

M 1925

waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

Stormvloedkering Oosterschelde

Stabiliteit van de granulaire filters
van de negatieve overlap

nota

M 1925

december 1982

INHOUD

	blz.
1. Inleiding.....	1
2. Conclusies.....	2
3. Onderzochte situaties.....	3
4. Grensvlak grind 8-40 mm / basalt 40-250 mm.....	5
4.1 Opzet van de proeven.....	5
4.2 Kritiek verhang.....	5
4.3 Zakking en transport.....	6
5. Grensvlak O.S. zand/grind 1-32 mm.....	8
5.1 Kritiek verhang.....	8
5.2 Zakking en transport.....	8
5.3 Zandindringing in het zeegrind.....	9
5.4 Veiligheidsoverwegingen.....	10
5.5 Vertikale verhangen.....	12

REFERENTIES

TABEL

FIGUREN

FOTO'S

BIJLAGE: Berekening indringing zand in zeegrind door stationaire stroming (Nota RWS 34 FUND - M - 79233)

FIGUREN

1. Filterbak
2. Zeefkrommen grind en basalt
3. Filterstabiliteit "Monster 91A"
4. Transport en zakking bij overschrijding horiz. krit. verhang

FOTO'S

1. Begin van proef T2
2. Einde van proef T2, na 2,5 uur stromen met een verhang van 60%

Stormvloedkering Oosterschelde

Stabiliteit van de granulaire filters van de negatieve overlap

1. Inleiding

In opdracht van de Hoofdafdeling Waterloopkunde van de Deltadienst van Rijkswaterstaat is onderzoek verricht naar de stabiliteit van een tweetal grensvlakken van de granulaire filters van de negatieve overlap. Het onderzoek is nodig, omdat er verschillen bestaan tussen de afmetingen van het filtermateriaal volgens het ontwerp en de afmetingen zoals die zijn vastgesteld bij een aantal praktijkproeven met betrekking tot de opbouw.

De problemen bij de stabiliteit van het filter bestaan ter plaatse van een tweetal grensvlakken, namelijk op het grensvlak Oosterschelde zand/grind 1-32 mm en op het grensvlak grind 8-40 mm / basalt 40-250 mm. Het onderzoek voor het vaststellen van de stabiliteit van het grensvlak grind/basalt is verricht in de Filterbak van het Laboratorium de Voorst. De stabiliteit van het grensvlak zand/grind is bepaald aan de hand van een bureaustudie.

Het onderzoek stond onder leiding van ir. A.F.F. de Graauw en ing. G. Hartsuiker, welke tevens de verslaggeving hebben verzorgd.

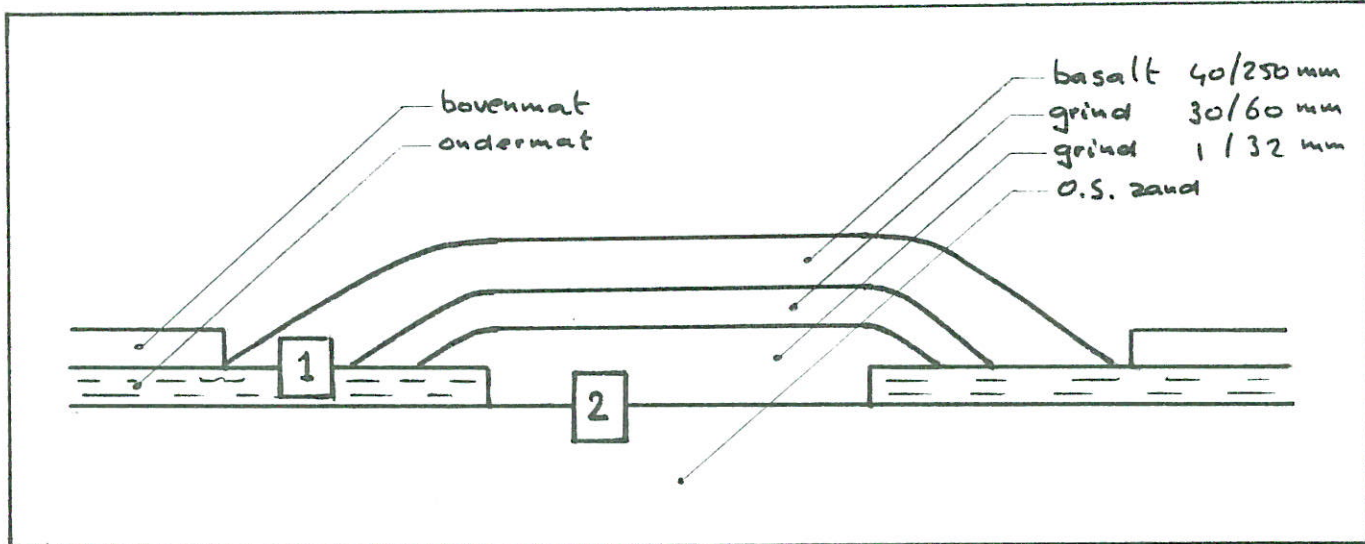
2. Conclusies

De volgende conclusies kunnen uit dit onderzoek worden getrokken:

1. Het "grind 8-40 mm" is stabiel onder "basalt 100-250 mm" voor horizontale verhangen evenwijdig aan het grensvlak kleiner dan 40%.
De zeefkrommen van de genoemde materialen zijn in figuur 2 weergegeven. Deze materialen kunnen worden gedefinieerd met behulp van de volgende karakteristieke waarden:
grind 8-40 mm: $D_{50} = 18 \text{ mm}$
basalt 100-250 mm: $D_{50} = 190 \text{ mm}$ ($D_{15} = 140 \text{ mm}$)
2. Vergeleken met de resultaten van eerder onderzoek [6], is het bovengenoemde kritieke verhang aan de hoge kant, hetgeen verklaard kan worden door de enigszins grotere gradering van het grind ten opzichte van het grind bij eerder uitgevoerd onderzoek.
3. Het "Oosterschelde zand" is stabiel onder grind overeenkomend met "Monster 91A" (figuur 3) voor horizontale verhangen evenwijdig aan het grensvlak kleiner dan 25%.
4. Bij een optredend verhang van 36% zullen enige zakkingen van de drempel optreden (orde centimeters) indien materiaal overeenkomend met Monster 91A op het Oosterschelde zand wordt aangebracht. In paragraaf 5.4 van dit verslag wordt een overzicht gegeven van mogelijke zakkingen als functie van het filtermateriaal.
5. Er is voorzichtigheid geboden met de bestaande berekening van de zakkingen ten gevolge van verticale cyclische verhangen, omdat deze is gebaseerd op zeer summiere proefresultaten.

3. Onderzochte situaties

Het onderzoek voor het vaststellen van het kritieke verhang van het filter is uitgevoerd voor twee situaties, namelijk:



1. Grensvlak grind 8-40 mm / basalt 40-250 mm:

het grind is opgesloten in de bovenste laag van de ondermat; indien de mechanische eigenschappen van de kunststofmat van de ondermat na een aantal jaren verminderen, dan mag op dit grensvlak geen transport en zakking van betekenis optreden.

