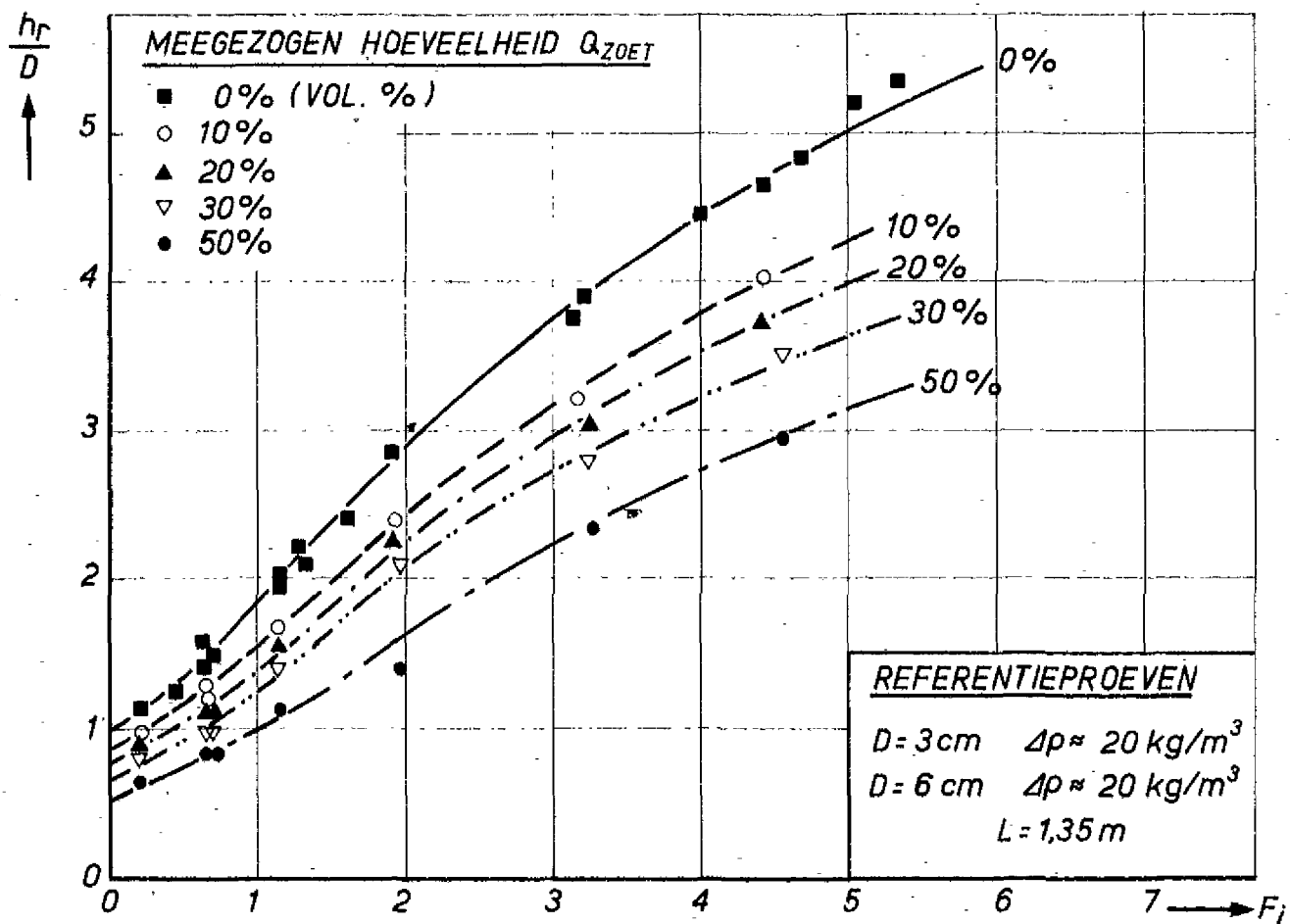
JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1204-1013

FIG.13



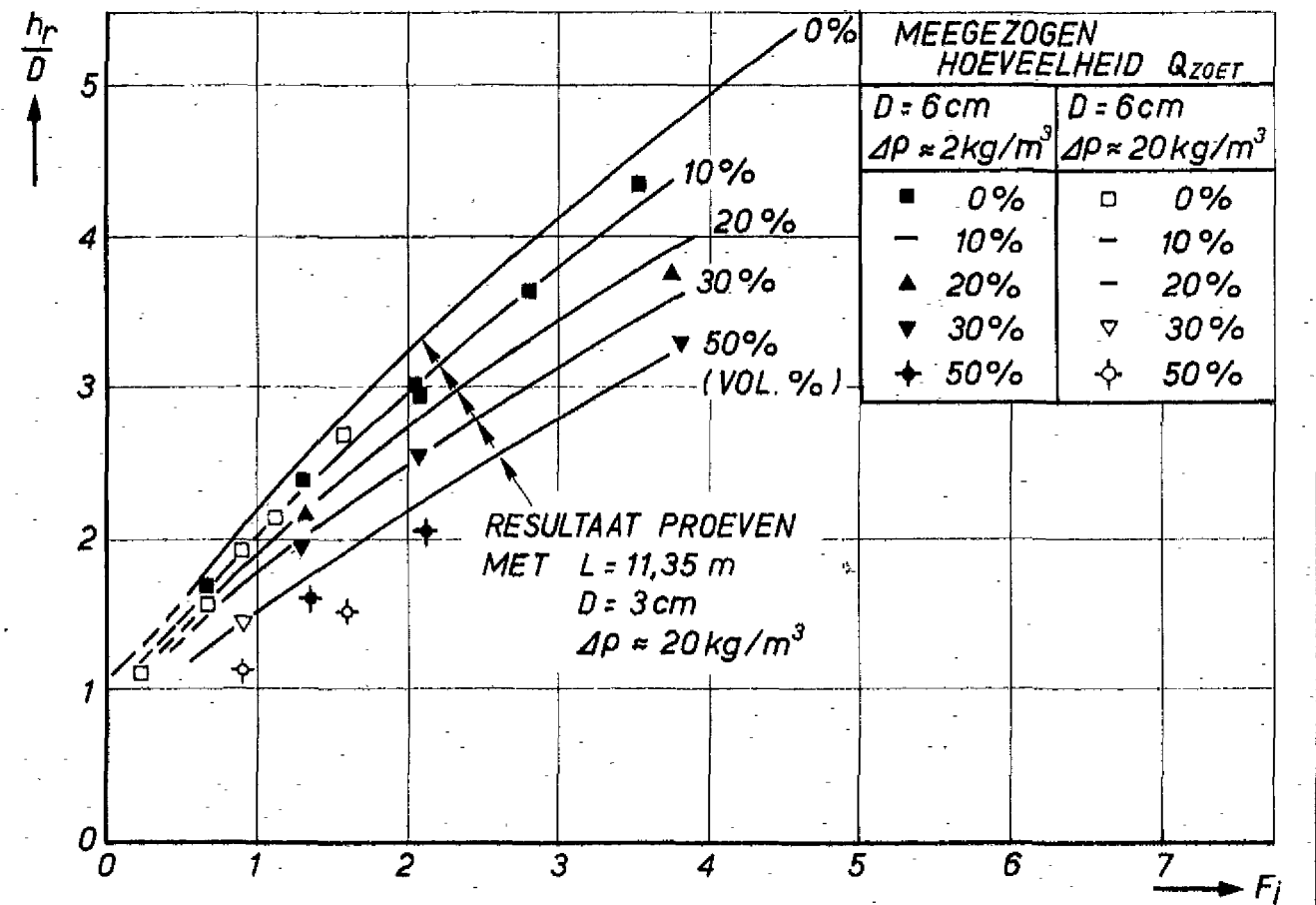
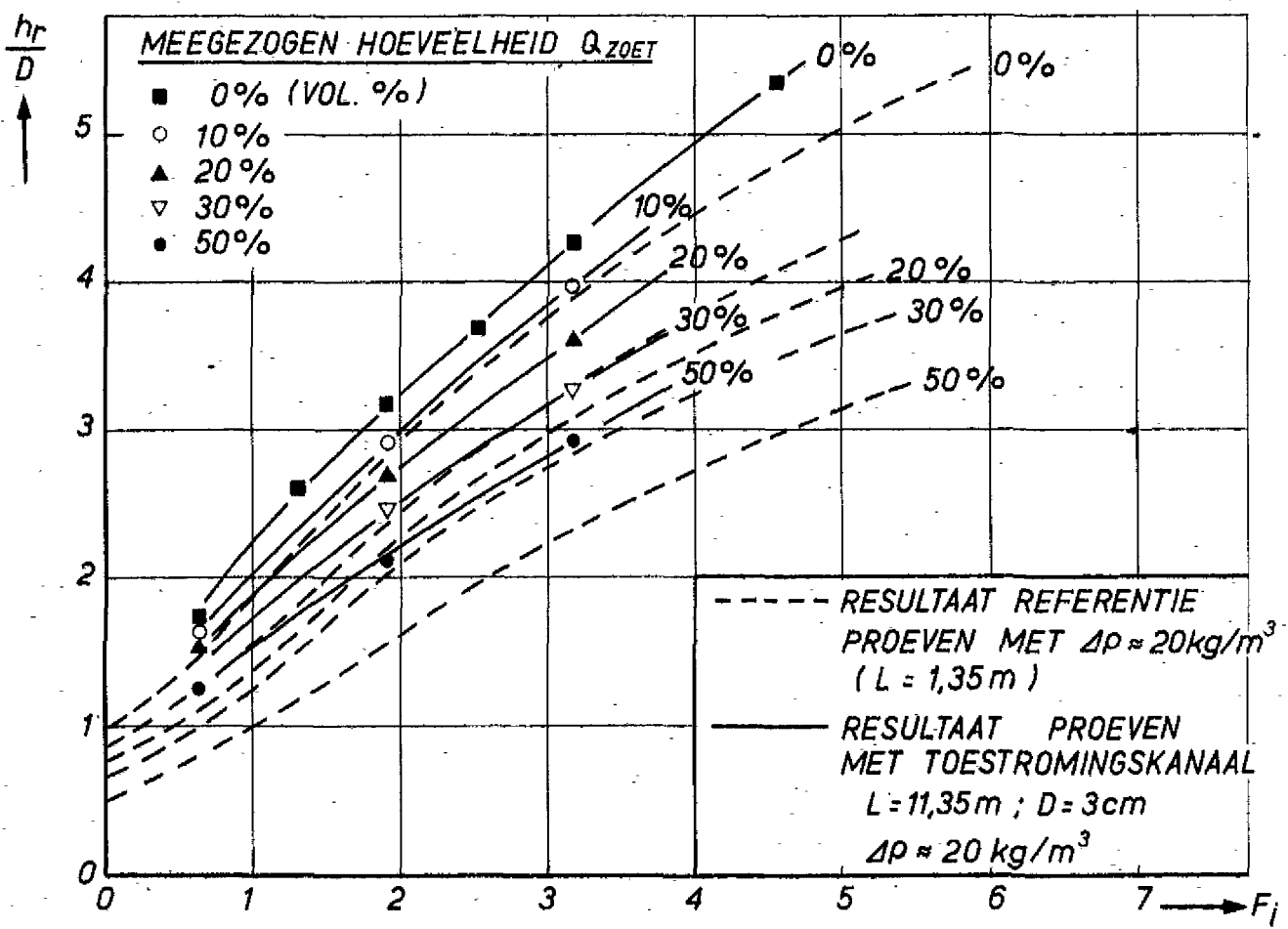
RESULTATEN PROEVEN MET MEEZUIGEN VAN ZOET WATER UIT DE BOVENLAAG. (REFERENTIEPROEVEN)

