



waterloopkundig laboratorium  
delft hydraulics laboratory

afsluiting Oosterschelde

dichting van een blokkendam met behulp  
van grofkorrelig materiaal

AFGEHANDELD

verslag modelonderzoek

---

M1243

augstus 1983

afsluiting Oosterschelde

---

dichting van een blokkendam met behulp  
van grofkorrelig materiaal

verslag modelonderzoek

---

M1243

augstus 1983

## INHOUD

	blz
1 <u>Inleiding</u> .....	1
2 <u>Probleemstelling</u> .....	2
3 <u>Conclusies</u> .....	3
4 <u>Resultaten bij de dam in het Brouwershavense Gat</u> .....	4
4.1 Eerder verricht onderzoek.....	4
4.2 Ervaringen tijdens het afsluiten van het Brouwershavense Gat.....	4
5 <u>Het onderzoek</u> .....	5
5.1 Schalen.....	5
5.2 Onderzoekmethoden.....	7
6 <u>Resultaten van het onderzoek</u> .....	9
6.1 Keuze grindsortering en vulmethodiek .....	9
6.2 Invloed enkelzijdig vullen.....	12
6.3 Vulmateriaal fosforslakken .....	12

TABELLEN

- 1 Uitgevoerde proeven en resultaten

FIGUREN

- 1 T1...T12. Debiet door de blokkendam als functie van het verval
- 2 Zeefkromme grind 30/alles

Verloop van relatief debiet en vulling van de blokkendam

- 3 T1. Grind 30/alles. Damvoet N.A.P. -20,0 m,  $\Delta h = + 2,0$  m
- 4 T2. Grind 30/alles. Damvoet N.A.P. -19,0 m,  $\Delta h = + 0,3$  m

- 5 Zeefkromme grind 55/alles

Verloop van relatief debiet en vulling van de blokkendam

- 6 T3. Grind 55/alles. Damvoet N.A.P. -20,0 m,  $\Delta h = + 2,0$  m
- 7 T4. Grind 55/alles. Damvoet N.A.P. -19,0 m,  $\Delta h = + 0,3$  m
- 8 T5. Grind 55/alles. Damvoet N.A.P. -20,0 m, getij
- 9 T6. Grind 30/alles. Damvoet N.A.P. -20,0 m, getij
- 10 T7. Grind 30/alles. Damvoet N.A.P. -20,0 m, getij Eenzijdige vulling

- 11 Zeefkromme fosforslakken tout-venant

Verloop van relatief debiet en vulling van de blokkendam

- 12 T8. Fosforslakken tout-venant. Damvoet N.A.P. -10,0 m, getij
- 13 T9. Grind 30/alles. Damvoet N.A.P. -10,0 m, getij

- 14 Zeefkromme fosforslakken 2,5 -150

Verloop van relatief debiet en vulling van de blokkendam

- 15 T10. Fosforslakken 2,5-150. Damvoet N.A.P. -10,0 m, getij
- 16 T11. Fosforslakken 2,5-150. Damvoet N.A.P. -19,0 m,  $\Delta h = +3,0$  m
- 17 T12. Fosforslakken 2,5-150. Damvoet N.A.P. -19,0 m, getij

FOTO's

- 1 Proef T5
- 2 Proef T6
- 3 Proef T9
- 4 Proef T10

## AFSLUITING OOSTERSCHELDE

### Dichting van een blokkendam met behulp van grofkorrelig materiaal

#### 1. Inleiding

Ten tijde van het in dit verslag behandelde onderzoek was het de bedoeling de Oosterschelde af te sluiten met behulp van een dichte dam. In het zuidelijk sluitgat de Roompot zou op een drempel van grind met een toplaag van stortsteen een blokkendam worden gestort met behulp van een kabelbaan. In dit verslag wordt een overzicht gegeven van het verrichte onderzoek naar de vulling van een blokkendam met grofkorrelige materialen. Deze fase zou vooraf gaan aan het spuiten van een zandlichaam langs en over de blokkendam. De opdracht voor het onderzoek werd op 17 oktober 1973 mondeling verstrekt door ir. F. Spaargaren namens de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst van Rijkswaterstaat.

Het onderzoek werd uitgevoerd in het Laboratorium De Voorst in de "Tussenpadgoot" met afmetingen van 30 m x 0.80 m x 1.10 m. Het onderzoek stond onder leiding van ir. J. Jorritsma, projektingenieur bij het Waterloopkundig Laboratorium. Het verslag is samengesteld door ing. J.J. Taat.

Het late tijdstip van verschijning van het verslag werd veroorzaakt doordat ten tijde van het onderzoek de verslaglegging werd uitgesteld om capaciteitsredenen. Toen het concept uiteindelijk gereed was, was inmiddels het ontwerp van de dichte afsluitdam verlaten en werd in onderling overleg de verdere afwikkeling wederom uitgesteld. Later werd alsnog opdracht ontvangen voor de afwerking van het verslag.

## 2. Probleemstelling

De bedoeling van het vullen van een blokkendam is het reduceren van het debiet door de dam, waardoor de zandverliezen tijdens het opspuiten van het uiteindelijk profiel sterk verminderen.

De vragen die zich voordoen tijdens het vullen van de blokkendam met grofkorrelig materiaal hadden betrekking op:

- de benodigde hoeveelheid vulmateriaal.

Hierbij moet worden gestreefd naar een voldoende reductie van het debiet door de dam met een zo gering mogelijke hoeveelheid vulmateriaal.

- de korrelverdeling van het vulmateriaal.

Indien een te fijne fractie aanwezig is, kan een deel van het vulmateriaal tijdens het vullen reeds worden weggespoeld, terwijl na het vullen en vóór het zandsputten tijdens grotere vervallen over de dam het gevaar bestaat dat een deel van de fijne fractie uit de dam wordt gespoeld, waardoor de reductie van het debiet afneemt.

Bij aanwezigheid van een te grove fractie bestaat het gevaar dat de vullingsgraad van de dam, met name het onderste deel, onvoldoende wordt. Bij grotere vervallen dan tijdens het vullen optreden en bij omkering van de stroomrichting bestaat dan de mogelijkheid dat het vulmateriaal verzakt, waardoor de vullingsgraad boven in de dam afneemt en de debietreductie weer onvoldoende wordt.

- plaats van storten.

Door de in de dam aanwezige stroomsnelheid ten gevolge van het getij zal het vulmateriaal niet rechtstandig in de dam lopen, maar onder een hoek. Onderzocht moet worden tot welke vervallen het vullen nog mogelijk is, voordat tengevolge van de stroom het vulmateriaal aan de benedenstroomse zijde van de dam tijdens het storten reeds uit de dam komt, en of de plaats van storten, bijvoorbeeld op het bovenstroomse talud, in de as van de dam en dergelijke, invloed heeft op de benodigde hoeveelheid vulmateriaal.

De noodzakelijkheid van het vullen van de blokkendam blijft in dit verslag buiten beschouwing.



### 3. Conclusies

Uit het onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. De grindsortering 30/alles (T6) voldoet tijdens getij-omstandigheden als vulmateriaal voor een blokkendam in de Oosterschelde.
2. De grindsortering 55/alles (T5) voldoet in mindere mate als vulmateriaal dan grind 30/alles. Bij het vullen van de dam onder getij-omstandigheden dringt er minder grind in de dam door en treedt er eerder verzakking op van het grind dan bij toepassing van grind 30/alles, waardoor een tweede vulling nodig is om een vergelijkbaar resultaat te behalen als bij de grindsortering 30/alles.
3. Fosforslakken tout-venant (T8) blijken geen goed vulmateriaal voor de blokkendam te zijn. Bij het vullen blijkt er een schil van het materiaal op het talud te blijven liggen. Deze schil wordt van de dam weggedrukt bij tegengesteld verval over de dam.
4. Fosforslakken 2,5-150 mm (T10,T12) blijken een goed vulmateriaal voor de blokkendam te zijn. Bij een groot verval worden de fijnere fracties slechts in geringe mate door de dam heengespoeld (T11).
5. Bij het vullen van de blokkendam onder getij-omstandigheden wordt een stabiele vulling verkregen door bij grote vervallen steeds op het bovenstroomse talud te storten, terwijl bij een klein verval omstreeks de kenteringen tussen de beide kruinen van de dam kan worden gestort.
6. Als norm kan worden aangehouden dat na het aanbrengen van een hoeveelheid grind gelijk aan 50 à 60% van de aanwezige holle ruimte in de blokkendam het debiet door de blokkendam is teruggelopen tot 20 à 30% van het oorspronkelijke debiet (zie tabel 1).
7. Indien het grind alleen bij het verval tijdens vloed op het buitentalud van de blokkendam gestort wordt, is de totale hoeveelheid te storten grind om eenzelfde debietreductie te bereiken als bij twee-zijdig storten van dezelfde orde van grootte. De benodigde tijdsduur is echter aanzienlijk langer (T7).

#### 4. Resultaten bij de dam in het Brouwershavense Gat

##### 4.1 Eerder verricht onderzoek

In het begin van 1971, is in het kader van de onderzoeken ten behoeve van de afsluiting van het Brouwershavense Gat reeds een oriënterend onderzoek naar grindvulling van een blokkendam verricht. De belangrijkste resultaten van dit onderzoek zijn vermeld in een brief d.d. 29 januari 1971, nummer V385/M1068. Kort samengevat waren de resultaten van dit onderzoek:

- grind 10/60 mm bleek te fijn. Met een gering verval over de dam spoelde een deel van het grind tijdens het vullen van de dam reeds uit de dam
- grind van de sorteringen 60/120 mm en 30/100 mm bleken goed te voldoen
- vullen van de dam zonder verval over de dam leverde een geringere vullingsgraad van de dam op. Het instellen van een verval na afloop van het vullen had tot gevolg dat het grind verder in de dam zakte. De vullingsgraad in het bovenste deel van de dam werd daardoor onvoldoende
- een te grote capaciteit bleek in het onderzoek tot een slechte vullingsgraad van de dam te leiden, waarbij veel grind op de taluds terecht kwam.

##### 4.2 Ervaringen tijdens het afsluiten van het Brouwershavense Gat

Tijdens het uitvoeren van de vulling van de blokkendam (blokken  $1 \times 1 \times 1 \text{ m}^3$ ) bij de afsluiting van het Brouwershavense Gat is het grind aangebracht op de volgende wijze: vullen met een transportband als het verval groter is dan 0,3 m (vloed en eb) aan de bovenstroomse zijde; bij vervallen kleiner dan 0,3 m tussen de kruinen.

Deze methode bleek goed te voldoen. De transportband werd toegepast ten einde een te grote vulcapaciteit, bijvoorbeeld met onderlossers, te voorkomen.

De transportband werd tijdens het vullen in de lengterichting van de dam heen en weer bewogen (5 à 15 m), waarbij een vulcapaciteit van circa  $200 \text{ m}^3/\text{uur}$  kon worden bereikt.

Enigszins problematisch was het criterium voor het bereiken van een voldoende vulling. Verscheidene criteria werden onderzocht en in het prototype geprobeerd (visueel, peilingen, e.d.). Uiteindelijk bleek alleen een objectieve norm, uitgedrukt in  $\text{m}^3$  grind per strekkende meter dam, te voldoen.

## 5. Het onderzoek

### 5.1 Schalen

Het onderzoek werd uitgevoerd met een lengte- en hoogteschaal 1:25. Voor de blokkendam werden betonkubussen gebruikt met een ribbe van 1,50 m, die in het model op schaal 1:25 werden toegepast. Deze schaal werd ook aangehouden voor de diameter van de sorteringen van het vulmateriaal.

Voor de hierbij behorende snelheidsschaal werd uitgegaan van schaalregels volgens Froude. Bij deze schaalkeuze is de stroming door de dam nog voldoende turbulent en behoeven, zoals uit onderstaande beschouwing blijkt, geen schaaleardeffekten te worden gevreesd.

Het proces van het vullen van de blokkendam met grind is op schaal indien aan twee voorwaarden wordt voldaan:

1. de stroming door de dam dient turbulent te zijn
2. de valsnelheid van het vulmateriaal moet evenredig zijn met de wortel uit de diameter.

Toetsing van de schaalkeuze 1:25 is als volgt:

De stroming door een poreus medium kan worden beschreven door de betrekking van Cohen de Lara

$$v^2 = \frac{\frac{\Delta h}{L} D_n 2g \epsilon^5}{C_D} \quad (1)$$

waarin:

v	= filtersnelheid	(m/s)
$\Delta h$	= verval over de dam	(m)
L	= kenmerkende lengte	(m)
$D_n$	= nominale steendiameter	(m)
$\epsilon$	= poriëngehalte	(-)
$C_D$	= weerstandscoefficiënt	(-)

Voor een turbulente stroming geldt  $C_D = \text{constant} = 0,5$ .

Aan de voorwaarde voor turbulente stroming wordt voldaan, indien

$$Re = \frac{v D_n}{\nu} > 576 \quad (2)$$

waarin:

Re = getal van Reynolds betrokken op de steendiameter

(-)

$\nu$  = kinematische viscositeit

(m<sup>2</sup>/s)

Substitutie van vergelijking (2) in vergelijking (1) geeft als voorwaarde voor turbulente stroming

$$\Delta h > \frac{576^2 C_D \nu^2 L}{D_n^3 2g \epsilon^5} \quad (3)$$

Als voor L de voetbreedte van de dam wordt aangehouden kan het minimale verval berekend worden voor de kubussen van 1,5 m.

Uitgaande van de volgende waarden:

$$L = \frac{50}{25} = 2 \text{ m}$$

$$C_D = 0,5$$

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

$$\xi = 0,44$$

$$D_n = \sqrt[3]{\frac{G_{50}}{\rho}} = \frac{1,12}{25} = 0,045 \text{ m}$$

moet  $\Delta h > 0,014$  m zijn, overeenkomend met 0,35 m in het prototype.

Bij twee proeven wordt niet aan deze eis voldaan (T2 en T4), zodat bij deze proeven een geringe stromingsafwijking zal bestaan, echter alleen in de onderste laag van de dam. De afwijking is zo gering dat dit geen consequenties heeft voor het onderzoek, en aan de eis voor turbulente stroming is dus voldaan.

De valsnelheid van het fijnste vulmateriaal (30/alles) is circa 0,2 m/s

( $D_{50} = 0,0022$  m in het model).

De valsnelheid is evenredig met de wortel uit de diameter (Newtons gebied) indien:

$$Re = w D_n / \nu > 150$$

waarin

Re = getal van Reynolds

(-)

$w$  = valsnelheid van het grind (m/s)  
 $D_n$  = nominale steendiameter (m)  
 $\nu$  = kinematische viscositeit ( $m^2/s$ )

De waarde in het model is

$$Re = \frac{0,2 \cdot 0,0022}{1,1 \cdot 10^{-6}} = 400$$

zodat ruimschoots aan de tweede voorwaarde is voldaan.

Opgemerkt moet worden dat het debiet dat door het met grind gevulde deel van de dam stroomt niet op schaal wordt weergegeven, omdat hier in het model geen turbulente stroming meer optreedt, terwijl dit in het prototype grotendeels wel het geval is.

De waarden van  $Q_r$  zijn dan ook alleen als onderlinge vergelijking bruikbaar.

## 5.2 Onderzoekmethoden

Bij het aanbrengen van het vulmateriaal in de blokkendam werd een transportband nagebootst, die heen en weer kon zwenken met een vlucht van 15 m in de richting van de damas. De stortcapaciteit van het vulmateriaal is aangenomen op  $140 m^3$  per uur. Deze methode komt overeen met de methode zoals die is toegepast tijdens de sluiting van het Brouwershavense Gat.

Als binnenwaterstand is bij de uitgevoerde proeven een niveau aangehouden overeenkomend met N.A.P. Het verval ( $\Delta h$ ) is respectievelijk positief en negatief genoemd, indien de buitenwaterstand (waterstand aan de zeezijde) respectievelijk hoger en lager was dan N.A.P.

Bij elke proef werd tevoren de relatie bepaald tussen het verval over en het debiet door de blokkendam. Een samenvatting van deze metingen is gegeven in figuur 1.

De debieten door de geheel of gedeeltelijk gevulde dam ( $Q_r$ ) zijn steeds uitgedrukt in procenten van het debiet bij dezelfde waterstanden zonder vulling. De hoeveelheid gestort materiaal ( $P$ ) is steeds uitgedrukt in procenten van de totale hoeveelheid holle ruimte in de blokkendam. Het percentage holle ruimte van de niet gevulde blokkendam bedroeg steeds 44%.

Ten tijde van het onderzoek was nog geen beslissing genomen omtrent de kruinhoogte van de blokkendam. De meest waarschijnlijke mogelijkheden waren kruinen op N.A.P. +3,0 m en N.A.P. + 1,0 m, respectievelijk kruinen op N.A.P. +4,0 m en N.A.P. +2,0 m (blokkendam met dubbele kruin). Behoudens enkele uitzonderingen zijn

kruinhoogten op N.A.P. +3,0 m en N.A.P. +1,0 m aangehouden. Hieraan lag de gedachte ten grondslag dat het grind boven in een dam met kruinhoogten op N.A.P. +3,0 m en N.A.P. +1,0 m minder stabiel zou zijn dan boven in een dam met kruinhoogten op N.A.P. +4,0 m en N.A.P. +2,0 m. Een aantal proeven is ook uitgevoerd met kruinhoogten op N.A.P. +4,0 m en N.A.P. +2,0 m.

