



2e EXEMPLAAR

# waterloopkundig laboratorium delft hydraulics laboratory

---

stormvloedkering Oosterschelde

doorlatendheid van de spleet onder de dorpel

interim-verslag modelonderzoek

---

M 1451 -8

juni 1980

INHOUD

	blz.
<u>1</u> <u>Inleiding en samenvatting</u> .....	1
1.1    Doel en opdracht van het onderzoek .....	1
1.2    Samenvatting .....	1
<u>2</u> <u>Inrichting van de proeven</u> .....	3
<u>3</u> <u>Proevenprogramma</u> .....	5
<u>4</u> <u>Resultaten</u> .....	6
4.1    Algemeen .....	6
4.2    Bepaling van de doorlatendheid ten behoeve van SEEP .....	6
4.3    Nadere evaluatie van de stroming onder de dorpel .....	8
4.3.1  Het mechanisme .....	8
4.3.2  De grootte van het lekdebiet .....	9
4.3.3  Onderstroming van de dorpel bij afwezigheid van bestortingen .....	11
4.3.4  Orde van grootte van de wrijvingsverliezen.....	14
4.3.5  Overige resultaten .....	15
<u>5</u> <u>Konklusies</u> .....	17

## TABELLEN

- 1 Overzicht proeven T1...T13, T31 en T32...T34
- 2 Overzicht proeven T17...T22, T23...T30
- 3 Bepaling doorlatendheid ten behoeve van SEEP

## FIGUREN

- 1 Proefopstelling T1...T13, T31
- 2  $\frac{C^2 R^3}{D^2}$  als functie van R en S

## STORMVLOEDKERING OOSTERSCHELDE

### Doorlatendheid van de spleet onder de dorpel

#### 1 Inleiding en samenvatting

##### 1.1 Doel en opdracht van het onderzoek

Het onderhavige verslag handelt over modelonderzoek naar de waterdoorlatendheid van de spleet tussen de dorpel en de drempel van de stormvloedkering Oosterschelde. De bepaling van deze doorlatendheid is onder meer van belang voor berekeningen naar het potentiaalbeeld van de stroming door de drempel met het rekenprogramma SEEP (voor de berekeningen zie bijvoorbeeld [4]).

Een verantwoorde schatting van de doorlatendheid zonder het uitvoeren van modelonderzoek was niet goed mogelijk in verband met de extreme ruwheid van de drempeltoplaag die de onderbegrenzing van de spleet vormt. Literatuur op dit gebied heeft steeds betrekking op situaties met vrije stroming (bijvoorbeeld [1], [2]). Ook een eerder uitgevoerd onderzoek naar onderstroming van caissons van het Volkerak ([3]) bood geen uitsluitsel, omdat hierbij een vlakke, gladde drempel werd toegepast.

Het modelonderzoek werd d.d. 17 mei 1978 telefonisch opgedragen bij monde van ir. M.L. van der Does de Bye, namens de Hoofdafdeling Waterloopkunde van de Deltadienst van Rijkswaterstaat.

Het onderzoek vond eind mei en begin juni 1978 plaats in de Tussenpadgoot in het Laboratorium De Voorst en stond onder leiding van ir. G.J. Akkerman, die ook dit verslag samenstelde.

##### 1.2 Samenvatting

Het onderhavige verslag handelt over de onderloopsheid van de dorpel van de Stormvloedkering Oosterschelde als gevolg van een spleet tussen de dorpel en de steenbestorting (1-3 ton) van de drempel. Hoofddoel van het onderzoek was het leveren van een representatieve doorlatendheidswaarde van de spleet als functie van de spleethoogte ten behoeve van het rekenmodel SEEP (paragraaf 4.2).

Een nadere evaluatie van de resultaten bracht aan het licht dat een globale schatting van het lekdebiet (achteraf) op eenvoudige wijze kan plaatsvinden mits de spleet wordt geschematiseerd tot een boven een vlakke bodem geplaatste dorpel, waarbij de bodem zich bevindt ter hoogte van de gemiddelde toppen der stenen (paragraaf 4.3.2).

Het was niet mogelijk de wrijvingsverliezen afzonderlijk op eenduidige wijze vast te stellen, mogelijk mede als gevolg van het niet-eenparig zijn van de stroming in de relatief korte spleet (paragraaf 4.3.4).

Dientengevolge kan geen uitspraak worden gedaan van de op de stenen uitgeoefende schuifspanningen (hetgeen overigens ook niet het doel van het onderhavige onderzoek was) en kan de coëfficiënt van Chézy niet voor het bepalen van de stroombestendigheid van de bestorting onder de dorpelbalk worden gehanteerd. Ten aanzien van dit laatste zijn inmiddels specifiek op de stroombestendigheid gerichte proeven [6] uitgevoerd.

## 2 Inrichting van de proeven

Voor het bepalen van de doorlatendheid van de spleet onder de dorpel is het nodig en voldoende het debiet te meten (met behulp van de cirkelstuw in de Tussenpadgoot) dat bij een zeker ingesteld verval door de spleet gaat.

Bij de stroming onder de dorpel kan een drietal verliezen worden onderscheiden: instroomverlies, wrijvingsverlies en uitstroomverlies. Aangezien in- en uitstroomverliezen in SEEP niet als zodanig in rekening worden gebracht, dienen deze te worden verdisconteerd in de weerstandswaarde van de spleet zelf.

Bij een meting van het verval zoals in figuur 1 is aangegeven, is dit inderdaad het geval. Het vaststellen van de feitelijke hydraulische weerstand van de spleet is echter wel problematisch in verband met het niet goed afzonderlijk kunnen meten van het wrijvingsverhang in de spleet.

Het werd voldoende geacht een twee-dimensionale sektie weer te geven, met een dorpel geplaatst boven een deel van de drempel. Van deze laatste werd alleen de bovenste laag bestortingsstenen goed weergegeven. Een reële stapeling van die stenen werd verkregen door een onderlaag van dezelfde stenen met een dikte van circa anderhalf maal de toplaag. Voor de drempel werd ernaar gestreefd alleen de bovenste helft van de toplaag watervoerend te maken. Dit bleek overigens niet geheel probleemloos te zijn. Fijn, relatief waterdoorlatend split dat tussen de onderlagen was aangebracht bleek te eroderen bij de relevante stroomkondities. Houten schotjes, geplaatst zoals in figuur 1 is aangegeven, bleken in combinatie met het split ( $D_{50} = 0,027$  m model) wel te voldoen. Veel aandacht werd geschonken aan een zogering mogelijke verstoring van de steenstapeling door de schotjes. Het split bleef in deze situatie stabiel met uitzondering van een kleine zone bij de instroming (stroomuitwerping), hetgeen acceptabel werd geacht. De lengteschaal werd dusdanig gekozen dat een zo grootschalig mogelijke proefopstelling kon worden gerealiseerd. Gekozen werd een lengteschaal van 1:10. Hierbij zijn de bestortingsstenen in model nog dusdanig klein dat invloed van de gootwanden naar verwachting nog acceptabel is. De bijbehorende snelheidsschaalfactor is  $\sqrt{10}$  (stroomtoestand altijd turbulent). Bij de vervalinstelling werd steeds een zo hoog mogelijke bovenwaterstand ingesteld. De desondanks (veel) te lage waterstanden hebben naar verwachting geen invloed op de stroming onder de dorpel gehad. Voor een overzicht van de proefopstelling wordt verwezen naar figuur 1.

