

waterloopkundig laboratorium  
delft hydraulics laboratory

stormvloedkering Oosterschelde

stroombestendigheid van asfaltmastiëkslabben

AFGEHANDELD

verslag modelonderzoek

---

R 1522

april 1981

- 7 JULI 1981

BIBLIOTHEEK  
Waterloopkundig Laboratorium  
Postbus 177 - DELFT

---

stormvloedkering Oosterschelde

stroombestendigheid van asfaltmastiekslabben

verslag modelonderzoek

---

R 1522

april 1981

## INHOUD

	blz.
1. <u>Opdracht en doel van het onderzoek</u> .....	1
2. <u>Probleemanalyse</u> .....	2
2.1 Factoren die de stabiliteit van asfaltmastiexslabben bepalen.....	2
2.2 Overzicht uitgevoerde proeven.....	4
3. <u>Conclusies</u> .....	5
4. <u>Proefopstelling en uitvoering van de proeven</u> .....	7
5. <u>Resultaten</u> .....	9
5.1 T1, geen onderlinge hechting tussen de asfaltmastiexslabben.....	9
5.2 T2, hechting van warm op koud asfaltmastiek.....	10
5.3 T3, plaatselijke hechting bij een rand loodrecht op de stromings- richting.....	11
5.4 T4, plaatselijke hechting bij een sinusvormige rand van de asfalt- mastiexslab.....	12
5.5 T5, T6, T7, slechte kwaliteit hechting door zandinsluitingen.....	13
5.5.1 Opzet van de proeven.....	13
5.5.2 T5, slechte kwaliteit hechting door zandinsluitingen.....	14
5.5.3 T6, gereduceerde hechting.....	15
5.5.4 T7, slechte kwaliteit van de hechting bij een ribbelformige struc- tuur van de onderlaag en een gladde structuur van de bovenlaag.....	16
5.5.5 Samenvatting.....	17
6. <u>Analyse proefresultaten</u> .....	19
6.1 Stabiliteit randen van bodembeschermingen.....	19
6.2 Invloed sterkte-eigenschappen asfaltmastiek.....	20
6.3 Invloed van de kleefkracht tussen de slabben.....	23

## REFERENTIES

## FIGUREN

- 1 Stroomgoot te Lith
- 2 T1A, Proefopstelling
- 3 T1A, Proefverloop en snelheidsverticaal
- 4 T1A, Drukverloop aan de rand van de asfaltmastiexslab
- 5 T1B, Proefopstelling
- 6 T1B, Proefverloop en snelheidsverticaal
- 7 T2, Proefopstelling
- 8 T2, Proefverloop en snelheidsverticalen
- 9 T2, Drukverloop aan de rand van de asfaltmastiexslab
- 10 T3, Proefopstelling
- 11 T3, Proefverloop en snelheidsverticaal
- 12 T3, Illustratie overlaatwerking rand
- 13 T4, Proefopstelling
- 14 T4, Proefverloop
- 15 T5, T6, T7, Proefopstelling
- 16 T5, T6, T7, Proefverloop
- 17 T5, Stijging rand bij T5
- 18 T5, Drukverloop rond de rand van T5

## STORMVLOEDKERING OOSTERSCHELDE

### STROOMBESTENDIGHEID VAN ASFALTMASTIEKSLABBen

#### 1. Opdracht en doel van het onderzoek

In het kader van het onderzoek voor de Stormvloedkering in de Oosterschelde werd in opdracht van de Hoofdafdeling Waterloopkunde van de Deltadienst van de Rijkswaterstaat in de "stroomgoot Lith" een onderzoek ingesteld naar de stroombestendigheid van asfaltmastiexslabben. De 0,08 m dikke asfaltmastiexslabben vormen een onderdeel van het 0,32 m dikke asfaltmastiexstortebed, dat bij een situatie met een weigerende schuif bestand moet zijn tegen stroomsnelheden van circa 6 m/s.

Dit onderzoek is een aanvulling op de in het verleden verrichte onderzoeken naar de stabiliteit van randen van bodembeschermingen onder invloed van loodrechte aanstroming (R 460) [1] en [2] en onder invloed van scheve aanstroming (M 1724) [3]. Uit deze onderzoeken was gebleken dat het eigen gewicht van de 0,08 m dikke asfaltmastiexslabben niet voldoende is voor de stabiliteit van de rand. Het doel van het huidige onderzoek is de invloed nagaan van een al dan niet volledige onderlinge hechting tussen de slabben en de sterkte-eigenschappen van de asfaltmastiex op de stabiliteit van de asfaltslab.

Omdat deze factoren (hechting en sterkte-eigenschappen) afhankelijk zijn van de wijze van aanbrengen werden de proeven onder zo reëel mogelijke prototype-omstandigheden (afhankelijk van de mogelijkheden van de stroomgoot te Lith) uitgevoerd.

Naast het modelonderzoek in de goot werd aandacht besteed aan het opstellen van een rekenmodel. Alhoewel het modelonderzoek hier niet op was ingericht, werd een toetsing van dit rekenmodel met de proefresultaten uitgevoerd.

Het onderzoek in de stroomgoot te Lith, dat plaatsvond in de periode van november 1979 tot en met maart 1980, werd in nauw overleg tussen de Afdeling Ontwikkeling Nieuwe Werkmethoden (ing. C.D. Nederlof), de Hoofdafdeling Waterloopkunde (ir. M.B. de Groot), de firma Bitumarin B.V. (ir. G.L.M. Mulders) en het Waterloopkundig Laboratorium uitgevoerd. De firma Bitumarin B.V. verzorgde bovendien de inzet van personeel, materieel en materiaal voor de uitvoering.

Dit verslag werd samengesteld door ir. J.L.M. Konter en ing. S. Maat van het Waterloopkundig Laboratorium.

Bij dit verslag hoort een door de Afdeling Ontwikkeling Nieuwe Werkmethoden opgezette fotoboek, dat zich in het archief van de Afdeling te Burghsluis bevindt.

## 2. Probleemanalyse

### 2.1 Factoren die de stabiliteit van asfaltmastiexslabben bepalen

Tengevolge van de verstoring in het stroombeeld door de rand van de asfaltslab ontstaat een drukverdeling (onderdrukken aan de bovenzijde van de slab direct benedenstrooms van de rand), die de slab zal oplichten als het gewicht van de slab te gering is.

De grootte van de onderdrukken blijken afhankelijk te zijn van:

1. de stroomsnelheid
2. de hoek tussen de stroomrichting en de rand
3. de vorm van de rand
4. de oppervlaktestructuur
5. de waterdiepte
6. de oorspronkelijke helling van de bodem.

Factoren die het oplichten van de rand tegengaan zijn:

7. het eigen gewicht (dikte) van de asfaltmastiexslab
8. de onderlinge hechting tussen de asfaltslabben
9. de mechanische eigenschappen van de asfaltslab.

ad 1. Uit voorgaand onderzoek (verslag R 460 IV) is gebleken dat de drukverschillen aan de rand van een bodembescherming evenredig zijn met het kwadraat van de aanstroomsnelheid.

ad 2. Bij het onderzoek M 1724 [3] werd de drukverdeling aan de rand van een asfaltslab gemeten bij verschillende aanstroomhoeken. Hieruit bleek dat het drukverschil  $p_{\alpha}$  bij scheve aanstroming kan worden berekend door het drukverschil bij loodrechte aanstroming ( $p_L$ ) te vermenigvuldigen met het kwadraat van de sinus van de hoek  $\alpha$  tussen aanstroomrichting en de rand van de asfaltslab ( $p_{\alpha} = p_L \sin^2 \alpha$ ).

Bij het huidige onderzoek werd de invloed van een sinusvormige rand op het bezwijkgedrag onderzocht. Een dergelijke rand kan in het prototype ontstaan ten gevolge van de slingerbeweging van het asfaltschip tijdens het gieten van de asfaltslab.

ad 3. De invloed van de vorm van de rand op de drukverdeling werd niet expliciet onderzocht. Aangenomen mag worden dat een grotere scherpere knik grotere drukverschillen zal geven dan een geleidelijker overgang. Het grotere drukverschil kan echter worden gecompenseerd door het grotere eigengewicht van

de rand, zodat de invloed op de stabiliteit niet zonder meer te voorspellen is.

ad 4. Behalve dat de oppervlaktestructuur de drukverdeling bij de rand kan beïnvloeden, kan de oppervlaktestructuur van de asfaltmestiek ook een belangrijke rol spelen bij de onderlinge hechting van de slabben. Bij een sterk geribbeld oppervlak zullen gemakkelijker zandinsluitingen kunnen optreden dan bij een glad oppervlak.

ad 5. Indien de stroming de rand van een asfaltmestiek treft vanuit een ontgrondingskuil, zullen tengevolge van de sterkere kromming van stroomlijnen grotere drukverschillen over de rand ontstaan (zie verslag R 460 IV [1] en [2]). Bij het huidige onderzoek wordt echter alleen van een horizontale bodem uitgegaan.

ad 6. De invloed van de waterdiepte op de proefresultaten werd niet in de stroomgoot te Lith onderzocht. De bij het onderzoek ingestelde waterdiepten waren afhankelijk van de opzet van de proef in de stroomgoot circa 0,03 tot 0,1 maal de waterstanden in het prototype. Hierdoor zal de profielvernaauwing in de stroomgoot groter zijn dan in het prototype. In de stroomgoot zal derhalve boven de oneffenheid bij de slab een versnellingsgebied optreden, dat afwijkt van dat in het prototype. Uit een beschouwing over de energiehogte, waarin de invloed van dit versnellingsgebied vertaald wordt naar een drukverschil over asfaltmestiek-slab volgt dat voor situaties in de stroomgoot met een waterdiepte van 2,5 m (stromend water) eenzelfde drukverschil (met dezelfde gevolgen voor de stabiliteit van de asfaltmestiek-slab) in het prototype optreedt bij 7% hogere stroomsnelheden dan in de stroomgoot. Voor situaties in de stroomgoot met schietend water (waterdiepte 0,7 m) zal een zelfde drukverschil in het prototype bij 2% lagere stroomsnelheden (stromend water) optreden (zie [5] en [7]).

ad 7. Uit voorafgaand onderzoek naar de stabiliteit van randen van bodembeschermingen is een relatie afgeleid tussen het eigen gewicht van de rand en de maatgevende stroomsnelheid (zie paragraaf 5.1). Hieruit blijkt dat bij stroomsnelheden van circa 6 m/s het eigen gewicht van een 0,08 m dikke asfaltslab bij lange na niet voldoende is voor een stabiele ligging.

ad 8. Tengevolge van de uitvoeringswijze van het vaste stortebed is de al dan niet aanwezige hechting een belangrijk aspect voor de stabiliteit. In het prototype kunnen zich de volgende situaties voordoen.

- een volledige hechting van de lagen ontstaat door het kort na elkaar aanbrengen van de lagen

- een minder volledige hechting kan ontstaan doordat op een reeds afgekoelde laag een nieuwe laag wordt aangebracht. Vanwege de hoge temperatuur van deze nieuwe laag is het verklaarbaar, dat zoals tijdens het onderzoek bleek, toch een goede hechting ontstaat.
- een slechts plaatselijk aanwezige hechting, doordat tussen de oude en de nieuwe laag plaatselijk een zandlaagje aanwezig is. Bij een dergelijke situatie is de afstand waarover de lagen niet aan elkaar gehecht zijn van belang.

ad 9. In tegenstelling tot bijvoorbeeld een blokkenmatconstructie bezit de asfaltmastiexslab een bepaalde stijfheid die meewerkt om de slab aan de grond te houden. Daar de elasticiteitsmodulus vanwege de viskeuze eigenschappen van het asfalt een functie van de tijd is, zal bij een bepaalde kritieke situatie een zekere tijdsduur nodig zijn om tot grote vervormingen te komen.

## 2.2 Overzicht uitgevoerde proeven

Het uiteindelijke proevenprogramma zag er als volgt uit:

Bij proef T1, welke diende als referentieproef, werd de onderlinge hechting tussen twee slabben verhinderd door 2 lagen papier. In proef T2 werd bij een bepaalde kwaliteit van de hechting (gieten op afgekoeld asfaltmastic) nagegaan hoe groot de invloed is van deze hechting op de stabiliteit van de rand.

In proef T3 werd beproefd of bij een plaatselijke hechting (langs de gootwanden) de stabiliteit van de asfaltmastiexslabben gewaarborgd blijft. In proef T4 werd evenals bij T3 het bezwijkgedrag bestudeerd, met een meer aan de werkelijkheid aangepaste situering van de slabrand (sinusvorm).

In proeven T5, T6 en T7 werd een slechte kwaliteit van de hechting beproefd, door tussen beide lagen een laagje zand ter dikte van 0,5 mm aan te brengen. Bij proef T5 hadden de oppervlakken van de asfaltmastiexslabben een gladde structuur, bij proef T6 hadden de boven- en onderlaag een ribbelvormige structuur (halve worsten met een straal van 0,05 m) en bij proef T7 had het oppervlak van de onderlaag een ribbelvormige en van de bovenlaag een gladde structuur.



### 3. Conclusies

1. Een 0,08 m dikke asfaltmastieklaag, die los op een onderlaag ligt, wordt aan de rand instabiel bij een stroomsnelheid van 1,85 m/s bij een loodrechte aanstroming. Dit resultaat komt goed overeen met de uit andere onderzoeken (R 460, M 1724) afgeleide uitdrukking voor het instabiel worden van een slabrand met een dikte  $d$ , een relatieve dichtheid  $\Delta$  en een aanstroomhoek  $\alpha$ :

$$u^2 = 4\Delta g d \sin^2 \alpha$$

2. Indien tussen de asfaltmastiexslab en de onderliggende laag een goede hechting bestaat dan ontstaat er nog geen instabiel worden van de rand bij stroomsnelheden van 5,3 m/s, de bij deze proef maximaal haalbare stroomsnelheid in de goot. De hier genoemde goede hechting wordt bereikt als er geen zandinsluitingen aanwezig zijn tussen de lagen, waarbij het niet uitmaakt of de bovenlaag op een al dan niet geheel afgekoelde onderlaag wordt gegoten.
3. Bij een asfaltmastiexslab die aan de gootwanden is ingeklemd en aan de onderliggende laag asfalt gehecht is over een breedte van 0,15 m direct gelegen aan deze wanden, komt de rand van het niet-gehechte middengedeelte plaatselijk omhoog bij stroomsnelheden van circa 5,3 m/s. Bij langdurig aanhouden van de stroomsnelheid wordt het middengedeelte van de gehechte gedeelten losgescheurd.
4. Bij een asfaltmastiexslab met een los van de ondergrond liggende sinusvormige rand die aan de gootwand is ingeklemd en aan de onderliggende laag asfalt gehecht is over een breedte van 0,15 m direct gelegen aan de gootwand, komen de niet-gehechte golfvormige slabben bij stroomsnelheden van circa 3,0 à 3,3 m/s langzaam omhoog. Bij langdurig aanhouden van deze en hogere stroomsnelheden gaan de slabben klapperen, totdat bij de aanhechtingen een breuk ontstaat.
5. Een 0,5 mm dik laagje zand is reeds in staat om een goede hechting onmogelijk te maken. Bij de gietpunten, waar het aanwezige zand werd verdreven, ontstond wel een goede hechting.

6. De hechting hoeft niet over het gehele oppervlak aanwezig te zijn om de kritieke stroomsnelheid waarbij de asfaltmastiexslab loskomt van de ondergrond aanzienlijk te verhogen tot circa 5 m/s bij loodrechte aanstroming. Wel is belangrijk dat de hechting gelijkmatig verdeeld over het oppervlak aanwezig is.
7. Indien de rand van de asfaltmastiexslab gedeeltelijk loskomt, ontstaat er een aanzienlijk grotere kracht op de rand dan in de rusttoestand. Bij stroomsnelheden van circa 5 m/s loodrechte aanstroming wordt hierdoor ook plaatselijk de onderlaag ( $d = 0,32$  m) opgetild.
8. Een rekenmodel waarbij de asfaltmastiexslab wordt beschouwd als een éénzijdig ingeklemde ligger, waarop een gelijkmatig verdeelde belasting werkt welke evenredig is met het kwadraat van de stroomsnelheid en afhankelijk van de mate van ombuiging, blijkt goed in overeenstemming te kunnen worden gebracht met de proefresultaten.
9. Volgens dit rekenmodel kan de invloed van de ombuiging van de asfaltmastiexslab worden verwaarloosd ten opzichte van de hechting indien het hechtoppervlak (gelijkmatig verdeeld) meer dan circa 1% bedraagt.
10. Volgens dit rekenmodel is een gelijkmatig verdeeld hechtoppervlak van minimaal 1% voldoende om er voor te zorgen dat de slab eerst na circa 42 uur stromen met de stroomsnelheid van circa 5,0 m/s instabiel wordt.
11. Omdat de proeven werden uitgevoerd met een beperkte waterdiepte moet bij de vertaling van de resultaten naar het prototype enige voorzichtigheid worden betracht. Theoretische overwegingen geven aan dat voor situaties met stromend water in de goot eenzelfde drukverschil in het prototype optreedt bij 7% hogere stroomsnelheden. Voor situaties met schietend water in de goot treedt eenzelfde drukverschil in het prototype op bij 2% lagere stroomsnelheden (stromend water).

#### 4. Proefopstelling en uitvoering van de proeven

Een overzicht van de proefopstelling in de stroomgoot te Lith is weergegeven in figuur 1. De asfaltmastieklagen werden aangebracht boven het verdiepte gedeelte van de goot tussen de raaien 3 en 17 (zie de figuren 2, 5, 7, 10, 13 en 15). Het verdiepte gedeelte werd tot het vereiste niveau opgevuld met Oosterschelde-zand. Op dit zand werd met een kubel de asfaltmastiek gegoten. Aan de samenstelling van de asfaltmastiek werden dezelfde eisen gesteld als in het bestek DED-1750/37. Bij de proeven was de samenstelling van de asfaltmastiek derhalve 63,7% plaatszand uit de Oosterschelde, 17,9% vulstof en 18,4% bitumen. Bij het gieten bedroeg de temperatuur circa  $160^{\circ}$  à  $180^{\circ}$ C. In tegenstelling tot het prototype werd de mastiek in de goot in den droge aangebracht. Dit heeft geen consequenties voor de eigenschappen van de asfaltmastiek na het afkoelen. Wel zal de uitvloeiing van de asfaltmastiek in het model anders zijn dan in het prototype. Zonder tegenmaatregelen zal de asfaltmastiek in het model meer uitvloeien dan in het prototype. Met behulp van een mal kon echter de rand in de gewenste vorm worden gebracht.

