



waterloopkundig laboratorium  
delft hydraulics laboratory

stormvloedkering Oosterschelde

gat in asfaltmastiek bodemverdediging

AFGEHANDELD

verslag modelonderzoek

---

M 2097/Q 222

augustus 1986

---

stormvloedkering Oosterschelde

gat in asfaltmastiek bodemverdediging

verslag modelonderzoek

---

M 2097/Q 222

augustus 1986

## INHOUD

	blz.
1. <u>Inleiding</u> .....	1
1.1 Opdracht.....	1
1.2 Probleemstelling.....	1
1.3 Konklusies.....	3
2. <u>Schaalbeschouwing</u> .....	4
3. <u>Opzet van het onderzoek</u> .....	7
4. <u>Uitvoering van de proeven</u> .....	9
4.1 Aanbrengen van de asfaltmastiekmatten.....	9
4.2 Metingen.....	9
5. <u>Overzicht proeven en resultaten</u> .....	11
5.1 Fase 1.....	11
5.2 Fase 2.....	15
5.3 Fase 3.....	17

LITERATUUR

FIGUREN

## FIGUREN

- 1 T1...T4 Overzicht proefopstelling
- 2 T1 Snelheidsvertikalen
- 3 T2 Snelheidsvertikalen
- 4 T1 en T2 Stijghoogte matrand
- 5 T3 en T4 Verloop proef en stijghoogte matrand
- 6 T3 Snelheidsvertikalen
- 7 T4 Snelheidsvertikalen
- 8 Drukverloop aan de rand van een asfaltslab
- 9 Relatie stroomsnelheid en drukverschil bij verschillende aanstroomhoeken
- 10 T5,T6 en T7 Overzicht proefopstelling
- 11 T5,T6 en T7 Verloop proef
- 12 T5 Snelheidsvertikalen
- 13 T8,T9 en T10 Aangebracht gedeelte van de kering
- 14 T8,T9 en T10 Overzicht proefopstelling
- 15 T8 Verloop proef en eindsituatie
- 16 T9 Snelheidsvertikalen
- 17 T9 Verloop proef en eindsituatie
- 18 T10 Snelheidsvertikalen
- 19 T10 Verloop proef en eindsituatie
- 20 T11 Verloop proef en eindsituatie

STORMVLOEDKERING OOSTERSCHELDE  
GAT IN ASFALTMASTIEK-BODEMVERDEDIGING

1. Inleiding

1.1 Opdracht

In opdracht van de Hoofdafdeling Waterloopkunde van de Deltadienst van RWS is onderzoek verricht naar een faalmechanisme van de asfaltmastiek bodemverdediging van de Stormvloedkering in de Oosterschelde.

Het onderzochte faalmechanisme bestaat uit het tijdens een periode van weigerende schuif omhoog komen van de asfaltmastiek ten gevolge van de aanwezigheid van een gat in de asfaltmastiek.

Het onderzoek is in het voorjaar van 1985 uitgevoerd in de Tussenpadgoot in het Laboratorium de Voorst. De voor het onderzoek benodigde asfaltmastiek werd geleverd door de firma Bitumarin BV, die ook assistentie heeft verleend bij het aanbrengen van de dunne matten in de Tussenpadgoot. Voorts heeft Bitumarin een onderzoek gedaan naar de visco-elastische materiaaleigenschappen. Dit onderzoek is vastgelegd in een apart verslag d.d. april 1985 [1].

Het onderzoek in de Tussenpadgoot werd geleid door de heer L. Tulp en ir. T. van der Meulen, welke laatste tevens het verslag van het onderzoek heeft verzorgd.

1.2 Probleemstelling

Een gedeelte van de bodemverdediging van de stormvloedkering bestaat uit een asfaltmastieklaag, die is samengesteld uit elkaar overlappende stroken met een breedte van 5 m en een dikte van 0,08 m. De overlappingen zijn zodanig uitgevoerd dat een asfaltmastieklaag ontstaat van gemiddeld 3 à 4 maal de dikte van de individuele stroken. Door deze werkwijze is het niet geheel uitgesloten dat er een aantal gaten in de asfaltmastieklaag aanwezig zijn.

Bij een gat in de laag treden door de overtrekkende stroom verschillen in piëzometrische niveau onder en boven de gatrand op, die als ze groot genoeg zijn vervormingen van de gatrand bewerkstelligen. Door de vervormingen nemen de drukverschillen toe, waardoor de mat over grote delen kan worden opgelicht

als de opwaartsgerichte drukkracht het eigen gewicht van de mat overschrijdt. Dit faalmechanisme is beschreven in de stand van zaken nota Ontwerp Bodembescherming 2 PROBU-N-82068.

Oriënterende berekeningen geven aan dat het proces zich explosief kan ontwikkelen. Nader onderzoek naar dit faalmechanisme is derhalve noodzakelijk.

De van belang zijnde gaten zullen beperkt van afmetingen zijn. Enerzijds wordt dit veroorzaakt doordat de kans van optreden van een klein gat ( $1 \times 1 \text{ m}^2$ ) aanzienlijk groter is dan de kans van optreden van een groter gat ( $1 \times 2,7 \text{ m}^2$ ). Anderzijds zijn kleinere gaten niet te detecteren en grotere juist wel.

Indien het bedoelde faalmechanisme optreedt bij een klein gat, dat in feite niet te detecteren is, dient voor de gehele asfaltmastiek bodemverdediging een maatregel getroffen te worden bijvoorbeeld in de vorm van een bestorting. Indien het faalmechanisme alleen optreedt bij grotere, wel te detecteren gaten kan volstaan worden met het alleen nemen van maatregelen ter plaatse van het gat.

Een belangrijk element bij het onderzoek is de vervorming van de gatrand, die bepaald zal worden door de materiaaleigenschappen van de asfaltmastiek, zoals gewicht en stijfheid en de optredende drukverschillen ten gevolge van de overtrekkende stroom en de aanwezige geometrie in de omgeving van het gat. Daarnaast speelt ook de expositie-duur een rol (weigerende schuifsituatie).

Uit een nadere beschouwing van het visco-elastische gedrag van asfaltmastiek blijkt dat ook, indien de stijfheid van de mat een rol speelt, onderzoek op schaal mogelijk is. Door het viskeuze karakter van de asfaltmastiek neemt de stijfheidsmodulus  $S$  af met de expositie-tijd volgens  $S \propto t^{-1}$ .

Om nu een overeenkomstige vervorming te verkrijgen bij de volgens de schaalregel van Froude verkleinde krachten dient de expositie-tijd van de belastingen verlengd te worden. Schaalbeschouwingen geven een tijdschaal  $n_t = n_\ell^{-1}$  aan voor een overigens gelijk asfaltmastiëkmengsel in prototype en model. Indien de stijfheid een belangrijke rol speelt, zal bij onderzoek in een model op lengte schaal  $n_\ell = 30$  derhalve een 30 x langere expositie-tijd nodig zijn dan in het prototype.

### 1.3 Konklusies

1. Als bij een matrand de door de stroom uitgeoefende kracht groter is dan het eigengewicht treedt in korte tijd een (geringe) vervorming van de matrand op. Door de vervorming neemt de aanstroomkracht toe, waardoor de vervorming in een sneller tempo plaatsvindt. Bij dit proces speelt de stijfheid van de asfaltmastiek een minder belangrijke rol dan aanvankelijk werd aangenomen.
2. Bij het op verschillende schaal in de Tussenpadgoot reproduceren van een proef uit het onderzoek in de stroomgoot te Lith kon geen tijdschaal worden vastgesteld, zoals afgeleid kon worden uit de in hoofdstuk 2 gegeven schaalbeschouwing. Overeenkomstige vervormingen treden in een gelijke tot kortere expositie-tijd op.
3. Bij een uniforme stroming in de Tussenpadgoot treedt bij ronde gaten met een diameter van 1,0 en 1,5 m geen vervorming van de gatrand op tot stroomsnelheden van 6,5 à 7,5 m/s als de mat wordt aangebracht op een niet erodeerbare ondergrond. De genoemde stroomsnelheden zijn gemeten op een hoogte boven de mat van 5 x de matdikte (1,50 m). Ook neemt een tevoren aangebrachte vervorming in de vorm van een oplichten over de matdikte niet toe bij het trapgewijs instellen van de genoemde hoge stroomsnelheden.
4. Bij een ondergrond bestaande uit een zandbed treedt bij een rond gat met een diameter van 1,5 m en een spleetvormig gat met afmetingen van 2,5 m in lengte-richting en 10 m in breedte-richting eerst stabiliteitsverlies op nadat de mat is nagezakt in de door de stroom uitgemolken ontgrondingskuil onder de mat.
5. Het in konklusie 4 bedoelde stabiliteitsverlies bestaat uit een oplichten van de omringende mat over een groot gedeelte. Bij het spleetvormige gat (2,5 x 10 m<sup>2</sup>) treedt instabiliteit op bij een stroomsnelheid van ca 6,5 m/s, bij het ronde gat ( $\emptyset$  1,5 m) is een stroomsnelheid nodig van ca 7,5 m/s, gemeten op een hoogte boven de mat van 5 x de matdikte (1,50 m).
6. Bij inbouw van de geometrie van de stormvloedkering ter reproductie van het stroombeeld ter plaatse van de mat blijken ook bij vervallen over de kering tot 7 m kleinere stroomsnelheden op te treden dan genoemd in konklusie 5. Bij de beproefde gaten ( $\emptyset$  2,5 m en spleetvormig 2,5 x 10 m<sup>2</sup>, inklusief ontgrondingskuil) trad geen stabiliteitsverlies op.

## 2. Schaalbeschouwing

Voor een model met lengteschaal  $n_\ell$ , waarin de waterbeweging volgens Froude is opgeschaald (constante verhouding tussen traagheidskracht en zwaartekracht) is de stroomsnelheidsschaal  $n_v = \sqrt{n_\ell}$ .

De krachtenschaal kan worden afgeleid uit:

$$F = C_D \cdot \rho_w \cdot A \cdot v^2 \quad (1)$$

waarin:

F	=	aanstroomkracht	(N)
$C_D$	=	weerstandcoëfficiënt	(-)
$\rho_w$	=	dichtheid van het water	(kg/m <sup>3</sup> )
A	=	aangestroomde oppervlak	(m <sup>2</sup> )
v	=	aanstroomsnelheid	(m/s)

In schaalnotatie gaat (1) over in:

$$n_F = n_{C_D} n_{\rho_w} n_\ell^2 n_\ell \quad (2)$$

met  $n_{C_D} = 1$  (zelfde geometrie) en  $n_{\rho_w} = 1$  gaat (2) over in:

$$n_F = n_\ell^3 \quad (3)$$

Voor elastische materialen geldt algemeen:

$$\sigma = \epsilon \cdot E \quad (4)$$

waarin:

$\sigma$	=	opgelegde spanning	(N/m <sup>2</sup> )
E	=	elasticiteitsmodulus	(N/m <sup>2</sup> )
$\epsilon$	=	relatieve vervorming $\frac{\Delta \ell}{\ell}$	(-)

Invoeren van de krachtenschaal volgens (3) levert bij  $n_E = 1$  (zelfde materiaal) een  $n_\epsilon$  op die veel groter is dan 1 namelijk  $n_\epsilon = n_\ell$  en derhalve te kleine vervormingen.

Om toch een overeenkomstige vervorming te creëren dient de krachtenschaal aanzienlijk verkleind te worden. Dit kan worden bereikt door het overdrijven van de modelstroomsnelheden. Dit overdrijven heeft echter invloed op het



stroombeeld (schieterend water) zodat deze methode geen oplossing vormt als de lengteschaal  $n_l$  redelijk groot is.

Voor het materiaal asfaltmestiek zullen bij lange belastingduur de viskeuze eigenschappen de overhand hebben op de elastische eigenschappen. De stijfheidsmodulus kan volgens [2] en [3] gesteld worden op:

$$S = 3\eta/t$$

waarin:

S	= stijfheidsmodulus	(N/m <sup>2</sup> s)
$\eta$	= dynamisch viscositeitscoëfficiënt	(N/m <sup>2</sup> )
t	= belastingduur	(s)

De elastische doorbuiging f van een eenzijdig ingeklemde ligger met lengte l volgens

$$f = \frac{1}{8} \frac{q l^4}{EI} \quad (6)$$

gaat dan over in

$$f = \frac{1}{8} \frac{q l^4}{SI} \quad (7)$$

waarin

f	= tijdsafhankelijke doorbuiging aan het einde van de ligger	(m)
q	= belasting per eenheid van lengte en breedte	(N/m <sup>2</sup> )
l	= lengte van de ligger	(m)
S	= stijfheidsmodulus	(N/m <sup>2</sup> s)
I	= traagheidsmoment per eenheid van de breedte	(m <sup>3</sup> )

In schaalnotatie gaat (7) over in

$$n_f = n_q \cdot n_l^4 \cdot n_S^{-1} \cdot n_I^{-1} \quad (8)$$

- stromen op Froude-schaal levert  $n_q = n_l$
- zelfde materiaal  $n_\eta = 1 \rightarrow n_S = n_t^{-1}$ .

zodat

$$n_f = n_l n_l^4 n_t n_l^{-3} = n_l \quad (9)$$

ofwel

$$n_t = n_l^{-1} \quad (10)$$

De vervorming  $f$  wordt op lengteschaal in het model weergegeven als de expositietijd in het model wordt vergroot met de lengteschaalfactor.

#### Opmerking

Bij de bepaling van de materiaalkostante  $\eta$  uit de vervorming van balkjes van asfaltmastic bij driepuntsbuigproeven in de Marshallpers bleek dat het enkelvoudige dempermodel met  $S = 3\eta/t$  niet goed voldeed (zie [1]).

De dynamische viscositeitscoëfficiënt bleek afhankelijk te zijn van de gebruikte liggerlengte. Door Bitumarin is daarna een gecompliceerder modelvorm aangenomen bestaande uit een veer (met  $E_1$ ) en een demper (met  $\eta_1$ ) in serie geschakeld met een parallelschakeling bestaande uit een veer (met  $E_2$ ) en een demper (met  $\eta_2$ ). Dit leidt tot een uitdrukking van  $S$  in de vorm:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{E_1} + \frac{t}{\eta_1} + \frac{1}{E_2} \left( 1 - e^{-\frac{E_2}{\eta_2} t} \right)$$

Voor langere expositietijden (na ca 100 seconden) wordt  $S$  weer omgekeerd evenredig met de tijd, zodat de bovenstaande schaalbeschouwing wederom opgaat.

### 3. Opzet van het onderzoek

Het onderzoek bestond uit de volgende fasen:

#### Fase 1

In deze fase werd in de Tussenpadgoot de proef T1A van het onderzoek R 1522 in de Stroomgoot te Lith op schaal  $n_{\rho} = 4$  en  $n_{\rho} = 8$  gereproduceerd.

Doel van de proeven was het nagaan van de op grond van de schaalbeschouwingen voorspelde tijdschaal tussen de vervormingen van de op verschillende schaal beproefde asfaltmastiekmaten.

De asfaltmastiek voor de maten in de Tussenpadgoot had in principe dezelfde mengselkarakteristieken als die voor de maten in de Stroomgoot te Lith.