De meting van het debiet vond zoals eerder gesteld plaats met behulp van de cirkelstuw van de Tussenpadgoot. Het verval werd ingesteld met behulp van pitôtbuizen. In verband met het meenemen van in- en uitstroomverliezen waren deze geplaatst als in figuur 1 aangegeven (punten A en B). De meting van de benedenstroomse drukhoogte (punt B) werd gerealiseerd met behulp van een tweetal pitôtbuizen, waarvan de aflezingen werden gemiddeld met het oog op toevallige invloeden door de aanwezigheid van nabije stenen.

Met het debiet is de stroomsnelheid in de spleet bekend, echter wel afhankelijk van de definitie van het stroomvoerend profiel! Getracht werd daarom inzicht te verkrijgen in de werkelijke stroomsnelheden in de spleet. Dit gebeurde met behulp van de eerder vermelde twee pitôtbuizen (dynamische aflezing van beide gemiddeld). Waar mogelijk werd tevens met een Ott-molen gemeten.

Van belang is een eenduidige definitie van de spleethoogte. In het model werd de spleethoogte gedefiniëerd als de tussenruimte tussen de onderkant van de dorpel en het gemiddelde niveau van de toppen van de stenen (dit komt overeen met een niveau op  $\frac{1}{2} D_n$  boven het gemiddeld niveau van de topplaat, waarbij  $D_n$  = de nominale diameter  $\approx 0,90$  m prototype). Naast deze "netto" spleethoogte S kan ook een bruto spleethoogte R worden gedefiniëerd als afstand tussen onderkant dorpel en het gemiddeld niveau van de topplaat, ofwel  $R = S + 0,45$ .

### 3 Proevenprogramma

Gevariëerd werden de spleethoogte en het verval c.q. stroomsnelheid. De spleethoogte (S) variëerde hierbij van 0,25 m (kleinst mogelijke spleet) tot 2,5 m. Het verval werd gevariëerd in verband met mogelijke beïnvloeding van de doorlatendheid door de stroomsnelheid. Hierbij werden realistische stroomsnelheden nagestreefd.

Een overzicht van de betreffende proeven T1...T13 is in tabel 1 weergegeven.

Teneinde meer inzicht te krijgen in het stromingsmechanisme werd aansluitend op de voorgaande proeven een serie proeven uitgevoerd waarbij de dorpel was verwijderd (T17...T22) en een serie waarbij de dorpel wel aanwezig was, maar de bestorting was verwijderd (gladde drempeltoplaag: T23...T30).

Nadat de bestorting opnieuw was aangebracht (reproductieproef T31) werden ten slotte proeven verricht met een afronding van de dorpel bij de instroming, waarmee werd beoogd instroomverliezen te voorkomen (T32, T33, T34).

Voor een overzicht van de uitgevoerde proeven wordt verwezen naar tabellen 1 en 2.



## 4 Resultaten

### 4.1 Algemeen

De proefresultaten c.q. de gemeten waarden van het verval ( $\Delta H$ ), het specifieke debiet ( $q$ ) en de stroomsnelheid in de spleet ter plaatse van punt B volgens figuur 1 ( $u_o$  gemeten met de Ott-molen en  $u_p$  gemeten met de pitôtbuizen), zijn vermeld in de overzichtstabellen 1 en 2. Hierbij zijn ook de van het debiet afgeleide stroomsnelheden weergegeven, die zijn betrokken op de netto spleethoogte  $S$  ( $\bar{u}_S = q/S$ ) en de bruto spleethoogte  $R$  ( $\bar{u}_R = q/R$ ).

In eerste instantie werden de resultaten van T1...T13 en T31 gebruikt om een doorlatendheidswaarde ten behoeve van SEEP te bepalen. Dit is in het navolgende (paragraaf 4.2) vermeld. Wegens tijdgebrek vond een algehele evaluatie niet plaats. Wel werd het bevreemdend gevonden dat de ten behoeve van SEEP bepaalde C-waarden (tabel 3) vrijwel konstant waren, ongeacht de spleethoogte, doch het bleef bij die konstatering.

Ten behoeve van de onderhavige rapportage werden de resultaten verder doorgelicht. Hierbij werd met vrucht gebruik gemaakt van de proevenseries zonder dorpel (T17...T22), zonder bestorting (T23...T30) en met afgeronde dorpel (T32...T34). Deze evaluatie wordt in paragraaf 4.3 beschreven.

### 4.2 Bepaling van de doorlatendheid ten behoeve van SEEP

In SEEP wordt de spleet onder de dorpel beschouwd als een stroomvoërend elementje met een gelineariseerde doorlatendheidswaarde  $k'$  volgens:

$$q = k' i D \quad (1)$$

met  $q$  = specifieke debiet door de spleet (m<sup>2</sup>/s)  
 $k'$  = gelineariseerde doorlatendheid (m/s)  
 $i$  = verhang (-)  
 $D$  = elementhoogte (= 0,5 m uitgezonderd run 6<sup>x</sup>D, zie [4]) (m)

Omdat de Chézy-formule voor de spleet geschikt leek om als fysische kapstok te worden gebruikt, werd deze formule gehanteerd voor de interpretatie van de on-

derhavige proeven.

$$q = C \sqrt{R i} R \quad (2)$$

met  $C$  = ruwheidscoëfficiënt van Chézy ( $m^{1/2}/s$ )

$R$  = hydraulische straal (m)

$i$  = verhang (-)

De waarde  $R$  kan bijvoorbeeld worden gelijkgesteld aan de  $R$  uit figuur 1, dus  $R = S + 0,45$ , maar heeft geen eenduidige fysische betekenis als hydraulische straal.

Uit gelijkstelling van (1) en (2) volgt:

$$k'^2 i = \frac{C^2 R^3}{D^2} = f(R) \quad (3)$$

Uit (3) blijkt direkt dat het lineariseren van de doorlatendheid tot gevolg heeft dat de doorlatendheidscoëfficiënt  $k'$  afhankelijk is van het optredende verhang. Aangezien met SEEP reeds een aantal berekeningen was uitgevoerd met uiteenlopende waarden van  $k'$  werd de volgende werkwijze gevolgd.