De tweede slab werd gegoten nadat de onderliggende slab minimaal 24 uur onder water was afgekoeld. Hierdoor kon worden nagegaan of de hechting van een tweede laag op een reeds volledig afgekoelde schone onderlaag optimaal was. Bij een aantal proeven werd de onderlinge hechting tussen twee lagen plaatselijk verhinderd door papier in plaats van zand. Door de methode van aanbrengen zou een dun zandlaagje gemakkelijk beschadigd kunnen worden, waardoor plaatselijk toch een zekere hechting zou ontstaan. Dit werd in een later stadium onderzocht door zowel op een gladde als op een ribbelvormige ondergrond een dun laagje zand (dikte circa 0,5 mm) te strooien en daarop de twee laag te gieten. Bij de proef met een ribbelvormige ondergrond (T6, T7) was alleen tussen de ribbels zand aangebracht. De bovenkant van de ribbels bleef hierbij schoon. Dat de ondergrond een ribbelvormige structuur had, was door duikers in het prototype geconstateerd. In de goot werd deze ribbelvorm gerealiseerd door op een gladde ondergrond halve worsten asfaltmastiek met een straal van ca. 0,05 m vast te branden.

Ook kan in het prototype tengevolge van de slingerbeweging van het schip tijdens het gieten van de asfaltmastiekslab een min of meer sinusvormige rand worden gevormd. Bij proef T4 werd daarom met behulp van een mal een sinusvormige rand met een golflengte van 3,14 m en een amplitude van 0,50 m ingebouwd (zie figuur 13). De hechting met de ondergrond werd bij deze proef tot 0,15 m uit de wand verhinderd door papier.

Rondom de randen van de asfaltmastiexslabben werden stijgbuizen ingegoten, waardoor tijdens de proeven een globale indruk van het stijghoogteverloop kon worden verkregen. Deze stijgbuizen waren alleen bedoeld om tijdens de proeven te kunnen constateren (door een plotselinge toe- of afname van de stijghoogte), dat er een wijziging in de positie van de slabwand was opgetreden. Voor een nauwkeurige bepaling van het drukverloop over de rand, zouden (veel) meer stijgbuizen noodzakelijk zijn, terwijl bovendien de schommelingen van de waterstand in de Maas een betrouwbare meting onmogelijk maakten.

Het oplichten van de rand van de asfaltmastiexslab kon ook worden gemeten door aan deze rand een dunne kabel te bevestigen en deze kabel via de bodem en enkele katrollen naar het meetgedeelte te leiden (zie figuur 15).

Tijdens de proeven werd de stroomsnelheid in stappen opgevoerd. In een aantal raaien (afhankelijk van de ligging van de rand van de asfaltmastiexslab) werden met behulp van een Ott-molen stroomsnelheidsverticalen gemeten. Zodra er sprake was van een verandering in hoogteligging van de asfaltmastiexslab werd de stroomsnelheid niet verder opgevoerd en gedurende lange tijd gehandhaafd. Indien er bij een proef geen beweging van de rand werd geconstateerd, werd de maximaal instelbare stroomsnelheid (circa 5,5 m/s bij schietend water) gedurende een bepaalde tijd aangehouden.

## 5. Resultaten

### 5.1 T1, geen onderlinge hechting tussen de asfaltmastiexslabben

Proef T1 werd uitgevoerd als referentie voor de volgende proeven. De proefopstelling van T1 is weergegeven in figuur 2. Hieruit blijkt dat proef T1 gelijktijdig met proef T2 (volledige onderlinge hechting tussen de asfaltmastiexslabben) werd ingebouwd. Doordat de kritieke stroomsnelheden voor beide situaties duidelijk van elkaar verschilden, wordt het resultaat van T1 en T2 hierdoor niet beïnvloedt. Proef T1 werd opgebouwd door op de onderbaan een tweede laag aan te brengen, waarbij de gewenste dikte van de rand werd verkregen door middel van een mal (een balk met een hoogte van 0,05 m). Door het aanbrengen van twee lagen papier werd een hechting tussen de slabben onderling, en tussen de slab en de gootwand verhinderd.

Uit het overzicht van het proefverloop (figuur 3) blijkt dat de stroomsnelheid in 2 stappen werd opgevoerd tot 1,85 m/s. Na een stroomperiode van circa 30 minuten met een gemiddelde stroomsnelheid van circa 1.85 m/s werd waargenomen dat de asfaltmastiexslab langzaam omhoogkwam. Na één uur stromen bedroeg de stijging van de asfaltslab 45 mm (zie figuur 3). Het model werd drooggezet om de positie van de asfaltmastiexslab nader te kunnen bekijken. Tijdens deze periode zakte de asfaltmastiexslab volledig terug in zijn oorspronkelijke positie. Na deze onderbreking van de proef werd de stroomsnelheid van 1,85 m/s opnieuw ingesteld, waarna bleek dat de asfaltmastiexslab opnieuw omhoogkwam. Na 52 minuten kwam de slab over zijn gehele lengte omhoog en brak af bij raai 13.25 (zie figuur 3). Gelijktijdig met het omhoogkomen van de asfaltmastiexslab nam ook het drukverschil tussen de meetpunten 10 en 15 (respektievelijk boven en benedenstrooms van de rand) geleidelijk toe (zie figuur 4).

Door het afbreken van de asfaltmastiexslab bij raai 13,25 werd ter plaatse een nieuwe rand gevormd met een dikte van 0,12 m. Besloten werd om ook deze asfaltmastiexslab op het bezwijkgedrag te onderzoeken (proef T1 B). Er kon bij deze proef echter geen gebruik van de stijgbuizen gemaakt worden en slechts ten dele van de stijgingsverklikkers, omdat deze tijdens de inbouw moeten worden aangebracht. Een indicatie van de stijging werd wel verkregen door de stijgingsverklikker van proef T1 A te verlengen naar de rand van T1 B (zie figuur 5). Door deze opstelling moet echter de rand van de slab reeds aanzien-

lijk stijgen voordat dit op het afleesbord kan worden waargenomen.

De eerste beweging van de rand werd waargenomen bij een gemiddelde stroomsnelheid van 2,15 m/s, welke na 17 minuten resulteerde in een totaal bezwijken (omklappen) van de asfaltmastiexslab (zie figuur 6).

Doordat de asfaltmastiexslab bij het bereiken van de kritieke stroomsnelheid niet plotseling omklapt, maar ook het tijdsduurrespect een rol speelt kan worden geconcludeerd dat bij de beoordeling van de stabiliteit ook de sterkte-eigenschappen (elasticiteit, viskositeit en traagheidsmoment) van de asfaltmastiexslab in beschouwing moeten worden genomen (zie paragraaf 6.2).

## 5.2 T2, hechting van warm op koud asfaltmastic

Bij proef T2 werd bij een bepaalde kwaliteit van de hechting (gieten op afgekoeld asfaltmastic) nagegaan hoe groot de invloed van de hechting is op de stabiliteit van de asfaltmastiexslabben.

De onderlinge hechting tussen de twee asfaltmastiexslabben bij proef T2 werd verkregen door de warme vloeibare asfaltmastic van de tweede laag rechtstreeks op de reeds afgekoelde onderlaag te gieten. Hierbij werd er in eerste instantie vanuitgegaan dat een volledige hechting (= samenvloeiing) ontstaat wanneer de tweede laag op een nog niet afgekoelde onderlaag wordt aangebracht. Het is echter niet onredelijk te veronderstellen dat de tweede warme laag ook de onderlaag verwarmt, zodat ook bij proef T2 vrijwel een volledige hechting zal zijn ontstaan.

Uit het proefoverzicht van figuur 8 volgt dat de stroomsnelheid in een aantal stappen werd opgevoerd tot de maximaal in de stroomgoot instelbare stroomsnelheid van circa 3,06 m/s. Nadat was geconstateerd, dat er geen stijging van de rand had plaatsgevonden, werd door het plaatsen van een verticaal schot een volkomen overlaatsituatie gecreeerd, die de stroomsnelheid boven de proefsectie vergrootte tot circa 5,70 m/s bij een waterdiepte van 0,70 m. Na twee uur stromen met deze stroomsnelheid van circa 5,70 m/s bleek, dat de rand circa 1,5 mm omhoog was gekomen over een afstand van circa 0,15 m. Een uur na het beëindigen van de proef was de slab echter weer in zijn uitgangspositie teruggezakt. Bij het droogzetten van het model bleek tevens de bodemverdediging benedenstrooms van de proefsectie dusdanig te zijn beschadigd dat een verdere voortzetting van de proef niet meer mogelijk was.

Uit het verloop van de drukken aan de rand van de asfaltslab blijkt bij proef T2, evenals bij proef T1 het drukverschil evenredig te zijn met het kwadraat van de stroomsnelheid (zie figuur 9), hetgeen in overeenstemming is met vorige onderzoeken. Figuur 8 geeft enkele gemeten snelheidsverticalen.

### 5.3 T3, plaatselijk hechting bij een rand loodrecht op de stromingsrichting

Bij T3 werd nagegaan of bij een plaatselijke hechting de stabiliteit van de asfaltmastiexlab gewaarborgd blijft door de sterkte van het asfaltmastic zelf, ofwel bij welke stroomsnelheden gaat bij plaatselijke hechting de stabiliteit toch verloren (zie figuur 10).

Hiertoe werd bij T3 langs de gootwanden over een breedte van 2 x 0,15 m de bovenlaag aan de onderlaag gehecht, door in dit gebied geen papier tussen de lagen aan te brengen. Bovendien werden aan de gootwand ijzeren hoekprofielen bevestigd, waar de tweede asfaltmastiexlab omheen werd gegoten.

De stroomsnelheid werd in stappen opgevoerd tot de bij een waterdiepte van 2,70 m maximaal instelbare stroomsnelheid van 3,25 m/s. Na enige uren stromen met deze stroomsnelheid werd geen stijging van de rand geconstateerd. Vervolgens werd door middel van het plaatsen van een verticaal schot op circa 15 m voor de rand een volkomen overlaat situatie gecreëerd. Hierdoor ontstond ter plaatse van de proefsectie een stroomsnelheid van 5,2 m/s, bij een waterdiepte van 0,6 m. Na 25 minuten stromen met deze stroomsnelheid was de rand van de asfaltmastiexlab in het midden 0,08 m omhooggekomen (zie figuur 11). Deze 0,08 m betekende ten opzichte van de waterdiepte van 0,60 m een relatief sterke vernauwing van het doorstroomprofiel, waardoor de opstaande rand van de asfaltmastiexlab als een drempel ging werken. Bovendien begon vervolgens vanaf de overgang betonrand-asfaltmastic de gehele 0,32 m dikke asfaltmastic over een lengte van enige meters omhoog te komen. Het stroombeeld, alsmede de stroomsnelheden, ondergingen daardoor zodanige wijzigingen, dat na een totale stroomperiode van ca. 50 minuten de proef werd onderbroken. Nadat de schade was hersteld, werd het verticale schot verplaatst naar de overgang betonrand-asfaltmastic. Op de proefsectie kon nu weer schietend water worden verkregen zonder kans op beschadiging van de bovenstrooms van de rand (T3) gelegen asfaltmastiexlab. De asfaltmastiexlab (T3) was inmiddels weer teruggezakt in zijn uitgangspositie (zie figuur 11).

Na 10 minuten stromen met een stroomsnelheid van circa 5,2 m/s werd de goot opnieuw drooggezet voor herstelwerkzaamheden aan het schot. De rand van de asfalt-

mastiexslab bleek inmiddels circa 0,18 m omhoog te zijn gekomen. Na de herstelwerkzaamheden bleek de rand van de asfaltmastiexslab weer in zijn oorspronkelijke positie te zijn teruggekeerd. In de hierna volgende stroomperiode, waarbij de stroomsnelheid van 5,2 m/s weer terugliep tot circa 3,0 m/s werd een omhoogkomen van de rand geconstateerd van ca. 0,40 m, waarbij aan één zijde de slab over een afstand van ca. 0,20 m was ingescheurd langs de hechtrand. In de lengterichting van de goot was de slab over circa 2,0 m opgebald. Deze opbolling zette zich bij het verdere verloop van de proef voort, zodat als het ware een tunnel tussen de bovenste en onderste asfaltmastiexslab ontstond. De proef werd beëindigd toen na 80 minuten het gehele benedenstroomse deel van de slab omhoogkwam. De slab was toen aan beide zijden van hechtrand ingescheurd en de rand stond circa 0,80 m omhoog.

Ter illustratie van de wijzigingen in het stroombeeld ten gevolge van het omhoogkomen van de rand zijn in figuur 12 een aantal momentopnames van het stroombeeld weergegeven tijdens het laatste deel van de proefperiode.

In verband met de uitvoering van de proef tijdens een vorstperiode was het niet mogelijk de stijghoogten rond de rand van de asfaltslab te meten.

#### 5.4 T4, plaatselijke hechting bij een sinusvormige rand van de asfaltmastiexslab

Bij proef T4 werd evenals bij T3 het bezwijkgedrag van de asfaltmastiexslab bestudeerd, waarbij de situering van de slabrand ten opzichte van de stroomrichting meer aan de werkelijkheid werd aangepast. In het prototype zal namelijk tengevolge van de slingerbeweging van het asfaltschip tijdens het leggen een onregelmatige rand worden gevormd. Tezamen met een richtingsafwijking van de stroming zal de rand plaatselijk onder een hoek van maximaal  $45^{\circ}$  worden aangestroomd. In het model werd deze situatie geschematiseerd tot een zuivere sinusvorm (golflengte = 3,14 m en een amplitude van 0,5 m). Er werden 4 golven in serie ingebouwd, die aansloten op een strook asfaltmastiex ter breedte van 0,5 m (zie figuur 13). Van deze 0,5 m was 0,15 m (nabij de gootwand) gehecht aan de ondergrond. Van de overige 0,35 m en de golven werd de hechting met de ondergrond verhinderd door 2 lagen papier.

Ter plaatse van de eerste en derde golf waren stijgbuizen en stijgingsverklikkers aangebracht (zie figuur 13).



Het verloop van de proef betreffende de ingestelde stroomsnelheden wordt in figuur 14 weergegeven.

Na een stroomperiode van circa 11,0 uren met een bij een waterdiepte van 2,70 m maximaal instelbare stroomsnelheid van 3,25 m/s waren de golven 2 en 4 op 0,75 m uit de gootwand respectievelijk 0,01 en 0,10 m omhooggekomen.

De golven 1 en 3 sloten nog goed aan aan de ondergrond. Tijdens het verdere verloop van de proef bleek golf 1 volledig stabiel te zijn en golf 3 pas na een totale stroomperiode van 16,5 uren iets omhoog te zijn gekomen. De golven 2 en 4 vertoonden daarentegen bij een stroomsnelheid van 3,25 m/s een duidelijke stijging. Golf 2 was na een stroomperiode van in totaal 13 uren circa 0,6 m omhooggekomen en vertoonde na een stroomperiode van 16,5 uren enige scheurvorming bij de hechtrand.

Tijdens de daaropvolgende stroomperiode met schietend water en stroomsnelheden van 5,2 m/s was vooral de rand van golf 2 voortdurend in beweging. Na 2 uur stromen bleek dat golf 2 bij de aanhechting een scheur vertoonde en dat de randen van de golven 3 en 4 circa 0,20 m omhoog waren gekomen. Verwacht mag worden dat de losliggende golven bij langdurige belasting met stroomsnelheden van 3,5 à 5,0 m/s op den duur zullen afbreken bij de hechtranden.

Het aantal stijgbuizen was bij deze proef te gering om een betrouwbaar beeld van het drukverloop rondom de sinusvormige rand te geven. In verband hiermee wordt er hier niet verder op ingegaan.

## 5.5 T5, T6, T7, slechte kwaliteit hechting door zandinsluitingen

### 5.5.1 Opzet van de proeven

De proeven T5, T6 en T7 werden tegelijkertijd in de stroomgoot ingebouwd (zie figuur 15) en grotendeels ook tegelijkertijd uitgevoerd. Bij het onderzoek werd de invloed van een slechte kwaliteit van de hechting tussen de slabben onderling en de invloed van de oppervlaktestructuur van de asfaltmastiexslabben op het bezwijkgedrag onderzocht.

### 5.5.2 T5, slechte kwaliteit hechting door zandinsluitingen

#### Inbouw

In proef T5 werd een slechte kwaliteit van de hechting beproefd, door op een laag asfaltmastiek (ter grootte van  $2 \times 2 \text{ m}^2$ ) met een relatief gladde oppervlakte structuur een laagje zand met een gemiddelde dikte van circa 0,5 mm te strooien. Daarna werd op dit oppervlak een tweede laag asfaltmastiek onder water gegoten. Ook de bovenliggende laag had een gladde oppervlaktestructuur. De verminderde kwaliteit van de hechting werd dus bewerkstelligd door de aanwezigheid van het zandlaagje en door het onder water sneller afkoelen van de warme asfaltmastiek.

#### Proefverloop

De stroomsnelheid werd in stappen opgevoerd tot de bij een waterdiepte van 2,5 m maximaal ingestelde stroomsnelheid van 3,25 m/s (zie figuur 16). Tijdens deze periode werd geen stijging van de stijgingsverklikkers waargenomen. Bij inspectie in de drooggezette goot bleek dat de rand van de slab langs de wand aan de stuwzijde wel circa 0,02 m omhoog was gekomen. Ook op circa 1,2 m uit de gootwand was de rand plaatselijk 0,05 m à 0,01 m omhooggekomen. Vervolgens werd door het plaatsen van een verticaal schot op een afstand van 14,5 m voor de rand van de asfaltmastiexslab, ter plaatse van de rand een stroomsnelheid van 5,3 m/s bij een waterdiepte van 0,60 m gecreëerd. Na een half uur stromen gaf de stijgingsverklikker een stijging van de rand aan (zie figuur 17). Bij inspectie van de drooggezette goot (na 2 uur stromen) werd een maximale stijging gemeten van circa 0,05 m op 0,50 m uit de gootwand (raai I), waarbij de mat over een lengte van 0,3 m in langsrichting was opgetild. Ter plaatse van de gietpunten (circa 0,60 m uit de gootwand aan de stuwzijde) bleek de rand nog niet omhoog te zijn gekomen. Bij voortzetting van de proef met stroomsnelheden van 5,3 m/s bleek de slab verder omhoog te komen. Na circa 1 uur ging de omhooggekomen rand als een drempel werken, waardoor de stroomsnelheid ter plaatse van de rand tot 2,8 m/s daalde. Desondanks ging de stijging van de slabrand door. Bij inspectie in de goot aan het einde van de proef bleek de rand bij de gootwanden circa 0,25 m omhoog te zijn gekomen en over een afstand van 0,5 m los te liggen van de ondergrond. Ook bleek de gehele onderlaag over een lengte van 5,0 m omhoog te zijn gekomen.