Het aanbrengen van vulmateriaal werd steeds beëindigd op het moment dat geen indringen van materiaal in het talud van de blokkendam meer werd geconstateerd ( $P_{\max}$ ). Het tijdstip waarop met het storten van materiaal werd geëindigd, is daardoor enigszins subjectief. Wel is het mogelijk aan de hand van de proefresultaten een objectief criterium ( $m^3$  vulmateriaal per m' dam) te bepalen. De debieten zijn zo nauwkeurig mogelijk gemeten met behulp van een V-stuw, de waterstanden met pitotbuizen. De V-stuw werd toegepast in plaats van de normaal aanwezige cirkelstuw vanwege de kleine debieten.

## 6. Resultaten van het onderzoek

### 6.1 Keuze grindsortering en vulmethodiek

Als vulmateriaal voor de blokkendam werd bij de proeven gebruik gemaakt van enkele grind- en fosfor-slaksorteringen. In vergelijking met het Brouwershavense Gat is de ribbe van de betonkubussen toegenomen van 1,0 m tot 1,5 m, zodat verondersteld kan worden dat een wat grovere sortering vulmateriaal toegepast kan worden. Aangezien de verhangen in de dam echter niet sterk zullen toenemen, zal de diameter van het vulmateriaal niet evenredig met de ribbe van de kubussen mogen worden vergroot, maar aanmerkelijk minder. Bij de proeven T1 ... T4 werd nagegaan welke grindsortering als vulling van de blokkendam het best zou kunnen worden toegepast, namelijk grind 30/alles of grind 55/alles. Daarbij werd in eerste instantie uitgegaan van een constant verval. Elke grindsoort werd bij een groot en een relatief klein verval onderzocht.

#### Proef T1 (permanente toestand)

Bij deze proef werd een grindsortering 30/alles toegepast. Voor de zeefkromme van het materiaal wordt verwezen naar figuur 2. De voet van de blokkendam was gesitueerd op N.A.P. -20,0 m. De kruinhoogten waren gesitueerd op N.A.P. +3,0 m en N.A.P. +1,0 m. Het verval bedroeg +2,0 m. Deze toestand maakte een maximale vulling van de dam mogelijk vanwege de grote verhangen in de dam. Tevens kon het uitspoelen van grind tijdens het vullen worden onderzocht. Op enkele plaatsen van de blokkendam spoelde een deel van het grind door de dam. Benedenstrooms van de dam bevond zich na het beëindigen van het storten circa 15% van de totaal verwerkte hoeveelheid grind ( $P_{\max} = 44\%$ ). Na afloop van het vullen van de dam werd het verval tijdelijk vergroot tot 3,0 m. Uiteindelijk bedroeg  $Q_r$  22%, hetgeen circa 50% groter is dan het debiet vóór het verhogen van het verval (figuur 3).

#### Proef T2 (permanente toestand)

Ook bij deze proef werd een grindsortering 30/alles toegepast. De kruinhoogten bedroegen nu N.A.P. +4,0 m en N.A.P. +2,0 m, het toegepaste verval was +0,3 m. Door de verhoogde kruin en het kleine verval werd de vulling van de dam door de afname van de verhangen in de dam bemoeilijkt.

De afname van het debiet was bij een geringe hoeveelheid gestort grind ( $P_{\max} =$

33%) reeds aanzienlijk. Bij vergroten van het verval verzakte het grind echter en werd de aanvankelijk bereikte debietreductie aanzienlijk verminderd bij het wederom instellen van het verval van 0,3 m (figuur 4).

#### Proef T3 (permanente toestand)

Bij deze proef werd een grindsortering 55/alles toegepast. Op figuur 5 is de zeefkromme van het materiaal weergegeven.

De voet van de blokkendam was gesitueerd op N.A.P. -20,0 m.

De kruinhoogten waren gesitueerd op N.A.P. +3,0 m en N.A.P. +1,0 m. Het verval bij deze proef bedroeg +2,0 m.

Het verloop van het relatieve debiet en de hoeveelheid gestort materiaal is weergegeven op figuur 6 ( $P_{\max} = 35\%$ ).

Na het tijdelijk opvoeren van het verval tot +3,0 m nam het debiet door de dam bij een verval van +2,0 m slechts weinig meer toe ( $Q_r = 22\%$ ).

#### Proef T4 (permanente toestand)

Ook bij deze proef werd een grindsortering 55/alles toegepast. Het verval bij deze proef bedroeg 0,3 m.

De kruinhoogten voor de blokkendam bedroegen N.A.P. +4,0 m en N.A.P. +2,0 m.

Bij deze situatie kon slechts weinig grind in de dam doordringen ( $P_{\max} = 26\%$ ) en de stabiliteit van het grind was gering (figuur 7,  $Q_r = 35\%$  na eenmaal verhogen van het verval tot +3,0 m).

Uit de proeven T1 ... T4 kan de conclusie worden getrokken, dat het vulmateriaal grind 55/alles goed voldoet. De vulling van de dam moet echter plaatsvinden bij vervallen groter dan 0,3 m, althans bij storten op de taluds.

Het materiaal 30/alles voldoet iets minder vanwege het uitspoelen van grind tijdens het vullen bij een verval van 2,0 m, terwijl ook bij een verval van 0,3 m het resultaat onvoldoende was.

Na de proeven met permanent verval is vervolgens de invloed van het getij onderzocht in de proeven T5 en T6.

#### Proef T5 (getij)

Bij deze proef werd de vulling van een blokkendam nagegaan onder geschematiseerde getij-omstandigheden, zoals aangegeven in figuur 8.

Tijdens het vullen bedroeg het maximale verval 1,25 m, zowel tijdens vloed als eb.



De voet van de blokkendam was weer gesitueerd op N.A.P. -20 m. Als grind-sortering werd bij deze proef grind 55/alles toegepast volgens de zeefkromme van figuur 5.

Tijdens vloed werd het grind op het buitentalud (zeezijde) gestort, tijdens eb op het binnentalud en tijdens de kenteringen tussen de beide kruinen van de blokkendam.

Na een tijdsduur overeenkomend met 12 uur in het prototype werd er geen grind meer in de dam opgenomen. Er was toen een hoeveelheid grind aangebracht gelijk aan 40% van de holle ruimte van de blokkendam ( $P_{\max}$ ) en het relatieve debiet was bij een verval +0,70 m teruggelopen tot  $Q_r = 12\%$  (figuur 8).

Nadat met het storten van grind was opgehouden, werd een tweede geschematiseerd getij ingesteld met een maximaal verval tijdens vloed van +1,80 m en een maximaal verval tijdens eb van -1,25 m. Na dit getij was het relatieve debiet opgelopen tot 35% (bij  $\Delta h = +0,70$  m) doordat het grind verder in de dam was weggezakt en er dus opnieuw grind kon worden aangebracht ( $P_{\max} = 57\%$ ).

Om de stabiliteit van het grind na te gaan werd hierna het verval opgevoerd tot +2,50 m. Het relatieve debiet nam hierdoor niet verder toe dan tot 15% bij  $\Delta h = +0,70$  m.

Tenslotte werd bij een ingesteld ebverval van -1,50 m geen verzakking van het grind meer geconstateerd.

#### Proef T6

Bij deze proef werd de vulling van een blokkendam nagegaan voor geschematiseerde getij-omstandigheden, waarbij als grindsortering 30/alles werd gekozen (zeefkromme zie figuur 2). Het maximale verval bedroeg hierbij 1,25 m, zowel tijdens vloed als eb (figuur 9).

Het grind drong tijdens de proef goed in de blokkendam door totdat een hoeveelheid grind was gestort gelijk aan 60% van de holle ruimte van de dam. Het relatieve debiet was toen afgenomen tot 14%. De daarna toegepaste vergroting van het verval tot 2,50 m (tijdens vloed) gaf nog een geringe toename van het relatieve debiet te zien. Nadat het verval weer was afgenomen tot 0,70 m bedroeg het relatieve debiet 17%.

Uit de proeven met getij blijkt dat het grind van de sortering 30/alles beter voldoet dan de sortering 55/alles. Dit wordt veroorzaakt doordat bij kleinere vervallen (0,75 à 1,25 m) het grind 30/alles beter in de dam doordringt; uitspoelen van grind tijdens het vullen is tot een verval van 1,25 m niet waargenomen.

De vulmethode, waarbij de stortplaats wisselt afhankelijk van de getijfase, blijkt goed te voldoen.

## 6.2 Invloed enkelzijdig vullen

### Proef T7

Nagegaan werd of een besparing op de grindhoeveelheid zou kunnen worden verkregen door tijdens het getij alleen grind te storten op het buitentalud tijdens de vloedfase, waardoor de dam slechts onder de hoge kruin gevuld zou worden. Het getij werd geschematiseerd volgens figuur 10 met maximale vervallen tijdens vloed en eb van 1,50 m.

Dezelfde grindsortering werd toegepast als bij proef T6, namelijk grind 30/alles. Tot een grindhoeveelheid van uiteindelijk  $P_{\max} = 50\%$  drong het grind in de blokkendam. Het relatieve debiet was toen afgenomen tot 8% bij een vloedverval van +0,90 m. Om de stabiliteit van het grind in de dam na te gaan werd de dam nog onderworpen aan variërende vervallen tijdens vloed en eb (figuur 10). Bij het verval tijdens eb verzakte het grind niet meer.

Na een verval tijdens vloed van +2,50 m bleek het relatieve debiet weer te zijn toegenomen tot 24%.

De hoeveelheid verwerkt grind was slechts iets minder dan bij proef T6, terwijl het relatieve debiet nagenoeg gelijk was. De benodigde tijdsduur voor het vullen werd echter verdubbeld.

## 6.3 Vulmateriaal fosforslakken

Als mogelijk goedkoper alternatief voor grind is onderzocht of fosforslakken tout-venant als vullingsmateriaal toegepast zouden kunnen worden. De zeefkromme van dit materiaal is weergegeven op figuur 11.

Opgemerkt moet worden dat bij het op schaal brengen de fracties met een diameter kleiner dan 25 mm een valsnelheid bezitten, die kleiner is dan overeenkomt met de schaalregel volgens Froude ( $w \propto \sqrt{D}$ ). Daar het hier slechts een gering deel van de sortering betreft (circa 5%) werd hier in eerste instantie geen aandacht aan besteed (zie ook proef T11).

### Proef T8

Als vullingsmateriaal voor de blokkendam werden bij deze proef fosforslakken tout-venant gebruikt. In verband met de beperkte beschikbare hoeveelheid fosforslakken bij deze proeven werd een blokkendam onderzocht met de voet van de

dam op N.A.P. -10,0 m, de kruinen op N.A.P. +3,0 m en N.A.P. +1,0 m.

De fosforslakken werden gestort tijdens een geschematiseerd getij (figuur 12) met een maximaal verval tijdens vloed van +1,50 m. Reeds bij het starten van de eerste slakken drong een gedeelte (circa 20%) niet in de dam, maar kwam via het talud terecht bij de teen van de dam. Bij het einde van het storten drong ca. 90% niet meer in de dam. De oorzaak van het slecht indringen van de fosforslakken werd veroorzaakt door de grove fractie. Het relatieve debiet was bij  $P_{\max} = 50\%$  afgenomen tot een waarde  $Q_r = 14\%$ . Circa 30% van de gestorte hoeveelheid fosforslakken lag toen op het buitentalud.

Bij het daarmee ingestelde verval tijdens vloed bleek een stabiele situatie voor de slakken op te treden.

Bij een verval tijdens eb van -2,0 m werd de laag slakken op het talud weggedrukt. Het relatieve debiet liep daarna op tot  $Q_r = 37\%$  bij  $\Delta h = +0,50$  m.

#### Proef T9

Teneinde een vergelijking tussen het vulmateriaal fosforslakken en grind 30/alles te kunnen maken werd proef T9 uitgevoerd met als vulmateriaal grind 30/alles. (vergelijk T8).

Bij een geschematiseerd getij met een maximaal verval tijdens vloed van +1,50 m werd het grind 30/alles gestort. Het grind bleef tot het einde van de vloedperiode goed in de blokkendam doordringen. Er werd een hoeveelheid grind gelijk aan 52% van de holle ruimte van de dam aangebracht (zie figuur 13).

Bij het daarop volgend verval tijdens eb verzakte het grind niet meer. Na een daarna ingesteld verval tijdens vloed van +2,50 m spoelde er een weinig grind uit de kruin van de dam weg. Het relatieve debiet bedroeg daarna  $Q_r = 22\%$  (bij een verval van +0,90 m).

Uit de voorgaande twee proeven kan geconcludeerd worden dat de bij proef T8 gebruikte samenstelling van de fosforslakken niet voldoet, hetgeen vermoedelijk veroorzaakt wordt door de te grove samenstelling.

#### Proef T10

Teneinde de conclusies uit de proeven T8 en T9 te toetsen, werden uit de fosforslakken tout-venant de fracties grover dan 150 mm verwijderd. De gezeefde fosforslakken werden fosforslakken 2,5-150 mm genoemd.

De zeefkromme van dit materiaal is weergegeven op figuur 14. De fosforslakken werden bij deze proef gestort bij een getij met een maximum verval tijdens vloed van 1,50 m (figuur 15). De slakken drongen nu goed in de dam door tot

een hoeveelheid  $P_{\max} = 55\%$ . De slakken bleken stabiel in de dam te zitten. Bij een verval tijdens eb van  $-0,90$  m verzakten de slakken niet en na een verval tijdens vloed van  $+2,50$  m bleef het relatieve debiet  $Q_r$  beperkt tot 20% bij  $\Delta h = +0,90$  m.

### Proef T11

Bij deze proef werd nagegaan of van de fijne fractie van de fosforslakken 2,5-150 wellicht een deel door de dam heen zou spoelen bij het storten tijdens een groot verval.

In het model werd een constant verval ingesteld overeenkomend met een waarde van  $+3,0$  m (in model  $0,12$  m).

Om te voorkomen dat de fijne fracties van de slakken met de stroom zouden worden meegevoerd voordat ze in de lagere delen van de bovenstroomse kruin zijn doorgedrongen, werd een dam onderzocht met kruinhoogten op N.A.P.  $+4$  m en N.A.P.  $+2$  m. De binnenwaterstand werd op N.A.P. gehandhaafd. De hoogteligging van de damvoet kwam overeen met N.A.P.  $-19$  m.

Bij het weergeven van het vulmateriaal op lengteschaal is de verhouding tussen de filtersnelheid in de dam en de valsnelheid voor de fijnere fracties in het model groter dan in het prototype. Voor een diameter van het vulmateriaal van  $10$  mm in het prototype is de verhouding tussen de filtersnelheid en de valsnelheid een faktor  $1,5$  te groot. Uitgaande van een gelijke verhouding komt het modelverval van  $0,12$  m voor de fracties kleiner of gelijk aan  $10$  mm overeen met een verval groter of gelijk aan  $0,12 \cdot 2,5 \cdot (1,5)^2 = 6,75$  m. Eventueel uitspoelen van de fijnere fracties kan dus zeker bij de hier beschreven proef (T11) worden geconstateerd.

Doordat ten behoeve van de proef slechts een beperkte hoeveelheid fosforslakken beschikbaar was, kon de dam niet verder worden gevuld dan tot 35% van de holle ruimte.

Na afloop van de proef lag er benedenstrooms buiten het damprofiel 21% van de gestorte hoeveelheid slakken, waarvan 20% als een dammetje tegen de blokkendam aanlag (figuur 16). De samenstelling van de slakken, die buiten het profiel tegen de blokkendam terecht waren gekomen, bleek gelijk te zijn aan de samenstelling van het gestorte materiaal. Verder benedenstrooms bestond het materiaal uitsluitend uit de fijnste fracties, zodat van uitspoelen van alleen de fijnste fracties vrijwel geen sprake was.

### Proef T12

Met de fosforslakken 2,5-150 werd ook nog een vullingsproef van de blokken-

dam uitgevoerd bij getij-omstandigheden en een grotere waterdiepte. De hoeveelheid beschikbaar vulmateriaal was inmiddels vergroot. Het getij met een maximaal verval van 1,50 m, zowel tijdens vloed als eb, werd hierbij geschematiseerd, zoals op figuur 17 is weergegeven.

De voet van de blokkendam was hierbij gesitueerd op N.A.P. -20,0 m. Onder deze omstandigheden kon een hoeveelheid slakken worden aangebracht gelijk aan 54% van de holle ruimte van de dam (zie figuur 17). Het relatieve debiet door de dam bedroeg toen nog 16%.