Uitgaande van de gekozen  $k'$ -waarden worden met SEEP bij een elementhoogte  $D = 0,5$  m de verhangen berekend. Daarmee zijn de functies  $f(R)$  uit (3) bekend, waarna met behulp van de uit het onderhavige onderzoek bekende  $C$ -waarden (of  $C^2R$ -waarden) de waarden van  $R$  (of  $S$ ) bij de verschillende  $k'$ -waarden met (3) zijn vastgelegd. Achteraf kan dan dus worden vastgesteld welke van de gekozen  $k'$ -waarden (deze waren 5, 10, 20, 50 en 100) korrespondeerden met realistische spleethoogten.

In tabel 3 zijn de voor de bovenstaande benadering benodigde doorlatendheidswaarden vermeld.

Opvallend is bij de proeven T1...T13 dat de  $C$ -waarden vrijwel konstant zijn en schommelen om een zeer lage waarde van 5. Met nadruk moet echter worden gesteld dat de fysische betekenis van deze ruwheidscoëfficiënt gering is, omdat zowel in- als uittreeverliezen hierin zijn verdiskonteerd.

In figuur 2 is de functie  $f(R)$  tegen  $R$  en  $S$  uitgezet. De feitelijke berekeningen met SEEP vielen buiten het kader van het onderhavige onderzoek. Hiervoor wordt verwezen naar het "Eindrapport drempelontwerp, Nota nr. 3" van augustus 1978 [4].

De onderstaande tabel, waarin de voornoemde werkwijze is geëffektueerd, is eveneens ontleend aan de nota 4 .

	run				
	10 A	10 B	10 C	10 D	10 E
k' (gekozen)	5	10	20	50	100
i (berekend)	0,6	0,51	0,42	0,24	0,15
kenmerkende spleethoogte S (figuur )	0,08	0,38	0,73	1,37	2,17

De prototype spleethoogte zal naar verwachting 0,5 à 1,0 m bedragen, zodat run 10 C als meest realistisch kan worden beschouwd.

#### 4.3 Verdere evaluatie van de stroming onder de dorpel

##### 4.3.1 Het mechanisme

Bij onderstroming van de dorpel treden een drietal verliezen op (zie figuur 1): intreeverlies  $\Delta H_i$ , wrijvingsverlies  $\Delta H_w$  en uittreeverlies  $\Delta H_u$ . Het intreeverlies wordt veroorzaakt door verwijding van het gekontraheerde doorstroomprofiel aan de instroomzijde onder de dorpel. Bij het wrijvingsverlies hebben we te maken met de extreme ruwheid van de toplaag van de drempel bij de gedwongen stroming onder de dorpel, echter over betrekkelijk korte lengte (bij benadering de 6 m dorpelbreedte). Het uitstroomverlies treedt op omdat de waterstroom onder de dorpel na uitstroming vertraagd moet worden tot (praktisch) nul.

Bij kleine spleethoogten (0,5 à 1,0 m) zal de instroming een straalkarakter vertonen, welke zich naar benedenstrooms meer zal aanpassen aan de ruwheid van de drempeltoplaag.

Of vóór het moment van uitstroming echter een snelheidsvertikaal zal ontstaan in overeenstemming met de eenparige situatie is niet waarschijnlijk in verband met de korte beschikbare lengte ten opzichte van de spleethoogte. Maar ook al zou dit wel zo zijn, dan nog is de stroming in een groot deel van de spleet sterk afwijkend van die bij uniforme stroming.

Gevoelsmatig kon worden verondersteld dat de ruwheid die de stroom in de spleet ondervindt, door het straalkarakter weinig afhankelijk zal zijn van de spleet-

hoogte zolang deze laatste klein is. Bovendien zal de effectieve ruwheid naar verwachting groter zijn dan het geval zou zijn bij eenparige stroming, omdat de stroomsnelheden vlak boven de topplaghier relatief groter zijn. Het gekompliceerde stroombeeld beklemtoont in elk geval dat voorzichtigheid in acht moet worden genomen bij het interpreteren van de uit de navolgende geschatte en zeer globale wrijvingswaarden. Achtereenvolgens zal een aantal aspecten onder de loep worden genomen: de grootte van de lek, onderstroming van de dorpel bij afwezigheid van bestortingen, de orde van de grootte van het intreeverlies en de orde van grootte van het wrijvingsverlies.

#### 4.3.2 De grootte van het lekdebiët

Bij een argeloze beschouwing van de debieten onder de dorpel valt op dat deze relatief groot zijn. Zelfs bij de kleinst mogelijke spleet van 0,25 m (daarbij staken de grootste stenen tegen de onderkant van de dorpel) bleek nog een aanzienlijk lekverlies te kunnen worden gekonstateerd. Dit kan als volgt worden ingezien.

Voor een ononderbroken poreus massief van stenen 1-3 ton geldt:

$$u_f^2 = k i$$

met  $k \approx 0,66$  ([4]).

Voor een laagdikte  $x$  wordt dus een specifiek debiet  $q_x$  gevonden van:

$$q_x = \sqrt{0,66 i} x \quad (4)$$

Bij een over 6 m onderbroken poreus massief treedt over een stroomvoerende hoogte  $D_{\max} = \frac{1}{2} D_n + 0,25$  een lekdebiët op van:

$$q_1 = C \sqrt{R i} R = \sqrt{C^2 R} R \sqrt{i}$$

met  $C^2 R$  uit tabel 3  $\approx 17,5 \text{ m}^2/\text{s}^2$  en  $R = \frac{1}{2} D_n + 0,25 = 0,7 \text{ m}$

$$q_1 = 2,93 \sqrt{i} \quad (5)$$

Gelijkstelling van (4) en (5) levert een "equivalente stroomvoerende laagdikte"

op van:

$$x = \frac{2,93}{\sqrt{0,66}} = 3,6 \text{ m}$$

Ofwel een kleinst mogelijke spleet ( $\hat{=}$  een zo goed mogelijk aansluitende wand) onder de dorpel levert een lekverlies op gelijk aan het debiet dat door een poreus massief met een laagdikte van 3,6 m (!) stroomt, bij hetzelfde verhang. Deze interessante gevolgtrekking wordt ondersteund door het later uitgevoerde onderzoek naar de stabiliteit van de aanstortingen bij gesloten schuiven M1637 [5]. Hierbij bleek relatief weinig water door de benedenstroomse aanstorting zèlf te gaan, maar relatief veel door de (minimale) spleet tussen de achterzijde van de dorpel en de verticale begrenzing van de aanstorting.