### Gedrag hechting

Bij het afbreken van de proefopstelling kon worden geconstateerd dat de hechting tussen de twee asfaltmastiexslabben zich voornamelijk concentreerde op de 2 gietpunten (zie figuur 17). Bij het losbreken van de bovenste slab van de onderlaag werd een breukvlak gevormd in de bovenste slab en niet op het scheidingvlak. Op de overige plaatsen lagen ten gevolge van het aanwezige laagje zand de slabben los van elkaar. De hechting ter plaatse van de gietpunten was dus optimaal. Een globale schets van het hechtoppervlak is weergegeven in figuur 17. Hieruit blijkt dat er twee hechtvlakken ter grootte van  $0,3 \times 0,3 \text{ m}^2$  aanwezig zijn op circa 0,25 m uit de rand van de slab. Uit het feit dat ter plaatse van de gietpunten de hechting tussen de twee slabben optimaal was, kan afgeleid worden dat de invloed van het gieten onder water, en dus van de snelheid van afkoelen op de mate van hechting nihil is. Hoogstens kan de waterdiepte enige invloed hebben op de grootte van het hechtoppervlak. De grootte van het hechtoppervlak in een situatie met een dun laagje zand wordt voornamelijk bepaald door de eroderende werking van de tijdens het gieten opgewekte stroomsnelheid van het mastiek en/of het water. Nagegaan zal moeten worden of bij het aanbrengen van het asfaltmastiek in het prototype ook een eventueel aanwezige zandlaag wordt verdreven.

#### 5.5.3 T6, gereduceerde hechting

##### Inbouw

Bij T6 werd zowel de oppervlakte van de onderlaag als van de bovenlaag voorzien van een ruwe structuur. Deze ruwe structuur werd verkregen door halve mastiekrollen met een diameter van 0,10 m op een laag met een dikte van 0,03 m vast te branden. De totale dikte van de mat bedroeg daardoor ca. 0,08 m. Op de onderlaag werd een laagje zand gestrooid, dat de mastieklaag geheel bedekte. Daarna werd met een stroomsnelheid van 0,8 m/s gestroomd totdat de bovenkant van de mastiekrollen vrij was van zand. Op deze onderlaag werd met behulp van een kubel onder water de bovenlaag gegoten ter dikte van 0,03 m. Verondersteld mag worden dat hierdoor een goede hechting van de bovenlaag met de bovenkant van de mastiekrollen van de onderlaag werd verkregen. Op deze bovenlaag werden de geprefabriceerde mastiekrollen vastgebrand ter verkrijging van de gewenste ruwheid.

### Proefverloop

Het proefverloop van T6 was dezelfde als van T5, met dien verstande dat op het moment van beëindiging van T5 in verband met het bezwijken van de onderlaag, bij T6 nog sprake was van enig omhoogkomen van de rand van de slab met een ruwe oppervlaktestructuur.

In het overzicht van het verloop van de proeven T5, T6 en T7 zijn de stroomsnelheden ter plaatse van de rand van T5 weergegeven. Tengevolge van de lagere waterspiegel ter plaatse van de rand bij T6 zijn de stroomsnelheden echter 5 à 10% hoger dan in figuur 17 is aangegeven.

Aangezien door het bezwijken van T5 de stroomsnelheden ter plaatse van de rand van T6 gereduceerd werden, werd het 0,90 m hoge schot verplaatst naar raai 4,5 (5,5 m voor de rand T6). De stroomsnelheid ter plaatse van de rand van T6 steeg daardoor weer tot ca. 5.30 m/s. Na een stroomperiode van ca. 2 uur was aan één zijde de rand van de bovenlaag ca. 0.02 m losgeraakt van de onderlaag. Ook hier kon worden geconstateerd, dat de onderlaag en de bovenlaag weer in één geheel was opgetild (maximaal ca. 0,20 m).

### Gedrag hechting

Bij het afbreken van de proefopstelling bleek dat de overlap slechts op een beperkt aantal plaatsen volledig aan de onderste laag was gehecht. De hechtoppervlakken aan de bovenkant van de rollen waren ca. 20 mm breed, en circa 100 à 150 mm lang. Ter plaatse van de gietpunten was de hechting over een groter oppervlak uitgespreid. Het totale hechtoppervlak werd op circa 10% van het totale oppervlak geschat. De rand van de asfaltmastiexslab (raai 10) was gedeeltelijk gehecht aan de onderliggende laag. Deze hechting was echter voldoende om tot stroomsnelheden van 3,2 m/s het oplichten van de bovenste slab te voorkomen en bij stroomsnelheden van 5,3 m/s het oplichten van de asfaltslab aanzienlijk te vertragen. (Totale stijging was circa 20 mm na circa 5 uur stromen met een stroomsnelheid van 5,3 m/s.)

#### 5.5.4 T7, slechte kwaliteit van de hechting bij een ribbelvormige structuur van de onderlaag en een glade structuur van de bovenlaag

Het verschil tussen T6 en T7 bestond hierin, dat de overlap van T7 een relatief gladde (aangeharkte) structuur had. Tot na het beëindigen van T6 had er geen beschadiging van de rand van T7 plaatsgevonden. De stroomsnelheden ter plaatse van de rand van T7 (raai 14) waren iets lager ten gevolge van het opstuwingseffect

van de benedenschuif. De stroomsnelheid kon slechts opgevoerd worden tot ca. 5,30 m/s door het 0,90 m hoge schot te verplaatsen naar raai 9. Nadat in deze situatie 2 uur gestroomd was, bleek de rand van de bovenlaag in het midden van de goot ca. 0,08 m ten opzichte van de onderste laag omhoog gekomen te zijn. Bovendien was ook nu weer de gehele constructie (onderste en bovenste asfaltmastieklaag) opgetild (maximaal ca. 0,40 m). De hechting vertoonde eenzelfde beeld als bij T6.

#### 5.5.5 Samenvatting

Uit de proeven T5, T6 en T7 kan worden geconcludeerd dat de hechting niet over het gehele oppervlak aanwezig hoeft te zijn om de kritieke stroomsnelheid, waar- bij de asfaltmastiexlab los komt van de ondergrond aanzienlijk te verhogen (van 1,85 m/s naar circa 5 m/s). De hechting tussen de asfaltmastiexlagen was bij de proeven volledig indien het uitstromende asfaltmastiex in staat was de op de onderlaag aanwezige zandlaag te verdrijven.

In alle drie gevallen (T5, T6 en T7) werd ter plaatse van de rand over een lengte van circa 5 m een omhoogkomen van de totale constructie waargenomen. Hiervoor zijn twee mogelijke oorzaken aan te wijzen:

- a Door het gedeeltelijk loskomen van de rand van de asfaltmastiexlaag van de onderliggende laag wordt op deze rand en ook (bij voldoende buigstijfheid en hechting) op de eronder liggende laag een zodanig grote opwaartse kracht op de constructie uitgeoefend, dat deze gedeeltelijk wordt opgetild.
- b Bij aanwezigheid van het schot op de asfaltmastiexconstructie kan door een niet volledige (bv. beschadigde) hechting van de asfaltmastiex aan de wanden een overdruk over het benedenstrooms van het schot gelegen deel van de constructie ontstaan. In de meest extreme situatie (bovenstrooms van het schot "lek", benedenstrooms "dicht") is deze overdruk gelijk aan het verschil in waterstand tussen het boven- en benedenstroomse deel (circa  $1,5 \text{ mwk} = 1,5 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ ). Gecombineerd met de eerstgenoemde oorzaak zal ter plaatse van de rand de grootste opwaartse kracht optreden en zal daar de constructie het eerst worden opgetild.

Omdat bij proef T5 het schot niet op de asfaltmastiexconstructie was geplaatst kan hier alleen sprake geweest zijn van de eerst genoemde oorzaak. Dit blijkt bv. ook uit de metingen van het drukverloop rondom de rand.

Uit figuur 18 blijkt dat er weer een rechtlijnig verband bestaat tussen het drukverschil over de rand en het kwadraat van de stroomsnelheid. Het grootste drukverschil dat tussen deze twee punten werd gemeten bedroeg circa 1,20 m bij een stroomsnelheid van 5,2 m/s. Hierbij moet worden aangetekend, dat er tengevolge van het turbulente karakter een sterke schommeling in de stijgbuisjes aanwezig was. Bovendien worden de stijgbuismetingen onbetrouwbaar zodra de slab loskomt van de ondergrond. De stijgbuizen worden dan los van de mastieklaag getrokken waardoor er lekkages ontstaan tussen de stijgbuis en de mastieklaag. Aannemende dat het bij een stroomsnelheid van 5,3 m/s gemeten drukverschil van 1,20 m.w.k. ( $= 1,2 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ ) over een lengte van circa 1 m een gelijkmatig verdeelde belasting op de asfaltmastiekslab geeft, dan werkt op de totale mastieklaag een opwaarts gerichte kracht van  $1,2 \times 10^4 \times 1,2 = 2,4 \times 10^4 \text{ N}$ . Het gewicht van de totale mastieklaag over een lengte van 5 m bedraagt  $0,24 \times 2 \times 5 \cdot (2100 - 1000) \times 9,81 = 2,6 \times 10^4 \text{ N}$  hetgeen van dezelfde orde van grootte is. Deze berekening, hoe gebrekkig ook, geeft een bevestiging van het vermoeden dat de gedeeltelijk omhooggekomen rand van een asfaltslab bij grote stroomsnelheden de gehele mastieklaag kan optillen.

Bij de proeven T6 en T7 kunnen beide oorzaken een rol gespeeld hebben. Door de onbetrouwbaarheid van de uitgevoerde drukmetingen kan hier evenwel niet worden nagegaan in welke mate elk van deze twee oorzaken een rol heeft gespeeld.

In het prototype zal hooguit de eerstgenoemde oorzaak een rol kunnen spelen. Voorwaarde is echter wel dat door de plaatwerking van de slabben de sterke aanval over grote lengtes moet plaats vinden.

## 6. Analyse proefresultaten

### 6.1 Stabiliteit randen van bodembeschermingen

Uit voorgaand onderzoek naar de stabiliteit van randen van bodembeschermingen is gebleken dat de kritieke stroomsnelheid waarbij een rand zijn stabiliteit verliest kan worden berekend met:

$$\beta \cdot \frac{u^2}{2g} \cdot \rho_w g = (\rho_a - \rho_w) \cdot d \cdot g \quad (1)$$

waarin:  $\beta$  = een coëfficiënt, afhankelijk van de vorm van de rand en de aanstroming ( $0,5 < \beta < 1,0$ )

$u$  = kritieke stroomsnelheid (m/s)

$\rho_w$  = dichtheid water (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_a$  = dichtheid asfaltmastiek (= 2100 kg/m<sup>3</sup>) (kg/m<sup>3</sup>)

$d$  = dikte van de rand (m)

$g$  = versnelling van de zwaartekracht (m/s<sup>2</sup>)

In proef T1 A en T1 B werden kritieke stroomsnelheden gemeten van 1,85 m/s voor een 0,08 m dikke rand en 2,15 m/s voor een 0,12 m dikke rand. Dit betekent dat  $\beta$  voor deze situaties volgens (1) gelijk is aan  $\beta = 0,5$ .

Relatie (1) geldt voor situaties met een loodrechte aanstroming. In het onderzoek naar de drukverdeling aan de rand van een asfaltslab bij scheve aanstroming (M 1724), wordt aangetoond dat bij een hoek  $\alpha$  tussen de stromingsrichting en de rand van de asfaltslab de opwaartse druk wordt gereduceerd volgens

$$P = P_L \sin^2 \alpha \quad (2)$$

Derhalve kan (1) worden uitgebreid tot:

$$\beta \frac{u^2}{2g} = \frac{(\rho_a - \rho_w)}{\rho_w} \cdot \frac{d}{\sin^2 \alpha} \quad (3)$$

In proef T4 met een sinusvormige asfaltslab varieert  $\alpha$  van 0 tot 45°. Over een lengte van ca. 1,75 m is  $\alpha$  groter dan 30° en bedraagt  $\sin^2 \alpha$  daar 0,3 à 0,5. Dit betekent dat de kritieke stroomsnelheid (3) gelijk moet zijn aan 2,6 à 3,4 m/s. Bij proef T4 werd 3 à 3,2 m/s gemeten.

## 6.2 Invloed sterkte-eigenschappen asfaltmastiek

Uit de proeven T1 bleek echter dat het omklapproces zich niet plotseling voltrok, maar dat een bepaalde belastingstijd noodzakelijk was om tot grote vervormingen te komen. Dit betekent dat ook de stijfheid van de slab meewerkt als stabiliserende factor. Het effect hiervan op de benodigde tijd waarop de belasting moet werken om tot bezwijken te leiden, is als volgt af te schatten: (zie ook notitie DDWT-80.268 van ir. M.B. de Groot). Indien de slab aan de ondergrond aansluit zal tengevolge van de kromming van de stroomlijnen op de discontinuïteit (rand) een opwaarts gerichte belasting werken die evenredig is met het kwadraat van de snelheid:

$$P_o = \int_1^2 \frac{\rho u^2}{r} dn \quad (4)$$

Uit (1) volgt dat deze belasting te benaderen is door:

$$P_D = C_D \rho u^2 \quad (5)$$

Zolang de rand aangesloten blijft, kan  $C_D$  als een constante worden beschouwd, dat wil zeggen dat het stroombeeld voor de verschillende situaties bij de rand niet te veel verschilt en dat de kromming van de stroomlijnen ongeveer gelijk is.

Deze liftkracht zal wanneer het eigen gewicht van de slab niet voldoende is de rand enigszins omhoog tillen waardoor de stroming onder de slab kan komen en er een stuwdruk ontstaat ter grootte van:

$$P_s = C_D \frac{1}{2} \rho_w u^2 \quad (\text{N/m}^2) \quad (6)$$

Volgens de proeven beschreven in het verslag M 1724 is de belasting tengevolge van de kromming niet gelijkmatig verdeeld over de gehele lengte van de asfaltslab, maar geconcentreerd direct bij de rand. De slab sloot bij de proeven echter volledig aan de ondergrond aan.

Volgens de proevenserie beschreven in het verslag R 460-IV is de resulterende belasting over de omhooggekomen asfaltslab wel gelijkmatig verdeeld (zie R 460-IV, figuur 19) en neemt deze druk toe naarmate de slab meer omhoog komt (zie R 460-IV, figuur 18). In deze situatie verandert dus ook  $C_K$ .



In het vervolg wordt er vanuitgegaan dat de situatie van R 460-IV geldig is (slab iets los van de ondergrond) en dat de belasting over de lengte van de (losgekomen) slab gelijkmatig verdeeld is. De slab wordt beschouwd als een eenzijdig ingeklemde ligger met een gelijkmatig verdeelde belasting  $q$ . De ombuiging  $f$  kan voor deze situatie worden berekend:

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

waarin:  $q$  = gelijkmatig verdeelde belasting (N/m<sup>2</sup>)  
 $S$  = elasticiteitsmodulus =  $(3\eta/t)$  (N/m<sup>2</sup>)  
 $\eta$  = dynamische viscositeitscoëfficiënt (=10<sup>11</sup>) (N/m<sup>2</sup>)  
 $t$  = tijd (s)  
 $I$  = traagheidsmoment (=  $\frac{1}{12} h^3$  per eenheid van breedte) (m<sup>4</sup>/m)  
 $l$  = lengte asfaltslab (m)

Bij groter wordende ombuiging neemt de belasting  $q$  toe (R 460-IV, figuur 18). Verondersteld wordt dat de belasting  $q$  verdeeld kan worden in twee componenten  $q_0$  en  $q_1$ .

$$q = q_0 + q_1 \quad (8)$$

Indien de slab aansluit op de bodem kan voor  $q_0$  worden geschreven:

$$q_0 = C_0 \rho_w u^2 - (\rho_a - \rho_w) g d \quad (9)$$

Bij het omhoogkomen van de slab ontstaat een extra kracht die geschreven kan worden als:

$$K = C_1 \rho_w u^2 \cdot f \quad (N/m) \quad (10)$$

waarbij verondersteld wordt dat de extra kracht lineair afhankelijk is van de grootte van de ombuiging. De extra belasting op de slab door het omhoogkomen kan worden voorgesteld door:

$$q_1 = C \cdot f \quad (11)$$

$$\text{met } C = \frac{C_1 \rho_w u^2}{1} \quad (N/m) \quad (12)$$

De totale belasting op de slab wordt gemakshalve geschreven als:

$$q = q_0 + C.f \quad (13)$$

Zodat (7) kan worden omgewerkt tot:

$$f = \frac{q_0 t}{\frac{24\eta I}{l^4} - C.t} \quad (14)$$

Uit (14) volgt dat de ombuiging maximaal is (dat wil zeggen de slab klapt om) voor:

$$t_{\max} = \frac{24\eta I}{Cl^4} \quad (15)$$

De snelheid  $v_0$  waarmee de slab omhoogkomt op  $t = 0$  kan ook uit (14) worden bepaald:

$$v_0 \equiv \left(\frac{df}{dt}\right)_{t=0} = \frac{q_0 l^4}{24\eta I} \quad (16)$$

Met de proefresultaten van T1 A en T1 B waaruit  $t_{\max}$  en  $v_0$  bepaald kunnen worden, kan uit (15)  $C$  en (16)  $q_0$  berekend worden, waarna met (9) en (12) de numerieke coëfficiënten  $C_0$  en  $C_1$  bepaald kunnen worden.

Uit proef T1 A volgt: (zie figuur 3)  $t_{\max} = 5400$  s,  $v_0 = 10^{-5}$  m/s  
 $l = 1,25$  m;  $h = 0,08$  m,  $\bar{u} = 1,85$  m/s.

Berekend worden  $C = 7700$  N/m<sup>3</sup>,  $q_0 = 420$  N/m<sup>2</sup>

$$C_1 = 2,8 \quad C_0 = 0,38$$

Uit proef T1 B volgt: (zie figuur 6)  $t_{\max} = 1020$  s,  $v_0 = 2,3 \cdot 10^{-4}$  m/s

$l = 3,75$  m,  $h = 0,12$  m,  $\bar{u} = 2,15$  m/s.

Berekend worden  $C = 2713$  N/m,  $q_0 = 402$  N/m<sup>2</sup>

$$C_1 = 1,4, \quad C_0 = 0,37$$

De overeenstemming tussen de  $C_0$  waarden van T1A en T1B is goed. Tussen de  $C_1$ -waarden zit een factor 2 verschil.

