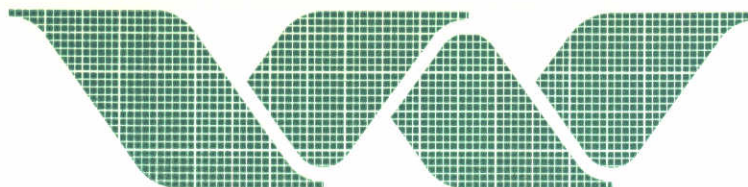


M 1402/

WL 8-59



2e exemplaar

waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

stormvloedkering Oosterschelde

werkgroep 8

vormgeving en konstruktie sluitgaten

WL 8-59

ontgroningen rond putten bij gedeeltelijk
verdedigde bodem



verslag modelonderzoek

M1402

juli 1976

M1402

stormvloedkering Oosterschelde

werkgroep 8

vormgeving en konstruktie sluitgaten

WL 8-59

ontgrondingen rond putten bij gedeeltelijk
verdedigde bodem

verslag modelonderzoek

M1402

juli 1976

Voorwoord

Voor de uitvoering van de studie naar de realiseerbaarheid, de kosten en de benodigde bouwtijd ten behoeve van een stormvloedkering in de Oosterschelde werd door Rijkswaterstaat een project-organisatie in het leven geroepen met een groot aantal werkgroepen.

Het bijgaande verslag is een onderdeel van een serie verslagen, die tot stand is gekomen in het kader van de werkzaamheden van Werkgroep 8: Vormgeving en constructie sluitgaten. Om snel over verspreidbare informatie te beschikken over de vorderingen van de onderzoeken in het Waterloopkundig Laboratorium werd besloten veelvuldig tussentijds schriftelijk te rapporteren. In verband hiermee is de uitvoering van deze verslagen enigszins afwijkend van de uitvoering onder normale omstandigheden. Na afloop van de studie werd het niet nodig geoordeeld om tot wijzigingen van de opzet over te gaan, mede doordat de resultaten van het waterloopkundig onderzoek zijn samengevat in het door Rijkswaterstaat uitgebrachte verslag: Onderzoek naar de mogelijkheid van de afsluiting van de Oosterschelde met een gedeeltelijk geprefabriceerde stormvloedkering, Deelverslag no. 2: Hydraulische aspecten.

Lijst van in het kader van Werkgroep 8 uitgebrachte verslagen

<u>CODE</u>	<u>MODEL</u>	<u>TITEL</u>
WL8-1	M1001	Lengteprofiel caissondrempels.
WL8-2	M1000	Damaanzet Schouwen.
WL8-3	M1001	Ontgrondingen Roompot situatie III-c.
WL8-4	M863 ^B	Aanzethellingen.
WL8-5	M1000	Plaatsen van de caissons.
WL8-6	M1324	Stabiliteit stortebed en drempel.
WL8-7	M1000	Randvoorwaarden bij een aantal varianten van de stormvloedkerende caissondam waarvan de roosters nog niet zijn geplaatst.
WL8-8	M1000	Randvoorwaarden wintersluitgatsituatie met beperkte horizontale vernauwing.
WL8-9	M1000	Onderzoek invloed doorbaggeren Hompels op stroombeeld langs de oever van damaanzet Noord-Beveland.
WL8-10	M1324	Stabiliteit stortebed en drempel.
WL8-11	M1244	Opbouw wintersluitgatrempel.
WL8-12	M1000	Randvoorwaarden bij een aantal varianten van de stormvloedkerende caissondam met roosters.
WL8-13	M1001	Ontgrondingsonderzoek in de Roompot, invloed horizontale en verticale vernauwingen.
WL8-14	M1001	Ontgrondingsonderzoek in de Schaar, invloed horizontale en verticale vernauwingen.
WL8-15	M1001	Ontgrondingsonderzoek wintersluitgatfase Roompot, situaties 1-a en 2 ^A -a met verlaagde drempel.
WL8-16	M1324	Stabiliteit stortebed en drempel.
WL8-17	M1001	Verlenging bodembescherming.
WL8-18	M1000	Randvoorwaarden wintersluitgatsituatie waarbij het doorstroomprofiel is aangepast aan de huidige bodemconfiguratie.
WL8-19	M1000	Stroomsnelheid ter plaatse van de laatst te plaatsen caisson bij caissons met bovenbak.
WL8-20	M1001	Ontgrondingen tijdens caissonplaatsingen in de Schaar en de Hammen.
WL8-21	M1000	Randvoorwaarden bij een aantal fasen van de caissonplaatsing.
WL8-22	M1001	Ontwerp maximale horizontale vernauwingen, ontgrondingen eindfase in de Roompot.
WL8-23	M1001	Toetsing berekeningsmethode verlenging bodembescherming.
WL8-24	M1000	Randvoorwaarden bij een aantal fasen van de roosterplaatsing.
WL8-25	M1001	Ontgrondingen tijdens roosterplaatsingen in de Schaar en de Hammen.

<u>CODE</u>	<u>MODEL</u>	<u>TITEL</u>
WL8-44	M1385	Ontgrondingen bij de putten van de pijleroplossing.
WL8-45	R 460	Invloed van een geleidelijk in hoeveelheid afnemende bestorting benedenstrooms van een bodemverdediging op de vorming van de ontgrondingskuil.
WL8-46	M1001	Invloed geleidedam Noord-Beveland en landhoofdcaissons op de ontgrondingen in de Roompot.
WL8-47	M1000	Randvoorwaarden bij de wintersluitgatsituatie van de vernauwde brievenbusoplossing.
WL8-48	M1000	Randvoorwaarden bij een plaatsingsfase van de vernauwde brievenbusoplossing.
WL8-49	M1000	Plaatsingstijd caissons.
WL8-50	M1001	Ontgrondingsonderzoek pijlerplaatsingen in de Schaar en de Hammen.
WL8-51	M1382	Bepaling afvoercoëfficiënten samengetrokken en niet-samengetrokken caissons voor de brievenbusoplossing.
WL8-52	M1382	Bepaling afvoercoëfficiënten pijleroplossing.
WL8-53	M1000	Voorspelling verandering in bodemligging ten gevolge van aanpassing dankoppen.
WL8-54	M1000	Randvoorwaarden bij een tweetal eindfasen van de vernauwde brievenbusoplossing.
WL8-55	M1001	Stroomverdeling en ontgrondingsonderzoek vernauwde brievenbusoplossing.
WL8-56	M1324	Stabiliteit zij-aanstortingen caissons tijdens superstorm-omstandigheden.
WL8-57	M1324/ M1329	Stabiliteit stortebed en drempel bij het sluiten van hefschuiven in caissons (oriënterend onderzoek).
WL8-58	M1000	Randvoorwaarden bij een bouwfase van de pijlers op putten.
WL8-59	M1402	Ontgrondingen rond putten bij gedeeltelijk verdedigde bodem.
WL8-60	M1324	Stroombeelden bij enige dorpelvormen voor de toestand van weigerende schuif bij de oplossing pijlers op putten.
WL8-61	M1001	Stroombeeld- en ontgrondingsonderzoek bij een weigerende schuif in de Roompot
WL8-62	M1329	Geconstateerde dwarsslingeringbij onderzoek naar de bouwfase van pijlers op putten.
WL8-63	M1329	Stabiliteit drempelmateriaal tijdens bouwfase van pijlers op putten.
WL8-64	M1324	Stabiliteit stortebed en drempel van de pijleroplossing bij een weigerende schuif.

INHOUD

	blz.
<u>1</u> <u>Opdracht en overzicht van het onderzoek</u>	1
<u>2</u> <u>Conclusies</u>	2
2.1 Ontgrondingen rondom de put.....	2
2.2 Stabiliteit van bestortingsmateriaal rondom de put.....	2
2.3 Ontgrondingen rond een op het zandbed geplaatste put.....	3
<u>3</u> <u>Proevenprogramma</u>	5
3.1 Situatie met bodembescherming.....	5
3.2 Situatie met bodembescherming en aanvullende maatregelen.....	5
3.3 Overige proeven.....	6
<u>4</u> <u>Schalen</u>	8
4.1 Theorie.....	8
4.2 Schaalkeuze.....	10
<u>5</u> <u>Metingen</u>	12
5.1 Ontgrondingen.....	12
5.2 Stabiliteit van het bestortingsmateriaal.....	12
<u>6</u> <u>Resultaten</u>	14
6.1 Ontgrondingsproeven.....	14
6.2 Stabiliteitsproeven.....	18
6.3 Proef met een op het zandbed geplaatste put.....	19

TABEL Overzicht van de proeven

FIGUREN

FOTO'S

TABELLEN

1 Overzicht van de uitgevoerde proeven

FIGUREN

1	Proefopstelling
2	T9, T10 Stroombreker
3	T11, T12, T13 Ring
4	Snelheidsverloop van de getijstroom
5	Zeefkromme gebroken kif
6	Gewichtsverdeling basalt
7	T1 Ontgroning t = 0,25 uur (model)
8	T1 Ontgroning t = 0,75 uur (model)
9	T2 Ontgroning t = 0,25 uur (model)
10	T2 Ontgroning t = 0,75 uur (model)
11	T19 Ontgroning t = 0,5 uur (model)
12	T19 Ontgroning t = 1,5 uur (model)
13	T19 Ontgroning t = 3,75 uur (model)
14	T7 Ontgroning t = 0,25 uur (model)
15	T7 Ontgroning t = 0,75 uur (model)
16	T14 Ontgroning t = 0,25 uur (model)
17	T14 Ontgroning t = 0,75 uur (model)
18	T9 Ontgroning t = 0,25 uur (model), stroombreker
19	T9 Ontgroning t = 0,75 uur (model), stroombreker
20	T13 Ontgroning t = 0,25 uur (model), ring
21	T13 Ontgroning t = 0,75 uur (model), ring
22	T4 Ontgroning t = 0,25 uur (model), bestorting rond één kop
23	T4 Ontgroning t = 0,75 uur (model), bestorting rond één kop
24	T4 Ontgroning t = 6,75 uur (model), bestorting rond één kop
25	T18 Ontgroning t = 17,75 uur (model), bestorting rond één kop
26	T17 Ontgroning t = 23,00 uur (model), bestorting rond één kop
27	T16 Ontgroning t = 0,75 uur (model), bestorting rond beide koppen
28	T16 Ontgroning t = 3,75 uur (model), bestorting rond beide koppen
29	T5 Ontgroning t = 0,25 uur (model), bovenaanvoer van zand
30	T5 Ontgroning t = 0,75 uur (model), bovenaanvoer van zand
31	T21 Ontgroning t = 1,75 uur (model), put op het zandbed geplaatst
32	T21 Ontgroning t = 3,50 uur (model), put op het zandbed geplaatst
33	T1, T2, T7, T14, T19 Ontgrondingsverloop
34	T9, T10 Ontgrondingsverloop, stroombreker
35	T12, T13 Ontgrondingsverloop, ring om put
36	T4, T16, T17, T18 Ontgrondingsverloop, bestorting

FIGUREN (vervolg)

37	T2, T5	Ontgrondingsverloop, met en zonder bovenaanvoer van zand
38	T21	Ontgrondings- en zakkingsverloop, put op het zandbed geplaatst
39	T2	Maximale ontgrondingsdiepte tijdens getij
40	T19	Maximale ontgrondingsdiepte tijdens getij
41	T9	Maximale ontgrondingsdiepte tijdens getij, stroombreker
42	T13	Maximale ontgrondingsdiepte tijdens getij, ring om put
43	T4	Maximale ontgrondingsdiepte tijdens getij, bestorting rond één kop
44	T18	Maximale ontgrondingsdiepte tijdens getij, bestorting rond één kop
45	T17	Maximale ontgrondingsdiepte tijdens getij, bestorting rond één kop
46	T16	Maximale ontgrondingsdiepte tijdens getij, bestorting rond beide koppen
47	T20	Stroomsnelheidsverdeling
48	T20	Snelheidsverticalen
49	T6, T8	Stabiliteit bestortingen rond de putten bij plaatsing

FOTO'S

- 1 T1. Proefopstelling met spleetbreedte van 6,0 m
- 2 T19. Ontgroning bij alleen bodembescherming met spleetbreedte van 1,5 m
- 3 T10. Ontgroning bij stroombreker rond de put met spleetbreedte bodembescherming van 1,5 m
- 4 T13. Ontgroning bij ring rond de put met spleet tussen ring en put van 0,33 m
- 5 T18. Ontgroning bij bestorting rond bovenstroomse putkop met spleetbreedte bodembescherming van 1,5 m

ONTGRONDINGEN ROND PUTTEN BIJ GEDEELTELIJK VERDEDIGDE BODEM

1 Opdracht en overzicht van het onderzoek

Uit voorgaand modelonderzoek (M 1385, WL 8-44) was gebleken dat de ontgrondingsdiepte rond de pas geplaatste putten van de pijlerdam in de Oosterschelde ruim 20 m zou kunnen bedragen. Bovendien verliep het ontgrondingsproces zeer snel, zodat moest worden gezocht naar maatregelen die een remmende invloed op de ontgrondingen zouden hebben. Het onderzoek hiernaar staat in het onderhavige verslag beschreven. Het onderzoek werd mondeling opgedragen door de Deltadienst van Rijkswaterstaat. De proevenseries werden uitgevoerd in de Grote Stroomgoot van het Waterloopkundig Laboratorium in De Voorst.

In eerste instantie werd een op het zandbed aangebrachte bodembescherming onderzocht waarin een sparing voor de put was gemaakt. In verband met toleranties bij het plaatsen van de put bleef een strook zand rondom de put onbeschermd, waardoor enige ontgroning kon worden verwacht.

Omdat deze ontgrondingen nog te groot waren werd de invloed nagegaan van een 4 meter hoge, op de bodembescherming geplaatste, stroombreker. Deze bleek echter niet te voldoen. Hetzelfde gold voor een nauw om de put sluitende ring (manchet) welke zanddicht op de bodembescherming aansloot.

Voorts werd een rond de aangestroomde putkop aangebrachte steenbestorting onderzocht, waarbij voor voldoende overlap met de aangrenzende bodembescherming werd gezorgd. Hierbij bleek wel een sterke afname van de ontgrondingen op te treden, zowel ten aanzien van de evenwichts-ontgrondingsdiepte als de snelheid van het ontgrondingsproces.

Aangezien de plaatsing van een put langer zal duren dan de duur van één getij zou in het prototype rond beide koppen een bestorting moeten worden aangebracht. Deze zouden desgewenst gefaseerd kunnen worden aangebracht. In model werd in dit verband de situatie onderzocht van bestortingen rond beide koppen die reeds vóór het optreden van enige ontgroning (tijdens de beginfase van de plaatsing) waren aangebracht. De ontgrondingen bleken hierbij ongeveer gelijk aan die bij één enkele bestorting rond de aangestroomde putkop.

Een mogelijkheid om de ontgrondingen geheel tegen te gaan is het aanbrengen van een lichte bestorting in de sparing van de bodembescherming, voorafgaande aan het plaatsen van een put. Deze bestorting moet dan wel kunnen worden

weggecutterd (bijvoorbeeld grof grind), tenzij er mogelijkheden worden gevonden het zand onder de bestortingslaag weg te cutteren.

De bestorting dient de strook zand rondom de put voldoende af te dekken, wat inhoudt dat de filterwerking afdoende moet zijn en dat de afzonderlijke stenen de aanval door stroom en golven moeten kunnen weerstaan. Wat dit laatste betreft werd nagegaan hoe groot de aanstroomsnelheden voor twee typen bestortingen waren waarbij juist enige schade optrad onder invloed van stroom zonder golven.

Een zeer globale oriënterende proef werd uitgevoerd met een op het zandbed geplaatste put, waarbij de verzakking van de put en de ontgrondingen langs de omtrek van de put werden vastgelegd. Dit in verband met een mogelijk in het prototype uit te voeren proef ter verificatie van het uitgevoerde modelonderzoek naar de ontgrondingen.

De tussentijdse proefresultaten werden frekwent doorgegeven aan de ad-hoc werkgroep: "Afdichting en onderloopsheid". Deze werkgroep leverde een belangrijke bijdrage in het verloop van de uitgevoerde proeven.

Het modelonderzoek werd uitgevoerd onder leiding van ir. G.J. Akkerman, die ook dit verslag samenstelde.

2 Conclusies

2.1 Ontgrondingen rondom de put

Gebleken is dat ontgrondingen rondom een put tijdens de plaatsing ervan moeilijk zijn tegen te gaan. Zo had zelfs een dicht op de put aansluitende bodembescherming (spleetbreedte ter weerszijden van de put = 0,5 m) weinig remmend effect. Aanvullende maatregelen in de vorm van een, voorafgaande aan de plaatsing op de bodembescherming aan te brengen, stroombreker van 4 m hoogte of een nauw om de put sluitende ring welke tijdens de plaatsing een groot deel van het onbeschermd zand afdekt, bleken evenmin te voldoen.

Het beste resultaat werd behaald met het afdekken van de gehele strook zand rond de aangestroomde kop van de put. Bij de proeven bleek een als steenfilter opgebouwde bestorting welke met een zekere overlap met de bodembescherming was aangebracht, goed te voldoen.

Ongeveer dezelfde ontgrondingsdiepten werden gevonden bij een rond beide koppen aangebrachte bestorting. Dit laatste is van belang voor het prototype omdat bestortingen door de relatief lange plaatsingstijd steeds aan beide zijden moeten worden aangebracht. Dit zou wellicht gefaseerd kunnen gebeuren.

Bij de proeven, zowel met een bestorting rond de aangestroomde putkop als rond beide koppen, werd er van uitgegaan dat het bestortingsmateriaal aangebracht was voordat enige ontgroning was opgetreden. Het bestorten tijdens het ontgrondingsproces of het gefaseerd aan beide zijden van de put bestorten is niet onderzocht. Als enige verdere beperkingen van de proeven kunnen worden genoemd: géén invloed van andere konstrukties in de nabijheid (katamaran, reeds geplaatste putten en dergelijke), geen golfinvloed, geen bovenaanvoer van zand en stroming uit één richting waardoor de ontgrondingen slechts tijdens en na één deel van het getij voorspelbaar zijn. Mede hierdoor moeten de resultaten worden gezien als indicatief.

2.2 Stabiliteit van bestortingsmateriaal rondom de put

Ontgrondingen zouden kunnen worden vermeden als, voorafgaande aan de plaatsing van de put, een lichte bestorting (grof grind en dergelijke) in de sparing in de bodembescherming wordt aangebracht. Tijdens de plaatsing van de put moet deze lichte bestorting wel voldoende stroombestendig zijn.

Bij te verwachten stroomsnelheden in het prototype in de orde van 2,0 m/s bleek uit de proeven een grindbestorting ($D_{50} = 0,087$ m) niet stabiel te zijn. Een basaltbestorting ($D_{50} = 0,198$ m) was daarentegen (ruim) voldoende stabiel. Dit

betekent, dat ofwel een zwaardere bestorting dan die bestaande uit grof grind moet worden toegepast, dan wel een zekere ontgrinding moet worden geaccepteerd. In dat laatste geval is nader onderzoek gewenst.

2.3 Ontgroningen rond een op het zandbed geplaatste put

De put vertoonde tijdens de proefneming een sterke kanteling tegen de stroom in. Deze kanteling die aanvankelijk snel doch vervolgens steeds langzamer optrad, leek naar een zekere maximumwaarde te gaan. De ontgroningen weken ten opzichte van de situatie met een diepgefundeerde put iets af. Deze afwijking was echter niet groot. Een prototype-proef met een op het zandbed geplaatste "put" zou dus zinvol kunnen zijn ter verificatie van het uitgevoerde modelonderzoek naar de ontgroningen.

3 Proevenprogramma

In paragraaf 1 is een overzicht gegeven van het uitgevoerde modelonderzoek. In deze paragraaf wordt hier nader op ingegaan.

Voor een overzicht van de uitgevoerde proeven wordt verwezen naar tabel 1.

3.1 Situatie met bodembescherming

Bij de proeven met alléén een bodembescherming was in eerste instantie uitgegaan van een rechthoekige sparing waarin de put kon worden geplaatst.

De "spleetbreedte", dat is de breedte van de strook onbeschermd zand ter weerszijden van de put, werd hierbij gevarieerd: 6,0 m (T1), 1,5 m (T2) en 0,5 m (T14). Voorts is een afgeronde, met de put meelopende sparing met een spleetbreedte van 1,5 m (T7) onderzocht.

Er werd een aanstroomsnelheid \bar{v} van 0,6 m/s (model) toegepast. Bij de rechthoekige sparing met een spleetbreedte van 1,5 m werd tevens een aanstroomsnelheid van 0,45 m/s (model) ingesteld (T19).

