

I R 460^{VII}

2e exemplaar

waterloopkundig laboratorium

zanddichtheid van de ENKA-mat

AFGEHANDELD

verslag modelonderzoek

R 460 deel VII

april 1973

R0460_7

6 AUG. 1973

BIBLIOTHEEK
Waterloopkundig Laboratorium
Postbus 177 - DELFT

2e exemplaar

zanddichtheid van de ENKA-mat

verslag modelonderzoek

R 460 deel VII

april 1973

INHOUD

	blz.
<u>1</u> <u>Inleiding</u>	1
<u>2</u> <u>Algemene beschouwingen</u>	2
<u>3</u> <u>Conclusies</u>	
3.1 Mat niet verdicht aan de onderzijde.....	3
3.2 Mat met verdichte onderzijde.....	4
<u>4</u> <u>Opzet van het onderzoek</u>	5
<u>5</u> <u>Proeven met een mat met niet verdichte onderzijde</u> <u>(T1 ... T7)</u>	
5.1 Metingen en resultaten	8
5.2 Samenvatting	17
<u>6</u> <u>Proeven met een mat met verdichte onderzijde</u> <u>(T8 ... T17)</u>	
6.1 Metingen en resultaten	18
6.2 Samenvatting	21

FIGUREN

- 1 Meetgoot te Lith
- 2 T1 ... T7 Zeefkromme wadzand
- 3 T1 ... T7 Gewichtsverdeling stortsteen
- 4 T1 ... T3 Opstelling proeven
- 5 T1 ... T3 Stroomsnelheden en tijdsduur
- 6 T2, T3 Waterspiegelverloop en snelheidsverdeling
- 7 T2 Ligging zandbed na de proef
- 8 T3 Ligging zandbed na de proef
- 9 T4 Opstelling proef
- 10 T4 Stroomsnelheden en tijdsduur. Waterspiegelverloop en snelheidsverdeling
- 11 T4 Stroombeeld bij maximaal ingestelde stromingstoestand
- 12 T4 Ligging zandbed na de proef
- 13 T5, T6 Opstelling proeven
- 14 T5, T6 Stromingstoestanden
- 15 T5, T6 Raai 1, verdeling stroomsnelheid over het profiel
- 16 T5 Ligging zandbed na de proef
- 17 T6 Ligging zandbed na de proef
- 18 T7 Opstelling proef
- 19 T7 Verhanglijnen
- 20 T7 Verandering ligging zandbed
- 21 T8 ... T17 Zeefkrommen wadzand
- 22 T8 ... T17 Zeefkrommen kif

FOTO'S

- 1 T1. Aanbrengen van de Enka-mat
- 2 T1. Situatie na de proef
- 3 T4. Situatie voor, tijdens en na het stromen
- 4 T4. Ligging zandbed na het stromen; beschadiging van de mat
- 5 T5. Stroombeeld tijdens fase III; schade na de maximale fase
- 6 T7. Afleesbord, zandvang en "caisson" met ballast
- 7 T7. Zandafzetting benedenstrooms van de "caisson"; uit treden van zand, ontgronding onder de caisson
- 8 T8 ... T17. Opstelling van het drukvat

ZANDDICHTHEID VAN DE ENKA-MAT

1 Inleiding

In dit verslag wordt een beschrijving gegeven van het onderzoek dat is verricht aan een door ENKA-Glanzstoff van nylondraad vervaardigd materiaal. Het materiaal heeft een zeer open structuur en kan worden samengesteld tot een mat.

De bruikbaarheid als bodembescherming van deze mat in combinatie met een laag lichte stortsteen (10/80 kg) is onderzocht in de stroomgoot te Lith. Bij deze proeven werd de mat blootgesteld aan overtrekkende stroom, waarbij in enkele gevallen kunstmatig een verhoging van de turbulentiegrad van de stroom werd opgewekt.

Ook werd de invloed onderzocht van grote verhangen op de zanddichtheid van de constructie.

Ter vergelijking werd voor een aantal gevallen een proef uitgevoerd, waarbij de lichte stortsteen direct op het zand werd aangebracht zonder aanwezigheid van een mat, samengesteld uit nylondraad.

In een latere fase zijn aan de mat enige verbeteringen aangebracht, waardoor het mogelijk werd de mat te voorzien van een kifvulling. De toepasbaarheid van deze constructie als taludbescherming van een zanddam zal nog nader worden onderzocht.

Een aantal proeven met deze mat met kifvulling zijn in het Waterloopkundig Laboratorium in De Voorst uitgevoerd. De mat is hierbij onderzocht op zanddichtheid onder invloed van een loodrecht op het scheidingsvlak van zand en mat staande permanente stroming. De resultaten van deze proeven zijn tevens in dit verslag opgenomen.

Het onderzoek is verricht in opdracht van de Afdeling Ontwikkeling Nieuwe Werkmethoden van de Deltadienst van Rijkswaterstaat. Hierbij is samengewerkt door ENKA-Glanzstoff die de nylonmatten leverde, de Afdeling Ontwikkeling Nieuwe Werkmethoden van de Deltadienst van Rijkswaterstaat en Bitumarin NV die materieel, materiaal en personeel ter beschikking stelden en het Waterloopkundig Laboratorium dat het onderzoek heeft begeleid.

Het onderzoek stond onder leiding van H. Derks van het Waterloopkundig Laboratorium, die tevens dit verslag heeft samengesteld.

2 Algemene beschouwingen

Het onderzochte materiaal dat van nyloodraad is vervaardigd, heeft een warrige en zeer open structuur. De afzonderlijke draden lopen op willekeurige wijze door elkaar. De draden hechten onderling op de aanrakingspunten. Het materiaal heeft een grote holle ruimte ten opzichte van het ingenomen volume.

Van het materiaal dat bij de eerste proeven werd gebruikt was de sterkte beperkt. Het kon in die vorm heel gemakkelijk met de hand uit elkaar worden getrokken. Voor praktische toepassing in die vorm was het materiaal dan ook ongeschikt. Bij deze proeven werd wel inzicht verworven in de bodembeschermende werking van het materiaal als zodanig, wanneer het wordt aangebracht op een bodem van wadzand en wordt verzwaard met een bestorting bestaande uit lichte stortsteen 10/80 kg.

De mat werd bij deze proeven gevormd uit stroken met een breedte van 0,25 m en een dikte van ca. 0,07 m, die aan elkaar werden gesmolten. Het gewicht aan nylonmateriaal in de mat bedroeg circa 1100 gr/m^2 .

Bij een tweetal proeven (T1 en T4) werden op de mat imitatiewiepen van hetzelfde materiaal aangebracht. Deze "wiepen" waren cilindervormig en hadden een diameter van 0,10 m.

Op grond van de resultaten van deze eerste proeven werd voor de toepassing van het materiaal gedacht aan de vorming van een mat bestaande uit een combinatie van het nylonmateriaal en kif. De holle ruimte van het materiaal wordt gevuld met kif dat een tweeledige functie vervult, namelijk het verzwaren van de mat en het verzorgen van de zanddichtheid onder de optredende belastingsomstandigheden. Hiertoe diende de mat op een aantal punten te worden aangepast.

Om te voorkomen dat het kif door de mat kan vallen wordt de onderzijde van de mat verdicht. Dit kan worden bewerkstelligd door de mat aan één zijde te

verwarmen waardoor aan die zijde een meer gesloten oppervlak ontstaat. Deze bewerking gaat gepaard met het afnemen van de dikte van de mat. In deze versie worden door ENKA-Glanzstoff twee typen geleverd namelijk mattype 5003 met een gewicht aan nylon van 910 gr/m^2 en een dikte van 32 mm en mat-type 5004 met een gewicht aan nylondraad van 1310 gr/m^2 en een dikte van 44 mm.

De sterkte eigenschappen van de mat kunnen worden opgevoerd door het materiaal met kunsthars te impregneren. Een maatregel die kan worden getroffen om het uittreden van het kif aan de bovenzijde te voorkomen, nadat de kifvulling is aangebracht, bestaat uit het bespuiten van de bovenzijde met lijm. Tenslotte is nog een proefmonster vervaardigd waarbij de reeds door middel van verwarming verdichte onderzijde van de mat met lijm wordt bespoten en daarna bezand. De gedachte hierbij is verbetering van de zanddichtheid te bewerkstelligen op het contactvlak tussen de mat en het onderliggende zandbed.

Met de met kif gevulde mat zijn een aantal voorbereidende proeven uitgevoerd om de invloed van de korrelsamenstelling van het kif op de zanddichtheid van de mat na te gaan. Bij deze proeven werd de constructie onderzocht in een perspex drukvat waarin een permanente stroming loodrecht op het scheidingsvlak van het zand en de mat werd ingesteld.

Het voornemen bestaat het onderzoek voor deze mat voort te zetten met een opstelling waarbij de mat wordt gebruikt als taludbekleding van een zanddam onder golfomstandigheden.

3 Conclusies

3.1 Mat niet verdicht aan de onderzijde (T1 ... T7)

- 1 De mat van nylondraden, toegepast op een zandbodem onder een bestorting van lichte stortsteen 10/80 kg, levert bij hoge stroomsnelheden (ca. 5,25 m/s) en bij stroom met verhoogde turbulentie-intensiteit een relatief grote weerstand tegen zandverlies, mits het verhang in piëzometrisch niveau in horizontale richting beperkt blijft.

- 2 De kritieke waarde van het verhang in horizontale richting voor verlies van zanddichtheid bedraagt ca. 4 %.
- 3 De toepassingsmogelijkheden van de nylonmat kunnen worden vergroot door een verbetering van de geringe weerstand tegen zandverlies bij verhangen in horizontale richting. Deze verbetering kan bijvoorbeeld worden gevonden door het creëren van een zanddicht scheidingsvlak aan de onderzijde van de mat, eventueel gecombineerd met het binnen de mat aanbrengen van de noodzakelijk geachte verzwaring van de mat.

3.2 Mat met verdichte onderzijde (T8 ... T17)

- 1 Het is mogelijk de mat van nyloodraad te vullen met kif zodat de met kif gevulde mat zanddicht is voor wadzand ($d_{50} \approx 135 \mu$), bij permanente stroming vanuit het zand loodrecht op het scheidingsvlak van zand en mat.
- 2 Een voorwaarde voor zanddichtheid van de mat met kif is de aanwezigheid van een voldoende hoeveelheid van de fijne fractie in het kif. Globaal gesproken wordt hieraan voldaan bij een verhouding van 4 à 5 tussen de diameter d_5 van het kif en de diameter d_{90} van het zand.
- 3 Voldoende indringen tussen de nyloodraden in de mat van de grovere fractie van het kif is gewaarborgd als voldaan wordt aan de voorwaarde dat maximaal door 10 gewichtsprocenten van het kif een korreldiameter van 5 mm wordt overschreden.
- 4 Volledig impregneren van de mat met kunsthars, zodat alle nyloodraden volledig worden omhuld met hars, verhindert het indringen van het kif in de mat in belangrijke mate.
- 5 Bij de maximale vullingsgraad van de mat met kif die met inborstelen kon worden bereikt, bedraagt de hoeveelheid kif in de mat $30 - 33 \text{ l/m}^2$, bij een totale matdikte van 44 mm. Dit houdt in dat in het onderste gedeelte van de mat, waar de nyloodraden dichter aaneengesloten zijn ten gevolge van de beoogde verdichting van de onderzijde van de mat, geen kif kan doordringen.

4 Opzet van het onderzoek

Een overzicht van de goot in Lith is gegeven in figuur 1. Het verdiepte gedeelte van de goot werd gevuld met wadzand, waarvan de korrelverdeling is gegeven in figuur 2. Bij de stroomproeven werd de bodem ter plaatse van het zandbed onder een verhang van 1 ‰ gelegd (0,10 m op 10 m). Hiermee werd beoogd een compensatie te vinden voor het afnemen van de waterdiepte ten gevolge van het waterspiegelverhang.

De gewichtsverdeling van de gebruikte stortsteen 10/80 kg is gegeven in figuur 3. Zoals blijkt uit de figuur is de steen wat aan de lichte kant.

De stroomsnelheden zijn gemeten met een ottmolen.

De proeven die in de stroomgoot te Lith werden uitgevoerd zijn aangegeven in tabel I.

proef	opstelling
T1	Enka-mat + stortsteen 10/80 kg op wadzand
T2	Enka-mat + stortsteen 10/80 kg op wadzand
T3	alleen stortsteen 10/80 kg op wadzand
T4	Enka-mat + stortsteen 10/80 kg op wadzand goot plaatselijk vernauwd: verhoogde turbulentie en lokaal sterke drukgradiënt
T5	Enka-mat + stortsteen 10/80 kg op wadzand overlaat in de goot: verhoogde turbulentie
T6	alleen stortsteen 10/80 kg op wadzand overlaat in de goot: verhoogde turbulentie
T7	Enka-mat + stortsteen 10/80 kg op wadzand caissonproef

Tabel I

De dikte van de beproefde Enka-mat bedroeg 70 mm. De onderzijde van de mat was niet verdicht. De mat was niet geïmpregneerd.

Voor het constateren van het verlies van zanddichtheid geeft de eventuele zakking van de stenen van de bestorting een goede indicatie. Hiervan werd bij de stroomproeven gebruik gemaakt. Daarnaast werd ook wel na een zekere tijd met een bepaalde stroomsnelheid te hebben gestroomd in de leeggelopen goot visuele controle op het verlies van zanddichtheid uitgevoerd. Ook werd in sommige gevallen het zandbed voor en na een proef gewaterpast. Om te vermijden dat langs de wanden en aan het begin en het einde van het zandbed door randeffecten zand zou ontwijken, werd op deze plaatsen een strook zanddicht nylonweefsel aangebracht. Deze strook werd over een diepte van ca. 25 cm in het zand ingegraven en over een afstand van ca. 25 cm op het zand onder de mat gelegd.

De proeven die in het drukvat in het Laboratorium De Voorst werden uitgevoerd zijn aangegeven in tabel II.

Het drukvat is cilindervormig en gemaakt van perspex. Het heeft een inwendige diameter van 0,29 m. Het drukvat is weergegeven op foto 8.

De drukhoogte kan worden ingesteld met behulp van een op en neer beweegbaar reservoir dat met het drukvat in verbinding staat. Via de waterleiding kan water worden aangevoerd in het reservoir waarin een overlooprand is aangebracht. Door een overmaat aan water aan te voeren dat over de overlooprand kan wegvloeien, kan een constant drukniveau worden ingesteld.

In de opstelling waarin de Enka-mat proeven zijn uitgevoerd werd het vat aan de onderzijde gevuld met grof grind overgaand in fijner grind. Hierop werd een laag wadzand aangebracht dat fungeerde als onderlaag van de filtermat. De drukhoogte onderin het vat werd stapsgewijs opgevoerd. Aan de bovenzijde van het vat kon het water vrij wegvloeien. Op deze wijze werd in verticale richting naar boven het verhang over het wadzand en de daarop liggende filtermat ingesteld. Door middel van een rooster in het vat dat direct aansluit boven de te beproeven constructie is voorkomen dat in het inwendige van het vat verticale verplaatsing van de constructie plaatsvindt ten gevolge van de optredende drukkrachten.

Het verloop in piëzometrisch niveau over de verschillende lagen materiaal die in het vat zijn aangebracht kan worden gemeten met behulp van drukaansluitingen. Via een doorzichtige plasticslang kan het piëzometrisch niveau dat op deze plaatsen optreedt, worden afgelezen op een schaalverdeling.

proef	opstelling
T8	kifsoort 1 in laagdikte van 4 cm op onderlaag van wadzand
T9	kifsoort 2 in laagdikte van 4 cm op onderlaag van wadzand
T10	Enka-mat type 5004, niet geïmpregneerd, geheel gevuld met kifsoort 2, op onderlaag van wadzand
T11	Enka-mat type 5004, niet geïmpregneerd, gedeeltelijk gevuld met kifsoort 2, op onderlaag van wadzand
T12	kifsoort 3 in laagdikte van 4 cm op onderlaag van wadzand
T13	Enka-mat type 5004, niet geïmpregneerd, volledig gevuld met kifsoort 3, op onderlaag van wadzand
T14	kifsoort 4 in laagdikte van 4 cm op onderlaag van wadzand
T15	Enka-mat type 5004, niet geïmpregneerd, volledig gevuld met kifsoort 4, op onderlaag van wadzand
T16	Enka-mat type 5003, geïmpregneerd, volledig gevuld met kifsoort 4, op onderlaag van wadzand
T17	Enka-mat type 5004, geïmpregneerd, volledig gevuld met kifsoort 4, op onderlaag van wadzand

Tabel II

5 Proeven met een mat met niet verdichte onderzijde (T1 ... T7)

5.1 Metingen en resultaten

T1, T2

Het samenstellen van de mat is weergegeven op foto's 1 en 2.

De opstelling van T1 en T2 is weergegeven in figuur 4. De stroomsnelheid werd tijdens de proef in stappen geleidelijk opgevoerd en werd ingesteld in raai 2 gelegen in de as van de goot, halverwege het zandbed. Bij T1 werd begonnen bij een stroomsnelheid van 0,25 m/s. Na $8\frac{1}{2}$ uur stapsgewijs opvoeren bedroeg de stroomsnelheid ca. 3 m/s. Er werd naar gestreefd na iedere stap gedurende een half uur de stroomsnelheid constant te houden. Bij T2 werd begonnen met een stroomsnelheid van 3,30 m/s. Na bijna 3 uur stromen werd hier de maximaal haalbare stroomsnelheid van ca. 5,25 m/s bereikt. Aan het einde van iedere stap werd, voordat de stroomsnelheid werd opgevoerd, controle uitgeoefend op eventueel zandverlies door de hoogteligging van enkele vooraf gekozen stenen van de steenbestorting te controleren. Het verloop van de ingestelde stroomsnelheden en de tijdsduur van stromen is weergegeven in figuur 5.

De proef T2 kan worden gezien als een voortzetting van T1. Bij T1 was het uitgangspunt voor de maximaal ingestelde stroomsnelheid de gemiddelde kritieke stroomsnelheid voor de stabiliteit van de toegepaste stortsteen. Deze gemiddelde kritieke stroomsnelheid (\bar{u}_{kr}) kan worden afgeleid uit de kritieke schuifspanning langs de bodem (τ_{kr}) die in relatie met het gewicht van de stortsteen kan worden gebracht volgens:

$$\tau_{kr} = A (\rho_m - \rho_w) \cdot g \cdot D$$

waarin:

- τ_{kr} = kritieke schuifspanning
- A = constante (0,03 à 0,06)
- ρ_m = dichtheid van de steen
- ρ_w = dichtheid van het water
- g = versnelling van de zwaartekracht
- D = gemiddelde diameter van de stenen

De gemiddelde kritieke stroomsnelheid kan daarna worden berekend uit de relatie:

$$\bar{u}_{kr} = \frac{C}{\sqrt{g}} \sqrt{\frac{\tau_{kr}}{\rho_w}}$$

waarin:

\bar{u}_{kr} = gemiddelde kritieke stroomsnelheid

C = coëfficiënt van Chézy = $18 \log \frac{12h}{k}$

Uit de literatuur is bekend dat de waarde van de constante A bij bodem-materiaal met een overwegend ronde vorm ca. 0,03 bedraagt, terwijl voor A bij hoekig en plat bodemmateriaal 1,5 à 2 maal de genoemde waarde van toepassing is.