Uit proef T3 met een 2-zijdig aan de gootwand bevestigde slab volgt dat de slab na circa 60 min. bezwijkt; de beginsnelheid bedraagt ca.  $10^{-4}$  m/s. Bij deze situatie is ook  $C_0$  en  $C_1$  te berekenen op bovenstaande wijze, zij het dat de ombuigingscoëfficiënt in (7) moet worden vervangen door  $\frac{384}{5}$  (2-zijdig inge-

klemde ligger). De lengte bedraagt 1,7 m en de dikte van de slab 0,08 m. Uit de berekening volgt dan een  $C_0$ -waarde van 0,39 en een  $C_1$ -waarde van 2,0. Bij proef T5 bleken op 0,25 m uit de rand de bovenlaag aan de onderlaag gehecht te zijn. Met  $C_0 = 0,38$  en  $C_1 = 2,1$  en  $l = 0,25$  m volgt uit (9), (11) en (13) dat de ombuiging  $f$  bij een stroomsnelheid van 3,25 m/s na 9 uur ca. 4,6 mm moet zijn, hetgeen redelijk goed in overeenstemming is met het model (5 à 10 mm).

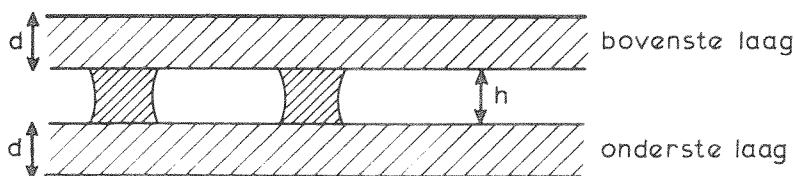
Als eerste benadering lijkt het rekenmodel dan ook voldoende bruikbaar. Het model wordt in 6.3 gebruikt om de invloed van de kleefkracht tussen twee slabben op de stabiliteit af te schatten. Hieruit zal blijken dat, indien de bovenlaag slechts voor 1% van het oppervlak aan de onderlaag is gehecht, de invloed van de buigspanningen in de slab te verwaarlozen zijn.

### 6.3 Invloed van de kleefkracht tussen de slabben

Niet alleen de buigspanning werkt mee als stabiliserende kracht maar ook de kleefspanning tussen twee asfaltmastiexlabben. Uit proef T2, waarbij de bovenliggende asfaltslab op een reeds afgekoelde asfaltmastiexlaag werd gegoten trad een dermate goede hechting tussen beide lagen op dat bij stroomsnelheden van 5,7 m/s beide lagen nog steeds goed aansloten. Tengevolge van zandinsluitingen kan het hechtoppervlak echter minder zijn. Om de invloed hiervan na te gaan op het bezwijkgedrag van de asfaltslabben werd het rekenmodel uitgebreid (zie notitie DDWT-80.268).

Aangenomen wordt dat op plaatsen waar de mastiexlaag hecht aan de ondergrond deze één geheel vormt met de ondergrond. De kleefspanning volgt derhalve uit de eigenschappen van de mastiexlaag.

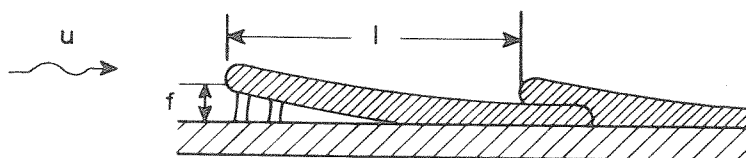
Het percentage van het oppervlak dat aan de onderlaag hecht, wordt gesteld op  $\gamma$  en de dikte van de hechtlaag als de slab nog aansluit aan de ondergrond op  $h$ .



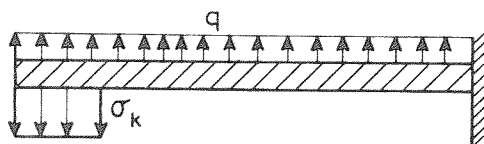
Bij een ombuiging  $f$  van de bovenste asfaltmasticlaag geldt voor de kleefspanning  $\sigma_k$ :

$$\sigma_k = \gamma \cdot \frac{f}{h} \cdot S \quad (\text{N/m}^2) \quad (17)$$

Als de slab ombuigt zal de verlenging van de hechtlaag, en dus ook de kleefspanning  $\sigma_k$  alleen aan de buitenste rand optreden.



Als benadering wordt gesteld dat het effect hiervan gelijk is aan een verlenging van de hechtlaag  $f$  over een lengte van  $\frac{1}{6} l$ . Dan geldt bij benadering:



$$f = \frac{1}{8} \frac{q l^4}{S I} - \frac{1}{6} \frac{(\frac{1}{6} \sigma_k l) l^3}{S I} \quad (18)$$

met behulp van (14) en (17) is dit om te werken tot:

$$f = \frac{q_0 t}{\eta \left( \frac{24 I}{l^4} + \frac{2}{3} \frac{\gamma}{h} \right) - C t} \quad (19)$$

Uit (19) blijkt dat de hechting een rol gaat spelen, zodra  $\frac{2}{3} \frac{\gamma}{h}$  van dezelfde orde is als  $\frac{24 I}{l^4}$ .

Voor de asfaltslab gelden de volgende gegevens:

- dikte asfaltslab  $d = 0,08$  m
- dikte hechtlaag  $h = 0,08$  m
- lengte asfaltslab  $l = 1,25$  m
- viscositeit asfalt  $\eta = 10^{11}$  Ns/m<sup>2</sup>

$$\text{Met deze gegevens volgt voor: } \frac{24I}{l^4} = 4,2 \cdot 10^{-4} \quad (1/m)$$

$$\frac{2\gamma}{3h} = 8 \cdot \gamma \quad (1/m)$$

Hieruit blijkt dat indien  $\gamma \geq 10^{-3}$  de hechting belangrijker is dan de doorbuiging. Wordt het effect van de doorbuiging verwaarloosd, dan geldt:

$$f = \frac{q_o t}{\frac{2}{3} \frac{\gamma}{h} \eta - Ct} \quad (20)$$

$$v_o = \left( \frac{df}{dt} \right)_{t=0} = \frac{q_o}{\frac{2}{3} \frac{\gamma}{h} \eta} \quad (21)$$

$$t_{\max} = \frac{1}{C} \frac{2}{3} \frac{\gamma}{h} \eta \quad (22)$$

Uit paragraaf 6.2 volgt als benadering voor  $q_o$  en C

$$q_o = 0,38 \rho v^2 - (\rho_a - \rho_w)gd$$

$$C = 2,1 \rho v^2$$

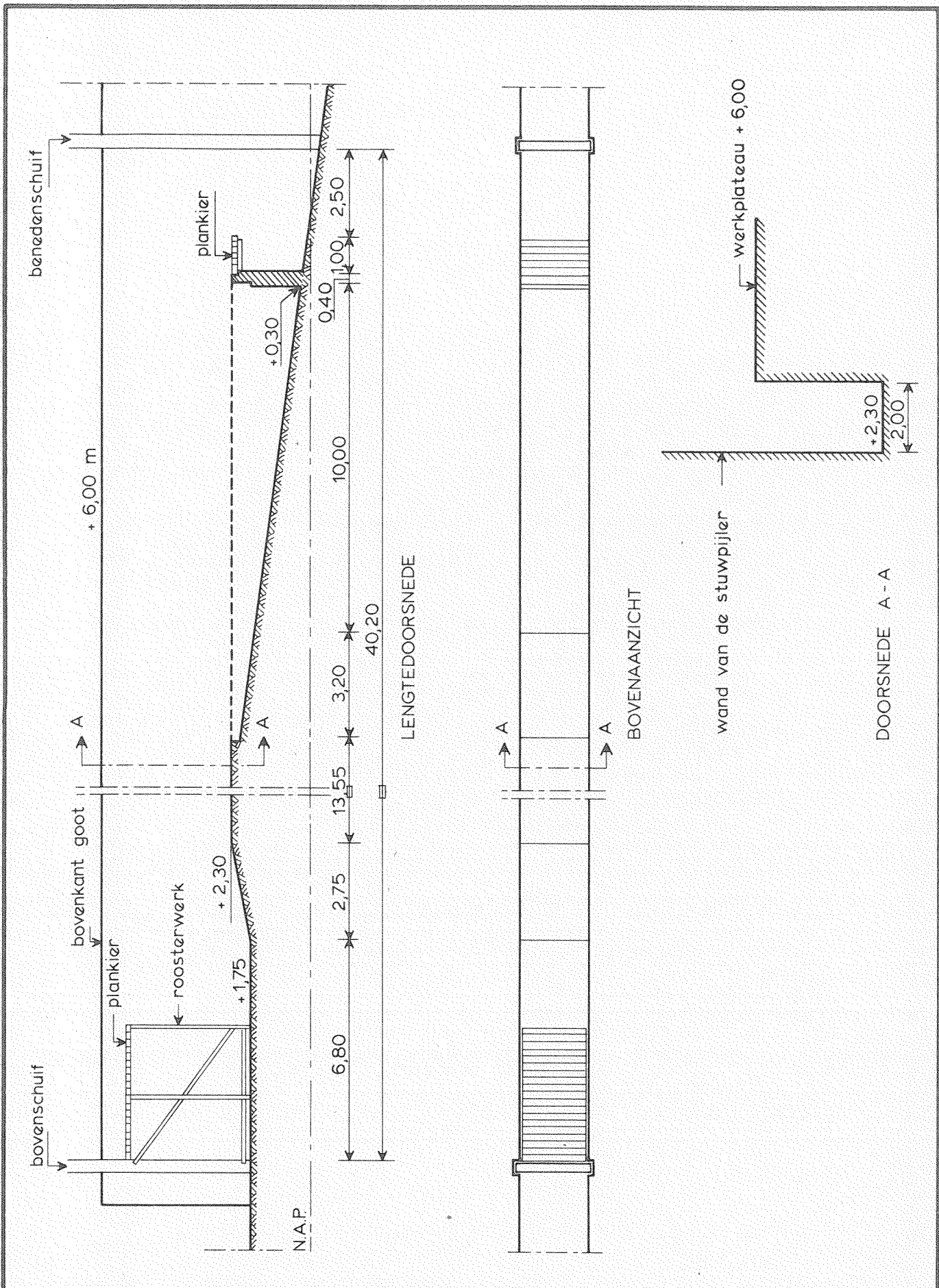
In onderstaande tabel zijn de waarden voor  $q_o$ , C,  $v_o$ , en  $t_{\max}$  voor een hecht-oppervlakpercentage  $\gamma = 0,01$  berekend voor twee laagdiktes van de hechtlaag.

		dikte hechtlaag				
		h = 0,01 m			h = 0,08 m	
stroomsnelheid u (m/s)	$q_o$ kN/m <sup>2</sup>	C (kN/m <sup>3</sup> )	$v_o$ (m/s)	$t_{\max}$ (s)	$v_o$ (m/s)	$t_{\max}$ (s)
2	0,6	8,4	$9.9 \cdot 10^{-9}$	$7.9 \cdot 10^6$	$7.5 \cdot 10^{-8}$	$9.9 \cdot 10^5$
3	2,6	18,9	$3.9 \cdot 10^{-8}$	$3.5 \cdot 10^6$	$3.3 \cdot 10^{-7}$	$4.4 \cdot 10^5$
5	8,6	52,5	$1.3 \cdot 10^{-7}$	$1.3 \cdot 10^6$	$1.1 \cdot 10^{-6}$	$1.6 \cdot 10^5$

Uit deze berekening volgt dat bij een gelijkmatig verdeelde hechting van slechts 1% en stroomsnelheden van 5 m/s, de doorbuiging f maximaal is (dat wil zeggen de mat bezwijkt) na  $10^5$  à  $10^6$  s, (of na 28 à 280 uren) afhankelijk van de dikte van de hechtlaag.

## REFERENTIES

- 1 Waterloopkundig Laboratorium  
"Stabiliteit van de rand van bodembeschermingen"  
Verslag modelonderzoek R 460-IV, december 1971
- 2 Waterloopkundig Laboratorium  
"Stabiliteit van de rand van bodembeschermingen II"  
Verslag modelonderzoek R 460-XI, R 1431, n.n.v.
- 3 Waterloopkundig Laboratorium  
"Drukverdeling aan de rand van een asfaltslab bij verschillende aanstroom-  
richtingen"  
Verslag modelonderzoek M 1724, augustus 1980
- 4 Bitumarin BV, Mulders G.L.M.  
"Aanstromen van de rand van een asfaltmastiexslab"  
notitie 800128
- 5 Rijkswaterstaat Deltadienst, de Groot, M.B.  
commentaar op "Aanstromen van de rand van een asfaltmastiexslab"  
notitie DDWT-80.268, 28-2-1980 (en aanvulling 8-4-1980)
- 6 Rijkswaterstaat Deltadienst, Nederlof, C.D.  
Fotoboek onder de nrs. ONW-M-80015, 80119 en 80089
- 7 Rijkswaterstaat Deltadienst, v. Mazijk A.  
Schaalearfect goot Lith, discussiestuk  
Notitie ONW-M-80024



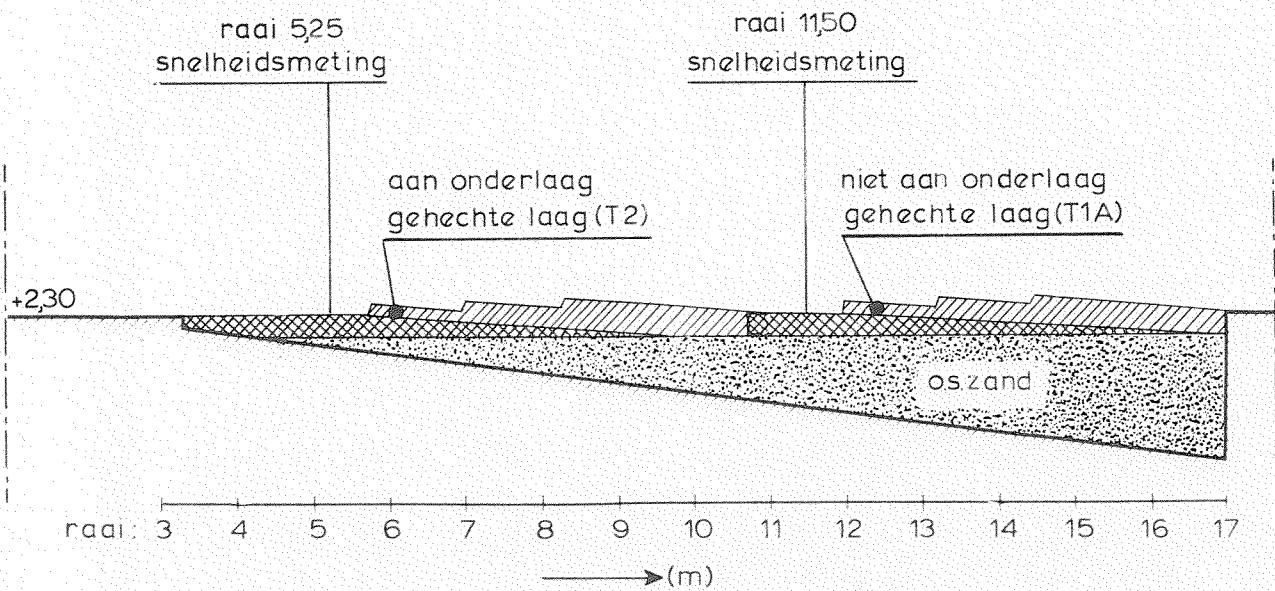
STROOMGOOT TE LITH

SCHAAL 1:150

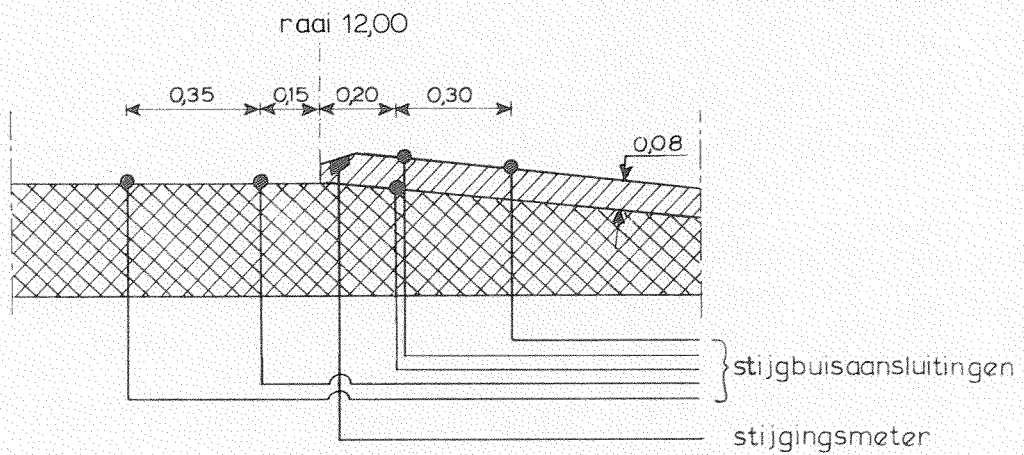
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1522