#### Fase 2

In de oorspronkelijke opzet waren in deze fase proeven van zeer lange duur voorzien ( $n_{\rho} = 30$ , expositieduur in model ca 60 uur). Doel was een relatie te leggen tussen het verval over de kering en de kritieke afmetingen van een gat in de mat, waarbij de vervorming van de gatrand zodanig wordt dat de mat over grote delen wordt opgelicht gedurende een vloedperiode met weigerende schuif. De opzet is echter aangepast in verband met de resultaten van de proeven in fase 1, waarbij bleek dat de tijdsafhankelijke stijfheidsmodulus een veel minder grote invloed heeft op het vervormingsgedrag dan aanvankelijk werd verondersteld.

In de nieuwe opzet stond ook weer de invloed van de geometrie van de gatrand centraal. Onderzocht werden de invloed van de grootte van het gat en een tevoren aangebrachte vervorming van de gatrand bij een mat op een niet-erodeerbare ondergrond. Tevens werd de invloed onderzocht van een ontgrondingskuil rond het gat bij aanwezigheid van een zandbed onder de mat.

In deze fase werd in de goot alleen de mat aangebracht, waardoor de maximale afvoercapaciteit van de goot kon worden benut. De naar het prototype vertaalde stroomsnelheden bedroegen hierbij ca 7,5 m/s, gemeten op een hoogte boven de mat van 5 x de matdikte (= 1,50 m).

#### Fase 3

In deze fase werd in de goot een gedeelte van de Stormvloedkering aangebracht om een juist stroombeeld te genereren op de benedenstrooms liggende asfastmas-

tielmat. Onder de mat was een zandbed aanwezig.

In feite is dit een uitbreiding van fase 2, waarbij de geometrie van het gat in ongunstige zin werd aangepast aan de uitkomsten van fase 2. Doel van het onderzoek in deze fase was na te gaan bij welk verval groter dan 4,2 m bij de aangebrachte gaten in de mat stabiliteitsverlies zou optreden over grote delen van de mat.

#### 4. Uitvoering van de proeven

##### 4.1 Aanbrengen van de asfaltmastiekmaten

De asfaltmastiek voor de maten werd geleverd door de firma Bitumarin en medewerkers van deze firma hebben ook het aanbrengen van de maten in de Tussenspadoot verzorgd.

De maten werden bij de eerste proeven in de goot aangebracht op een ondergrond van hechthout, dat bekleed was met siliconenpapier om plakken aan de ondergrond te voorkomen. Dit papier was ook op de wanden over de dikte van de mat aangebracht. Door de aanwezigheid van het papier konden de maten om een buis  $\varnothing$  0,6 m in koude toestand worden opgerold en opnieuw worden gebruikt na het aanbrengen van veranderingen in de ondergrond (zandbed).

Wel bleek dat het siliconenpapier nog enige hechting toeliet en bovendien bestond het gevaar dat het papier als een soort wapening van de asfaltmastiek ging fungeren. Bij de aangestroomde randen werd daarom na T1 het papier vervangen door een dunne laag siliconenvet (merk Molycote). Ondanks deze voorzorgen werd vooraf aan een proef in de goot zonder water met een dun mes nog gecontroleerd op de matrand werkelijk los lag.

Het gebruikte asfaltmengsel bestond uit 18,2 % bitumen, 20,2 % vulstof en 61,6 % plaatsand uit de Oosterschelde. De temperatuur van het mengsel bedroeg bij het gieten ca 150° C.

Bij het aanbrengen van de mat werd gebruik gemaakt van een afgepaste hoeveelheid asfaltmastiek die op de geprepareerde ondergrond werd uitgegoten en met een rij werd afgewerkt. Uit oriënterende diktemetingen bleek er een variatie in de matdikte aanwezig te zijn van +/- 1 mm.

De aangestroomde rand kreeg een ronde vorm door gebruik te maken van een holronde lat als bekisting.

Na het aanbrengen diende de mat gedurende minimaal 12 uur af te koelen alvorens met een proef kon worden begonnen.

##### 4.2 Metingen

De stroomsnelheidsmetingen werden uitgevoerd met behulp van een micromolen. Turbulentie-intensiteiten werden niet gemeten.

In de regel werd zoveel mogelijk een vertikaal in een achttal punten doorgemeten.

Instellen van een bepaalde gemiddelde stroomsnelheid werd gedaan aan de hand van een stroomsnelheidsmeting op 0,3 m van de waterdiepte gerekend vanaf de bodem ( $T_1$  en  $T_2$ ).

Bij de proeven  $T_3 \dots T_7$  werd de stroomsnelheid ingesteld op een hoogte boven de mat van 5 x de matdikte.

Er werden zowel metingen verricht bovenstrooms als in de direkte nabijheid van de matrand.

De vervormingen van de matrand werden via de glazen wand visueel waargenomen. De vervorming aan de zijwanden van de goot werden afgelezen op een aangebracht stramien. De vervorming in het midden werd geschat. Bij de proeven werden de vervormingen op film vastgelegd, waarbij om de 5 seconden een beeldje werd opgenomen. De tijd werd vastgelegd door het meefilmen van een tijd klok. Van een selectie van de filmbeeldjes is een video vervaardigd die op aanvraag beschikbaar kan worden gesteld.

De temperatuur van het water werd steeds standaard meegemeten.

## 5. Overzicht proeven en resultaten

### 5.1 Fase 1

Reproduktie van proef T1A van het onderzoek R 1522 in de Stroomgoot te Lith (zie [5]).

T1 lengteschaal  $n_\ell = 8$ , matdikte  $d = 1$  cm (zie figuur 1)

is één keer herhaald

T2 lengteschaal  $n_\ell = 4$ , matdikte  $d = 2$  cm (zie figuur 1)

Bij T1 en T2 is op schaal een overeenkomstige stroomsnelheid als in Lith ingesteld ( $v = 1,85$  m/s).

De gemeten stroomsnelheden in de vertikaal worden weergegeven in de figuren 2 en 3. De stijghoogte van de matranden in figuur 4. Ter vergelijking is ook de stijghoogte van de matrand in Lith ( $d = 0,08$  m,  $n_\ell = 1$ ) weergegeven.

Uit de resultaten blijkt niets van een langzamer verloop van de stijghoogte bij de proeven T1 en T2 ten opzichte van de proef in de goot te Lith.

De weergegeven tijd is in alle gevallen modeltijd. Het proces van het omhoog komen van de matranden wordt kennelijk meer bepaald door de optredende krachten: aanstroomkracht en eigengewicht van de mat dan door de stijfheid van de matten.

Vervolgens werden nog een tweetal proeven uitgevoerd met lengte schaal 4 en 8 respectievelijk T3 en T4.

Bij deze proeven werd niet uitgegaan van één constante stroomsnelheid. Beginnend bij een stroomsnelheid van 1,50 m/s (op 5 d boven de mat) werd deze stroomsnelheid opgevoerd in stappen van 0,05 à 0,10 m/s en gedurende 1 uur konstant gehouden.

Het uitvoeringschema van de proeven en de resultaten van de stijghoogten zijn weergegeven in figuur 5. De tijdens de diverse stappen gemeten stroomsnelheden in de vertikaal, in het midden van de goot en direkt stroomopwaarts van de matrand, zijn weergegeven in figuur 6 en 7. Omgerekend naar schaal  $n_\ell = 1$  wordt de matrand zowel bij T3 als T4 instabiel bij  $v = 1,60$  m/s gemeten op 5 d boven de mat met dikte  $d$ . Deze instabiliteit uitte zich als een geringe opbolling in het midden van de matrand. Bij de volgende stap kwam de matrand na korte tijd volledig los van de ondergrond (zie figuur 5).

Naar aanleiding van de resultaten zijn een tweetal berekeningen uitgevoerd namelijk volgens de resultaten vermeld in de verslagen M 1724 en R 1522.

Berekening volgens M 1724 (zie ook [4])

In het onderzoek M 1724 zijn drukmetingen ter plaatse van de matrand uitgevoerd. De metingen geven aan dat er direkt bovenstrooms van de matrand een overdruk ontstaat ten opzichte van de drukhoogte verder bovenstrooms en direkt benedenstrooms van de rand een onderdruk ten opzichte van de drukhoogte verder benedenstrooms (zie figuur 8). Door verschil van waterdiepte boven- en benedenstrooms is er een verschil in snelheidshoogte en daarmee een verschil in drukhoogte. De overdruk over de mat wordt gevormd door de overdruk bij de matrand plus het verschil in drukhoogte boven- en benedenstrooms.

De resultaten van M 1724 (zie figuur 9) zijn niet direkt bruikbaar omdat in M 1724 de matdikte ten opzichte van de waterdiepte aanzienlijk groter is. Zonder correctie hiervoor wordt voor  $v = 1,0$  m/s een drukverschil gevonden van 59 mm (w.k.).

Voor de stroomsnelheid van 1,6 m/s in Lith wordt dit drukverschil  $1,6^2 \times 59 = 151$  mm.

Verskil in snelheidshoogte boven- en benedenstrooms van de matrand bedraagt in de situatie van M 1724:

bovenstrooms  $v_1 = 1,60$  m/s  $\rightarrow \frac{v_1^2}{2g} = 0,128$  m

benedenstrooms  $v_2 = \frac{0,6}{0,56} \times 1,6 = 1,71$  m/s  $\rightarrow \frac{v_2^2}{2g} = 0,147$  m.

$\Delta p = 19$  mm

Voor de situatie in de stroomgoot te Lith wordt  $\Delta p$ :

bovenstrooms  $v_1 = 1,60$  m/s  $\frac{v_1^2}{2g} = 0,128$  m

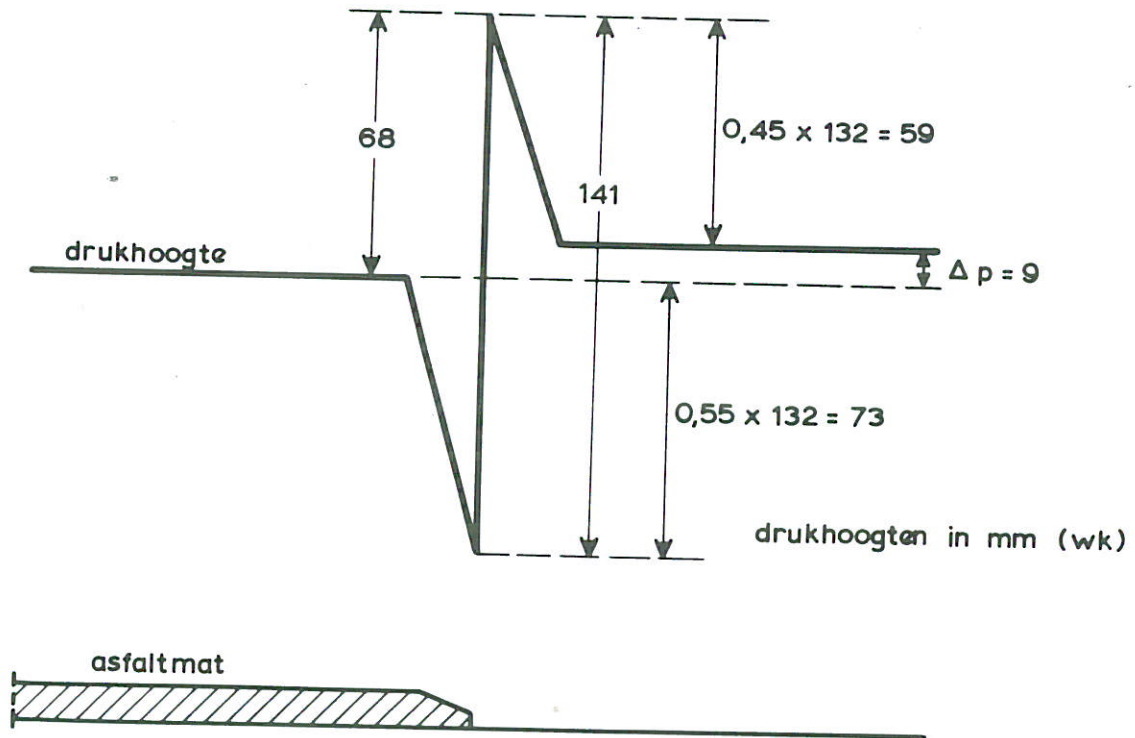
benedenstrooms  $v_2 = \frac{2,30}{2,22} \cdot 1,6 = 1,66$  m/s  $\frac{v_2^2}{2g} = 0,137$

$\Delta p = 9$  mm.

Drukverschil over de rand:  $151 - 19 + 9 = 141$  mm.



Geschematiseerd naar analogie van figuur 8 komt er het volgende beeld:



Derhalve bedraagt de overdruk over de mat:

$$0,068 \cdot 1000 \cdot 10 = 680 \text{ N/m}^2$$

Eigengewicht mat:

$$(\rho_A - \rho_w) g d = (2000 - 1000) 10 \cdot 0,08 = 800 \text{ N/m}^2.$$

De overdruk over de mat is niet groot genoeg om tot oplichten te komen. De drukpiek nabij de matrand is nodig om de beweging in te zetten. Deze piek blijkt op te treden over een afstand van enige keren de matdikte. Het gaat derhalve om een beperkte kracht of een gespreide belasting (1 x eigen gewicht) over een geringe lengte. Doordat in deze situatie toch in korte tijd vervormingen optreden lijkt de stijfheid van de mat een ondergeschikte rol te spelen.

Ter controle nog een berekening volgens R 1522/R 460-XI. (zie ook [6])

$$q_o = C_{o w} A_o v^2 - (\rho_A - \rho_w) g d.$$

Volgens Konter is  $C_o = 0,25$  (R 460-XI).

$$q_0 = 0,25 \cdot 1000 \cdot 1,6^2 - (2000-1000) 10 \cdot 0,08$$

$$q_0 = -160 \text{ N/m}^2.$$

Derhalve een zelfde resultaat als bij de berekening M 1724.

Bij een stroomsnelheid van  $v = 1,78 \text{ m/s}$  wordt  $q_0 = 0$ . De verschillen in stroomsnelheid zijn echter te groot om aannemelijk te maken dat de gevonden waarden toevalstreffers zijn.

Resumerend kan gesteld worden dat de stijfheid van de mat een minder belangrijke rol speelt bij het oplichten dan aanvankelijk werd gedacht. Belangrijker blijkt de door de stroom uitgeoefende kracht op de matrand te zijn in vergelijking met het eigengewicht van de rand. Wordt de aanstroomkracht groter dan het eigengewicht dan wordt in korte tijd een vrij grote stijghoogte van de matrand bereikt.

Bij het omhoog komen wordt de aanstroomkracht groter en groter, waardoor het vervormingsproces aanmerkelijk wordt versneld (zie figuur 4).

Op grond van de uitgevoerde proeven is het niet nodig om lange duur proeven uit te voeren, indien de schaalregel van Froude wordt aangehouden voor de stroomsnelheid ( $n_v = \sqrt{n_\ell}$ ) en voor het eigengewicht van de mat ( $n_d = n_\ell$ ,  $n_\rho = 1$ ).

## 5.2 Fase 2

Invloed bepalen van de grootte van een gat alsmede de invloed van een al of niet erodeerbare ondergrond.

Deze fase werd uitgevoerd op schaal 30, waarbij de matdikte in model 1 cm bedroeg. Er werd een lange mat met een rond gat van 1,0 m doorsnede en van 1,5 m doorsnede onderzocht, (zie figuur 10).

Bij T5 en T6 werd de mat direkt aangebracht op een houten ondergrond, afgedekt met siliconenpapier om plakken van de mat te voorkomen.