$$F_i = \frac{Q/B \cdot D}{\sqrt{\epsilon g D}}$$

$$Q = Q_{\text{TOTAAL}}$$

JB

A4

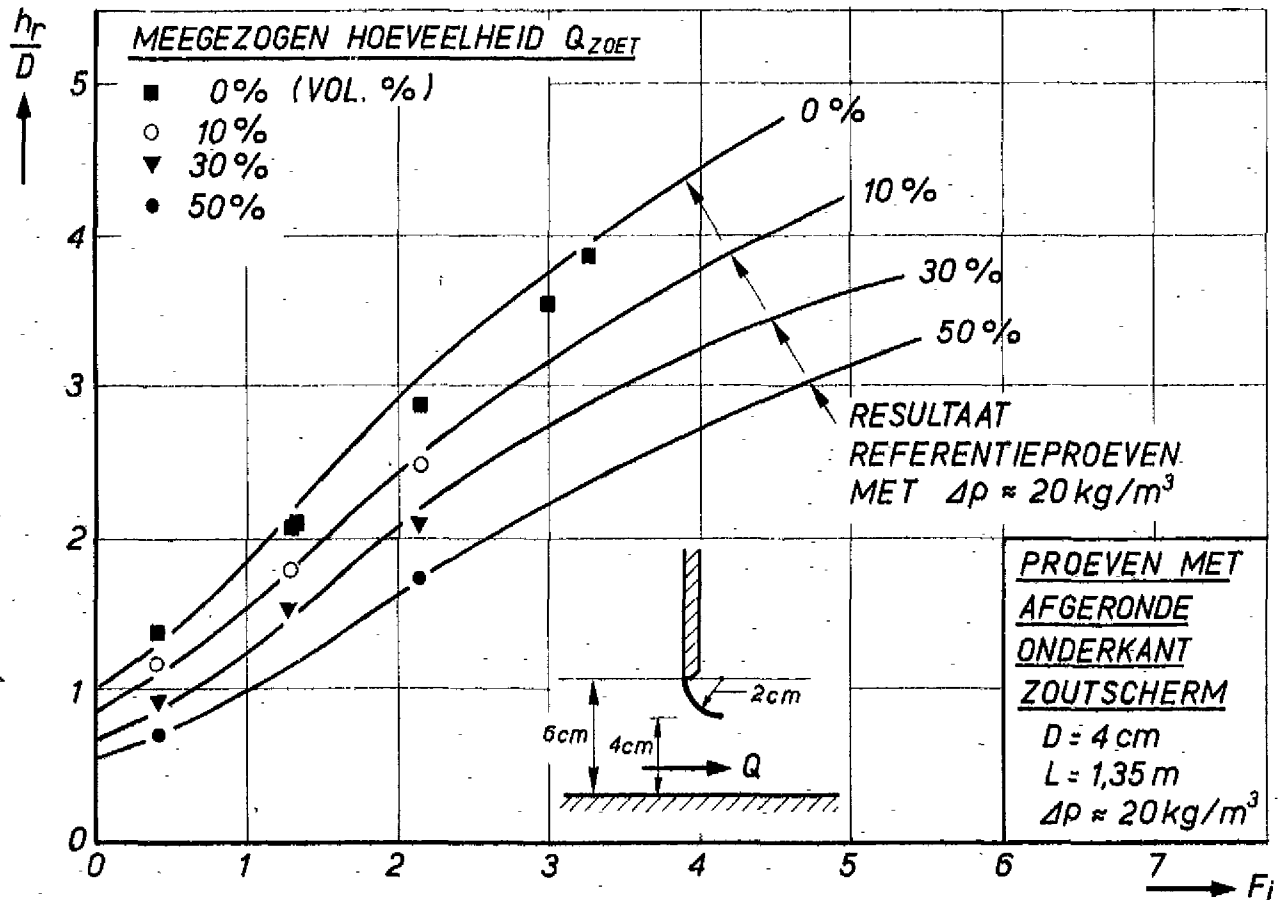
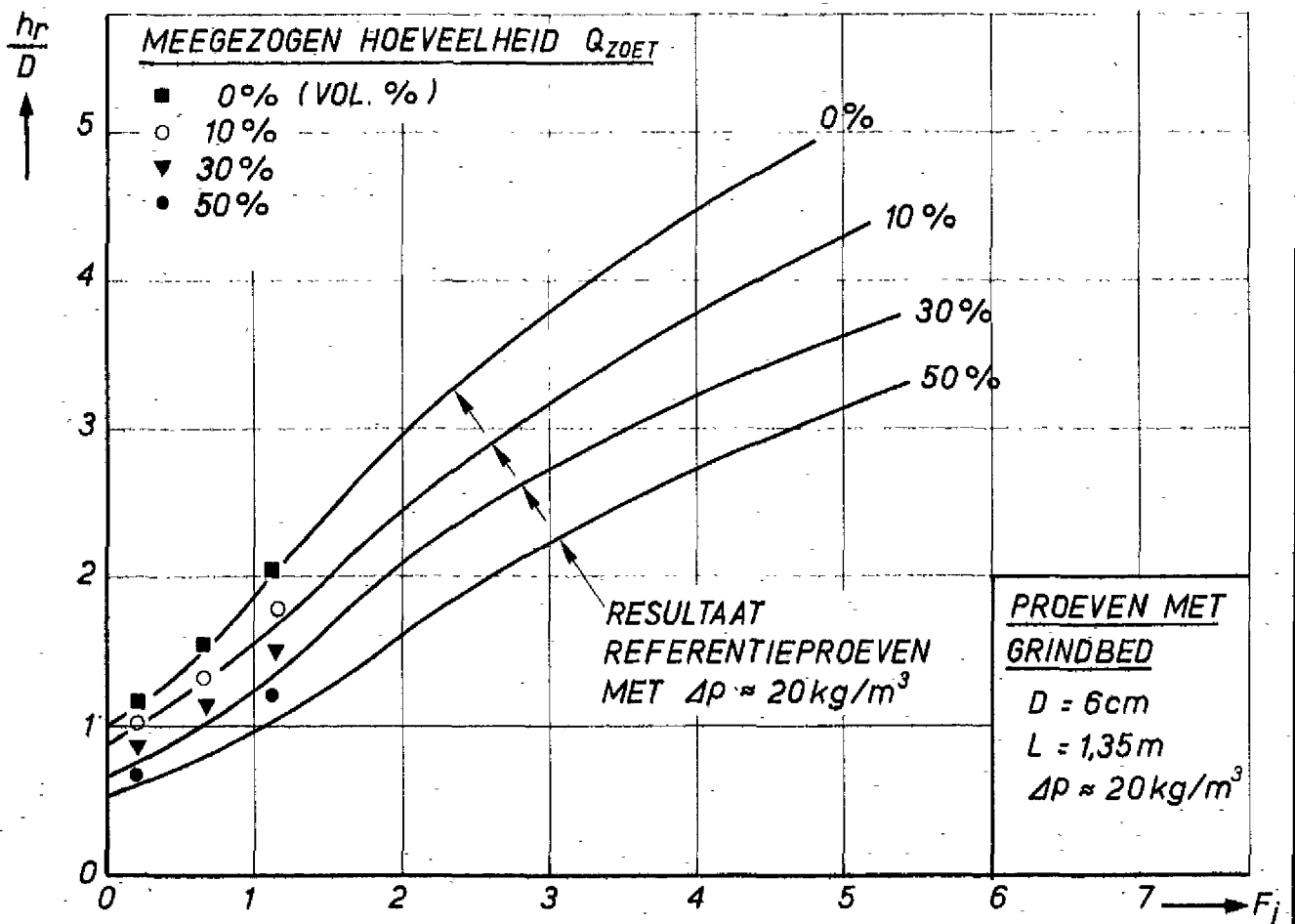