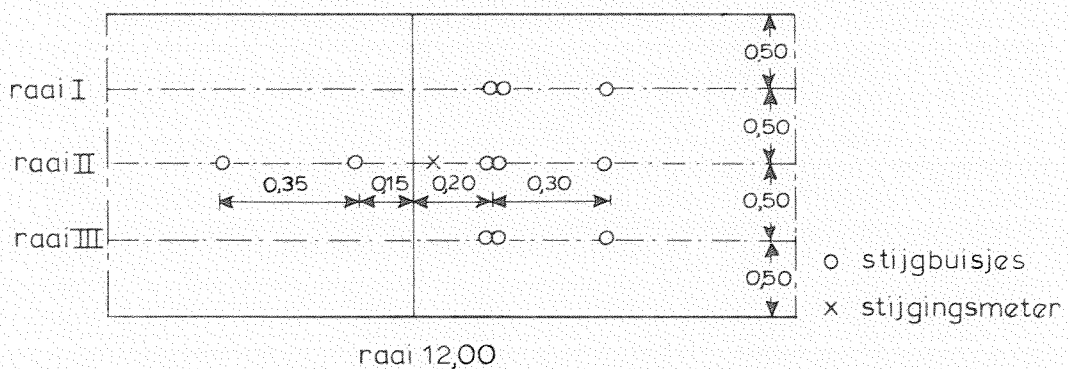
FIG. 1



LANGSDOORSNEDE



DETAIL DOORSNEDE TPV RAAI 12



PLAATS STJGBUISJES (BOVENAANZICHT)

maten in m

PROEFOPSTELLING

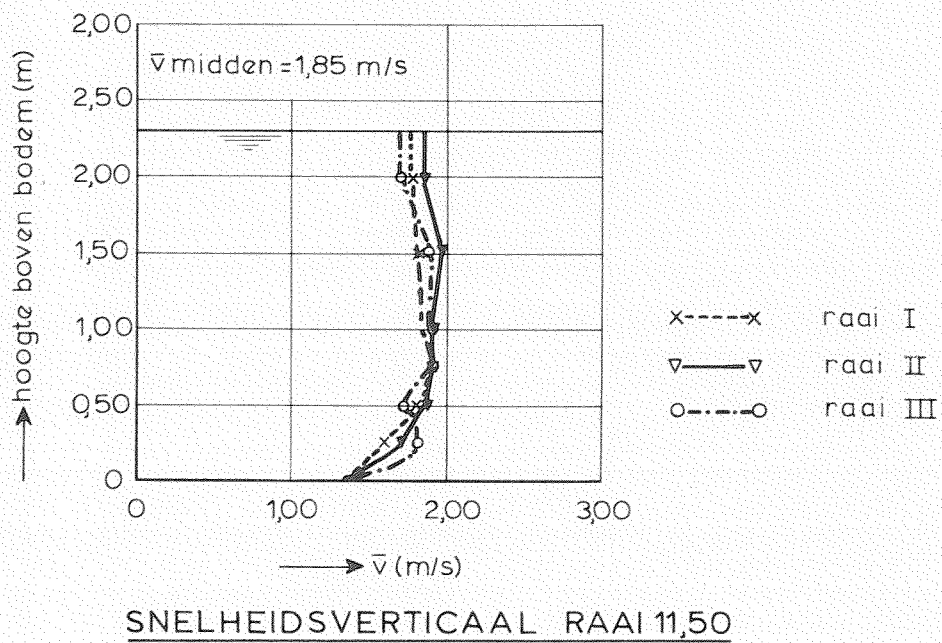
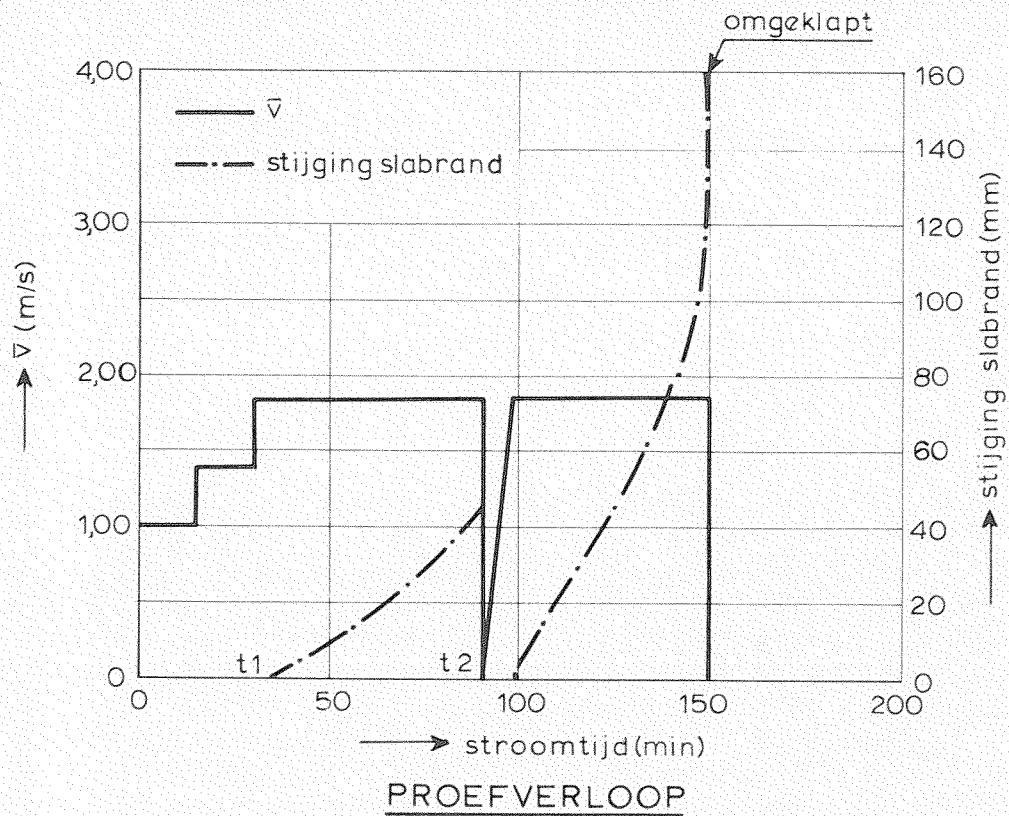
T 1 A

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1522

FIG. 2





PROEFVERLOOP EN SNELHEIDSVERTICAAL

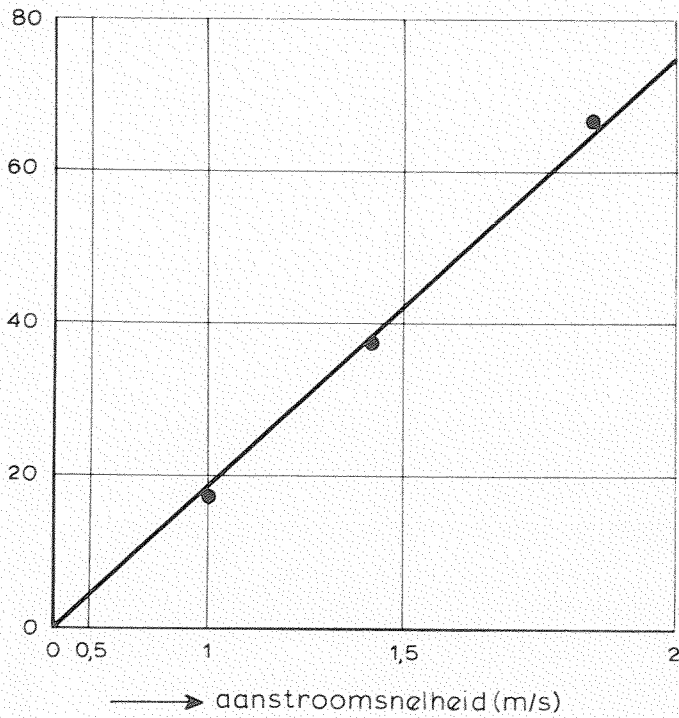
T 1A

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

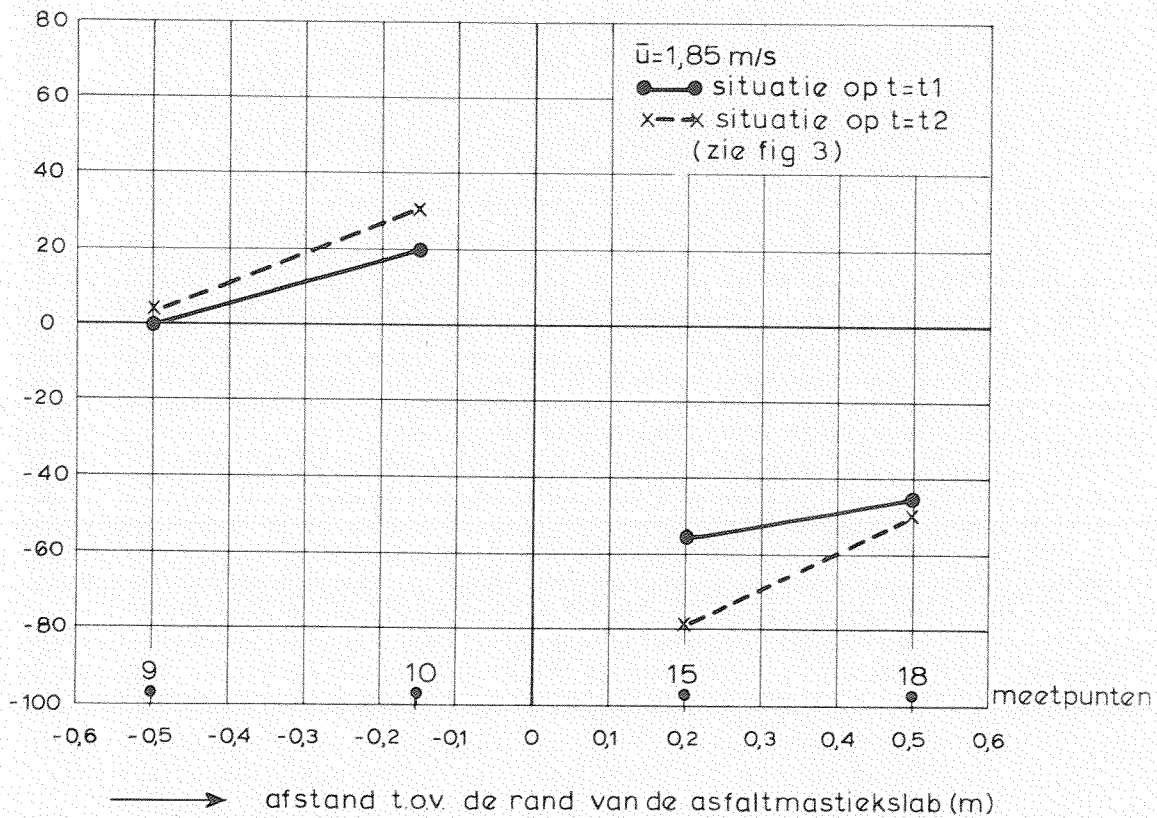
R 1522

FIG. 3

↑ drukverschil tussen de punten 10 en 15 (mmwk)



↑ drukhoogte t.o.v. de waterspiegel (mmwk)



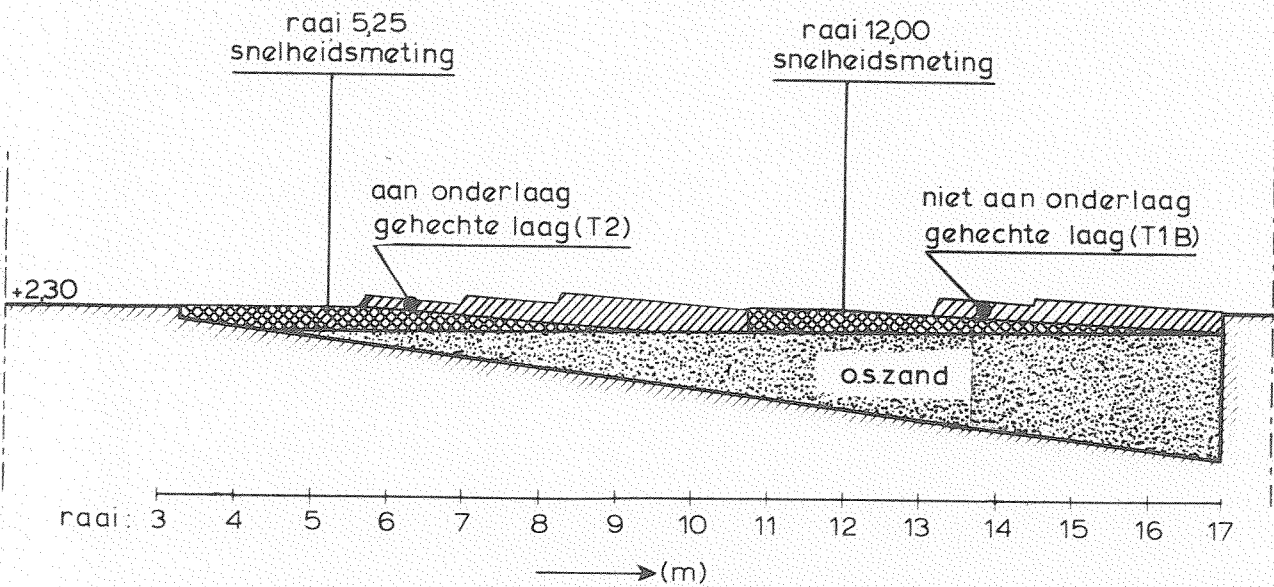
DRUKVERLOOP AAN DE RAND VAN DE  
ASFALTMASTIËKSLAB

T 1 A

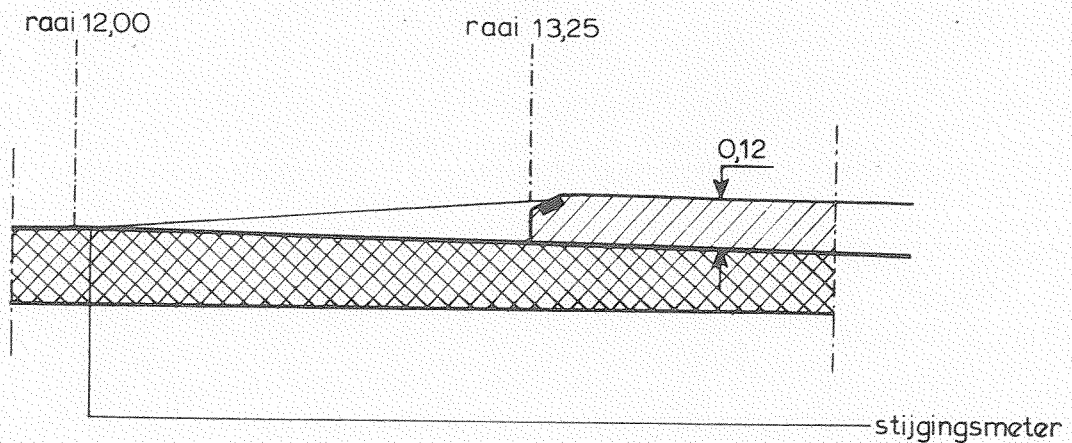
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1522

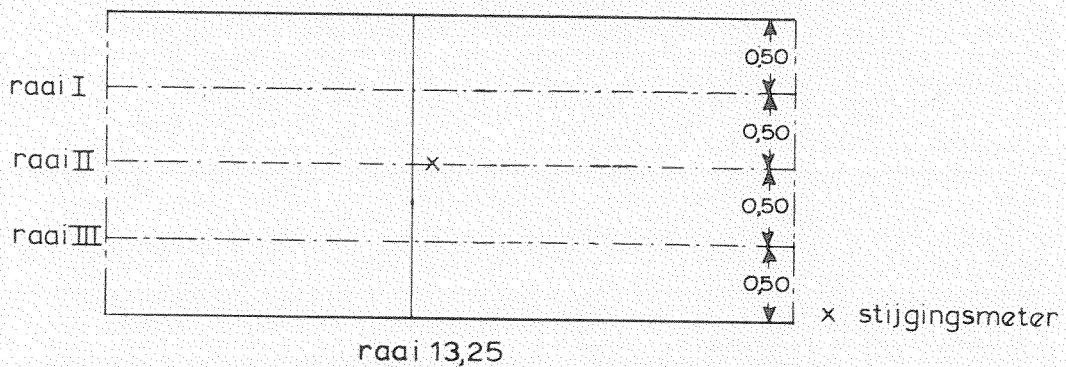
FIG. 4



LANGSDOORSNEDE



DETAIL DOORSNEDE T.P.V. RAAI 13,25



PLAATS STIJGINGSMETER (BOVENAANZICHT)

maten in m

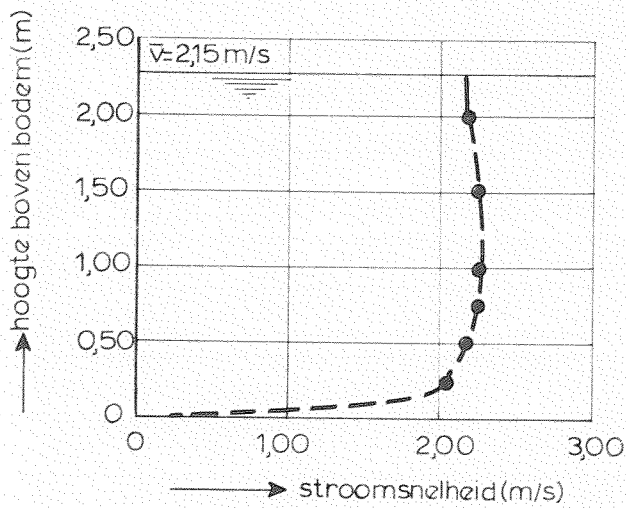
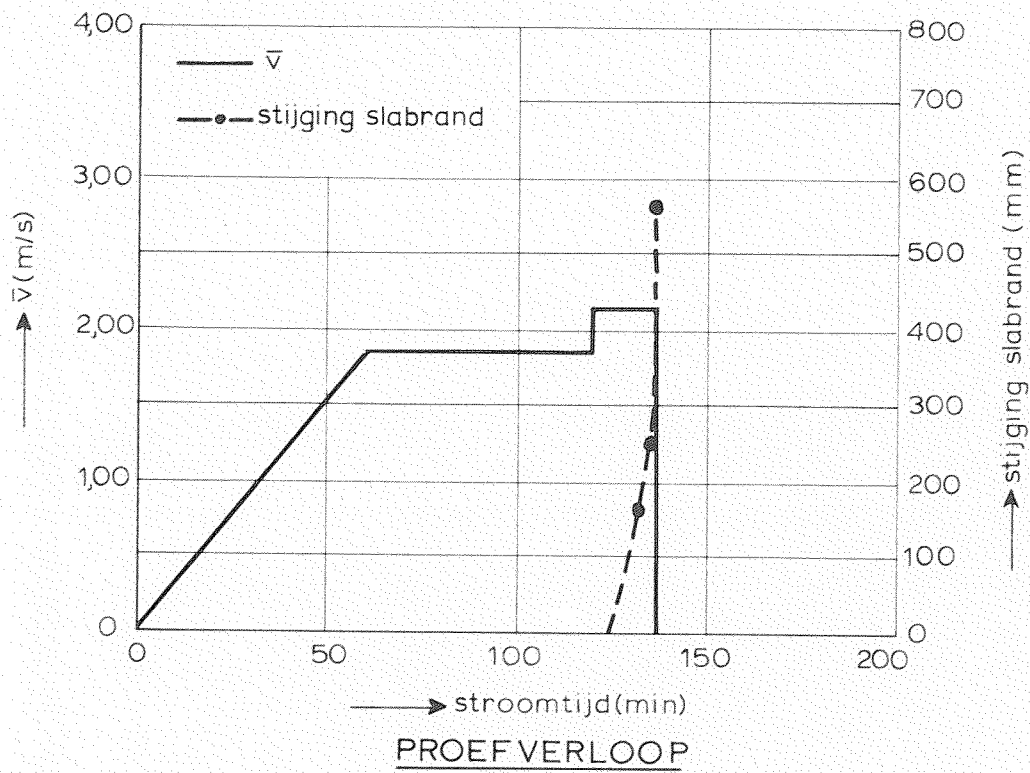
PROEFOPSTELLING