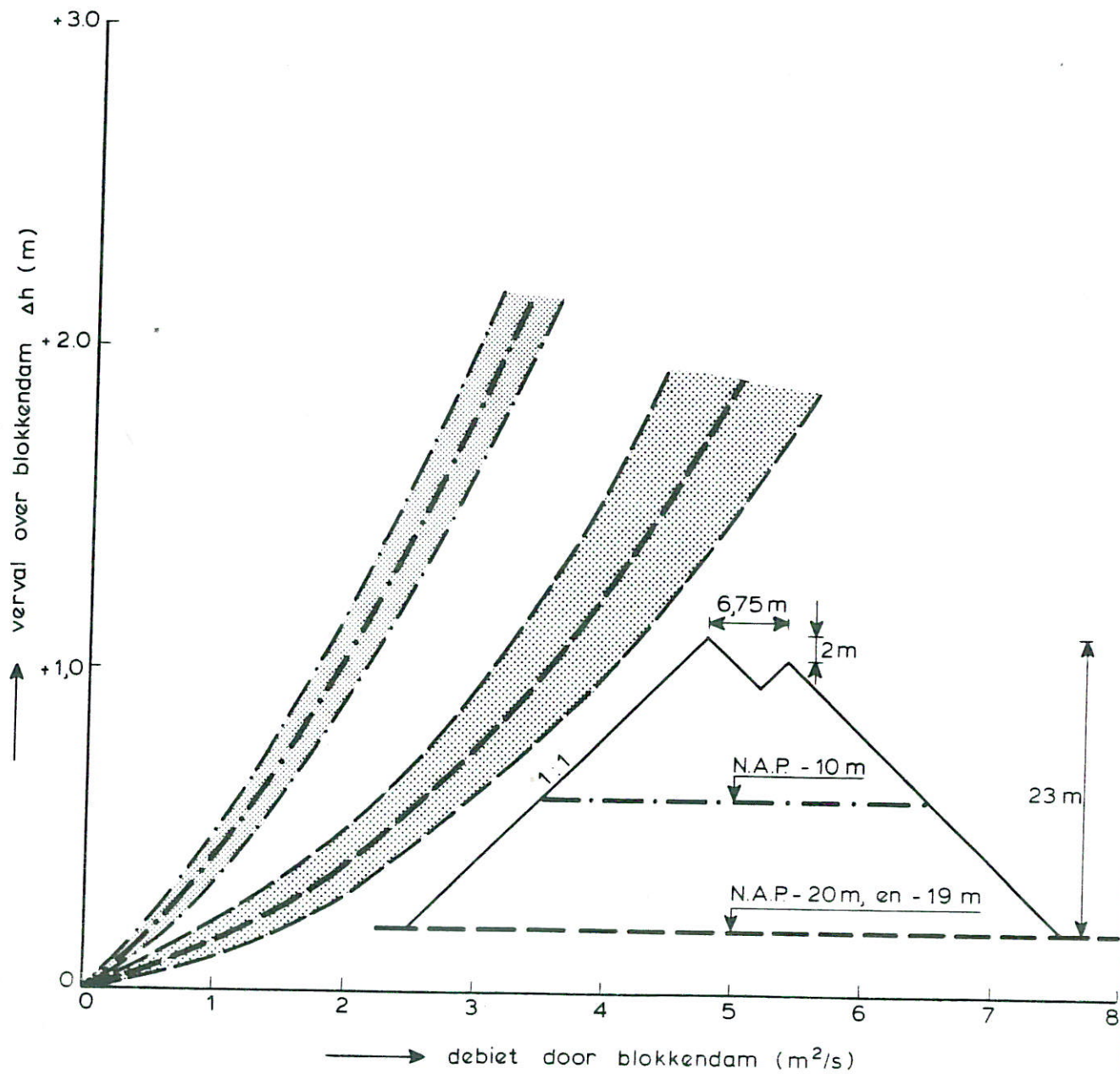
Vergelijking van proef T12 met proef T6 toont aan dat het vulmateriaal fosforslakken 2,5-150 mm vrijwel gelijkwaardig is aan grind 30/alles.

proef	vulmateriaal	$\Delta h$ (m)	kruinhoogte (m t.o.v. NAP)	damvoet (m t.o.v. NAP)	$P_{\max}$ (%)	$Q_r$ (%)
T1	30/alles	+2,0	+ 3, + 1	-20	44	~ 20
T2	30/alles	+0,3	+ 4, + 2	-19	33	~ 20
T3	55/alles	+2,0	+ 3, + 1	-20	35	22
T4	55/alles	+0,3	+ 4, + 2	-19	26	34
T5	55/alles	getij <sup>*</sup>	+ 3, + 1	-20	57	12
T6	30/alles	getij <sup>*</sup>	+ 3, + 1	-20	60	24
T7	30/alles	getij <sup>*</sup>	+ 3, + 1	-20	50	15 <sup>•</sup>
T8	fosforslakken tout-venant	getij <sup>*</sup>	+ 3, + 1	-10	49	36
T9	30/alles	getij <sup>*</sup>	+ 3, + 1	-10	52	22
T10	fosforslakken 2,5-150	getij <sup>*</sup>	+ 3, + 1	-10	55	26
T11	fosforslakken 2,5-150	3,0	+ 4, + 2	-19	35	56
T12	fosforslakken 2,5-150	getij <sup>*</sup>	+ 3, + 1	-20	54	18

Tabel 1 Uitgevoerde proeven en resultaten

\* in stappen verlopend van +1.50 naar -1.50 m

• eenzijdig storten



- · — damvoet N.A.P. - 10,0 m
- — — damvoet N.A.P. - 20,0 m en - 19,0 m
- spreiding

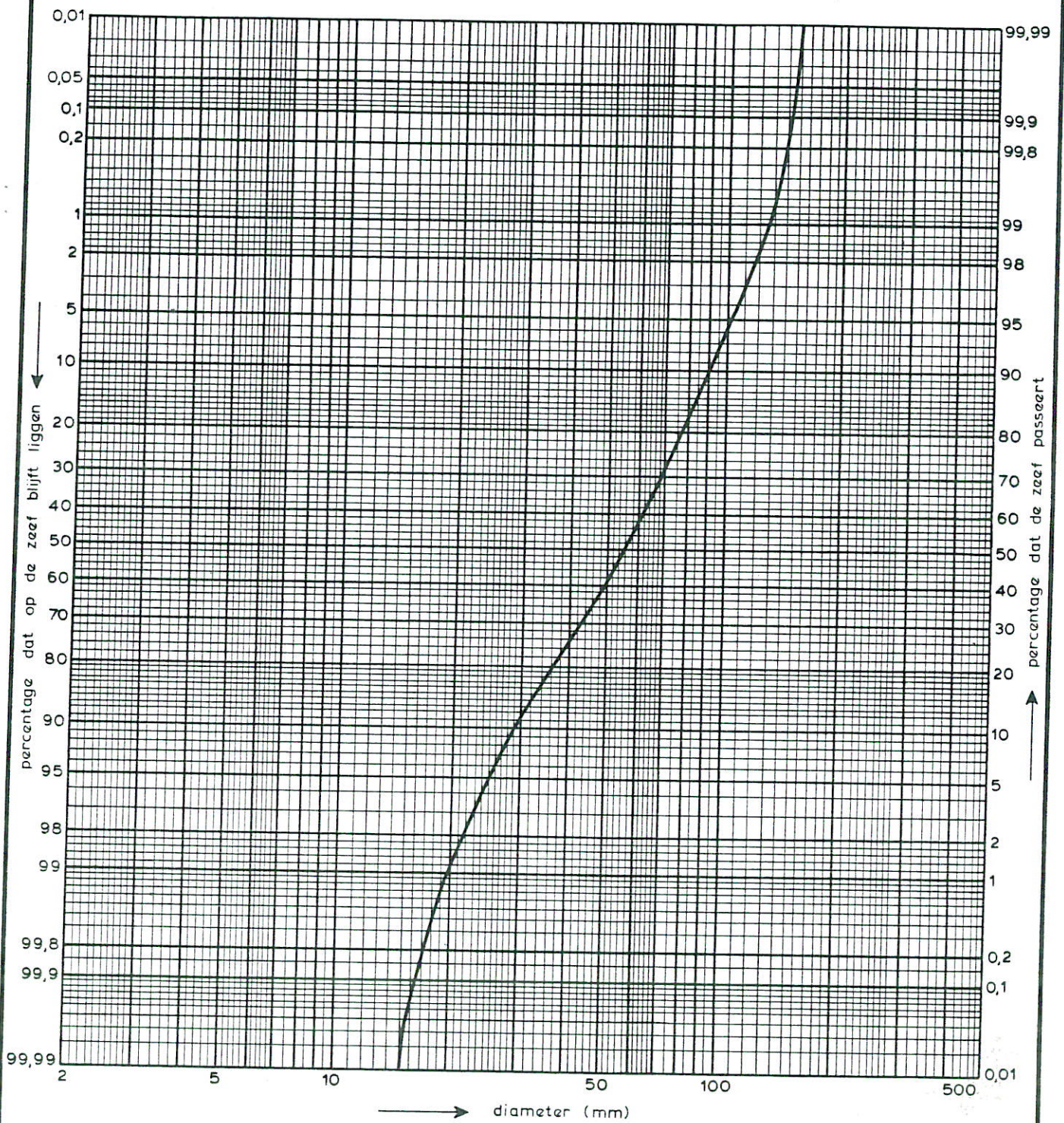
DEBIET DOOR DE BLOKKENDAM ALS FUNCTIE  
VAN HET VERVAL

T1... T12

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1243

FIG. 1



ZEEFKROMME GRIND 30/ALLES

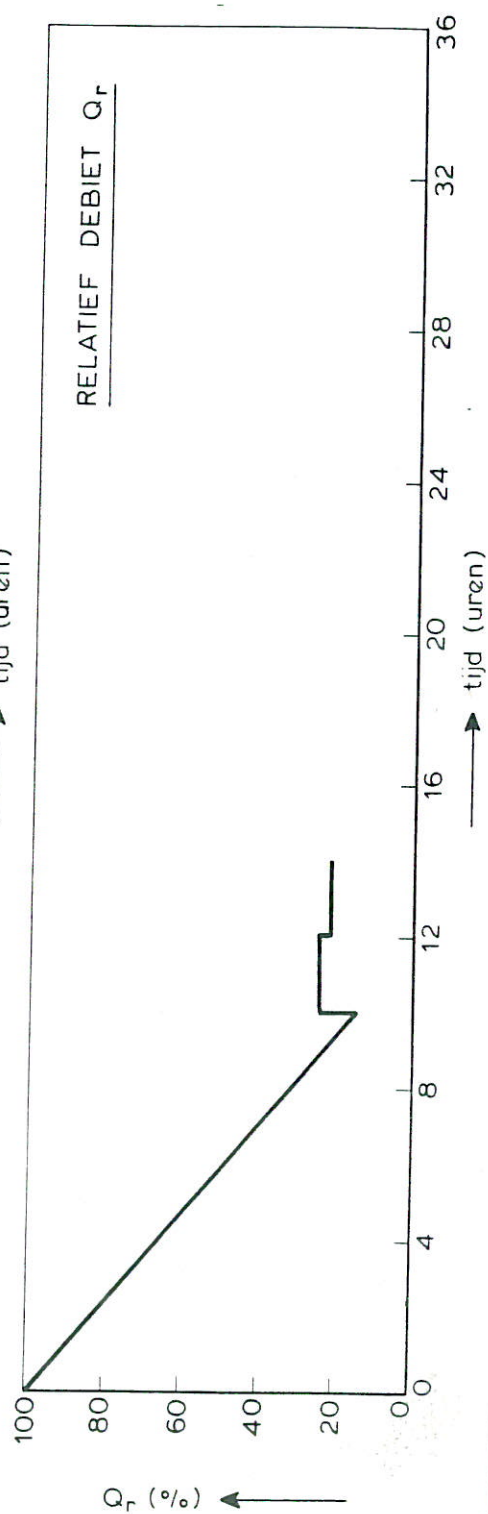
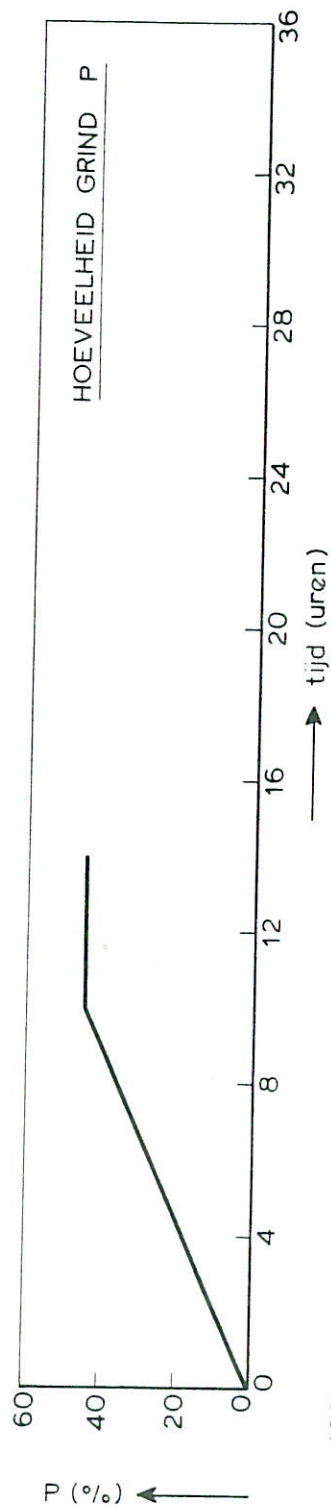
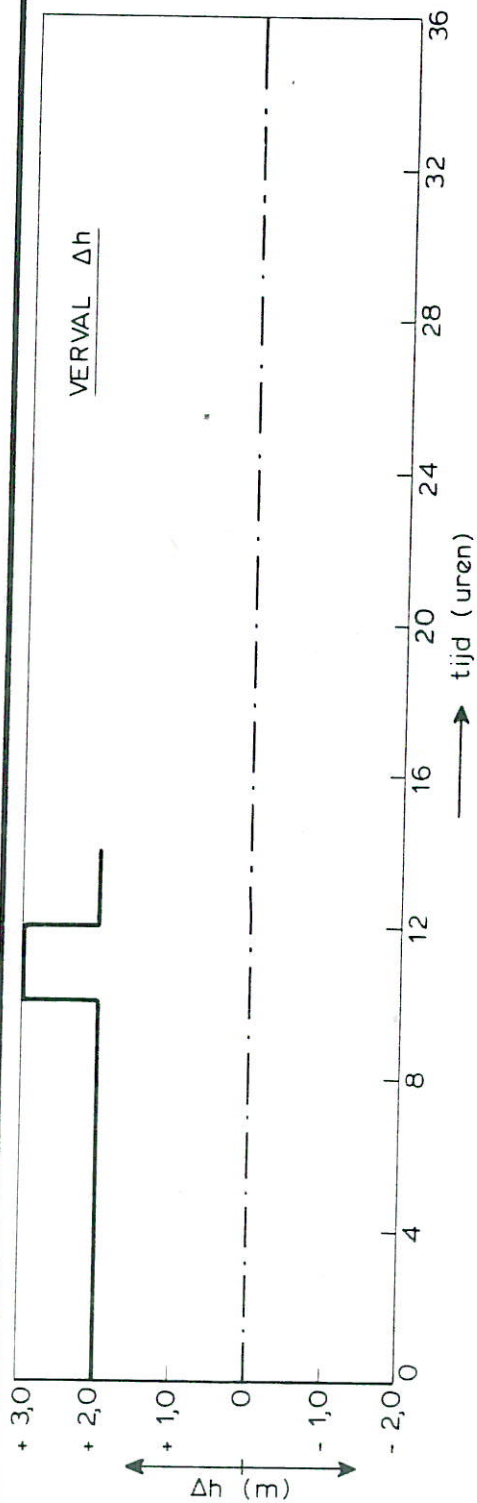
$\rho = 2650 \text{ kg/m}^3$