Bij de proeven werd bovenaanvoer van zand buiten beschouwing gelaten, en wel om modeltechnische redenen (te omslachtig). Om de invloed van deze schematisatie na te gaan werd één proef (T5) uitgevoerd waarbij wél bovenaanvoer kon plaatshebben. Hiertoe was over grote lengte (enkele tientallen meters model) bovenstrooms van de put een zandlaag op de betonnen omloopstrook aangebracht. Deze proef kwam verder overeen met T2.

3.2 Situatie met bodembescherming en aanvullende maatregelen

Bij de stroombreker en de ringkonstruktie bleef de bodembescherming met een spleetbreedte van 1,5 m en de afgeronde sparing als bij T7 aanwezig. Bij de bestortingen was de geometrie van de sparing gelijk aan die bij T2 (rechthoekig).

Stroombreker (figuur 2)

Eerst werd een 4,0 m hoge, op de bodembescherming geplaatste stroombreker onderzocht. De ruimte tussen stroombreker en put bedroeg hierbij 4,0 m (T9). Vervolgens werd de gehele stroombreker 2,0 m ten opzichte van de put in stroomafwaartse richting verschoven (T10). De stroombreker was in beide gevallen los op de bodembescherming geplaatst en had hiermee dus geen zanddichte aansluiting.

Ring (figuur 3)

Omdat met de stroombreker niet het gewenste resultaat kon worden verkregen, werd vervolgens een nauw om de put sluitende ring beproefd. Deze zou, tijdens de plaatsing van de put in het prototype, op de bodembescherming kunnen blijven rusten. De ruimte tussen ring en put was slechts 0,3 m, terwijl de dikte van de ring 1,0 m bedroeg.

Bij de eerste proef werd de ring aan de put bevestigd (T11) en kwam na enige ontgronding dus vrij te hangen. Bij de tweede proef werd een meer reële situatie gesimuleerd, waarbij de verzwaarde ring los op de bodembescherming was aangebracht (T12). Daarna werd een proef uitgevoerd waarbij de ring bovendien was voorzien van een zanddichte aansluiting met de bodembescherming (T13).

Bestortingen

Als laatste categorie aanvullende maatregelen werden bestortingen onderzocht, welke tijdens de beginfase van de plaatsing (nog geen ontgrondingen) plaatselijk op het onbeschermd zand werden aangebracht.

Bij proeven T4, T18 en T17 was bestorting beperkt tot de aangestroomde putkop (T4: $\bar{v} = 0,60$ m/s, T18: $\bar{v} = 0,52$ m/s en T17: $\bar{v} = 0,45$ m/s. Bij T4 was de bestorting alleen in de spleet aangebracht, terwijl bij T18 en T17 een overlap met de bodembescherming werd gerealiseerd.

Bij proeven T15 en T16 waren rond beide koppen bestortingen aangebracht, zowel zonder (T15) als met overlap (T16) met de aangrenzende bodembescherming.

De bestortingen waren zo opgebouwd dat van een goede filterwerking sprake was en dat de stenen onder de stroomaanval stabiel waren.

3.3 Overige proeven

Van de hiervoor vermelde maatregelen zouden de bodembescherming en de uitsparing, alsmede de stroombreker voorafgaande aan de plaatsing van de put kunnen worden aangebracht, terwijl dat met de ringkonstructie en de bestortingen slechts tijdens de plaatsing het geval kan zijn.

Een andere mogelijkheid zou kunnen zijn, het vóór de plaatsing aanbrengen van licht bestortingsmateriaal in de gehele sparing in de bodembescherming. Dit materiaal dient dan weggecutterd te kunnen worden tijdens plaatsing, terwijl een goede filterwerking en voldoende stabiliteit van het materiaal buiten de put moeten zijn gewaarborgd. Ten behoeve van dat laatste punt zijn twee typen lichte bestortingen beproefd, gebroken kif met $D_{50} = 0,087$ m en $\rho = 2650$ kg/m³ (T6) en basalt met $D_{50} = 0,198$ m en $\rho = 2850$ kg/m³ (T8). Van beide werden de kritieke aanstroomsnelheden waarbij juist enige schade optreedt bepaald.

Het bij de proeven geconstateerde ontgrondingsproces is in sterke mate afhankelijk van een juiste weergave van het stroombeeld. Teneinde een indruk te verkrijgen van de invloed van de gootwanden op het stroomsnelheidsverloop en van de nauwkeurigheid van de stroomsnelheidsmetingen met zowel een Ott-molen als een micromolen, zijn stroomsnelheidsmetingen verricht in een tweetal dwarsraaien bij een vaste, vlakke bodem (T20).

Een oriënterende proef werd uitgevoerd met een op het zandbed geplaatste put (T21), waarbij de bodembeschermingsgeometrie gelijk was aan die bij T2. Als gevolg van ontgrondingen ging de put verzakken. Deze verzakking en de ontgrondingen langs de omtrek van de put werden op een tweetal tijdstippen globaal opgemeten.

4 Schalen

4.1 Theorie

Het ontgrondingsproces wordt bepaald door de volgende parameters:

1. De eigenschappen van het bodemmateriaal.
2. De geometrie van de konstruktie.
3. De stroomkondities.

De invloed van de eerste parameter is naar verwachting bij een redelijke mate van ontgroning klein en zelfs verwaarloosbaar als in het model ongeveer hetzelfde bodemmateriaal wordt gebruikt als in het prototype. Bij de onderhavige proeven was dit het geval, er werd origineel Oosterschelde-zand gebruikt.

De geometrie van de konstruktie heeft daarentegen grote invloed op het ontgrondingsverloop; deze dient daarom in het algemeen geometrisch gelijkvormig te worden weergegeven.

De stroomkondities in de nabijheid van de konstruktie staan in nauwe relatie met de geometrie ervan. Wat betreft de aanstroomsnelheden kan onderscheid worden gemaakt tussen twee aspecten van ontgrondingen:

1. De evenwichtsligging van de ontgrondingskuil.
2. Het verloop van het ontgrondingsproces.

In het eerste geval blijkt de aanstroomsnelheid \bar{v} geen invloed te hebben op de uiteindelijke evenwichtsligging van de kuil, mits er sprake is van een goed ontwikkeld bodemtransport (inklusief bovenaanvoer). Dit is het geval als $\bar{v} > (1,5 \text{ à } 2,0) \bar{v}_k$, met \bar{v}_k = de aanstroomsnelheid, waarbij het bodemmateriaal in het ongestoorde bed juist beweging komt.

Is \bar{v} kleiner dan hierboven aangegeven of is er niet sprake van een goed ontwikkelde bovenaanvoer van zand dan is er wel een afhankelijkheid van \bar{v} met de evenwichtsdiepte van de kuil.

Omdat hier een situatie was zonder bovenafvoer moet worden gesteld dat evenwichtskuildiepten mogelijk niet goed zijn weergegeven. Daar staat tegenover dat het niet bekend is, in hoeverre er tijdens de plaatsing van de putten in het prototype sprake zal zijn van kuilaanvulling door bovenaanvoer. Voorst worden bij verwaarlozing van de bovenaanvoer te conservatieve voorspellingen ten aanzien van de ontgrondingen gedaan, zodat het model veilige kuildiepten geeft. Verder moet worden opgemerkt dat bovenaanvoer bij redelijk ontwikkelde aanvangs-ontgroning pas na verloop van tijd (bijna evenwicht) een rol gaat spelen. Het

beginproces van ontgroning, waar gezien de korte plaatsingsduur van de putten de belangstelling naar uitgaat, wordt bij verwaarlozing van de bovenaanvoer dus naar verwachting goed weergegeven.

De waterdiepte h_o heeft geen invloed op de evenwichtsligging mits deze tenminste tweemaal de aangestroomde diameter D van de konstruktie is. Is dit niet zo, dan moet de h_o op lengteschaal worden weergegeven. Dit laatste was bij de onderhavige proeven het geval.

Het verloop van het ontgrondingsproces kan worden benaderd met de volgende relaties voor de permanente stroming (M 648/863):

$$\frac{h_{\max}(t)}{h_o} = f_1\left(\frac{t}{t_1}\right) \quad (1)$$

en

$$t_1 = \frac{250 \Delta^{1,7} \cdot h_o^2}{(\alpha \bar{v} - \bar{v}_k)^{4,3}} \quad (2)$$

Hierin zijn:

$h_{\max}(t)$	= maximale ontgrondingsdiepte op tijdstip t	(m)
h_o	= oorspronkelijke waterdiepte	(m)
t	= tijd	(uren)
t_1	= tijd, waarin $h_{\max} = h_o$ wordt	(uren)
Δ	= relatieve dichtheid van het bodemmateriaal onder water (= 1,65 voor zand)	
α	= ontgrondingsparameter	

Met behulp van het modelonderzoek kunnen t_1 en daarmee α , alsmede de funktie f_1 worden bepaald. De tijdschaal van het proces ligt dan vast volgens:

$$n_t = n_{t_1} = n \frac{h_o^2}{(\alpha \bar{v} - \bar{v}_k)^{4,3}} \quad (3)$$

Bovenstaande houdt in dat men in de keuze van \bar{v} vrij is, maar dat de tijdschaal dan met een bepaalde keuze van \bar{v} vast ligt. In het algemeen zal \bar{v} zo worden gekozen dat het ontgrondingsproces goed kan worden gevolgd, maar dat het anderzijds niet te lang duurt alvorens de evenwichtsligging bij benadering wordt bereikt. In verband met de meetnauwkeurigheid en het opsporen van "verborgen" schaaffecten worden bovendien vaak enige afwijkende stroomsnelheidschalen gekozen.

Zonder hier nader op in te gaan kan worden gesteld dat relatie (2) eveneens kan worden toegepast voor de situatie van een getijstrooming onder de veronderstelling dat de niet-permanente toestand kan worden opgevat als een opeenvolging van kort durende permanente toestanden.

Indien de modelfaciliteit de mogelijkheid biedt om in twee richtingen te stromen kan aldus beurtelings een permanente eb- en vloedstroom worden ingesteld gedurende een bepaalde "effectieve" stroomduur. In het algemeen worden dan de maximale tijdens eb en vloed optredende stroomsnelheden ingesteld.

In de Grote Stroomgoot in De Voorst, waarin het onderhavige onderzoek plaatsvond, kon echter maar in één richting worden gestroomd. Volstaan werd daarom met het bepalen van de ontgrondingen tijdens en ná een enkel eb- of vloedgetij volgens de relaties (2) en (3) en bovengenoemde veronderstelling. De tijdstap bij deze berekeningen was 0,25 uur prototype, wat in het kader van dit onderzoek voldoende nauwkeurig werd geacht.

4.2 Schaalkeuze

Lengteschaal:

Hiervoor werd $n_1 = 30$ gekozen, mede in verband met de beschikbaarheid van de eerder toegepaste model-put (M 1385). Bij de symmetrisch in de goot geplaatste put bleef aldus ter weerszijden een doorstroomopening over ter breedte van tweemaal de aangestroomde putdiameter D . Bij benadering kan dan worden gesproken van een solitaire plaatsing (put in oneindige zee).

De invloed van stroomsnelheidsverhogingen tengevolge van de aanwezigheid van reeds geplaatste putten en katamaran en dergelijke, is dus niet onderzocht.

Stroomsnelheidsschaal bij de ontgrondingsproeven:

Uitgegaan was van een modelstroomsnelheid van 0,60 m/s, welke ook bij voorafgaand onderzoek (M 1385) werd toegepast. In enkele gevallen werd tevens met afwijkende stroomsnelheden, 0,52 m/s en 0,45 m/s, gestroomd. De snelheidsschaal ligt vast als de prototype-(ontwerp)stroomsnelheden bekend zijn. Is dit niet zo, dan kan een reële schaalfactor worden gekozen; daarmee ligt dan wel de tijdschaal vast.

Stroomsnelheidsschaal bij de stabiliteitsproeven:

Hier was als schaal: $n_v = \sqrt{n_1} = \sqrt{30}$ gekozen, uitgaande van hetzelfde Froudegetal in model als in prototype. Dit houdt in dat de twee typen bestortingen ook op lengteschaal werden weergegeven.

Bij de fijnste bestorting, gebroken kif met een $D_{50} = 0,0029$ m (modelmaat), kan niet met zekerheid worden gesteld of de viscositeit wel of niet een rol heeft gespeeld. Wel bestaat het vermoeden dat deze invloed, indien aanwezig, klein is geweest in verband met de turbulente structuur van de stroming rondom de put als gevolg van secundaire stroming en wervels. Bij de grove bestorting waren viscositeitsinvloeden, gezien de diameter van het materiaal (0,0066 m model), zeker verwaarloosbaar.

Vervormingsschaal van de bodembescherming

Dit vormt een wat onzeker punt bij het uitgevoerde modelonderzoek als gevolg van de onbekendheid van het vervormingsgedrag van de prototypebescherming bij doorgaande ontgroning. Aangenomen werd dat enige vervorming mogelijk zou zijn. De in het model aangebrachte bodembeschermingsdoeken werden dan ook zó neergelegd, dat ontgroningen in de orde van enige meters prototype konden worden "gevolgd".

5 Metingen

5.1 Ontgrondingen

Om een indruk te verkrijgen van het ontgrondingsbeeld in de tijd werden enige tijdstippen na aanvang van de proef zowel de ontgroning binnen de spleet als de hoogteligging van de bodembescherming met een peilstok gepeild. Deze peilstok kon langs een geleiding, op de gewenste meetposities, verticaal op en neer worden bewogen. De hoogteligging kon direct, door de op de peilstok aangebrachte maatverdeling, worden afgelezen. Soms werd tevens het water afgelaten en de bodembescherming ter plaatse van de ontgrondingskuil verwijderd, zodat dan ook het verloop van de ontgrondingskuil onder de bodembescherming kon worden vastgesteld.

Bij het vaststellen van de ontgrondingen binnen de spleet en de hoogteligging van de bodembescherming werd in stilstaand water een groot aantal punten aangepeild. De ligging van de bodembescherming kon echter niet nauwkeurig worden bepaald als gevolg van het bovenliggende wapeningsnet en door de aanwezigheid van constructies (stroombreker en ring). De ontgrondingskuil kon wel redelijk goed worden opgemeten, met een mogelijke afwijking van circa 0,5 m prototype. In verband met het oriënterende karakter van het onderzoek werd volstaan met weinig (2 tot 6) peilingen per proef. Getracht werd, de achtereenvolgende tijdstippen waarop deze peilingen plaatsvonden z6 te kiezen dat een bruikbaar tijd-ontgrondingsbeeld kon worden verkregen.

5.2 Stabiliteit van het bestortingsmateriaal

Hierbij werden de kritieke aanstroomsnelheden bepaald voor de twee typen, rond de gehele put aangebracht, bestortingsmateriaal.

Tenminste twee verschillende aanstroomsnelheden die enige steenverplaatsing ten gevolge hadden, werden ingesteld. Door middel van extrapolatie naar het nulpunt van schade kon vervolgens de kritieke aanstroomsnelheid voor de bijbehorende bestorting worden gevonden. De aanstroomsnelheden werden gemeten met een Ott-molen op een afstand van enige diameters bovenstrooms van de put in de as van de goot, op veertiende van de waterdiepte boven de bodem.

De stenen, die uit de in verschillende kleuren geverfde stroken werden verplaatst, werden aangemerkt als verplaatste stenen. Dit houdt in dat schade in model pas optrad nadat reeds enige stenen binnen de stroken waren verplaatst. Door de

relatief geringe afmetingen van de stroken in de stroomrichting (1,5 en 3,0 m (prototype) bij de aangestroomde zijde) wordt er van uitgegaan dat het begin van schade, op deze wijze goed werd benaderd.

6 Resultaten

6.1 Ontgrondingsproeven

In de figuren 7 tot en met 30 zijn de ontgrondingen in bovenaanzicht en in zijaanzicht (langs de putwand) weergegeven. Van elke proef zijn tenminste twee van deze figuren op verschillende tijdstippen na aanvang van de ontgroning in dit verslag opgenomen (behalve van T17 en T18). Hiermee kan een indruk worden verkregen omtrent de kuilontwikkeling in de tijd.

Figuren 31 en 32 geven de positie van de op het zandbed geplaatste put én de ligging van het zandbed langs de putwand aan, op twee achtereenvolgende tijdstippen.

In figuren 33 tot en met 37 is het verloop van de maximale ontgrondingsdiepte tegen de stroomduur (in modelmaten) aangegeven, per categorie van maatregelen ter beperking van de ontgrondingen.

De bovenstaande figuren geven geen directe informatie over de te verwachten ontgrondingen tijdens getij-omstandigheden in het prototype. Hieraan is tegemoet gekomen door de proefresultaten op de in paragraaf 3.1 aangegeven wijze te bewerken voor vier typen getijden: extreem springtij, gemiddeld springtij, gemiddeld getij en gemiddeld doodtij. Hierbij werd uitgegaan van het getijverloop in figuur 4, met vermenigvuldigingsfactoren van respectievelijk: 1,25, 1,12, 1,00 en 0,84. De aldus bepaalde ontgrondingen tijdens en na afloop van één getij, zijn voor de belangrijkste situaties weergegeven in figuren 39...46. In figuur 38 zijn de ontgrondingen en het zakkingsverloop van de op het zandbed geplaatste put als functie van de (model)tijd uitgezet.

Situatie met alléén bodembescherming

Wordt in figuur 33 het ontgrondingsverloop vergeleken tussen de situatie zonder (M 1385) en met bodembescherming (T1, T2, T7 en T14), dan blijkt dat de invloed van de bodembescherming onverwacht klein is, zelfs bij een spleetbreedte van 0,5 m prototype (T14). Bovendien was de zandbodem bij afwezigheid van de bodembescherming relatief te ruw ten opzichte van die bij aanwezigheid van de bodembescherming. De ontgrondingen verliepen daarom in het eerste geval zelfs nog relatief te snel. De remmende werking was hiermee dus nog kleiner. Opvallend is dat de tijdontgrondingslijnen, vooral na verloop van tijd, vrijwel samenvallen voor spleetbreedten van 6,0 m, 1,5 m en 0,5 m (met een rechthoekige sparing) en van 1,5 m (met een afgeronde sparing), een indicatie dat de bodembescherming weinig invloed op het ontgrondingsverloop had.

In het prototype zal de kuildiepte bij afwezigheid van aanvullende maatregelen

na één getij 4,0 à 9,0 m kunnen bedragen (figuren 39 en 40), afhankelijk van het getijtype. Dit lijkt niet aanvaardbaar met het oog op de tijdsduur die voor de plaatsing van de put nodig zal zijn.

Situatie met bodembescherming en stroombreker

De op 4,0 m afstand uit de put op de bodembescherming (spleetbreedte 1,5 m met afgeronde sparing) geplaatste stroombreker van 4 m hoog, bleek het ontgrondingsbeeld niet merkbaar te beïnvloeden. Men vergelijkte hiertoe figuren 34 (T9) en 33 (T7), alsmede figuur 34.

Twee meter verplaatsing van de stroombreker in stroomafwaartse richting, waardoor een ruimte van 2,0 m aan de aangestroomde zijde tussen put en stroombreker overbleef, gaf wel enige reductie. Zoals uit figuren 34 (T9, T10) blijkt, was dit echter niet afdoende.

Situatie met bodembescherming en ring

Een verdere versmalling van de strook onbeschermd zand kon worden bereikt met een ringkonstruktie die tijdens de plaatsing van de put op de bodembescherming zou blijven rusten. De tussenruimte bij de onderzochte ring was slechts 0,3 m, de dikte van de ring bedroeg 1,0 m (prototypematen).

De bij T11 star aan de put bevestigde ring was weinig reëel en wordt hier buiten beschouwing gelaten.

Bij T12 was de in zijn vlak geheel starre ring los op de bodembescherming geplaatst, terwijl bij T13 bovendien in een zanddichte aansluiting met de bodembescherming was voorzien, met behulp van met stortsteen geballast zanddicht doek. Ten opzichte van de situatie met stroombreker namen de ontgrondingen verder af (figuren 35 en 42), maar wederom niet voldoende. Ondanks een iets andere helling van de tijdontgrondingslijnen (figuur 35) zijn de verschillen tussen T12 en T13 niet significant.

De beperkte afname van de ontgrondingen was deels te wijten aan de door de ontgrondingen veroorzaakte verplaatsing van de ring waardoor de tussenruimte aan de aangestroomde zijde na verloop van tijd groter werd dan 0,3 m. Uit konstruktief oogpunt vormen dergelijke verplaatsingen het nadeel dat de ring klem kan komen te zitten om de put.

Situatie met bodembescherming en bestortingen

De voorgaande proeven gaven de aanwijzing dat alleen door het afdekken van grote delen van de strook zand rond de put de ontgrondingen in voldoende mate zouden zijn terug te brengen.