T1B

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1522

FIG. 5



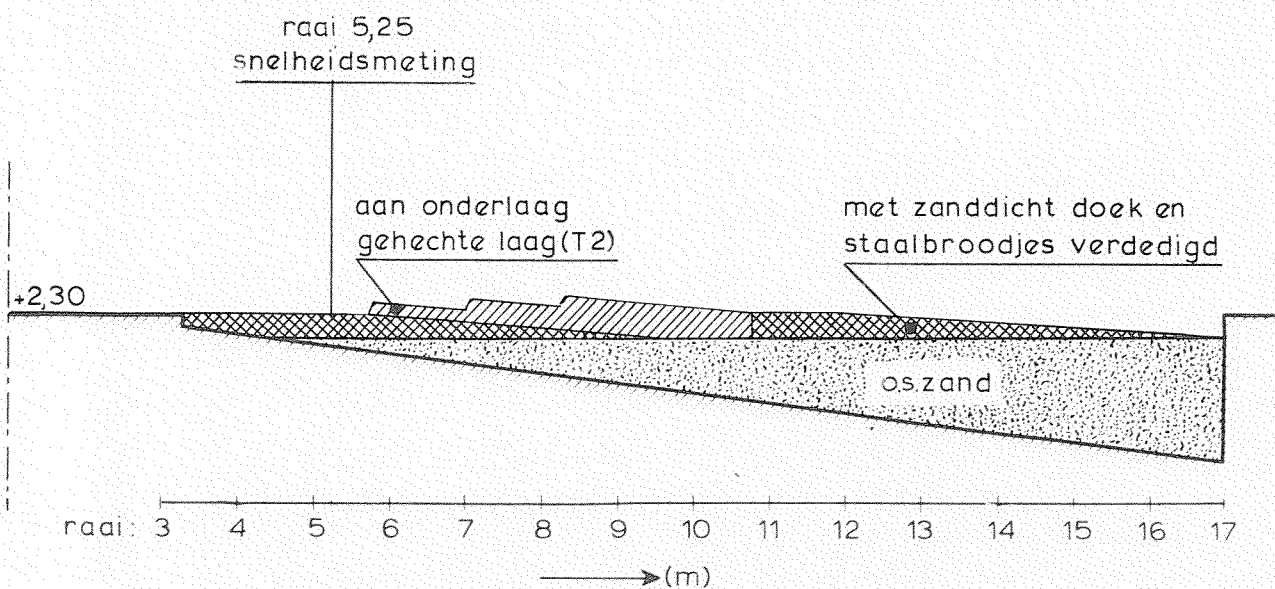
PROEFVERLOOP EN SNELHEIDSVERTICAAL

T 1B

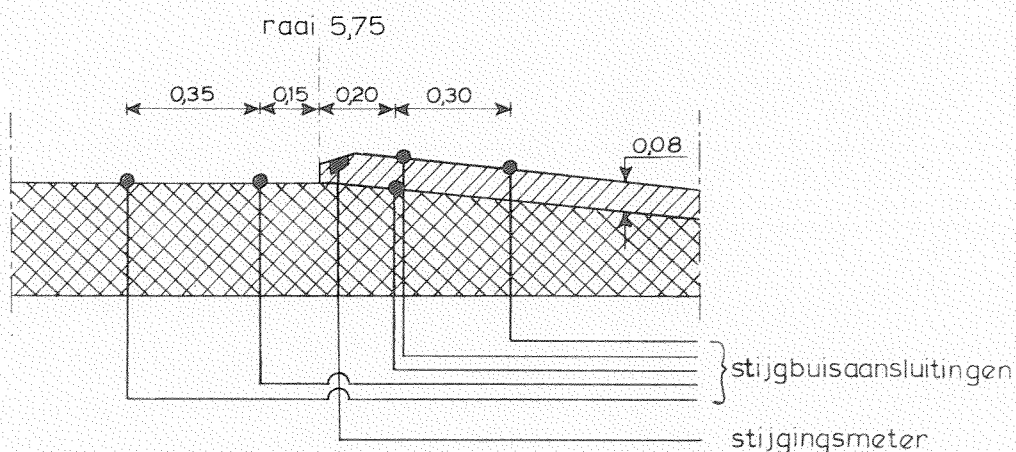
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1522

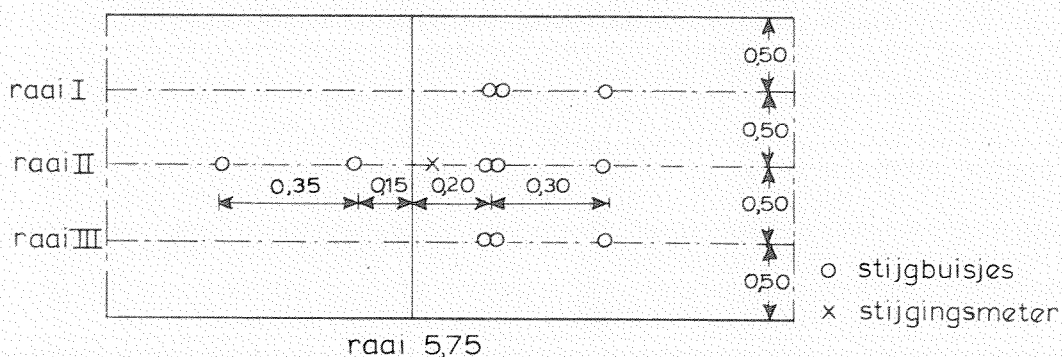
FIG. 6



LANGSDOORSNEDE



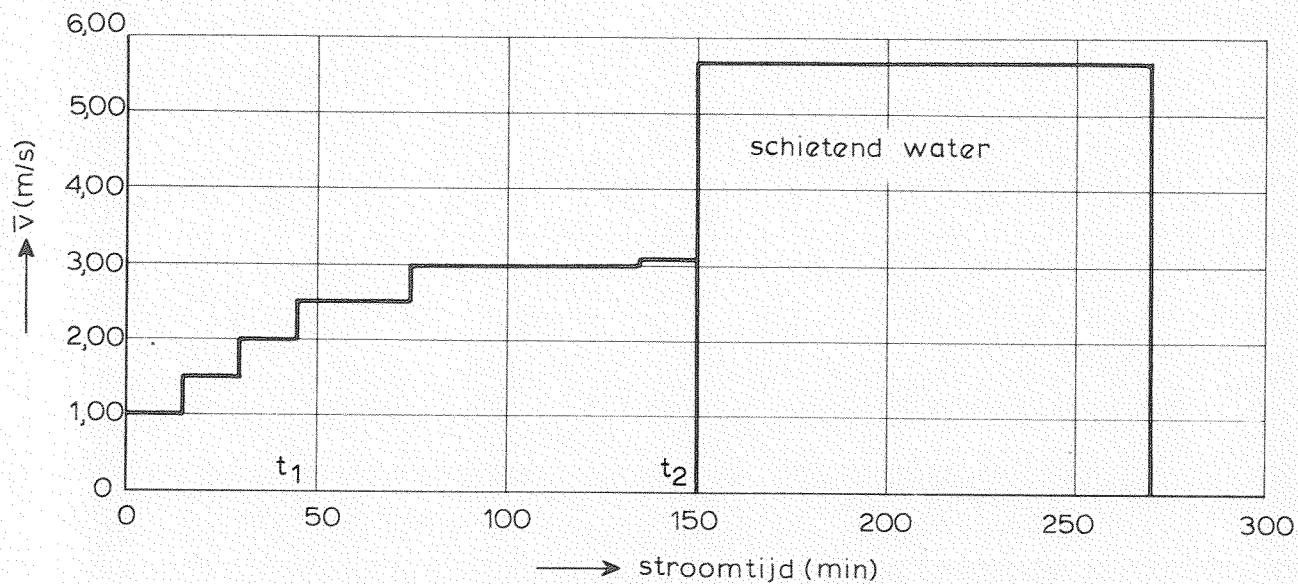
DETAIL DOORSNEDE T.P.V. RAAI 5,75



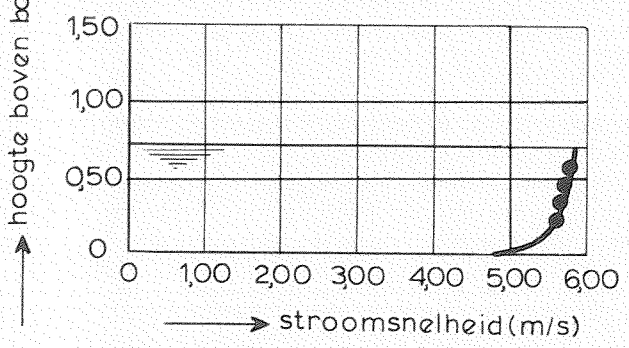
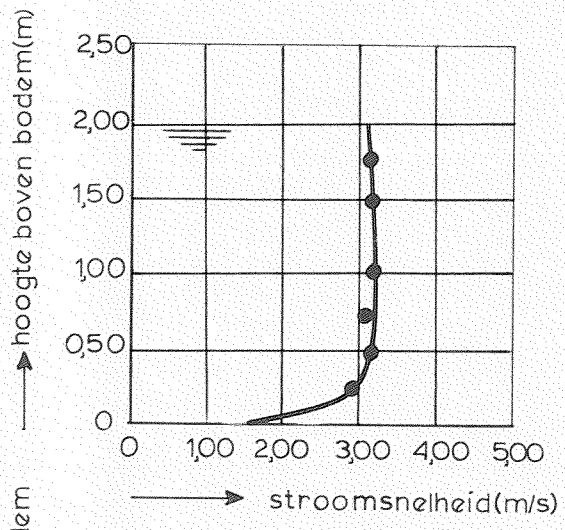
PLAATS STJGBUISJES (BOVENAANZICHT)

maten in m

PROEFOPSTELLING	T 2	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R 1522	FIG. 7



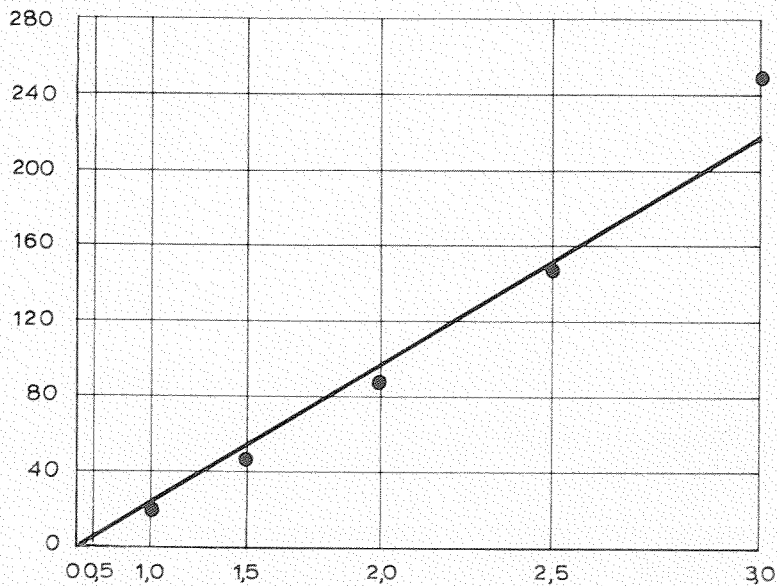
PROEFVERLOOP



SNELHEIDSVERTICALEN RAAI 5,25

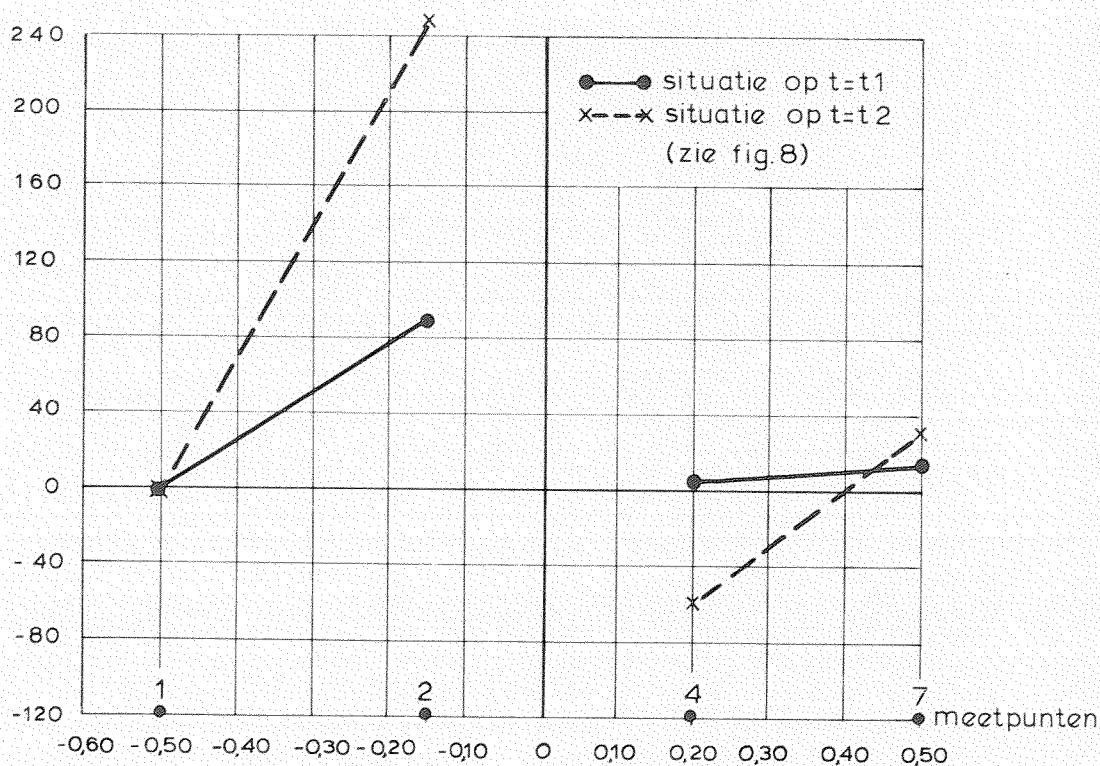
PROEFVERLOOP EN SNELHEIDSVERTICALEN	T 2	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R 1522	FIG. 8

↑ drukverschil tussen de punten 2 en 4 (mmwk)



→ aanstroomsnelheid (m/s)

↑ drukhoogte tov de waterspiegel (mm wk)



→ afstand t.o.v. de rand van asfaltmastiexlab (m)

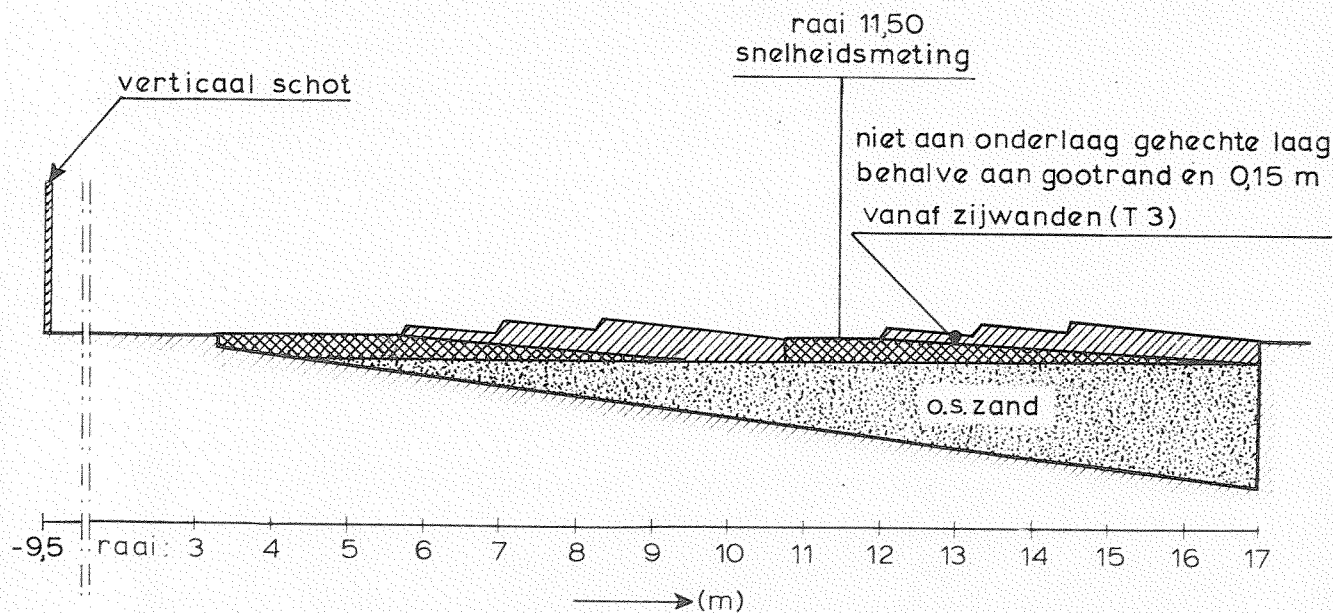
DRUKVERLOOP AAN DE RAND VAN DE  
ASFALTMASTIEKSLAB

T 2

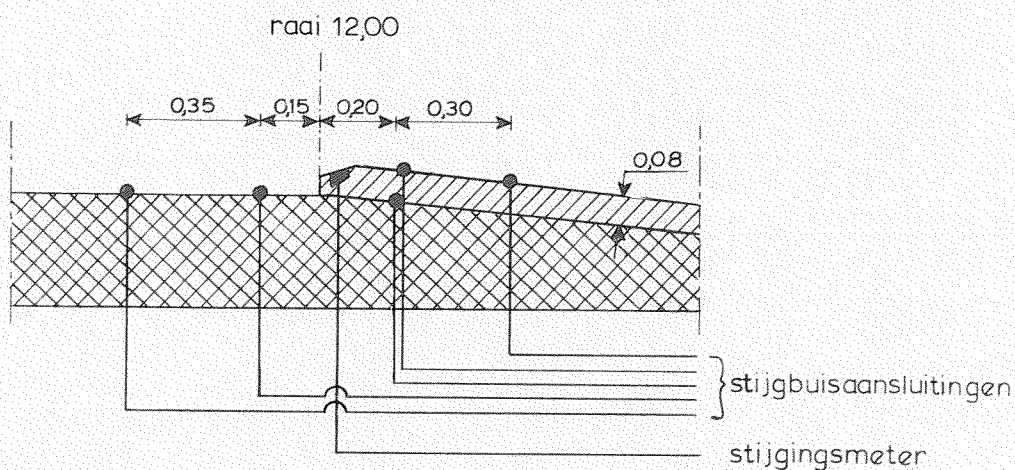
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1522