2. Grensvlak O.S. zand / grind 1-32 mm:

het zand moet in voldoende mate door het grind worden vastgehouden; ook op dit grensvlak mag geen transport en zakking van betekenis optreden.

ad1) Volgens het ontwerp zou het basalt bestaan uit een gradering met minimale en maximale steendiameters van respectievelijk 40 en 250 mm. Bij de uitvoering van het werk blijkt uit controlemonsters dat op de mat ontmenging optreedt. De minimale en maximale steendiameters op de mat bedragen respectievelijk 100 en 250 mm. De proeven voor het vaststellen van het kritieke verhang en van het transport bij het overschrijden van het kritieke verhang zijn uitgevoerd in de Filterbak (zie figuur 1).

- ad2) Volgens het ontwerp zou het zeegrind bestaan uit een Füller-mengsel met minimale en maximale korreldiameters van respectievelijk 1 en 32 mm. Bij de uitvoering van het werk blijkt uit controlemonsters dat het zeegrind grover op de bodem terecht kán komen. Een extreem geval is "monster 91A" (zie figuur 3). Het vaststellen van het kritieke verhang en het transport is gedaan aan de hand van een bureaustudie van beschikbare gegevens.

4. Grensvlak grind 8-40 mm / basalt 40-250 mm

4.1 Opzet van de proeven

Er zijn 2 proeven uitgevoerd met basalt op grind, namelijk:

T1 = laagdikte filter ca 0,54 m, samengesteld uit materiaal met $D_{50} = 160$ mm (zie figuur 2)

T2 = laagdikte filter ca 0,20 m, samengesteld uit materiaal met $D_{50} = 190$ mm (zie figuur 2)

Het basalt dat in proef T2 als filtermateriaal is gebruikt, kan ook als volgt worden gekarakteriseerd met behulp van een massaverdeling :

$M_5 = 7$ kg; $M_{50} = 11,5$ kg; $M_{95} = 19$ kg.

Het filter is aangebracht op basismateriaal met $D_{50} = 18$ mm. In figuur 2 is de zeefkromme van het basismateriaal (grind 8-40 mm) gegeven.

Bij het uitvoeren van proef T1 bleek dat de debietcapaciteit van de Filterbak te gering was om verhangen groter dan ca 25% in te stellen.

Aan de in- en uitstroomzijde van het filterpakket zijn daarom af-dichtingen gemaakt, zodanig dat een doorstroomopening ontstond van ca 0,20 m.

De beide proeven zijn uitgevoerd met een bovenbelasting, waardoor dat op het grensvlak een korrelspanning van ca 20 KN/m^2 aanwezig was.

De opzet van de proeven was verder als volgt:

1. visuele bepaling van het kritieke verhang door stapsgewijze opvoering van het verhang en waarneming van het begin van beweging.
2. instelling van een verhang groter dan het kritieke verhang en vaststellen van het transport aan de benedenstroomse zijde en van de zakking van de bovenkant van het basalt.

4.2 Kritiek verhang

In onderstaande tabel zijn de kritieke horizontale verhangen weergegeven en tevens een aantal karakteristieke grootheden van het filter:

proef	I_{cr}	n_f	D_{15f}	D_{50b}	γ
T1	50 à 60%	0,38 à 0,40	125 mm	18 mm	2,6 à 2,8
T2	40 à 45%	0,36 à 0,42	140 mm	18 mm	2,8 à 3,2

hierin is:

I_{cr} = kritieke verhang

n_f = porositeit

D_{15f} = D_{15} filtermateriaal (basalt)

D_{50b} = D_{50} basismateriaal (grind)

γ = kenmerkende parameter = $n_f D_{15f} / D_{50b}$

Het filter moet stabiel blijven voor een stationair horizontaal verhang van 36% (= inclusief veiligheidscoëfficiënt van 1,5). Gezien de optredende kritieke verhangen kan worden gekonkludeerd dat ook met een enigszins ontmengd basaltpakket geen problemen zijn te verwachten.

In vergelijking met eerder verricht onderzoek [6] zijn de in deze proeven gevonden kritieke verhangen aan de hoge kant.

Allereerst dient te worden opgemerkt dat slechts zeer weinig proefresultaten met dergelijke grove materialen beschikbaar zijn en dat vergelijking van resultaten moeilijk is.

Voorts wordt opgemerkt dat het basismateriaal (grind 8-40 mm) in de hier beschreven proeven enigszins gegradeerd was met $p = D_{90} / D_{10} = 4,2$. Uit eerder onderzoek [1] blijkt dat het kritieke verhang van een filterconstructie sterk kan toenemen als het basismateriaal gegradeerd is. Dit kan als verklaring worden gezien voor de wat hoge kritieke verhangen die in het onderhavige onderzoek zijn gevonden.

4.3 Zakking en transport

Bij proef T1 was het niet mogelijk verhangen groter dan ca 50% in te stellen. Hierdoor zijn van deze proef geen gegevens bekend van zakking en transport.

Bij proef T2 is na het bepalen van het kritieke verhang, een verhang ingesteld van ca 60% en gedurende 2,5 uur gehandhaafd. Door het vastlopen van de opvangbak voor het getransporteerde materiaal was het niet mogelijk tijdens de proef het transport vast te stellen. Achteraf is een

totaal transport vastgesteld van ca 47 kg (droog). Dit betekent een transport van ca 19 kg/m'/uur.

Tijdens de 2,5 uur is geen zakking van het filterpakket geconstateerd, alhoewel er lokaal wel duidelijk "geulen" in het basismateriaal waren ontstaan. De foto's 1 en 2 geven een beeld van het filterpakket bij het begin en het einde van proef T2.

5. Grensvlak 0.S. zand/grind 1-32 mm

5.1 Kritiek verhang

In figuur 3 zijn de zeefkrommen weergegeven van diverse materialen die eerder zijn onderzocht als filtermateriaal op wadzand met $D_{50_b} = 150 \text{ à } 160 \text{ } \mu\text{m}$, alsmede de zeefkromme van "Monster 91A".

Tevens zijn de gevonden kritieke verhangen weergegeven en de grootte van de parameter:

$$\gamma = \frac{n_f D_{15f}}{D_{50_b}}$$

waarin:

n_f = porositeit (-)

D_{15f} = D_{15} filtermateriaal (zeegrind) (m)

D_{50_b} = D_{50} basismateriaal (wadzand) (m)

De beschikbare gegevens laten een vrij eenduidige relatie zien tussen deze parameter en het kritieke verhang [6].

Op grond van figuur 3 is het aannemelijk dat het stationaire horizontale kritieke verhang van het filtermateriaal overeenkomend met monster 91A op wadzand moet liggen tussen 25% en 30%.

Het is verstandig om 25% als veilige ondergrens aan te houden.

5.2 Zakking en transport

Bij overschrijding van het kritieke verhang treedt transport van basismateriaal op, hetgeen een zakking van het filterpakket tot gevolg heeft.

In figuur 4 zijn de (schaarse) gegevens verzameld (zie ook tabel 1).

Het blijkt dat bij overschrijding van het kritieke verhang, het transport en de zakking snel toenemen.

Teneinde in een gebied te blijven waar de zakkingen nog enigszins zijn te overzien, mag een overschrijving van maximaal 20 à 25% van het kritieke verhang worden toegelaten.