RESULTATEN PROEVEN MET MEEZUGEN VAN ZOETWATER UIT DE BOVENLAAG. (MET TOESTROMINGSKANAAL $L = 11,35\text{ m}$)

$$F_i = \frac{Q/B \cdot D}{\sqrt{\epsilon g D}}$$

$Q = Q_{\text{TOTAAL}}$

JB
A4



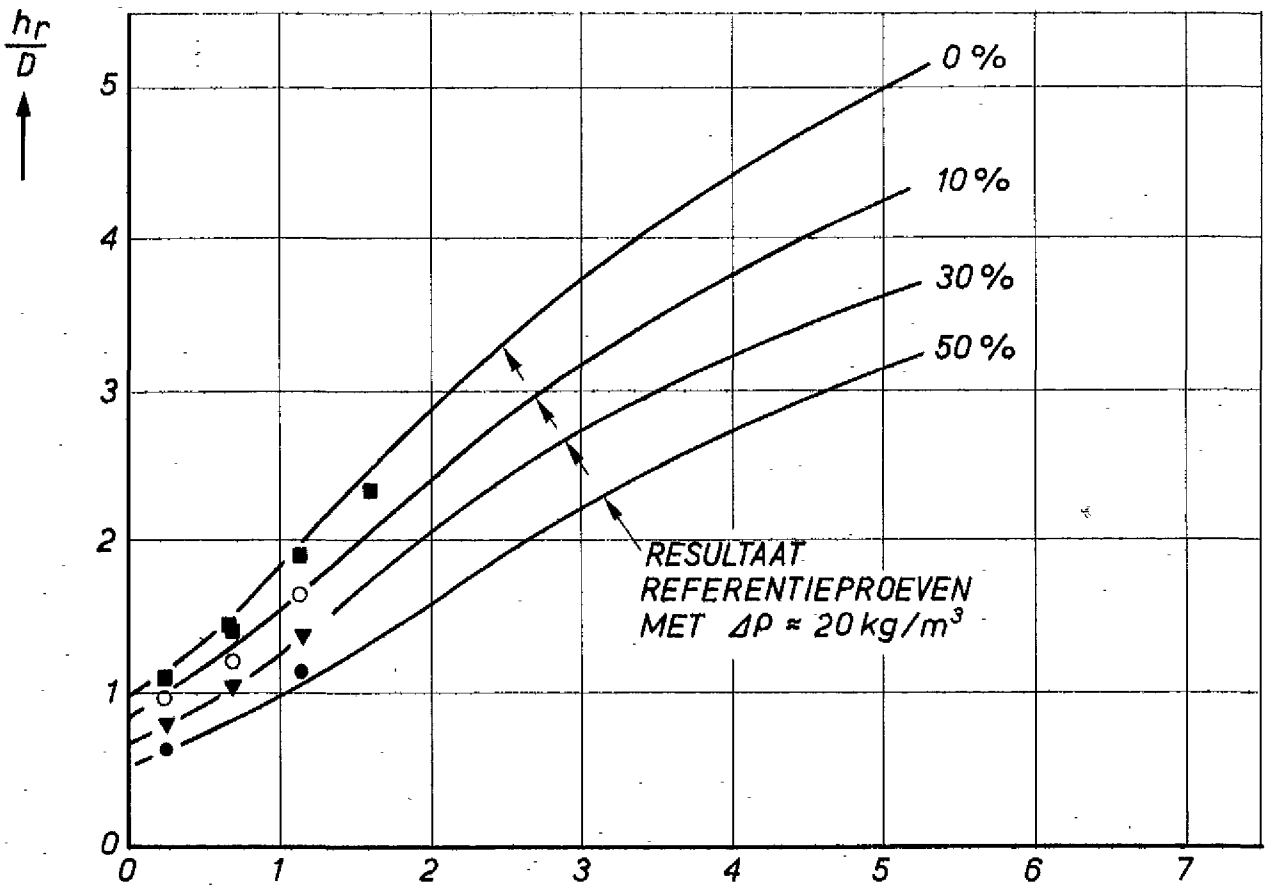
RESULTATEN PROEVEN MET MEEZUIGEN VAN ZOETWATER UIT DE BOVENLAAG.
 (GRINDBED ; AFGERONDE ONDERKANT ZOUTSCHERM)

$$F_j = \frac{Q/B \cdot D}{\sqrt{egD}}$$

$Q = Q_{\text{TOTAAL}}$

JB

A4



LEGENDA

MEEGEZOGEN HOEVEELHEID Q_{ZOET}

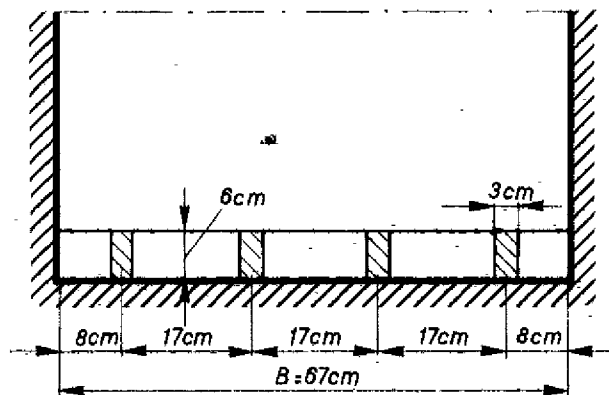
- 0% (VOL. %)
- 10%
- ▼ 30%
- 50%

$$F_j = \frac{Q/B \cdot D}{\sqrt{\epsilon g D}}$$

($Q = Q_{TOTAAL}$)

PROEVEN MET PULERS

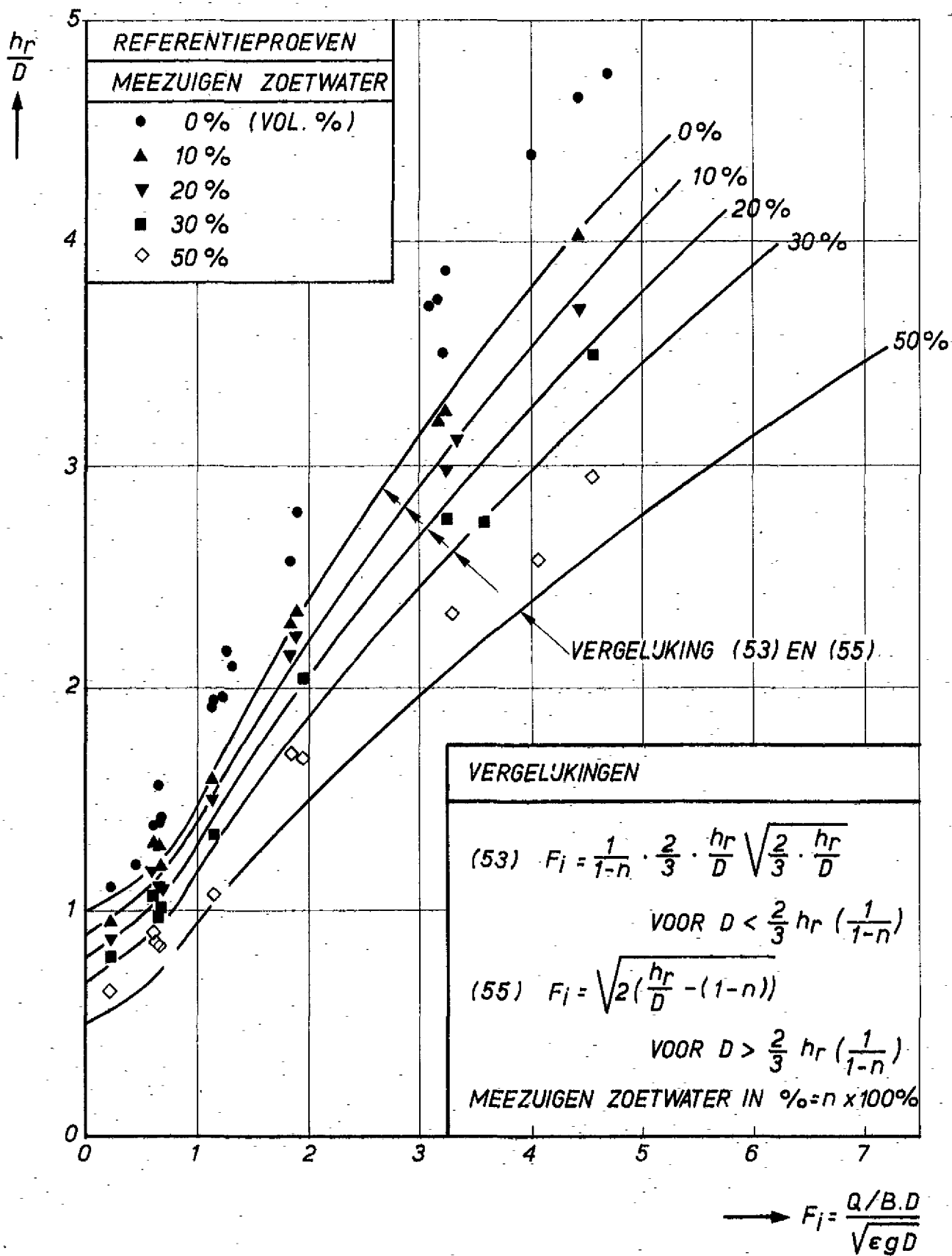
$D = 6 \text{ cm}$
 $\Delta \rho \approx 20 \text{ kg/m}^3$
 $L = 1,35 \text{ m}$



RESULTATEN PROEVEN MET MEEZUIGEN VAN
 ZOETWATER UIT DE BOVENLAAG (PULERS)