Bij: $D = D_n \approx 0,25 \text{ m}$,
 $h \approx 1,50 \text{ à } 2,00 \text{ m}$,
 $k = D_{90} \approx 0,30 \text{ m}$,
 $\rho_m \approx 2800 \text{ kg/m}^3$, volgt voor:

$A = 0,03$: $\bar{u}_{kr} = \text{ca. } 3,7 \text{ m/s}$

$A = 0,045 \text{ à } 0,06$: $\bar{u}_{kr} = \text{ca. } 4,5 \text{ à } 5,25 \text{ m/s}$

Bij T1 werd uit veiligheidsoverwegingen uitgegaan van een lage waarde voor \bar{u}_{kr} . Tijdens de maximale gemiddelde stroomsnelheid van ca. 5,25 m/s die bij T2 werd ingesteld, behield het bodemmateriaal een stabiele ligging. Hieruit blijkt dat \bar{u}_{kr} voor de toegepaste stortsteen een aanzienlijk grotere waarde heeft, hetgeen aan de vorm van de toegepaste stortsteen kan worden toegeschreven.

Na het bereiken van de hoogste stroomsnelheid van ca. 3 m/s die bij T1 werd ingesteld werd nog gedurende 4 uur met deze snelheid doorgestroomd.

Er werd tijdens T1 geen enkele zakking van de stenen waargenomen. Na afloop van de proef werd een gedeelte van de stortsteen van de mat verwijderd (zie foto 3). Het materiaal bleek onder invloed van het gewicht van de steen vervormd te zijn. In de directe omgeving van de stenen bleek dat enig zand was verplaatst over korte afstand. Op de plaatsen waar geen vervorming van de mat was opgetreden was enig zand afgezet. Na het terugvouwen van een gedeelte van de mat gaf het zandbed een enigszins hobbelig aanzien ten

gevolge van de aanwezigheid van de stenen. De mat neemt aan de onderzijde wat zand op (zie foto 2).

Het verhang van de waterspiegel bedroeg tijdens T1 plaatselijk maximaal 1 ‰.

Bij T2 werd na het bereiken van de maximaal haalbare stroomsnelheid in de goot van 5,25 m/s gedurende 13 uur met deze snelheid doorgestroomd (figuur 5). Na 1 uur met deze snelheid te hebben gestroomd bleek dat een steen, die op circa 1 m voor het einde van het zandbed lag, circa 10 cm was gezakt. Bij de overige stenen waarvan de hoogteligging werd gecontroleerd, werd geen verandering van betekenis waargenomen. Na afloop van de proef werd het zandbed na het verwijderen van de mat en de bestorting gewaterpast. De geconstateerde hoogteverschillen ten opzichte van de beginsituatie zijn aangegeven in figuur 7. Het zandverlies aan de benedenstroomse zijde van het zandbed is toe te schrijven aan een randeffect bij de begrenzing van het zandbed. Op de andere plaatsen is gemiddeld gezien nauwelijks sprake van zandverlies (in aanmerking nemend de nauwkeurigheid waarmee het zandbed kan worden gewaterpast).

Het verloop van de waterspiegel en de verdeling van de stroomsnelheid tijdens de duurproef van 13 uur met 5,25 m/s is weergegeven in figuur 6. Het verhang van de waterspiegel bedroeg maximaal circa 3,5 ‰.

T3

Bij de proeven T1 en T2 bleek dat de combinatie van Enka-mat en steenbestorting tot hoge stroomsnelheden een beschermende invloed uitoefent op het onderliggende zandbed. Om een indruk te krijgen welke bijdrage het nylonmateriaal hieraan levert onder de in de stroomgoot heersende omstandigheden werd in de situatie T3 een proef uitgevoerd waarbij het nylonmateriaal niet werd toegepast. Er werd stortsteen 10/80 kg in een gesloten laag met een gewicht van circa 300 kg/m² direct op het zandbed aangebracht. De opstelling is verder gelijk aan T1 en T2 (zie figuur 4). Voor het constateren van het begin van zandverlies en de mate daarvan werd tijdens het stromen de hoogteligging van enkele stenen, die verdeeld over de lengte van het zandbed waren gelegen, gecontroleerd.

De stroomsnelheid werd ingesteld in raai 2 en werd in stappen opgevoerd vanaf een beginwaarde van circa 1,20 m/s. Het verloop van de ingestelde stroomsnel-

heden en de tijdsduur van stromen is weergegeven in figuur 5. Na een half uur stromen met 2,90 m/s werd een zakking van de stenen geconstateerd van 2,5 cm, 3 cm, 6 cm en 0 cm gelegen op respectievelijk 2 m, 5 m, 7 m en 8,5 m gerekend vanaf het begin van het zandbed. De stroomsnelheid werd daarna op 3,35 m/s gebracht. Na een half uur stromen met deze snelheid was de zakking van de stenen toegenomen tot respectievelijk 3,5 cm, 4 cm, 6 cm en 5,5 cm. Het stromen werd hierna nog gedurende 4 uur voortgezet met 3,35 m/s.

De totale daling van het zandbed ten opzichte van de beginsituatie werd door waterpassing vastgesteld na verwijdering van de stenen van het zandbed na afloop van de stroomproef. Figuur 8 geeft deze totale daling weer die gemiddeld ruim 10 cm bedraagt.

Bij vergelijking van de eindsituatie in de bodemligging na afloop van T2 (13 uur met maximale stroomsnelheid van 5.25 m/s) en na afloop van T3 (4,5 uur met een stroomsnelheid van 3,35 m/s), blijkt een duidelijk verschil in gunstige zin voor de situatie bij T2. Dit verschil kan aan de aanwezigheid van het nylonmateriaal onder de steen worden toegeschreven.

Het verhang van de waterspiegel tijdens proef T3 bedroeg bij de stroomsnelheid van 3,35 m/s circa 1 ‰.

T4

Deze proef is uitgevoerd om een indruk te krijgen van het effect van een verhoogde turbulentiëgraad van het water op de bodembeschermende werking van de combinatie van nylonmateriaal en een laag stortsteen 10/80 kg. In de goot werd een vernauwing aangebracht op 1,75 m vanaf het begin van het zandbed door middel van 2 houten balken die ter weerszijden tegen de gootwanden werden geplaatst. De vernauwing van het doorstroomprofiel bedroeg 30 ‰. De opstelling van de proef is weergegeven in figuur 9. De mat was voorzien van wiepen van nylonmateriaal (zoals bij T1).

De stroomsnelheid werd ingesteld in raai 2, gelegen in de as van de goot op 1,50 m benedenstrooms van de vernauwing. Ter controle van eventueel zandverlies werd de hoogteligging van enkele stenen van de bestorting gecontroleerd.

Het verloop van de ingestelde stroomsnelheden en de tijdsduur van stromen is weergegeven in figuur 10. Na een half uur stromen met $\bar{v} \approx 3$ m/s (raai 2) bleek enige zakking van de stenen ter plaatse van de vernauwing te zijn opgetreden. Het stromen werd daarna nog gedurende 4 uur met deze snelheid voortgezet. De verticale stroomsnelheidsverdeling in raai 1 en raai 2, gemeten in de as van de goot, is weergegeven in figuur 10. Het optredende stroombeeld bij de maximaal ingestelde toestand is gegeven in figuur 11.

De tegen de gootwanden geplaatste houten balken veroorzaakten plaatselijk een sterke contractie en een versnelling van de stroom (zie foto 3). Gepaard gaande hiermee trad in het versnellingsgebied een versterkt verhang op. Het verhang van de waterspiegel bedroeg in orde van grootte 10-20 %. Aan de bodem is de waarde van het verhang in het piëzometrisch niveau lager ten gevolge van het afnemen van de kromming van de stroomlijnen.

Ten aanzien van de zanddichtheid van de nylonmat met bestorting was deze waarde kritiek, getuige de optredende verzakkingen van de stenen. De aangetroffen situatie na in totaal 4,5 uur stromen in de maximaal ingestelde stromingstoestand wordt geïllustreerd door de foto's 3 en 4. De onderlinge verbinding van de stroken nylonmateriaal bleek op enkele plaatsen verbroken (zie foto 4). De verandering van de bodemligging ten opzichte van de begintoestand is weergegeven in figuur 12. Hieruit blijkt dat alleen aantasting is opgetreden ter plaatse van de vernauwing. De grotere turbulentie-intensiteit van de stroom over het benedenstroomse gedeelte van het zandbed heeft bij een stroomsnelheid van ca. 1,30 m/s kennelijk geen verlies van zanddichtheid tot gevolg.

Hieruit blijkt de gevoeligheid voor verhang in piëzometrisch niveau ten aanzien van verlies van zanddichtheid van de nylonmat.

T5, T6

Tijdens proef T4 werd ten gevolge van de in de goot aangebrachte vernauwing benedenstrooms een verhoogde turbulentie-intensiteit gecreëerd. Ter plaatse van de vernauwing ontstonden echter tevens lokaal sterke verhangen in piëzometrisch niveau, zodat tijdens deze proef de bodembescherming tegelijkertijd werd blootgesteld aan twee verschillende belastingstoestanden, die van invloed kunnen zijn op de zanddichtheid.

Bij de proeven T5 en T6 werd een opstelling gekozen waarbij de bescherming voornamelijk werd blootgesteld aan stroom met verhoogde turbulentiegraad. Daartoe werden op 3 m voor het begin van het zandbed 2 betonkubussen (van 1 m³ elk) naast elkaar in de goot geplaatst. De opstelling voor T5 en T6 is weergegeven in figuur 13.

Bij T5 bestaat de bescherming uit de mat van nylondraad met daarop een gesloten laag van de stortsteen 10/80 kg met een gewicht van ca. 300 kg/m². Bij T6 werd deze laag stortsteen direct op het zandbed aangebracht. Deze opstelling biedt de mogelijkheid na te gaan welke bijdrage door de nylonmat wordt geleverd aan de beschermende werking van de laag stortsteen tijdens omstandigheden van overtrekkende stroom met verhoogde turbulentie-intensiteit.

Tijdens de uitvoering van T5 werd de stroomsnelheid ingesteld in raai 1 gelegen op 1 m voor het einde van het zandbed. De verschillende fasen waarin het opvoeren van de stroomsnelheid verliep zijn weergegeven in figuur 14. Doordat de beide betonkubussen enigszins verspringend ten opzichte van elkaar (ca. 0,25 m) in de goot moesten worden geplaatst, ontstond een ongelijkmatige verdeling van de stroom over de breedte van de goot. Een enigszins nauwkeurig aangeven van de ingestelde stroomsnelheden wordt hierdoor bemoeilijkt. Het ongelijkmatige karakter van de verdeling werd echter tijdens het opvoeren van de stroomsnelheid geringer en verdween tenslotte tijdens de laatste fase (fase V: situatie met watersprong). Figuur 15 geeft de verdeling van de stroomsnelheid over het doorstroomprofiel in raai 1 voor fase II.

Bij T5 werd steeds bij iedere stap een half uur gestroomd, waarna het stromen werd onderbroken, de goot werd drooggezet en de bodemligging gecontroleerd. Tijdens de ingestelde stromingstoestanden in de fasen I ... IV werd hierbij geen verandering van de bodemligging geconstateerd.

Bij fase IV bedroeg de gemiddelde stroomsnelheid onder de kuil in de waterspiegel benedenstrooms van de betonblokken circa 2,6 m/s en in raai 1 circa 1,85 m/s, terwijl in raai 1 op 0,25 m onder de waterspiegel een maximale stroomsnelheid van 2,28 m/s werd geregistreerd. Toen na een half uur stromen in deze toestand nog geen verandering van de bodemligging kon worden waargenomen werd de

maximaal haalbare stromingstoestand in de goot ingesteld. Hierbij trad een watersprong op. De waterdiepte voor de watersprong bedroeg circa 0,50 m. Bij een debiet van circa $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ per m^2 kan hierbij een gemiddelde stroomsnelheid worden berekend van circa 7 m/s. Na de sprong bedroeg de stroomsnelheid bij een waterdiepte van circa 1,40 m gemiddeld circa 2,7 m/s. Gedurende 5 minuten bleef de stabiliteit in deze situatie bewaard. Zeer plotseling trad in het gebied met schietend water een instabiliteit op, waarna het stromen zo spoedig mogelijk werd beëindigd. De mat bleek te zijn gescheurd op het gedeelte dat op de betonbodem voor het begin van het zandbed was gelegen (zie foto 5). Waarschijnlijk is het gewicht van de bodembescherming onvoldoende geweest om ter plaatse van de betonbodem de grote schuifkrachten ten gevolge van de overtrekkende stroom te weerstaan. De sterkte-eigenschappen van de nylonmat zijn te beperkt om een bijdrage aan de weerstand tegen verschuiven te leveren. Tevens bestaat de mogelijkheid dat ten gevolge van de sterke gradiënt in piëzometrisch niveau in horizontale richting, die in het gebied van de watersprong optreedt, zand door de mat is uitgetreden waardoor een aanleiding tot het instabiel worden van de mat kan zijn ontstaan.

In de tijd die nodig was om het stromen te beëindigen, ontstond ter plaatse van de beschadiging aan de mat een sterke ontgronding van het zandbed (zie figuur 16). Achteraf is het hierdoor niet mogelijk de juiste oorzaak van het stabiliteitsverlies aan te geven. Wel kan worden vastgesteld dat in deze opstelling pas onder extreme omstandigheden sprake is van een calamiteit.

Bij proef T6 (stortsteen direct op het zand) werd de stroomsnelheid eveneens in een aantal stappen opgevoerd, te beginnen met een stroomsnelheid van circa 1,50 m/s in raai 1 (zie figuur 13). De hoogteligging van de stenen werd tijdens het stromen gecontroleerd. De verdeling van de stroomsnelheid in de breedterichting van de goot was door een andere situering van de betonkubussen minder ongelijkmatig vergeleken met situatie T5. Bij een gemiddelde stroomsnelheid van circa 2 m/s in raai 1 werd na een half uur stromen een belangrijke daling van de stenen geconstateerd. Het stromen werd daarna met deze stroomsnelheid nog gedurende 4 uur voortgezet waarbij de zakkings toenamen. Na 1,5 uur stromen met deze stroomsnelheid bedroeg de zakking van de stenen gelegen aan het begin van het zandbed circa 30 cm en van die gelegen aan

het einde van het zandbed circa 10 cm. Tijdens het verdere verloop van de proef nam de zakking toe. Figuur 17 geeft de verandering van de hoogteligging van het zandbed ten opzichte van de beginsituatie weer na 4,5 uur stromen. In figuur 14 is voor T6 het verloop van de waterspiegel tijdens de fase met een gemiddelde stroomsnelheid van circa 2 m/s in raai 1 weergegeven. In figuur 15 is bij deze stroomsnelheid de verdeling van de stroomsnelheid over het profiel in raai 1 weergegeven. In deze figuur is tevens de verdeling van de stroomsnelheid in raai 1 aangegeven tijdens fase II van T5. De stromings-toestand tijdens deze fase is vrijwel gelijkwaardig aan de maximaal ingestelde toestand bij T6. Het effect op de bodemligging is echter duidelijk verschillend. Bij T5 trad in fase II en ook in latere fasen geen verzakking van de stenen op.

Uit de opgetreden zakkingen van de stenen ten gevolge van het zandverlies bij T6 blijkt duidelijk dat toepassing van de mat van nylondraad onder de steenbestorting zandverlies tegengaat.

T7

Uit enkele van de voorgaande proeven werd reeds een aanwijzing verkregen dat een langs de bodem optredend verhang in piëzometrisch niveau de zand-dichtheid van de nylonmat sterk nadelig kan beïnvloeden. Om enigszins nauwkeuriger te kunnen aangegeven hoe sterk deze gevoeligheid voor een dergelijk verhang is werd in T7 een zogenaamde "caisson" proef uitgevoerd.

In de goot werden een vertikaal en een horizontaal gesteld houten schot aangebracht, die met behulp van opblaasbare rubberbanden waterdicht tegen de gootwanden aansloten. De nylonmat werd horizontaal liggend op de bodem van de goot aangebracht en afgedekt met een laag stortsteen 10/80 kg. Het horizontale schot sloot met de onderzijde direct tegen de bovenzijde van de stortsteenlaag aan. Langs de oppervlakte van het zandbed werden in de as van de goot op een aantal plaatsen aansluitingen voor drukmetingen gemaakt met behulp van doorzichtige plastic slangetjes. De slangetjes waren aan het einde voorzien van een zakje met kif om verstopping ten gevolge van zand te voorkomen. De plaatselijk optredende drukken werden bepaald door het waterniveau in de doorzichtige slangetjes af te lezen. Een redelijke afleeshoogte werd bereikt door de druk boven het waterniveau in de slangetjes gelijkelijk

te verminderen. De slangetjes werden daartoe aangesloten op een centraal reservoir waarin de luchtdruk met behulp van een pomp werd verlaagd. Voor het aflezen van de waterniveaus werden de slangetjes langs een schaalverdeling op een afleesbord geleid (zie foto 6). Als referentiehoogte werd gebruikt de waterstand in het bovenstroomse gedeelte van de goot voor het verticale schot. Het water stond in dit gedeelte van de goot in vrije verbinding met het bovenpand van de rivier. Door verlaging van de waterstand achter het verticale schot kon het verval over de "caisson" worden ingesteld. Voor het constateren van zandverlies door de mat werd een beweegbare zandvang in de goot aangebracht (foto 6). De opstelling van de proef is weergegeven in figuur 18 (zie ook foto 6).

De eerste stap bestond uit het instellen en gedurende 0,5 uur handhaven van een verval van 0,11 m. Tijdens deze stap werd geen zandverlies geconstateerd. In de volgende stap werd het verval op 0,215 m gebracht. Dit verval werd gedurende 45 minuten gehandhaafd. Er werd hierbij zand in de zandvang aangetroffen. Bovendien bleek uit het verschijnen van schuim op het water en het troebel worden van het benedenwater duidelijk dat reeds zanddichtheidsverlies was opgetreden (zie foto 7). Ten overvloede werd daarna nog gedurende een half uur een verval ingesteld van 0,305 m.

In figuur 19 is het gemeten drukhoogteverloop tijdens de drie stappen weergegeven. Figuur 20 geeft de waargenomen hoogteverandering van het zandbed weer. Het zandbed vertoonde na de proef plaatselijk een sterke ontgronding. De aanzanding was meer gelijkmatig verdeeld (zie ook foto 7). Bij het uitzetten van de hoogteverandering gemiddeld over de breedte van de goot lijkt daardoor in figuur 20 de aanzanding de ontgronding te overtreffen.

Samenvattend kan worden gezegd dat uit deze proef blijkt dat de nylonmat reeds bij een gemiddeld verhang van circa 4 ‰ haar zanddichtheid verliest (0,20 m per 5 m'). Tijdens deze stap trad de maximale waarde voor het verhang op tussen punt 8 en punt 9 en bedroeg 6,5 ‰.