Bij proeven T4, T18 en T17, waarbij een gegradeerde steenbestorting ter plaatse van de aangestroomde putkop was aangebracht, bleek inderdaad sprake te zijn van een belangrijke afname van de ontgrondingen (figuur 36). Bij T4 was de steenbestorting in de ruimte tussen bodembescherming en put aangebracht, terwijl bij T18 en T17 voor een zekere overlap met de bodembescherming was gezorgd, zie bijvoorbeeld figuren 22, 23 en 26. De aanstroomsnelheden waren bij T4, T18 en T17 respectievelijk 0,60, 0,52 en 0,45 m/s (model). Bij afwezigheid van schaaleffekten zouden de ontgrondingen tijdens en na één getij voor T18 en T17 gelijk moeten zijn (figuren 44, 45). Dat de ontgrondingen niet helemaal overeenstemmen wordt enerzijds mogelijk veroorzaakt door het ontbreken van bovenaanvoer van zand. Daarnaast moet worden opgemerkt dat de verschillen in absolute zin klein zijn (minder dan 1 m prototype) zodat een kleine afwijking in de ingestelde grootheden tijdens een proef hier mogelijk verantwoordelijk voor waren. Het lijkt wenselijk dit bij meer gedetailleerd onderzoek alsnog na te gaan.

In het prototype, waar tijdens de plaatsing stroomkentering zal optreden, dient rond beide koppen van de put een bestorting te worden aangebracht. Dit zou gefaseerd kunnen plaatsvinden. Het was in model echter niet mogelijk na te gaan hoe groot de ontgrondingen in dat geval zouden zijn, omdat slechts in een richting kon worden gestroomd. Wel is nagegaan wat het effect bij één stroomrichting is van bestortingen rond beide koppen welke, voordat enige ontgroning is opgetreden reeds zijn aangebracht (T16, figuren 36 en 46). De ontgrondingen zijn hierbij weinig groter dan die welke bij een bestorting rond één kop optreden (T17, T18).

Uitgangspunt bij bovengenoemde bestortingen was, dat een goede filterwerking met het onderliggende zand werd gegarandeerd en verder dat de bestortingsstenen onder alle omstandigheden stabiel waren.

Invloed bovenaanvoer van zand

Uit praktische overwegingen was in het model over grote lengte bovenstrooms van de put een betonvloer aangebracht op gelijk niveau met het zandbed en de bodembescherming. Het gevolg hiervan was dat geen bovenaanvoer van zand plaatsvond. Een reductie van de ontgrondingen die in het prototype zou kunnen optreden, kon in model dus niet plaatsvinden. Alhoewel de grootte van de in het prototype te verwachten bovenaanvoer zelfs niet bij benadering bekend is, onder andere door te grote lengte waarover een bodembescherming zal zijn aangebracht, is een belangrijke reductie in het bijzonder naarmate het ontgrondingsverloop vordert, niet uitgesloten. Daarom werd een proef uitgevoerd (T5) waarmee werd getracht een indruk te verkrijgen van de reductie bij een optimale bovenaanvoer. Hieruit zou dan een bovengrens van de kuilreductie kunnen volgen. De bovenaanvoer werd bij T5 verkregen door middel van een 0,10 m (model) dikke zandlaag die over de gehele lengte van

de betonvloer en bodembescherming bovenstrooms van de put was aangebracht. De geometrie was verder gelijk aan die bij T2.

Na uitvoering van de proef bleken zich dermate hoge zandribbels (orde 0,05 m (model) te hebben gevormd, dat de bodemruwheid en daarmee de \bar{v}_k niet meer met die bij T2 overeenkwam. Een vergelijking zou wel mogelijk zijn geweest, indien nog een proef zou zijn uitgevoerd waarbij de zandbodem met ribbels en al zou zijn vastgelegd. Hiervoor was echter geen tijd meer beschikbaar. Zonder een dergelijke schakel tussen T2 en T5 kan aan figuur 37 daarom geen betrouwbare conclusie worden ontleend. De bovenaanvoer lijkt, desondanks in het beginstadium van de ontgroning, weinig invloed te hebben.

Stroomsnelheidsmetingen

Een afzonderlijke proef werd uitgevoerd ter bepaling van de stroomsnelheidsverdeling naast de put bij een vast, afgevlakte bodem (T20).

Stroomsnelheden werden hierbij in twee raaien met een Ott-molen gemeten; in raai A-A (figuur 47) werden de stroomsnelheden direkt naast de put tevens met een micromolen gemeten.

De met beide instrumenten gemeten stroomsnelheden bleken goed met elkaar overeen te stemmen.

De stroomsnelheidsverdeling in raai A-A was vrijwel onafhankelijk van de grootte van de aanstroomsnelheid (figuur 47).

De stroomsnelheidsverdeling ter weerszijden van de put was niet geheel symmetrisch, wat zowel in raai A-A als raai B-B merkbaar was (figuur 48). Daarbij was het afwijkende snelheidspatroon in beide raaien gespiegeld ten opzichte van elkaar wat duidt op een zekere scheefstand van de put ten opzichte van de langs-as van de goot. De afwijkingen in de stroomsnelheidsverdeling tengevolge van deze scheefstand kunnen nog als acceptabel worden beschouwd.

De stroomsnelheidsverhoging langs de gootwanden bleek circa 10% te zijn van de ongestoorde aanstroomsnelheid. Volgens de potentiaalstromingstheorie zou deze voor een solitair geplaatste, oneindig lange put in de overeenkomstige langs-raaien circa 5% zijn geweest. De afwijking van 5% hogere stroomsnelheden langs de gootwanden zou het gevolg kunnen zijn geweest van de aanwezigheid van de gootwanden, het niet geheel opgaan van de potentiaalstromingstheorie of een combinatie van beide. De afwijking is echter dermate klein, dat de situatie van de put in de goot als solitaire plaatsing mag worden opgevat.

6.2 Stabiliteitsproeven

Zoals eerder opgemerkt zou een mogelijkheid om de ontgrondingen bij plaatsing van de put geheel tegen te gaan kunnen worden verkregen door de sparing in de bodembescherming voorafgaande aan de plaatsing te bestorten met licht bestortingsmateriaal. Een dergelijke bestorting zou geheel of gedeeltelijk moeten worden aangebracht. Bij het feitelijke plaatsen van de put dient dit materiaal dan wel op eenvoudige wijze te kunnen worden verwijderd, bijvoorbeeld via cutteren.

In dit laatste geval zal de maximale steendiameter naar de huidige stand van zaken niet meer mogen bedragen dan circa 0,10 à 0,15 m, zodat moet worden gedacht aan grof grind en dergelijke. Ten gevolge van de plaatselijke verhoogde stroomsnelheid en turbulentie rond de put zou de bestorting na het op de bodem plaatsen van de put mogelijk niet voldoende stroombestendig kunnen zijn.

Teneinde dit punt te onderzoeken zijn in het model twee typen bestortingen toegepast, nl. gebroken kif (split) met $D_{50} = 0,087$ m (prototype) en $\rho = 2650$ kg/m³ (T6) en basalt met $D_{50} = 0,198$ m (prototype) en $\rho = 2850$ kg/m³ (T8).

Beide bestortingen werden in de rechthoekige sparing (spleetbreedte 1,5 m) van de bodembescherming aangebracht, juist onder het niveau van de bodembescherming. De kritieke aanstroomsnelheden werden op de in paragraaf 4.2 aangegeven wijze bepaald en zijn in figuur 48 vermeld. Hieruit blijkt dat het gebroken kif in prototype niet stabiel zal zijn in verband met de te verwachten aanstroomsnelheden in de orde van 2,0 m/s. De basaltbestorting blijkt daarentegen ruimschoots te voldoen, terwijl de schade bij overschrijding van de kritische aanstroomsnelheid minder snel toeneemt dan bij de kifbestorting het geval is.

Bij de resultaten dienen de volgende kanttekeningen te worden geplaatst:

- a. De stenen van de gebroken kif- en basaltbestorting waren hoekig, terwijl een eventuele prototype-grindbestorting uit afgeronde stenen zal bestaan. Uit eerder verricht systematisch onderzoek naar de invloed van vorm en gradering van stortsteen op de stabiliteit ($M 731^{VI}$), zijn wat de vorm betreft echter geen significante verschillen te verwachten mits de nominale diameter ($= \sqrt[3]{\text{volume}}$) als kenmerkende diameter wordt aangehouden. In praktijk blijken de nominale diameters van verschillende bestortingsmaterialen zich meestal bij benadering te verhouden als de D_{50} -waarden. Gezien de globale opzet van deze proeven kan hiervan worden uitgegaan bij vergelijking met andere materialen.
- b. De put was bij de proeven (bij benadering) solitair geplaatst. Extra profielvernaauwing als gevolg van de aanwezigheid van andere putten, pijlers/putten,

katamaran en dergelijke zijn niet in beschouwing genomen. Ook werd het effect van scheve aanstroming niet onderzocht.

- c. De plaatselijke snelheids- en turbulentieverhoging is afhankelijk van de geometrie van de konstruktie en de waterdiepte. De resultaten gelden dus slechts voor de onderzochte putgeometrie en de waterdiepte van 15,0 m.
- d. De invloed van golven is niet onderzocht.

6.3 Proef met een op het zandbed geplaatste put

Bij de oriënterende proef met een op het zandbed geplaatste put was een bodem-bescherming aanwezig met een rechthoekige sparing en een spleetbreedte van 1,5 m. De put was evenals bij voorgaande proeven het geval was, over de volle hoogte (= 60 m prototype) geballast met zand, wat inhield dat de gewichtsverdeling over de put zeker niet op schaal was.

De aanstroomsnelheid was 1,75 uur lang 0,45 m/s (model) en werd vervolgens 1,75 uur op 0,55 m/s (model) gebracht teneinde de snelheid van het ontgrondingsproces te verhogen. Na de eerste 1,75 uur werd het ontgrondingsverloop langs de omtrek van de put bepaald terwijl de verzakking van de put tussentijds werd vastgesteld (figuur 31). Dit werd 1,75 uur later opnieuw gedaan (figuur 32).

Het verloop van de maximale ontgrondingsdiepte en de zakking aan de bovenstroomse zijde van de put (punt A, figuren 31 en 32) als functie van de stroomduur is in figuur 38 weergegeven.

Het bleek dat tijdens de eerste fase van de proef de zakking van de put aan de bovenstroomse zijde kleiner was dan de maximale ontgrondingsdiepte ter plaatse (figuur 38). Door de relatief snellere zakking van de put, vanaf 0,1 uur (model) na het begin van de proef, werd het verschil na 0,7 uur (model) opgeheven en bleef de put de ontgrondingskuil tot het einde van de proef volgen. Opvallend was hierbij de aanvankelijk sterke kanteling van de put tegen de stroom in, die bij doorgaande ontgroning echter nog slechts weinig toenam (figuren 31 en 32). Zijwaartse verplaatsing trad niet op, wat op grond van de rechte aanstroming ook niet was te verwachten. Bij een eventuele prototype-proef met niet geheel rechte aanstroming dient met zijdelingse verzakking echter wel rekening te worden gehouden. De verzakking tegen de stroom in, zal naar verwachting in het prototype kleiner zijn dan in model in verband met stroomomkering door eb en vloed. In figuur 33 is het ontgrondingsverloop tot aan 1,75 uur ($\bar{v} = 0,45$ m/s) uitgezet. Uit een vergelijking van T21 met T19 blijkt dat de ontgrondingen wat kleiner zijn bij de op het zandbed geplaatste put. Dit kan geheel of gedeeltelijk zijn

veroorzaakt door de kanteling van de put tegen de stroom in, waardoor de strook met onbedekt zand rond de aangestroomde zijde van de put belangrijk werd versmald. Indien hiermee rekening zou worden gehouden zou als voorzichtige conclusie kunnen worden gesteld dat een prototype-proef met een op het zand geplaatste put ter voorspelling van de ontgrondingen voor een put tijdens of na de plaatsing in het zandbed zinvol kan zijn.

proef- nummer T	cate- gorie	maatregelen	figuren	v in model (m/s)	sparing		spleet- breedte (m)	stroom- breker	ring	plaats bestorting		met overlap
					rechth. afger.	afger.				bov.str. kop	ben.str. kop	
1	a	A	7,8,33	0,60	x	-	6,0	-	-	-	-	-
2	a	A	9,10,33,37,39	0,60	x	-	1,5	-	-	-	-	-
4	a	A,D	22,23,24,26,43	0,60	x	-	1,5	-	-	x	-	-
5	a	A,bovenaav.zand	29,30,37	0,60	x	-	1,5	-	-	-	-	-
6	b	D ₅₀ = 0,087 m	5,48	var	x	-	1,5	-	-	rond put	x	-
7	a	A	14,15,33	0,60	-	x	1,5	-	-	-	-	-
8	b	D ₅₀ = 0,198 m	6,48	var	x	-	1,5	-	-	rond put	x	-
9	a	B	2,18,19,34,41	0,60	-	x	1,5	-	-	-	-	-
10	a	B	34	0,60	-	x	1,5	-	-	-	-	-
11	a	C	-	0,60	-	x	1,5	-	x	-	-	-
12	a	C	35	0,60	-	x	1,5	-	x	-	-	-
13	a	C	3,20,21,35,42	0,60	-	x	1,5	-	x	-	-	-
14	a	A	16,17,33	0,60	x	-	0,5	-	-	-	-	-
15	a	A,D	-	0,60	x	-	1,5	-	-	x	x	-
16	a	A,D	27,28,36,46	0,60	x	-	1,5	-	-	x	x	x
17	a	A,D	26,36,46	0,45	x	-	1,5	-	-	x	-	x
18	a	A.D	25,36,46	0,52	x	-	1,5	-	-	x	-	x
19	a	A	11,12,13,33,40	0,45	x	-	1,5	-	-	-	-	-
20	c		47	var						vaste, afgevlakte bodem		
21	a	A	31,32,38	{ 0,45 0,55	x	-	1,5	-	-	-	-	-

a = ontgrondingsproef

b = stabiliteitsproef

c = stroomsnelheidsmetingen

A = alleen bodembescherming

B = stroombreker

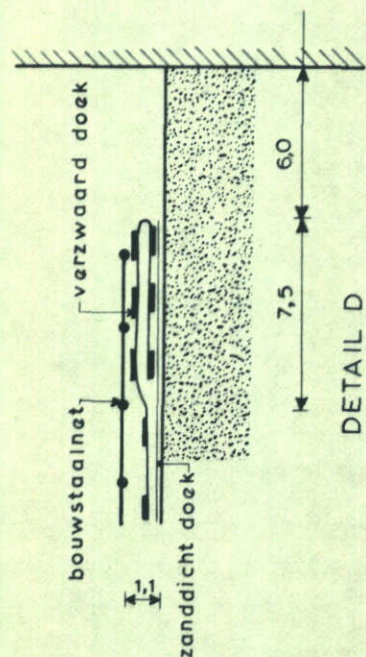
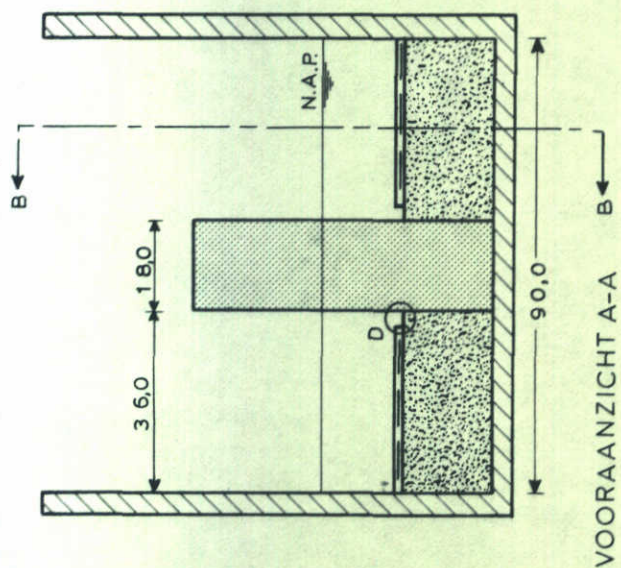
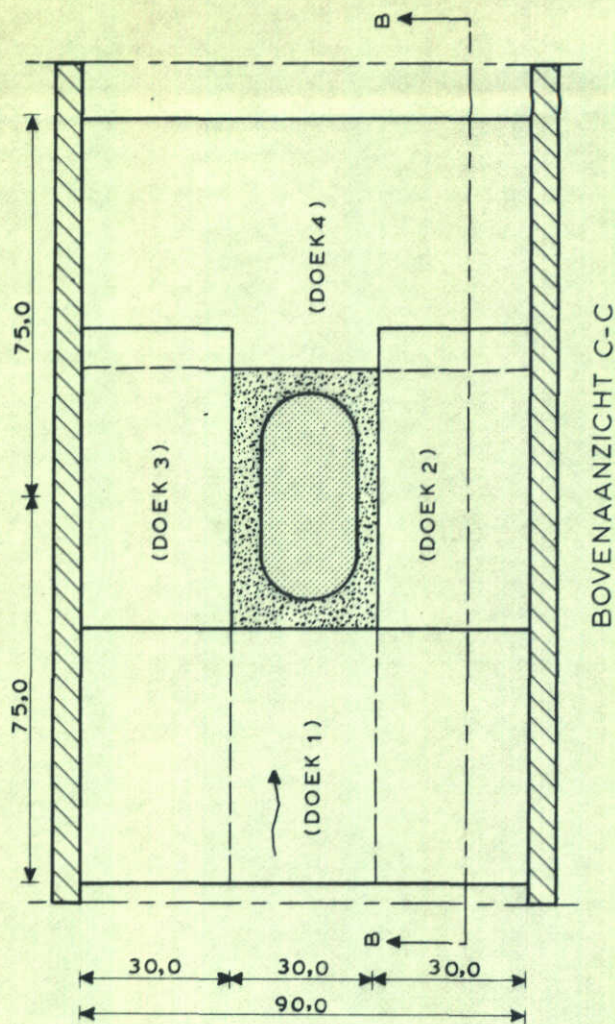
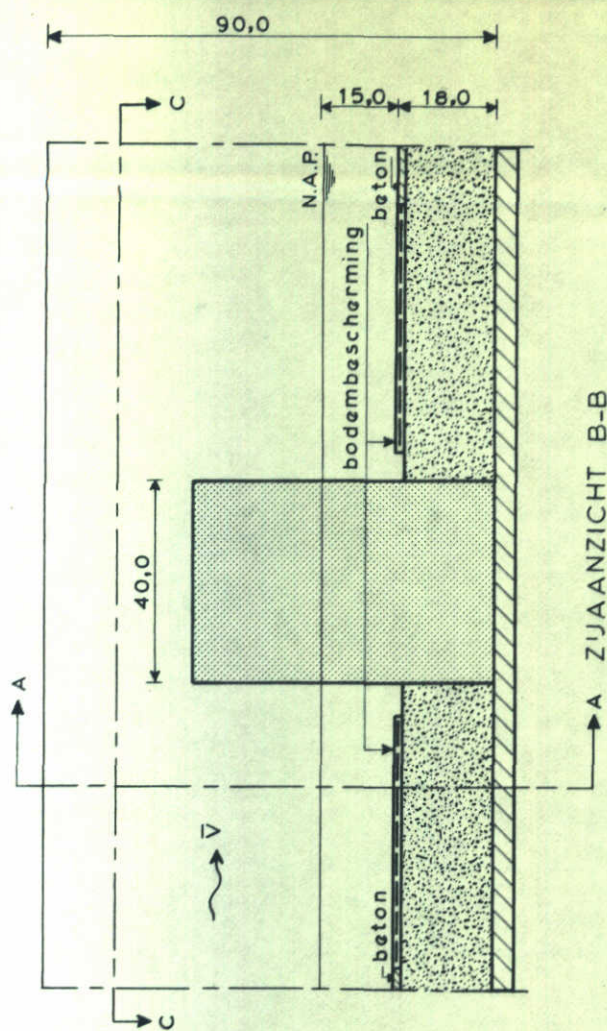
C = ring

D = bestortingen

c = stroomsnelheidsmetingen

Tabel

Overzicht van de proeven



maten in m prototype

PROEFOPSTELLING
(BODEMBESCHERMING ALS BIJ T1)