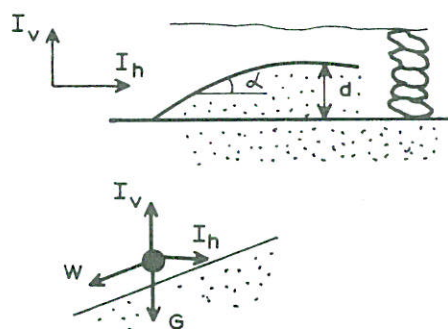
In het geval van monster 91A (met $I_{cr} \approx 25\%$) zou dus zeker niet meer dan

30 à 35% stationair horizontaal verhang mogen worden toegelaten en aangezien het optredend verhang 36% bedraagt (maximaal gedurende een superstorm), voldoet dit materiaal dus eigenlijk net niet.

5.3 Zandindringing in het zeegrind

In RWS-Nota 34 FUND-M-79233 wordt een interessante benadering gegeven van de zandindringing in het zeegrind gebaseerd op het uitgangspunt dat een evenwichtshelling ontstaat die afhankelijk is van de verhangen (bijlage 1):

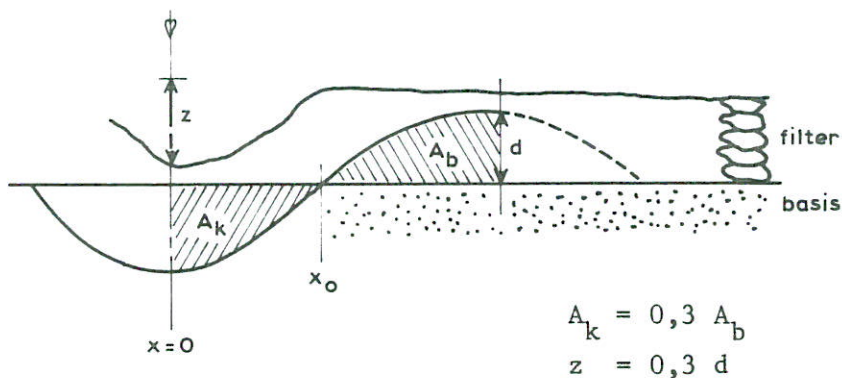
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{I_h - I_{h \text{ cr}}}{1 - I_v + I_{v \text{ cr}}}$$



Gesteld werd dat de filterlaagdikte minstens gelijk moet zijn aan de hoogte d van de "bult", zodat er geen zand door het grind verdwijnt. Bij $I_{hcr} = 25\%$ (en $I_{vcr} = 100\%$) volgt $d = 42$ cm, waaruit de eis voor een 0,50 m dikke filterlaag bij het ontwerp volgde.

Een nogal pessimistische vereenvoudiging in deze benadering is dat wordt aangenomen dat de teen van de bult (x_0) samenvalt met het hart van de dorpelbalk (en dus met het maximale horizontale verhang). Er wordt geen ruimte ingedacht voor de "kuil" waar het zand tenslotte vandaan moet komen.

Doet men dat wél, dan verschuift de bult verder weg van het hart van de dorpelbalk waar de horizontale verhangen lager zijn. De volgende schematisatie zou kunnen worden aangehouden:



Uitgaande van een symetrisch profiel van de bult en van de kuil en van een 30% porositeit in het filtermateriaal, dan moet $A_k = 0,3 A_b$.

Na wat proberen, blijkt dat $x_0 \approx 3$ m en dat $d \approx 25$ cm (bij $I_{hcr} = 25\%$). Dit is een reductie van de benodigde laagdikte van 40% t.o.v. het geval waarbij $x_0 = 0$ wordt aangenomen.

Verder rekenen laat zien dat indien het filtermateriaal zou bestaan uit grind met $I_{hcr} = 20\%$ dus filter met $D_{15} \approx 6,5$ mm (zie figuur 3) een indringing $d = 44$ cm volgt in bovenstaande schematisatie (en $d = 74$ cm met $x_0 = 0$).

5.4 Veiligheidsoverwegingen

Aangezien de neiging bestaat om zowel in de optredende belasting als in de toelaatbare belastingen veiligheid in te bouwen, dient ervoor gewaakt te worden dat veiligheden niet overdreven worden opgestapeld.

Het is daarom goed deze veiligheden eens nader te beschouwen.

a) Belasting

Gesteld is dat het maximale horizontale stationaire verhang gelijk zou zijn aan 36%. Dit is inclusief een veiligheidsfactor van 1,5. De reële schatting voor het optredend verhang is dus slechts 24%. Hierbij dient te worden opgemerkt dat dit verhang een maximum is gedurende een superstorm.

b) Toelaatbare verhangen en filtermaterialen

In de voorgaande paragrafen zijn 3 stappen te onderscheiden:

- * Het kritieke verhang mag niet worden overschreden. Nodig is dan een filtermateriaal met een kritiek verhang van minstens 24%. Uit figuur 3 blijkt dat de D_{15} van het filtermateriaal niet groter mag zijn dan ca 6,0 mm. Er treedt dan geen zakking van de drempel op.
- * Een zakking van zeg 1cm/uur wordt toegelaten. Uit figuur 4 blijkt dat dan $I/I_{cr} \approx 1,25$, zodat een I_{cr} van $(24/1,25)$ ca 19% moet worden verkregen. Uit figuur 3 blijkt dat de D_{15} van het filtermateriaal niet groter mag zijn dan ca 7,0 mm. Na een

zakking van de drempel in de orde van 1 cm liggen.

Hierbij dient te worden vermeld dat de in de Filterbak gemeten zakking en transport een maximum weergeeft dat niet in het prototype zal optreden. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de bovenstroomse transportkapaciteit in de Filterbak volkomen onverzadigd is (schoon water), terwijl in het prototype dit niet het geval is t.g.v. de erosie van het basismateriaal bovenstrooms van de dorpelbak. Deze impliciete veiligheid is echter niet te kwantificeren.

- * Indien nog meer zakking kan worden toegelaten, dan wordt de bijdrage van een groter aantal stormen in de levensduur van de kering van belang. Het is dan zinnig naar een eindige zakking te streven door te voorkomen dat zand dóór het filter stroomt.

Hierbij ontstaat dus de eis m.b.t. de filterlaagdikte.

Indien een laagdikte van 0,50 m (volgens ontwerp) wordt aangehouden, dan behoeft het kritieke verhang niet groter te zijn dan ca 12%. De D_{15} van het filtermateriaal mag dan ca 10 mm bedragen. De zakking van de drempel is dan orde 10 tot 15 cm.

Samenvattend kan worden gesteld dat Monster 91 A ($D_{15} = 5$ mm) redelijk voldoet binnen de scala van denkbare veiligheidskriteria:

veiligheidsfactor:	1,0	1,5
ontwerp verhang:	24%	36%
<u>Kriterium:</u>	$D_{15_f} =$	$D_{15_f} =$
* geen zakking	6,0 mm	3,0 mm
* 1 cm zakking	7,0 mm	4,0 mm
* 10 cm zakking	10,0 mm	6,5 mm

Overigens wordt vermeld dat alle beschouwingen hierboven uitgaan van verdicht filtermateriaal met een porositeit van ca 30%.

5.5 Vertikale verhangen

Het zogenaamde "afwijkende mengsel" (Füller 1-32 mm) blijkt volgens de proefresultaten een stationair vertikaal kritiek verhang van 100 à 150% te hebben [1, paragraaf 10.4.2].