Wordt de voorgaande berekening voor alle spleethoogten gedaan, dan volgen hieruit de in onderstaande tabel vermelde "equivalente laagdikten" x.

proef	spleethoogte		x (m)	$\bar{x}$ (m)
	S (m)	R (m)		
T12	0,25	0,7	3,5	3,6
T13	0,25	0,7	3,7	
T1	0,5	0,95	5,7	5,6
T2	0,5	0,95	5,2	
T3	0,5	0,95	5,8	
T4	1,0	1,45	10,9	11,1
T5	1,0	1,45	11,1	
T6	1,0	1,45	11,0	
T7	1,0	1,45	11,4	
T8	1,5	1,95	16,6	16,3
T9	1,5	1,95	16,1	
T10	2,5	2,95	28,1	27,5
T11	2,5	2,95	26,9	

Opvallend in de tabel is dat de verhouding tussen  $x$  en  $S$  steeds een faktor ruim 10 bedraagt. Gesteld kan dus worden dat de lek door een spleet onder de dorpel globaal ruim het tienvoudige is van het debiet door een poreus massief van hetzelfde materiaal als dat wat de spleet begrensd, ter dikte van de (netto) spleethoogte.

#### 4.3.3 Onderstroming van de dorpel bij afwezigheid van bestortingen

Zoals in paragraaf 4.3.1 is aangegeven is een goede schatting van het wrijvingsverlies  $\Delta H_w$  niet mogelijk. Wel kan op theoretische gronden worden geschat hoe groot de in- en uittreeverliezen ongeveer zullen zijn. Het is praktisch deze verliezen te relateren aan de snelheidshoogte  $u^2/2g$  aan de benedenstroomse zijde van de spleet. Dan geldt bij benadering voor een spleet die zich diep onder water bevindt:

$$\Delta H_i = \xi_i \frac{u^2}{2g} = 0,4 \frac{u^2}{2g} \quad (\text{contractiecoëfficiënt } \mu = 0,61)$$

Het uitstroomverlies is dan gelijk aan  $\Delta H_u = \frac{u^2}{2g}$

Aannemende dat de verliezen onafhankelijk zijn geldt dus:

$$\Delta H = \Delta H_i + \Delta H_u = \xi \frac{u^2}{2g} = 1,4 \frac{u^2}{2g}$$

Voor een gladde spleet (geen bestorting aan de onderzijde) zijn dit de enige verliezen, waarbij is verondersteld dat de verliezen elkaar niet beïnvloeden. De proeven T23...T30 geven een kontrôle op deze benadering, omdat hierbij de bestorting was weggelaten. De stroomsnelheid bij de proeven T23...T30 kan nauwkeurig worden vastgesteld door deling van het gemeten specifieke debiet door de eenduidig gedefiniëerde spleethoogte (tabel 2). In onderstaande tabel zijn de verliescoëfficiënten  $\xi$  vermeld.

proef	spleethoogte	$\Delta H$	u	$\xi = \frac{\Delta H}{\frac{u^2}{2g}}$	$\bar{\xi}$ zonder T24
T23	0,5	0,8	4,08	0,94	1,17
T24	0,5	0,19	2,59	0,56(?)	
T25	0,95	0,14	1,61	1,06	
T26	0,95	0,69	3,23	1,30	
T27	1,45	0,17	1,68	1,18	
T28	1,45	0,72	3,35	1,25	
T29	1,95	0,23	1,99	1,14	
T30	1,95	0,72	3,26	1,33	

Opvallend is de vrij sterke spreiding van de  $\xi$ -waarden en de te lage absolute grootten ten opzichte van de globale rekenwaarde van 1,4. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door onderlinge beïnvloeding van de in- en uittreeverliezen.

Omgekeerd kan achteraf, uitgaande van een verliescoëfficiënt  $\xi$  van 1,4, worden nagegaan waar een denkbeeldige gladde bodem zich zou moeten bevinden om eenzelfde afvoer te creëren als die bij de reële situatie met een top-laag van stenen 1-3 ton. Omdat blijktens het voorgaande de feitelijke (gemiddelde) verliescoëfficiënt wat lager is, kan dat ook voor een  $\xi$  van 1,17 worden gedaan. De denkbeeldige spleethoogte volgt dan uit deling van het gemeten specifieke debiet (proeven T1...T13) door de stroomsnelheid u. Deze laatste wordt bepaald uit:

$$u = \frac{2g \Delta H}{\xi}$$

met  $\xi = 1,4$  of  $1,17$ .

In de onderstaande tabel is dit weergegeven.

proef	spleet- hoogte S	$\Delta H$	$\xi = 1,4$		$\xi = 1,17$			
			u	denkbeeldige spleethoogte	u	denkbeeldige spleethoogte		
T12	0,25	1,34	4,32	0,31	} <u>0,32</u>	4,74	0,28	} <u>0,29</u>
T13	0,25	1,93	5,18	0,32		5,69	0,30	
T1	0,5	1,10	3,91	0,50	} <u>0,49</u>	4,29	0,46	} <u>0,45</u>
T2	0,5	1,90	5,14	0,46		5,64	0,42	
T3	0,5	0,59	2,87	0,52		3,15	0,47	
T4	1,0	0,60	2,89	0,97	} <u>0,99</u>	3,17	0,89	} <u>0,90</u>
T5	1,0	0,85	3,44	0,98		3,78	0,89	
T6	1,0	0,30	2,04	0,98		2,24	0,88	
T7	1,0	1,24	4,15	1,02		4,56	0,93	
T8	1,5	0,30	2,04	1,48	} <u>1,46</u>	2,24	1,35	} <u>1,33</u>
T9	1,5	1,41	4,43	1,44		4,86	1,31	
T10	2,5	0,27	1,94	2,49	} <u>2,44</u>	2,13	2,27	} <u>2,22</u>
T11	2,5	0,80	3,34	2,39		3,66	2,18	

De tabel geeft opvallende resultaten. De "denkbeeldige" spleethoogte volgt de netto spleethoogte S dusdanig goed (vooral bij de theoretische waarde van  $\xi$  voor de in- en uittreeverliezen), dat voor globale berekeningen de spleet onder de dorpel mag worden geschematiseerd als zijnde begrensd door een gladde bodem ter hoogte van de gemiddelde toppen der stenen. Voor de gemeten  $\xi$  geeft dit circa 10% te hoge afvoeren, voor de "theoretische"  $\xi$  zijn de afwijkingen vrijwel nihil, met uitzondering van de minimumspleet van 0,25 m. Bij dat laatste spelen toevalligheden vermoedelijk een grote rol, zoals het uitsteken van de stenen boven het gemiddelde niveau en dergelijke.

Aan de hand van deze schematisatie kunnen de lekdebieten met bijbehorende doorlatendheidswaarden voor alle spleethoogten eenvoudig globaal worden geschat. Het vermoeden bestaat dat dit ook voor afwijkende bestortingen mogelijk is.



4.3.4 Orde van grootte van de wrijvingsverliezen

Een directe bepaling van de wrijvingsverliezen was niet mogelijk (hoofdstuk 2). Na de bepaling van de in- en uitstroomverliezen uit de vorige paragraaf, kan wel worden getracht het wrijvingsverlies qua orde van grootte indirect af te schatten door aftrekking van de in- en uitstroomverliezen van het totaalverlies.