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1243

FIG. 2





VERLOOP VAN RELATIEF DEBIET EN VULLING  
VAN DE BLOKKENDAM  
DAMVOET N.A.P. - 20,0 m

T 1

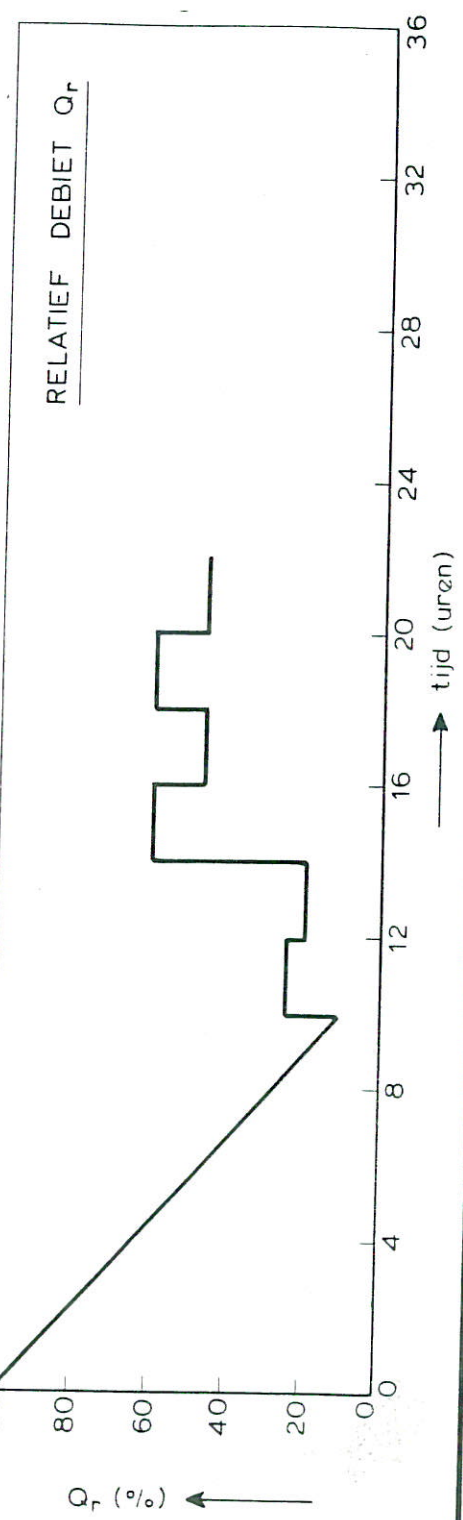
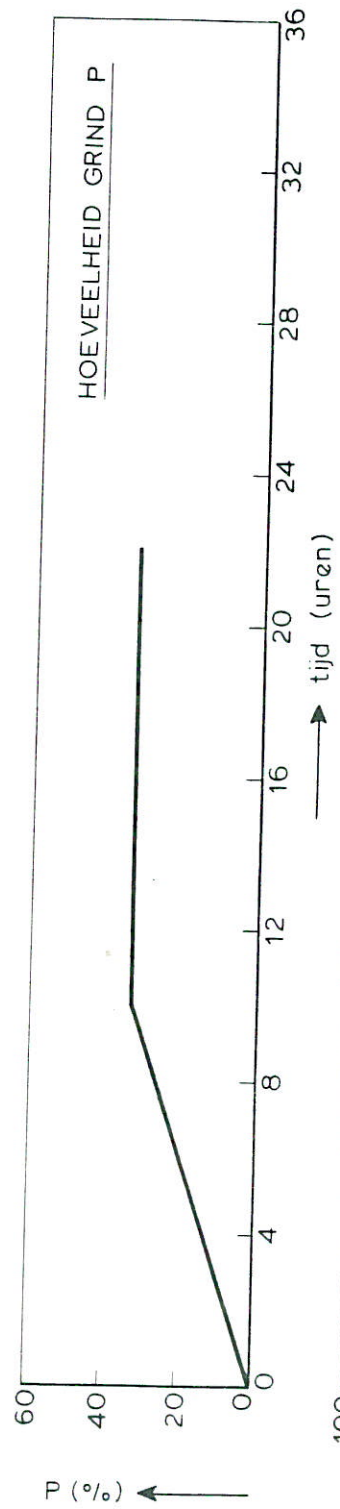
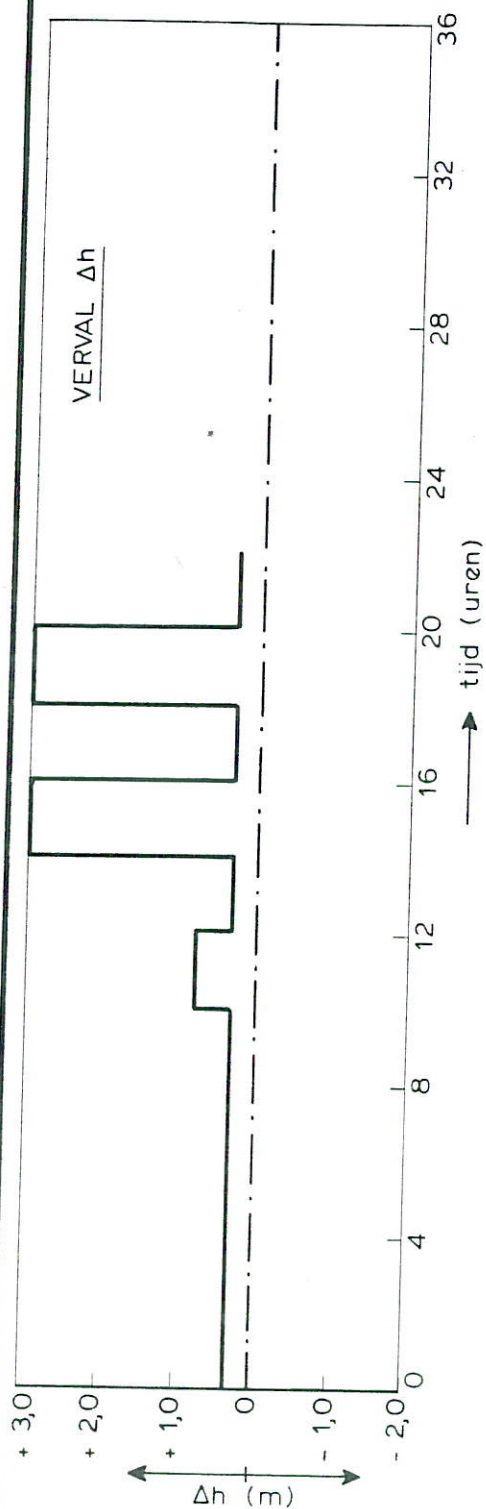
$\Delta h = +2,0$  m

GRIND 30/ALLES

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1243

FIG. 3



VERLOOP VAN RELATIEF DEBIET EN VULLING  
VAN DE BLOKKENDAM  
DAMVOET N.A.P. - 19,0 m

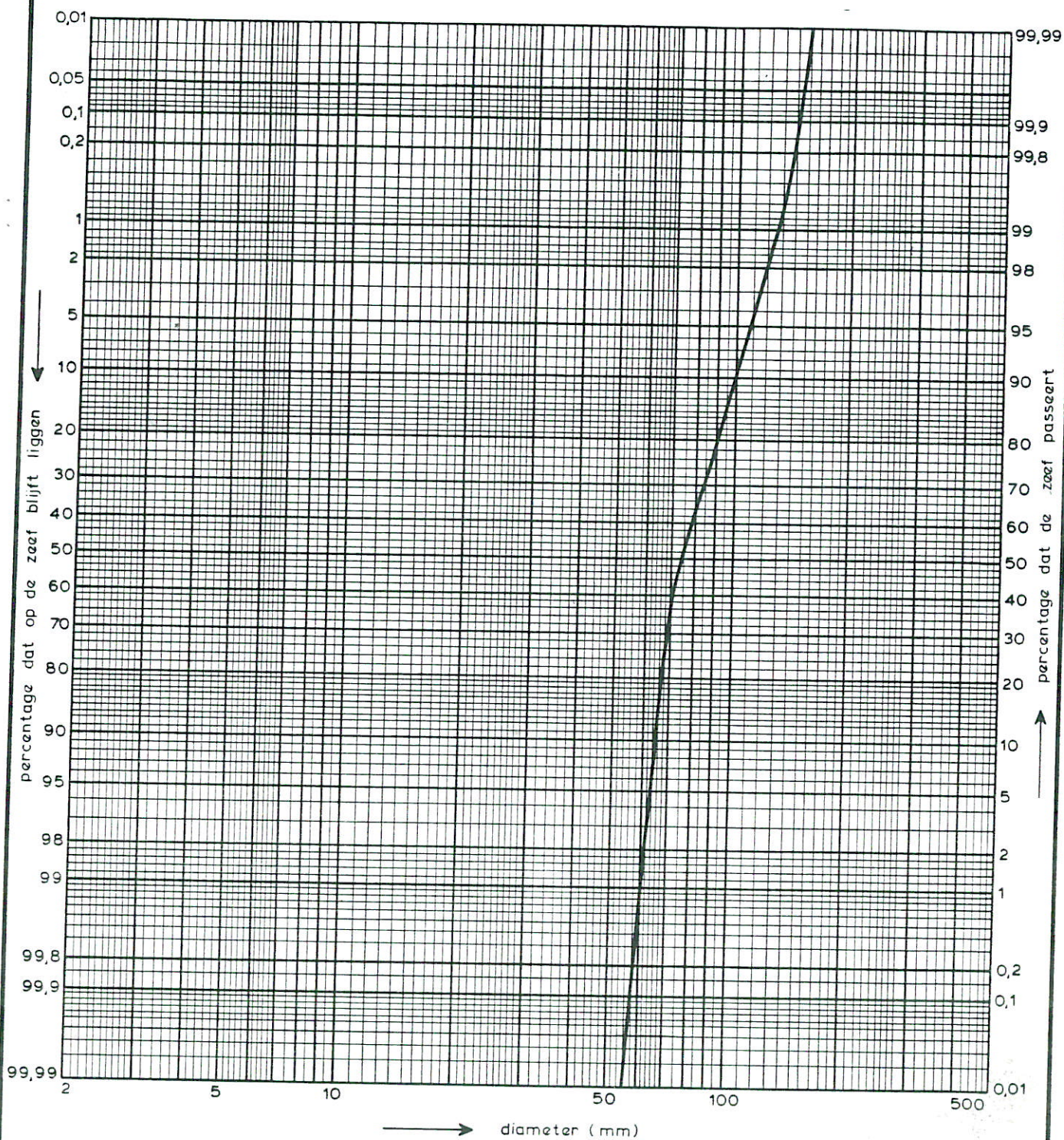
T 2      $\Delta h = +0,3m$

GRIND 30/ALLES

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1243

FIG. 4



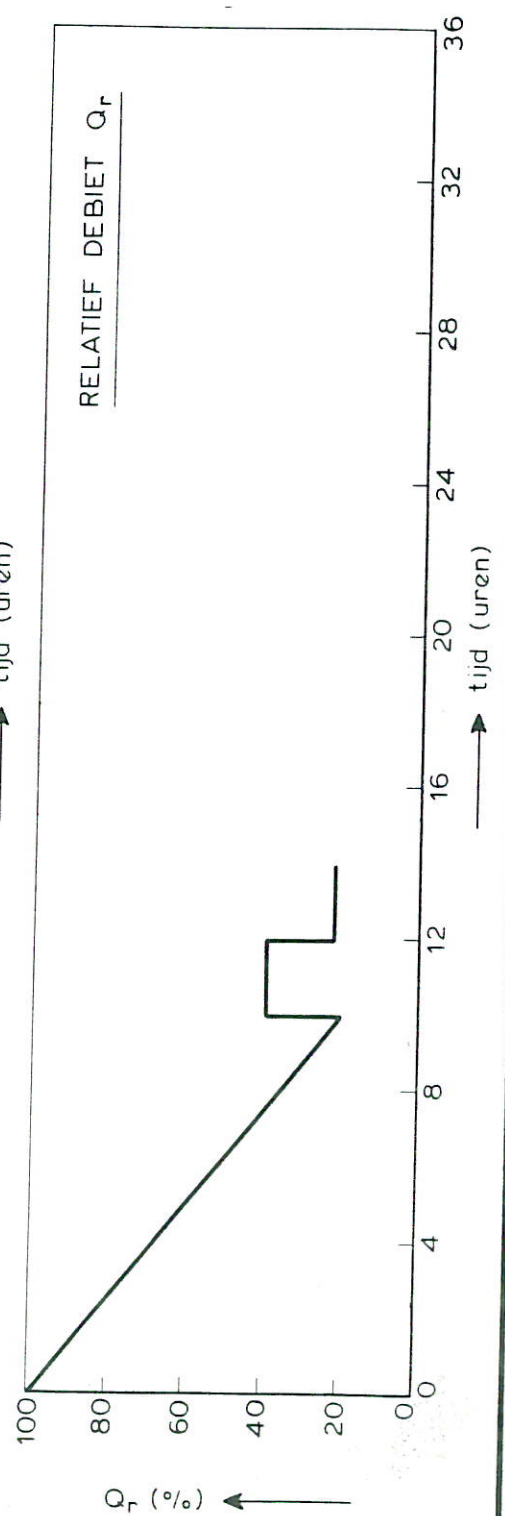
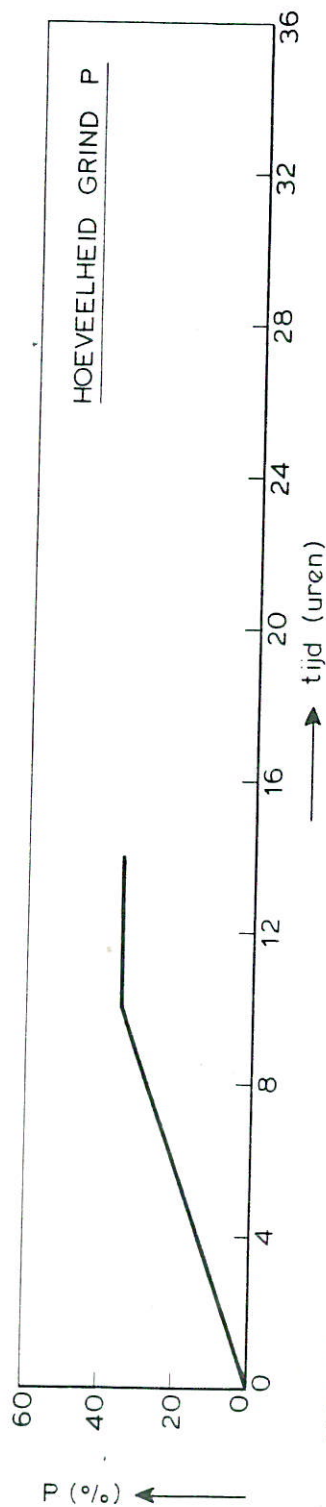
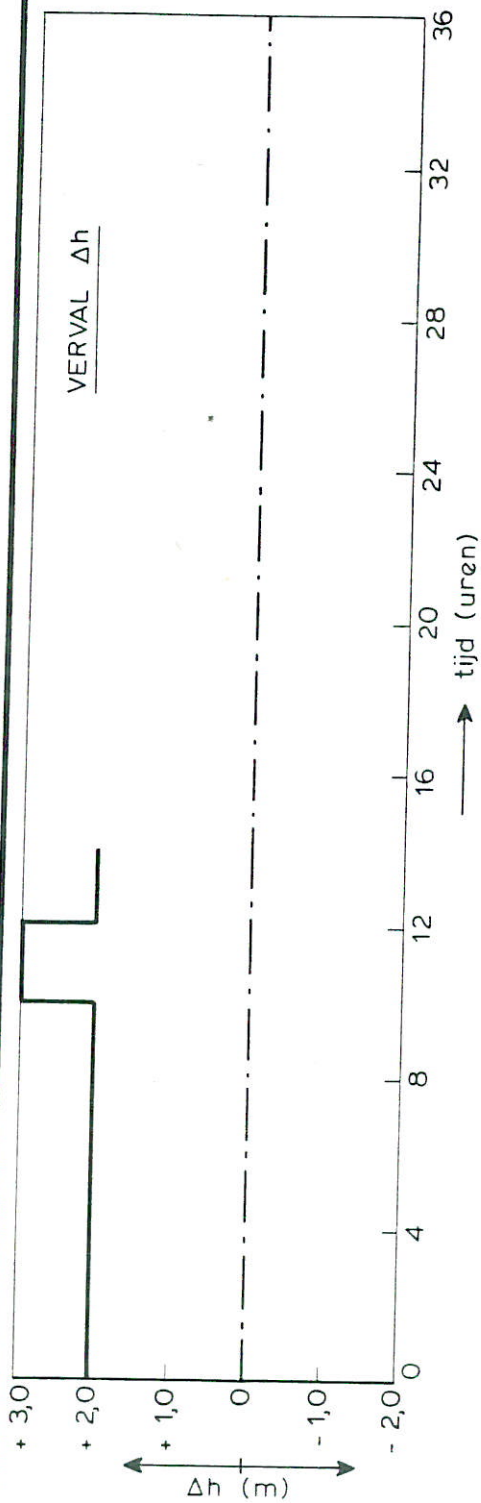
ZEEFKROMME GRIND 55/ALLES