Cyclische proeven werden niet verricht omdat verwacht werd dat het cyclische verticale kritieke verhang gelijk zou zijn aan 100% [2, paragraaf 6.3].

Samenvatting van diverse proefresultaten [6] leidt tot de conclusie dat het cyclische verticale kritieke verhang gelijk aan 100% is voor $D_{15_f} \geq 3$ mm. Daarmee ligt het afwijkend mengsel (met $D_{15_f} = 3,2$ mm) dus op de grens.

Op grond van de resultaten van het onderzoek M1591 [3, 6] mag de gunstige invloed van de bovenbelasting niet in rekening worden gebracht als $I_{vcr} = 100\%$.

Er kan dus worden geconcludeerd dat het verticale kritieke verhang van alle eerder genoemde filtermaterialen (1-32 mm en grover) gelijk is aan 100%.

Er is gesteld dat het maximale cyclische verhang een amplitude kan hebben van 300% (max. golf gedurende superstorm). Op grond van de berekeningen uitgevoerd in RWS-Nota DDWT-80-284, volgt dan een zakking van enkele centimeters in de levensduur van de kering. Gezien het feit dat:

- a) bovengenoemde berekeningen gebaseerd zijn op zeer summiere proefresultaten,
 - b) de zandindringing in het filter ca 3 maal zo groot is als de zakking,
 - c) deze indringing (wellicht) gesuperponeerd moet worden op de indringing t.g.v. het stationaire verhang (de "bult" uit par. 5.3),
- moeten de optimistische conclusies uit par. 5.4 wat worden ingetoomd, indien de cyclische verticale verhangen mede in beschouwing worden genomen.

Referenties

WATERLOOPLUNDIG LABORATORIUM

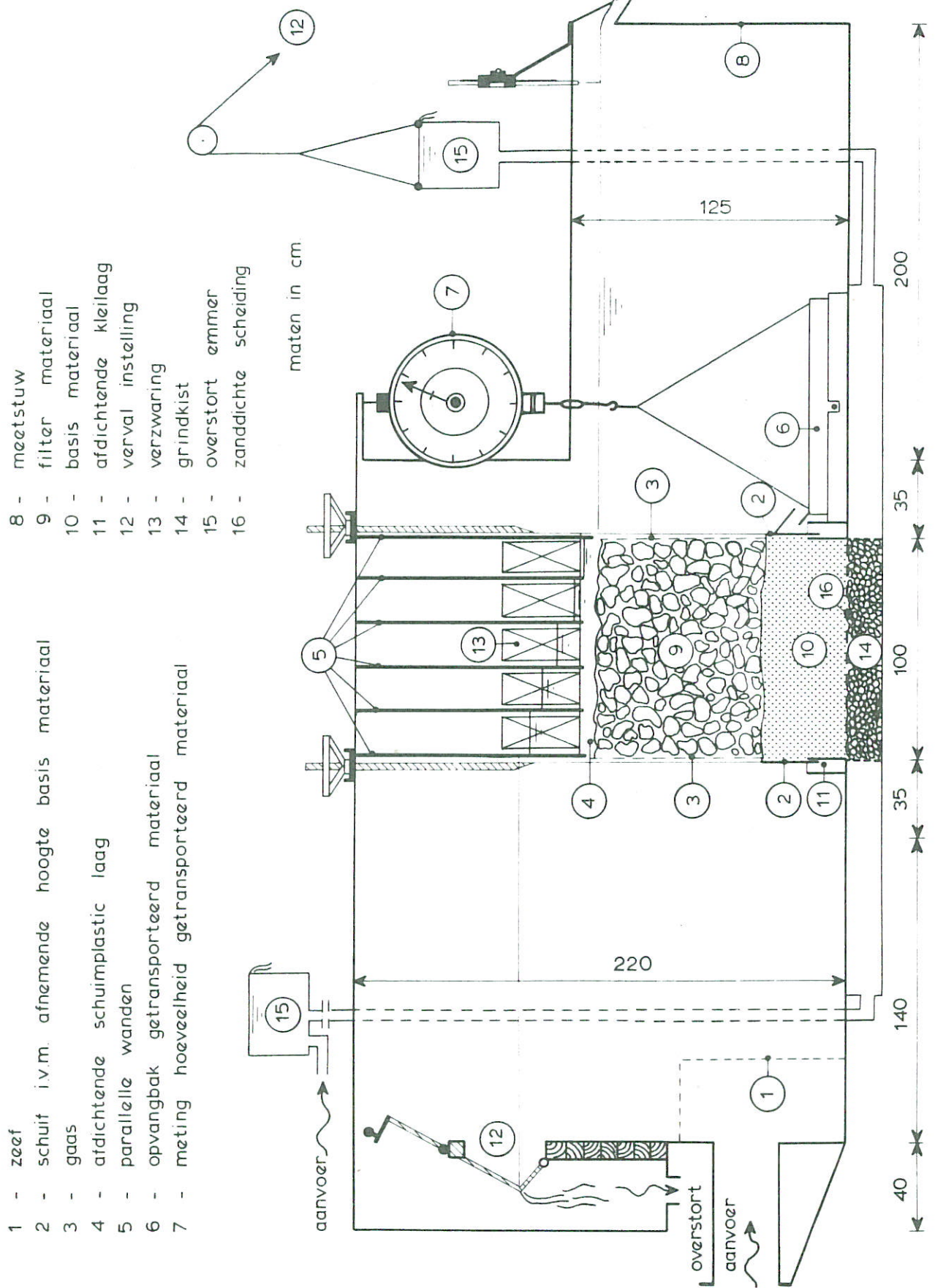
1. M 1488-I, feb 1982 stabiliteit van granulaire filters bij stationaire verhangen.
2. M 1488-II, dec 1981 stabiliteit van granulaire filters bij cyclische verhangen loodrecht op het grensvlak.
3. M 1591, okt 1979 stabiliteit van granulaire filters bij cyclische verhangen loodrecht op het grensvlak.
4. M 1689, okt 1980 stabiliteit van de granulaire filters van de dam aanzetten.
5. M 1544, juli 1981 stabiliteit van granulaire filters bij cyclische verhangen evenwijdig aan het grensvlak.
6. A. de Graauw Design criteria for granular filters
T. v.d. Meulen (te publiceren in journal of A.S.C.E.)
H. v.d. Does de Bye

Bron	D_{50_b} (mm)	D_{15_f} (mm)	n_f (-)	$\frac{n_f D_{15_f}}{D_{50_b}}$	I_{hcr} (%)	Z (mm/uur)	T (kg/mm/uur)	$\frac{I}{I_{cr}}$
M1488-I (fig 15)	0,15	3,2	0,38*	8,1	30	-	~0,3	1,08
						-	~0,8	1,13
M1689 (T1)	0,16	5,9	0,30	11,1	25	3	5,2	1,20
M1689 (T6)	0,16	7,6	0,33	15,7	15	20	11	1,33
M1689 (T2)	0,16	8,3	0,33	17,1	15	25**	8,0**	2,00