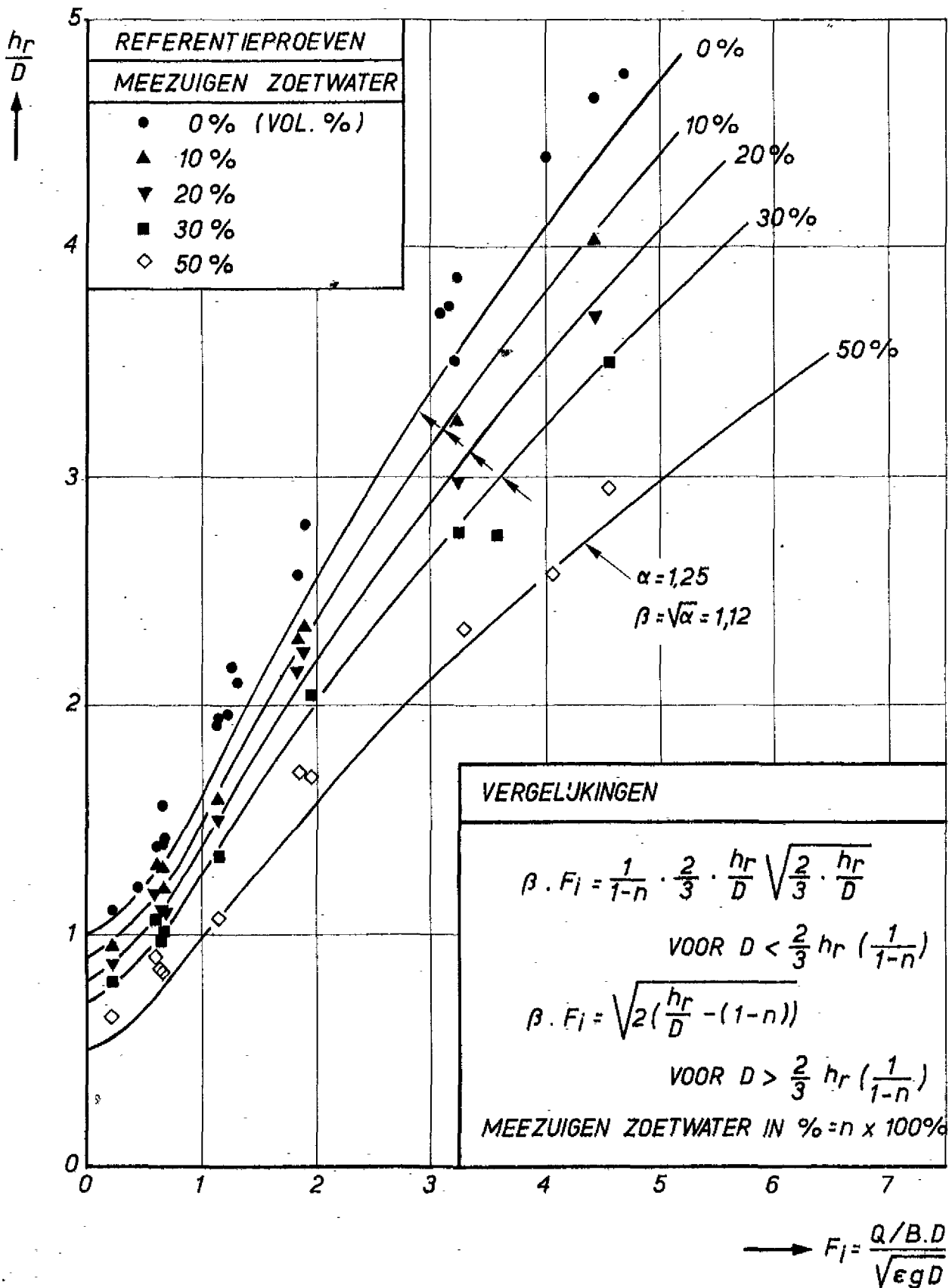
JB

A4



VERGELUKING THEORETISCHE BENADERING EN
 PROEFRESULTATEN BIJ MEEZUIGEN ZOETWATER

Q = Q _{TOTAAL}	JB
	A4
M.1204-1018	FIG.18



VERGELJKING THEORETISCHE BENADERING EN PROEF-
RESULTATEN BIJ MEEZUIGEN ZOETWATER MET $\alpha = 1,25$
(VANWEGE NIET UNIFORME SNELHEIDSVERDELING)

$Q = Q_{\text{TOTAAL}}$

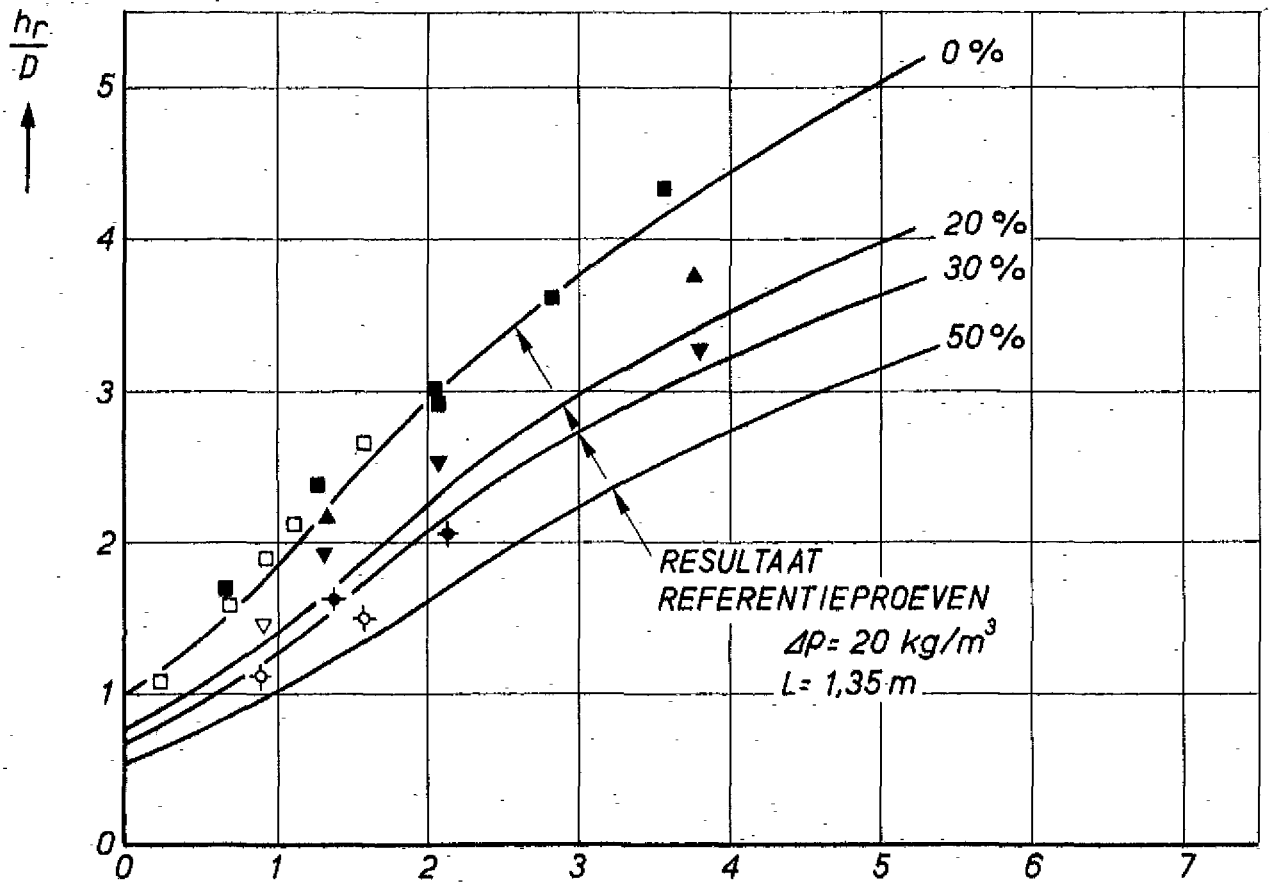
JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1204-1019

FIG.19



$$F_j = \frac{Q/BD}{\sqrt{\epsilon g D}}$$

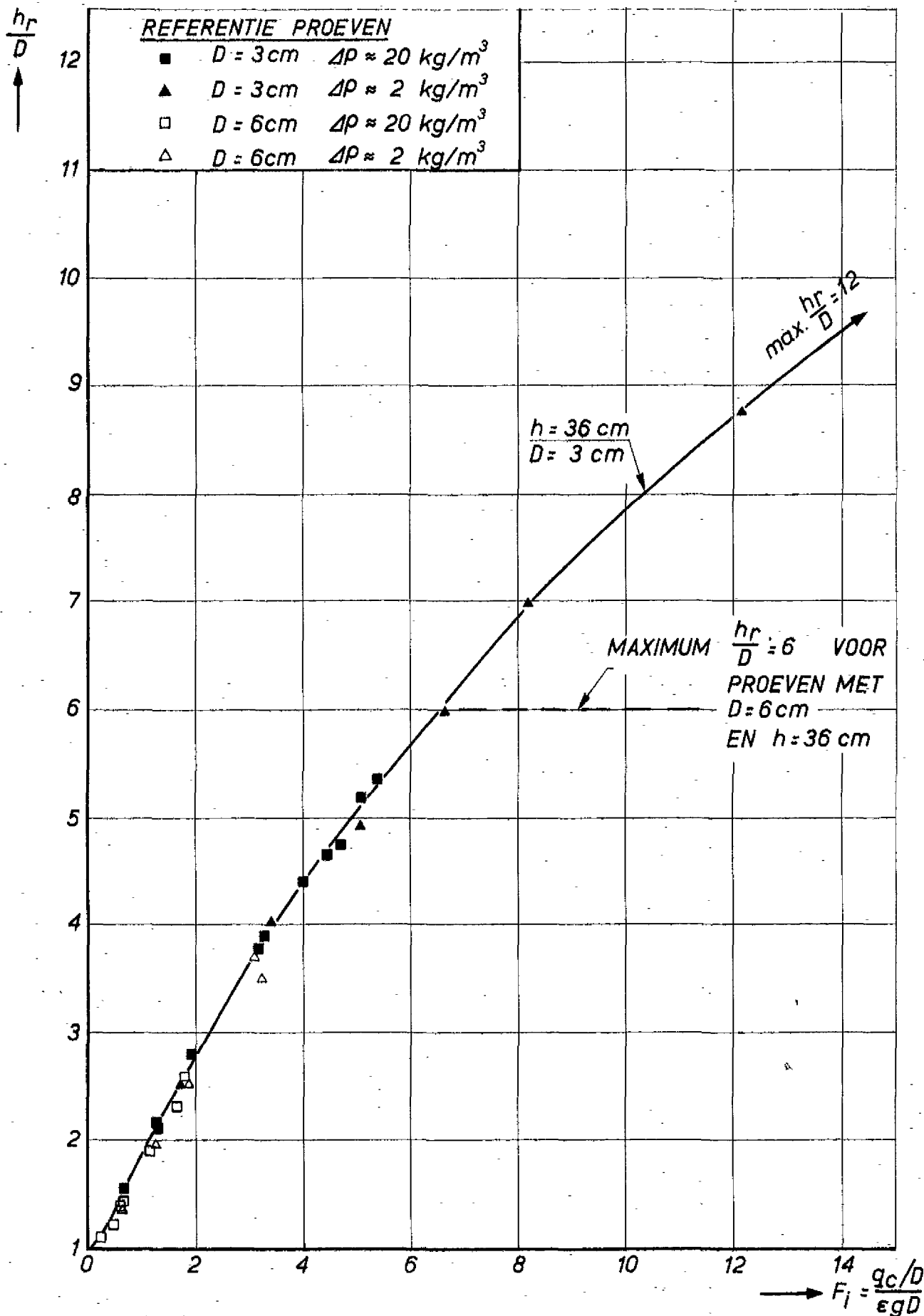
($Q = Q_{\text{TOTAAL}}$)

MEEGEZOGEN HOEVEELHEID Q_{ZOET} ($L=11,35 \text{ m}$)	
$D=6 \text{ cm} ; \Delta\rho \approx 2 \text{ kg/m}^3$	$D=6 \text{ cm} ; \Delta\rho \approx 20 \text{ kg/m}^3$
■ 0%	□ 0%
▲ 20%	— 20%
▼ 30%	▽ 30%
✦ 50%	✧ 50%