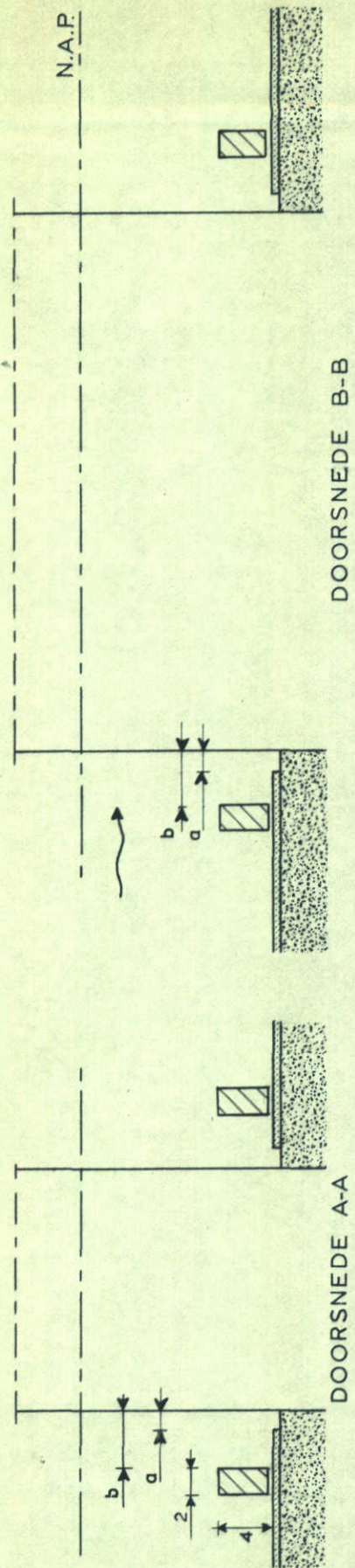
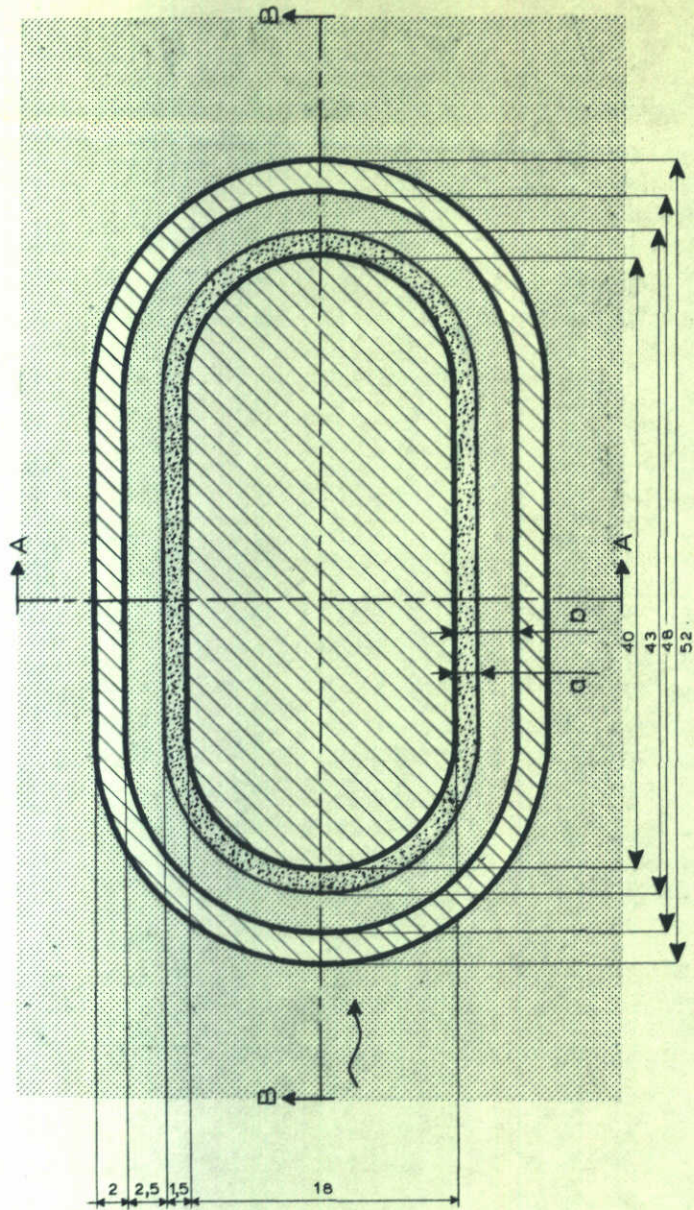
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

SCHAAL 1:1500/1:300

M 1402

FIG. 1

T9 : als hier aangegeven
 T10: als T9, echter stroombreker
 2 m in stroomafwaartse
 richting verschoven
 $a=1,5$ m
 $b=4,0$ m
 maten in m prototype



STROOMBREKER

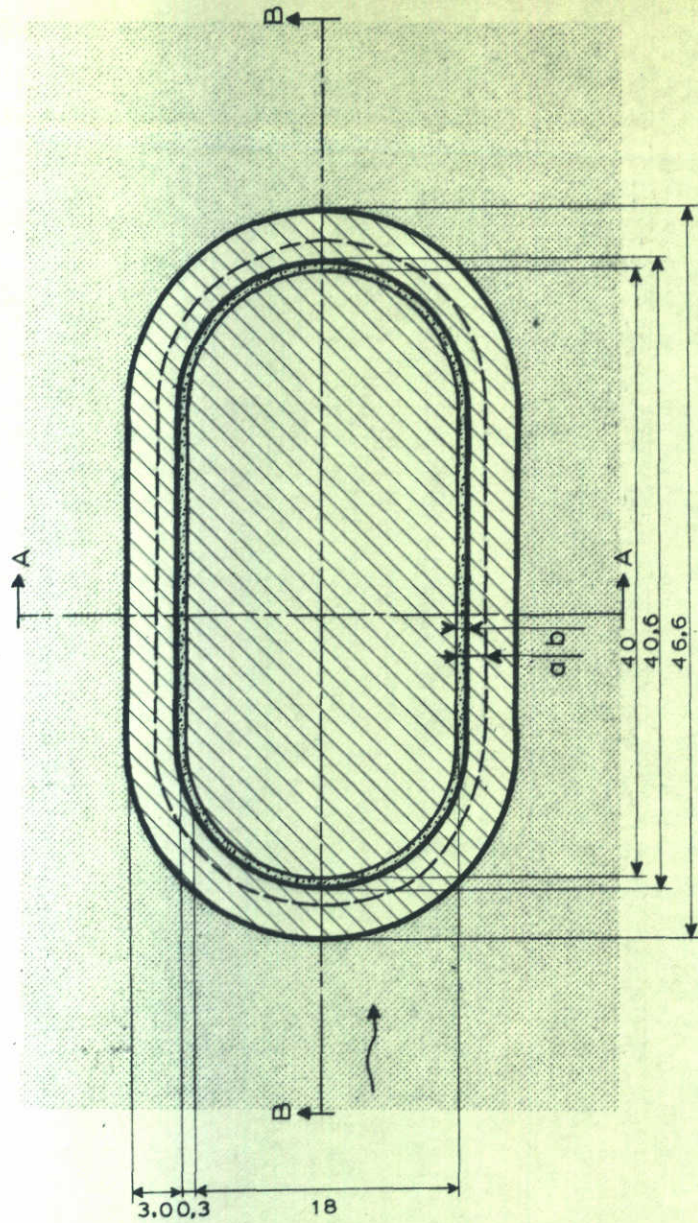
T9,T10

SCHAAL 1:500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 2



T11 : ring aan de put bevestigd

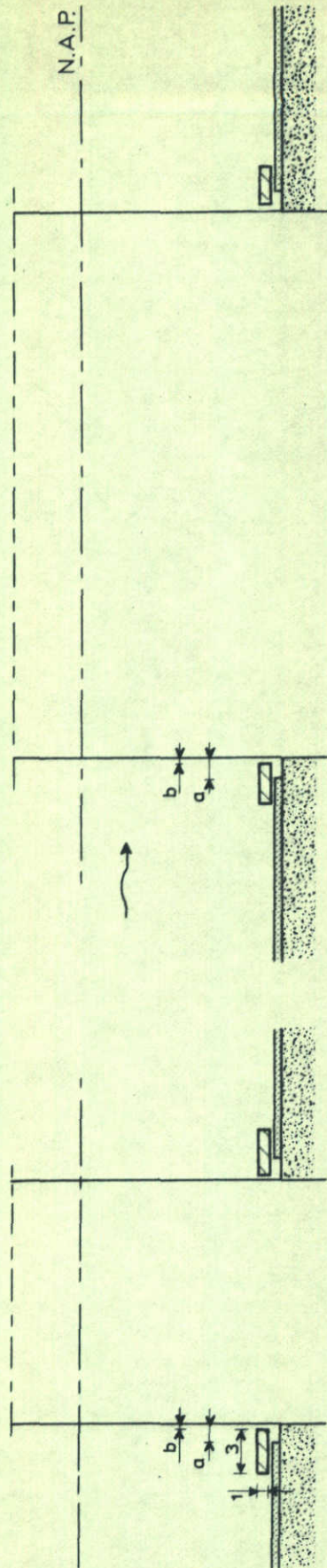
T12 : ring (verzwaard) los op bodembescherming

T13 : als T12, bovendien zand-dichte aansluiting ring/bodembescherming

$a = 1,5$ m

$b = 0,3$ m

maten in m prototype



DOORSNEDE B-B

DOORSNEDE A-A

RING

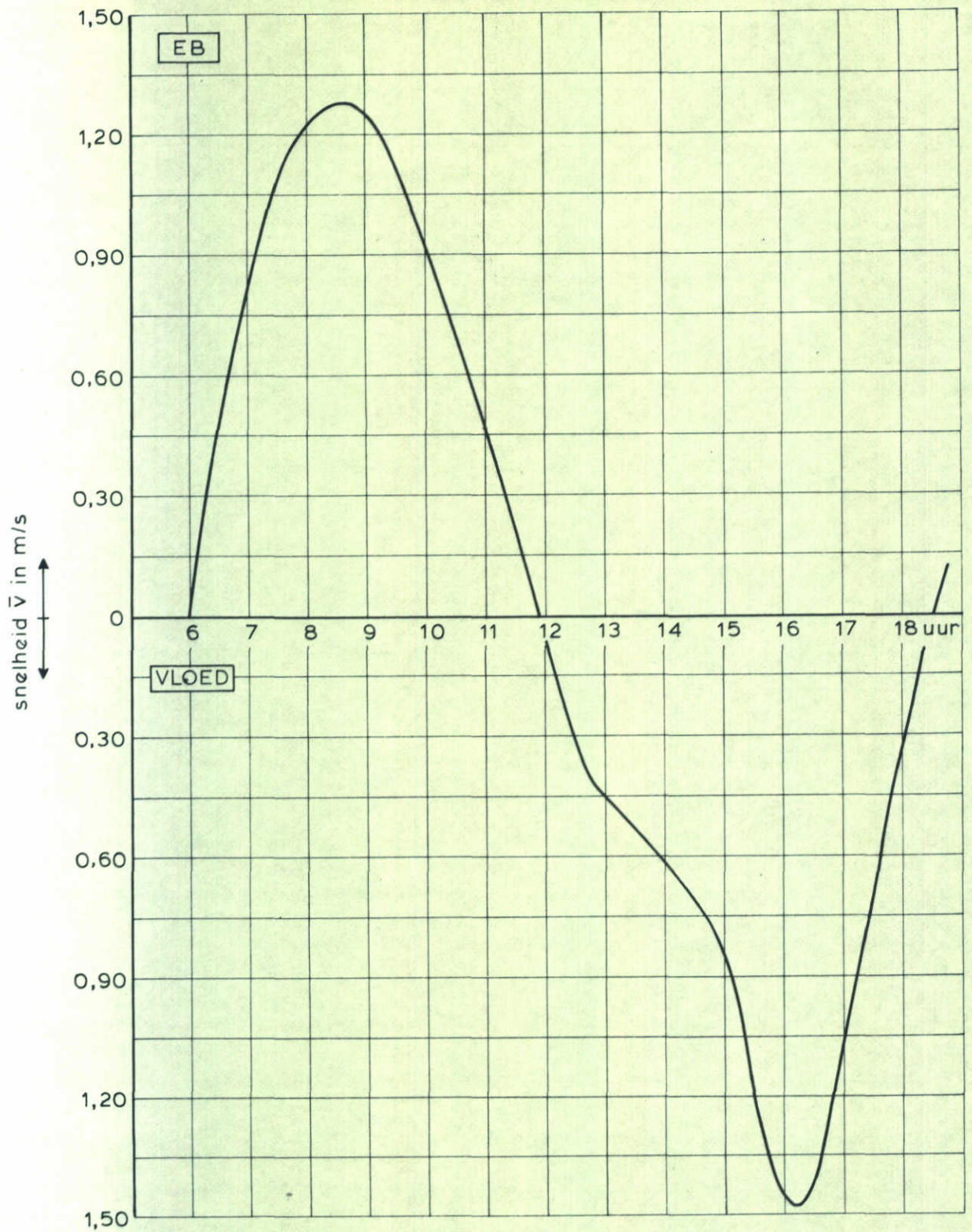
T11,T12,T13

SCHAAL 1:500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 3



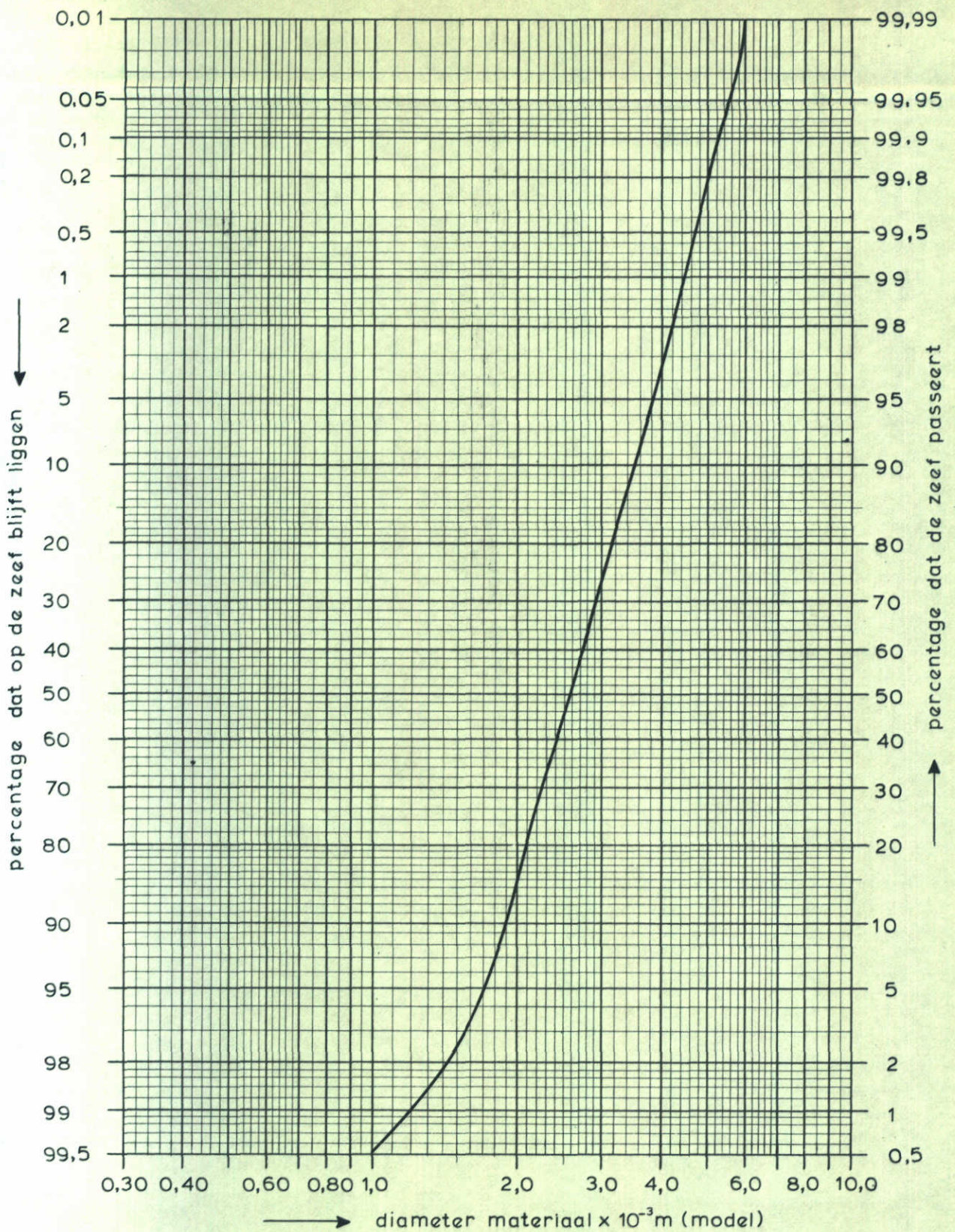
SNELHEIDSVERLOOP VAN DE GETIJSTROOM

BRON : M 1000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 4



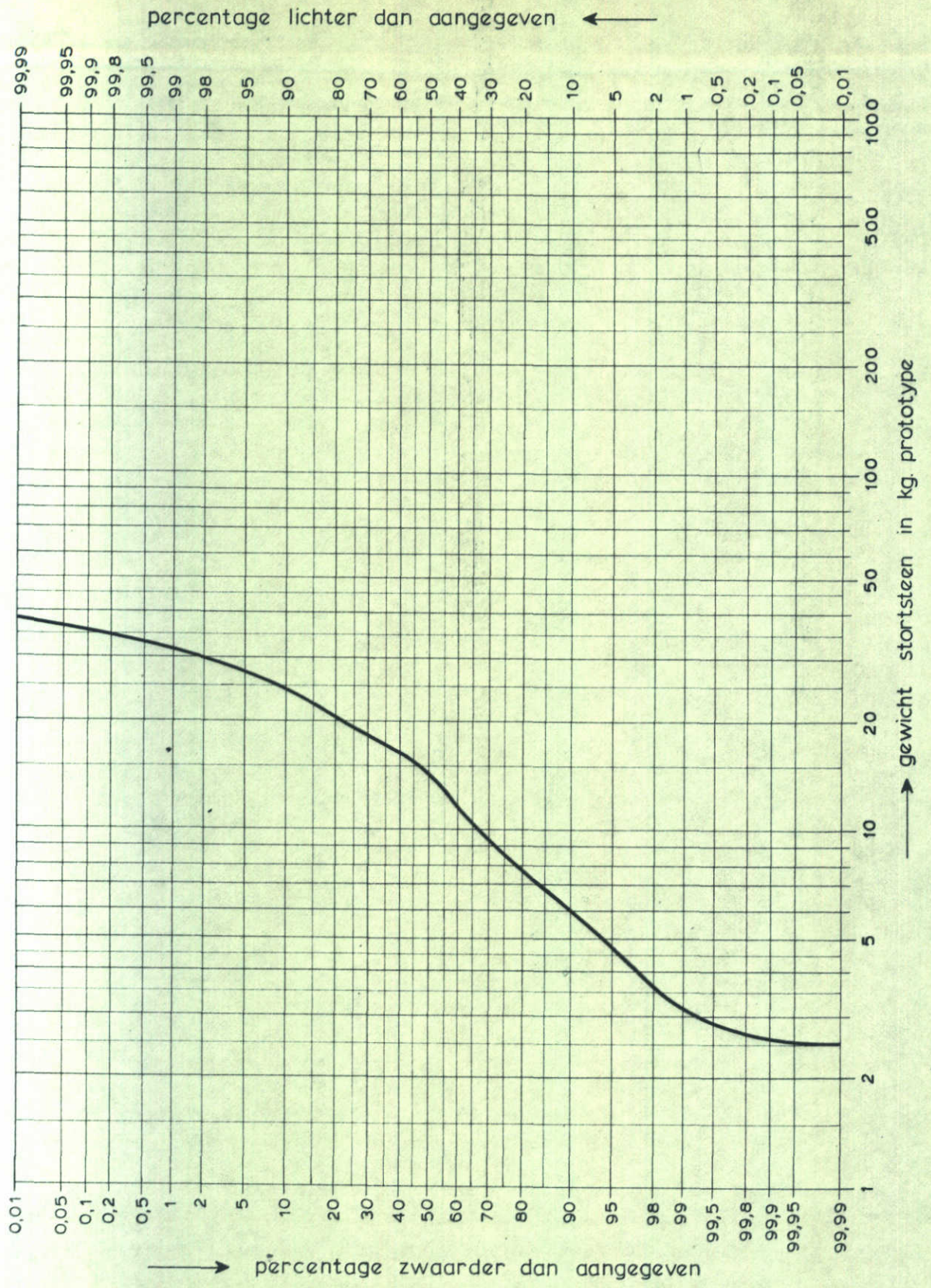
ZEEFKROMME GEBROKEN KIF ($\rho \approx 2650 \text{ kg/m}^3$)
 $D_{50} = 0,087 \text{ m}$ (PROTOTYPE)