Bij T7 werd de mat aangebracht op een zandbed met zand van  $D_{50} = 130 \mu\text{m}$ , waarbij de bovengenoemde cirkelvormige gaten eveneens aanwezig waren.

Het uitvoeringsschema van de proeven wordt weergegeven in figuur 11.

Bij T5 werd de stroomsnelheid opgevoerd van 3,0 m/s tot 6,5 m/s in stappen van 0,5 m/s met een duur per stap van 0,5 uur. De genoemde stroomsnelheden werden ingesteld op een hoogte boven de mat van 5 x de matdikte (=1,50 m). De gemeten snelheidsvertikalen worden weergegeven in figuur 12. Bij geen van de gaten werd een plaatselijk omhoog komen geconstateerd.

Bij T6 werd de mat aan de benedenstroomse rand van het gat 1 cm in model opgelicht. In ca 1,5 uur werd de stroomsnelheid van 3,0 m/s opgevoerd tot 7,5 m/s. Er werd geen verder oplichten van de rand van de mat geconstateerd.

Hoewel er geen detaildrukmetingen rond de gaten zijn verricht, lijkt het aanemelijk om op grond van de uitkomsten uit de vorige proeven te veronderstellen dat de door de stroomuitgeoefende kracht niet groot genoeg is om het gewicht van de mat te overtreffen bij een vlakke ligging van de mat.

Daarna werd T7 ingebouwd waarbij de mogelijkheid van uitmelken van de ondergrond aanwezig was. Bij het opvoeren van de stroomsnelheid gebeurde dat dan ook. Bij het gat met een diameter van 1,5 m ontstond een holte die zich 2,5 m in benedenstroomse richting uitstreekte. Bij het gat van 1,0 m bedroeg deze lengte circa 2.0 m.

Na het bereiken van een stroomsnelheid van 6,0 m/s trad geen transport uit de kuil meer op.

Bij het bereiken van een stroomsnelheid van 7,5 m/s bleek aan de achterzijde van de mat zandverlies op te treden. Na het stoppen van de proef werd de mat ter plaatse opgerold en werd het zandverlies aangevuld.

De volgende dag werd de proef voortgezet. De matranden waren daarbij nagezakt. Begonnen werd met een stroomsnelheid van 7,5 m/s. Na 3 uur handhaven van deze stroomsnelheid waarbij nog weer zand werd uitgemolken, werd de mat onstabiel bij het gat van 1,5 m.

Het benedenstrooms gelegen gedeelte kwam in zijn geheel omhoog. Door het uitmelken van zand en het nazakken van de mat kreeg de stroom de gelegenheid om het nagezakte gedeelte van de mat aan te stromen. Hierbij ontstond een overdruk, die in combinatie met de onderdruk terplaatse van de meer horizontaal verlopende mat in staat blijkt het gewicht van de mat te neutraliseren, en zelfs over een groot gedeelte op te lichten.

Bij het gat van 1,0 m werd geen instabiliteit geconstateerd.

Na uitvoering van fase 3 werd nog een proef verricht, waarbij een rechthoekig gat aanwezig was in de mat (zie figuur 20, T11). Door de grotere gatafmeting in de breedterichting van de goot werd getracht de vervormingsweerstand te verminderen, die uit de zijdelingse richting kan worden ontwikkeld.

Bij een stroomsnelheid van iets meer dan 6 m/s trad bij deze proef eveneens een oplichten van de mat over een groot gedeelte op. Weliswaar treedt bij dit gat al instabiliteit op bij een geringere stroomsnelheid dan bij een kleinere gatbreedte, maar de afmeting in lengterichting is ook groter.

Konklusie van deze fase:

Een erodeerbare ondergrond onder de mat blijkt bij zeer hoge stroomsnelheden te kunnen leiden tot instabiliteit van een aanzienlijk gedeelte van de mat rond het gat.

De grootte van het gat in combinatie met de ontstane ontgronding hebben invloed op de grootte van de stroomsnelheid, waarbij de instabiliteit optreedt. De geometrie speelt derhalve mee.

Op grond van de uitgevoerde proeven is het aannemelijk om te veronderstellen dat bij grotere gaten kleinere stroomsnelheden tot instabiliteit zullen leiden. Een verband tussen de gatgrootte en de grootte van de stroomssnelheid, die instabiliteit veroorzaakt, kan door het geringe aantal proeven niet worden gegeven.

### 5.3 Fase 3

In deze fase werd op schaal  $n_\ell = 30$  een gedeelte van de stormvloedkering ingebouwd. De mat werd wederom op een zandbed van  $D_{50} = 130 \mu\text{m}$  aangebracht (zie figuur 13 en 14).

Er werden een 3-tal proeven uitgevoerd:

T8 met een cirkelvormig gat  $\emptyset 1,5 \text{ m}$

T9 met een cirkelvormig gat  $\emptyset 2,5 \text{ m}$

T10 met een rechthoekig gat met afmeting van  $2,5 \times 10 \text{ m}$

Bij de proeven werd steeds begonnen met een verval van  $4,2 \text{ m}$ , dat in stappen van circa  $1 \text{ m}$  werd opgevoerd tot  $7 \text{ m}$  na drie uur. Daarna werd het verval niet meer verhoogd tot aan het einde van de proef dat 3 à 4 uur later lag.

In deze tijd kreeg de mat de tijd om bij te zakken. Bij T8 en T9 werd overigens van tevoren reeds een ontgronding aangebracht, waarvan de afmetingen werden afgeleid uit de proeven met uniforme stroming (zonder aanwezigheid van de stormvloedkeringsconstructie). Bij T10 werd niet van tevoren een ontgrondingskuil aangebracht. De eindsituatie van de kuilen is weergegeven in de figuren 15, 17 en 19.

Bij ieder ingesteld verval werden stroomsnelheden in een vertikaal gemeten op 10 of 20 m bovenstrooms van het gat (zie figuren 16 en 18).

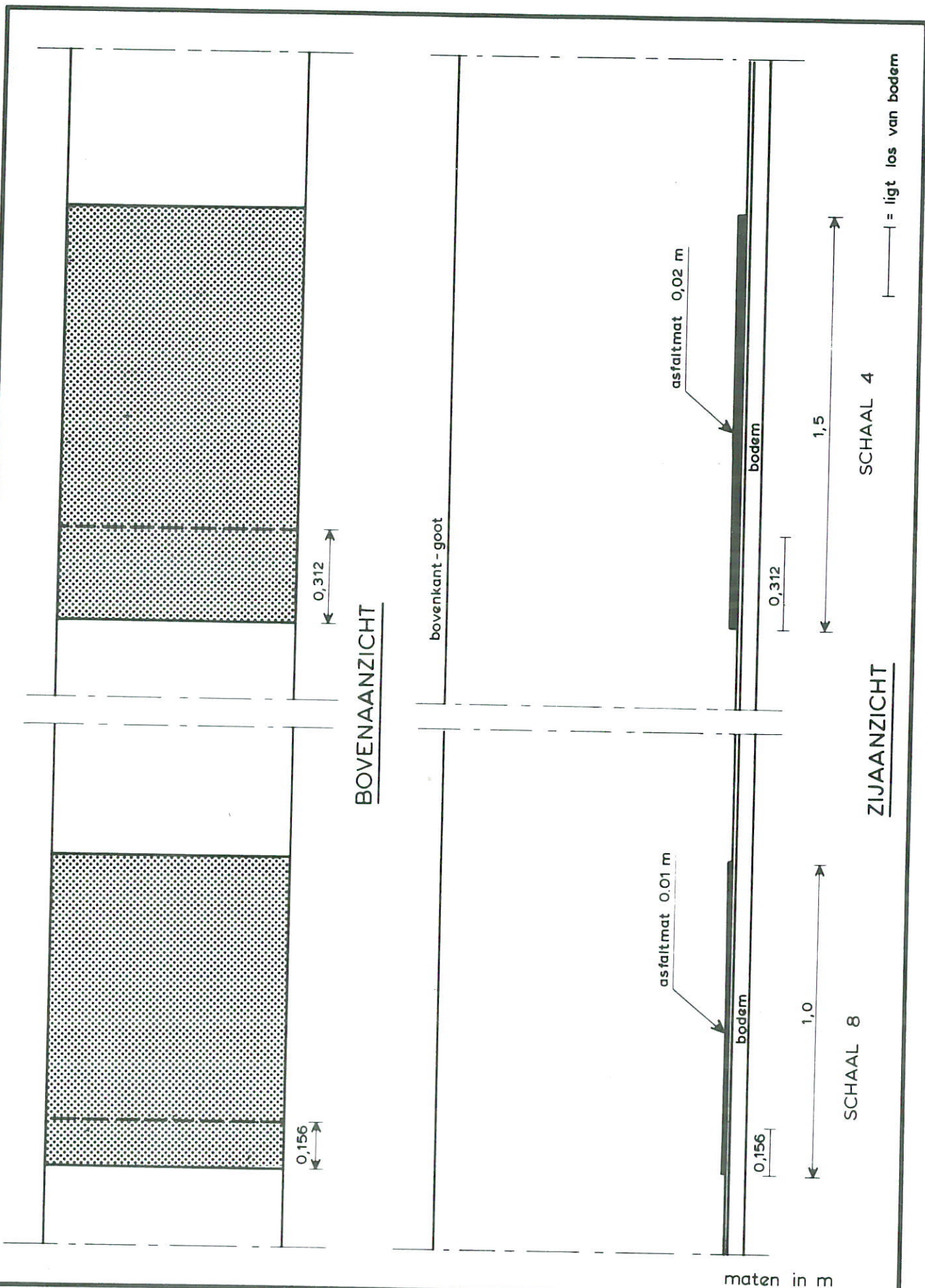
Bij geen van de proeven ontstond een instabiliteit van de mat.

Konklusies van deze fase:

Bij vervallen tot  $7 \text{ m}$  ontstaan benedenstrooms van de kering kleinere stroomsnelheden dan ingesteld bij de proeven met uniforme stroming in de goot. Daar het drukkensysteem rond de matrand gerelateerd zal zijn aan  $v^2$  is het niet verwonderlijk dat er in deze fase geen instabiliteit optreedt.

## LITERATUUR

1. Bochove, G.G. Van  
Onderzoek naar de visco-elastische materiaaleigenschappen van asfaltmastiek.  
Bitumarin B.V., Zaltbommel, april 1985
2. Technische Adviescommissie voor de waterkeringen.  
Leidraad voor de toepassing van asfalt in de waterbouw  
Staatsuitgeverij, s'-Gravenhage, 1984
3. Visser, ir. W.  
Toepassing van mastiek - Mogelijkheden en onmogelijkheden  
Pavement Consultancy Services B.V., Rotterdam, december 1980
4. Konter, ir. J.L.M.  
Drukverdeling aan de rand van een asfaltslab bij verschillende aanstroomb-  
richtingen  
Verslag modelonderzoek M1724  
Waterloopkundig Laboratorium, Delft, augustus 1980
5. Konter, ir. J.L.M. en Maat, ing. S.  
Stroombestendigheid van asfaltmastiekslabben  
Verslag modelonderzoek R1522  
Waterloopkundig Laboratorium, Delft, april 1981
6. Konter, ir. J.L.M.  
Stabiliteit van de randen van bodemverdedigingen  
Verslag modelonderzoek R460-XI/R1431  
Waterloopkundig Laboratorium, Delft, april 1984
7. Groot, ir. M.B. de  
Ontwerp bodembescherming Stormvloedkering Oosterschelde  
Stand van zaken nota 2PROBU-N-82068  
Rijkswaterstaat, Deltadienst, Burghsluis, juli 1983



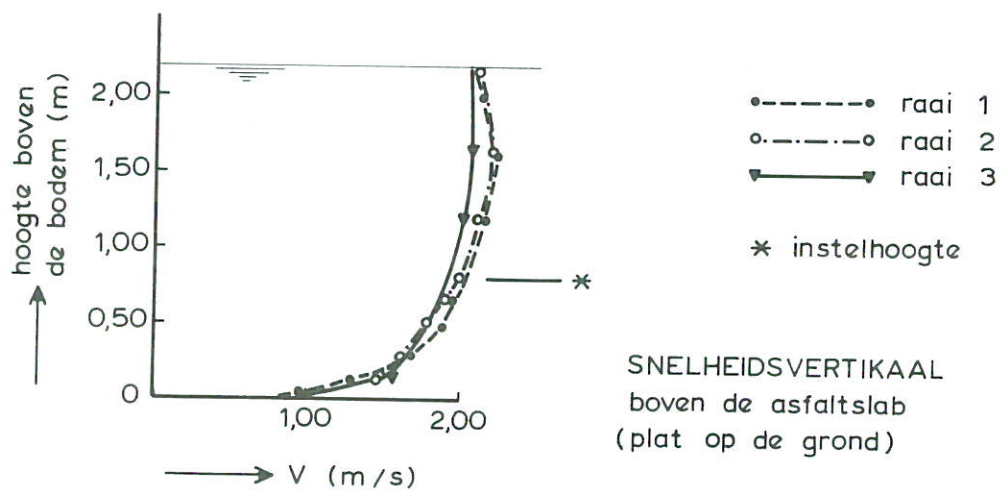
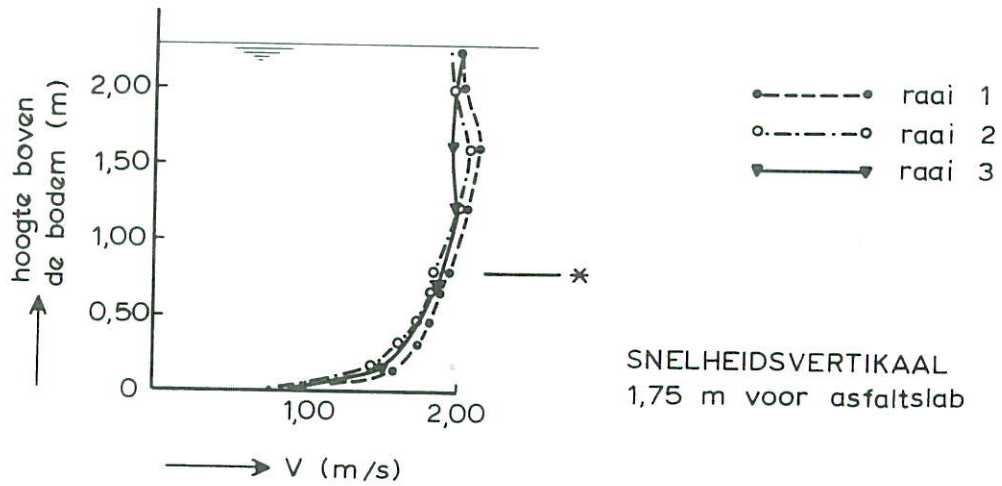
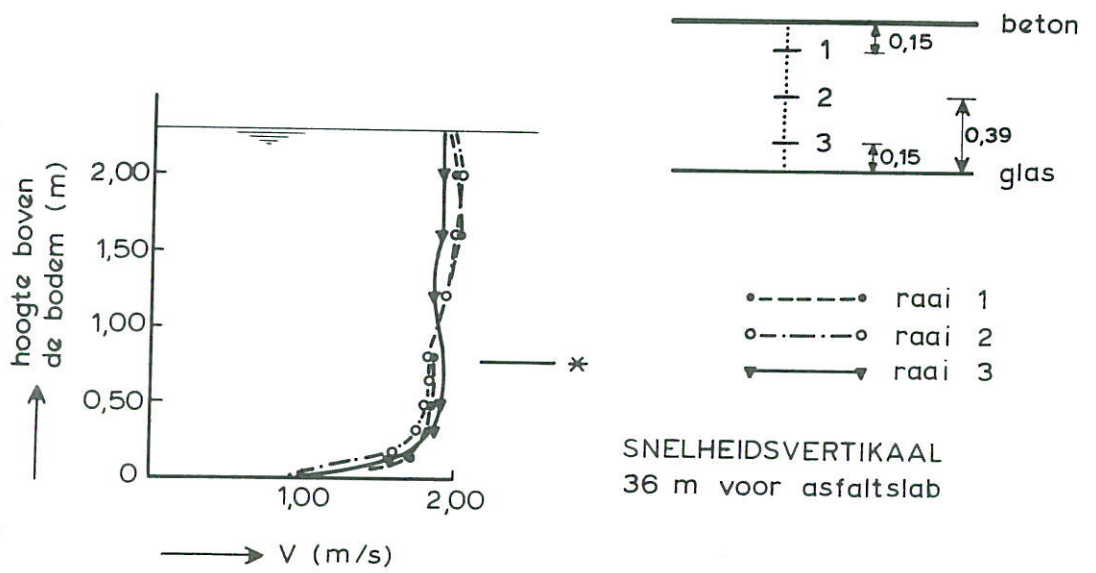
OVERZICHT MEETOPSTELLING