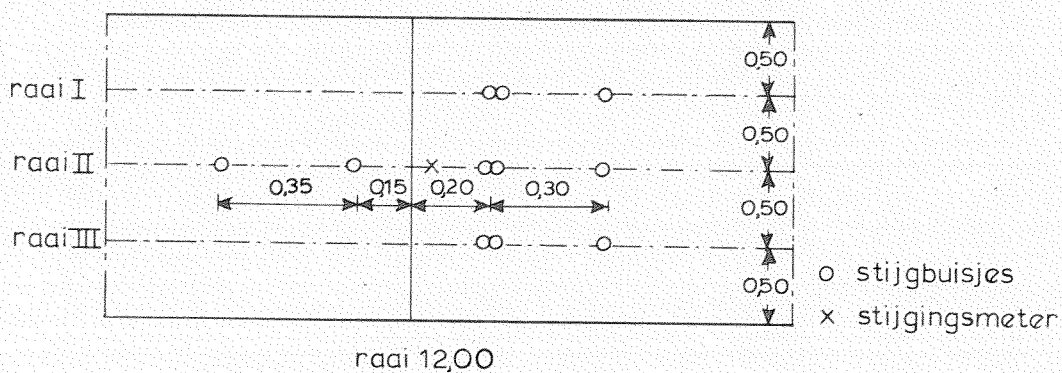
FIG. 9



**LANGSDOORSNEDE**



**DETAIL DOORSNEDE TP.V. RAAI 12**

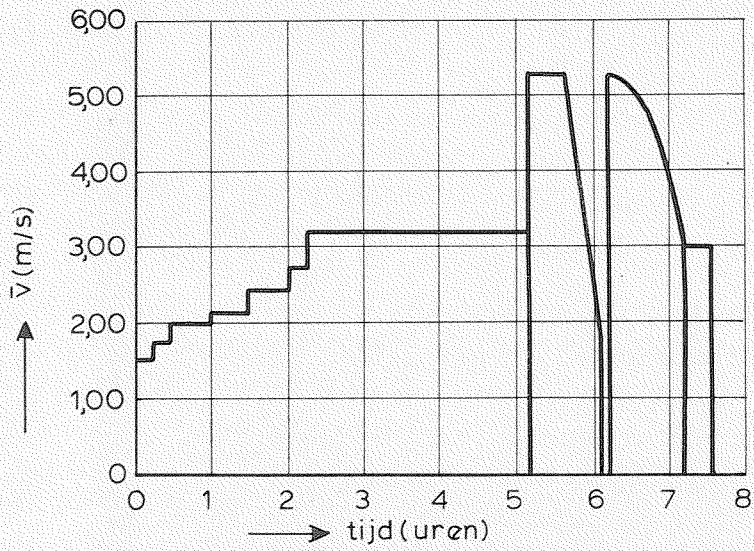


**PLAATS STUGBUISJES (BOVENAANZICHT)**

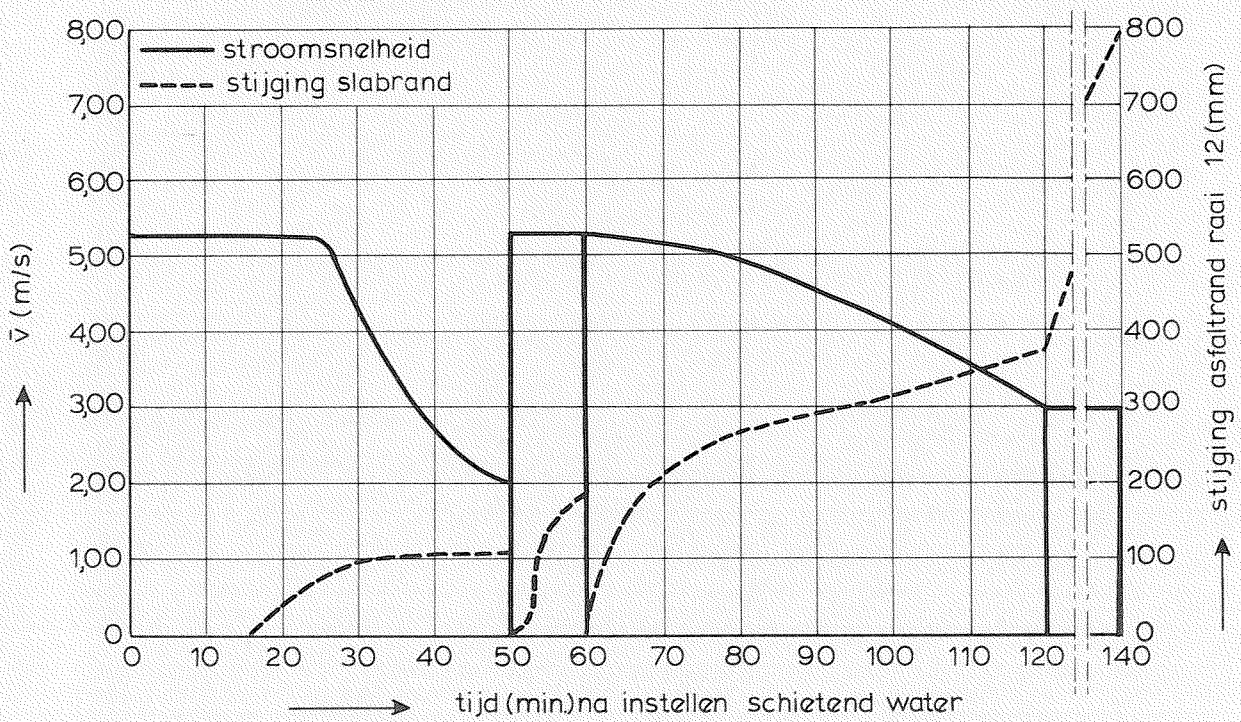
maten in m

PROEFOPSTELLING	T 3	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R 1522	FIG. 10

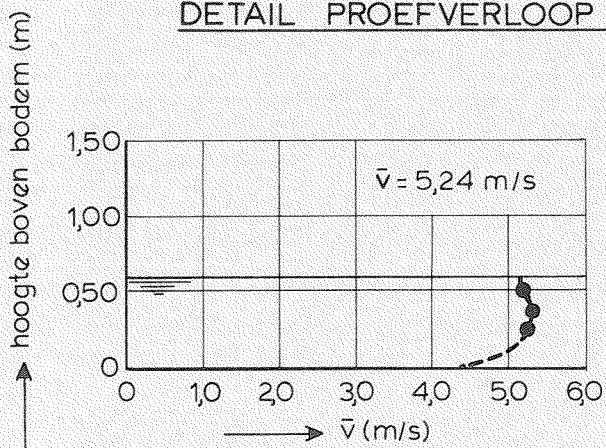




PROEFVERLOOP



DETAIL PROEFVERLOOP TUSSEN 5,2 EN 7,5 UUR



SNELHEIDSVERTICAAL RAAI 11,50

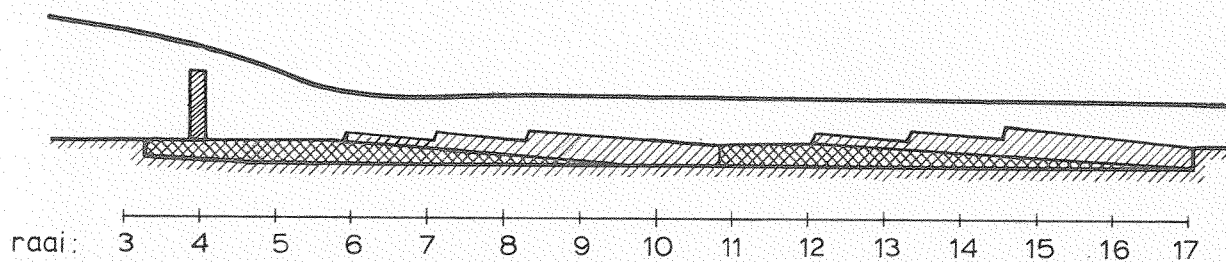
PROEFVERLOOP EN SNELHEIDSVERTICAAL

T 3

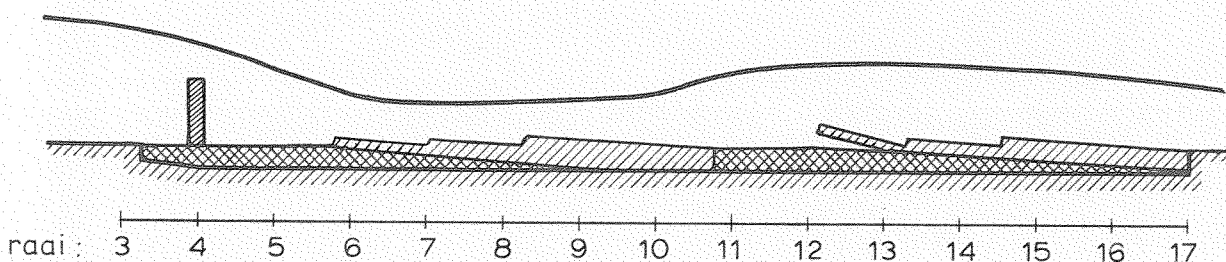
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1522

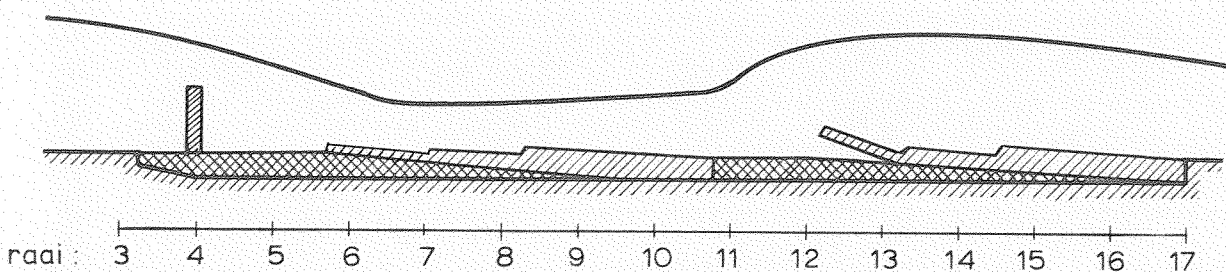
FIG. 11



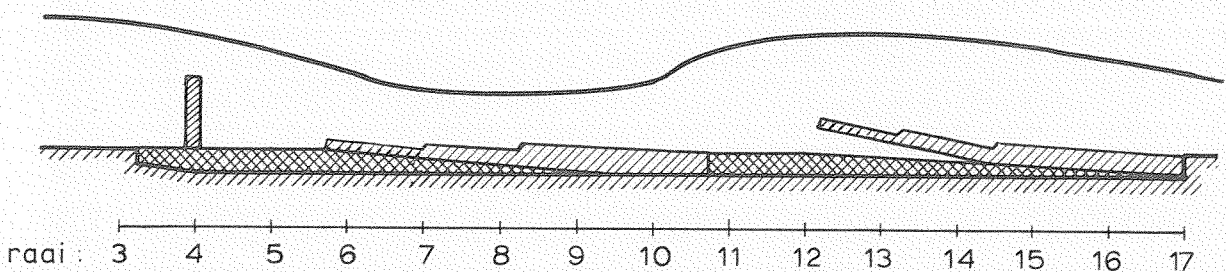
stroombeeld na instellen schietend water,  $t=0$



stroombeeld na  $t=20\text{min}$ .



stroombeeld na  $t=30\text{min}$ .



stroombeeld na  $t=40\text{min}$ .

ILLUSTRATIE OVERLAATWERKING RAND

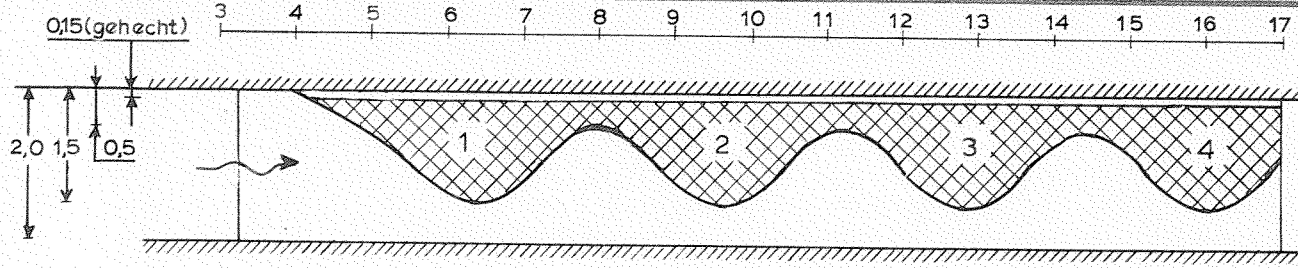
T 3

SCHAAL 1:100

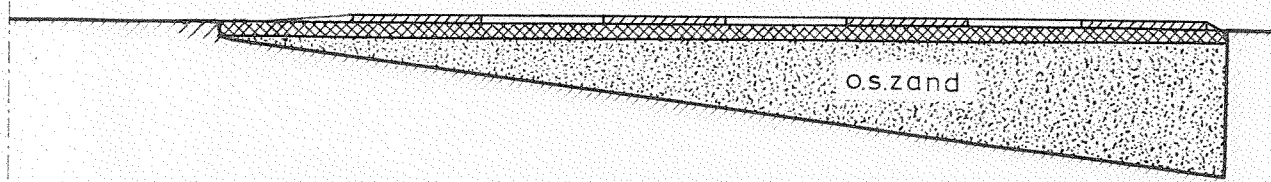
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1522

FIG. 12



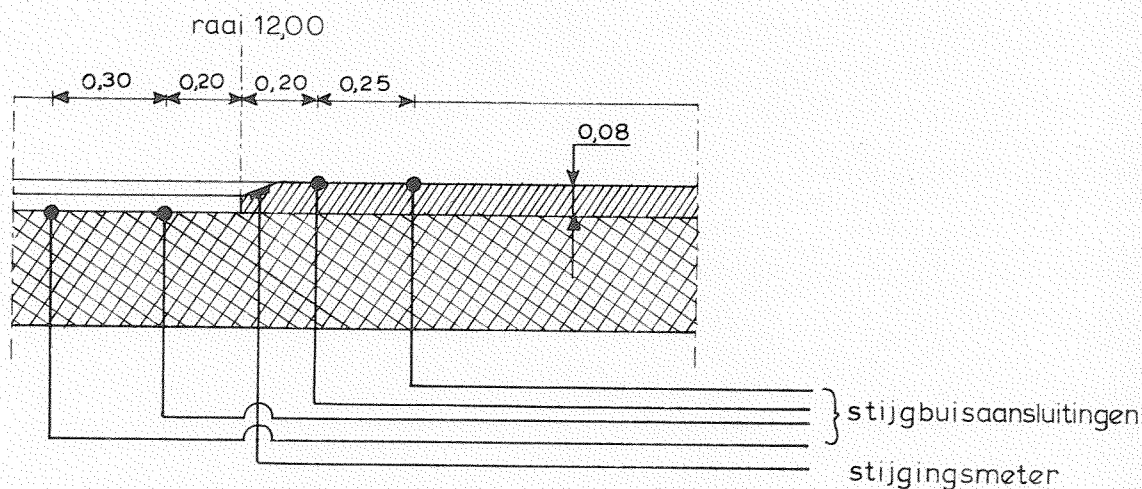
BOVENAANZICHT



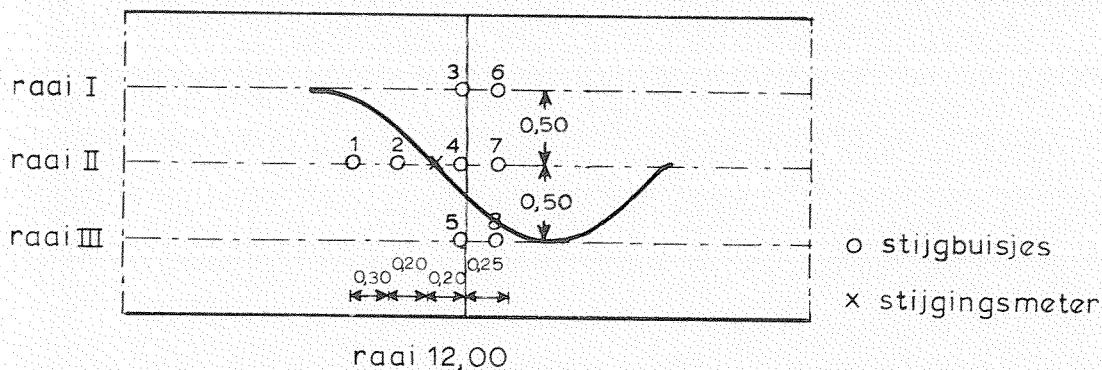
raai: 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17

→ (m)

LANGSDOORSNEDE



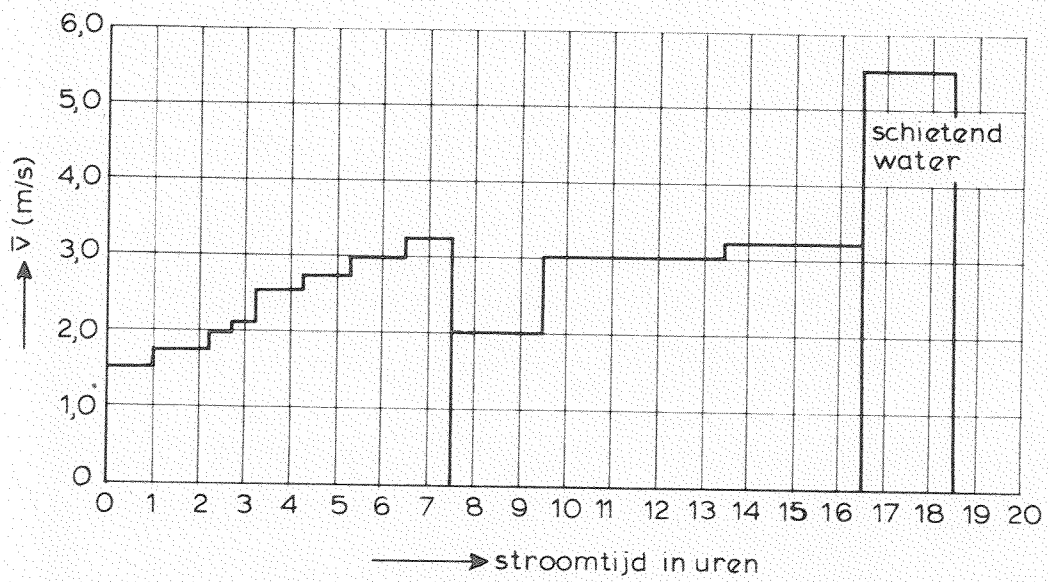
DETAIL DOORSNEDE T.P.V. RAAI 12,00



PLAATS EN NUMMERING STIJGBUISJES (BOVENAANZICHT)

maten in m

PROEFOPSTELLING	T 4	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R 1522	FIG.13