RESULTSULTATEN PROEVEN MET TOESTROMINGSKANAAL
IN VERGELUKING MET RESULTATEN PROEVEN
ZONDER TOESTROMINGSKANAAL

JB

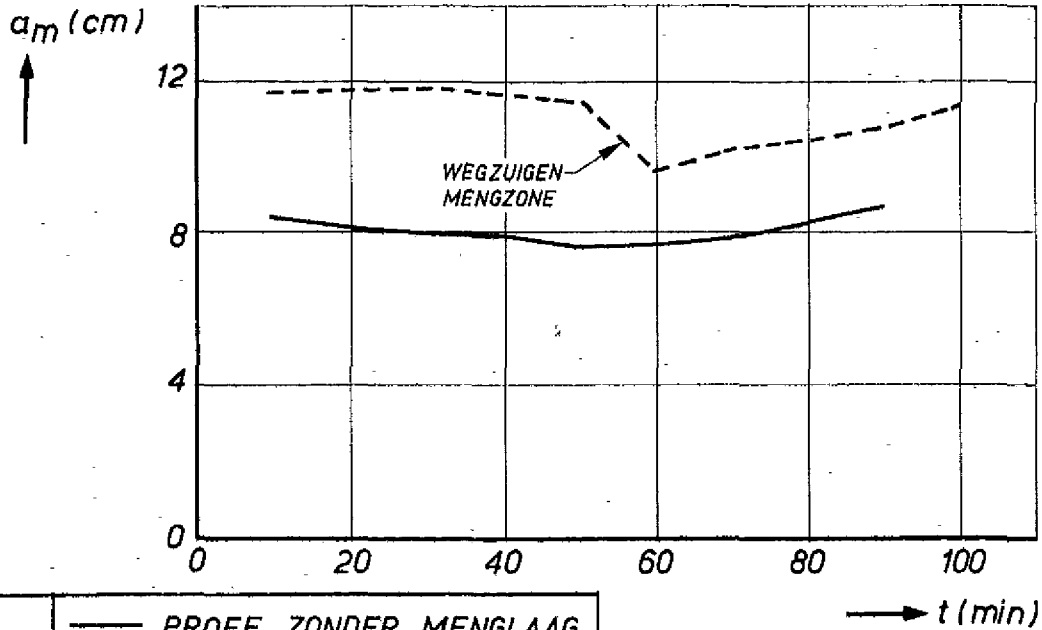
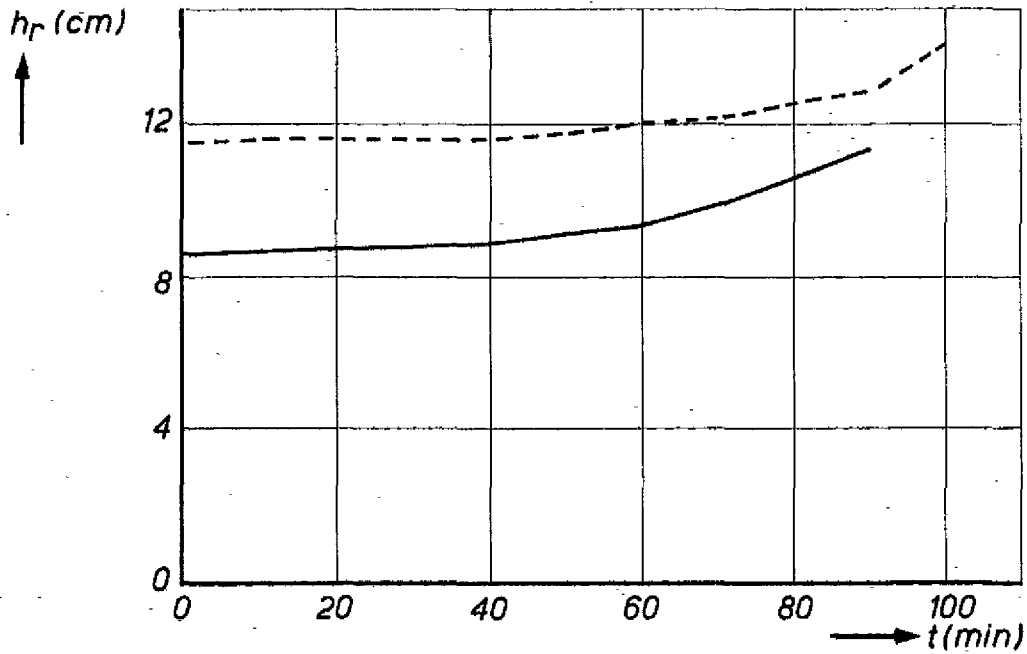
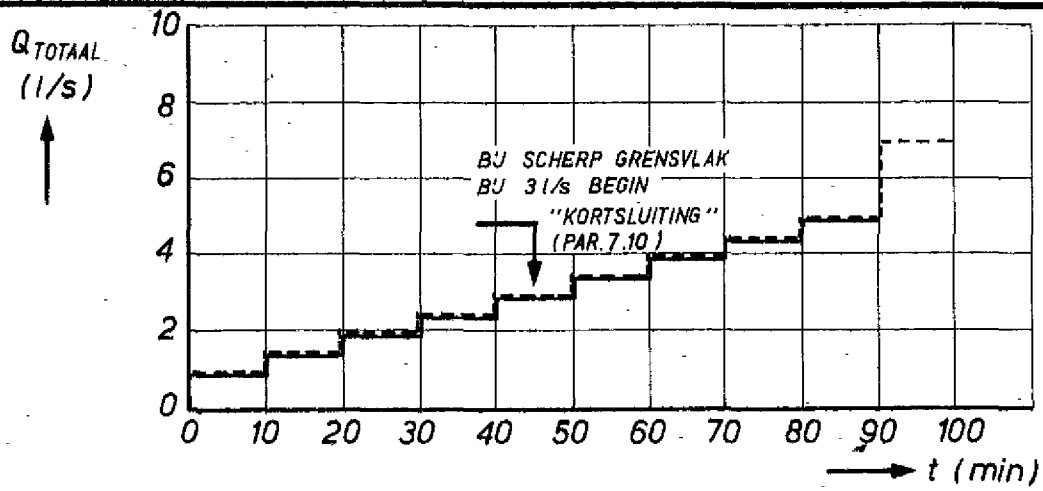
A4



INVLOED TOTALE WATERDIEPTE OP
PROEFRESULTATEN BIJ SELECTIEF AFZUIGEN

JB

A4



LEGENDA

— PROEF ZONDER MENGLAAG
- - - " " " MET " "

MEETGEGEVENS VAN DE DUURPROEVEN
ALS FUNCTIE VAN DE TIJD (h_r EN a_m)

$Q_{ZOET} = 0$

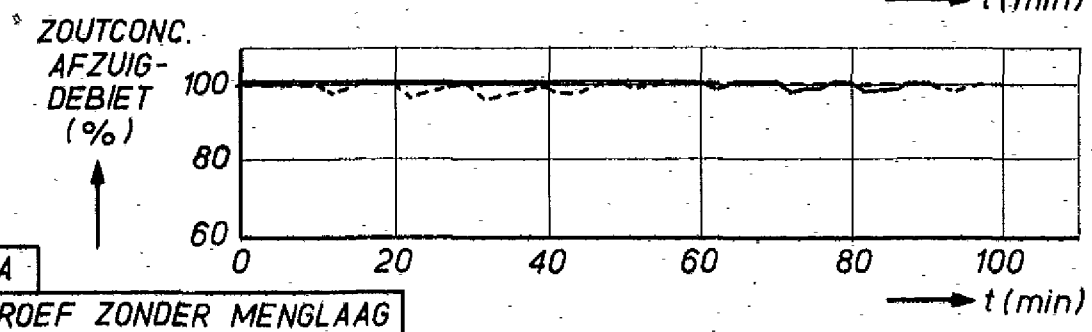
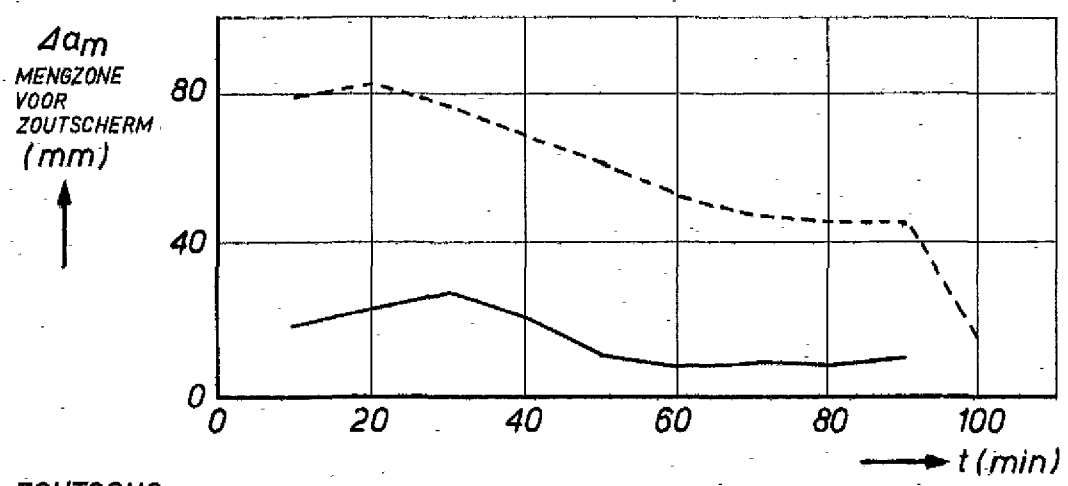
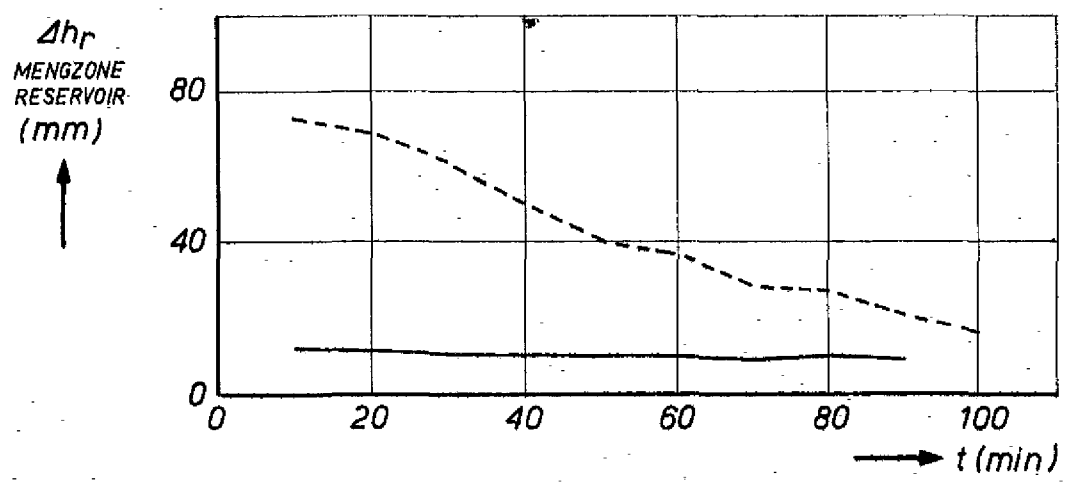
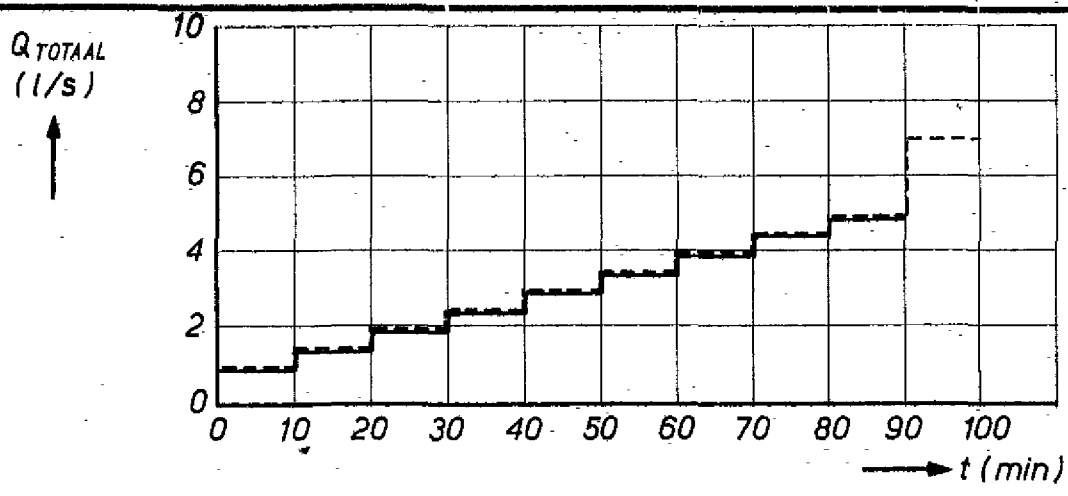
JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1257-1022