T1... T4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2097

FIG. 1



SNELHEIDSVERTIKALEN

T 1

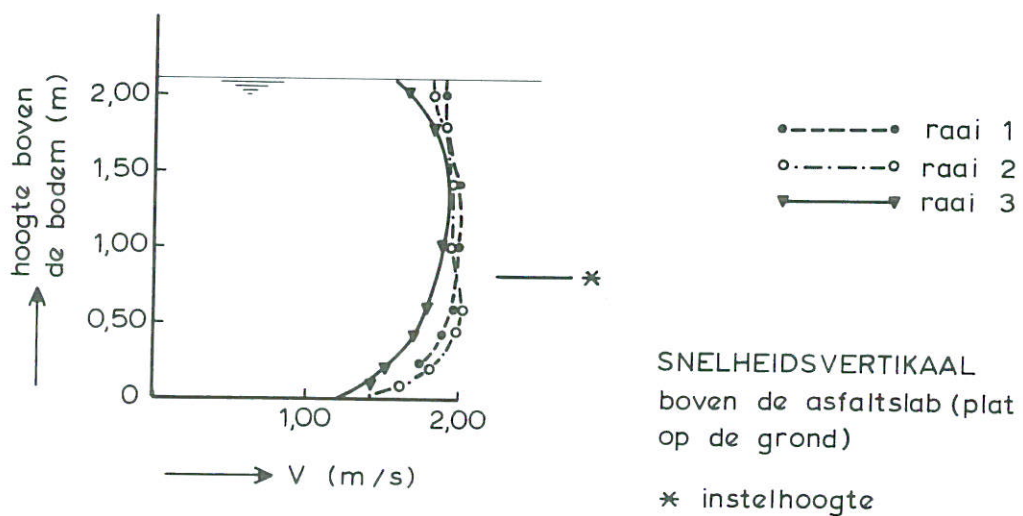
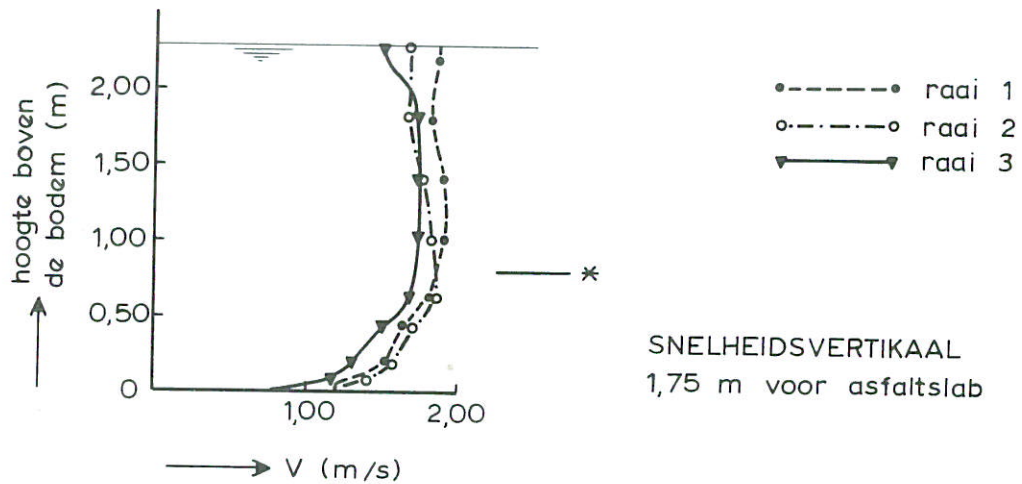
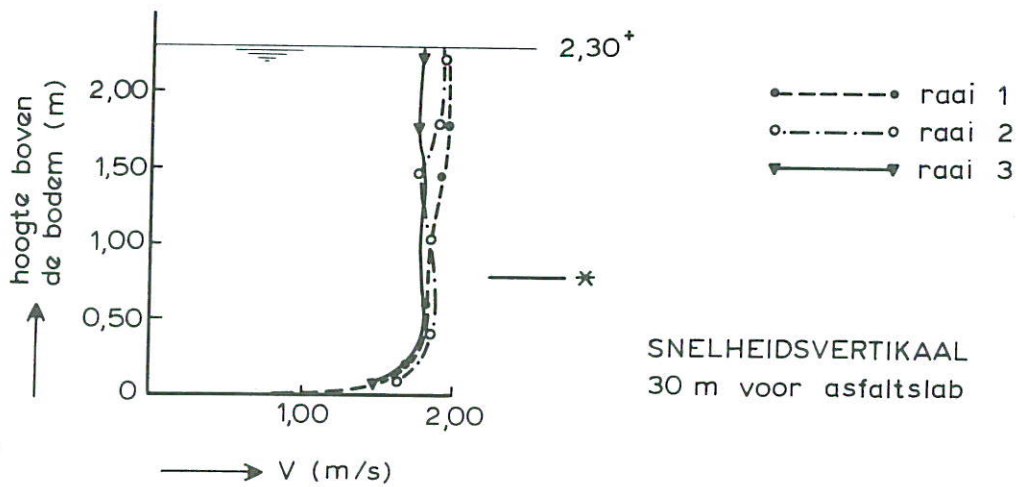
SCHAAL 1 : 8

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2097

FIG. 2





SNELHEIDSVERTIKALEN

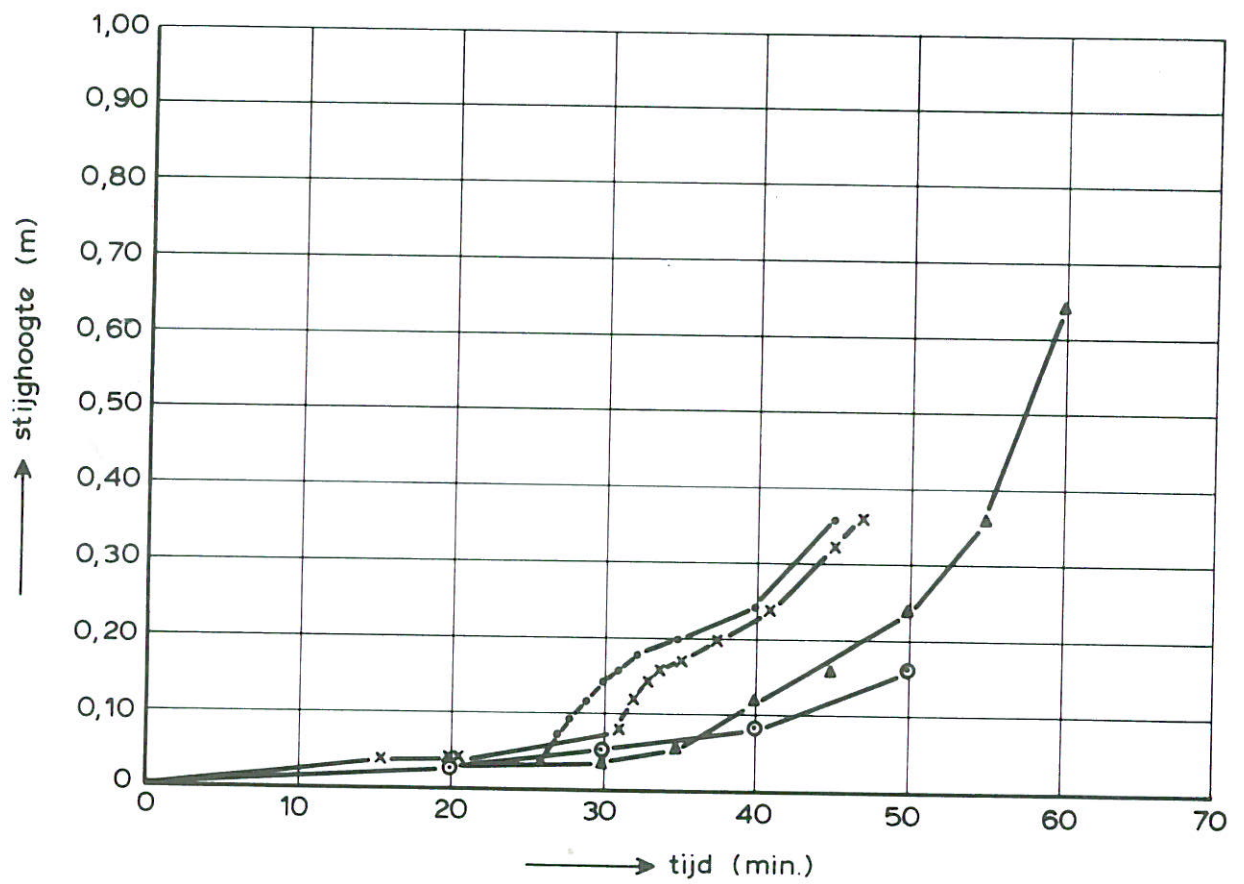
T 2

SCHAAL 1 : 4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2097

FIG. 3



T1 = V 1,69 m/s op 5 d boven de mat  
 T2 = V 1,63 m/s op 5 d boven de mat

- T1 nl=8
- ▲—▲ T2 nl=4
- ×—× T1B nl=8
- R 1522

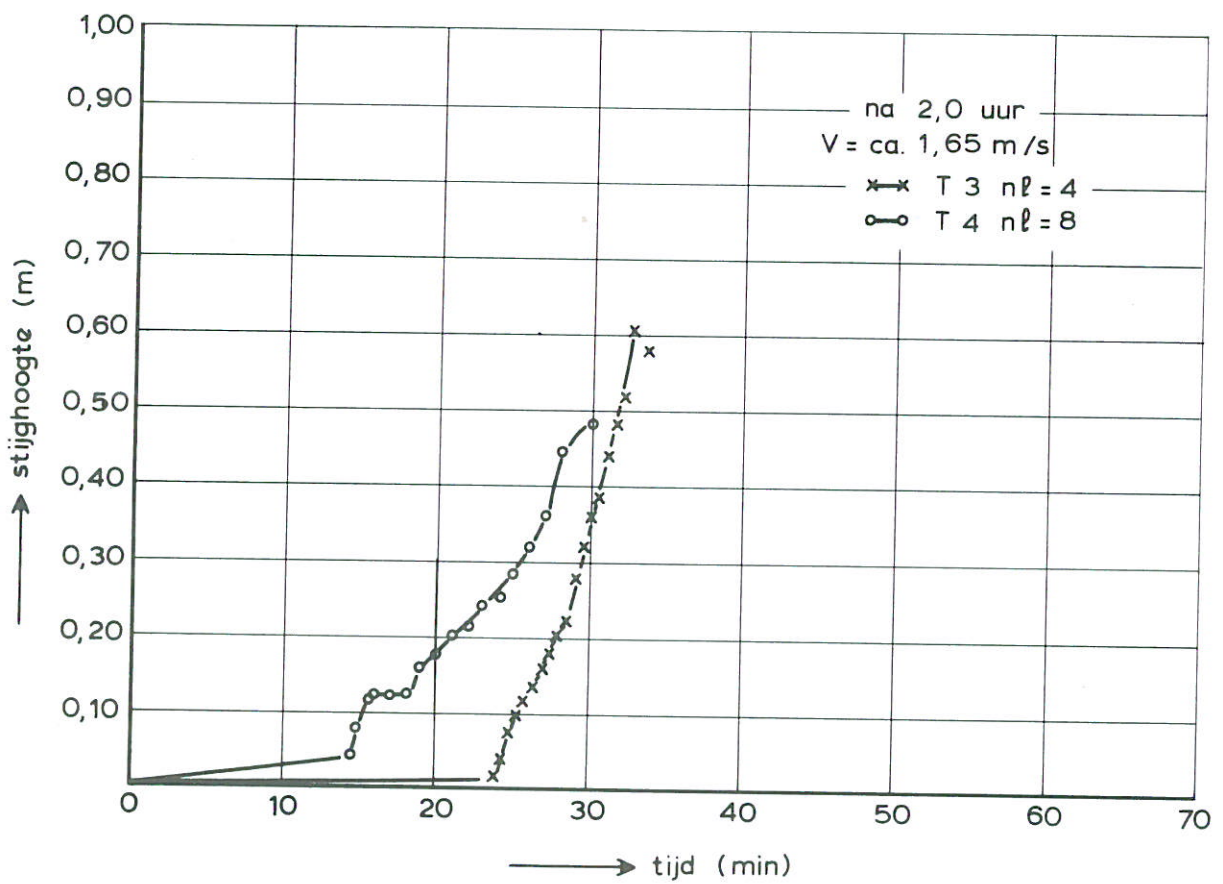
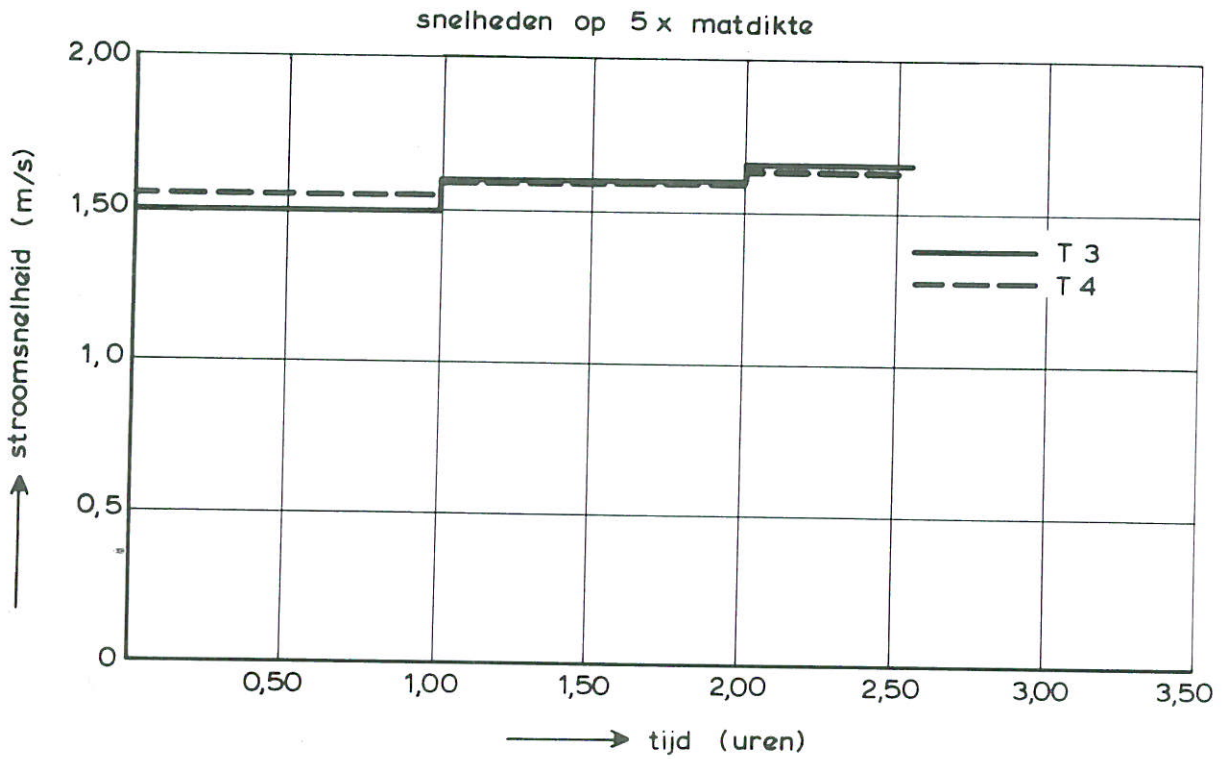
STIJGHOOGTE MATRAND