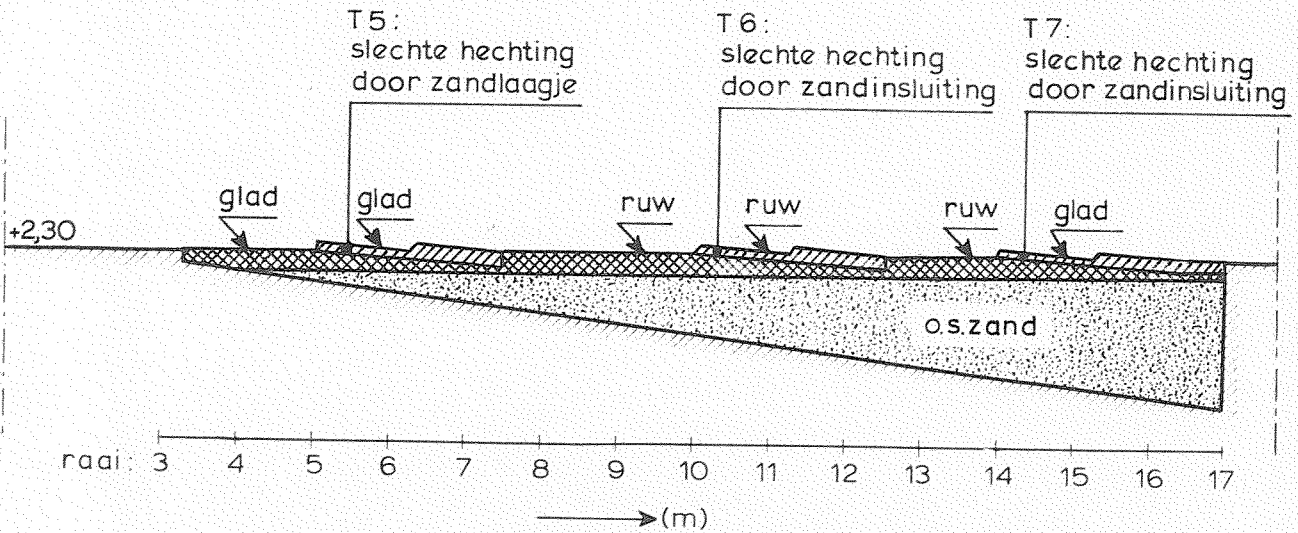
PROEFVERLOOP

T 4

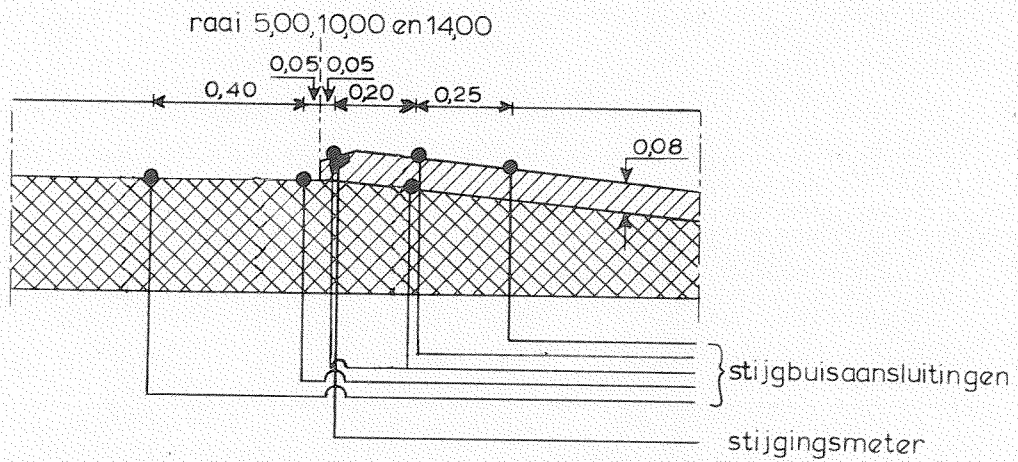
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1522

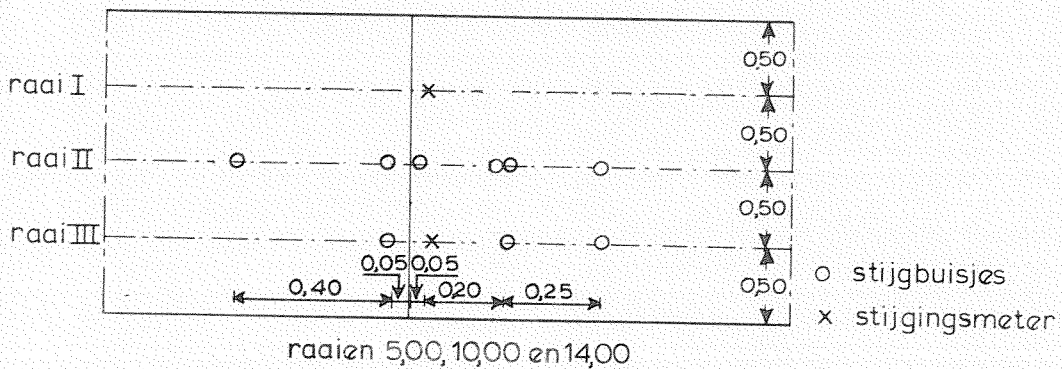
FIG. 14



**LANGSDOORSNEDE**



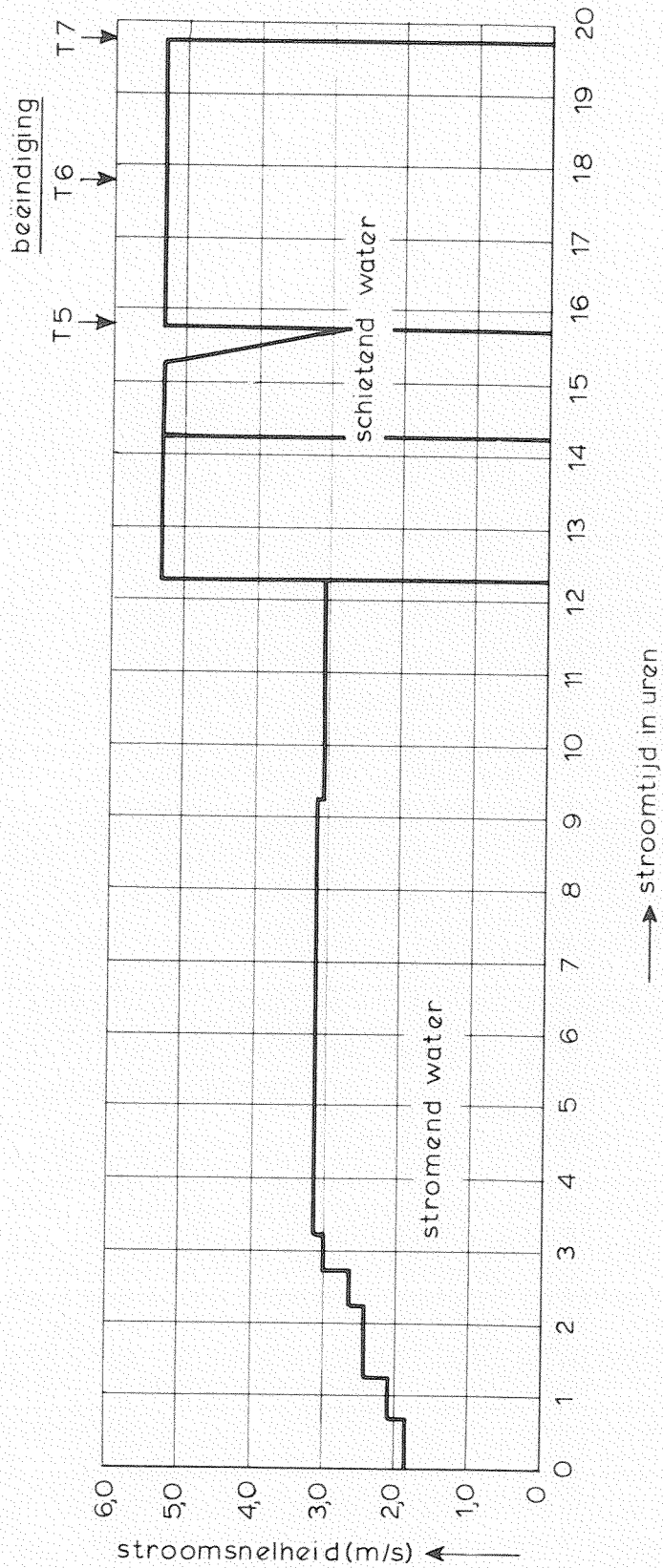
**DETAIL DOORSNEDEN T.P.V. RAAIEN 5,00, 10,00 EN 14,00**



**PLAATS STIJGBUISJES (BOVENAANZICHT)**

maten in m

PROEFOPSTELLING	T5, T6, T7	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R 1522	FIG. 15



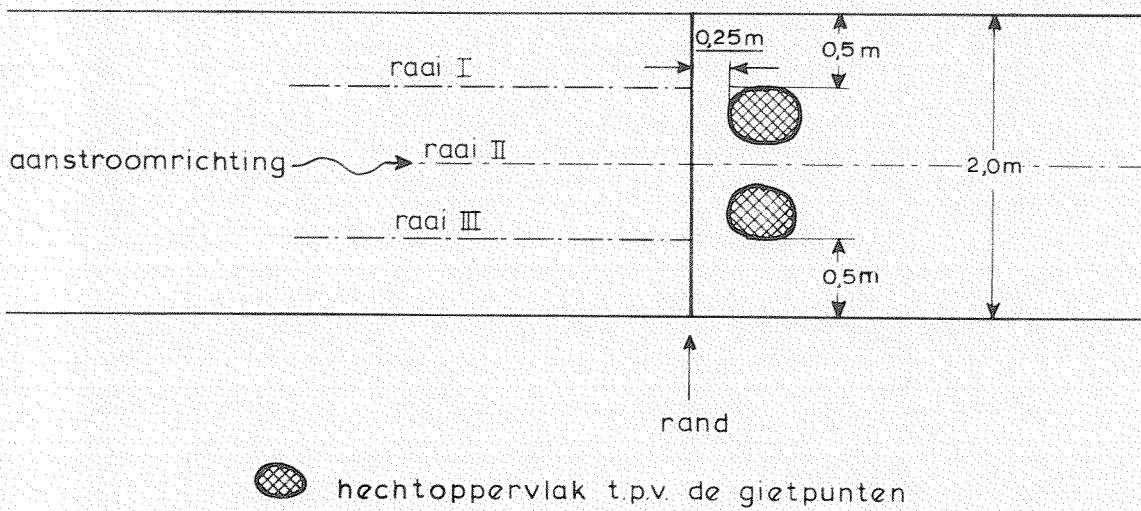
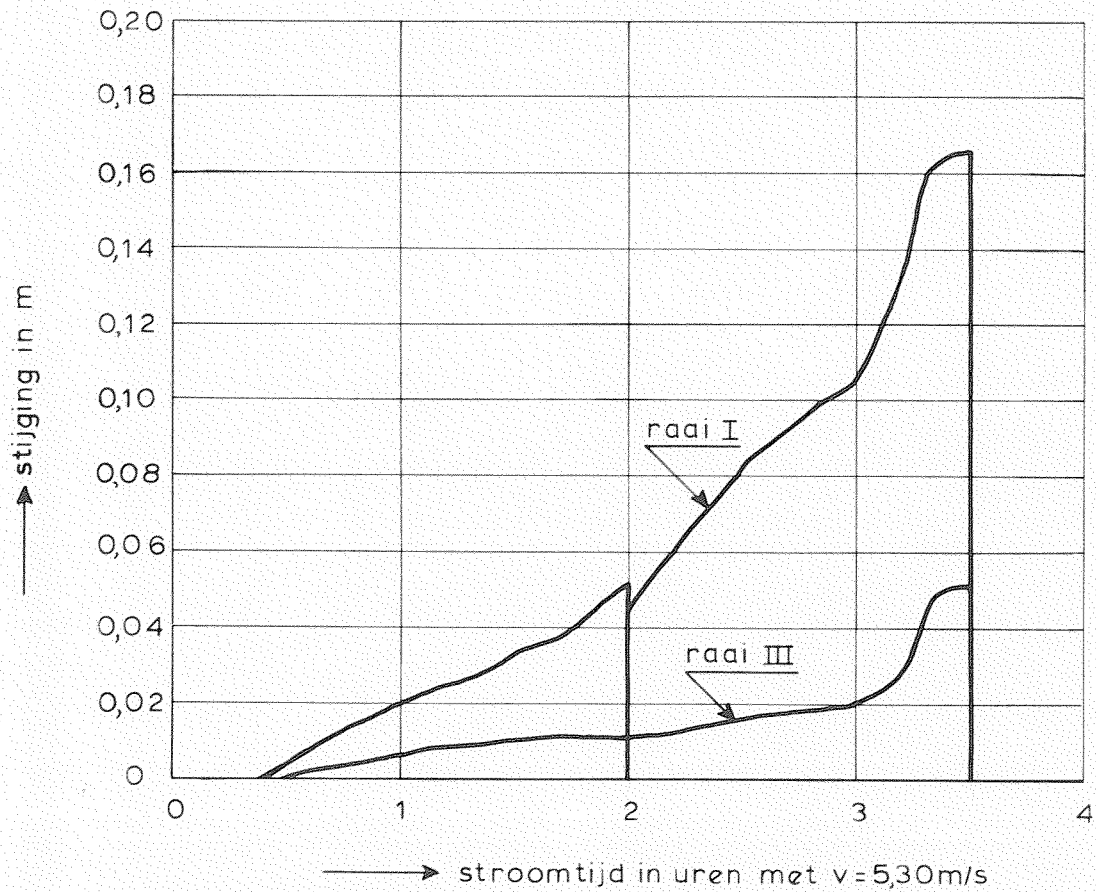
PROEFVERLOOP

T5,T6,T7

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1522

FIG. 16



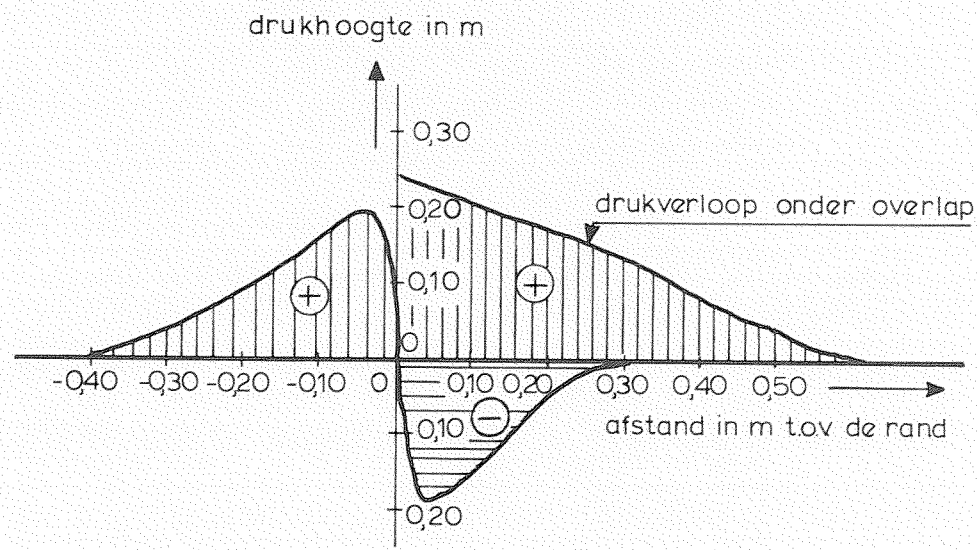
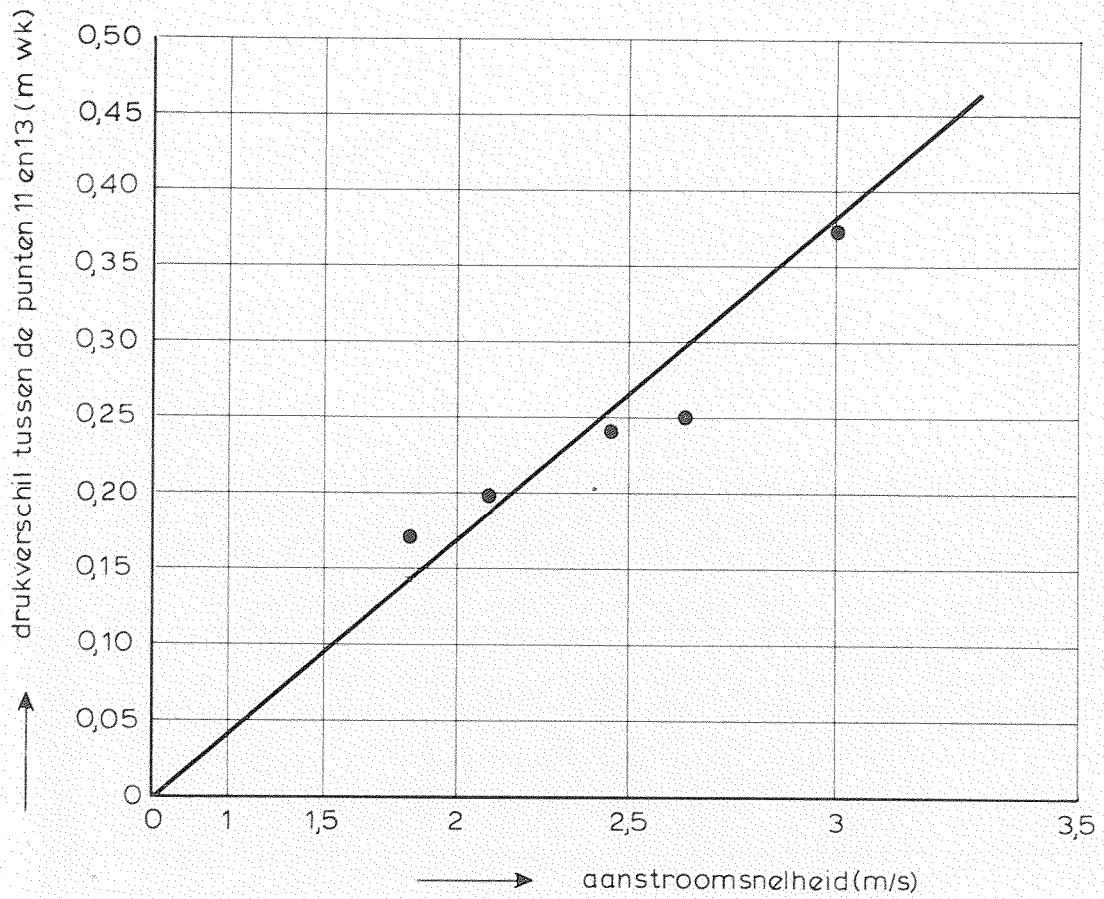
STUGING RAND BIJ T5

T5

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1522

FIG. 17



drukverloop rond de rand bij  $\bar{v} = 3,00 \text{ m/s}$

DRUKVERLOOP RONDOM DE RAND VAN T 5	T 5	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R 1522	FIG. 18



p.o. box 177

2600 mh delft

the netherlands