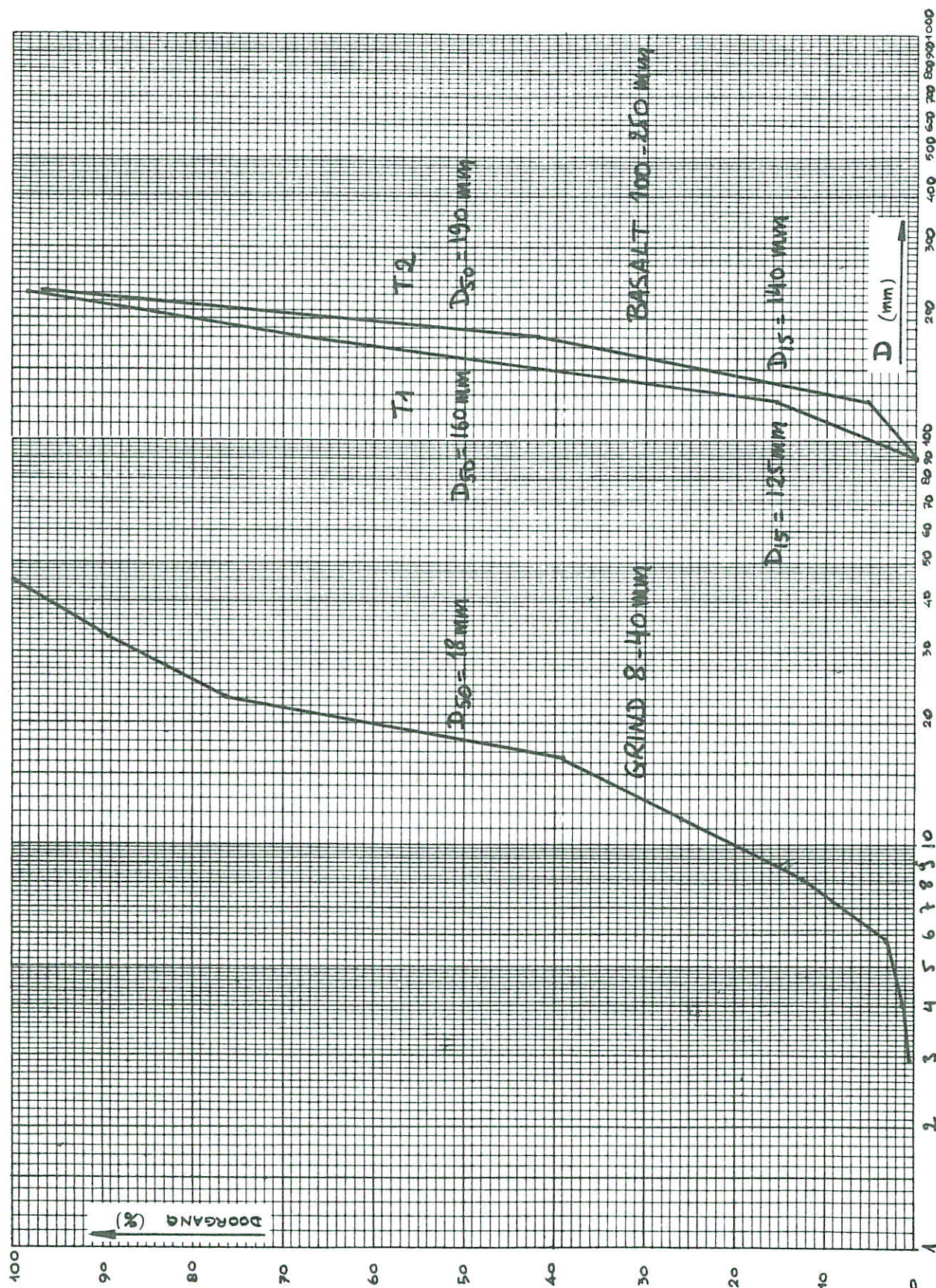
* schatting

** vóórdat $I/I_{cr} = 2,00$ is ingesteld, is in deze proef nog met $I/I_{cr} = 2,33$ ($I = 35\%$) gestroomd gedurende ca 5 min. Dit had een zeer groot transport tot gevolg. Deze voorgeschiedenis verklaart dat bij $I/I_{cr} = 2,00$ relatief weinig transport en zakking optrad (zie ook fig. 4).

Tabel 1: Beschikbare gegevens filterwerking zeegrind op wadzand.



FILTERBAK

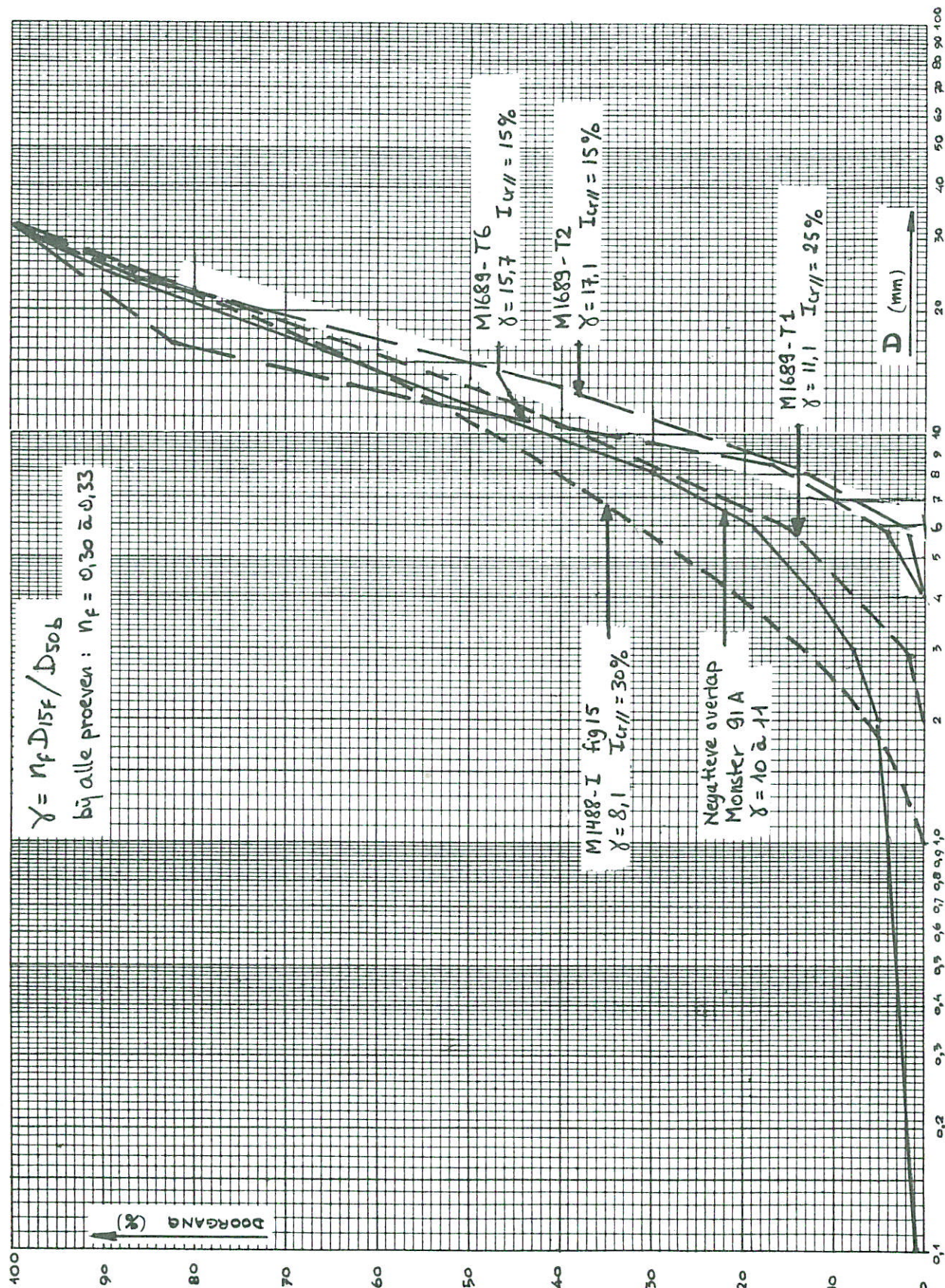


ZEEFKROMMEN GRIND EN BASALT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1925