T 1 EN T 2

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2097

FIG. 4



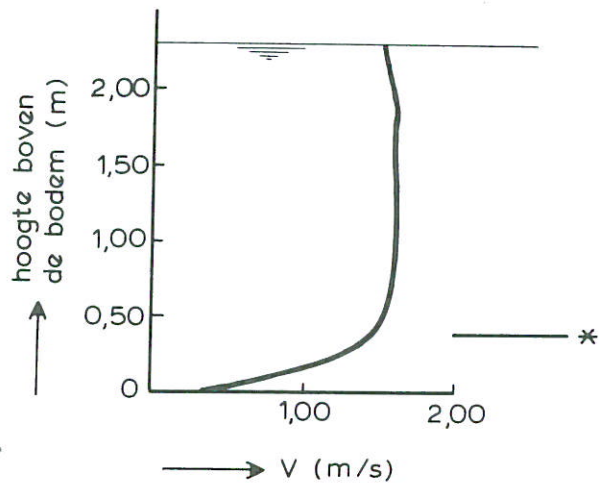
VERLOOP PROEF EN STIJGHOOGTE MATRAND

T 3 EN T 4

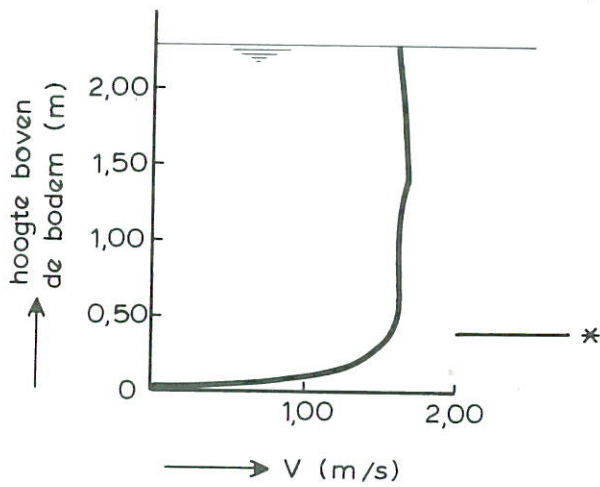
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2097

FIG. 5

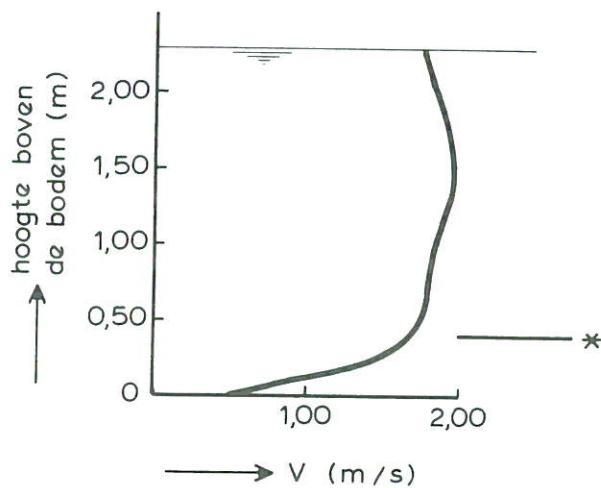


1<sup>e</sup> stap  
 $V = \text{ca. } 1,50 \text{ m/s}$



2<sup>e</sup> stap  
 $V = \text{ca. } 1,60 \text{ m/s}$

\* instelhoogte



3<sup>e</sup> stap  
 $V = \text{ca. } 1,65 \text{ m/s}$

meetpunt 1,40 m, 1,80 m  
 en opp. gemeten terwijl de  
 asfaltmat omhoog kwam

SNELHEIDSVERTIKALEN

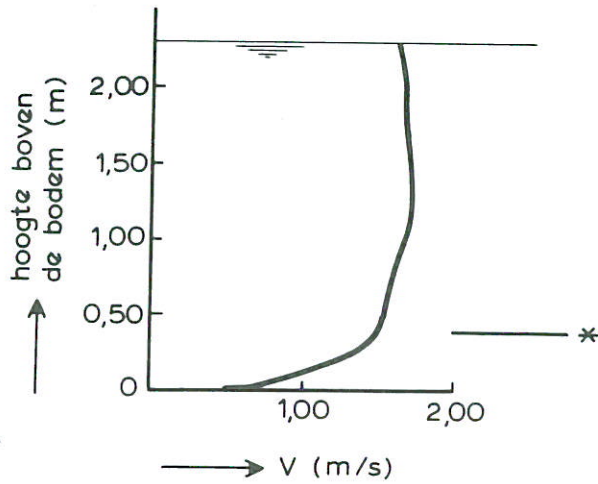
T 3

SCHAAL 1 : 4

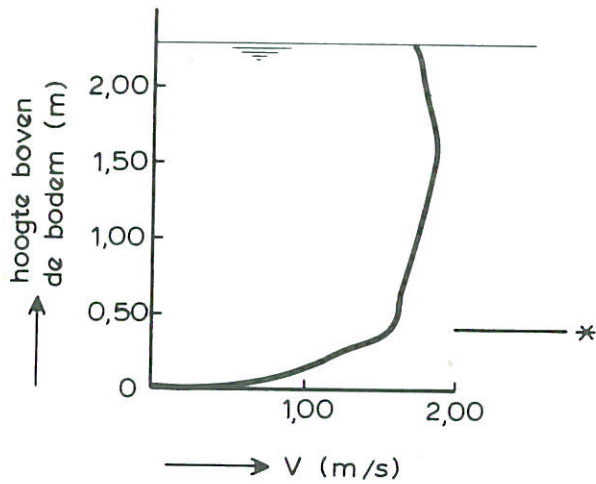
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2097