Hierbij doet zich echter onmiddellijk het definitieprobleem voor van de onderbegrenzing van de spleet. Zou deze op het niveau van de toppen der stenen worden aangenomen, dan zal dat andere ruwheidsverliezen opleveren dan voor een onderbegrenzing op bijvoorbeeld het niveau van de middens der stenen. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van onderstaande tabel, met voor  $\xi_i + \xi_u$  de gemiddelde waarde van 1,17.

proef	S	R	$\Delta H$	$\xi_S = \frac{2g \Delta H}{\bar{u}_S^2}$	$\xi_R = \frac{2g \Delta H}{\bar{u}_R^2}$	$\xi_{wS} = \xi_S - (\xi_i + \xi_u)$	$\xi_{wR} = \xi_R - (\xi_i + \xi_u)$
T12	0,25	0,70	1,34	0,90	7,06	-	5,89
T13	0,25	0,70	1,93	0,84	6,57	-	5,40
T1	0,5	0,95	1,10	1,39	5,04	0,22	3,87
T2	0,5	0,95	1,90	1,63	5,87	0,46	4,70
T3	0,5	0,95	0,59	1,30	4,70	0,13	3,53
T4	1,0	1,45	0,60	1,49	3,12	0,32	1,95
T5	1,0	1,45	0,85	1,46	3,07	0,29	1,90
T6	1,0	1,45	0,30	1,47	3,09	0,30	1,92
T7	1,0	1,45	1,24	1,36	2,85	0,19	1,68
T8	1,5	1,95	0,30	1,46	2,45	0,29	1,28
T9	1,5	1,95	1,41	1,54	2,60	0,37	1,43
T10	2,5	2,95	0,27	1,41	1,97	0,24	0,80
T11	2,5	2,95	0,80	1,53	2,14	0,36	0,97

Zoals blijkt uit de tabel zijn de verliescoëfficiënt dusdanig sterk afhankelijk van de definitie van de spleethoogte, dat hieruit geen eenduidige conclusies kunnen worden getrokken.

In de onderstaande tabel zijn de "ruwheidscoëfficiënten" C afgeleid, uitgaande van de hiervoor bepaalde verliescoëfficiënten. Hierbij moet worden bedacht dat de coëfficiënt van Chézy feitelijk slechts in het geval van uniforme stroming is gedefinieerd.

proef	$\Delta H$	betrokken op S			betrokken op R		
		$\Delta H_w = \Delta H \frac{\xi_{wS}}{\xi_S}$	$C^2S = \frac{(\bar{u}_S)^2}{\frac{\Delta H_w}{6}}$	C	$\Delta H_w = \Delta H \frac{\xi_{wR}}{\xi_R}$	$C^2R = \frac{(\bar{u}_R)^2}{\frac{\Delta H_w}{6}}$	C
T12	1,34	-	-	-	1,12	20,0	5,3
T13	1,93	-	-	-	1,59	21,7	5,6
T1	1,10	0,16	582	34,1	0,84	30,6	5,7
T2	1,90	0,54	254	22,5	1,52	25,1	5,1
T3	0,59	0,06	888	42,1	0,44	33,6	5,9
T4	0,60	0,13	364	19,1	0,38	75,3	7,2
T5	0,85	0,17	279	16,7	0,53	61,5	6,5
T6	0,30	0,06	400	20,0	0,19	60,1	6,4
T7	1,24	0,17	632	25,1	0,73	70,1	7,0
T8	0,30	0,06	404	16,4	0,16	90,1	6,8
T9	1,41	0,34	317	14,5	0,78	81,6	6,5
T10	0,27	0,05	419	12,9	0,11	146,7	7,7
T11	0,80	0,19	470	13,7	0,36	122,4	6,4

Uit de tabel blijkt dan ook dat de C betrokken op de netto spleethoogte S totaal geen fysische achtergrond lijkt te bezitten, gezien de afname van de C bij toenemende spleethoogte. De C betrokken op de brutospleethoogte R lijkt in dit opzicht wat consistent, al is ook hier de fysische betekenis gezien de sterk niet uniforme stroming zeer twijfelachtig.

#### 4.3.5 Overige resultaten

##### Proeven met afronding van de dorpel T32...T34

Deze werden uitgevoerd nadat de bestorting ten behoeve van de reproductieproef T31 opnieuw was aangebracht. Omdat proef T31 duidelijk afweek van T1...T3 (zie verder) zou T32 gerelateerd moeten worden aan T31. Bij T33 en T34 is dat echter niet mogelijk, omdat geen reproductieproef met een S van 1 m is uitgevoerd. Het intreeverlies, dat bij de afgeronde dorpel afwezig mag worden geacht, kan worden afgeschat door het verschil te bepalen tussen de verliescoëfficiënten bij T31 en T32. Hieronder is dat weergegeven:

proef	S	R	$\Delta H$	$\xi_S$	$\xi_R$
T31	0,5	0,95	1,55	0,89	3,22
T32	0,5	0,95	1,51	0,72	2,59
				0,17	0,53

Het intreeverlies zou dus bij een spleethoogte S van 0,5 m 19% (betrokken op S) of 16% (betrokken op R) hebben bedragen. Ook hier komen definitieproblemen om de hoek kijken, al lijken de percentages ten opzichte van proeven T23 en T24 alleszins aannemelijk.

Proeven zonder de dorpel T17...T22

Deze proeven hebben, achteraf beschouwd, weinig betekenis voor de onderhavige evaluatie, omdat het wrijvingsaandeel in de verliezen onduidelijk en vrij onbelangrijk is.

Desondanks is het interessant de met de proeven verkregen ruwheidswaarden te vergelijken met de Chézy-waarden. Wel moet worden vermeld dat de bodem niet onder een helling was geplaatst, zodat niet volledig eenparige stroming heeft plaatsgevonden.

De gemeten en berekende C-waarden zijn hieronder vermeld.

proef	S	R	$C_S$	$C_R$	$C = 18 \log \frac{12 S}{D_n}$	$C = 18 \log \frac{12 R}{D_n}$
T22	0,45	0,90	29,2	10,3	14,0	19,4
T17	0,70	1,15	20,4	9,7	17,4	21,3
T18	1,00	1,45	17,9	10,2	20,2	23,2
T20	1,50	1,95	17,8	12,0	23,4	25,5
T21	1,50	1,95	14,8	10,0	23,4	25,5

Duidelijk is zonder meer dat Chézy niet mag worden toegepast. De gemeten ruwheidswaarden zijn echter eveneens weinig eenduidig.

Met het oog op de weinig representatieve proefopstelling (niet eenparige stroming) wordt hier verder niet op ingegaan.