FIG. 2



FILTERSTABILITEIT "MONSTER 91 A"

proeven : M1488-I (T13)

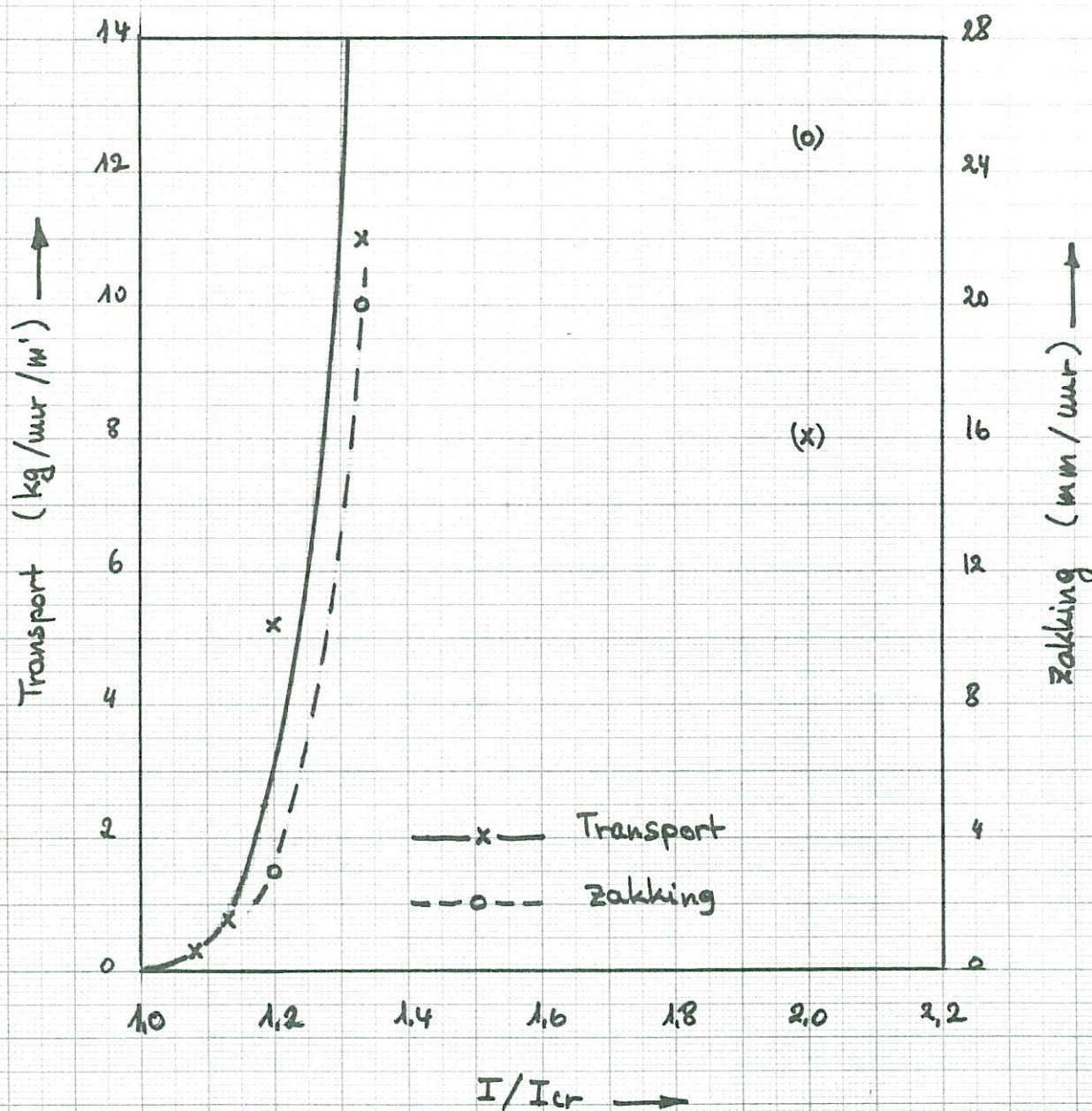
$D_{sol} = 150 \mu m$

M1689 (T2, T2, T6)

$D_{sol} = 160 \mu m$

NB : zakkings en transport behoren bij volledig onverzadigde borenstroomse transportcapaciteit (schoon water).

(o) en (x) : zie verklaring in tabel 1.