5.2 Samenvatting

Bij vergelijking van de resultaten van de voorgaande proeven blijkt dat de aanwezigheid van de mat van nylondraad onder een bestorting van lichte stortsteen 10/80 kg in bepaalde omstandigheden een onverwacht hoge weerstand tegen zandverlies levert (vergelijk T2-T3, T5-T6). Deze omstandigheden betreffen situaties met hoge stroomsnelheden en verhoogde turbulentie-intensiteit.

In situaties waarbij het verhang in piëzometrisch niveau in horizontale richting van meer betekenis wordt, blijkt dat de mat nauwelijks of geen weerstand tegen zandverlies levert. De kritieke waarde ten aanzien van de zanddichtheid onder een verhang is in orde van grootte van 4 ‰ (T7). Deze waarde is in vergelijking met andere materialen (polypropeenmatten) laag.

De verklaring van het verschijnsel dat de mat bij hoge stroomsnelheden en verhoogde turbulentie-intensiteit het zandverlies beperkt is zeer waarschijnlijk het vermogen tot demping van turbulenties als gevolg van de warrige structuur van de mat. De structuur is echter wel dermate open dat onder invloed van een beperkt verhang in piëzometrisch niveau in horizontale richting, zodanig grote stroomsnelheden in het materiaal kunnen optreden dat zand wordt getransporteerd. De oplossing hiervoor ligt in principe in het creëren van een zanddicht scheidingsvlak op de overgang tussen het zandbed en het daarboven aanwezige water. Hierbij kan worden gedacht aan een verdichting van de onderzijde van de mat.

De structuur van de mat levert ook op een ander punt mogelijkheden, namelijk het binnen de mat aanbrengen van de noodzakelijk geachte verzwaring. Hiervoor zal relatief fijn materiaal (bijvoorbeeld kif) moeten worden gekozen, waarbij mag worden verwacht dat de nylondraden aan het relatief fijne materiaal een vergroting van de weerstand tegen aantasting bij hogere snelheden in de overtrekkende stroom zullen leveren. Aanbrengen van een verzwaring in de vorm van kif binnen de mat maakt een zekere verdichting van de onderzijde van de mat noodzakelijk, om te voorkomen dat het kif door de mat valt.

6 Proeven met een mat met verdichte onderzijde

Deze proeven zijn uitgevoerd in een drukvat in het Waterloopkundig Laboratorium De Voorst (zie foto 8). Het doel van de proeven was te bepalen welke eisen gesteld moeten worden aan de korrelverdeling van het kif dat in een aan de onderzijde verdichte mat van nylondraad wordt aangebracht.

De met kif gevulde mat dient, geplaatst op een ondergrond van wadzand ($d_{50} \approx 135 \mu$, zie figuur 21), zanddicht te zijn bij stroming vanuit het zandbed in een verticale richting naar boven.

Omdat de nylondraden aan de korrelstructuur van het in de mat aangebrachte kif over het algemeen een meer open karakter verlenen, is in een aantal proeven eerst de zanddichtheid onderzocht van een laag van het beschouwde kif zonder mat.

6.1 Metingen en resultaten

T8

Het kif (kifsoort 1, zie figuur 22) werd in een laag met dikte van 4 cm aangebracht op het wadzand. Bij een verhang in het zandpakket van 2 à 2,5 drong het zand door het kif.

T9

Het kif (kifsoort 2, zie figuur 22) werd in een laag met een dikte van 4 cm aangebracht op het wadzand. Het kif bleef tot een verhang in het zandpakket van 5 zanddicht. Het verhang werd niet verder opgevoerd.

T10

Het kif van de vorige proef (kifsoort 2) werd aangebracht in de mat (Enka-mat type 5004). De mat werd geheel gevuld met kif (ca. 30 l/m^2 kif, laagdikte in de mat 3 à 3,5 cm). Het verhang in het zandpakket werd opgevoerd tot een waarde van 5. De mat met kif bleef hierbij zanddicht.

T11

Bij deze proef werd de mat (Enka-mat type 5004) met hetzelfde kif (kifsoort 2) maar met een geringere hoeveelheid gevuld (ca. 18 l/m^2 , laagdikte in de mat ca. 2 cm). Het kif bevond zich in het onderste gedeelte van de mat.

Het verhang werd ook in deze situatie tot een waarde van 5 opgevoerd waarbij de zanddichtheid in het zandpakket bleef bewaard.

T12

Teneinde de invloed van de korrelverdeling van kifsoort 1, waar in de fijnere fracties (d_5 en d_{10}) een onregelmatig verloop voorkomt, na te gaan werd een mengsel, half om half, gemaakt van kifsoort 1 en kifsoort 2. De bij dit mengsel behorende korrelverdeling is onder kifsoort 3 aangegeven in figuur 22. Ten opzichte van kifsoort 1 blijkt dat in de fijnere fracties hiermee vooral de d_{10} belangrijk verkleind is.

Het mengsel werd in een laagdikte van 4 cm op het wadzand aangebracht en onder een verhang in het zandpakket van maximaal 3 geplaatst. De laag bleef hierbij zanddicht voor het onderliggende wadzand.

T13

Bij deze proef werd het mengsel in de mat (Enka-mat - type 5004) aangebracht. De vulling bedroeg ca. 30 l/m^2 . Bij een verhang in het zandpakket van 3,5 à 4 trad langs de wand op enkele plaatsen zand door de mat. Op deze plaatsen was duidelijk een geringere hoeveelheid fijne fractie in het kifmengsel aanwezig. Bij deze kifsoort bleef de mat juist zanddicht.

T14

Op grond van de resultaten van de voorgaande proeven werd een specificatie gemaakt voor een kifsoort die toegepast kan worden in de Enka-mat type 5004 en waarbij de zanddichtheid bij stroming loodrecht op het scheidingsvlak naar verwachting blijft bewaard. De voorwaarden voor de korrelverdeling worden voor de fijnere fracties bepaald door de korrelverdeling van het onderliggende wadzand en voor de grovere fractie door de mogelijkheden het kif in de mat te doen dringen. De volgende specificatie werd hierbij gegeven:

fijnere fractie

$$d_5 \leq 800 \mu$$

$$d_{10} \leq 1000 \mu$$

grovere fractie

$$d_{50} \leq 2000 \mu$$

$$d_{90} \leq 5000 \mu$$

Het bleek moeilijk een kifsoort te vinden die geheel aan de specificaties beantwoordt. Tenslotte werd kif (kifsoort 4) besteld waarvan de korrelverdeling is weergegeven in figuur 22. Deze korrelverdeling komt dicht bij de opgegeven specificaties.

Bij T14 werd deze kifsoort 4 zonder mat in een laagdikte van 4 cm op wadzand beproefd. De kiflaag bleek zanddicht tot een verhang in het zandpakket van 6,5. Het verhang werd niet verder opgevoerd.

T15

Ook in combinatie met Enka-mat type 5004 bleek kifsoort 4 zanddicht. De hoeveelheid kif in de mat bedroeg 35 l/m^2 . Het verhang in het zandpakket werd opgevoerd tot 8,5.

T16

Bij deze proef werd kifsoort 4 toegepast in Enka-mat type 5003. De mat was bovendien geheel geïmpregneerd met kunsthars waarbij alle nylondraden zijn omhuld. De sterkte eigenschappen worden hierdoor verhoogd. De mat wordt echter stugger waardoor het kif zich minder gemakkelijker in de mat kan "nestelen".

Het bleek ook na herhaling van de proef dat in deze situatie verlies van zanddichtheid optrad bij een verhang in het zandpakket van 2,5.

T17

Tenslotte is nog een proef uitgevoerd met kifsoort 4 aangebracht in een geheel geïmpregneerde Enka-mat type 5004. De hoeveelheid kif in de mat bedroeg bij maximale vullingsgraad ca. 33 l/m^2 .

Het verhang in het zandpakket werd opgevoerd tot een waarde 3 waarbij op één plaats langs de wand zanddoorgang plaatsvond. Op deze plaats was waar te nemen dat het kif de mat in onvoldoende mate vulde.

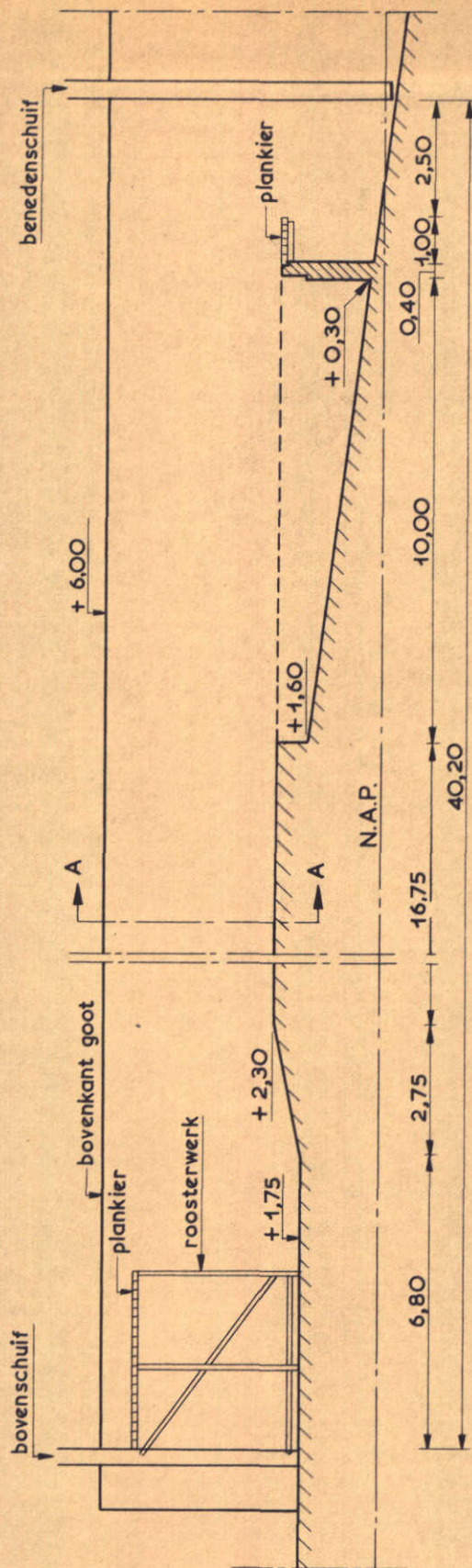
6.2 Samenvatting

Bij de proeven in het drukvat werd de combinatie kif - nylonmat steeds blootgesteld aan permanente stroming vanuit het zandpakket. In theorie zal voor zand in deze situatie bij een verhang van ca. 1 de zwaartekracht evenwicht maken met de drukkracht ten gevolge van het verhang. Bij deze en andere proeven is gebleken dat eerst bij een duidelijke overschrijding, namelijk een waarde voor het verhang in het zandpakket van 2 à 2,5, zanddoorgang waarneembaar is in gevallen waarin een niet zanddichte laag op het zandbed aanwezig is. Ten aanzien van de interpretatie van de bij de proeven vermelde waarden voor het verhang kan worden opgemerkt dat, indien bij deze waarde geen zanddichtheidsverlies geconstateerd wordt, ook bij hogere waarden voor het verhang in de meeste gevallen geen verlies van zanddichtheid optreedt.

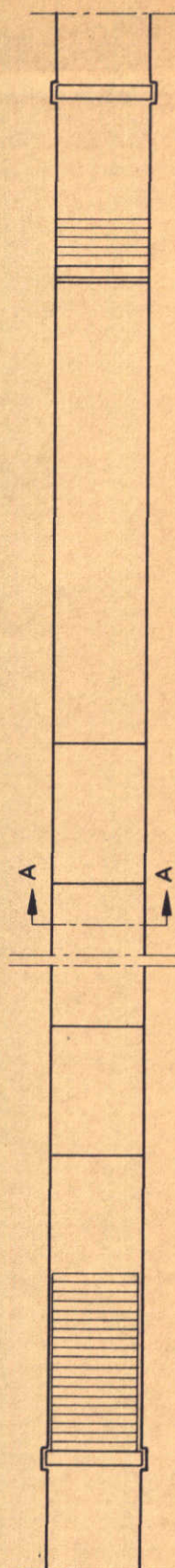
Bij de proeven werd in de gevallen waarin een combinatie van kif en nylonmat werd onderzocht steeds veel zorg besteed aan het bereiken van een goede vullingsgraad van het kif in de mat. Het kif werd door middel van een borstel in de mat gewerkt.

In praktijkomstandigheden, bijvoorbeeld bij toepassing van de met kif gevulde mat als bekleding van een zanddam en blootgesteld aan golfaanval, wordt de mat belast door een combinatie van belastingsvormen. Onder invloed van de golfwerking ontstaan naast stromingscomponenten vanuit het zand loodrecht op het scheidingsvlak van het zand en de mat ook stromingscomponenten in en over de mat evenwijdig aan het scheidingsvlak, waarbij tevens een hoge turbulentie-intensiteit optreedt. Deze laatste factoren konden bij de proeven in het drukvat bij het bepalen van de aan het kif te stellen eisen niet in rekening worden gebracht.

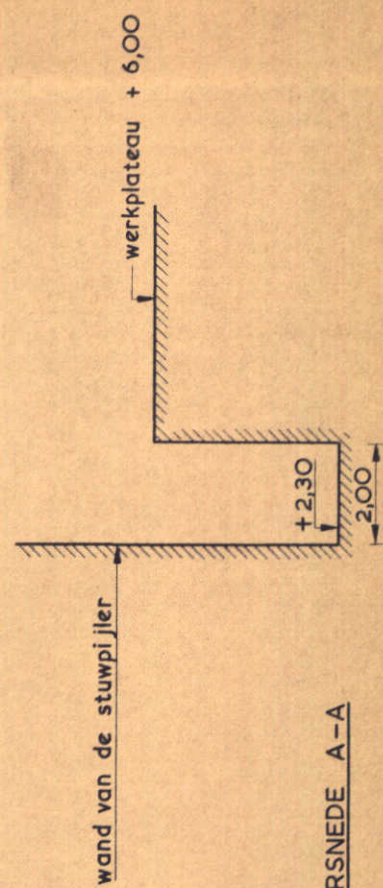
Bovenstaande overwegingen wijzen er op dat de resultaten van het onderzoek in het drukvat niet direct overdraagbaar zijn naar de praktijkomstandigheden. Speciaal op het terrein van het vullen van de mat met kif en de belastingsomstandigheden die voor de mat gelden, kunnen in de praktijk verschillen ontstaan.



LENGTEDOORSNEDE



BOVENAANZICHT



DOORSNEDE A-A

maten in m
hoogten in m t.o.v. N.A.P.