T6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 5



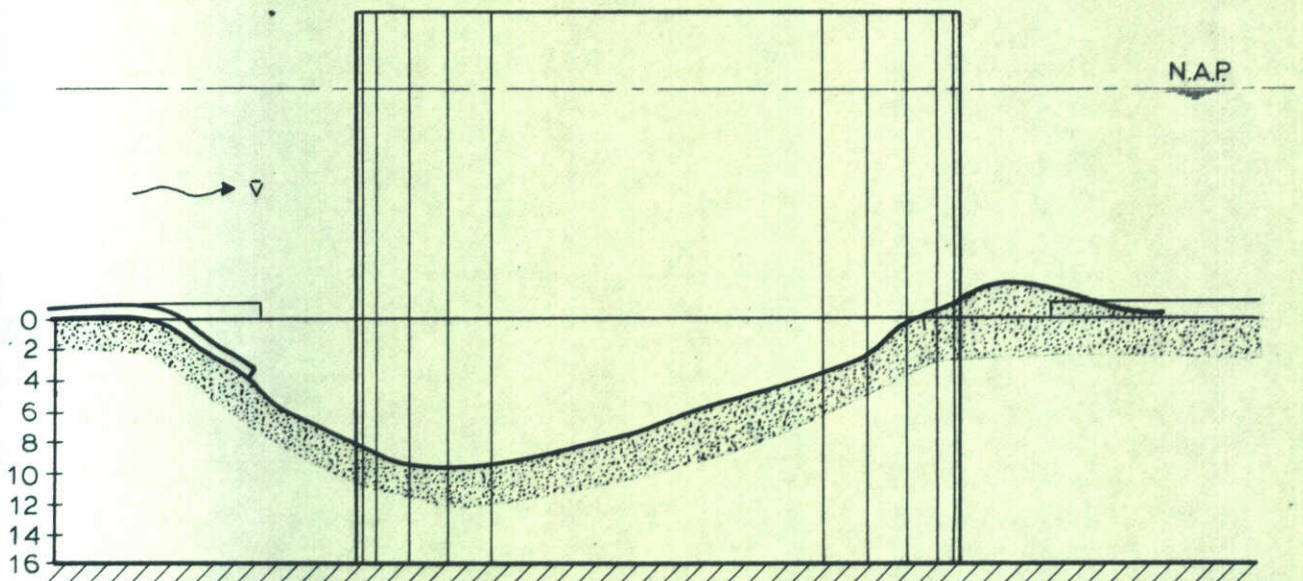
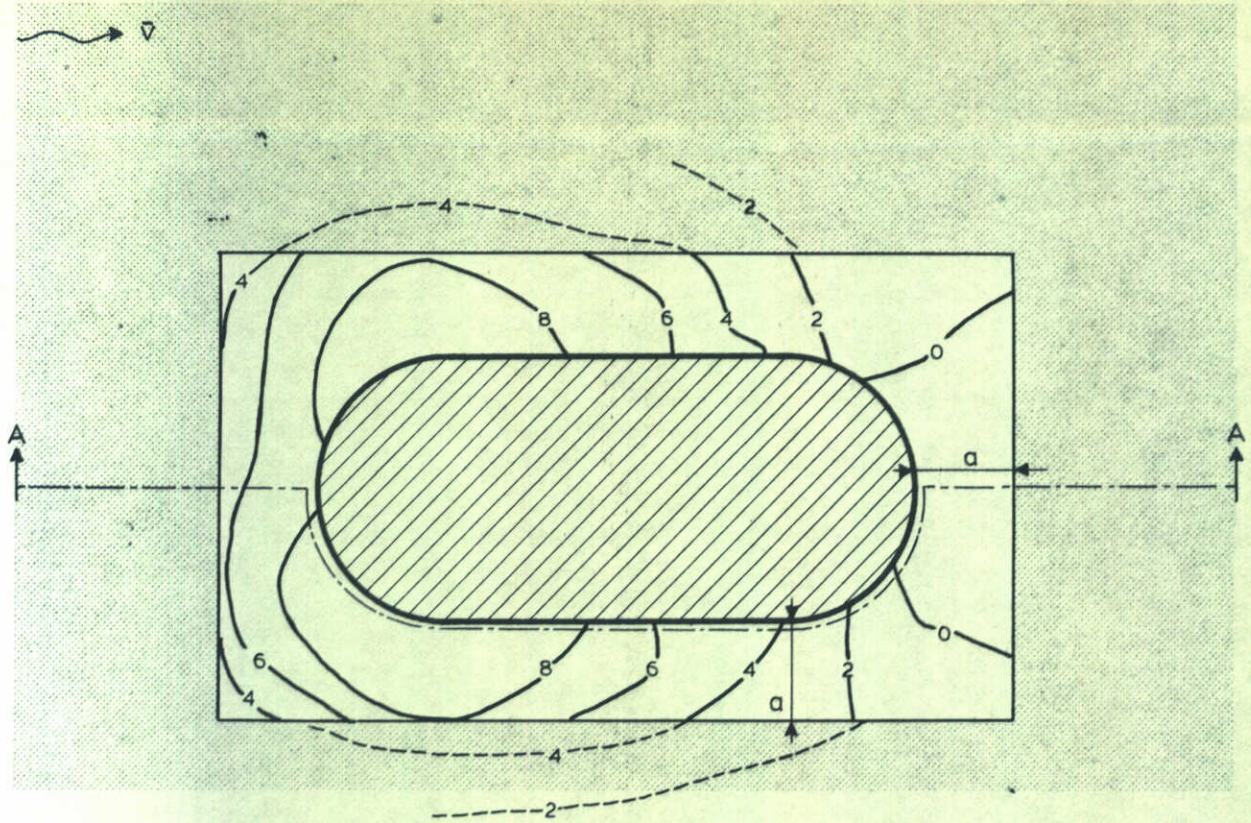
GEWICHTSVERDELING BASALT ($\rho \approx 2850 \text{ kg/m}^3$)
 $D = 0,198 \text{ m}$ (PROTOTYPE)

T8

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 6



DOORSNEDE A-A

$a = 6 \text{ m}$ (prototype)

$\bar{v} = 0,6 \text{ m/s}$ (model)

- ontgrondingen binnen de spleet
- ligging bodembescherming
- oorspronkelijke situatie

diepte in m prototype

T1 ONTGRONDING $t = 0,25 \text{ uur}$ (MODEL)

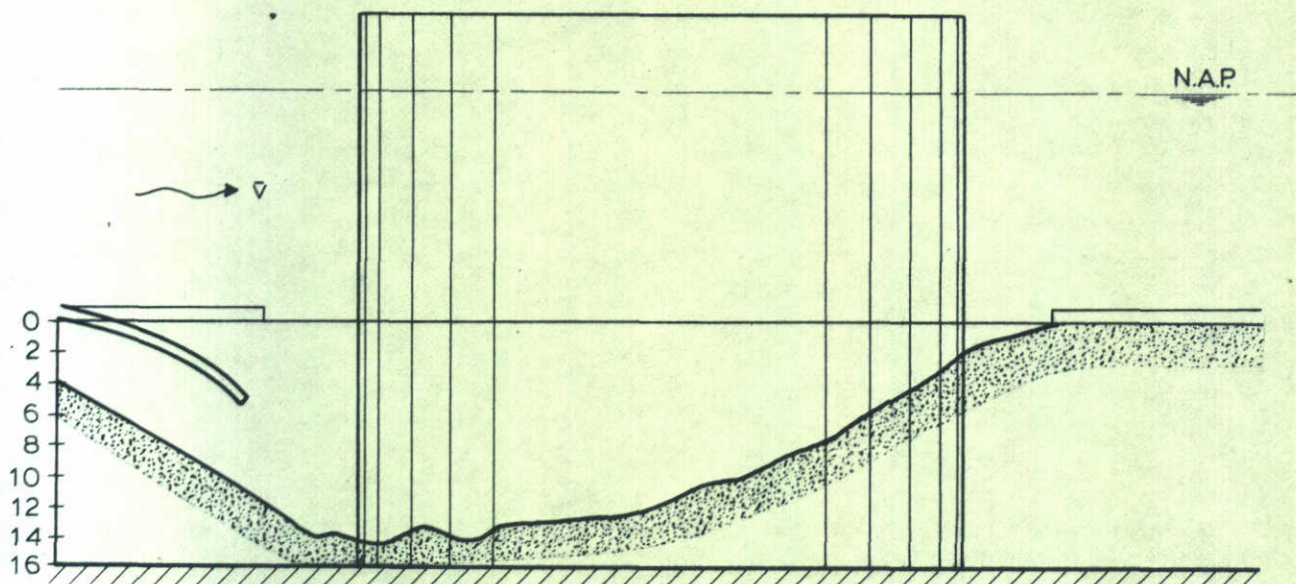
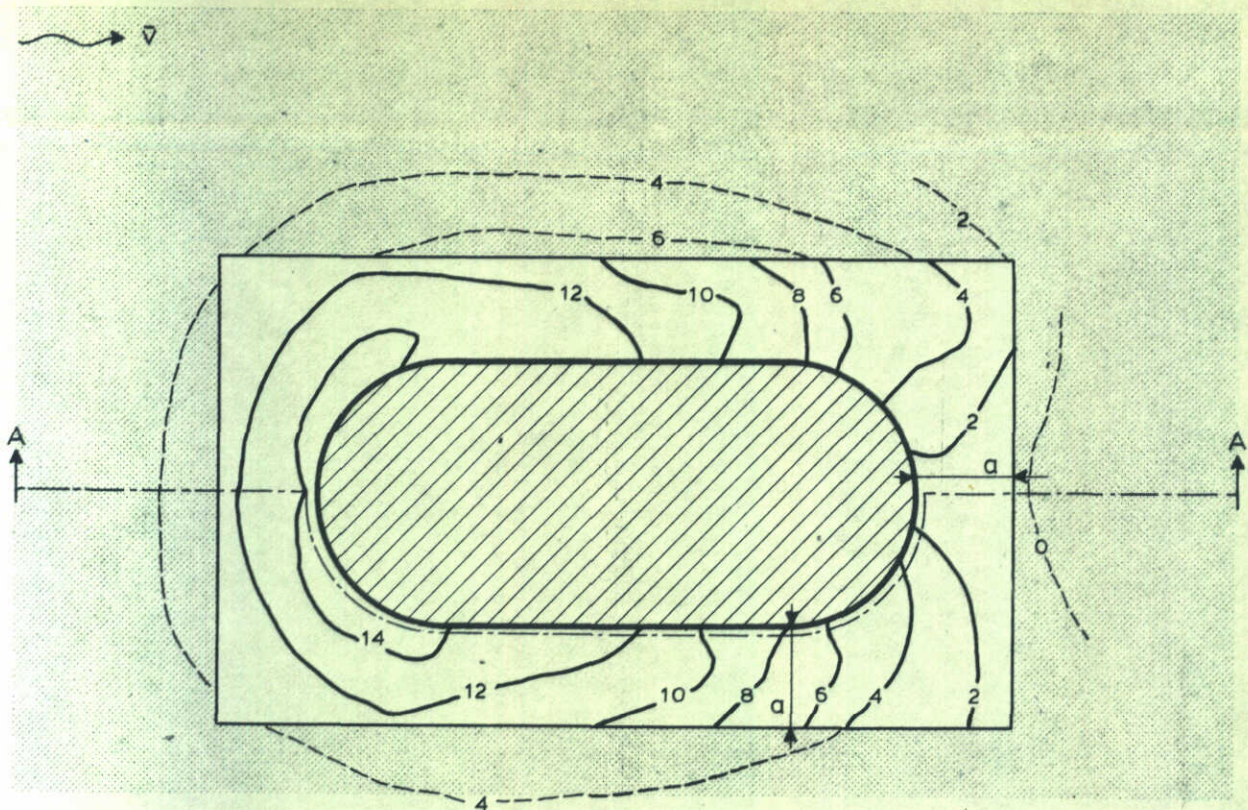
T1

SCHAAL 1:500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 7



DOORSNEDE A-A

$a = 6 \text{ m (prototype)}$

$\bar{v} = 0,6 \text{ m/s (model)}$

- ontgrondingen binnen de spleet
- ligging bodembescherming
- oorspronkelijke situatie

diepte in m prototype

T1 ONTGRONDING $t = 0,75 \text{ uur (MODEL)}$

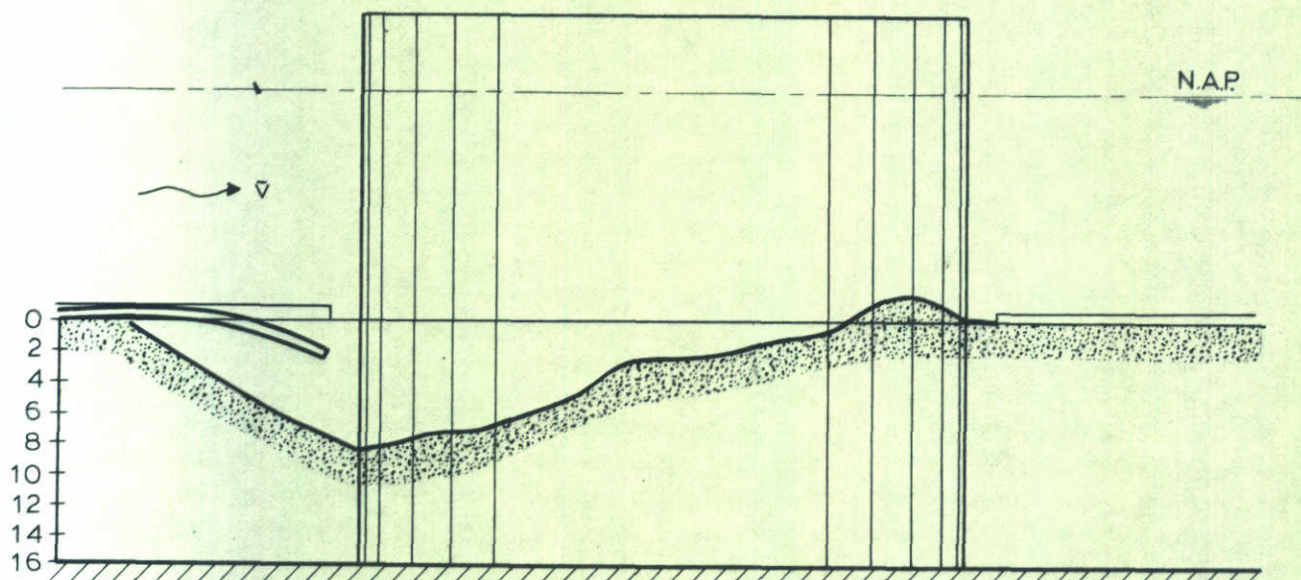
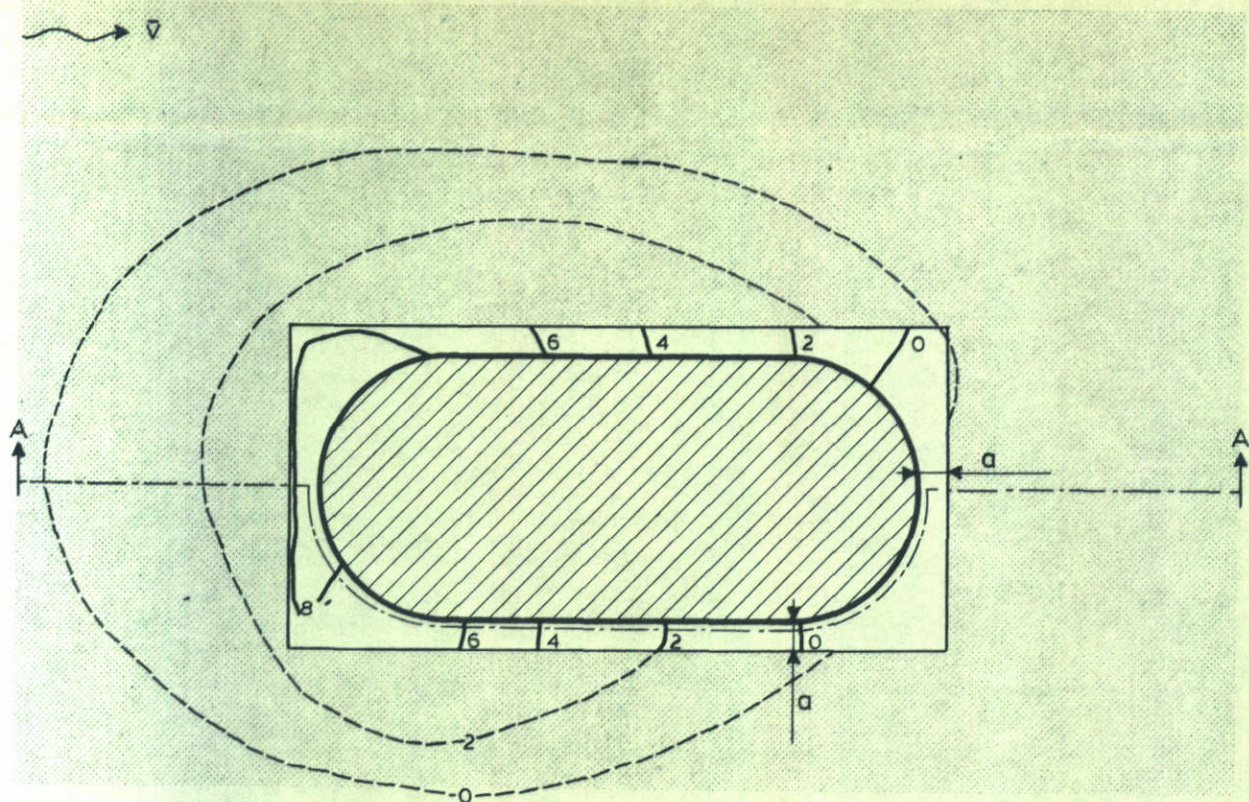
T1

SCHAAL 1:500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 8



DOORSNEDE A-A

$a = 1,5 \text{ m}$ (prototype)

$\bar{v} = 0,6 \text{ m/s}$ (model)

- ontgrondingen binnen de spleet
- ligging bodembescherming
- oorspronkelijke situatie

diepte in m prototype

T2 ONTGRONDING $t = 0,25 \text{ uur}$ (MODEL)

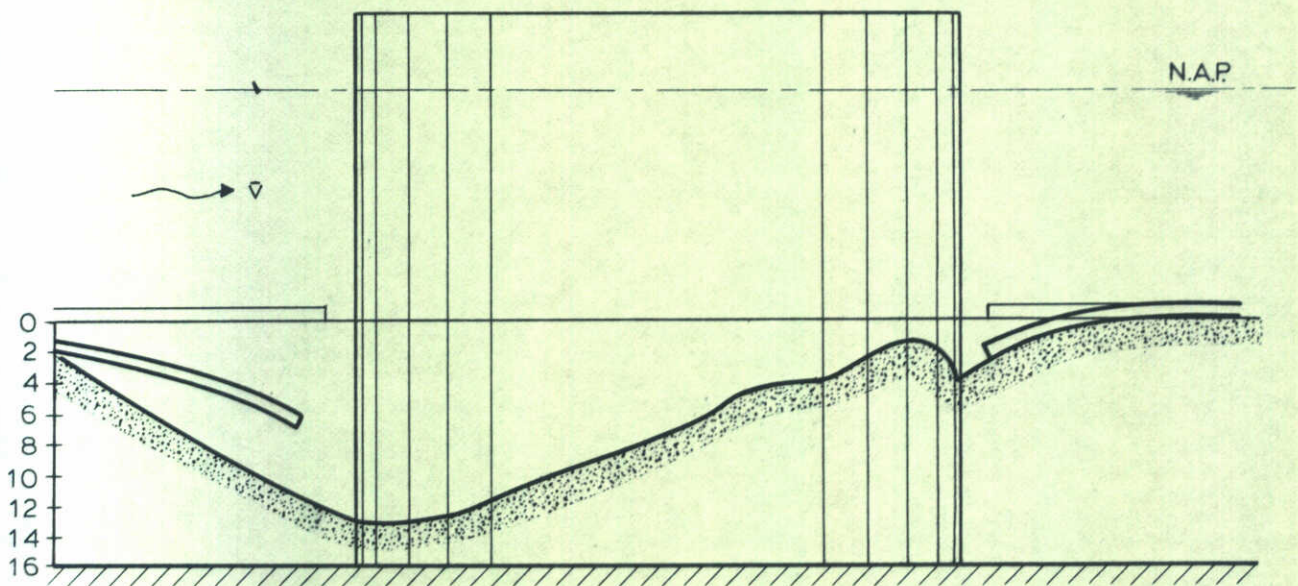
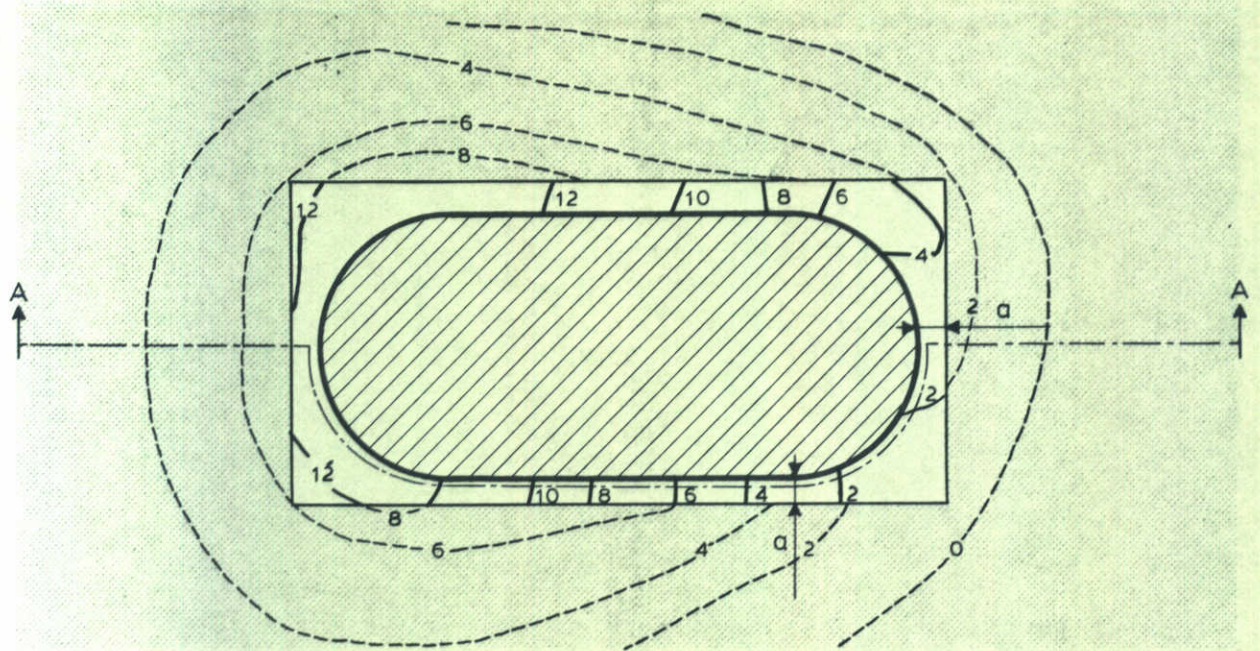
T2