$\rho = 2650 \text{ kg/m}^3$

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1243

FIG. 5



VERLOOP VAN RELATIEF DEBIET EN VULLING  
VAN DE BLOKKENDAM  
DAMVOET N.A.P. - 20,0 m

T 3

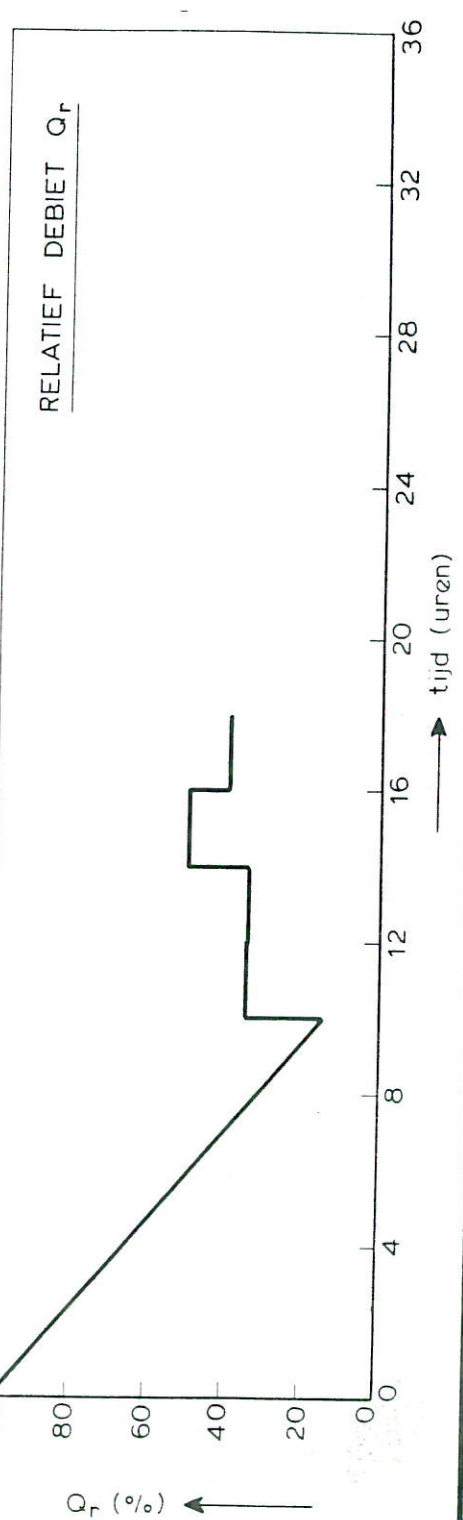
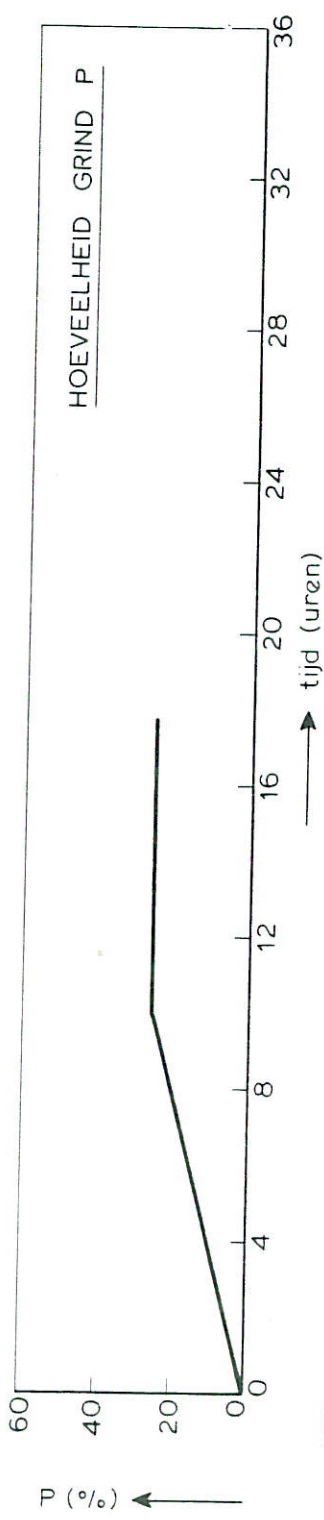
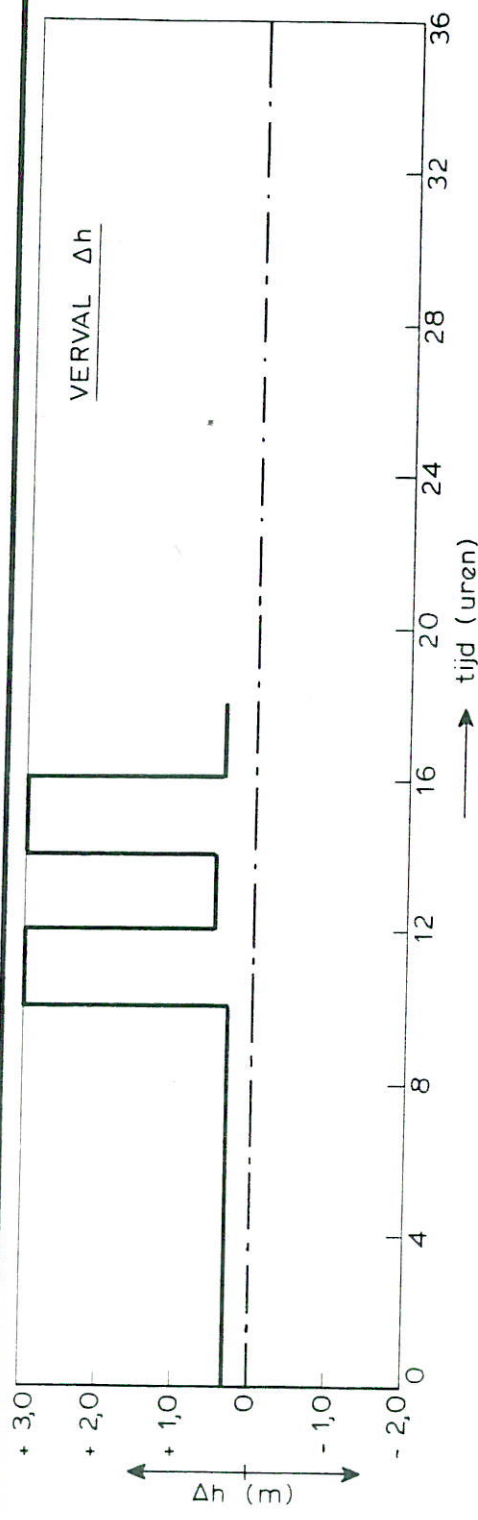
$\Delta h = + 2,0m$

GRIND 55/ALLES

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1243

FIG. 6



VERLOOP VAN RELATIEF DEBIET EN VULLING  
VAN DE BLOKKENDAM  
DAMVOET N.A.P. - 19,0 m

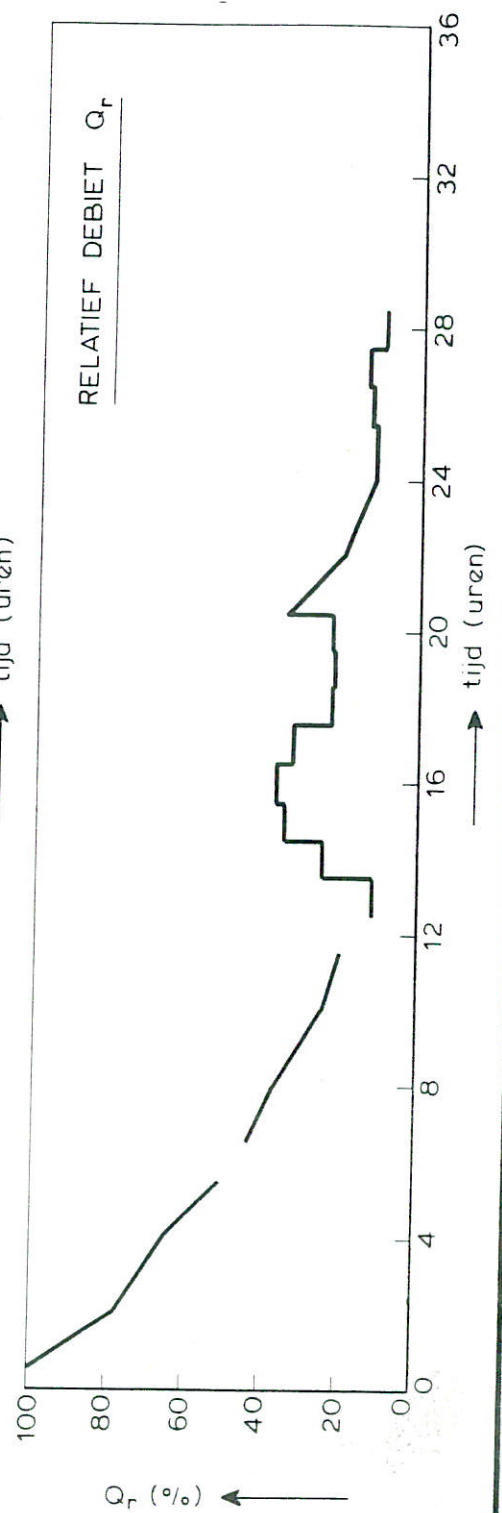
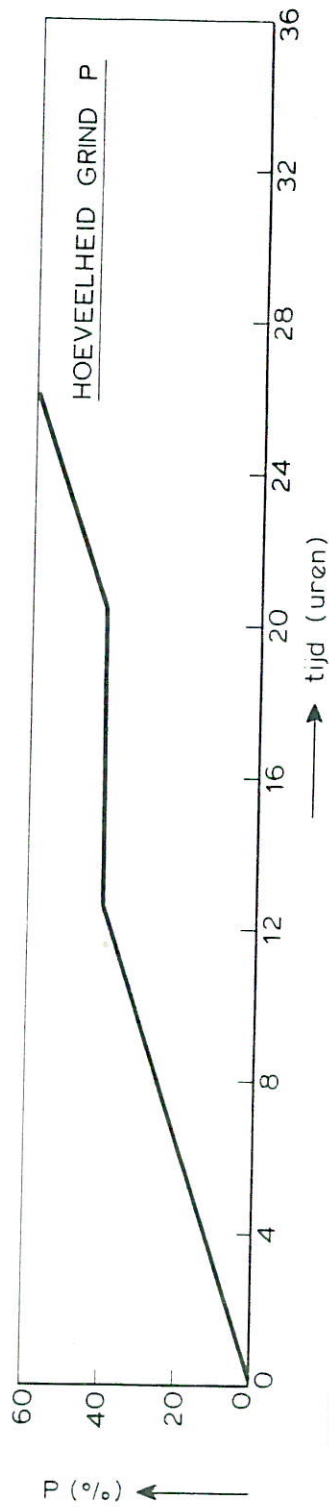
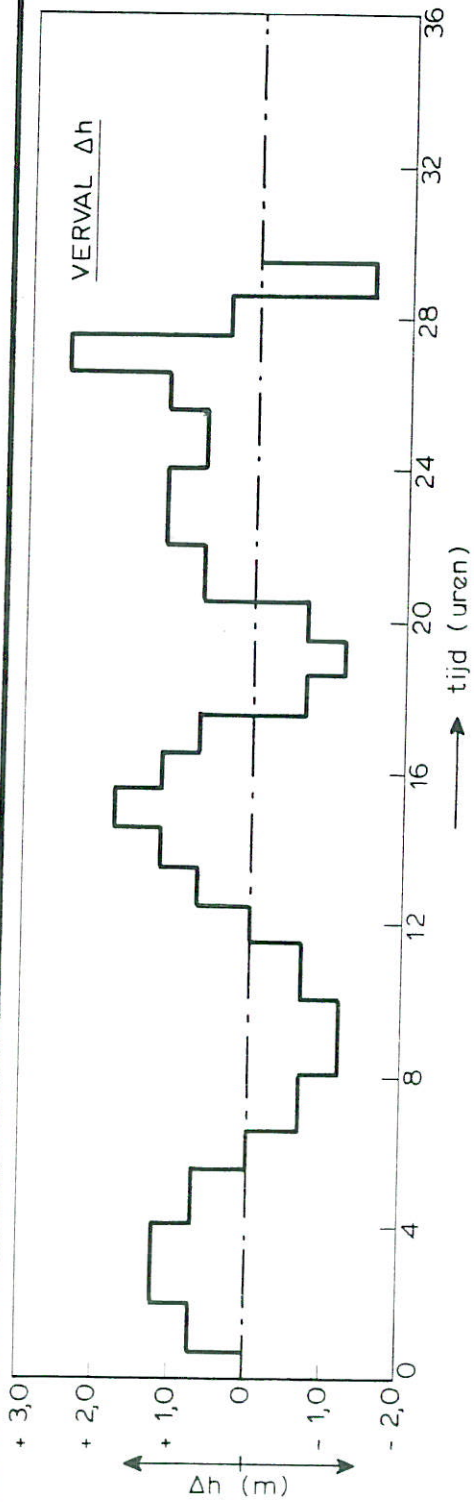
T 4       $\Delta h = +0,3$  m

GRIND 55/ALLES

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1243

FIG 7



VERLOOP VAN RELATIEF DEBIET EN VULLING  
VAN DE BLOKKENDAM  
DAMVOET N.A.P. - 20,0 m

T5

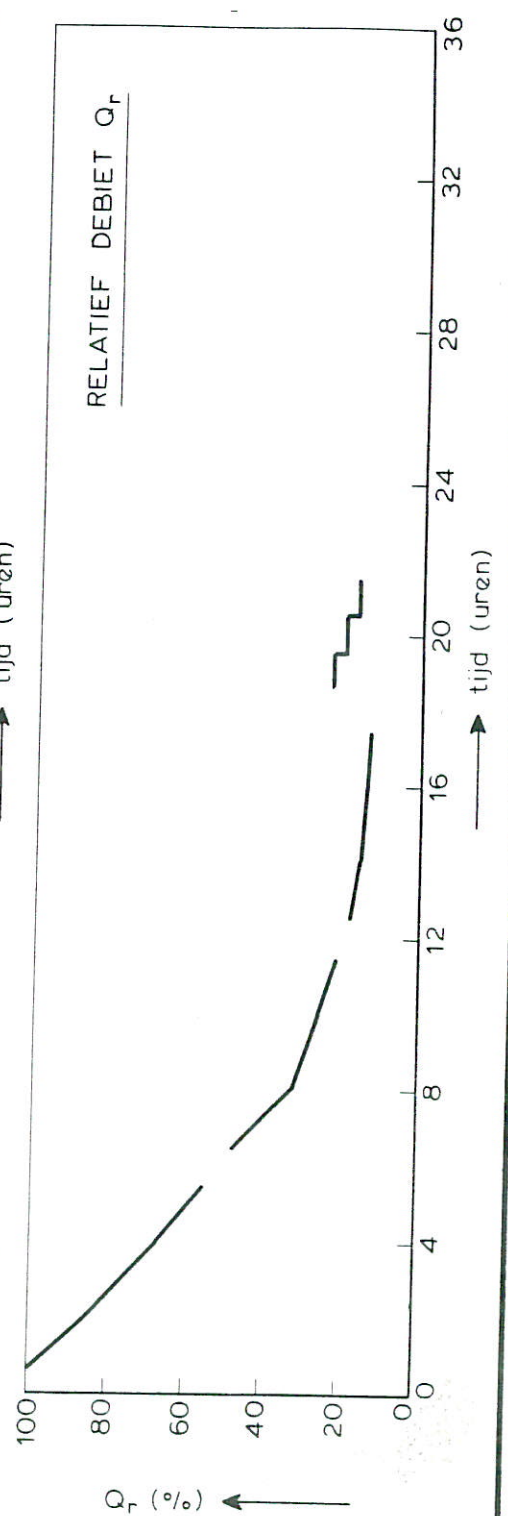
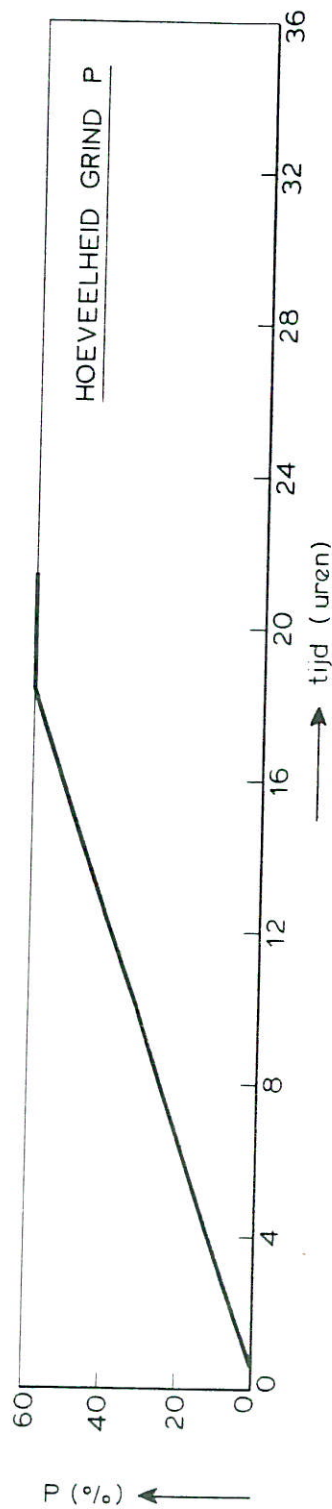
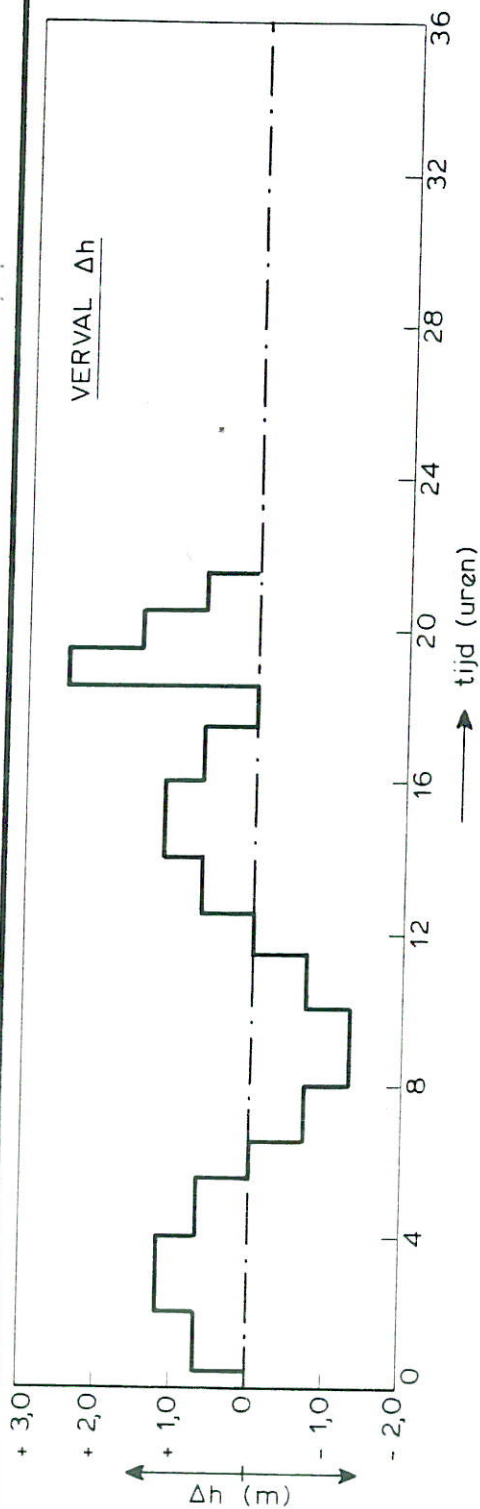
GETIJ