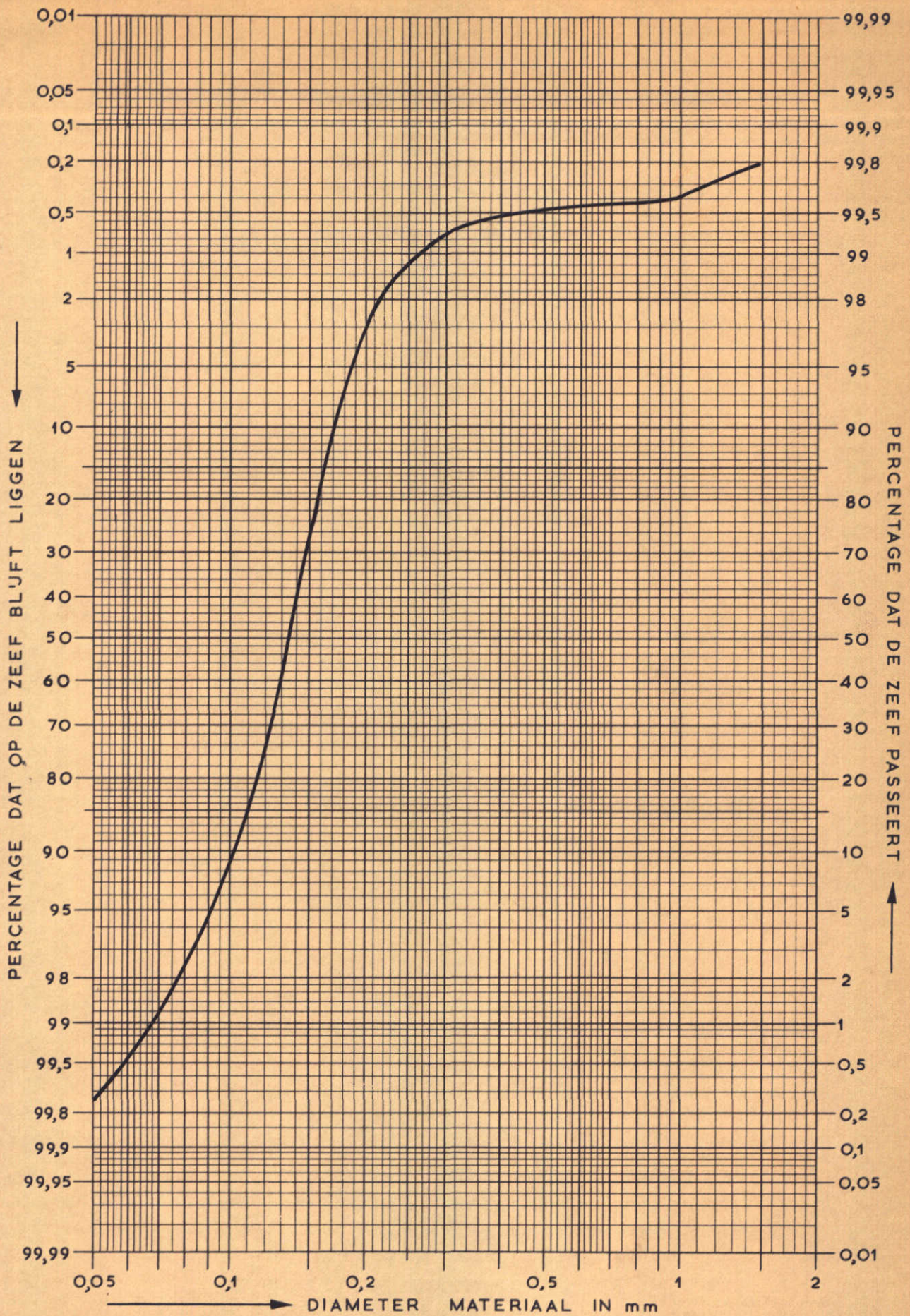
MEETGOOT TE LITH

SCHAAL 1:150

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R.460-VII

FIG. 1



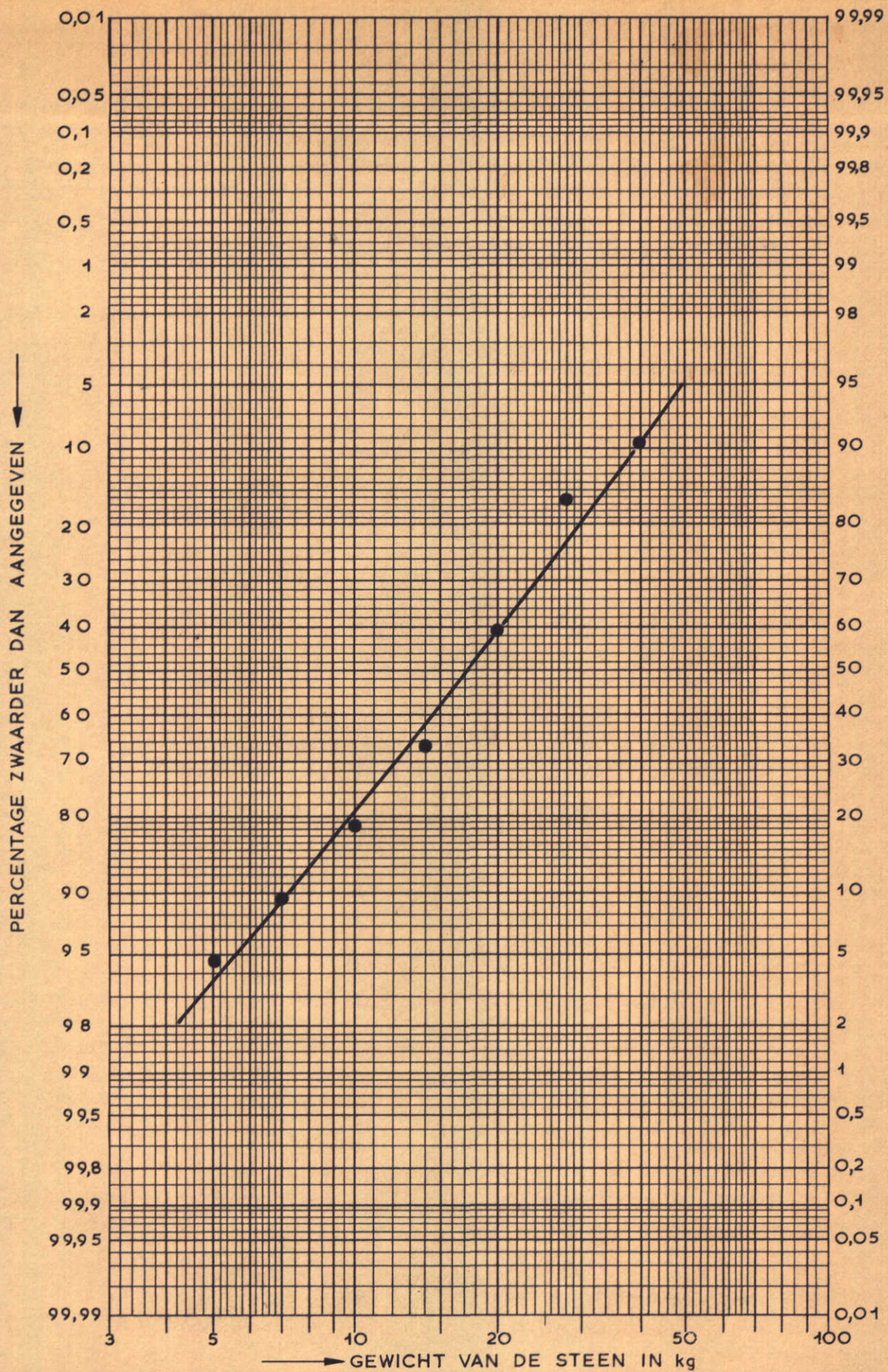
ZEEFKROMME WADZAND

T1.....T7

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R.460-VII

FIG. 2



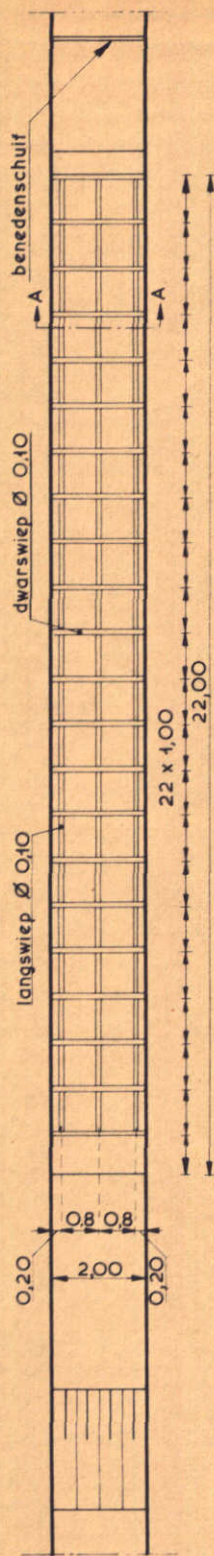
GEWICHTSVERDELING STORTSTEEN

T1.....T7

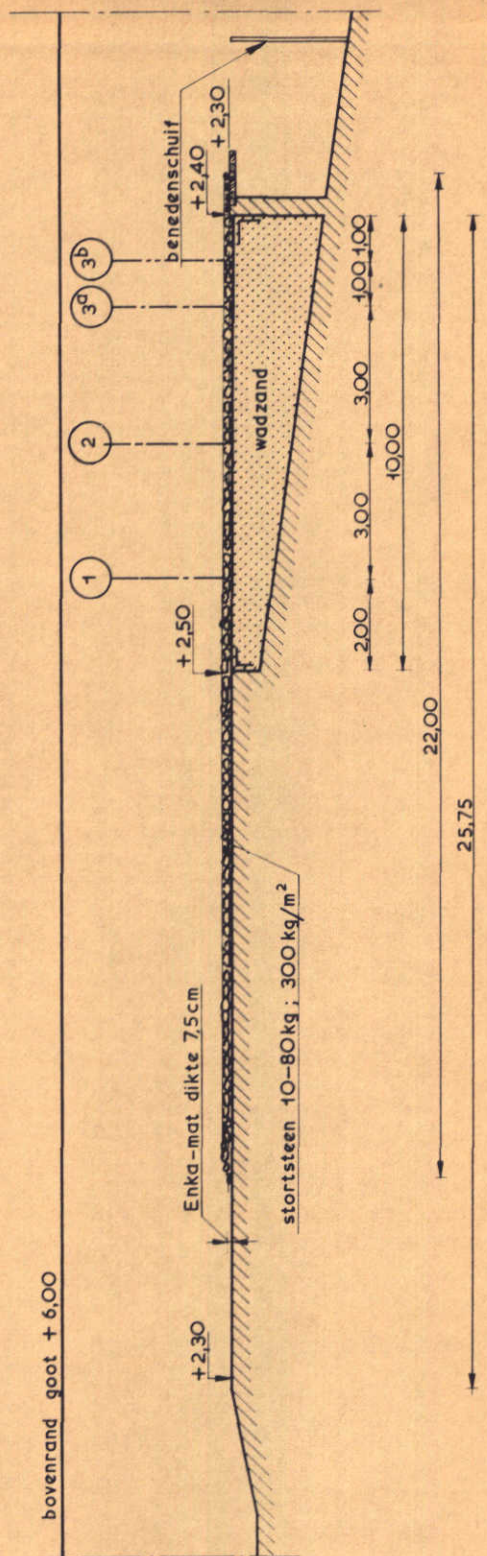
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R.460-VII

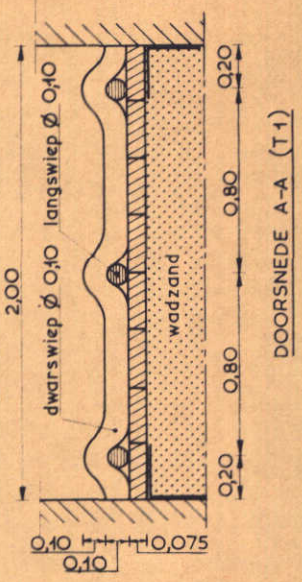
FIG. 3



BOVENAANZICHT T1 (op de mat liggende stortsteen niet aangegeven)



LENGTEDOORSNEDE



- T1 Enka-mat met wiepen
- T2 Enka-mat zonder wiepen
- T3 alleen stortsteen op zand

- 1 2 en 3 meetvertikalen bij T2 en T3
- 3^a gebruikt bij T3
- 3^b gebruikt bij T2

maten in m
hoogten in m t.o.v. N.A.P.

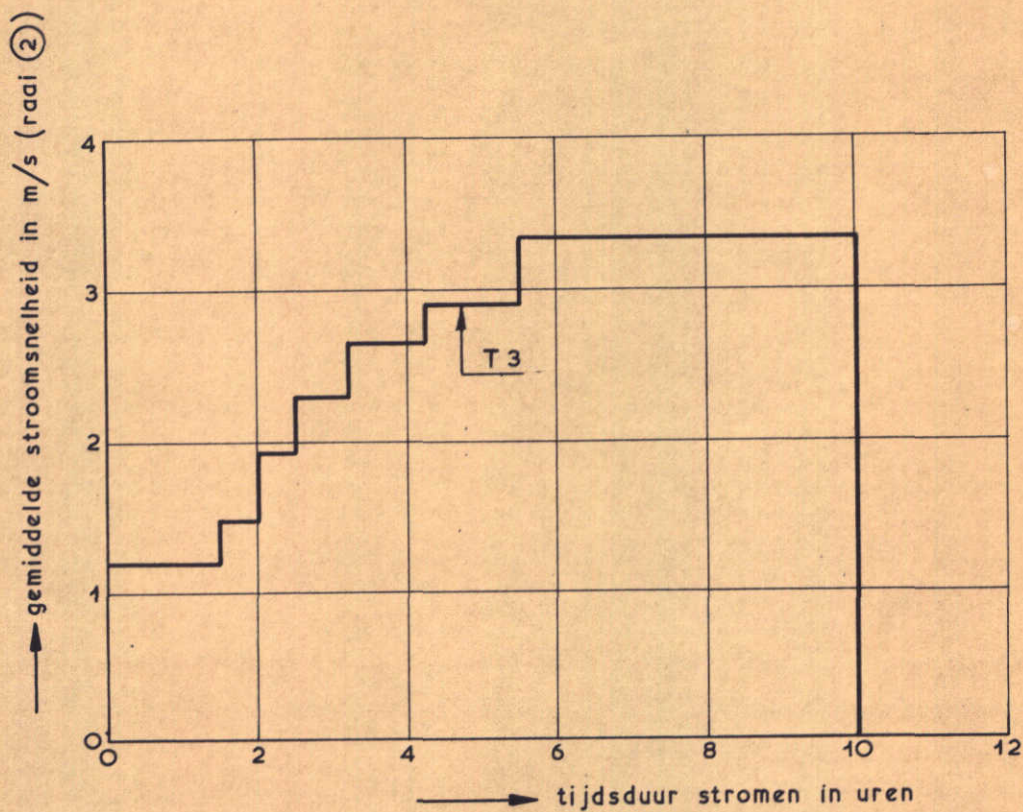
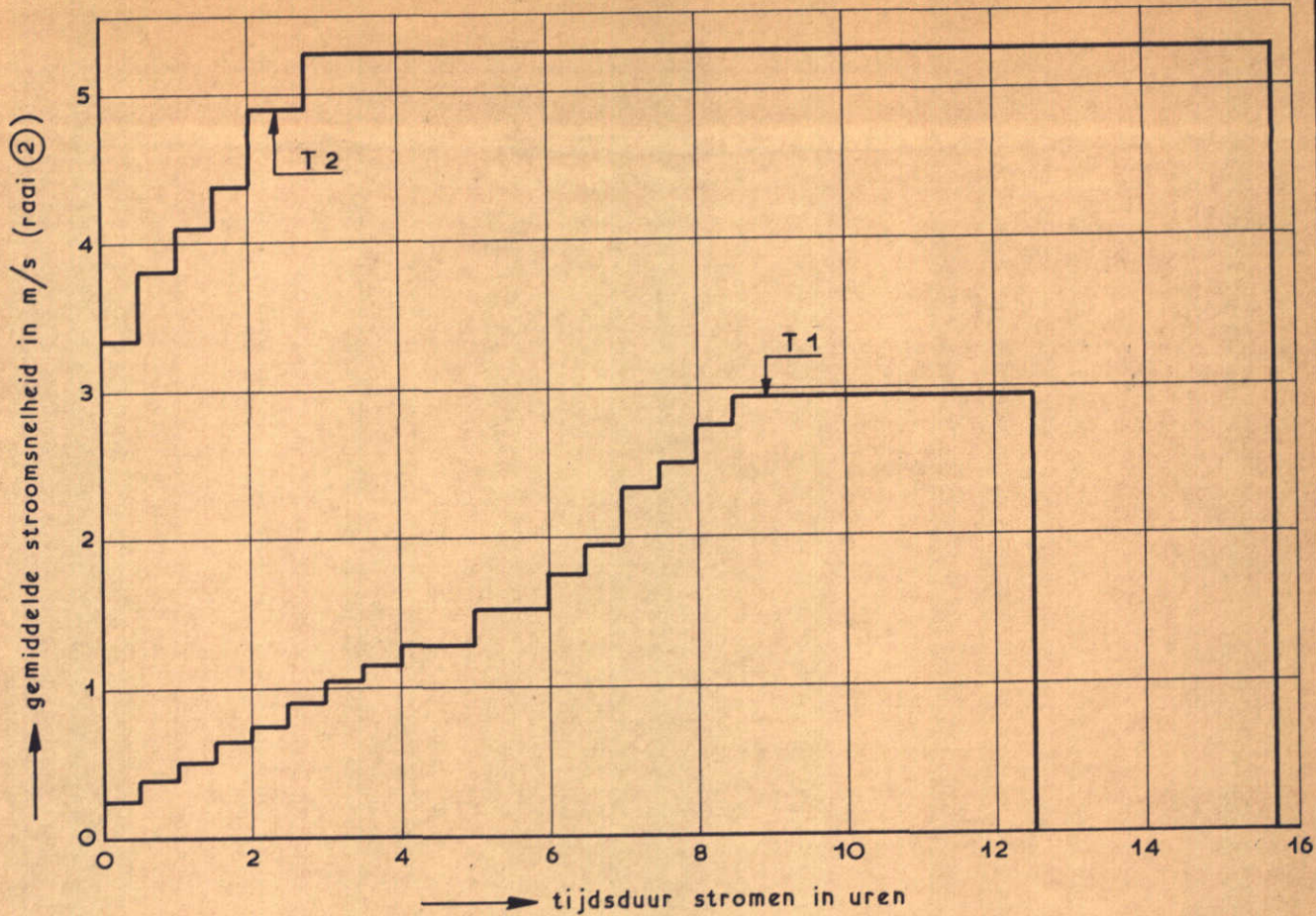
OPSTELLING PROEVEN

T1, T2, T3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R. 460-VII

FIG. 4



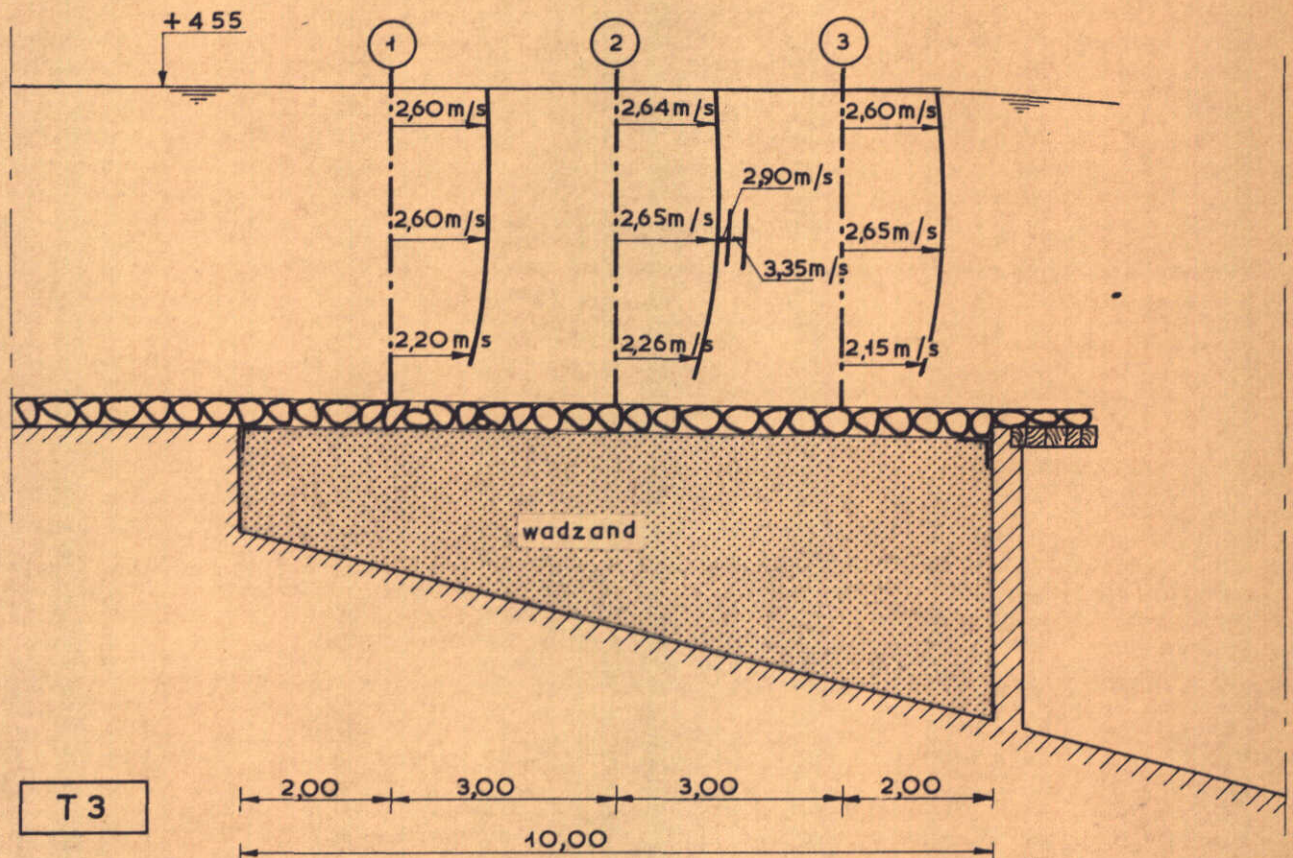
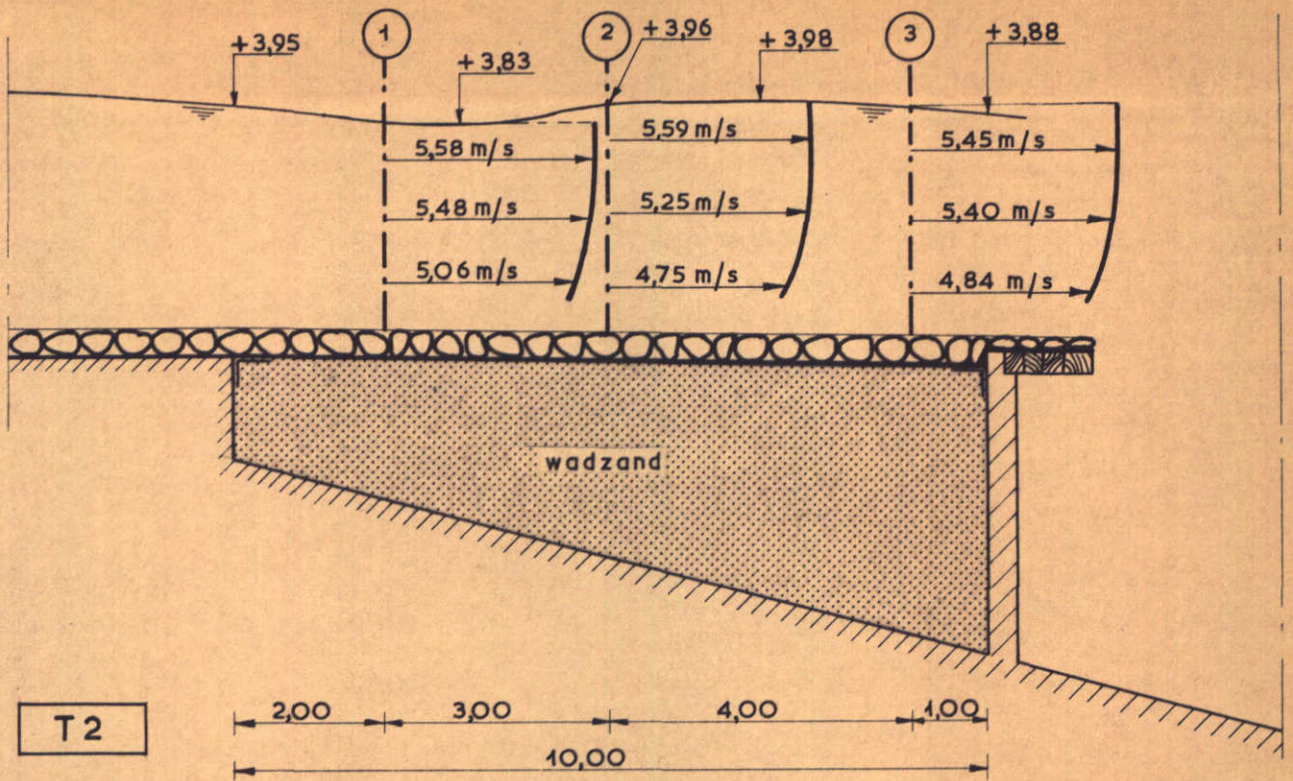
STROOMSNELHEDEN EN TIJDSDUUR

T1, T2, T3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R.460-VII

FIG. 5



maten in m
hoogten in m t.o.v. N.A.P.