FIG. 22



LEGENDA

— PROEF ZONDER MENGLAAG

- - - " MET " "

MEETGEGEVENS VAN DE DUURPROEVEN ALS
FUNCTIE VAN DE TIJD
(DIKTE MENGLAAG, ZOUTCONC., AFZUIGDEBIET)

	JB
$Q_{\text{ZOET}} = 0$	A4
M.1204-1023	FIG.23

ZOUTVERTIKALEN DUURPROEVEN

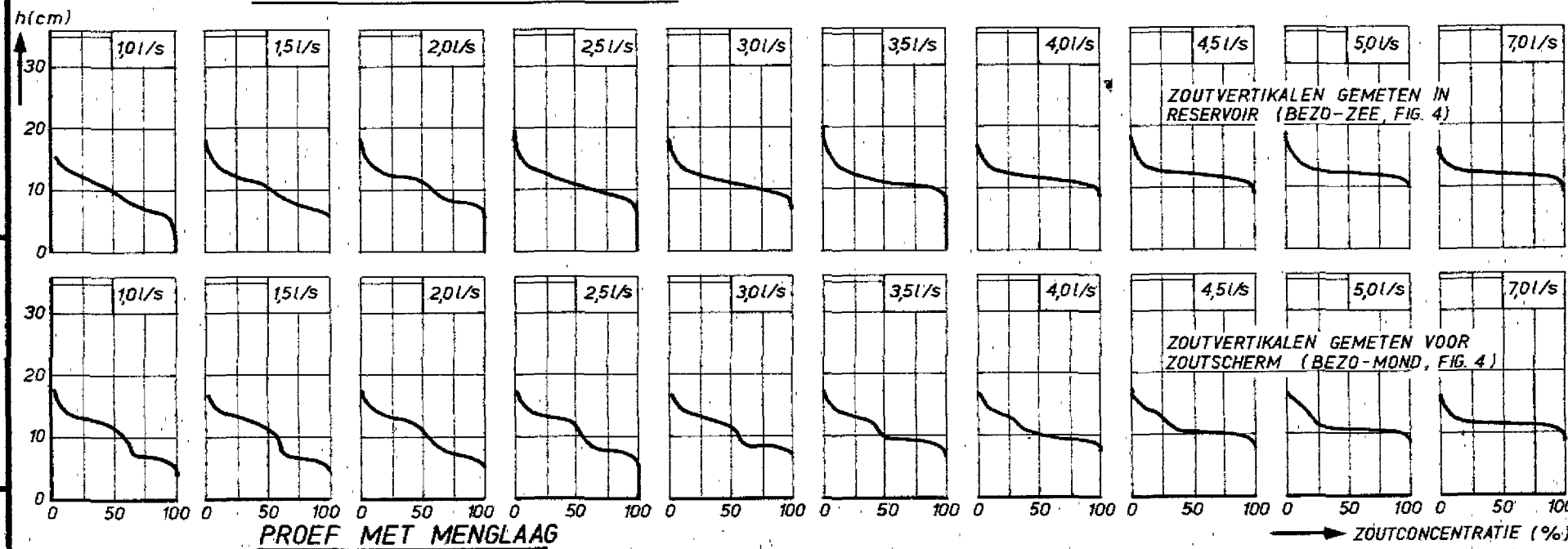
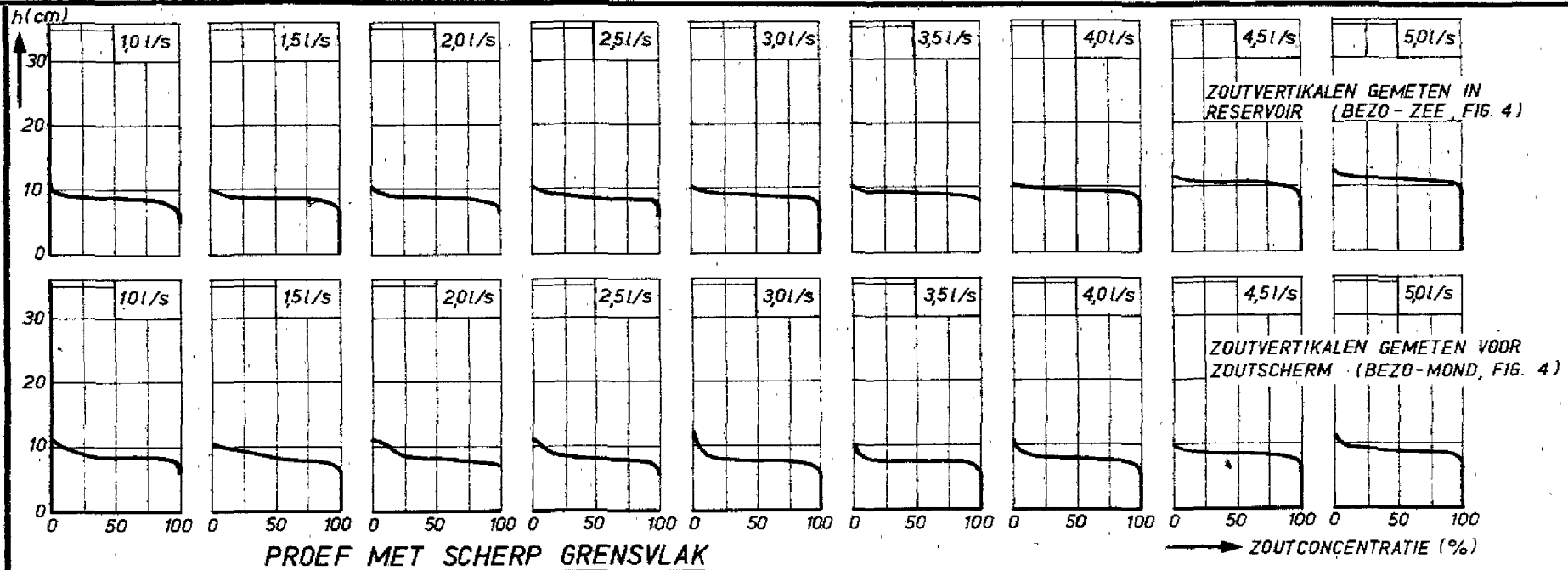
M.1204-1024