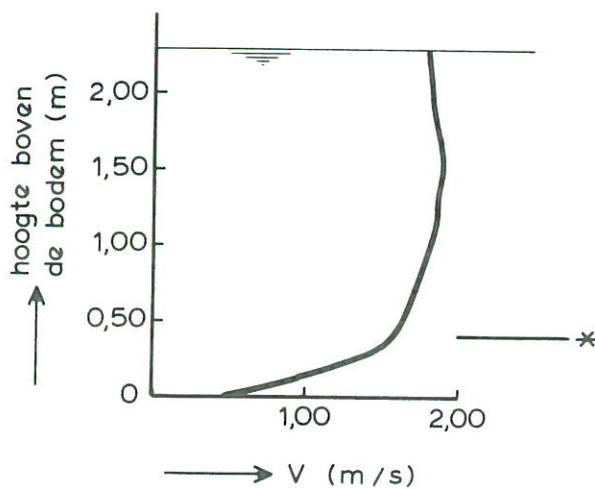
FIG. 6



1<sup>e</sup> stap  
 $V = \text{ca. } 1,55 \text{ m/s}$



2<sup>e</sup> stap  
 $V = \text{ca. } 1,60 \text{ m/s}$



3<sup>e</sup> stap  
 $V = \text{ca. } 1,65 \text{ m/s}$

\* instelhoogte

SNELHEIDSVERTIKALEN

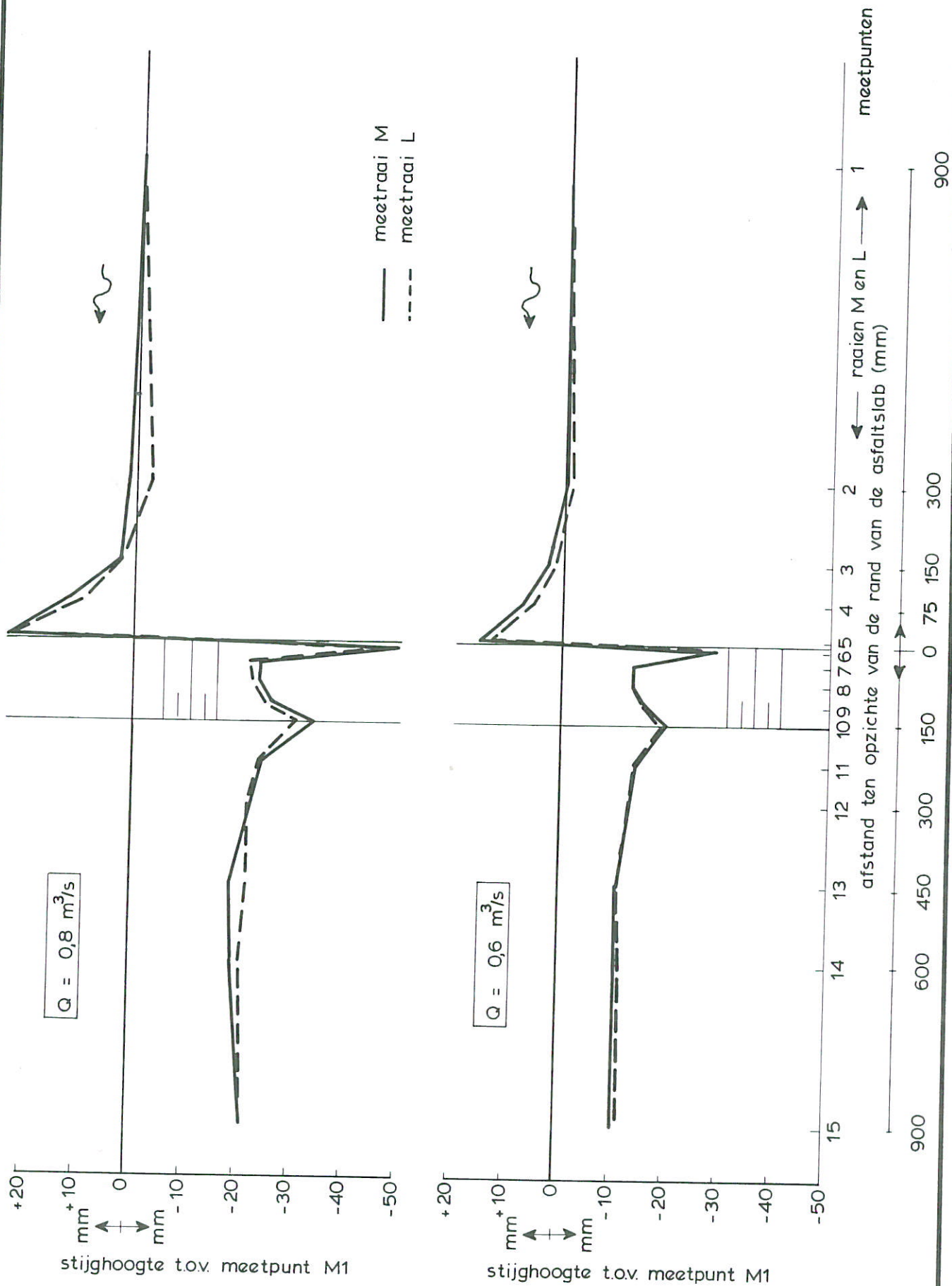
T 4

SCHAAL 1 : 8

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2097

FIG. 7



DRUKVERLOOP AAN DE RAND  
VAN EEN ASFALTSLAB

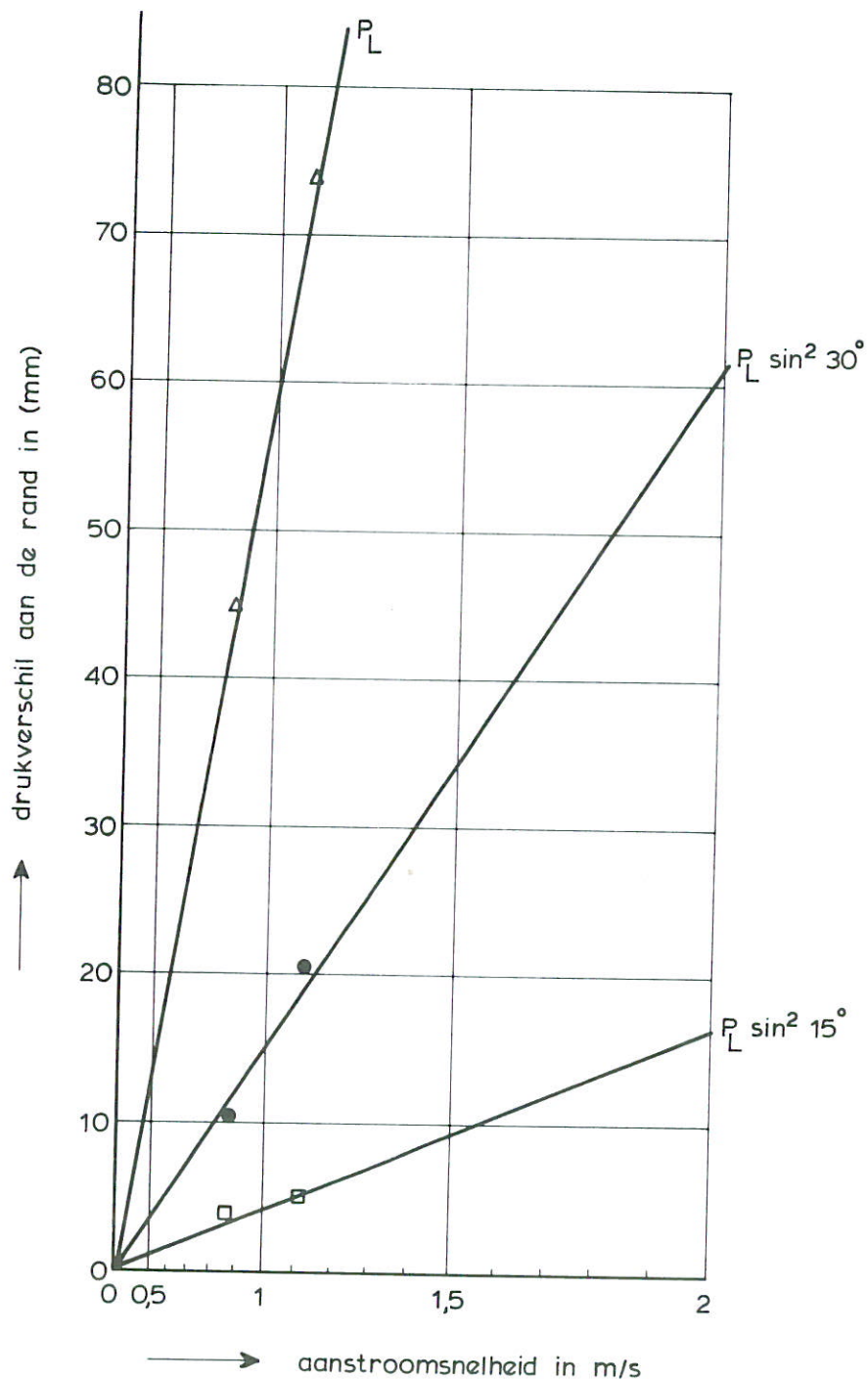
$\alpha = 90^\circ$

ontleend aan M 1724

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2097

FIG. 8



- △ T1  $\alpha = 90^\circ$
- T3  $\alpha = 30^\circ$
- T2  $\alpha = 15^\circ$

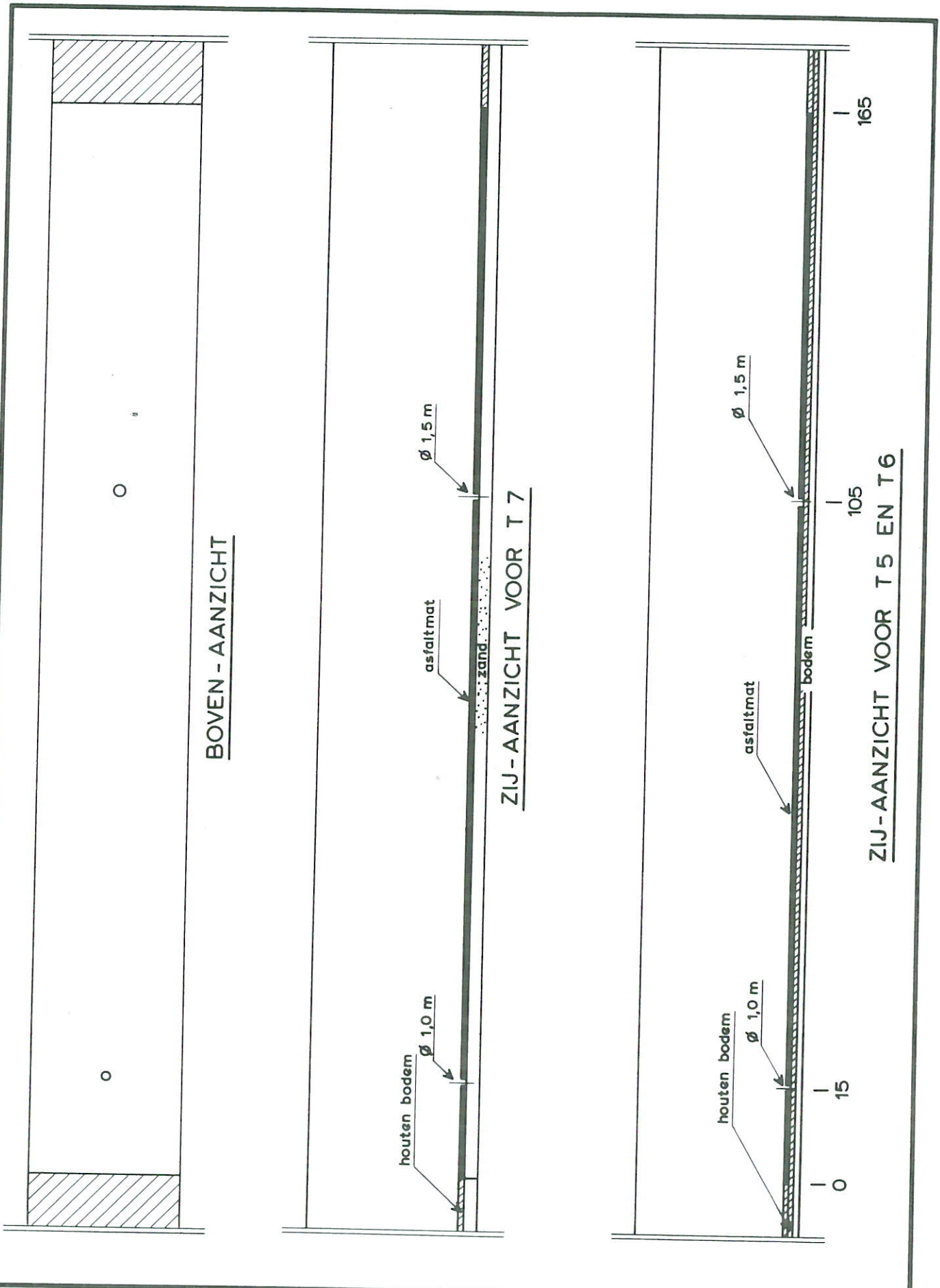
RELATIE STROOMSNELHEID EN DRUKVERSCHIL  
 BIJ VERSCHILLENDE AANSTROOMHOEKEN

ontleend aan M 1724

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2097

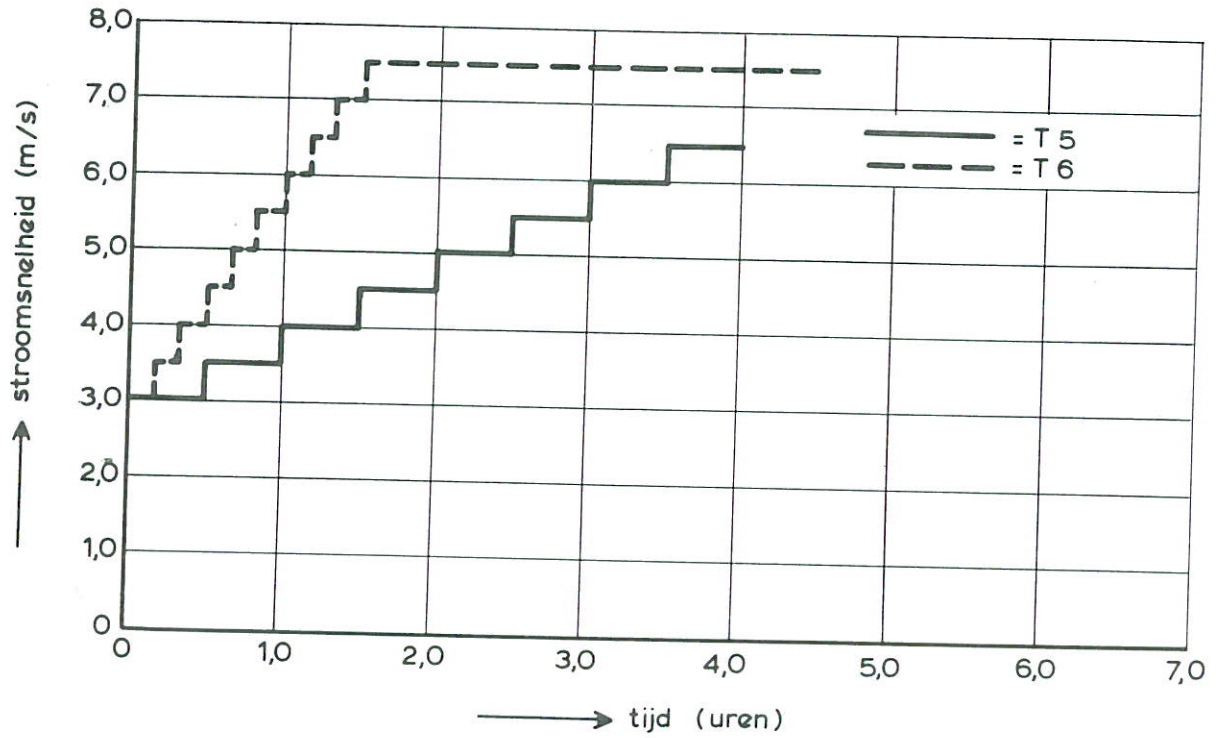
FIG. 9



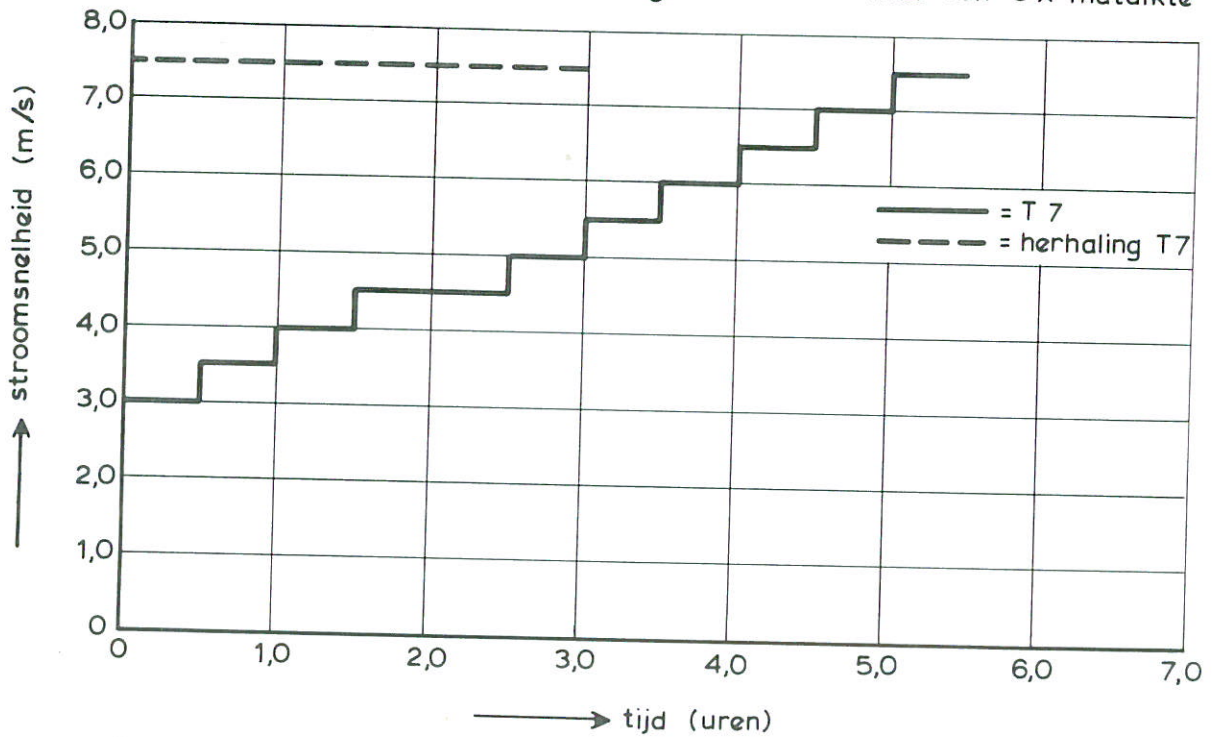
OVERZICHT PROEFOPSTELLING

T 5, 6, 7



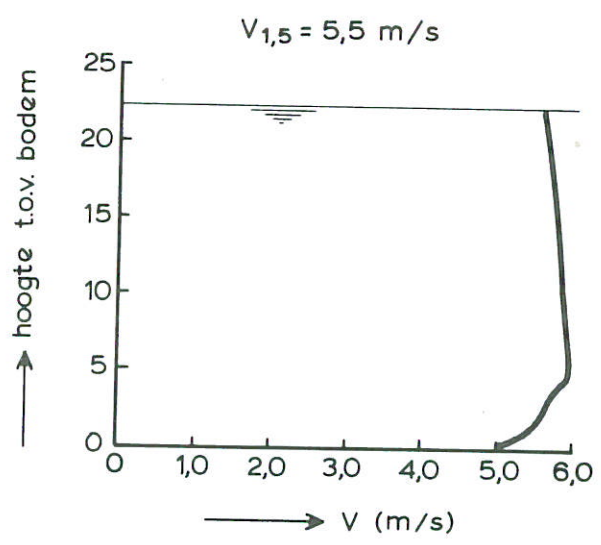
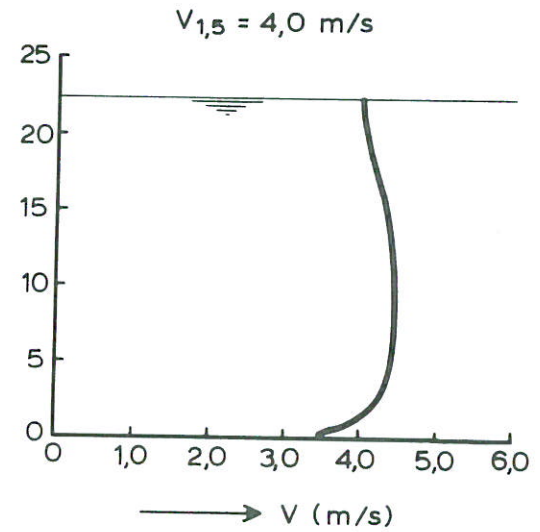
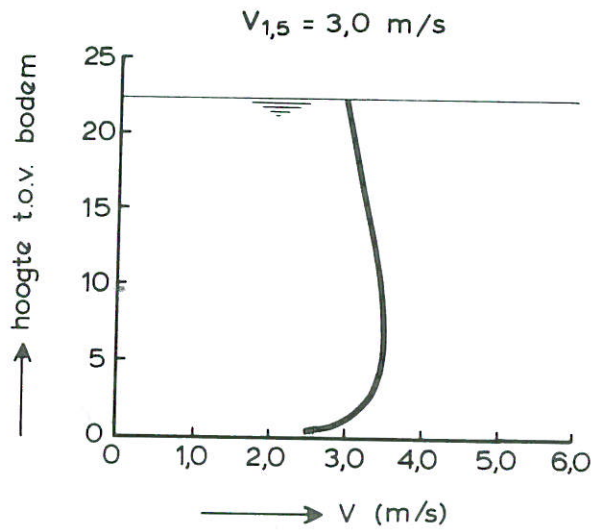