WATERSPIEGELVERLOOP EN
SNELHEIDSVERDELING

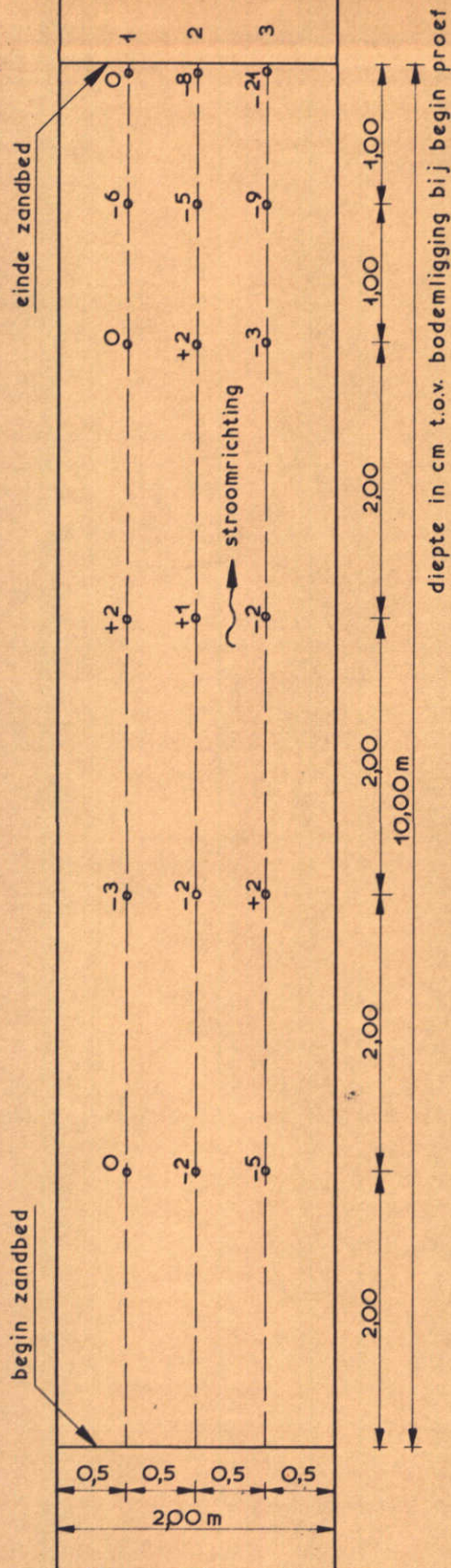
T2, T3

SCHALEN: hor 1:100
vert 1:50

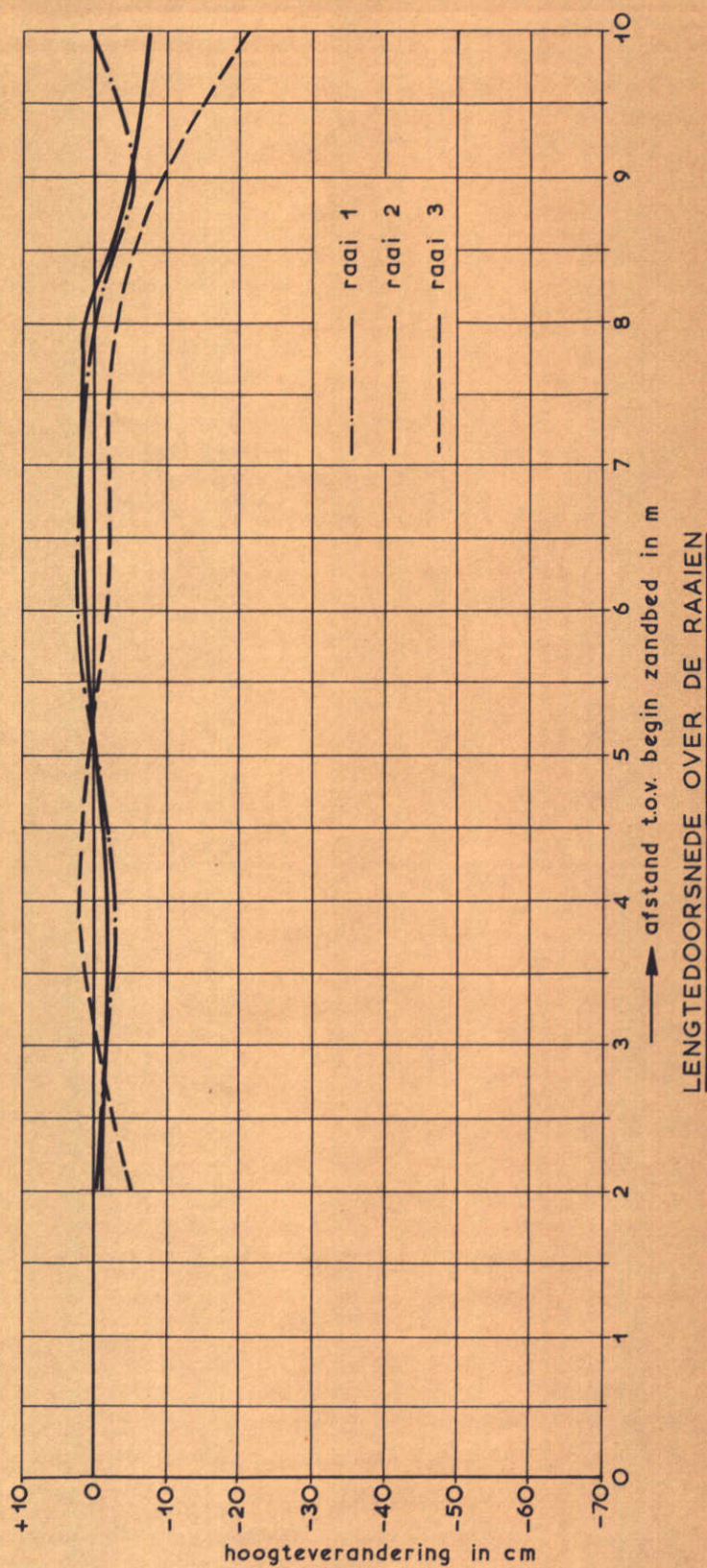
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R.460-VII

FIG. 6



BOVENAANZICHT



LENGTEDOORSNEDE OVER DE RAAIEN

LIGGING ZANDBED NA PROEF

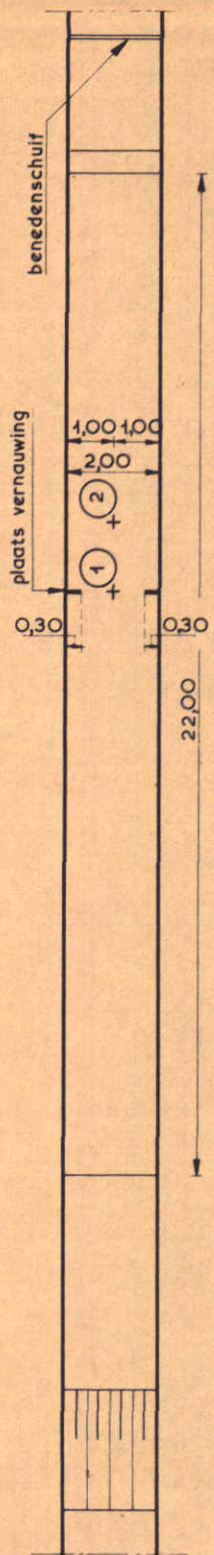
T2

SCHAAL 1: 50

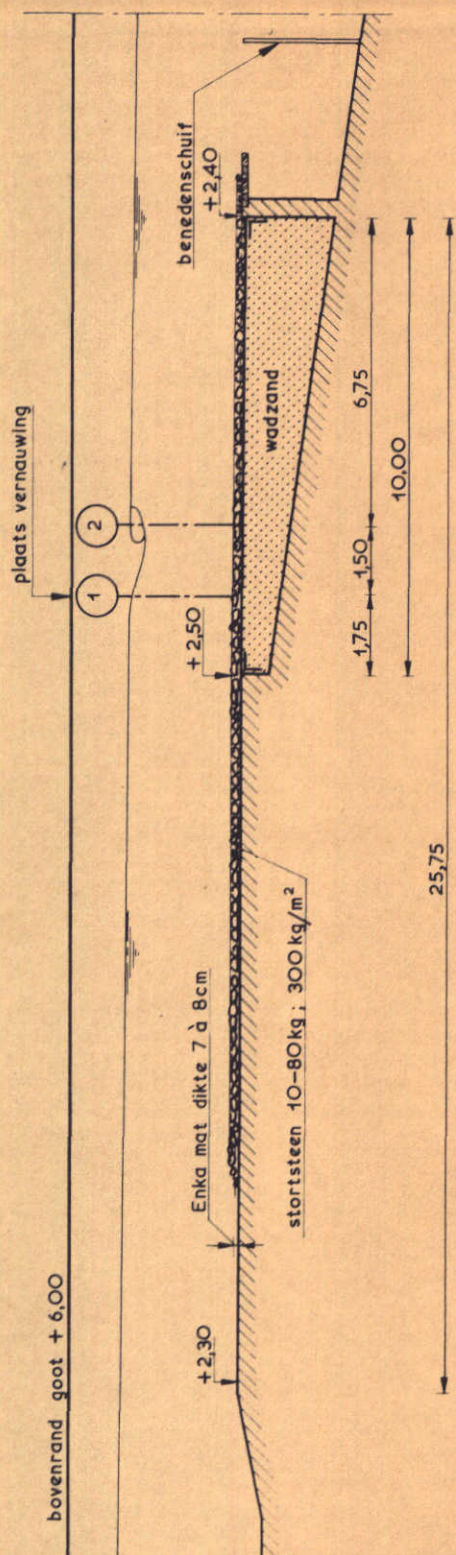
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R. 460-VII

FIG. 7



BOVENAANZICHT



LENGTEDOORSNEDE

maten in m
hoogten in m t.o.v N.A.P.

1 meetvertikaal

OPSTELLING PROEF

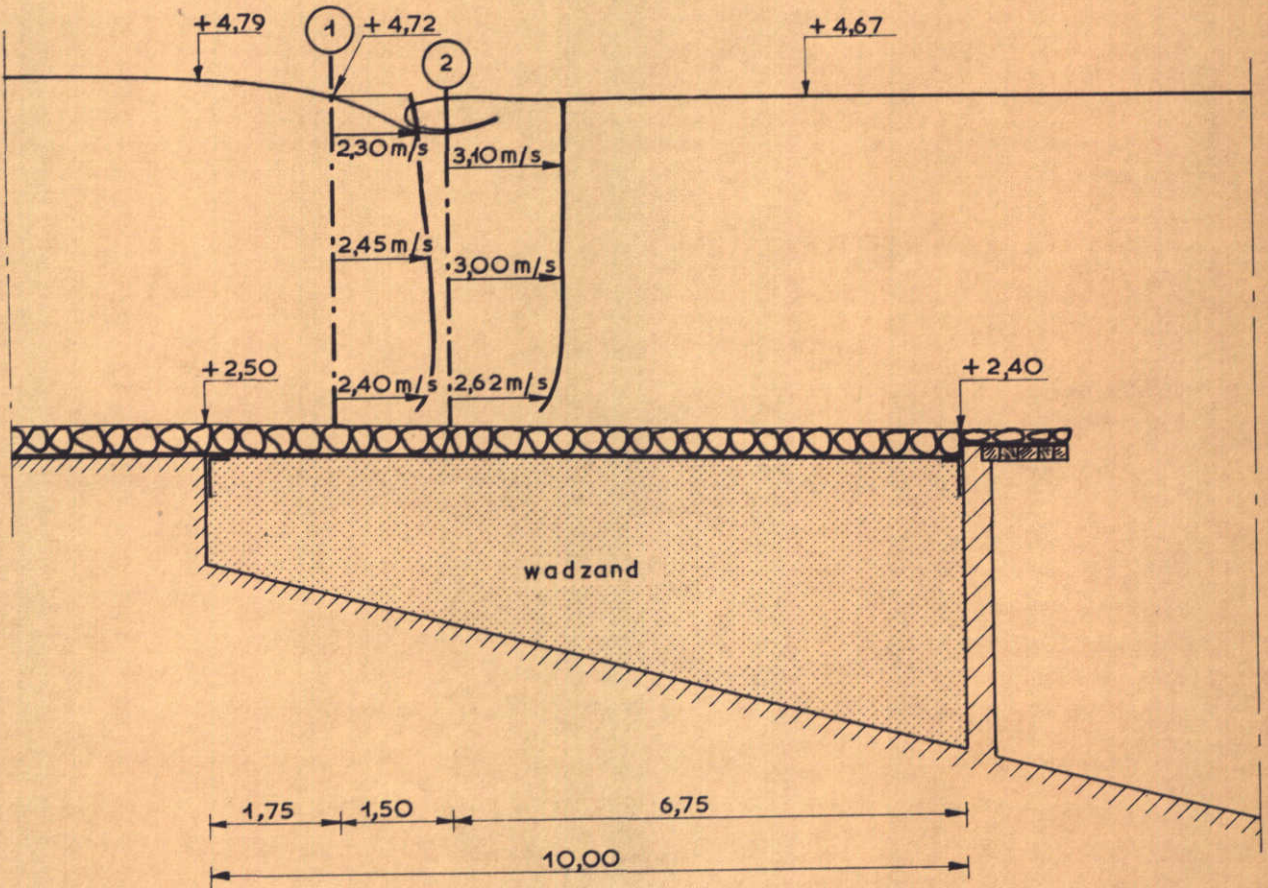
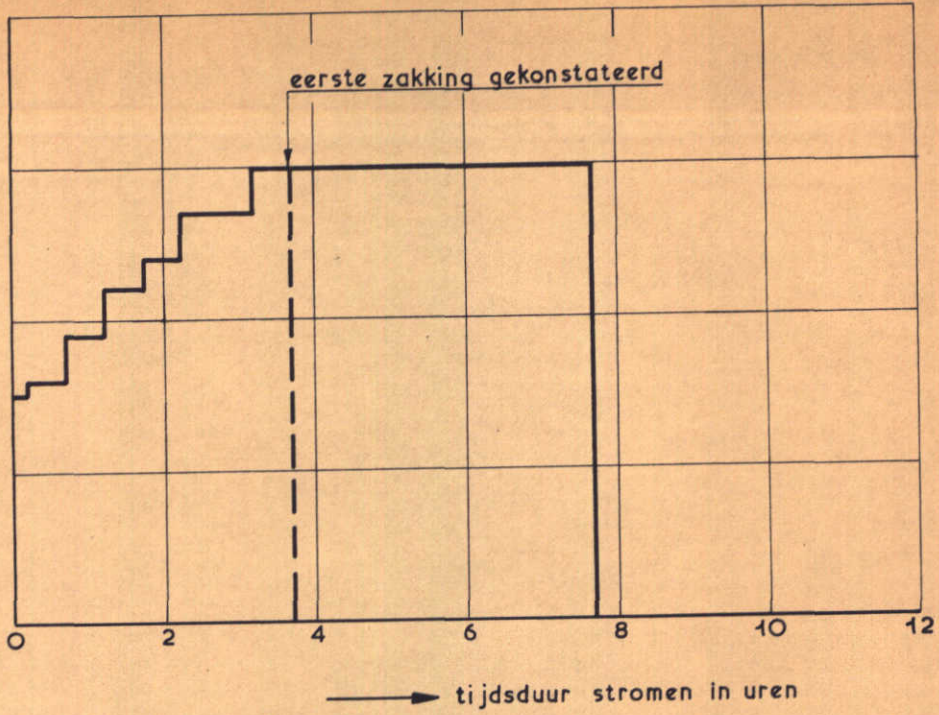
T4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R.460-VII

FIG. 9

↑ gemiddelde stroomsnelheid in m/s (raai ②)



maten in meters
hoogten in m t.o.v. N.A.P.