SCHAAL 1:500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 9



DOORSNEDE A-A

$a = 1,5 \text{ m}$ (prototype)

$\bar{v} = 0,6 \text{ m/s}$ (model)

- ontgrondingen binnen de spleet
- - - - - ligging bodembescherming
- oorspronkelijke situatie

diepte in m prototype

T2 ONTGRONDING $t = 0,75$ uur (MODEL)

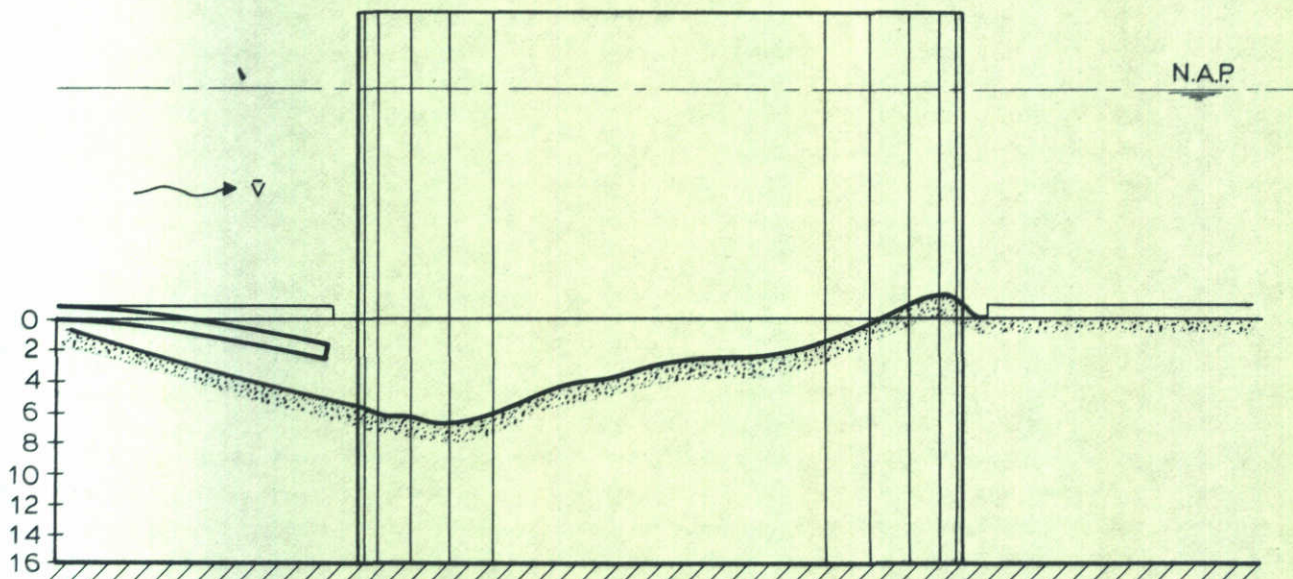
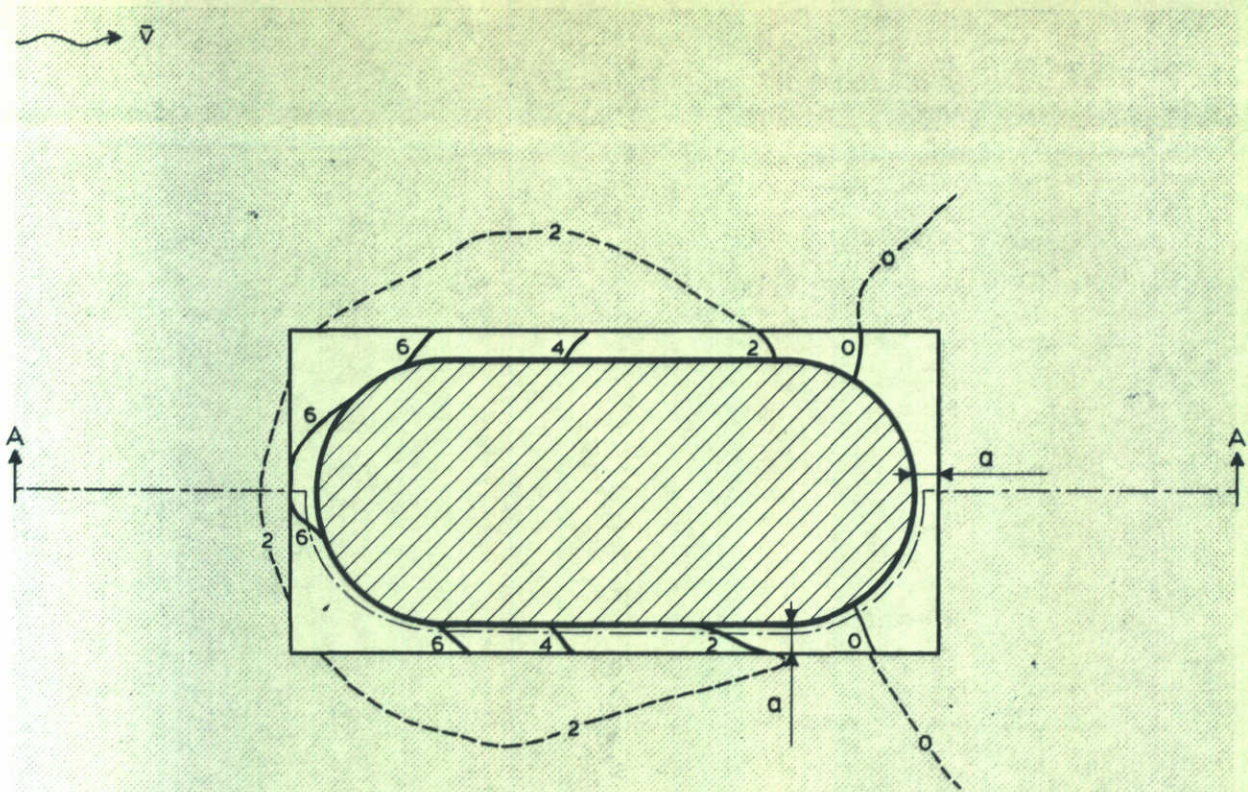
T2

SCHAAL 1:500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 10



DOORSNEDE A-A

$a = 1,5 \text{ m}$ (prototype)

$\bar{v} = 0,45 \text{ m/s}$ (model)

- ontgrondingen binnen de spleet
- ligging bodembescherming
- oorspronkelijke situatie

diepte in m prototype

T19 ONTGRONDING $t = 0,5 \text{ uur}$ (MODEL)

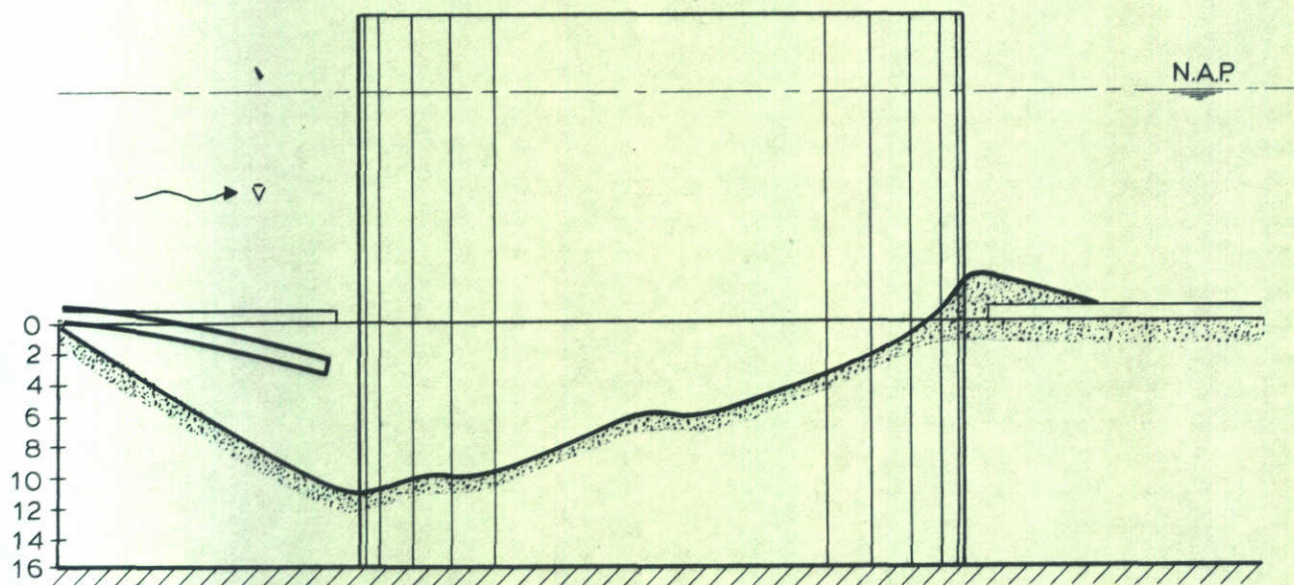
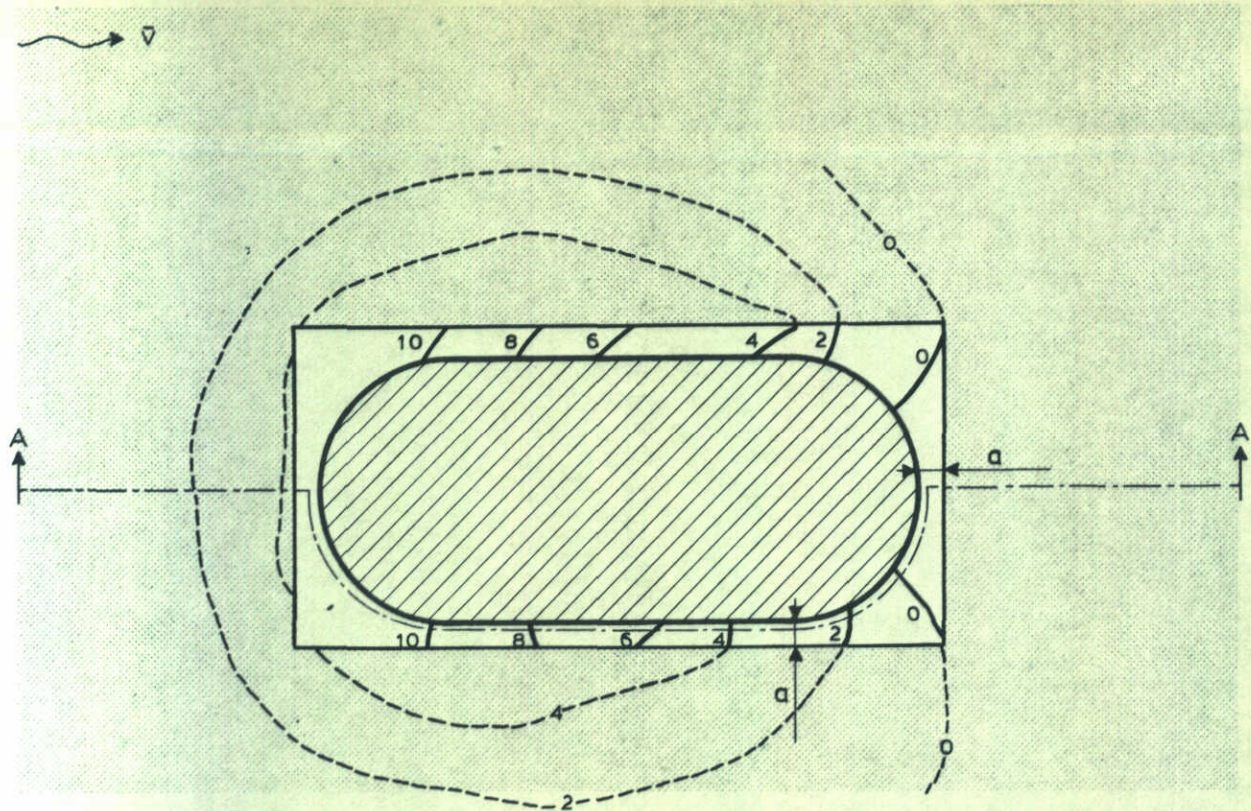
T 19

SCHAAL 1:500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 11



DOORSNEDE A-A

$a = 1,5 \text{ m}$ (prototype)

$\bar{v} = 0,45 \text{ m/s}$ (model)

- ontgravingen binnen de spleet
- ligging bodembescherming
- oorspronkelijke situatie

diepte in m prototype

T19 ONTGRONDING $t = 1,5 \text{ uur}$ (MODEL)

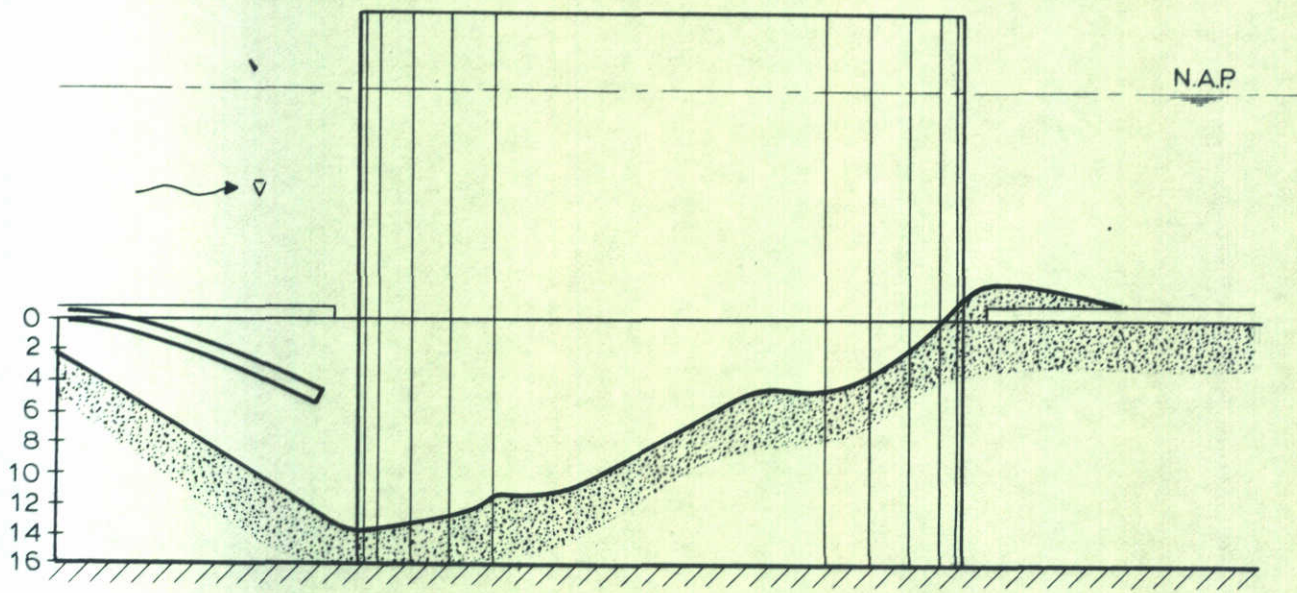
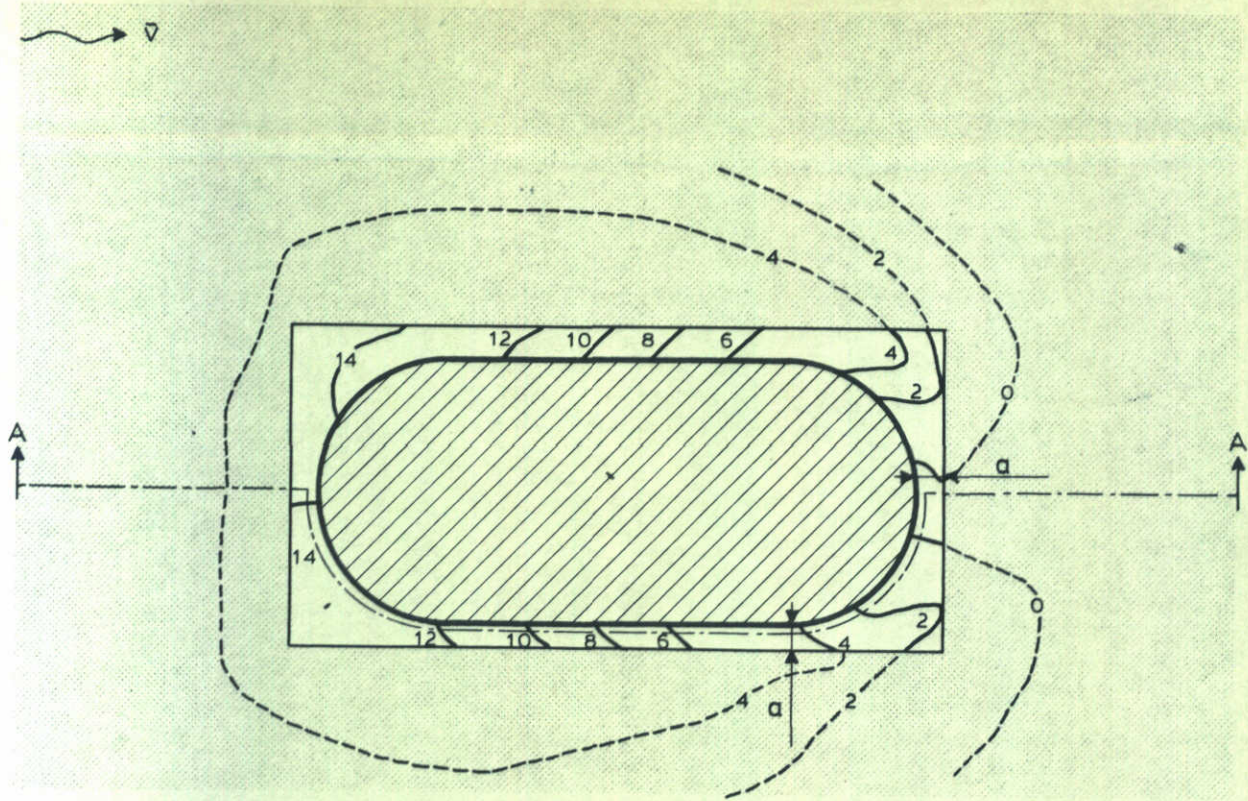
T19