stroomsnelheden ingesteld op hoogten boven de mat van 5 x matdikte



VERLOOP PROEF

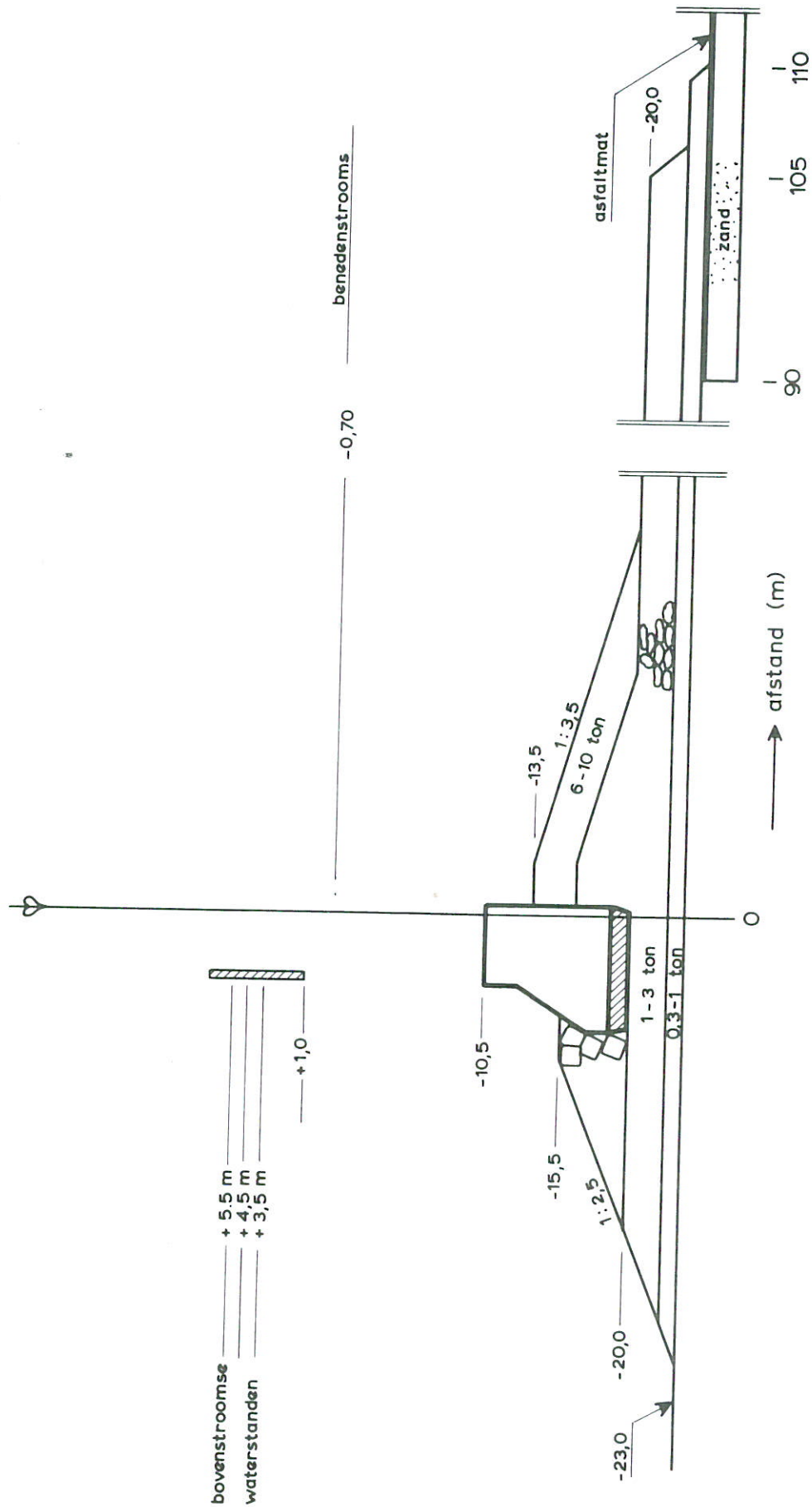
T 5, 6, 7



$V_{1,5}$  = ingestelde stroomsnelheid op 1,5 m boven de bodem

SNELHEIDSVERTIKALEN

T 5



hoogtematen in m t.o.v. N.A.P.

AANGEBRACHT GEDEELTE VAN DE KERING

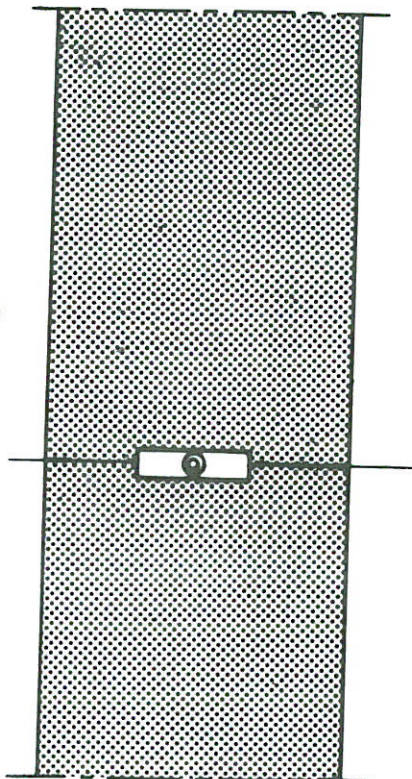
T 8,9,10

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

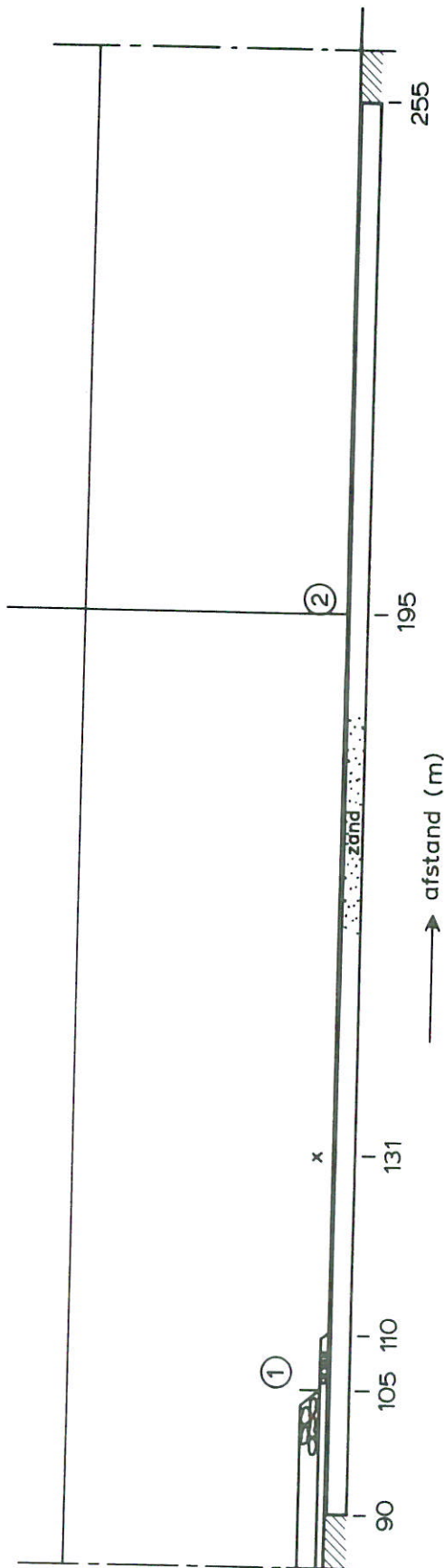
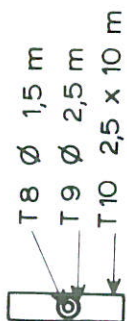
M 2097

FIG. 13

DETAIL ②



BOVENAANZICHT



ZIJAANZICHT

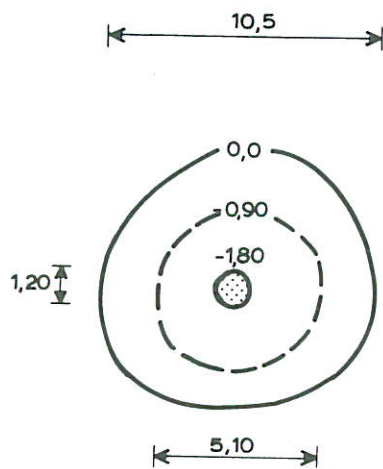
PROEFOPSTELLING

T8, 9, 10

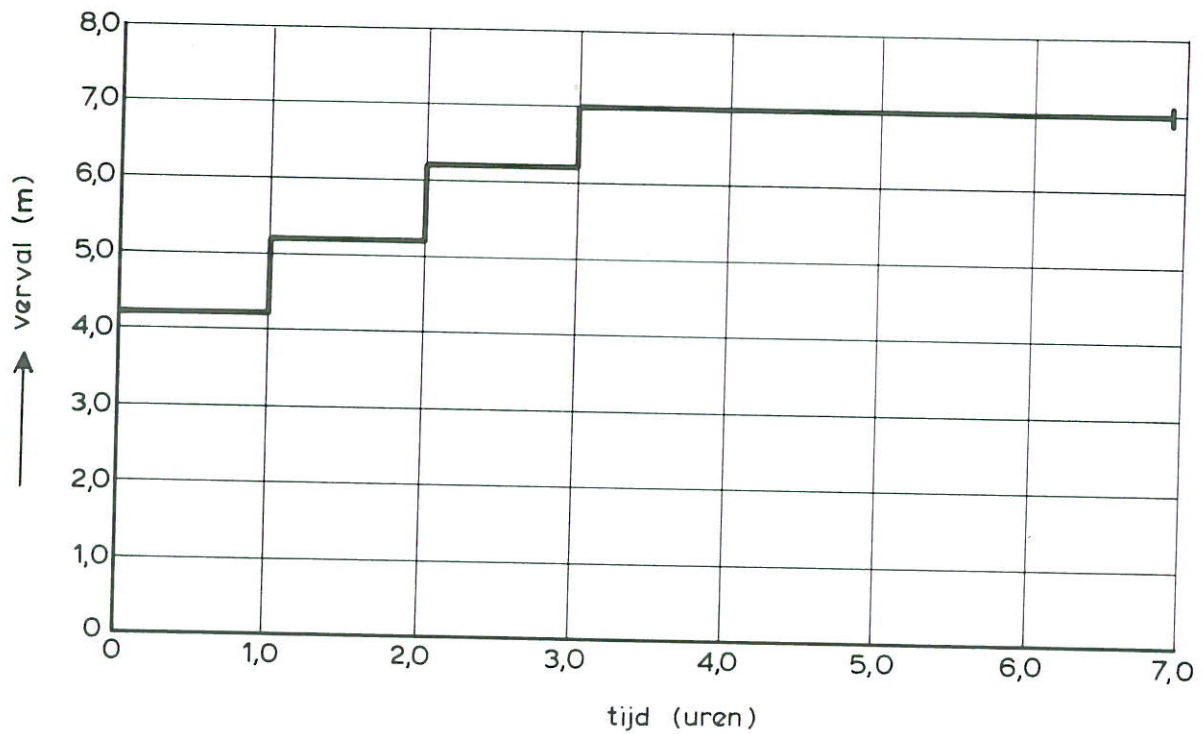
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2097

FIG. 14



ontgraving onder  
aangebracht gat  $\varnothing$  1,5 m  
bodem = -1,80 m



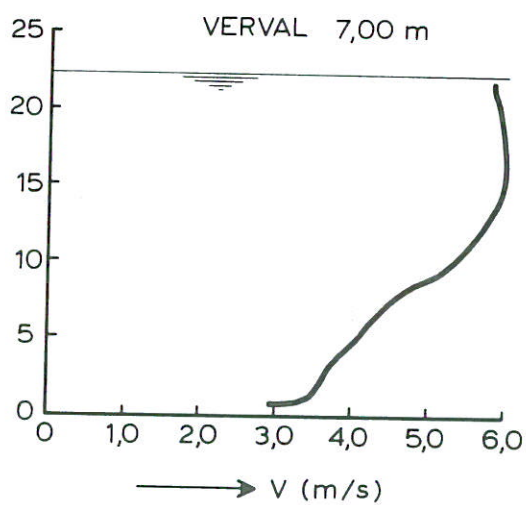
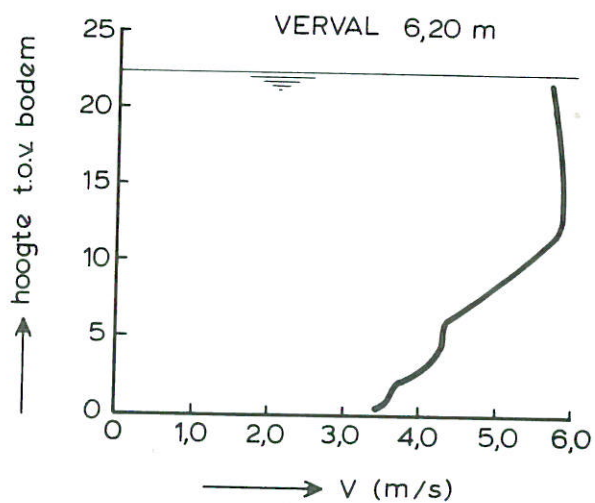
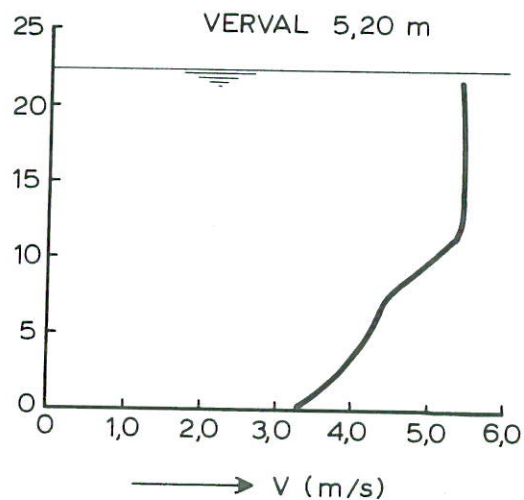
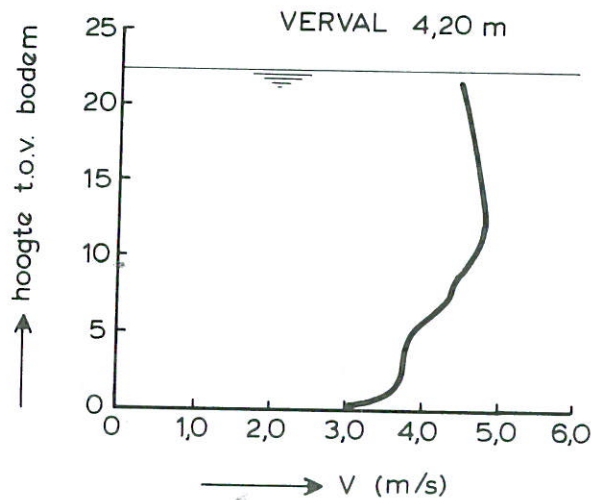
VERLOOP PROEF EN EINDSITUATIE