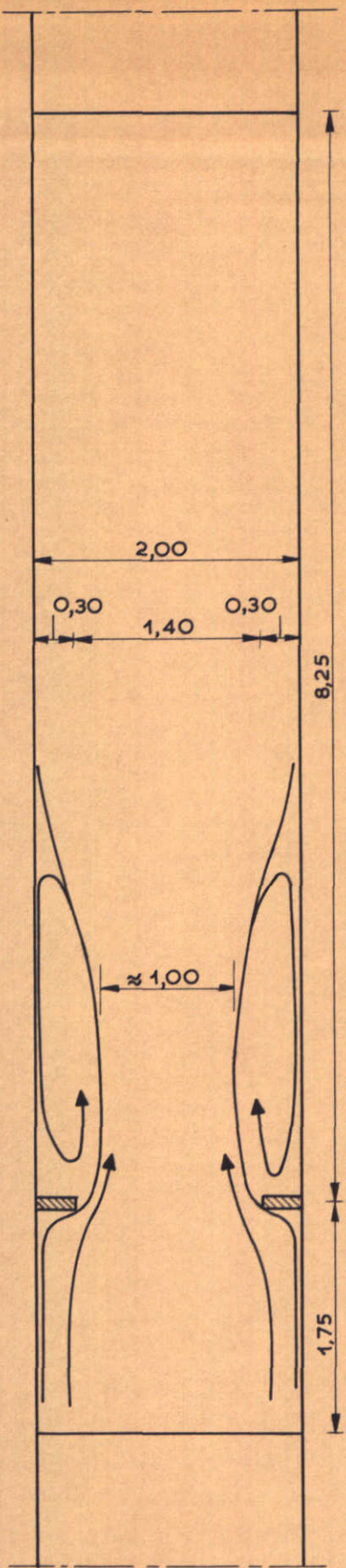
STROOMSNELHEDEN EN TIJDSDUUR
WATERSPIEGELVERLOOP EN SNELHEIDS –
VERDELING

T 4

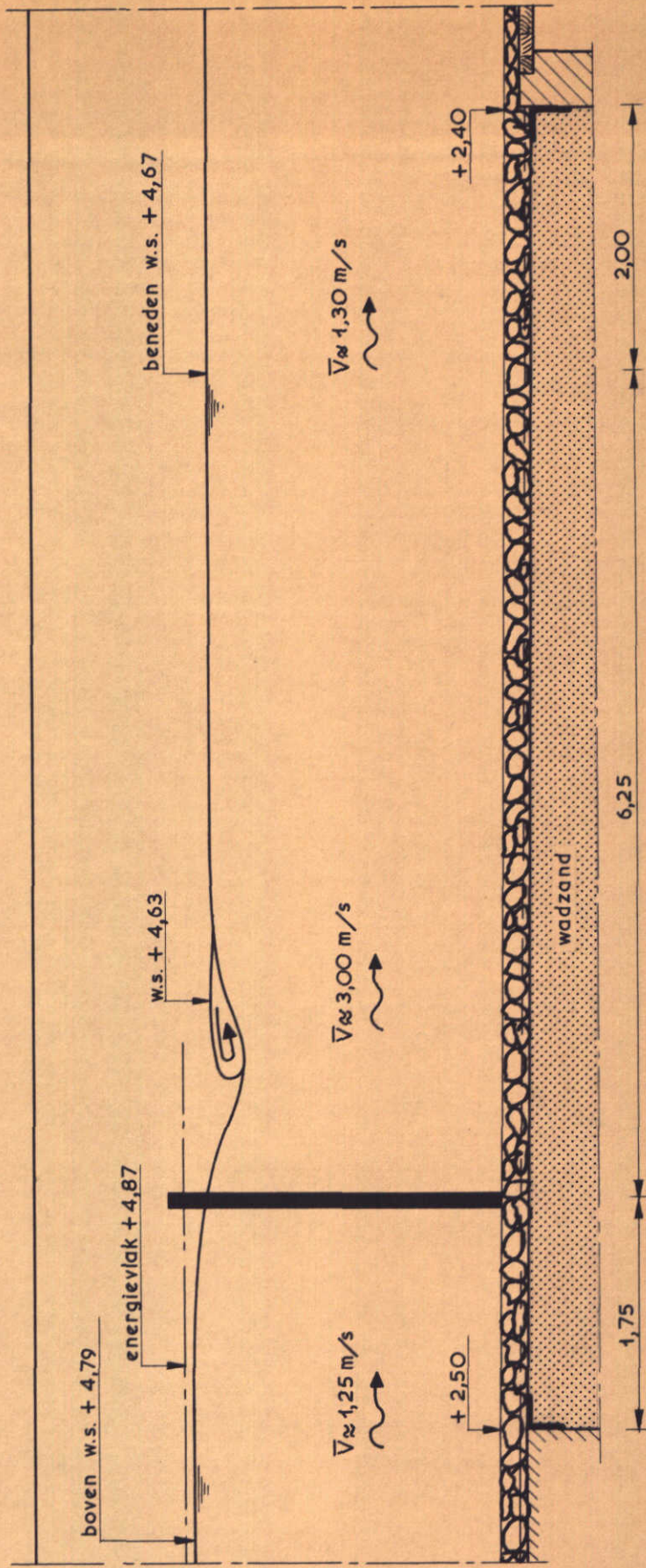
SCHALEN, hor 1:100
vert 1:50

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R.460-VII FIG. 10



BOVENAANZICHT



LENGTEDOORSNEDE

maten in m
hoogten in m t.o.v. N.A.P.

STROOMBEELD BIJ MAXIMAAL INGESTELDE
STROMINGSTOESTAND

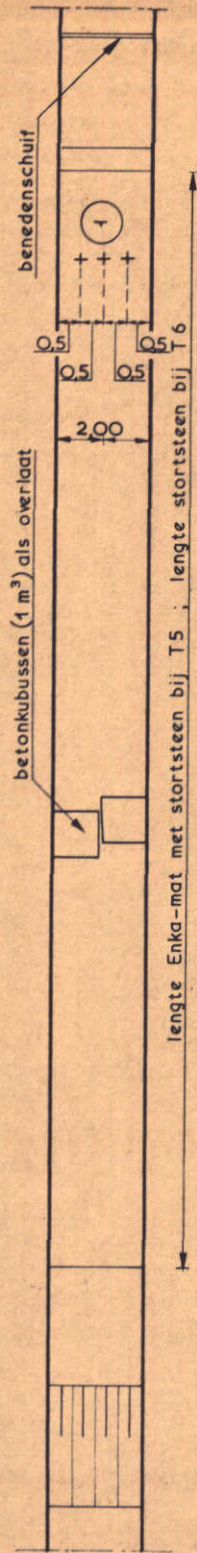
T4

SCHAAL 1: 50

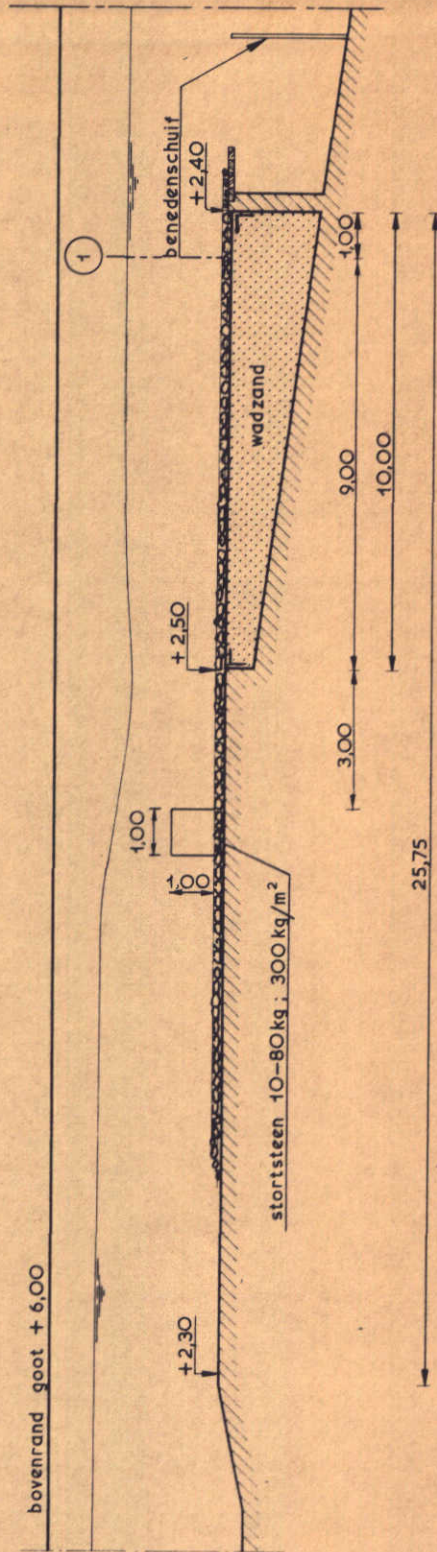
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R.460-VII

FIG. 11



BOVENAANZICHT



LENGTEDOORSNEDE

maten in m
hoogten in m t.o.v N.A.P.

1 meetvertikaal

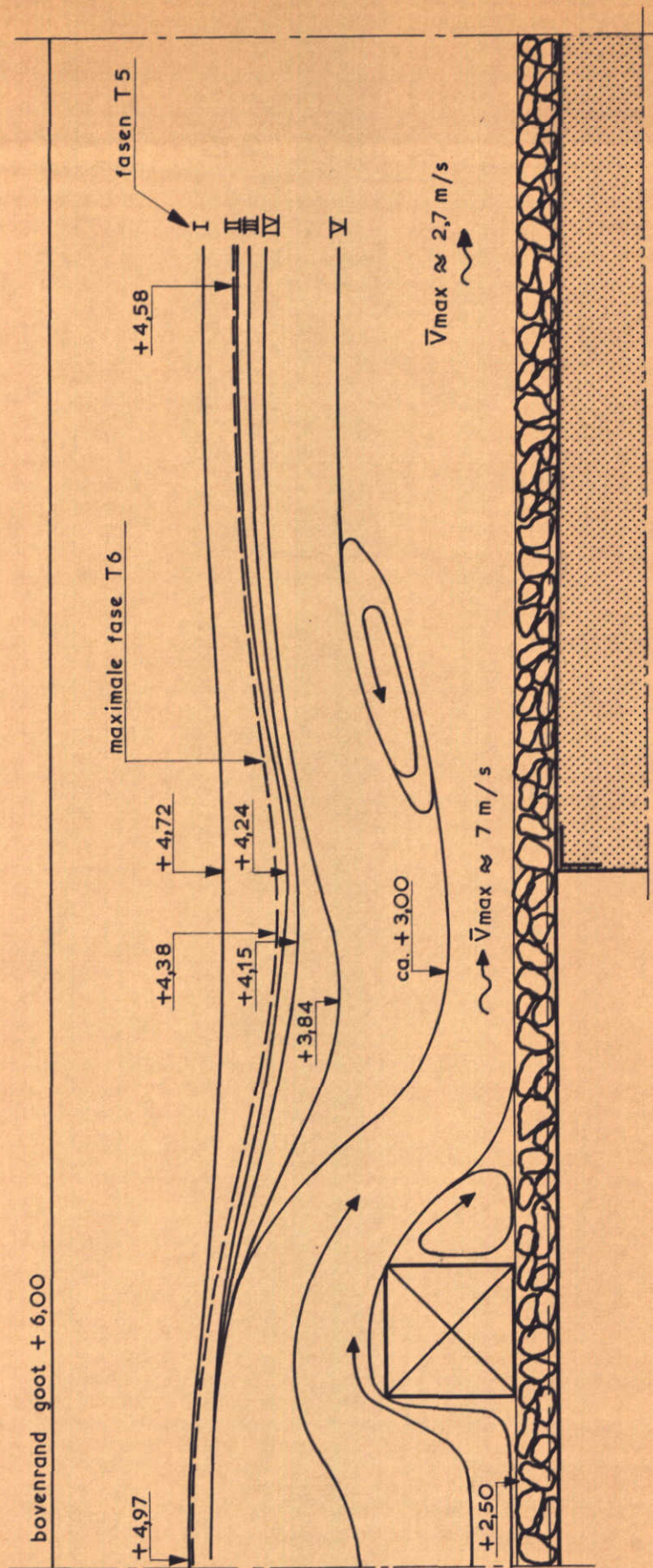
OPSTELLING PROEVEN

T5, T6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R. 460-VII

FIG. 13



hoogten in m tov. N.A.P.

STROMINGSTOESTANDEN

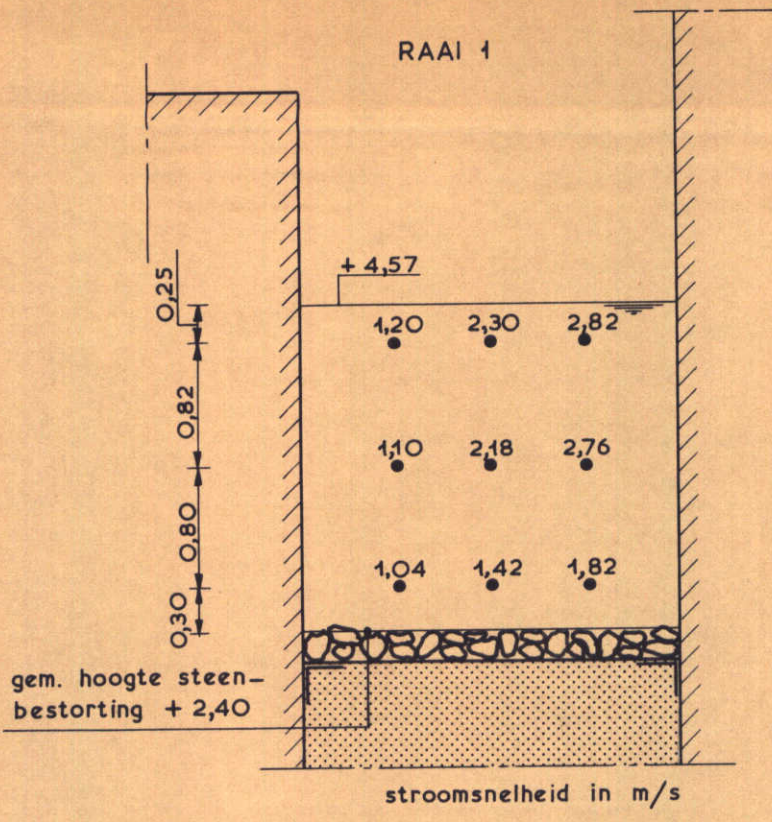
T5, T6

SCHAAL 1 : 50

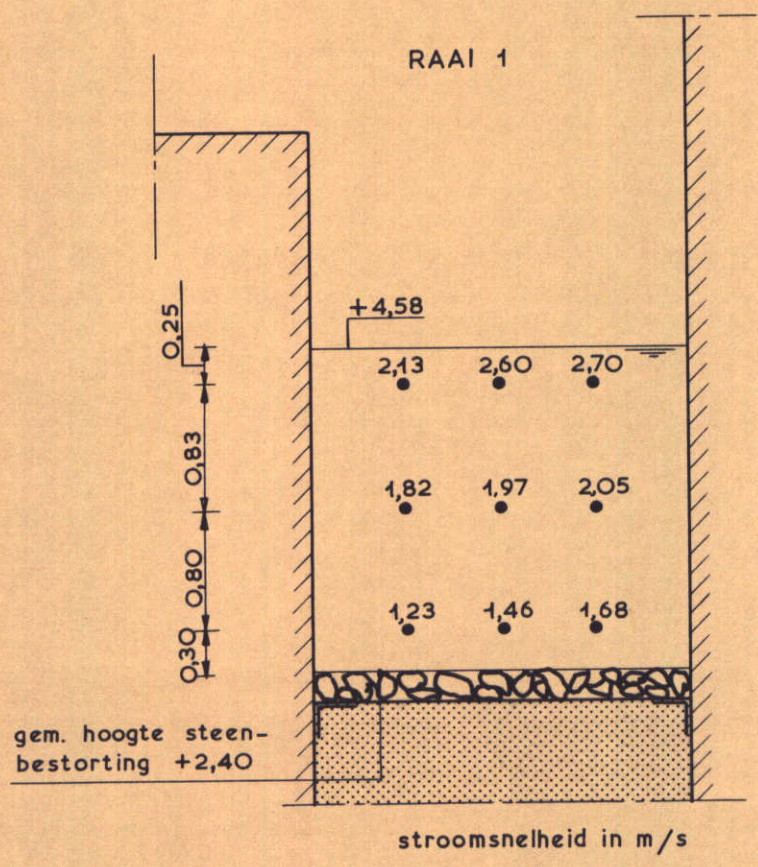
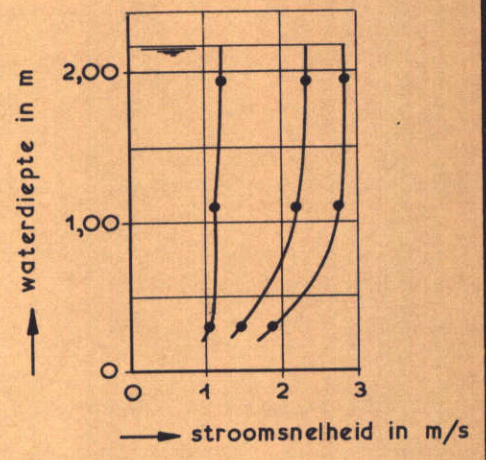
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R.460 - VII

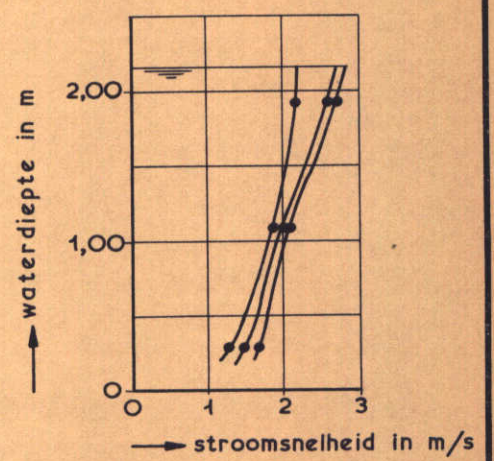
FIG. 14



T5 fase II



T6 maximale fase



maten in m
hoogten in m t.o.v. N.A.P.