GRIND 55/ALLES

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1243

FIG. 8



VERLOOP VAN RELATIEF DEBIET EN VULLING  
VAN DE BLOKKENDAM  
DAMVOET N.A.P. - 20,0 m

T6

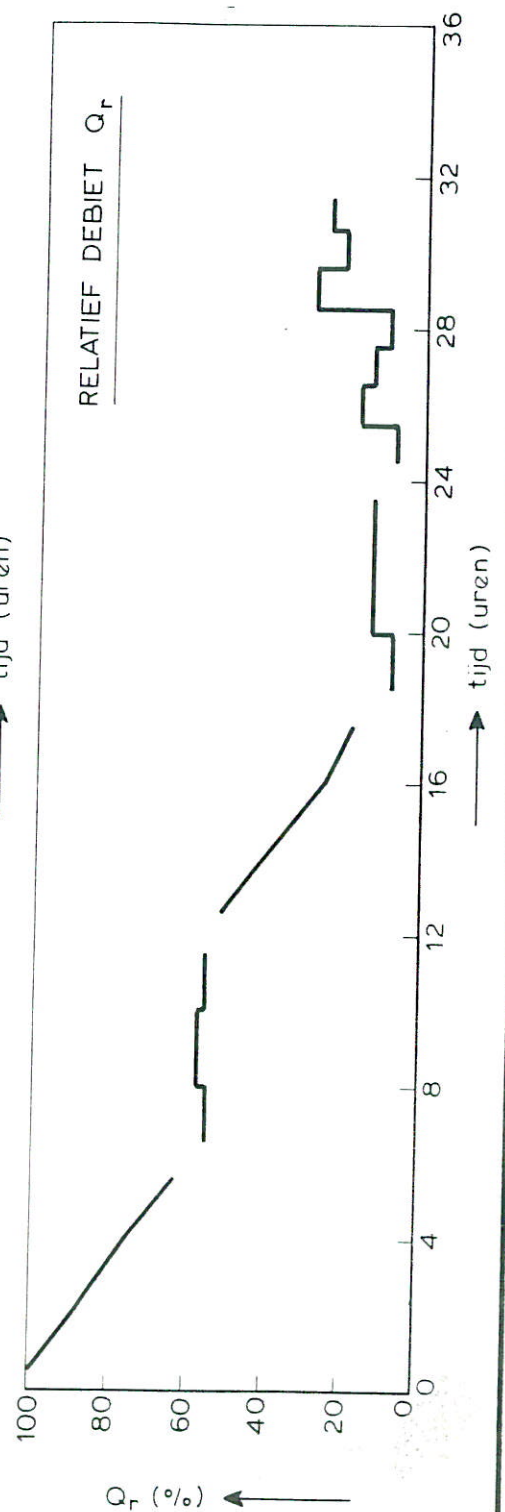
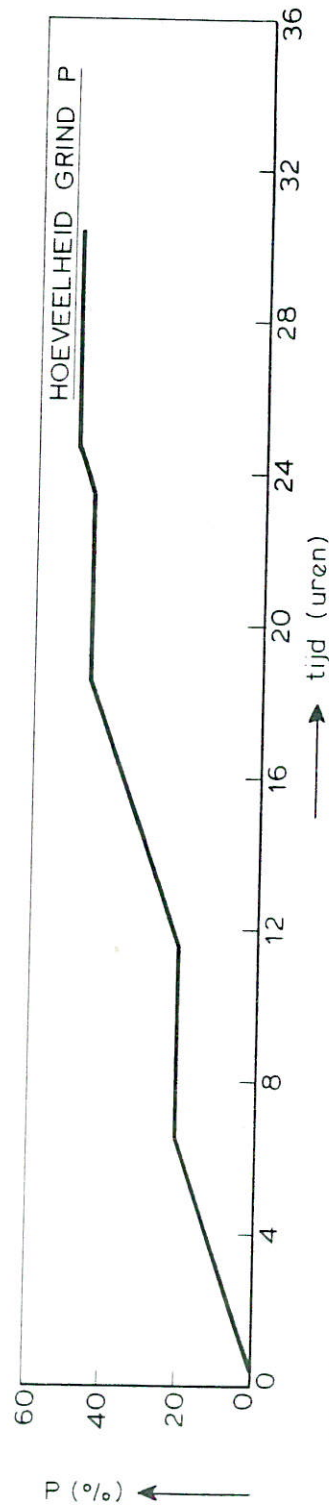
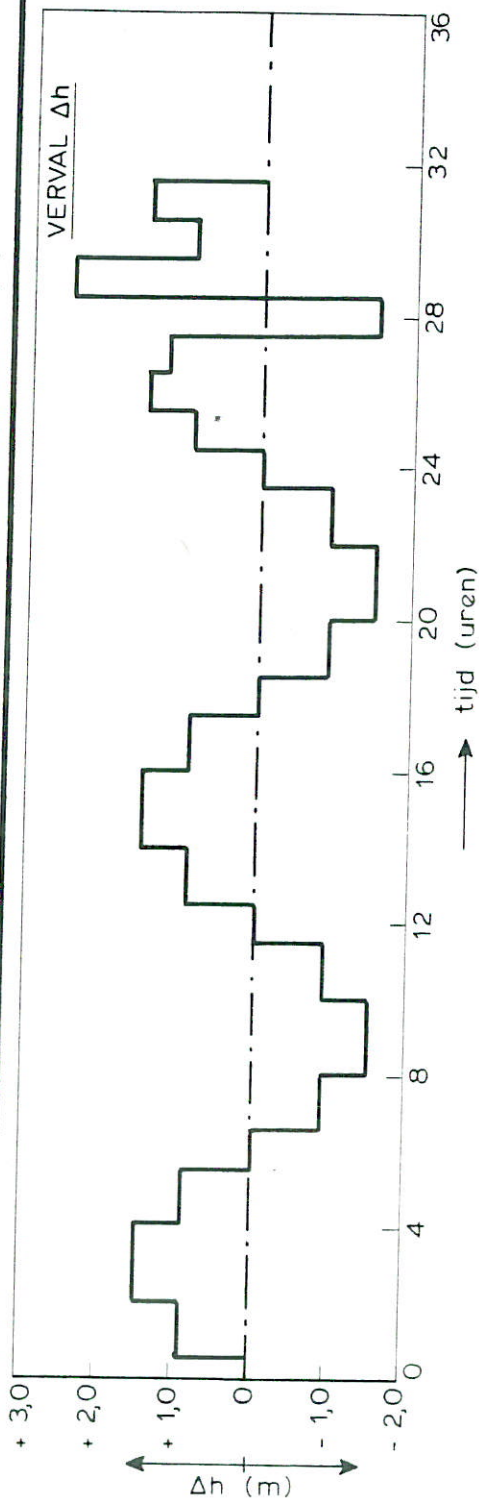
GETIJ

GRIND 30/ALLES

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1243

FIG. 9



VERLOOP VAN RELATIEF DEBIET EN VULLING  
VAN DE BLOKKENDAM  
DAMVOET N.A.P. - 20,0 m

T7

GETIJ

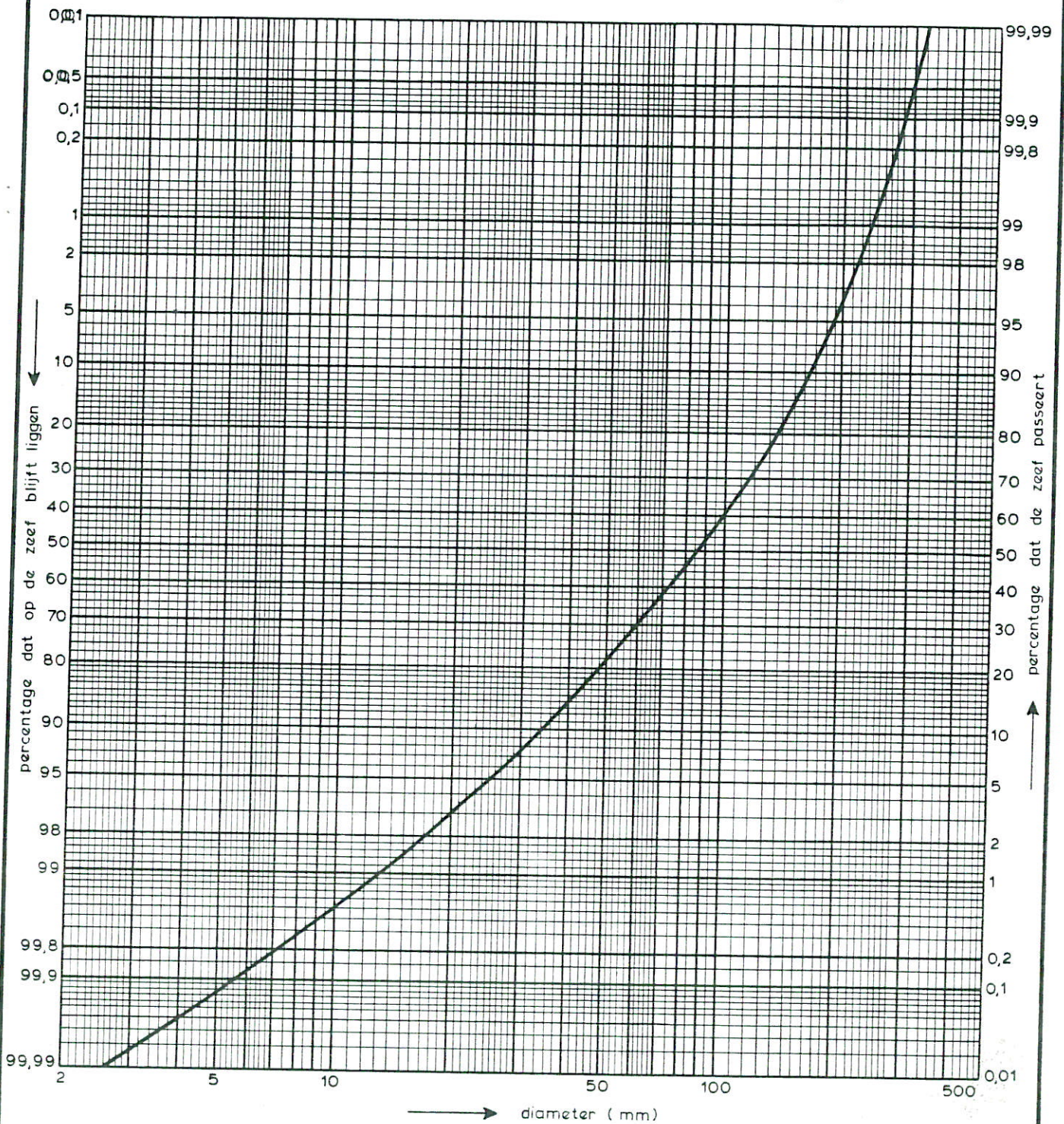
GRIND 30/ALLES

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1243

FIG. 10





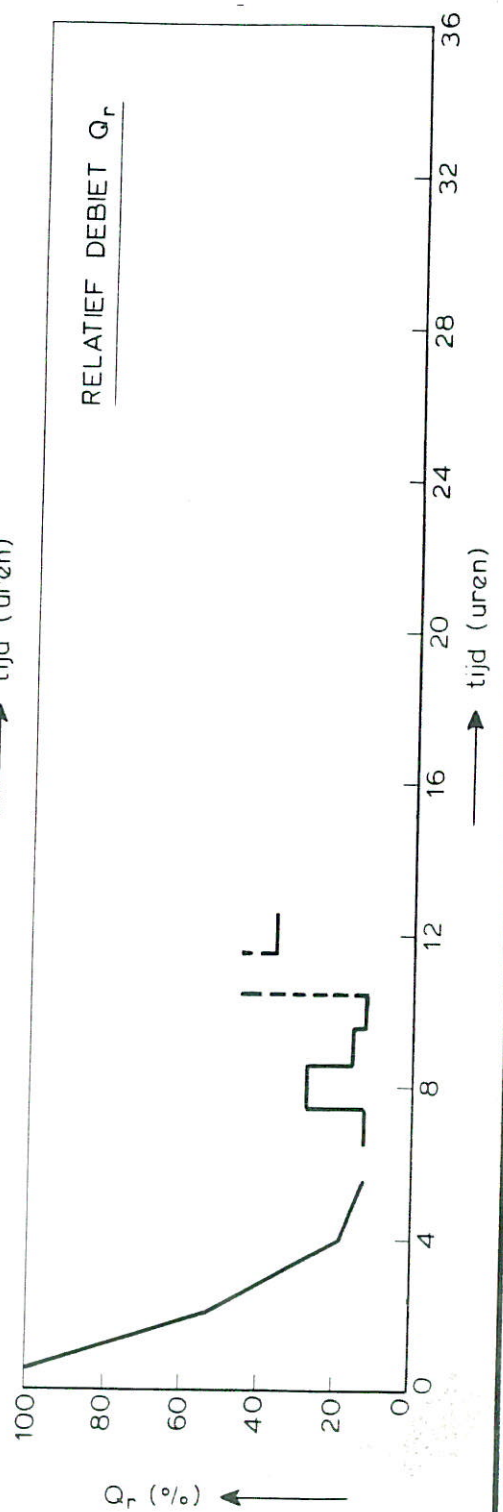
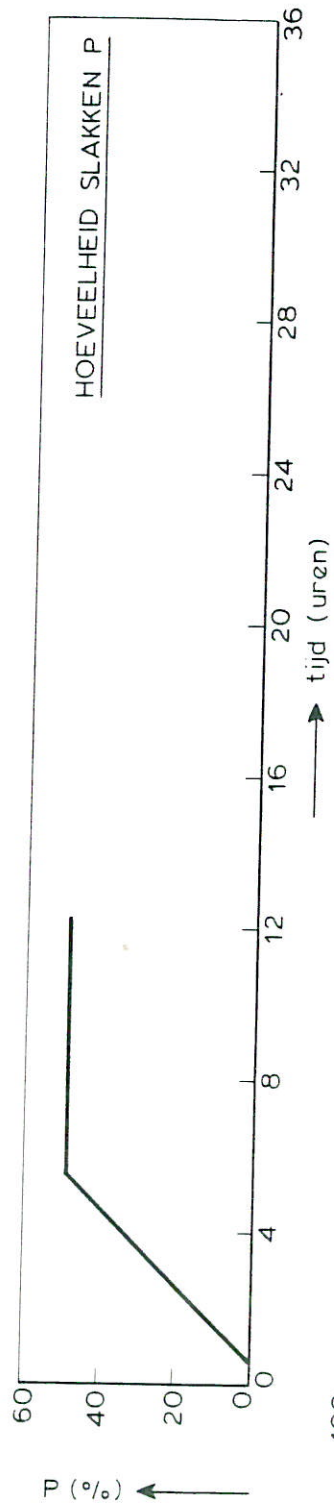
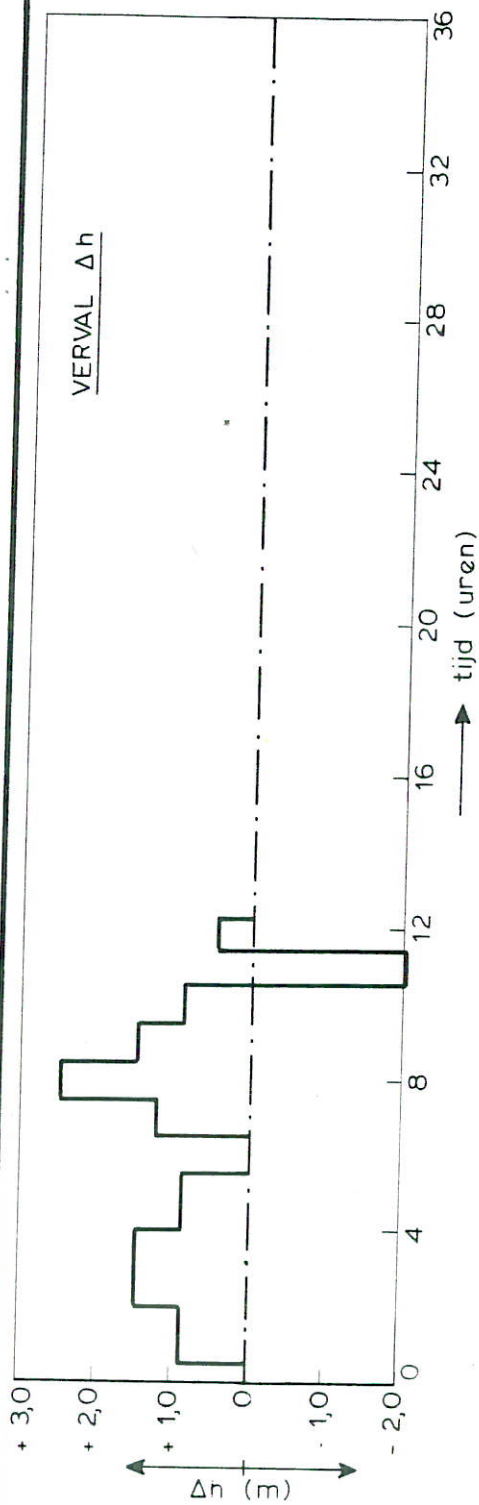
ZEEFKROMME FOSFORSLAKKEN TOUT-VENANT