SCHAAL 1:500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 12



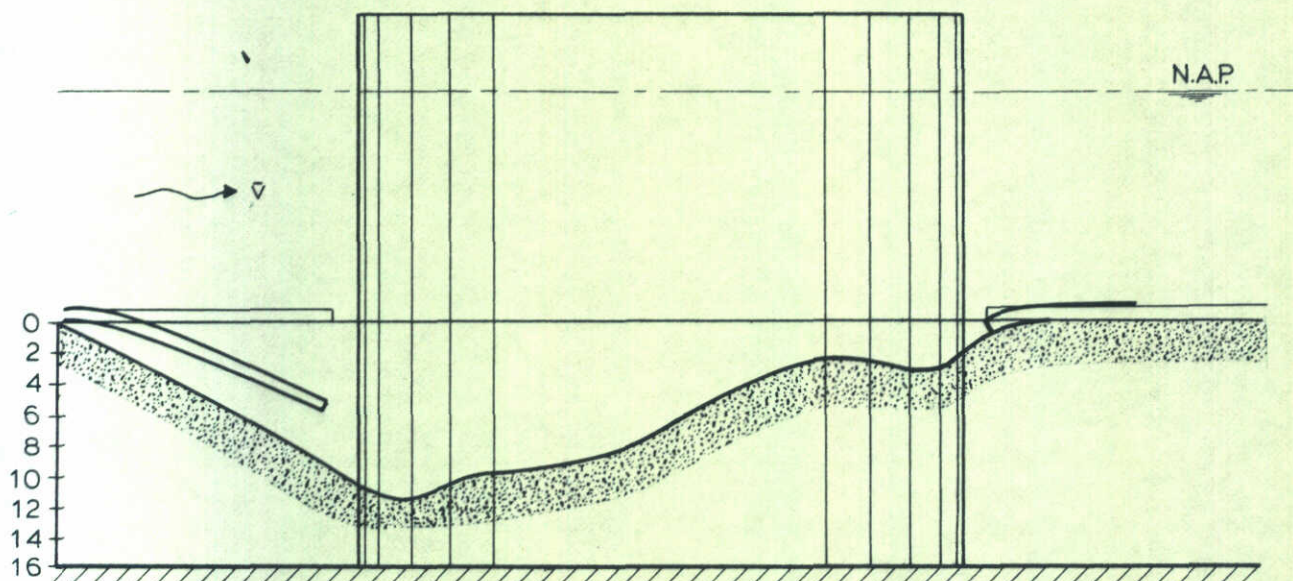
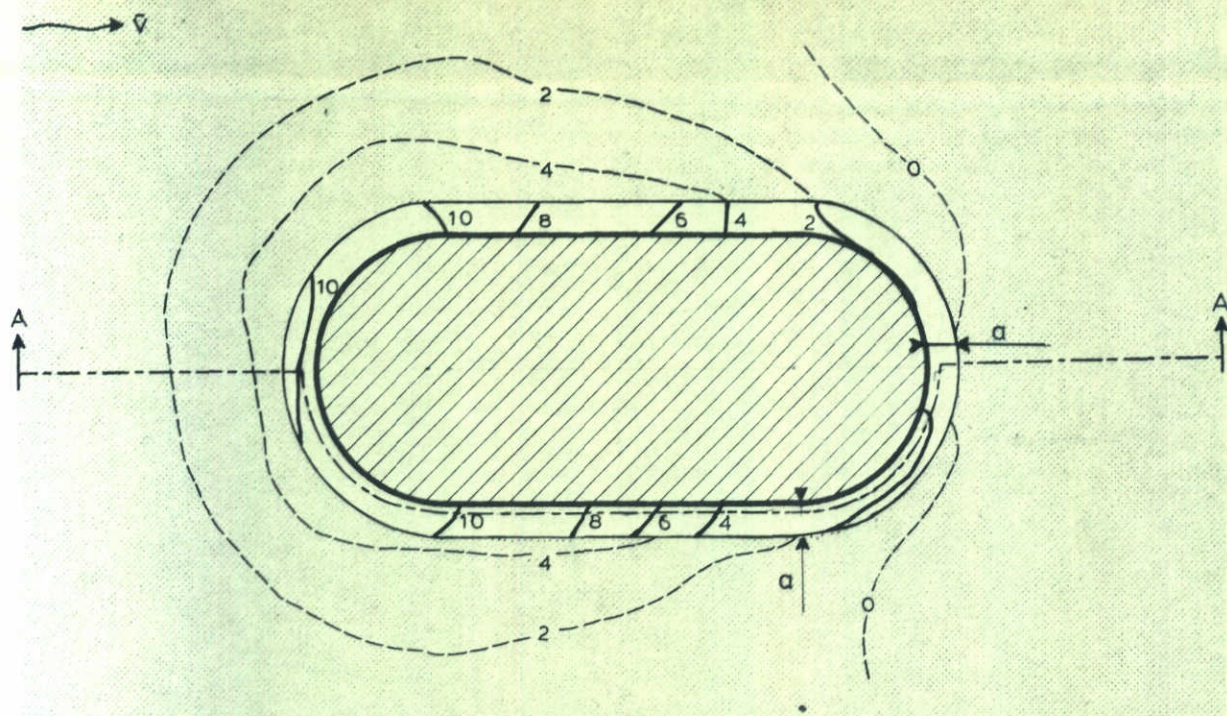
DOORSNEDE A-A

$a = 1,5 \text{ m}$ (prototype)
 $\bar{v} = 0,45 \text{ m/s}$ (model)

— ontgrondingen binnen de spleet
 ---- ligging bodembescherming
 — oorspronkelijke situatie

diepte in m prototype

T19 ONTGRONDING $t = 3,75 \text{ uur}$ (MODEL)	T19	
	SCHAAL 1:500	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 1402	FIG.13



DOORSNEDE A-A

$a = 1,5 \text{ m}$ (prototype)

$\bar{v} = 0,6 \text{ m/s}$ (model)

- ontgrondingen binnen de spleet
- ligging bodembescherming
- oorspronkelijke situatie

diepte in m prototype

T7 ONTGRONDING $t = 0,25 \text{ uur}$ (MODEL)

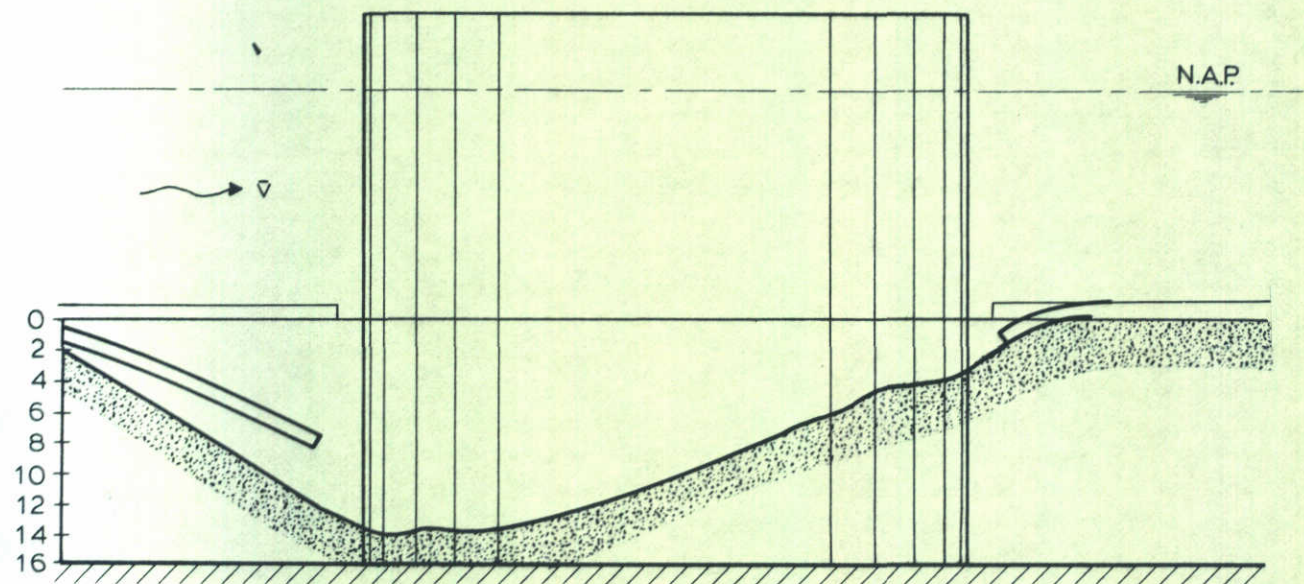
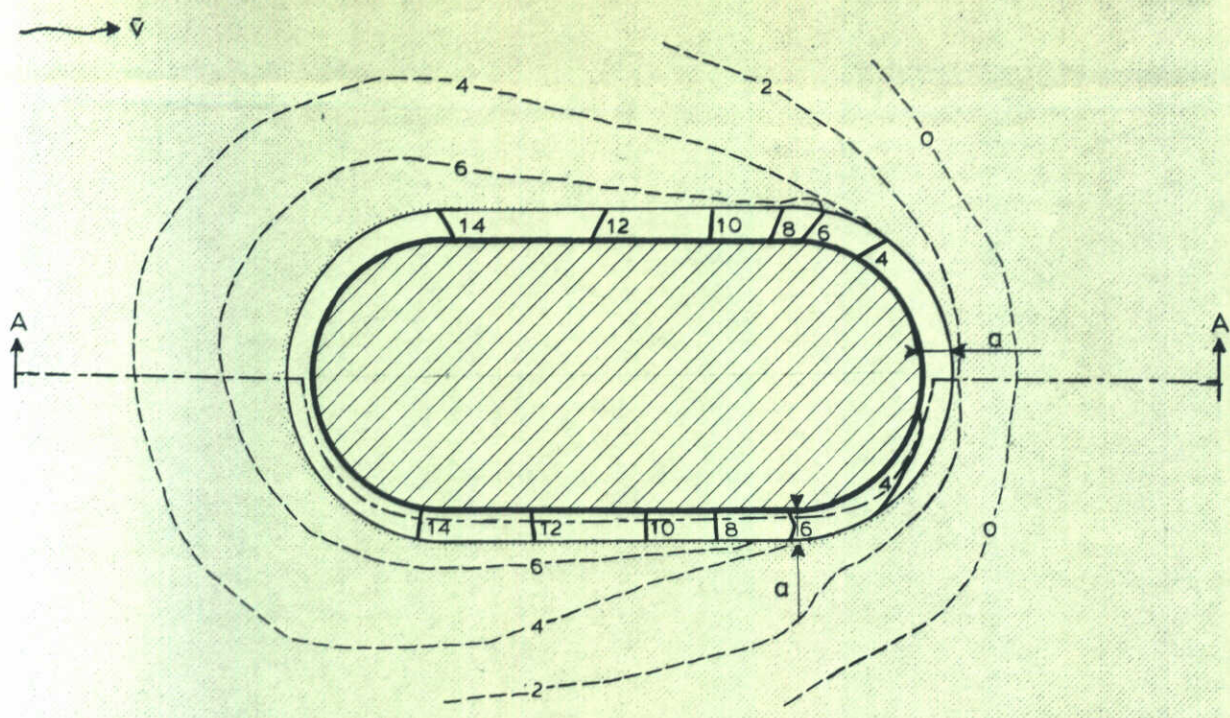
T7

SCHAAL 1:500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 14



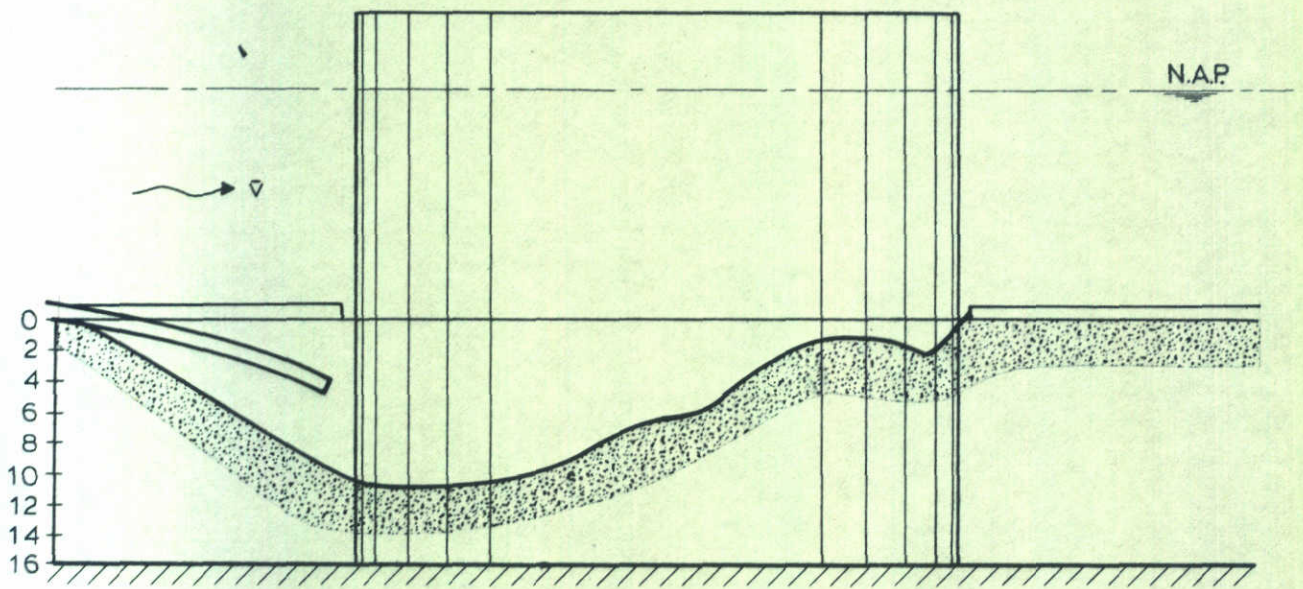
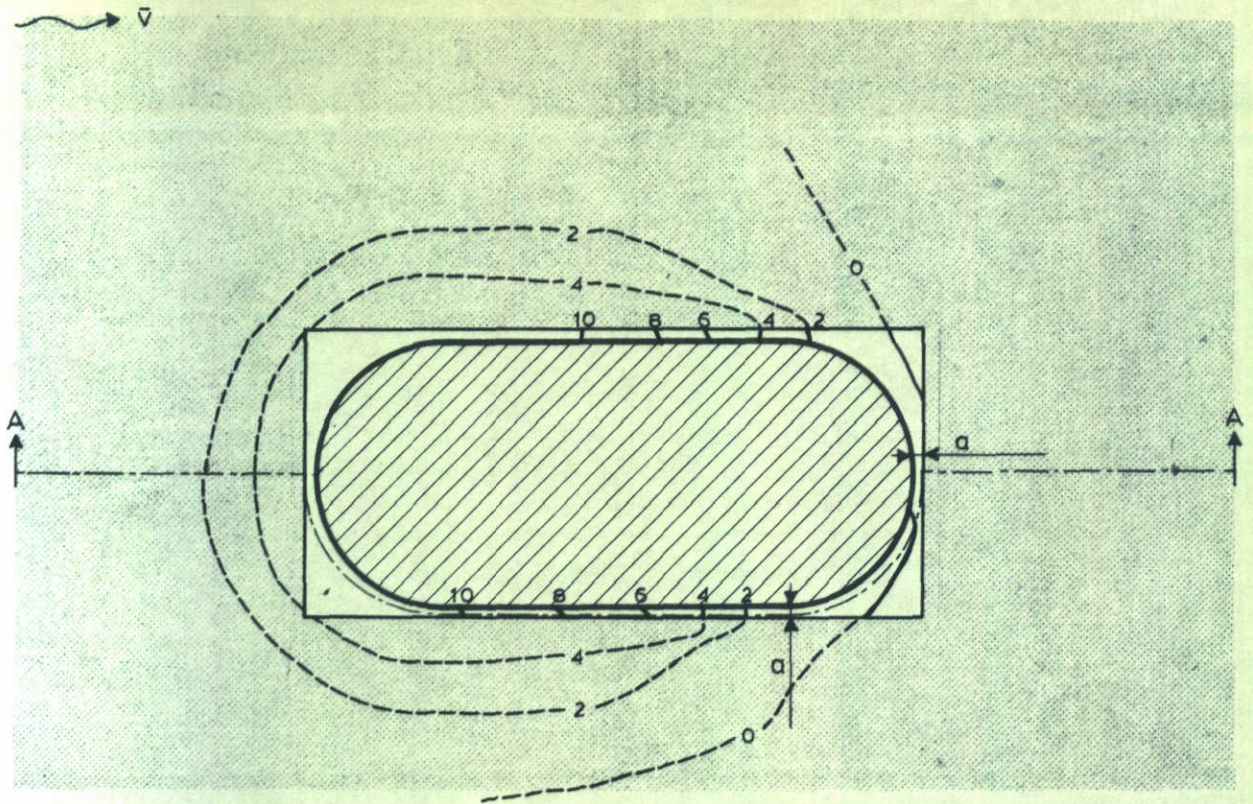
DOORSNEDE A-A

$a = 1,5 \text{ m}$ (prototype)
 $\bar{v} = 0,6 \text{ m/s}$ (model)

— ontgrondingen binnen de spleet
 - - - ligging bodembescherming
 — oorspronkelijke situatie

diepte in m prototype

T7 ONTGRONDING $t = 0,75$ uur (MODEL)	T7	
	SCHAAL 1:500	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 1402	FIG.15



DOORSNEDE A-A

$a = 0,5\text{m}$ (prototype)

$\bar{v} = 0,6\text{m/s}$ (model)

- ontgrondingen binnen de spleet
- - - ligging bodembescherming
- oorspronkelijke situatie

diepte in m prototype

T14 ONTGRONDING $t = 0,25$ uur (MODEL)

T14

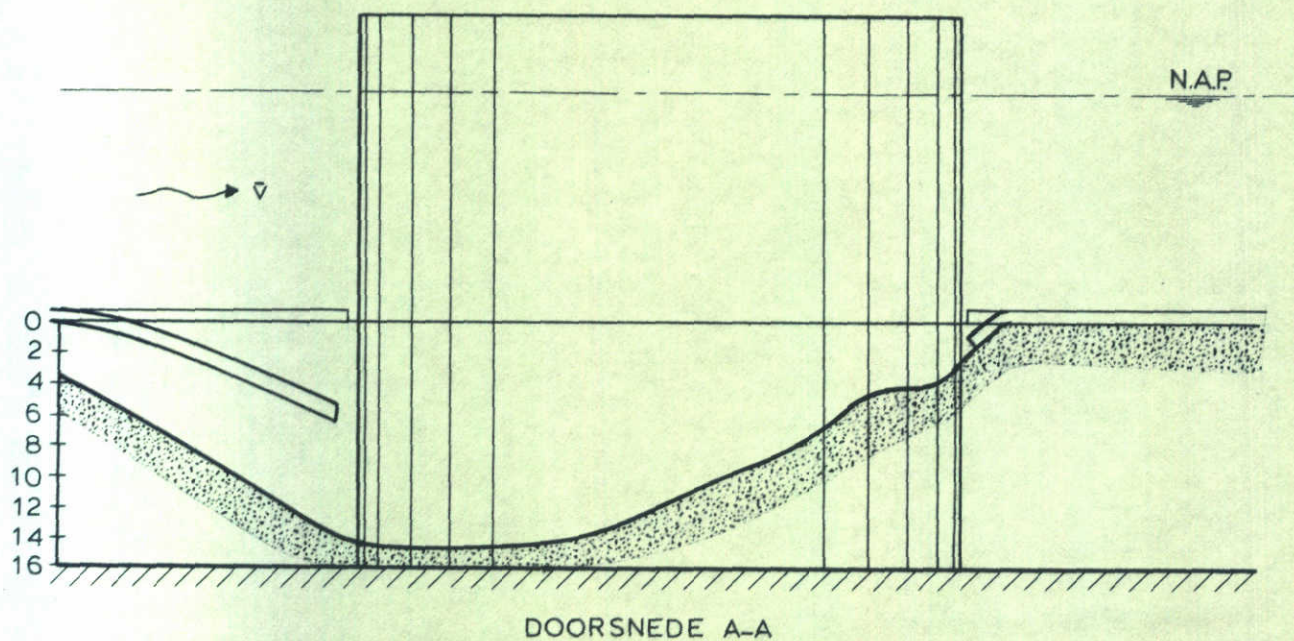
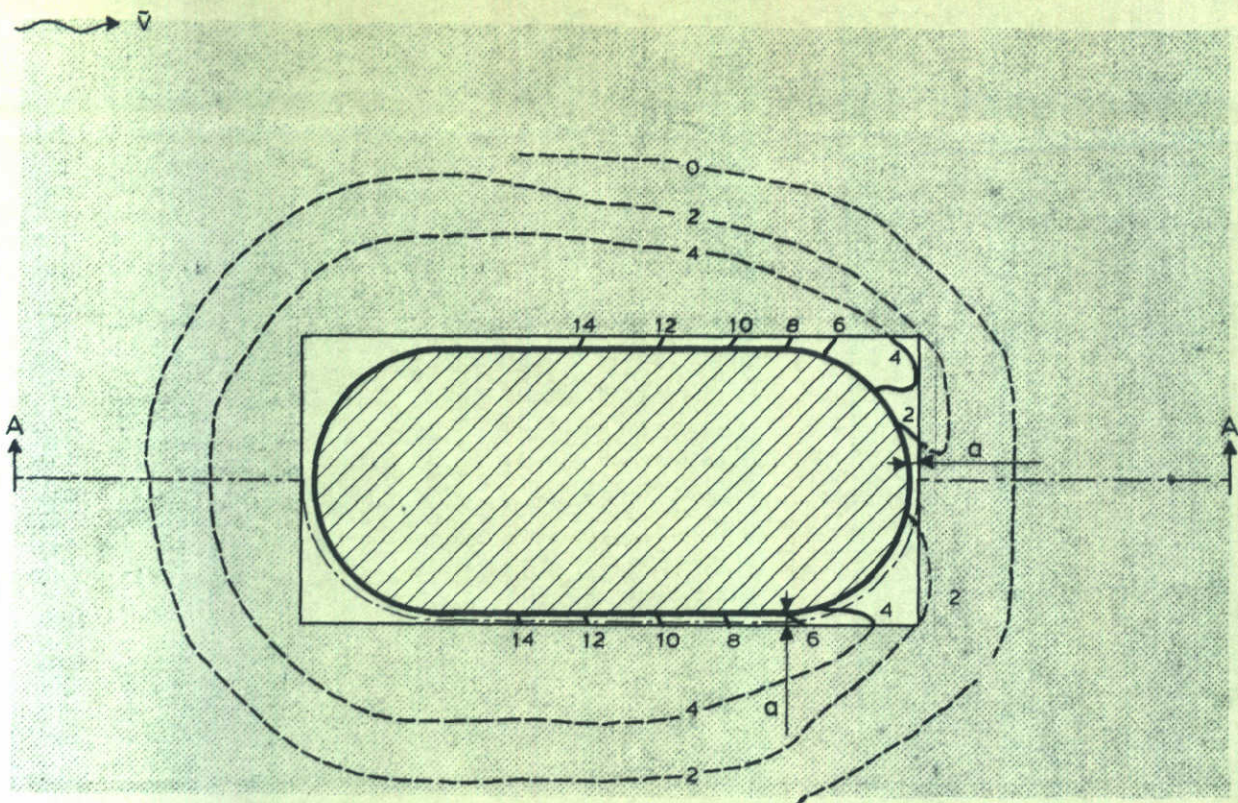
SCHAAL 1:500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG.16