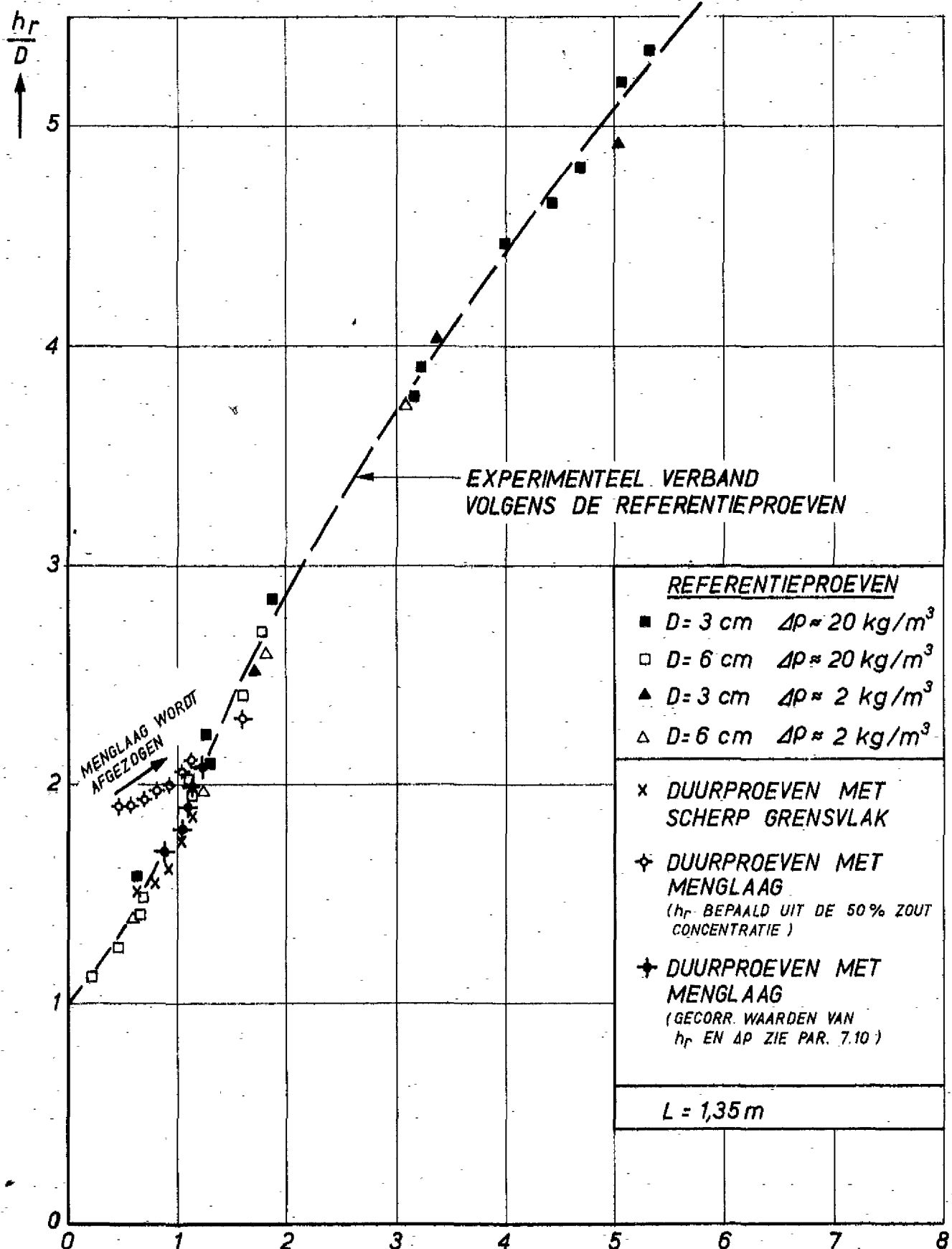
FIG. 24

HET TOTALE
AFZUGDEBIET Q
IS BUESCHREVEN IN I/S
(ZIE OOK FIG. 22 EN 23)

A4

JB





$$F_j = \frac{Q/BD}{\sqrt{\epsilon g D}} = \frac{q_c/D}{\sqrt{\epsilon g D}}$$

RESULTATEN DUURPROEVEN IN VERGELIJKING MET DE REFERENTIEPROEVEN

JB
A4

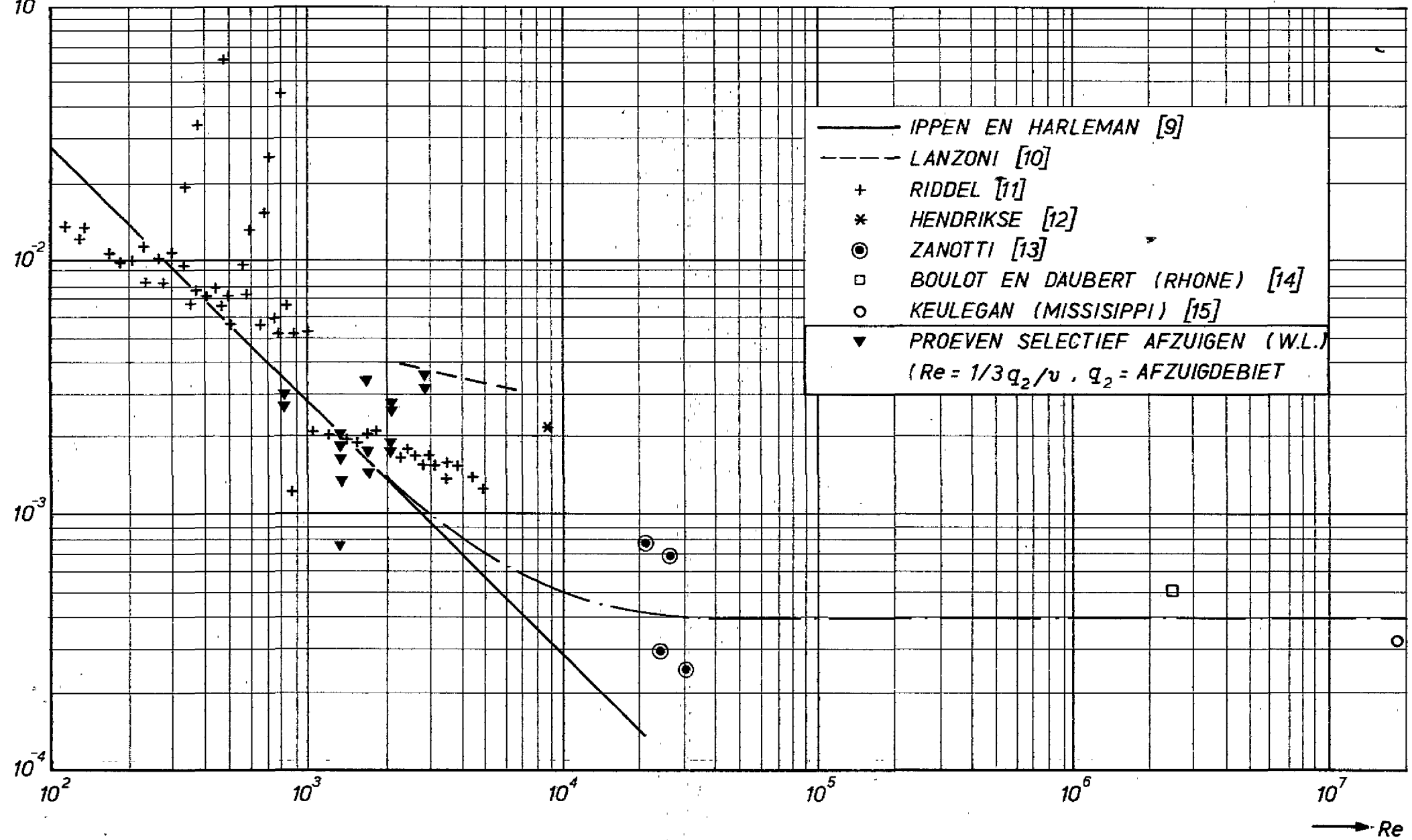
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1204-1025

FIG.25

$k_i (\lambda_i = 8k_i) 10^{-1}$

↑



VOOR RESULTATEN STILSTAANDE ZOUTTONG $Re = \frac{q_{BOVENLAAG}}{v}$

VOOR RESULTATEN SELECTIEF AFZUIGEN $Re = \frac{1/3q_{ONDERLAAG}}{v}$

q : DEBIET PER m' BREEDTE

RESULTATEN λ_i ALS FUNCTIE VAN Re IN VERGELIJKING
MET LITERATUURGEDEEVENS

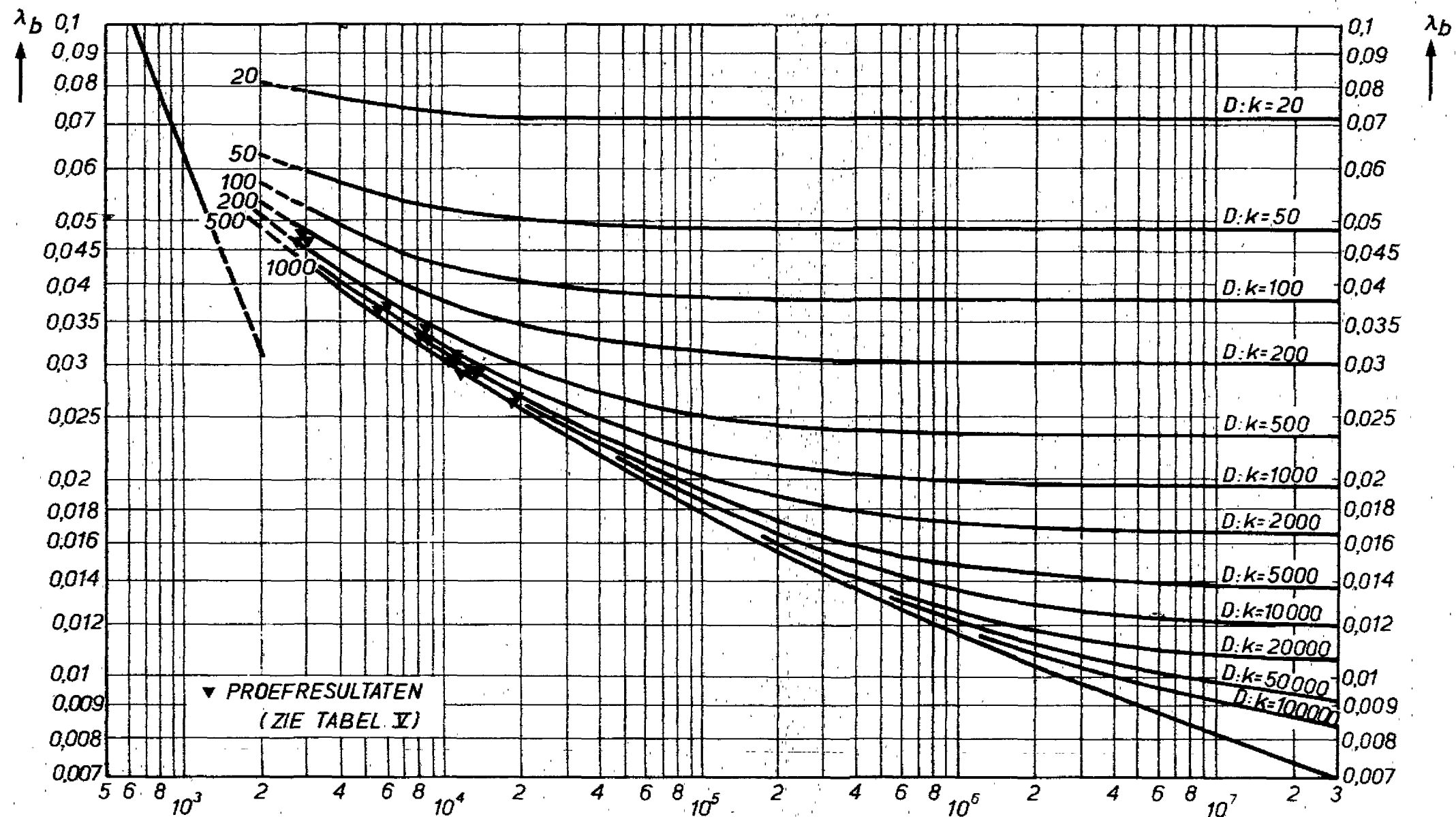
JB

A3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1204-1026

FIG. 26



BIJ TOEPASSING VOOR SELECTIEF AFZUIGEN WORDT

$4R_2$ IN PLAATS VAN D GESTELD.