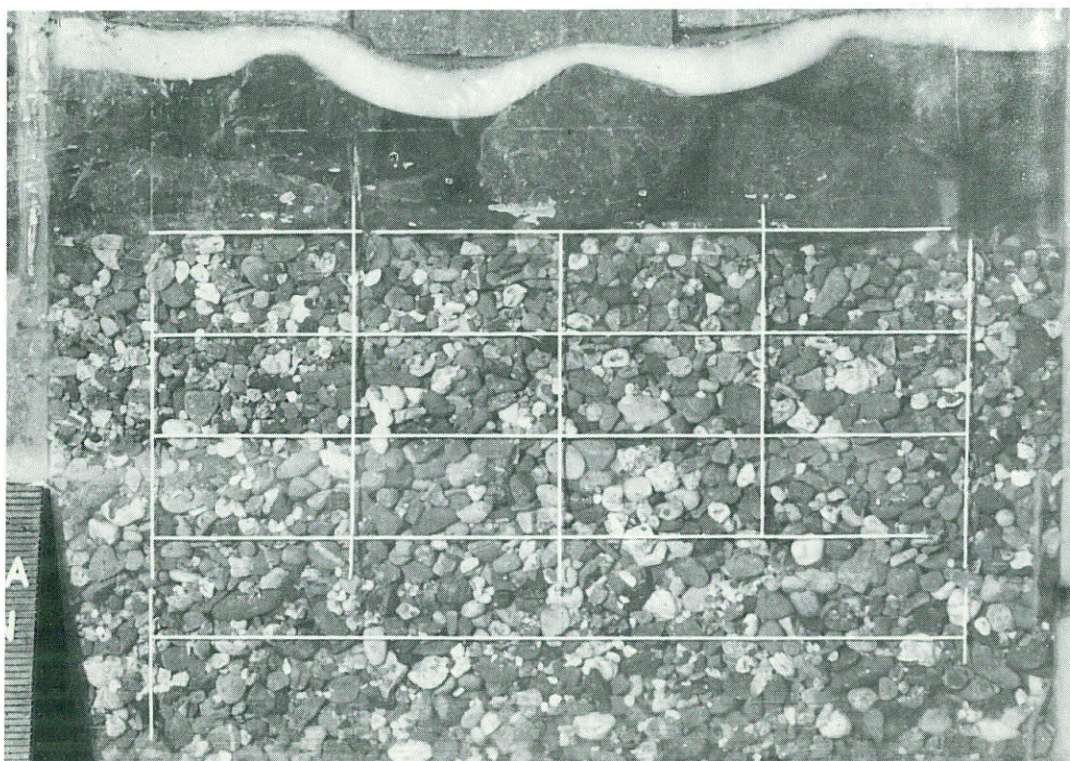


TRANSPORT EN ZAKKING BIJ OVER-
SCHRIJDING HORIZ. KRIT. VERHANG

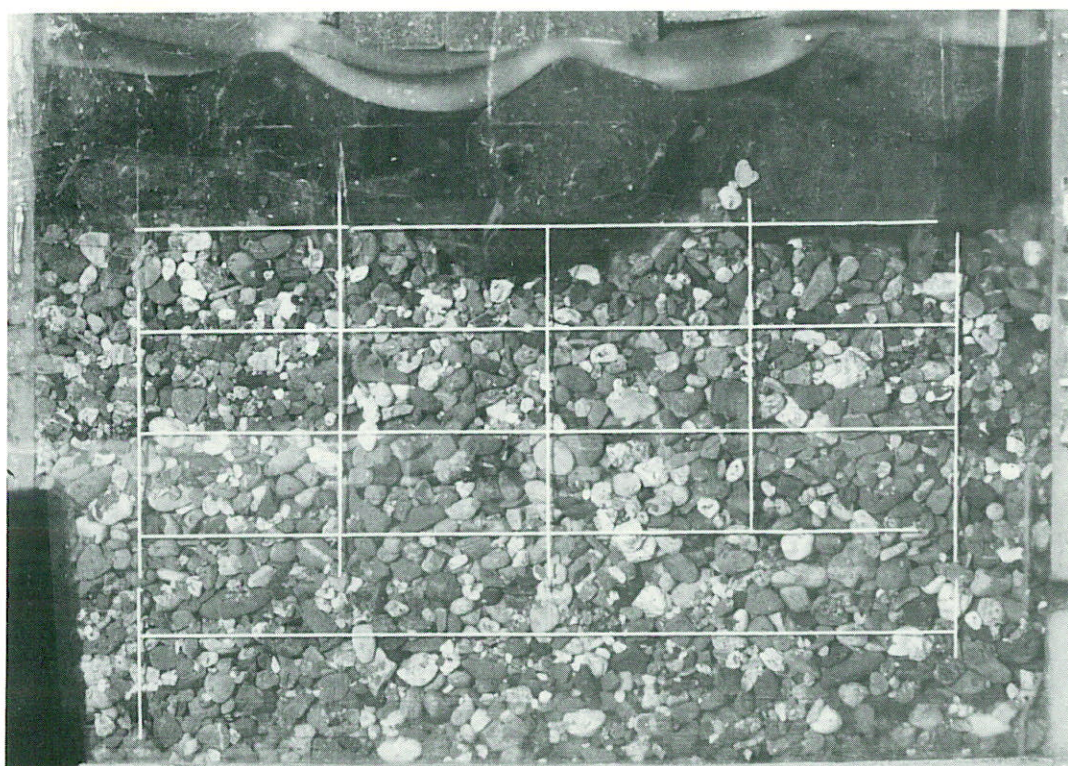
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1925

fig 4



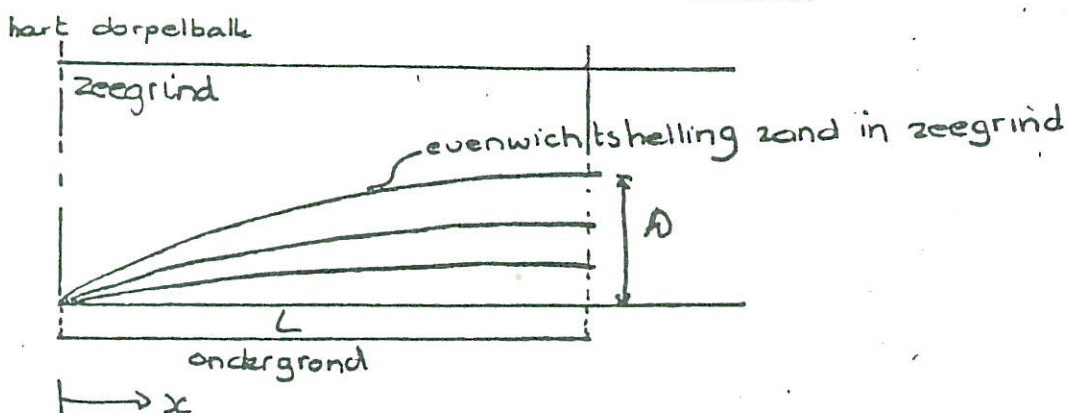
Begin van proef T2



Einde van proef T2
(na 2,5 uur stromen met verhang 60%)

Bijlage 3Berekening indringing zand in zeegrond door stationaire stroming

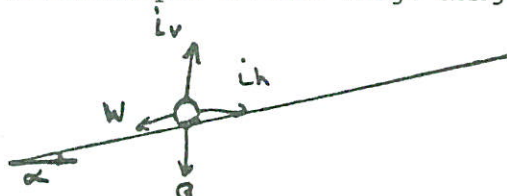
Zoals uit bijlage 2 blijkt zijn onder de dorpelbalk de grootste horizontale verhangen. Richting Oosterschelde neemt dit verhang af, doch er ontstaat nu ook een vertikale omhoog gerichte component. Bij overschrijding van het kritieke verhang zal indringing van zand in zeegrond plaatsvinden. Aan de Noord zeezijde is de stroming omlaag gericht en daar zal t.g.v. het normale verval geen transport optreden. Onder de dorpelbalk wordt het horizontale kritieke verhang overschreden en zandindringing zal nu plaats vinden tot een zekere afstand uit de dorpelbalk waar de $i < i_{\text{kritiek}}$.



Gezocht wordt nu naar de evenwichtshelling van het ingedrongen zand in zeegrond t.g.v. de stationaire belastingen.

Voor het horizontale kritieke verhang is een pessimistische waarde van 25% gehanteerd (zie drempel eindrapport deel 3 blz. 5). Voor het verticale kritieke verhang wordt eveneens een pessimistische waarde van 100% gekozen.

Het krachtenpel is als volgt aangenomen:



i_v = vertikale verhang

i_h = horizontale verhang

W = kritieke verhang component

G = gewicht

Deze krachten worden nu ontbonden evenwijdig en loodrecht op de helling.