VERDELING STROOMSNELHEID OVER HET PROFIEL (RAAI 1)

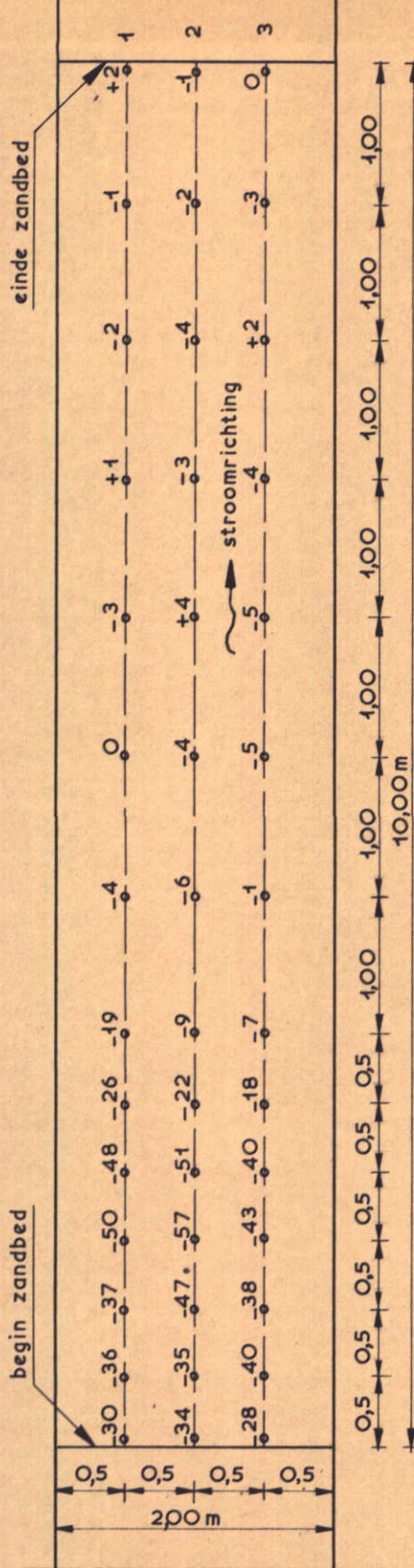
T5, T6

SCHAAL 1:50

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

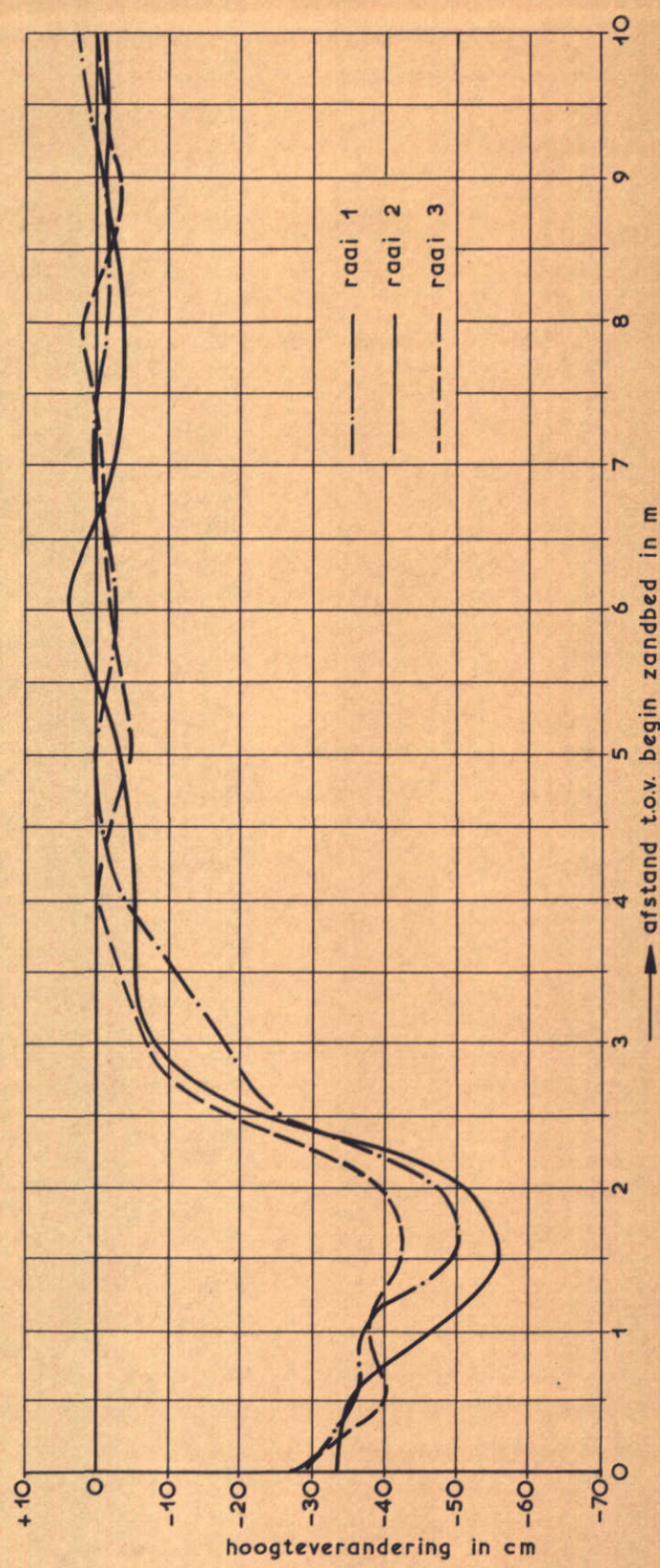
R. 460-VII

FIG. 15



diepte in cm t.o.v. bodemligging bij begin proef

BOVENAANZICHT



afstand t.o.v. begin zandbed in m
LENGTEDOORSNEDE OVER DE RAAIEN

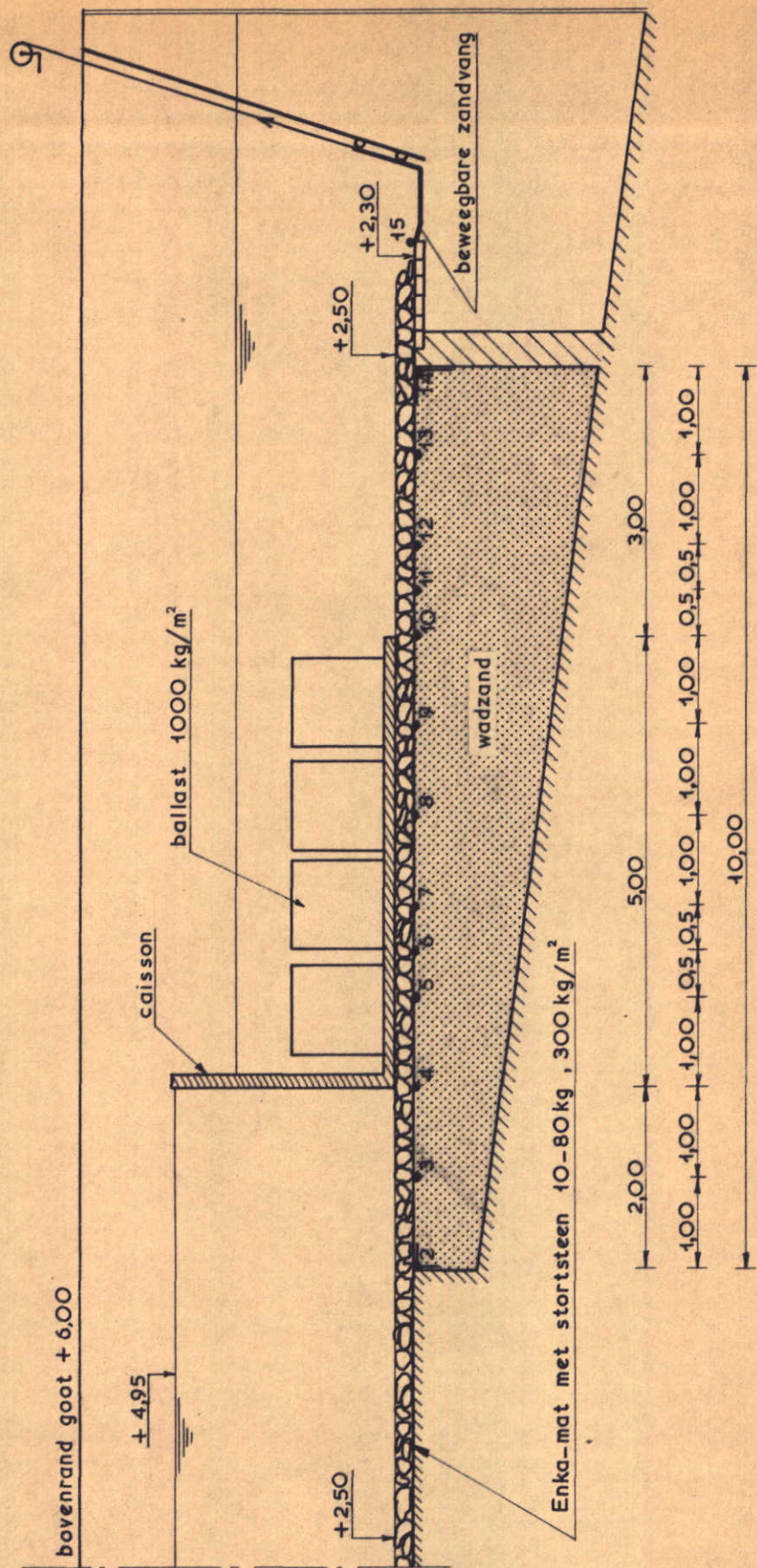
LIGGING ZANDBED NA PROEF

T.5

SCHAAL 1: 50

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R. 460-VII FIG. 16



LENGTE DOORSNEDE

maten in m
 hoogten in m t.o.v. N.A.P.

- 1 t/m 15 aansluitpunten voor drukmetingen (as goot)
- 1 vrije waterspiegel voor caisson
- 15 vrije waterspiegel achter caisson

OPSTELLING PROEF

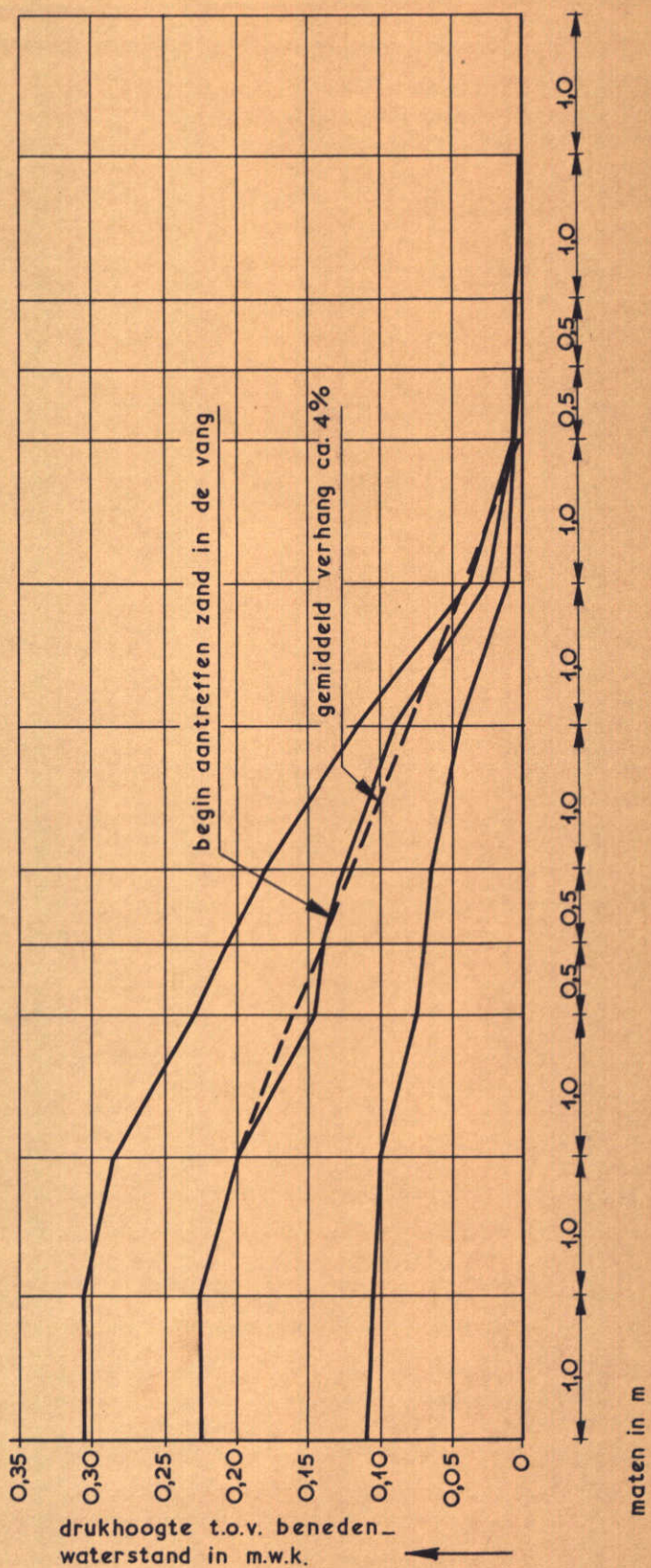
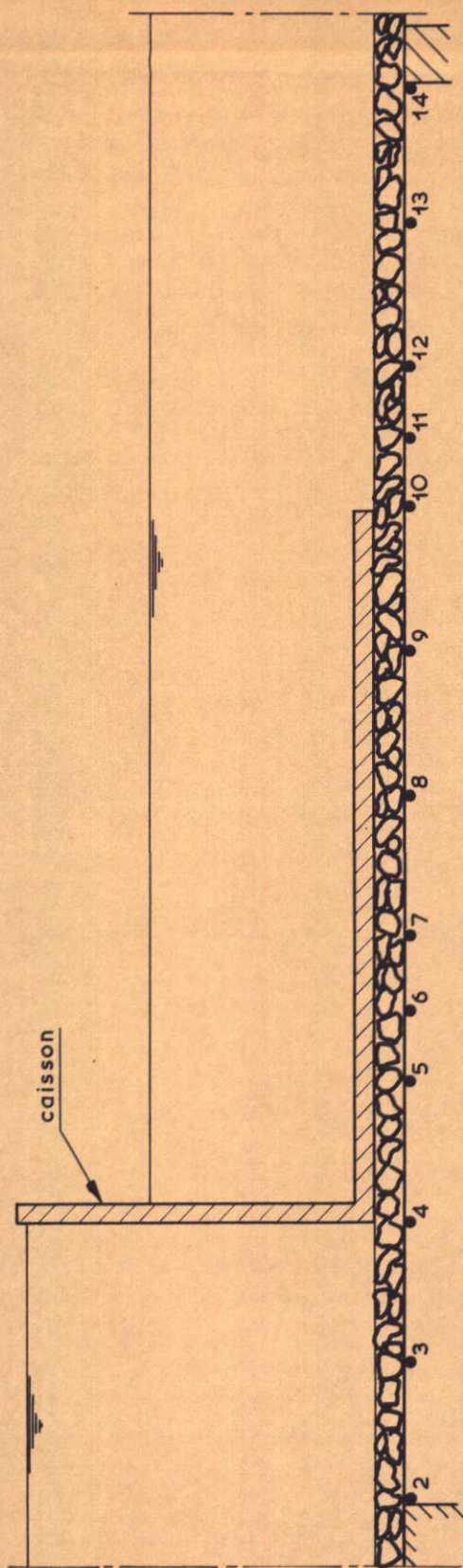
T 7