$\rho = 2800 \text{ kg/m}^3$

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1243

FIG. 11



VERLOOP VAN RELATIEF DEBIET EN VULLING  
VAN DE BLOKKENDAM  
DAMVOET N.A.P. - 10,0 m

T 8

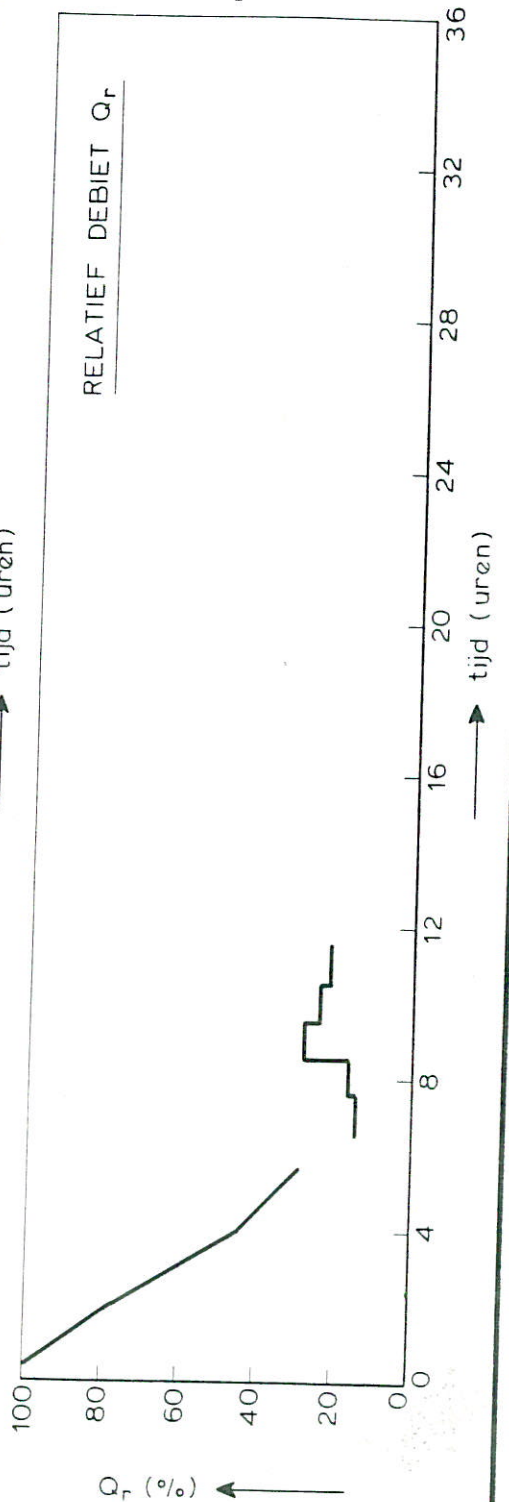
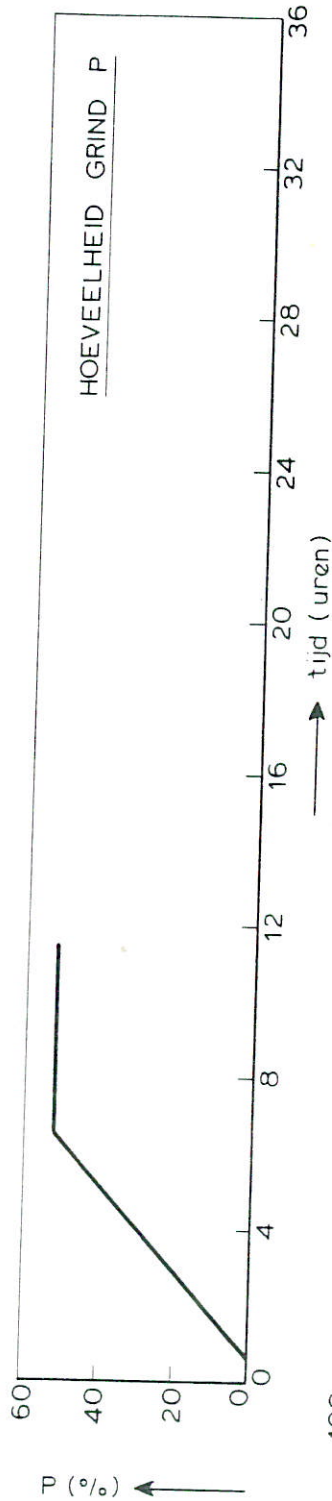
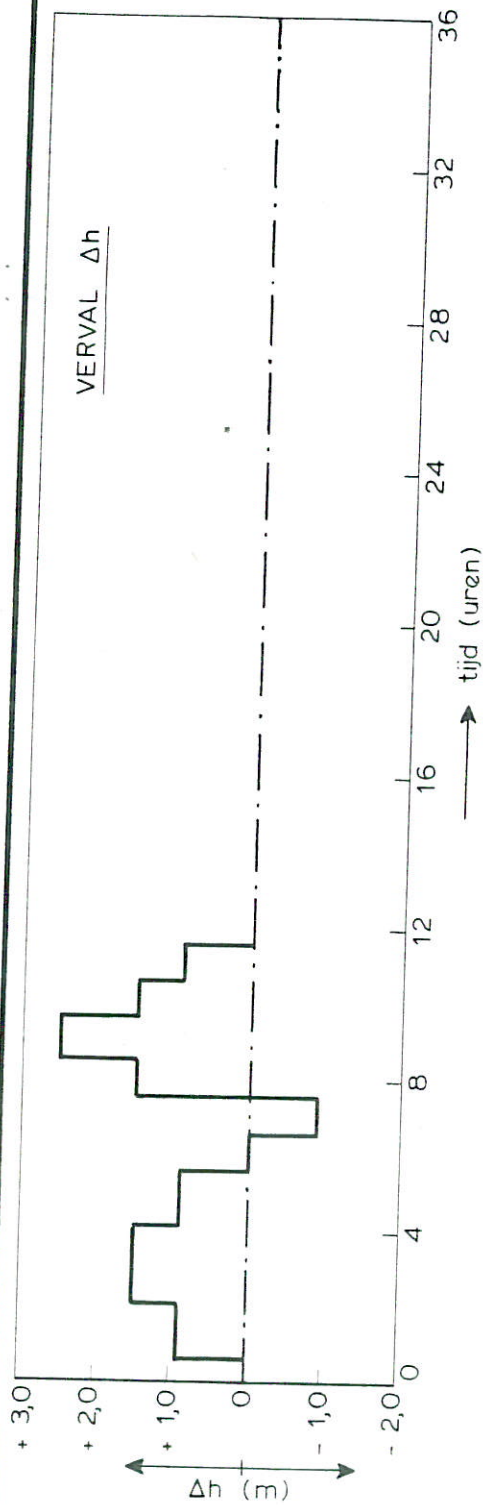
GETIJ

FOSFORSLAKKEN TOUT-  
VENANT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1243

FIG. 12



VERLOOP VAN RELATIEF DEBIET EN VULLING  
VAN DE BLOKKENDAM  
DAMVOET N.A.P. - 10,0 m

T9

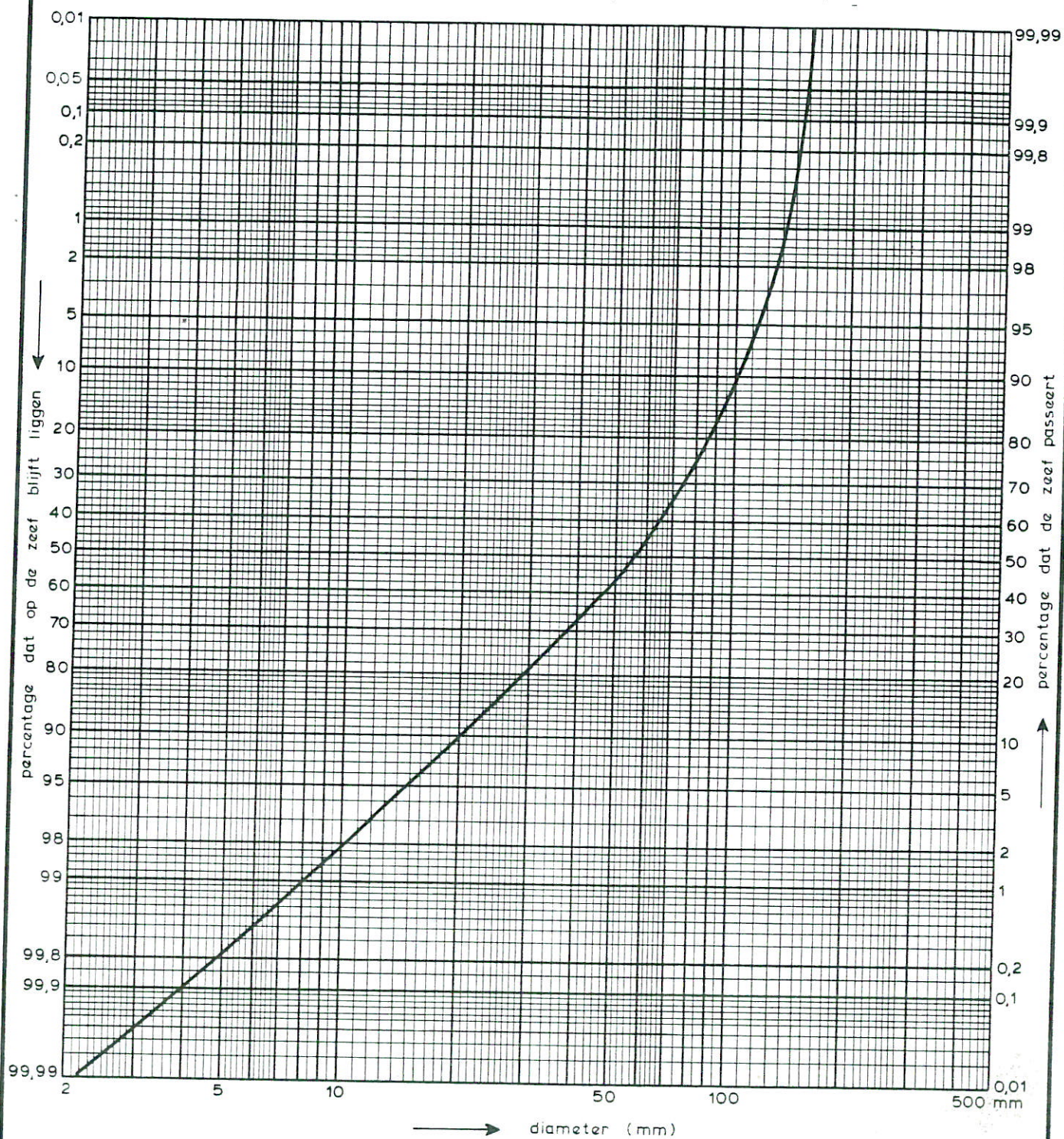
GETIJ

GRIND 30/ALLES

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1243

FIG. 13



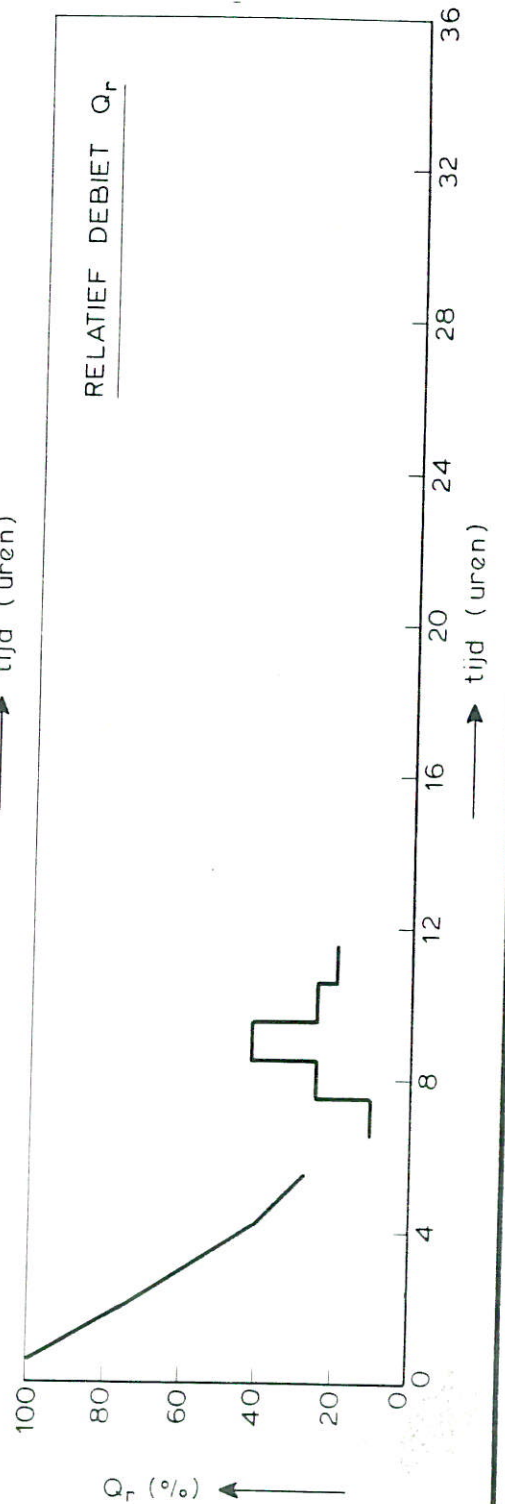
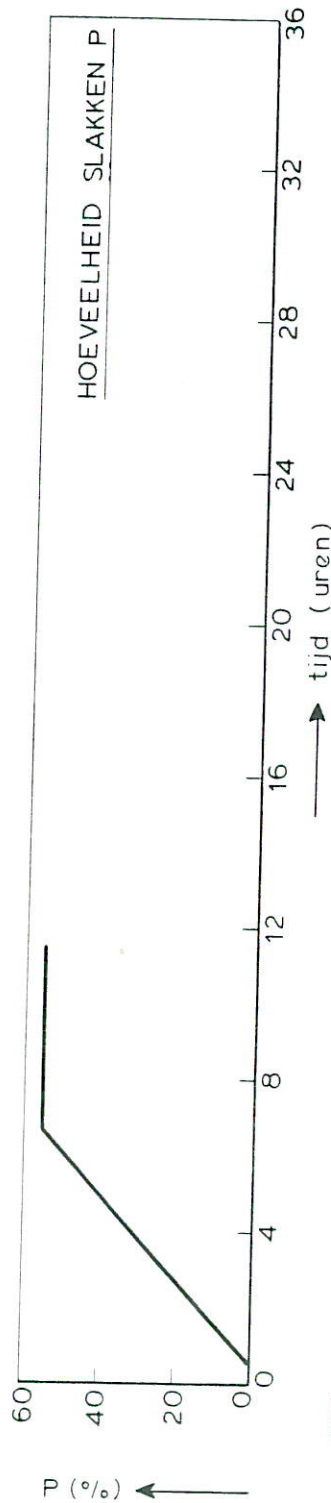
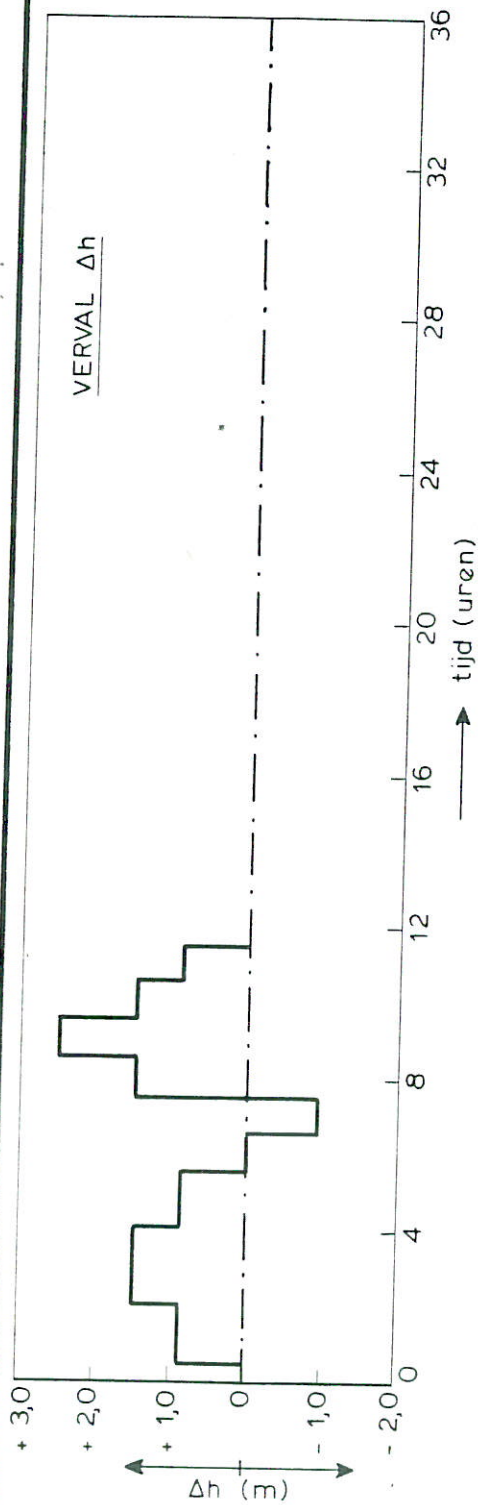
ZEEFKROMME FOSFORSLAKKEN 2,5 - 150