Bewegen treedt op als $G_{//} + W < i_{v//} + i_{h//}$

$$W = (i_v)_{krit} \sin \alpha + (i_h)_{krit} \cos \alpha$$

$$i_{v//} = i_v \sin \alpha$$

$$i_{h//} = i_h \cos \alpha$$

G wordt uitgedrukt in een verhang i.v.m. de dimensies. Er geldt voor de fluïdisatieconditie (zie "Statistische analyse van de grootte van gaten in een korreelpakket", augustus 1979, CO-406584-5)

$$i = (1-n)(\rho_k - \rho_w)g$$

met $n=0,4$; $\rho_k g = 26 \text{ kN/m}^3$; $\rho_w g = 10 \text{ kN/m}^3$

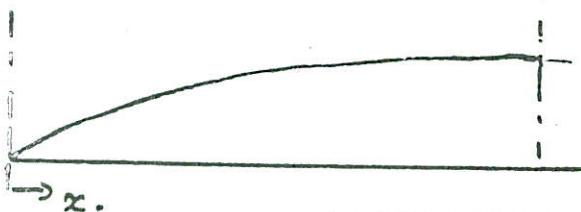
volgt $i = 100\%$ of $i = 1 \text{ m/m}$

Dus $G_{//} = \sin \alpha$

$$\text{Er volgt nu } \tan \alpha < \frac{i_h - i_{h \text{ kritiek}}}{2 - i_v}$$

$$\text{met } I_v \text{ kritiek} = 1$$

Er is alleen transport indien $i_h > (i_h)_{kritiek} = 0,25$.



				$i_{hkritiek}$											
				0,25						0,30					
0,10	0,15			x (m)	i_h	i_v	α^0	Δy (cm)	y (cm)	α^0	Δy (cm)	y (cm)	α	Δy	y
14,4	14,4	9,2	9,2	0	0,36 ₂₄	0,08 _{5,3}	3,3	11,5	11,5	1,8	6,3	26,3	4,8	16,2	16,2
13,5	27,9	8,3	17,5	2	0,35 ₃	0,10 _{6,7}	3,0	10,5	22,0	1,5	5,2	11,5	4,5	15,2	32,1
12,5	40,4	7,3	24,8	4	0,34 ₂₂	0,12 _{8,0}	2,7	9,4	31,4	1,2	4,2	15,7	4,2	14,9	47,4
11,5	51,9	6,3	31,1	6	0,32 ₂₁	0,13 _{8,3}	2,1	7,3	38,7	0,6	2,1	17,8	3,7	12,8	60,2
9,4	61,3	4,2	35,3	8	0,28 ₁₉	0,14 _{8,3}	0,9	3,1	41,8	0	0	—	2,5	8,6	69,8
7,4	68,7	2,1	37,4	10	0,25 ₁₃	0,15 _{10,7}	0	0	—	0	0	—	1,5	7,4	74,2
3,2	71,9	—	—	12	0,20 ₁	0,16 _{10,7}	0	0	—	0	0	—	0	—	—

excl. 1,5
veiligheid

rijkswaterstaat

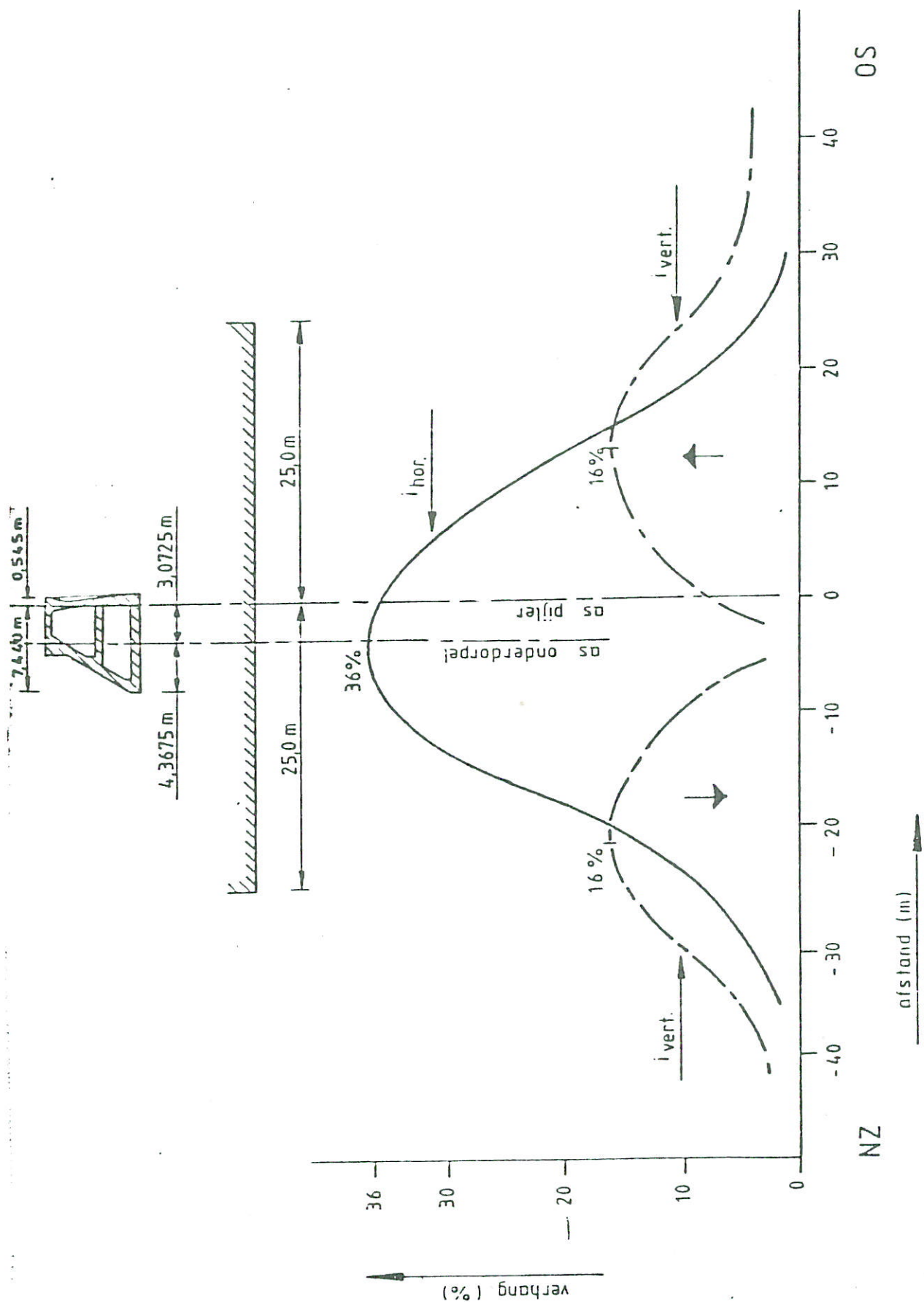
behoort bij: notitie

nr. 34FUND-M-79233

bladnr: 19

342FON-M-79134

Bij een pessimistische aanname van de belasting ($i = \gamma i_{\text{berekend SEEP}}$ en $\gamma = 1,5$) en van de sterkte ($i_{\text{vkrit}} = 100\%$ en $i_{\text{hkrit}} = 25\%$) wordt de dikte van het zeegrind waarin inzanding optreedt 42 cm. De minimal dikte van de zeegrindlaag moet dus 42 cm zijn om te verhinderen dat het zand in de uitvullaag komt waar de i_h kritiek veel lager is.



5.1 Stationaire verhangen op fundatieniveau tussen de pijlers
(inclusief veiligheidscoëfficiënt = 1,5)