SCHAAL 1:75

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

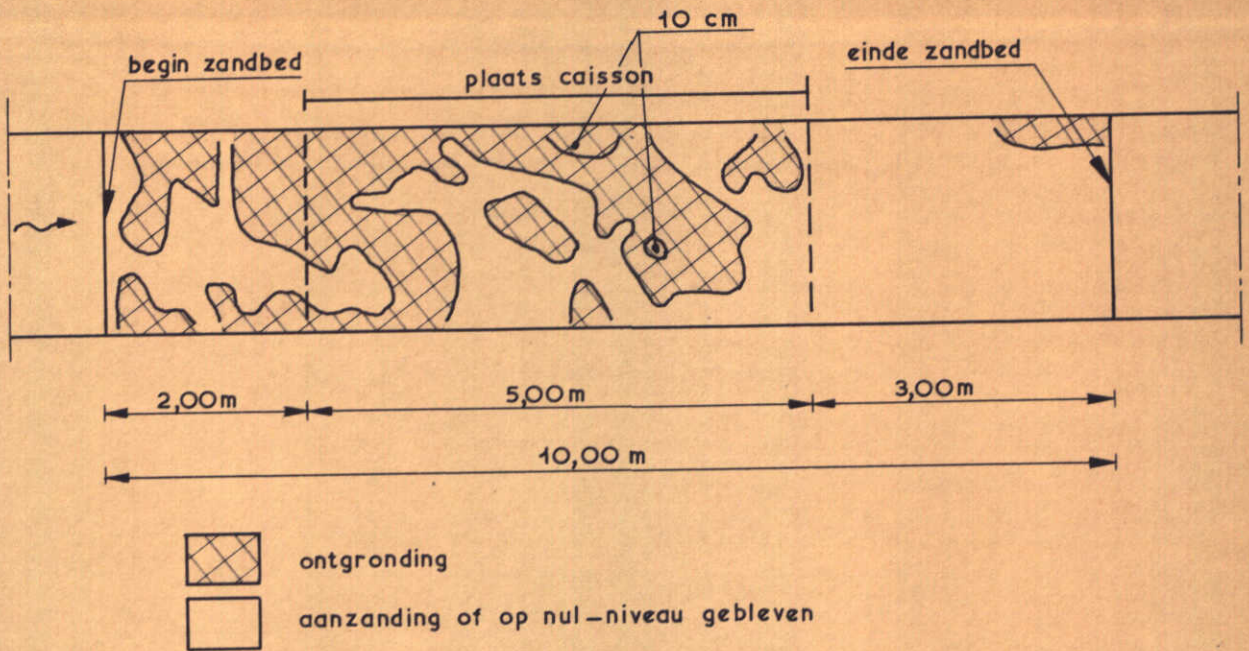
R.460-VII

FIG. 18

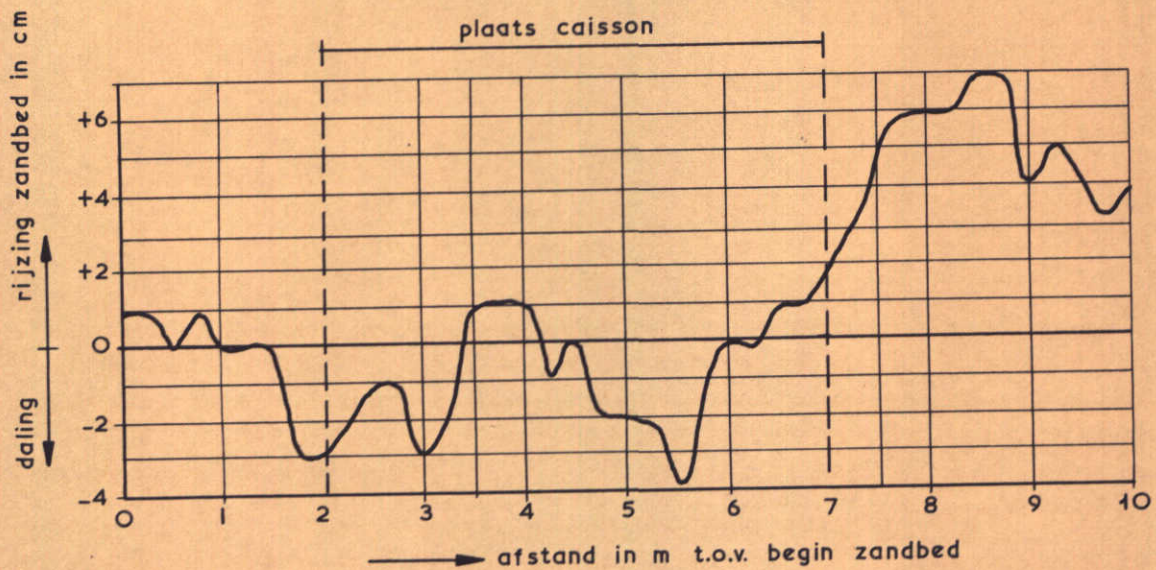


VERHANGLIJNEN

T 7



BOVENAANZICHT ZANDBED NA CAISSONPROEF



HOOGTEVERANDERING GEMIDDELD OVER DE BREEDTE VAN DE GOOT

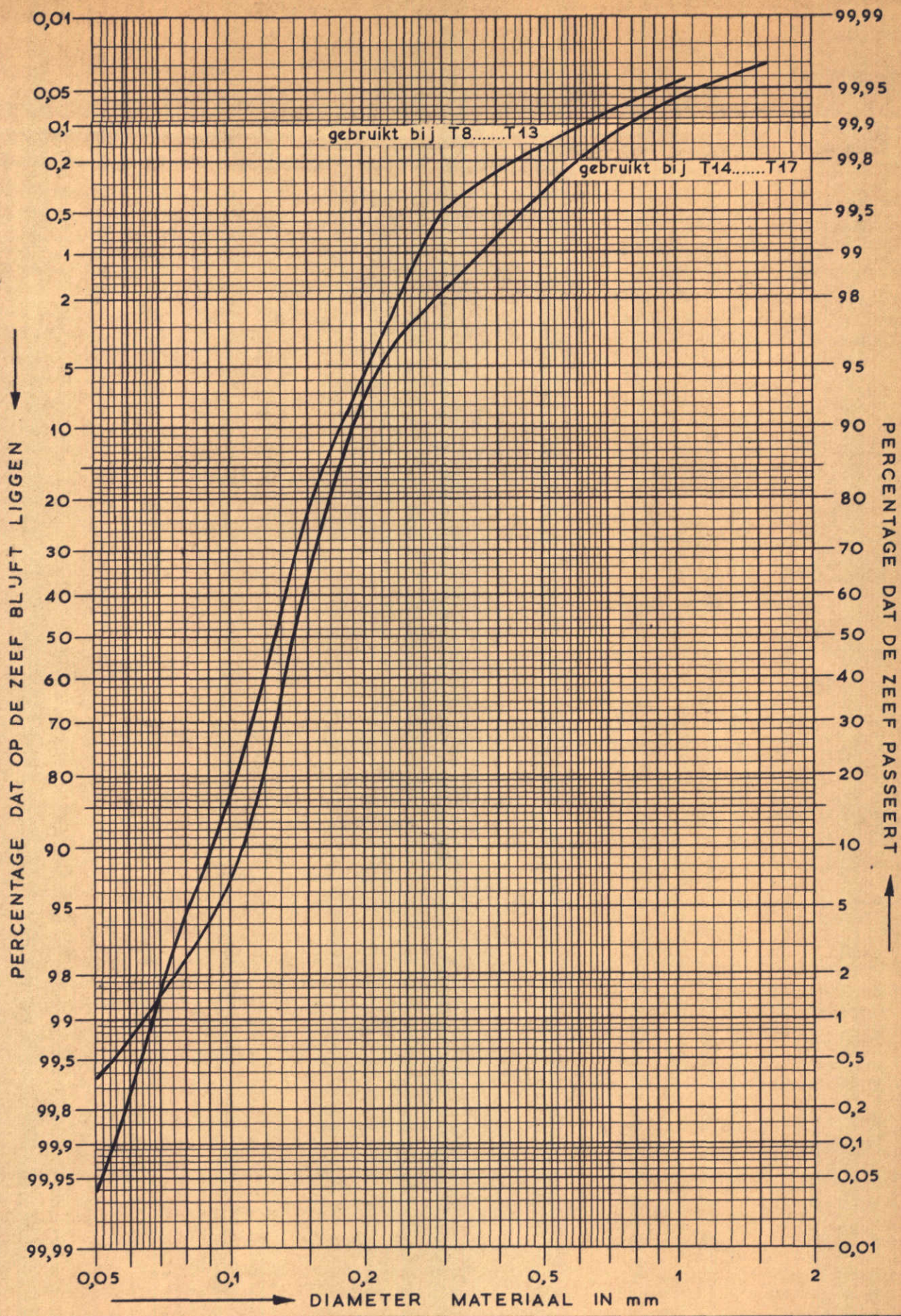
VERANDERING LIGGING ZANDBED

T7

SCHAAL 1:75

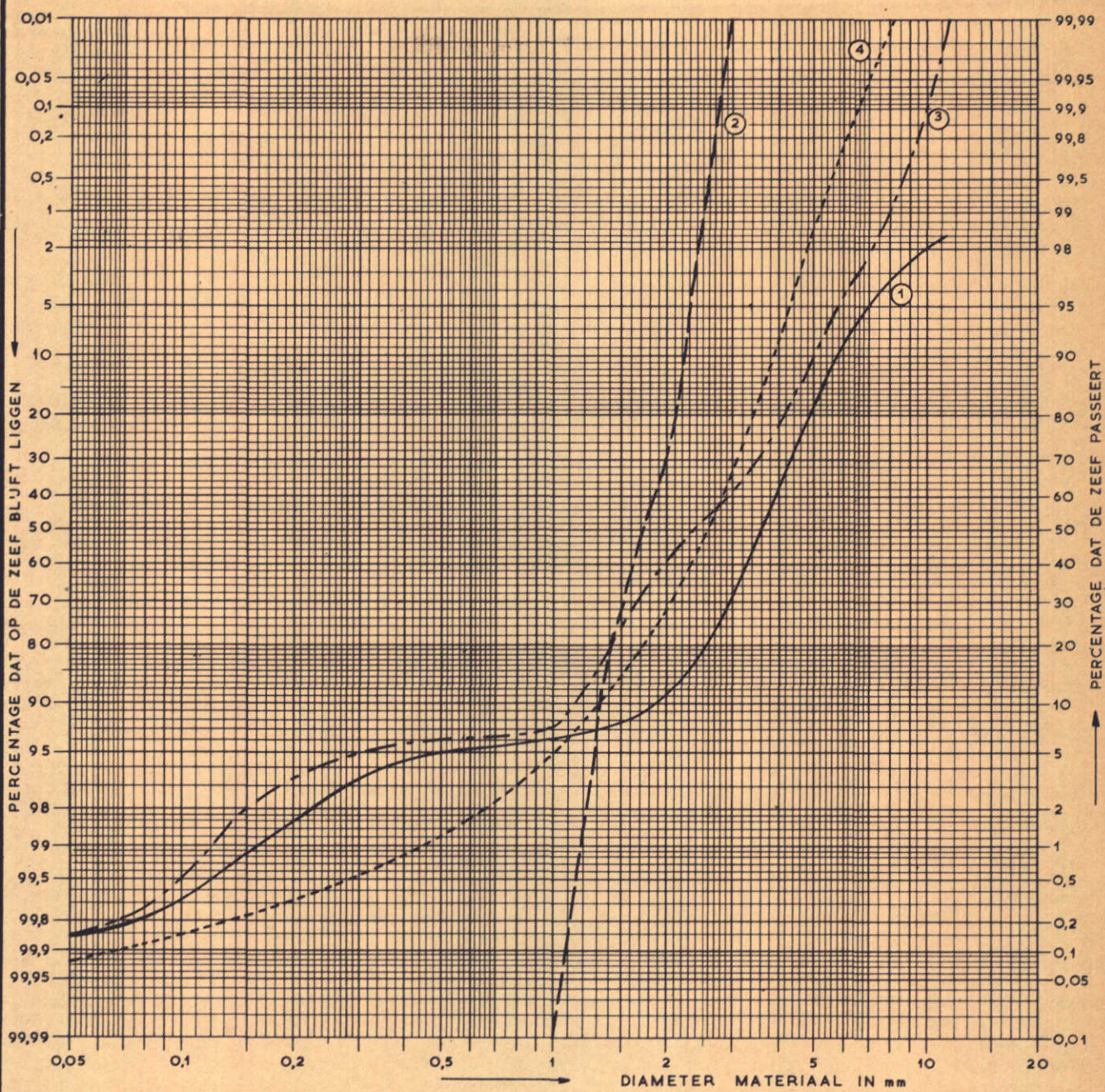
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R.460-VII FIG. 20



ZEEFKROMMEN WADZAND

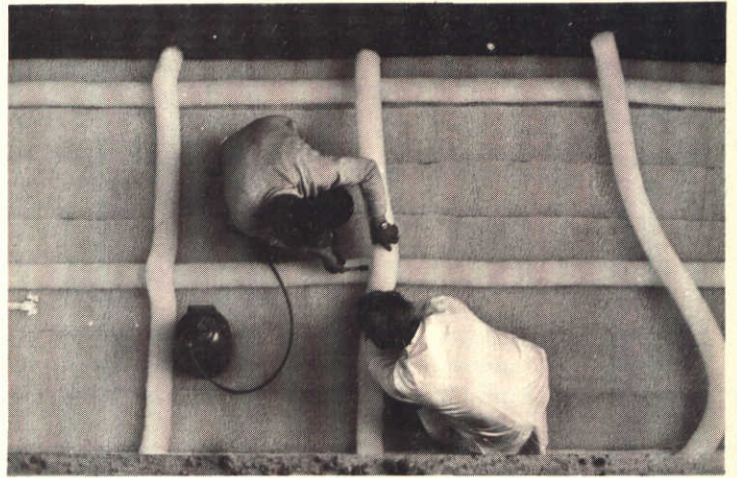
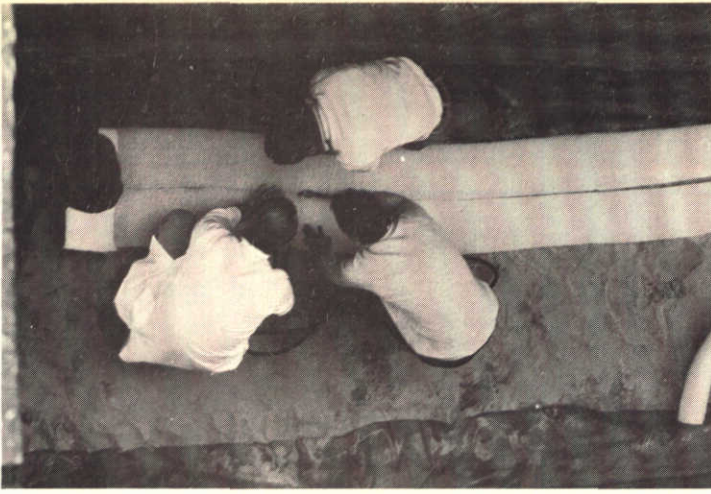
T8.....T17



- ① gebruikt bij T8
- ② " " T9 T10 T11
- ③ " " T12 T13
- ④ " " T14T17

ZEEFKROMMEN KIF

T8... T17



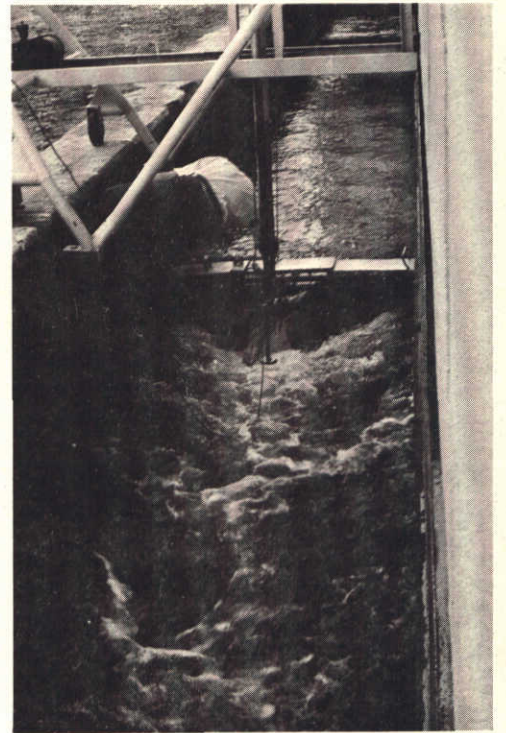
T1 aanbrenen van de Enka-mat



T1 situatie na de proef



T4 situatie voor het stromen



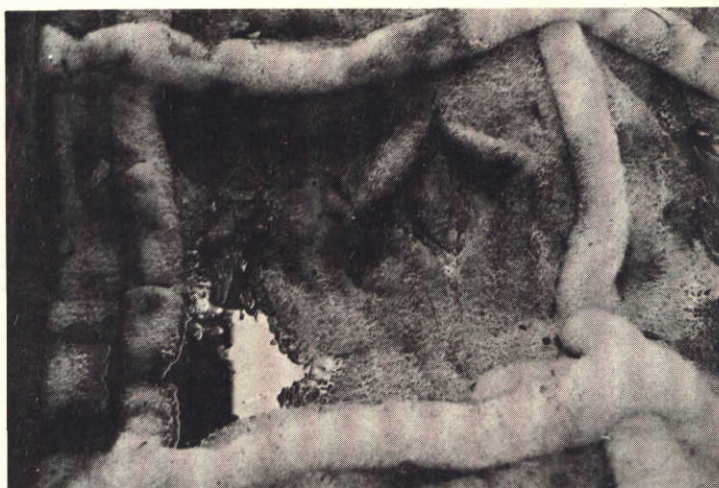
T4 situatie tijdens het stromen



T4 situatie na het stromen
(ter plaatse van vernauwing)



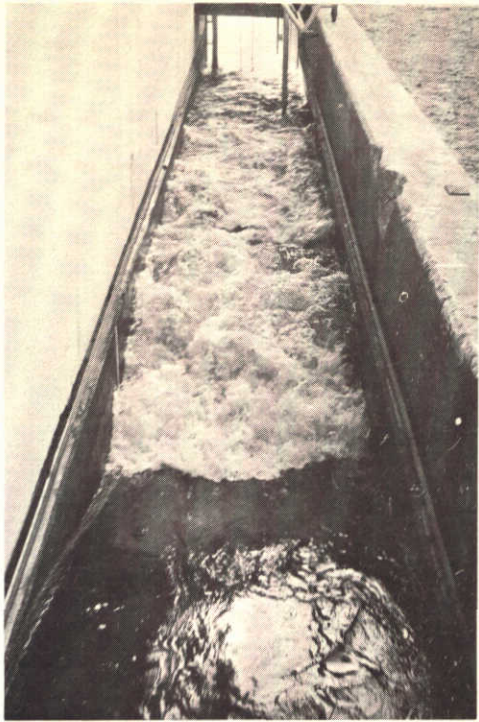
T4 ligging zandbed na het stromen
(ter plaatse van vernauwing)



T4 beschadiging van de mat



T4 beschadiging van de mat



T5 stroombeeld tijdens fase III
(gezien in benedenstroomse richting)



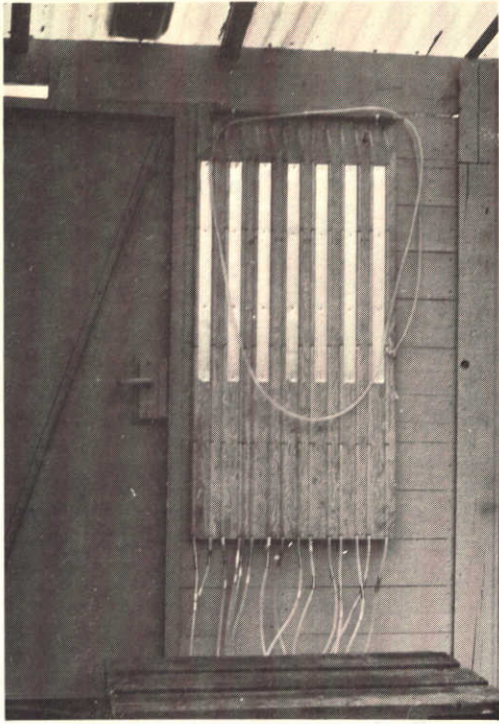
T5 schade na de maximale fase
(gezien in bovenstroomse richting)



T5 schade na de maximale fase
(gezien in benedenstroomse richting)



T5 schade na de maximale fase
(stortsteen verwijderd)



T7 afleesbord



T7 zandvang



T7 "caisson" met ballast



T7 zandafzetting benedenstrooms van de "caisson"

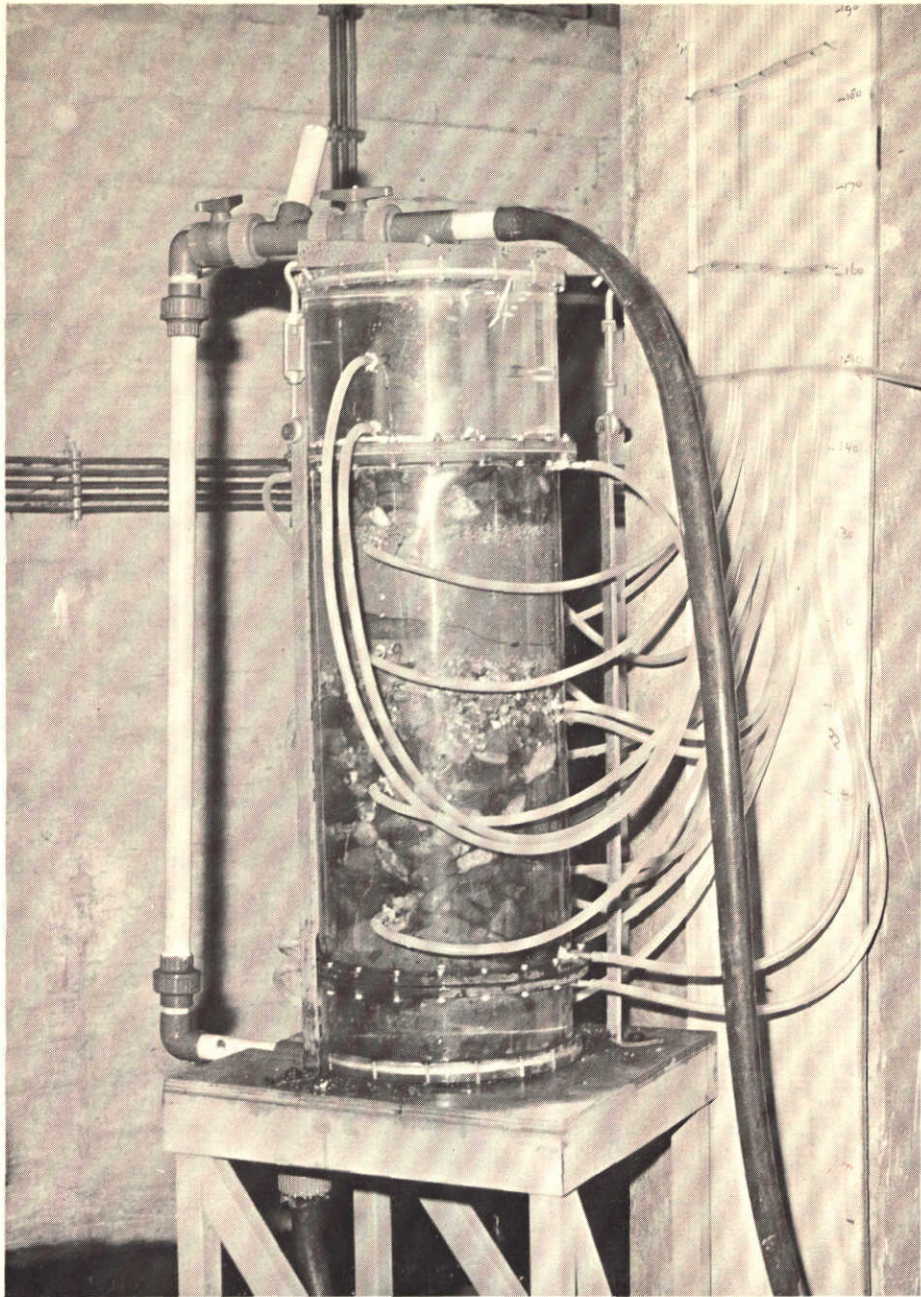


T7 uittreden van zand
(schuimvorming)

T7 ontgraving onder de caisson

zandafzetting benedenstrooms van de
caisson (bestorting verwijderd)





T8 ... T17 opstelling van het drukvat

mit
rs



waterloopkundig laboratorium postbus 177 delft