$\rho = 2800 \text{ kg/m}^3$

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1243

FIG. 14



VERLOOP VAN RELATIEF DEBIET EN VULLING  
VAN DE BLOKKENDAM  
DAMVOET N.A.P. - 10,0 m

T10

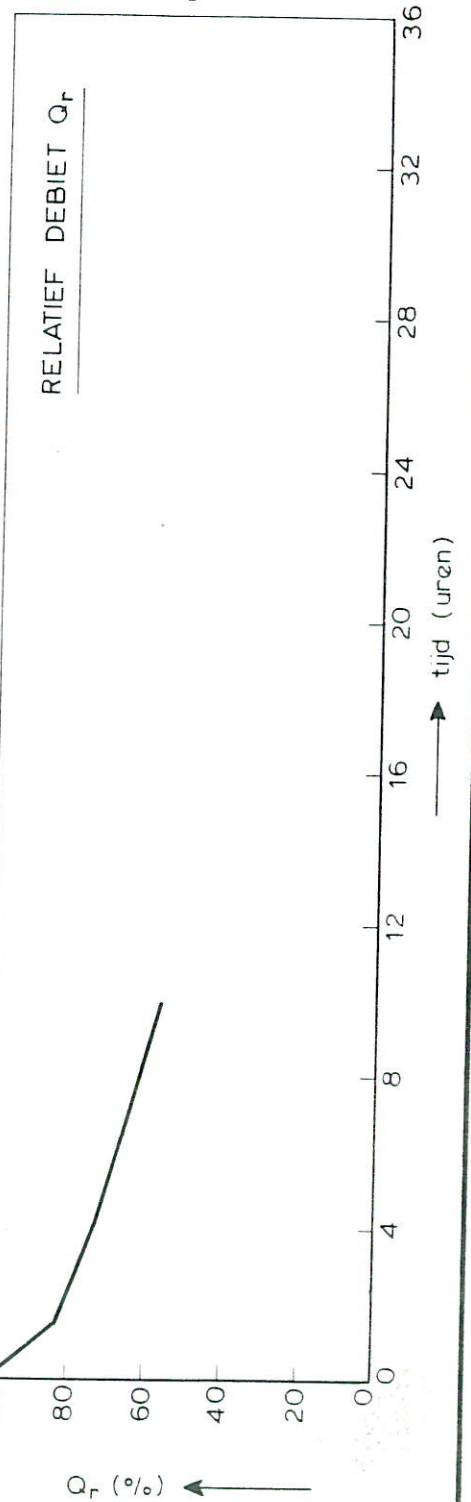
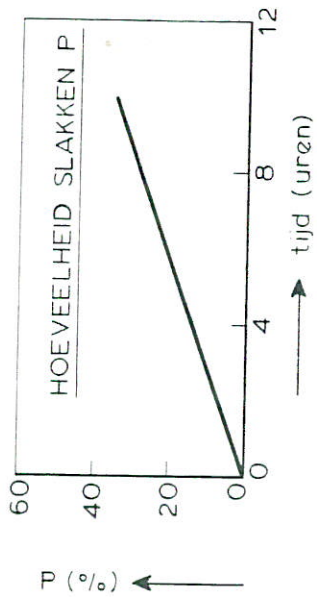
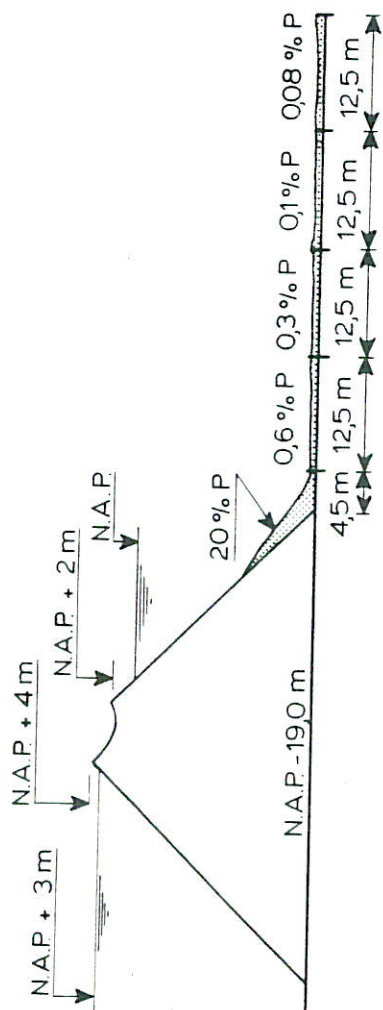
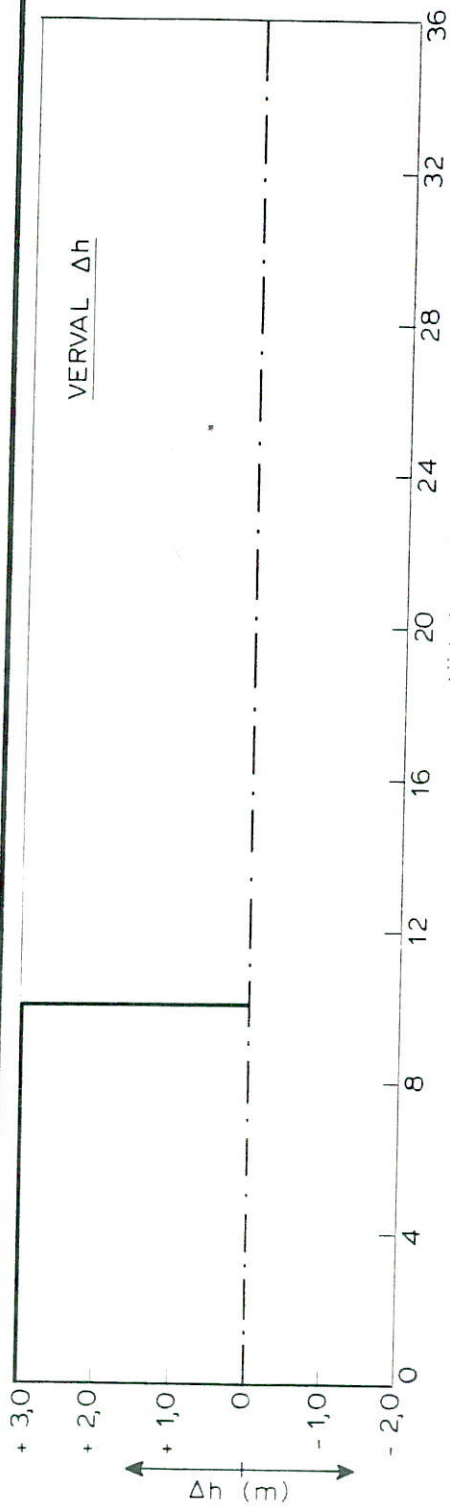
GETIJ

FOSFORSLAKKEN 2,5-150

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1243

FIG. 15



VERLOOP VAN RELATIEF DEBIET EN VULLING  
VAN DE BLOKKENDAM BIJ CONSTANT VERVAL  
DAMVOET N.A.P. - 19,0 m

T 11

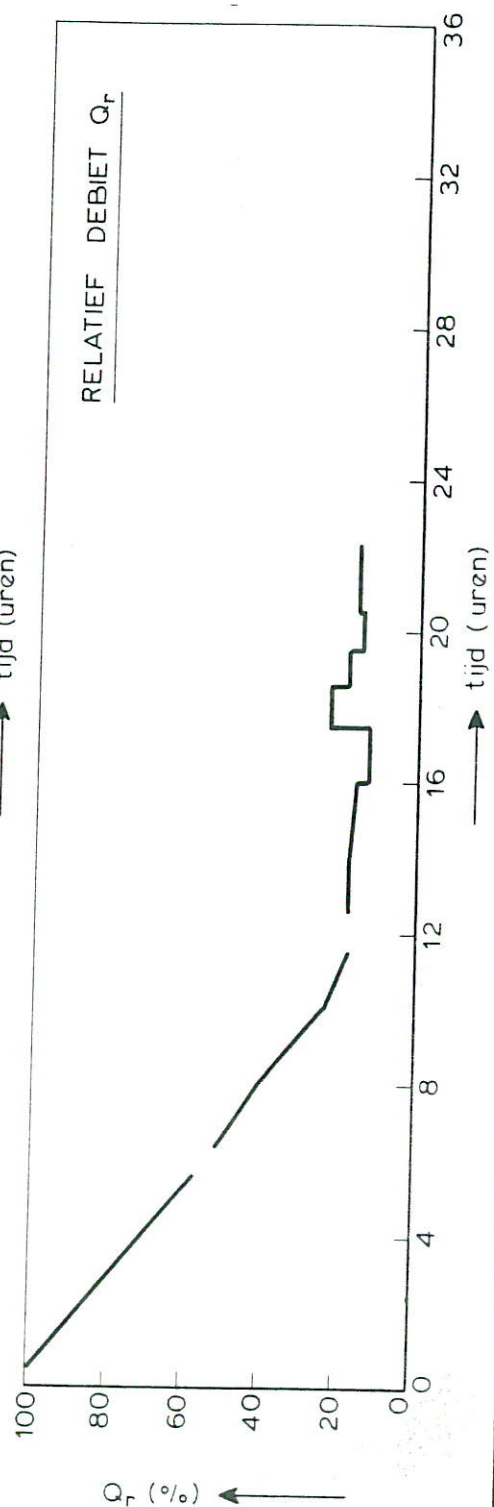
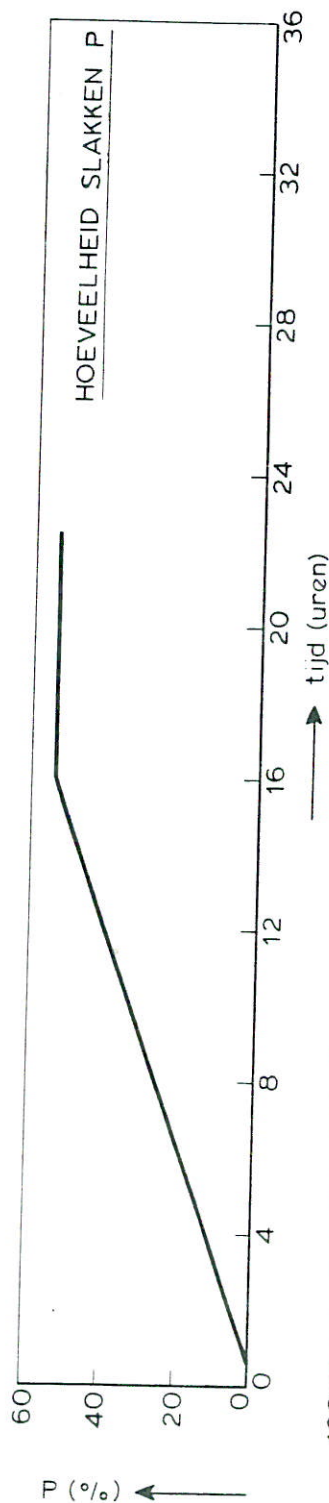
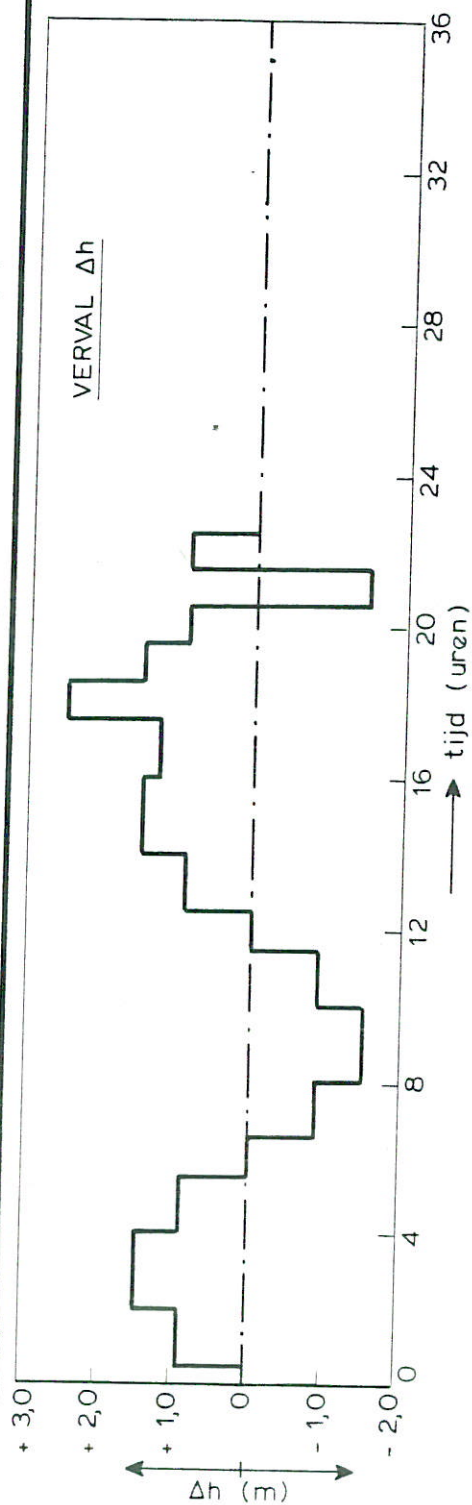
$\Delta h = +3,0m$

FOSFORSLAKKEN 2,5-150

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1243

FIG. 16



VERLOOP VAN RELATIEF DEBIET EN VULLING  
VAN DE BLOKKENDAM  
DAMVOET N.A.P. - 10,0 m

T 12

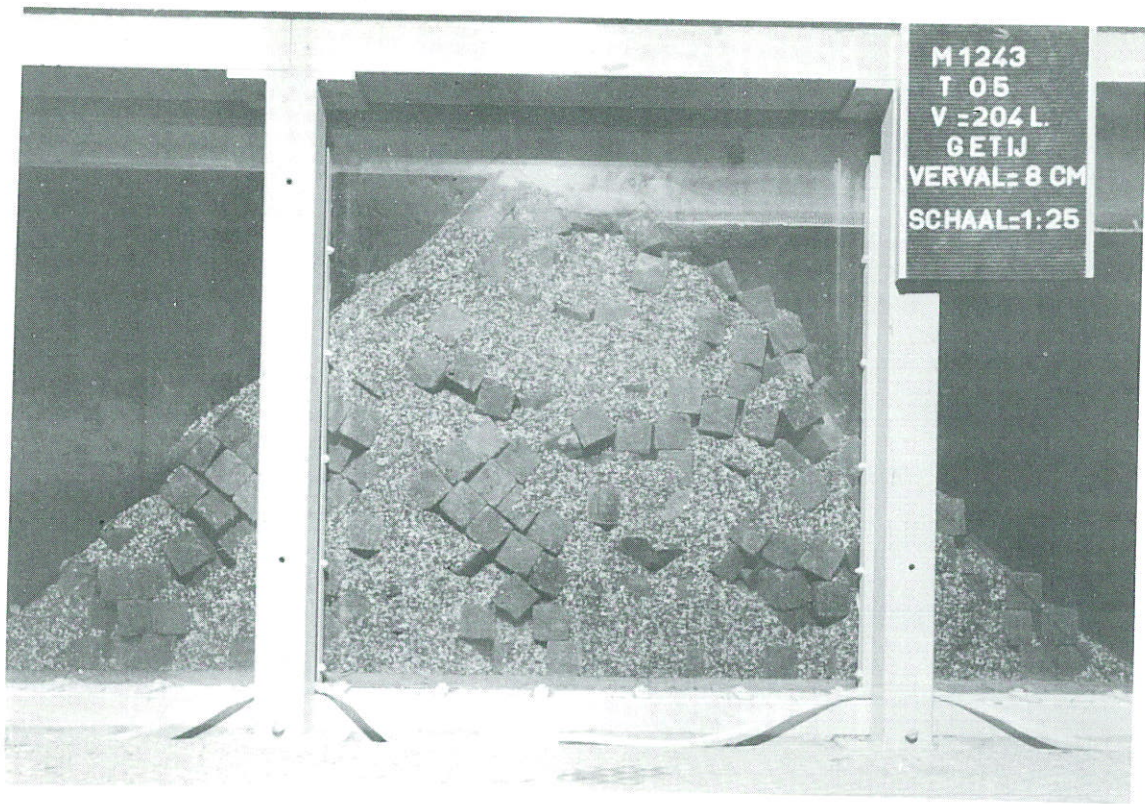
GETIJ

FOSFORSLAKKEN 2,5 - 150

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1243

FIG. 17

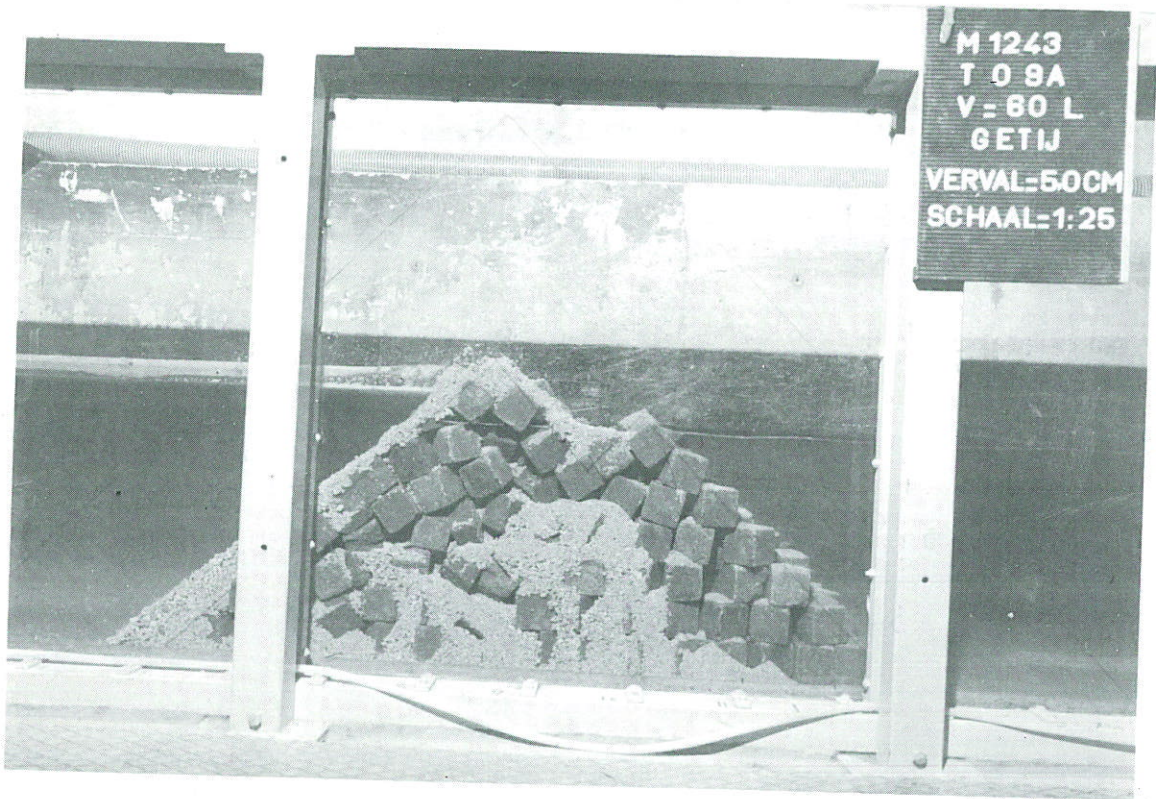


1. proef T5



2. proef T6





3. proef T9



4. proef T10

p.o. box 177

2600 mh delft

the netherlands