## 5 Konklusies

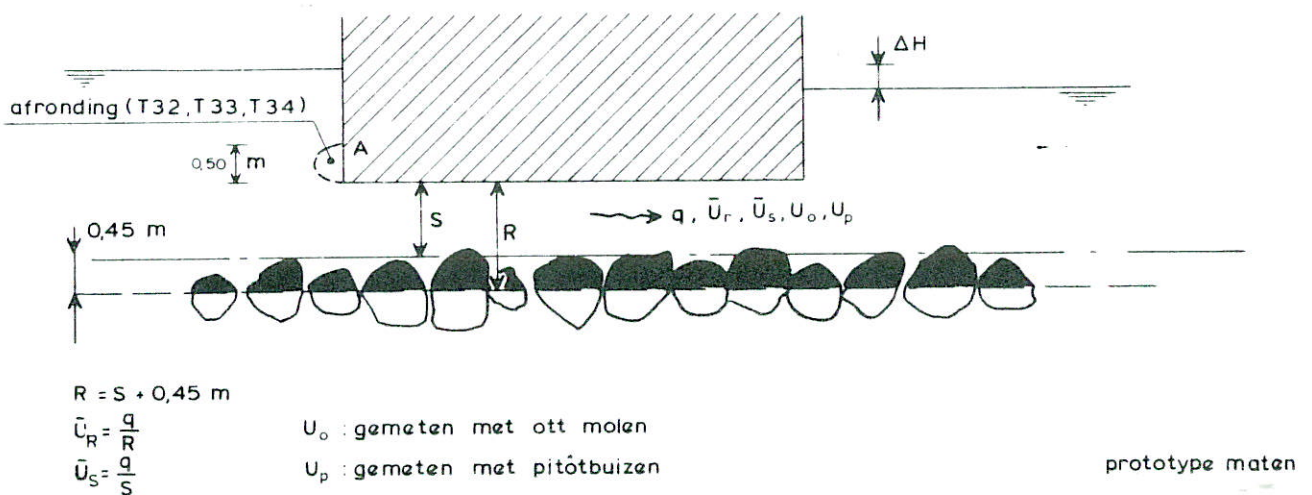
- a De modelproeven naar de onderloopsheid van de dorpel hebben doorlatendheidsgegevens opgeleverd, waarmee achteraf kon worden vastgesteld welke van de gekozen lineaire doorlatendheidswaarden van de spleet onder de dorpel bij berekeningen met SEEP als realistisch zijn te beschouwen (paragraaf 4.2).
- b Een redelijke schatting van het lekdebiet kan worden verkregen als de situatie met bestortingen eenvoudigweg wordt geschematiseerd tot een boven een vlakke bodem geplaatste dorpel, waarbij de bodem ligt ter hoogte van de (gemiddelde) toppen der stenen. De in- en uittreeverliezen kunnen voor die geschematiseerde situatie worden bepaald aan de hand van literatuurgegevens, waarmee het lekdebiet als functie van het verval bekend is (paragraaf 4.3.2).
- c De wrijvingsverliezen in de spleet kunnen niet op eenduidige wijze worden vastgesteld (paragraaf 4.3.4). Dit wordt veroorzaakt door definitieproblemen (bodempligging), de niet-uniforme stroming onder de dorpel en de onnauwkeurige vaststelling van de verlieshoogte tengevolge van de wrijving. Proeven zonder een dorpel bevestigen deze niet-eenduidigheid (paragraaf 4.3.5).

## REFERENTIES

- 1 BAYAZIT, M.,  
Free surface flow in a channel of large relative roughness,  
Journ. of Hydraulic Research 14, No. 2, 1976
- 2 BATHURST, J.C.,  
Flow resistance of large-scale roughness,  
Journ. of the Hydr. Div., Vol. 104, No. HY12, 1978
- 3 WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM,  
Afsluiting Volkerak, stabiliteit drempel-aanstortingen caissons,  
Verslag modelonderzoek M 957, 1968
- 4 RIJKSWATERSTAAT, Deltadienst,  
Stormvloedkering Oosterschelde, Eindrapport drempelontwerp,  
Nota nr. 3, 1978
- 5 WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM,  
Stormvloedkering Oosterschelde, Stabiliteit aanstortingen bij gesloten  
schuiven,  
Verslag modelonderzoek M 1637, 1980
- 6 WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM,  
Stormvloedkering Oosterschelde, stabiliteit toplaag drempelkruin in de  
bouwfase,  
Verslag modelonderzoek LV 1280, (nog niet verschenen)

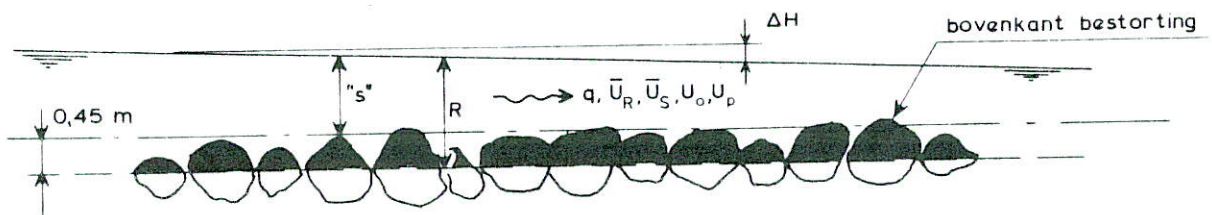
- 1) reproductieproef na opnieuw inbouwen bestorting
- 2) afronding bij A

proefnummer	spleethoogte S m	verval $\Delta H$ m	debiet q m <sup>2</sup> /s	stroomsnelheid			
				$\bar{u}_R$ m/s	$\bar{u}_S$ m/s	$u_o$ m/s	$u_p$ m/s
T1	0,50	1,10	1,97	2,07	3,94	3,16	3,23
T2	0,50	1,90	2,39	2,52	4,78	4,17	-
T3	0,50	0,59	1,49	1,57	2,98	2,25	-
T4	1,00	0,60	2,81	1,94	2,81	2,84	2,45
T5	1,00	0,85	3,38	2,33	3,38	3,22	2,75
T6	1,00	0,30	2,00	1,38	2,00	1,84	1,64
T7	1,00	1,24	4,23	2,92	4,23	3,82	3,80
T8	1,50	0,30	3,02	1,55	2,01	1,99	1,96
T9	1,50	1,41	6,36	3,26	4,24	4,42	4,96
T10	2,50	0,27	4,84	1,64	1,94	2,25	2,37
T11	2,50	0,80	7,99	2,71	3,20	3,86	4,01
T12	0,25	1,34	1,35	1,93	5,40	3,04	3,54
T13	0,25	1,93	1,68	2,40	6,72	3,76	4,21
T31 <sup>1)</sup>	0,50	1,55	2,92	3,07	5,84	-	4,78
T32 <sup>2)</sup>	0,50	1,51	3,21	3,38	6,42	-	5,20
T33 <sup>2)</sup>	1,00	1,13	4,81	3,32	4,81	-	4,60
T34 <sup>2)</sup>	1,00	1,11	4,45	3,07	4,45	-	4,25