D =BUISDIAMETER R_2 =HYDRAULISCHE STRAAL ONDERLAAG. =

k =MAAT VOOR DE WANDRUWHEID

$$= \frac{B \cdot \frac{2}{3} \cdot a_2}{B + \frac{2}{3} \cdot 2a_2}$$

$$\rightarrow Re_1 = \frac{u_2 D}{\nu} = \frac{4u_2 \cdot R_2}{\nu}$$

WEERSTANDSCOEFF. VOOR STROMING DOOR BUIZEN
(NIKURADSE 1933) IN VERGELIJKING MET PROEFRESUL-
TATEN λ_b ALS FUNCTIE VAN Re VOOR SELECTIEF AFZUIGEN

ZIE [4]

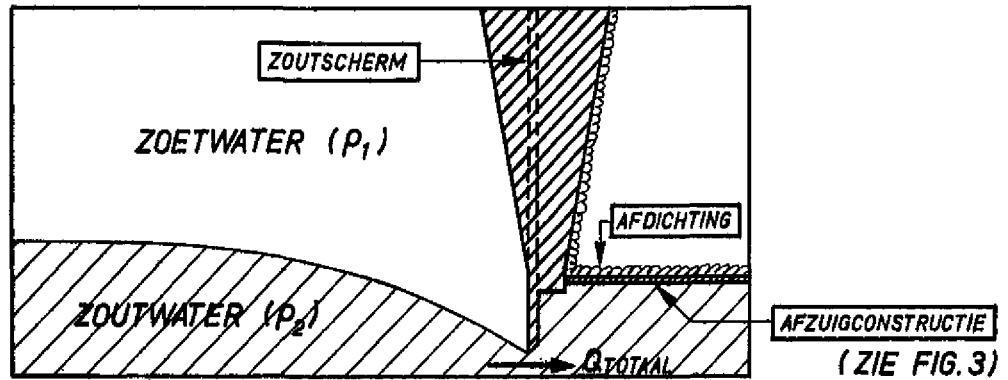
JB

A3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1204-1027

FIG.27



SITUATIESCHETS VOOR FOTO'S

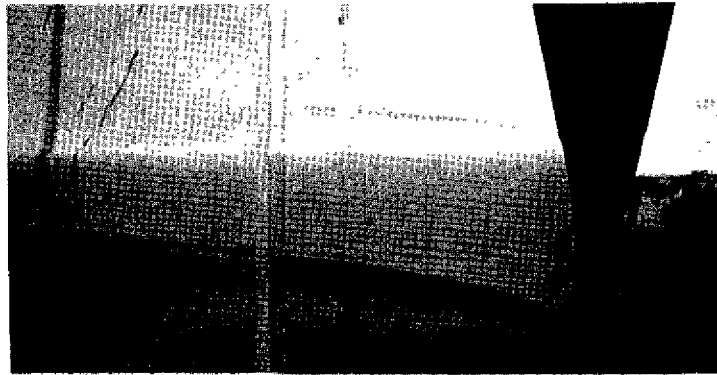


foto 1

Afzuigdebiet kleiner dan kritieke waarde bij selektief afzuigen.

Gegevens situatie foto 1:

$$Q_{\text{totaal}} = 1,5 \text{ l/s (model)}$$

$$h_r = 14 \text{ cm}$$

$$D = 3 \text{ cm}$$

$$\epsilon = \Delta\rho/\rho_2 = 0,02$$

$$h_r/D = 4,66$$

$$Fi = 0,97$$

- Er is een stilstaande zoutwaterlaag aanwezig boven een stromende zoutwaterlaag met een dichtheid gelijk aan die van de stromende laag.

(Zie verder foto 2.)

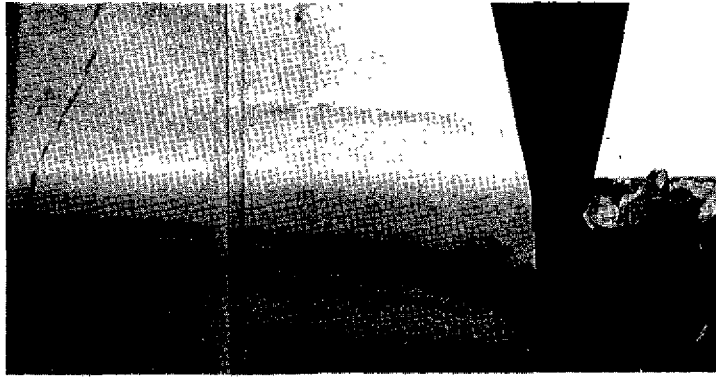


foto 2

Afzuigdebiet kleiner dan kritieke waarde bij selectief afzuigen.

Gegevens situatie foto 2:

$Q_{\text{totaal}} = 3 \text{ l/s}$ (stapsgewijs verhoogd uitgaande van de
situatie volgens foto 1)

$h_r = 14 \text{ cm}$

$D = 3 \text{ cm}$

$\epsilon = 0,02$

$h_r/D = 4,66$

$Fi = 1,94$

- Er is een stilstaande zoutwaterlaag boven een stromende zoutwaterlaag met een dichtheid, die kleiner is dan die van de stromende laag. Er vormt zich een mengzone (zie par. 7.10).

(Zie verder foto 3.)

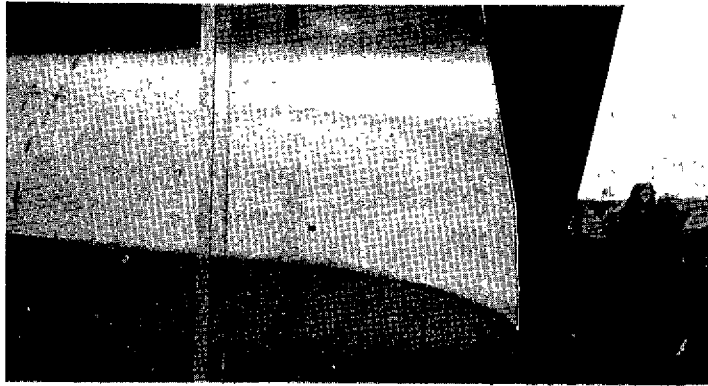


foto 3

Afzuigdebiet nadert kritieke waarde bij selectief afzuigen.

Gegevens situatie foto 3:

$Q_{\text{totaal}} = 5 \text{ l/s}$ (stapsgewijs verhoogd, uitgaande van de
situatie volgens foto 2)

$h_p = 14 \text{ cm}$

$D = 3 \text{ cm}$

$\epsilon = 0,02$

$h_p/D = 4,66$

$Fi = 3,23$

} zie fig. 6

- De mengzone van foto 2 is verdwenen (zie par. 7.10).
(Zie verder foto's 4 en 5.)

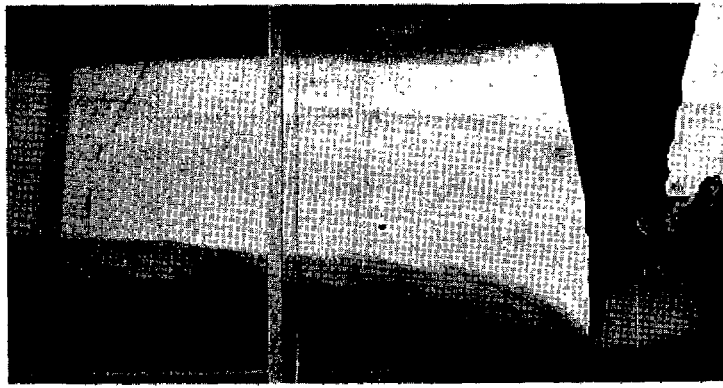


foto 4

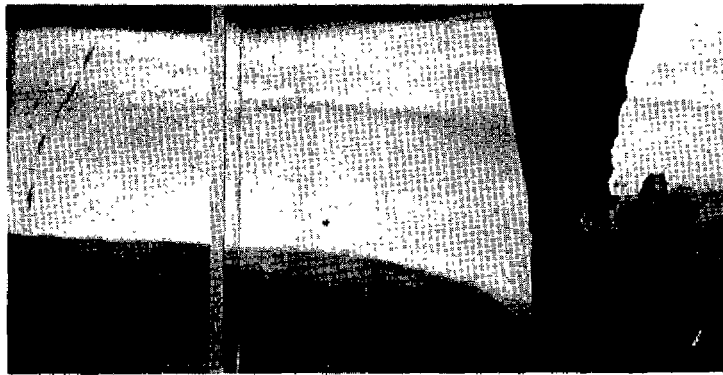


foto 5

Afzuigdebiet heeft kritieke waarde bereikt voor selectief afzuigen.

Gegevens situatie foto's 4 en 5:

$Q_{\text{totaal}} = 9 \text{ l/s}$ (stapsgewijs verhoogd, uitgaande van de
situatie volgens foto 3)

$h_r \approx 16 \text{ cm}$

$D = 3 \text{ cm}$

$\epsilon = 0,02$

$h_r/D \approx 5,33$

$Fi = 5,82$

} zie fig. 6

- Bij $h_r = 14 \text{ cm}$ is het kritieke debiet voor selectief afzuigen kleiner dan 9 l/s . Als gevolg daarvan is in eerste instantie zoet water meegezogen, waarbij de zoutwaterlaagdikte toenam totdat weer volledig selectief werd afgezogen. Op foto 5 is vlak voor het scherm de vorming van een mengzone waar te nemen, die steeds weer wordt afgezogen (foto 4). (Zie ook par. 7.2.)

waterloopkundig laboratorium postbus 177 delft