T 8

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2097

FIG. 15



SNELHEIDSVERTIKALEN

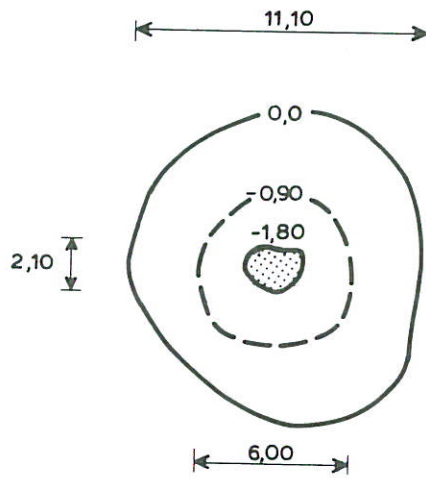
20,0 m  
voor kuil

T 9

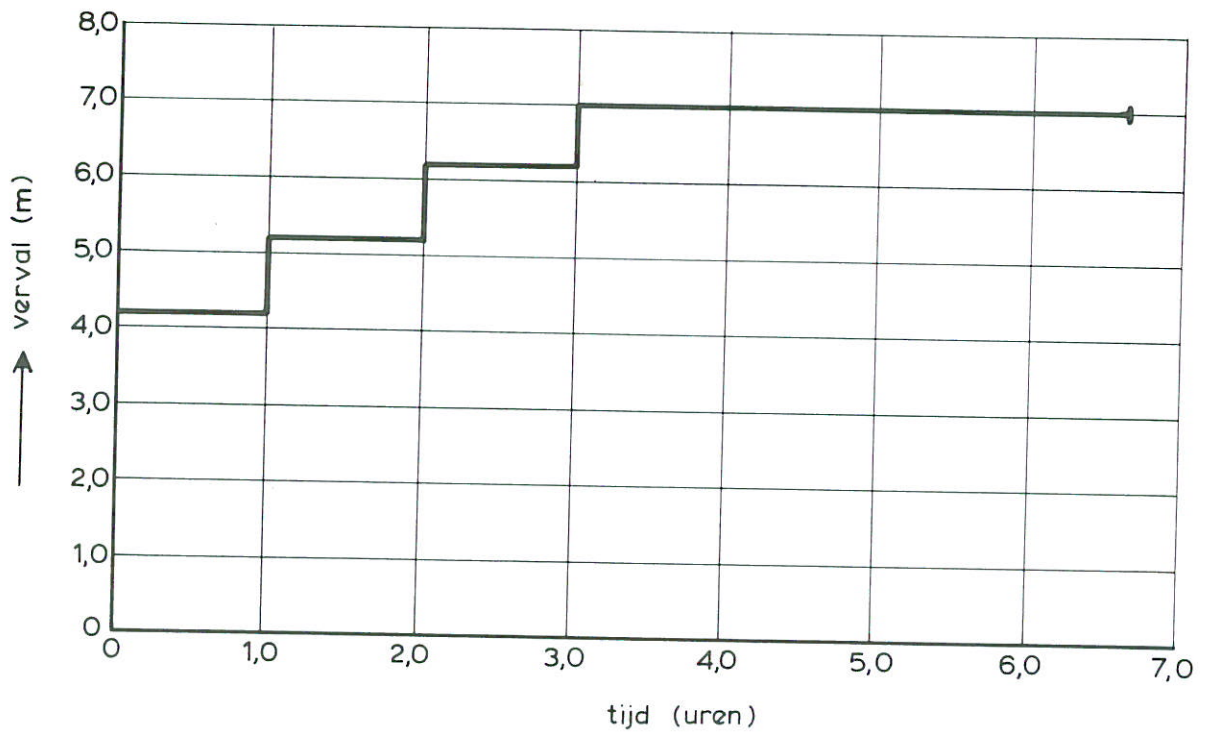
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2097

FIG. 16



ontgroning onder  
aangebracht gat  $\varnothing$  2,5 m  
bodem = -1,80 m



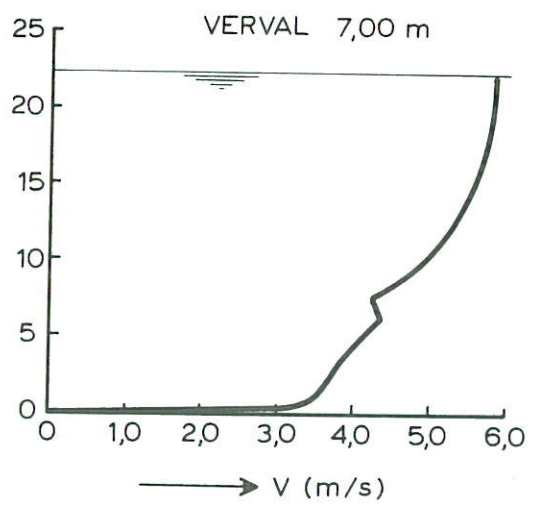
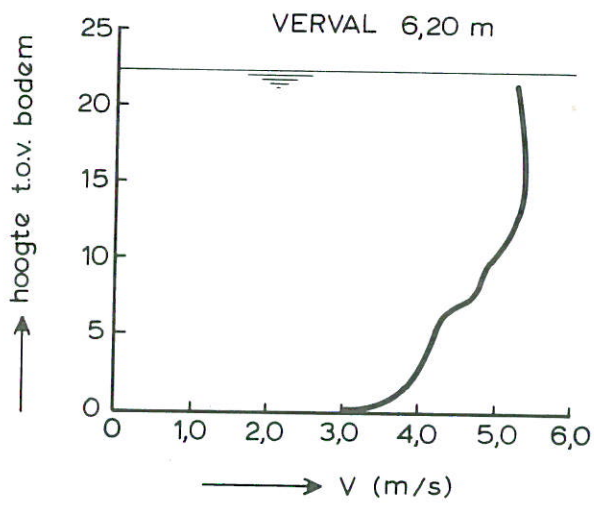
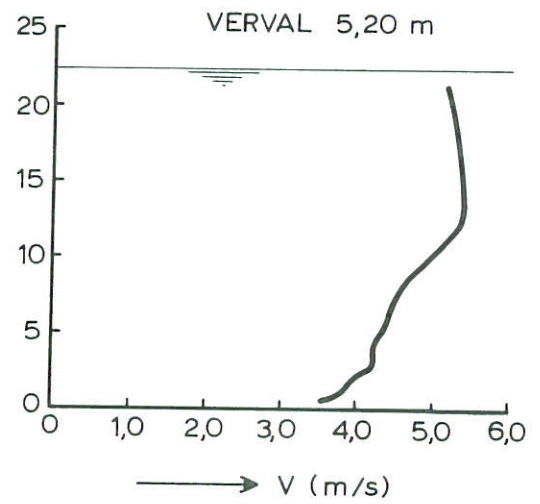
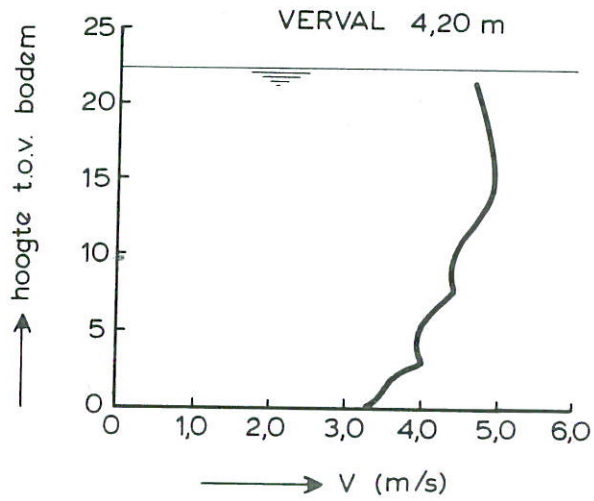
VERLOOP PROEF EN EINDSITUATIE

T 9

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2097

FIG. 17



SNELHEIDSVERTIKALEN

10,0 m  
voor kuil

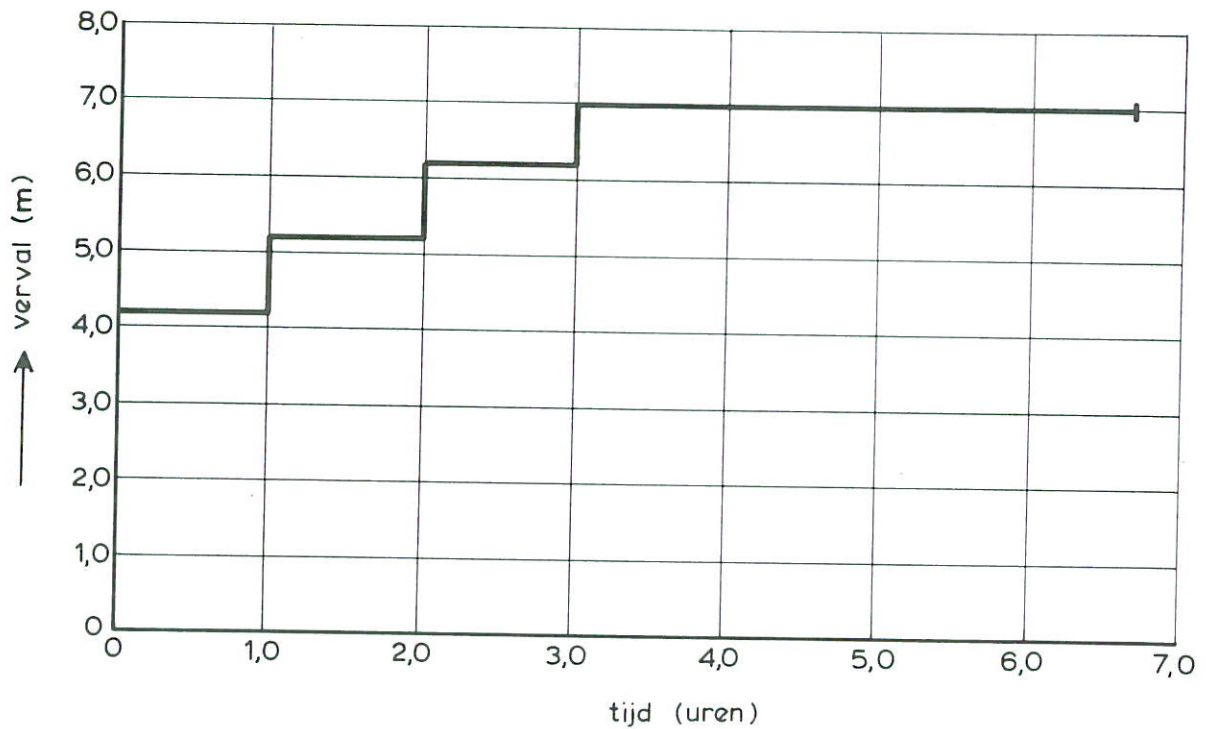
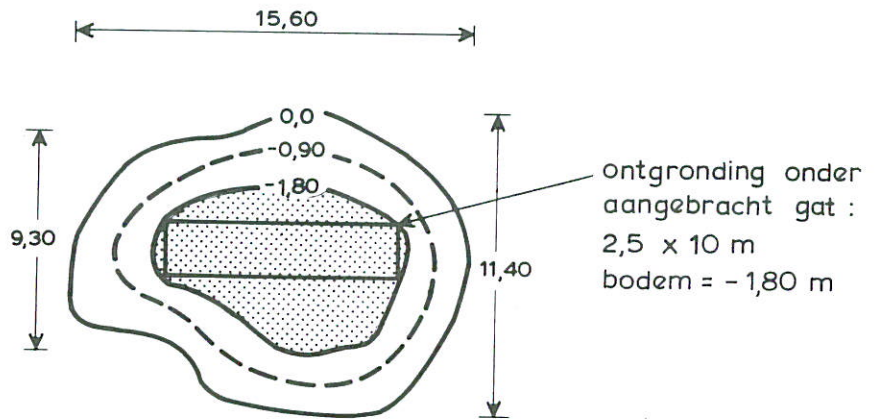
T 10

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2097

FIG. 18





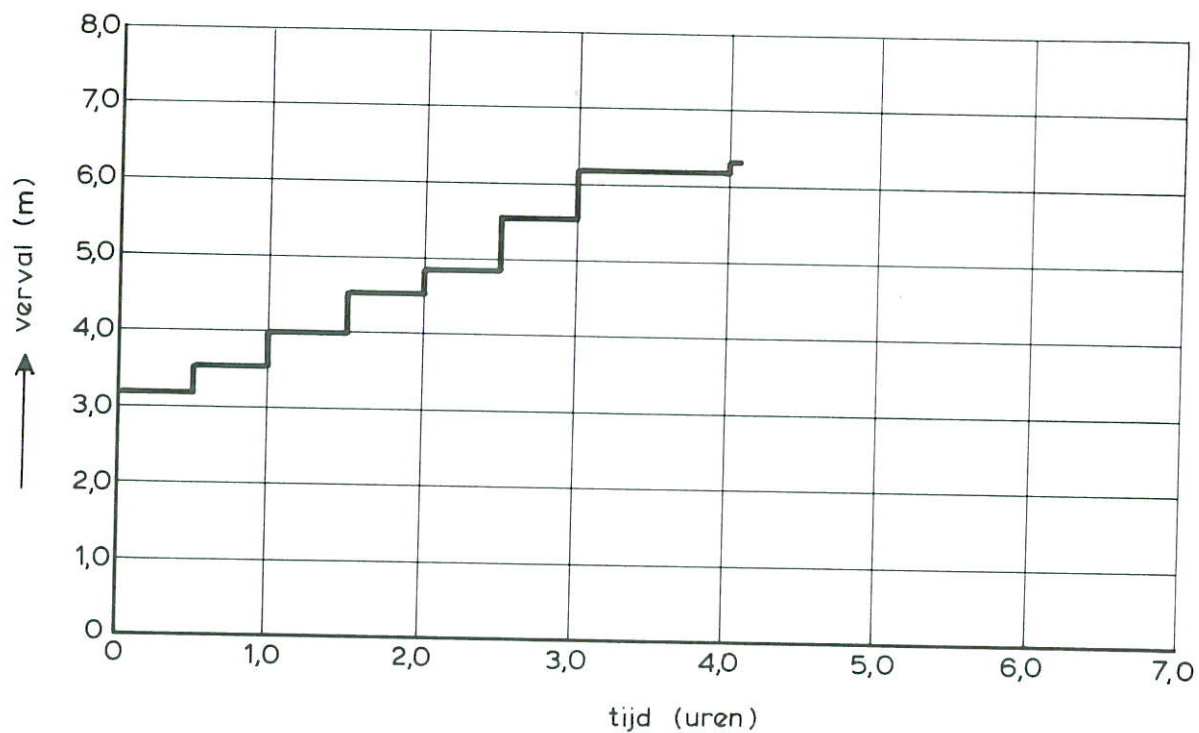
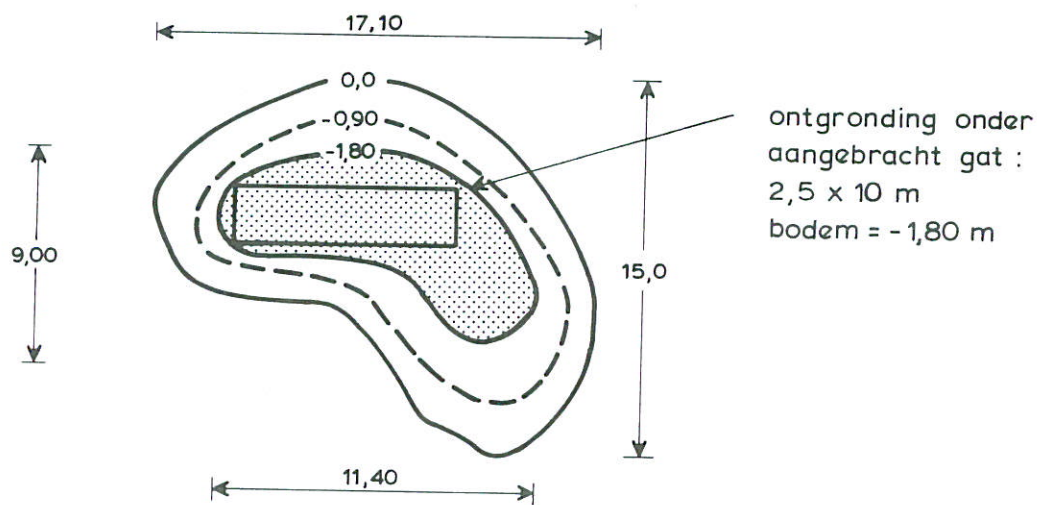
VERLOOP PROEF EN EINDSITUATIE

T 10

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2097

FIG. 19



VERLOOP PROEF EN EINDSITUATIE

T 11

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 2097

FIG. 20

p.o. box 177

2600 mh delft

the netherlands