Tabel 1 Overzicht proeven T1...T13, T31 en T32...T34

proefnummer	spleethoogte "S" m	verval $\Delta H$ m	debiet q m <sup>2</sup> /s	stroomsnelheid			
				$\bar{u}_R$ m/s	$\bar{u}_S$ m/s	$u_o$ m/s	$u_p$ m/s
T17	0,70	0,080	1,38	1,20	1,97	1,74	1,86
T18	1,00	0,083	2,10	1,45	2,10	1,98	2,14
T20	1,50	0,053	3,08	1,58	2,05	1,99	2,06
T21	1,50	0,213	3,11	2,62	3,41	3,38	3,47
T22	0,45	0,047	0,78	0,82	1,73	1,08	1,23



$$R = S + 0,45 \text{ m}$$

$$\bar{u}_R = \frac{q}{R}$$

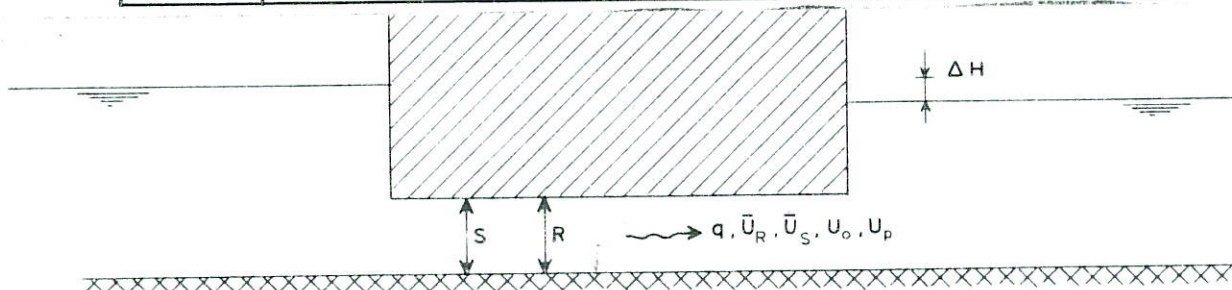
$$\bar{u}_S = \frac{q}{S}$$

$u_o$  : gemeten met ott-molen

$u_p$  : gemeten met pitôtbuizen

prototype maten

proefnummer	spleethoogte S m	verval $\Delta H$ m	debiet q m <sup>2</sup> /s	stroomsnelheid		
				$\bar{u}_R = \bar{u}_S$ m/s	$u_o$ m/s	$u_p$ m/s
T23	0,50	0,80	2,04	4,08	-	3,57
T24	0,50	0,19	1,29	2,59	-	1,77
T25	0,95	0,14	1,53	1,61	1,55	1,65
T26	0,95	0,69	3,07	3,23	3,26	3,51
T27	1,45	0,17	2,44	1,68	1,71	1,79
T28	1,45	0,72	4,86	3,35	3,19	3,66
T29	1,95	0,23	3,88	1,99	-	2,23
T30	1,95	0,72	6,36	3,26	-	3,87



aanname  $R \approx S$

$$\bar{u}_R = \bar{u}_S = \frac{q}{S}$$

$u_o$  : gemeten met ott-molen

$u_p$  : gemeten met pitôtbuizen

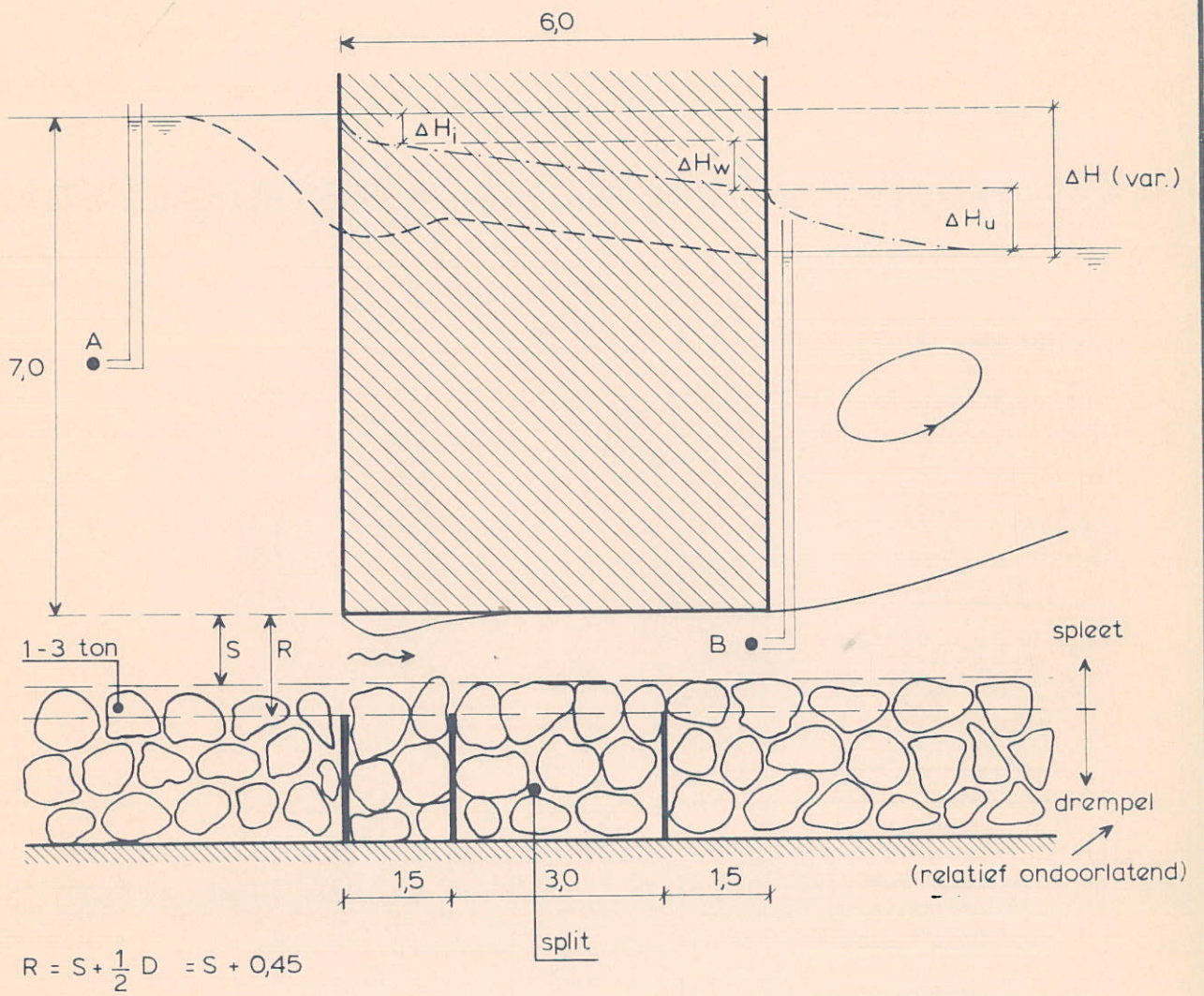
prototype maten

Tabel 2 Overzicht proeven T17...T22 en T23...T30

proef- nummer	spleet- hoogte S m	bijzon- derheden	q m <sup>2</sup> /s	ΔH m	$i = \frac{\Delta H}{6}$	$\bar{u}_R = \frac{q}{R}$ m/s	$C^2 R = \frac{(\bar{u}_R)^2}{i}$ m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	C m <sup>0,5</sup> /s
T1	0,5		1,97	1,10	0,18	2,07	23	5,0
T2	0,5		2,39	1,90	0,32	2,52	20	4,6
T3	0,5		1,49	0,59	0,10	1,57	25	5,1
T4	1,0		2,81	0,60	0,10	1,94	38	5,1
T5	1,0		3,38	0,85	0,14	2,33	39	5,2
T6	1,0		2,00	0,30	0,05	1,38	39	5,1
T7	1,0		4,23	1,24	0,21	2,92	41	5,3
T8	1,5		3,02	0,30	0,05	1,55	48	5,0
T9	1,5		6,36	1,41	0,24	3,26	44	4,8
T10	2,5		4,84	0,27	0,04	1,64	60	4,5
T11	2,5		7,99	0,80	0,13	2,71	57	4,4
T12	0,25		1,35	1,34	0,22	1,93	17	4,9
T13	0,25		1,68	1,93	0,32	2,40	18	5,1
T31	0,50	reproduk- tieproef	2,92	1,55	0,26	3,07	36	6,2
T32	0,50	afron- ding dorpel	3,21	1,51	0,25	3,38	46	6,9
T33	1,00		4,81	1,13	0,19	3,32	59	6,3
T34	1,00		4,45	1,11	0,19	3,07	51	5,9
T17	0,70	dorpel afwezig	1,38	0,080	0,013	1,20	111	9,7
T18	1,00		2,10	0,083	0,014	1,45	150	10,2
T20	1,50		3,08	0,053	0,008	1,58	312	12,0
T21	1,50		5,11	0,213	0,035	2,62	196	10,0
T22	0,45		0,78	0,047	0,008	0,82	84	10,3
T23	0,50	bestorting afwezig	2,04	0,80	0,13	4,08	125	15,8
T24	0,50		1,29	0,19	0,03	2,59	210	20,5
T25	0,95		1,53	0,14	0,02	1,61	113	10,9
T26	0,95		3,07	0,69	0,12	3,23	87	9,6
T27	1,45		2,44	0,17	0,03	1,68	101	8,3
T28	1,45		4,86	0,72	0,12	3,35	94	8,0
T29	1,95		3,88	0,23	0,04	1,99	104	7,3
T30	1,95		6,36	0,72	0,05	3,26	89	6,7

Tabel 3 Bepaling doorlatendheid ten behoeve van SEEP





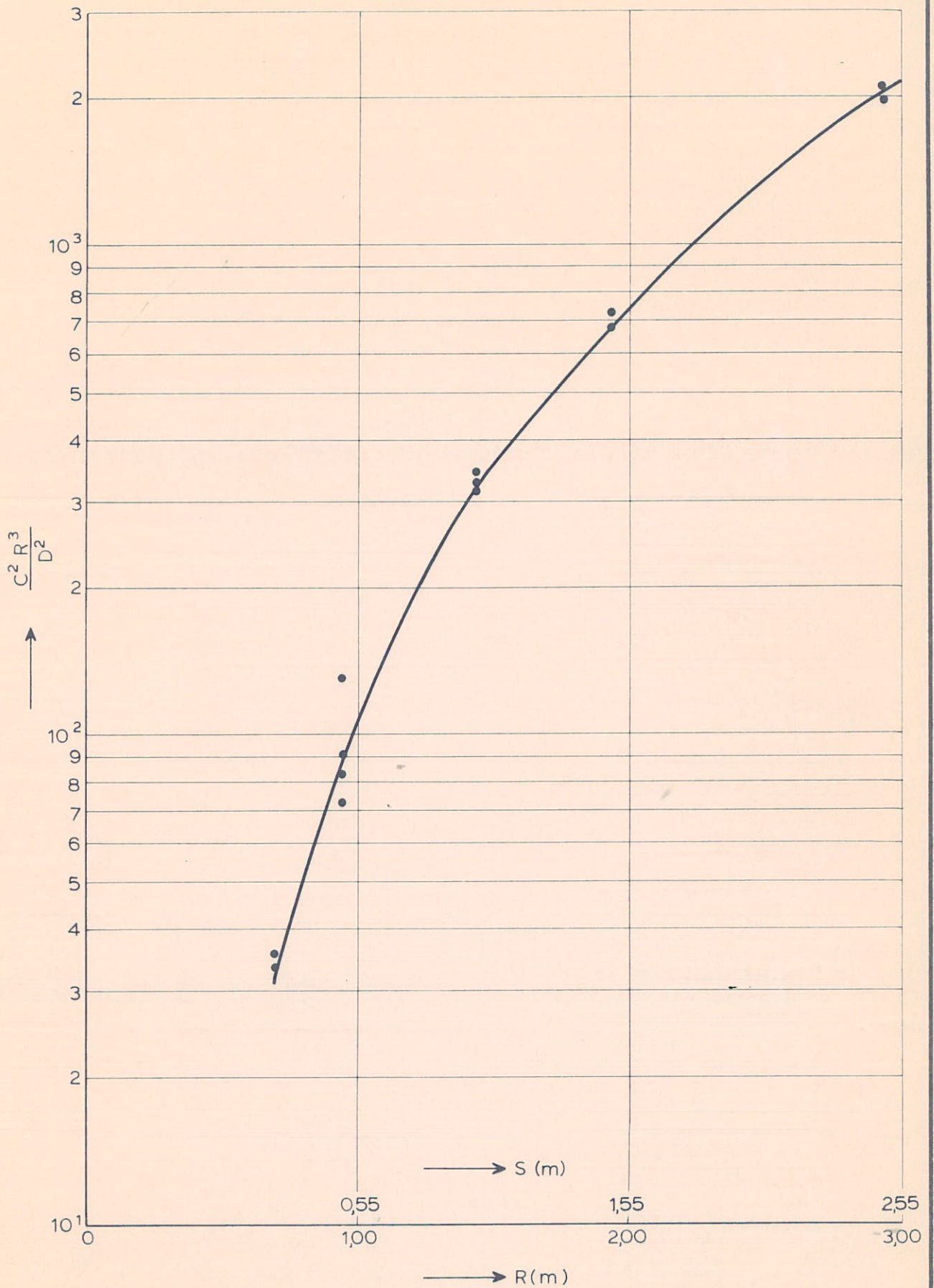
maten in m (prototype)

PROEFOPSTELLING T1...T13,T31

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1451

FIG. 1



$\frac{C^2 R^3}{D^2}$  ALS FUNCTIE VAN R EN S

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1451

FIG. 2