79-14



$a = 0.5\text{m}$ (prototype)

$\bar{v} = 0.6\text{m/s}$ (model)

- ontgravingen binnen de spleet
- - - ligging bodembescherming
- oorspronkelijke situatie

diepte in m prototype

T14 ONTGRONDING $t = 0,75$ uur (MODEL)

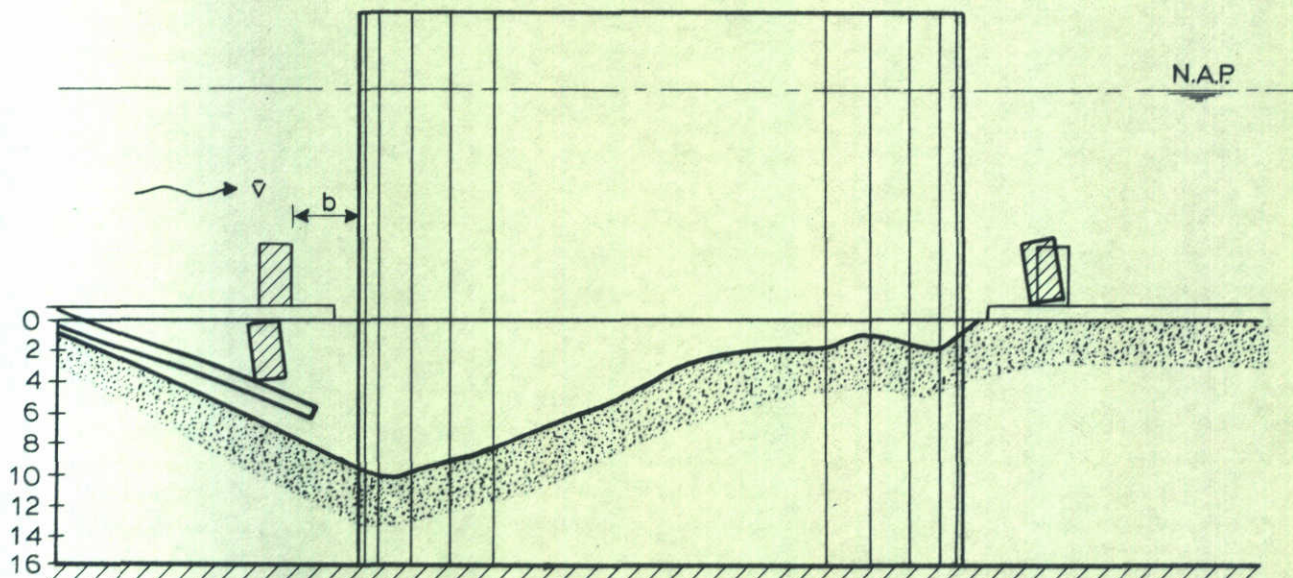
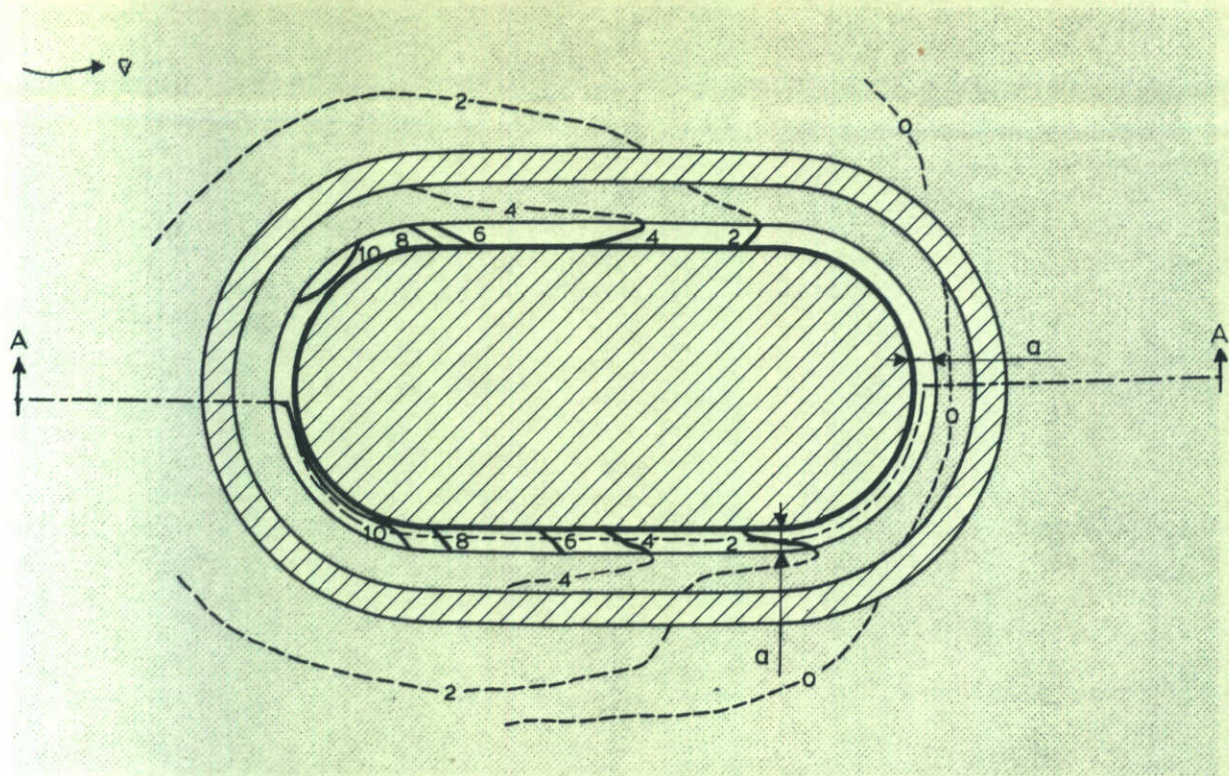
T14

SCHAAL 1:500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 17



DOORSNEDE A-A

$a = 1,5 \text{ m}$ (prototype)

$\bar{v} = 0,6 \text{ m/s}$ (model)

$b = 4 \text{ m}$ (prototype)

- ontgrondingen binnen de spleet
- - - ligging bodembescherming
- oorspronkelijke situatie

diepte in m prototype

T9 ONTGRONDING $t = 0,25 \text{ uur}$ (MODEL)
STROOMBREKER

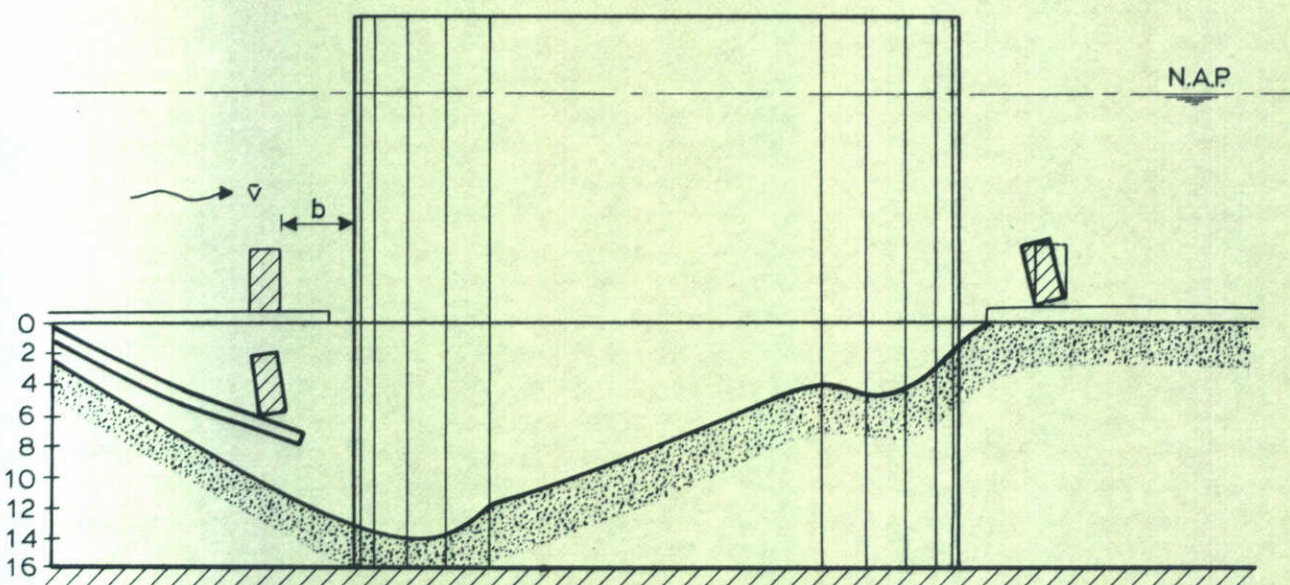
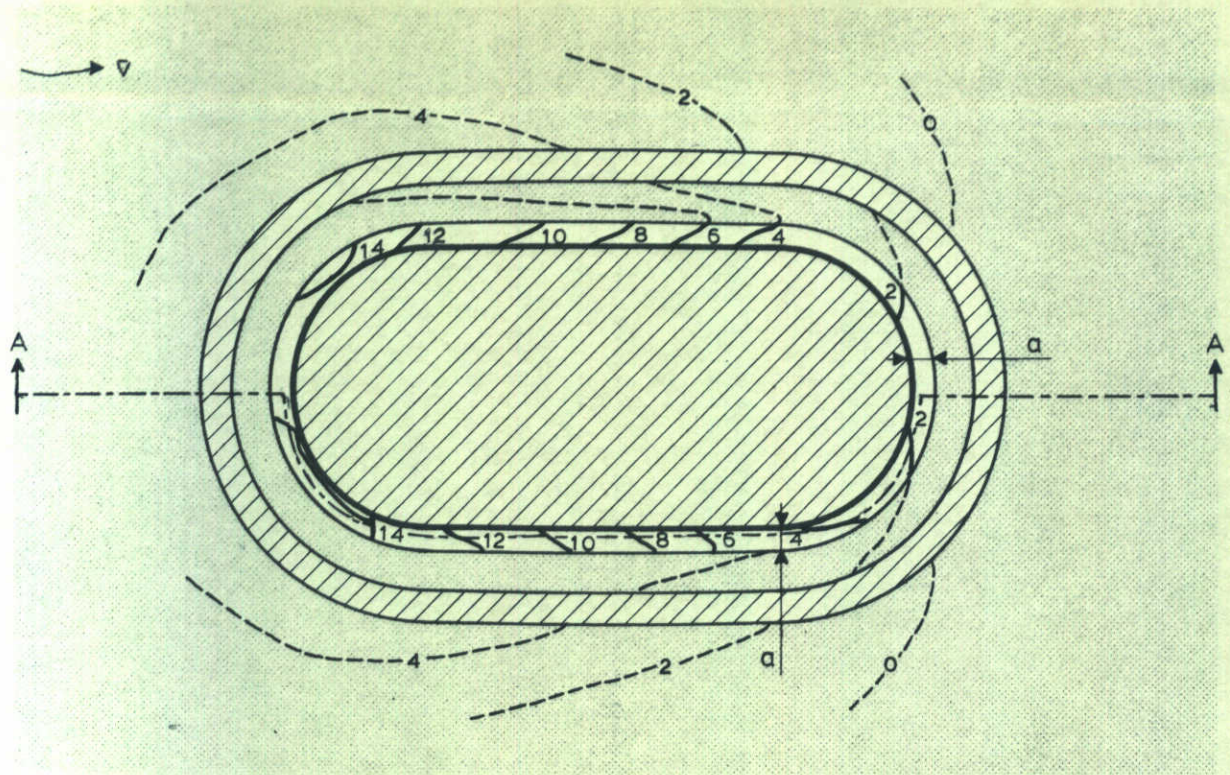
T9

SCHAAL 1:500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 18



DOORSNEDE A-A

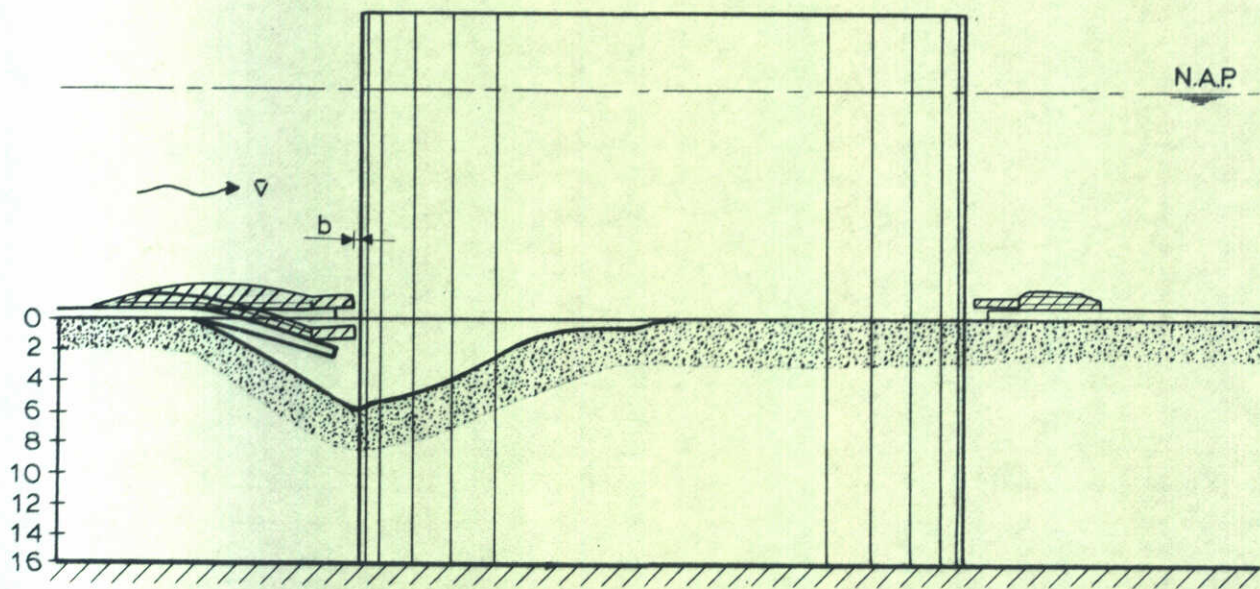
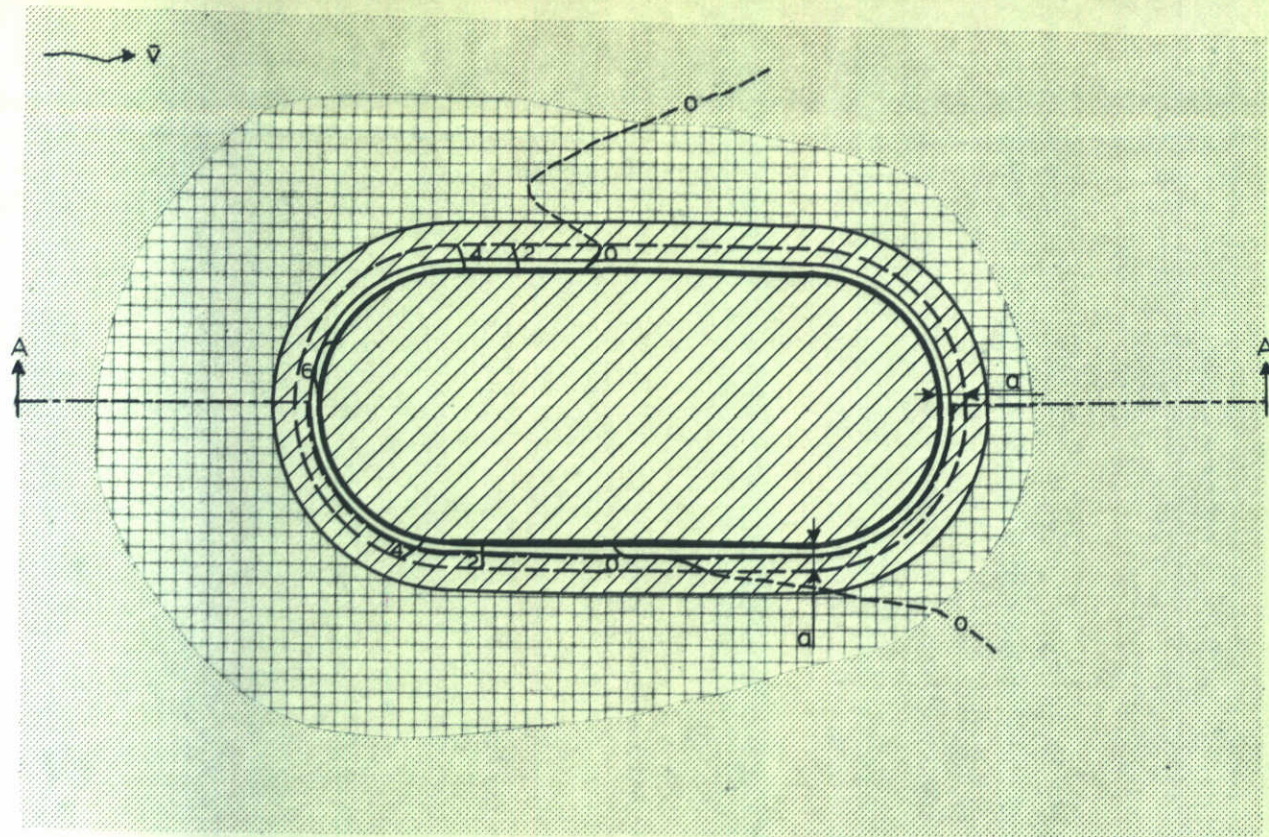
$a = 1,5 \text{ m}$ (prototype)

$\bar{v} = 0,6 \text{ m/s}$ (model)

$b = 4 \text{ m}$ (prototype)

- ontgrondingen binnen de spleet
- - - ligging bodembescherming
- oorspronkelijke situatie
- diepte in m prototype

T9 ONTGRONDING $t = 0,75$ uur (MODEL) STROOMBREKER	T9	
	SCHAAL 1:500	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 1402	FIG. 19



DOORSNEDE A-A

$a = 1,5 \text{ m}$ (prototype)

$\bar{v} = 0,6 \text{ m/s}$ (model)

$b = 0,3 \text{ m}$ (prototype)

ring op bodembescherming (zanddicht)

▨ bestorting

— ontgrondingen binnen de spleet

--- ligging bodembescherming

— oorspronkelijke situatie

diepte in m prototype

T13 ONTGRONDING $t = 0,25 \text{ uur}$ (MODEL)
RING OM PUT

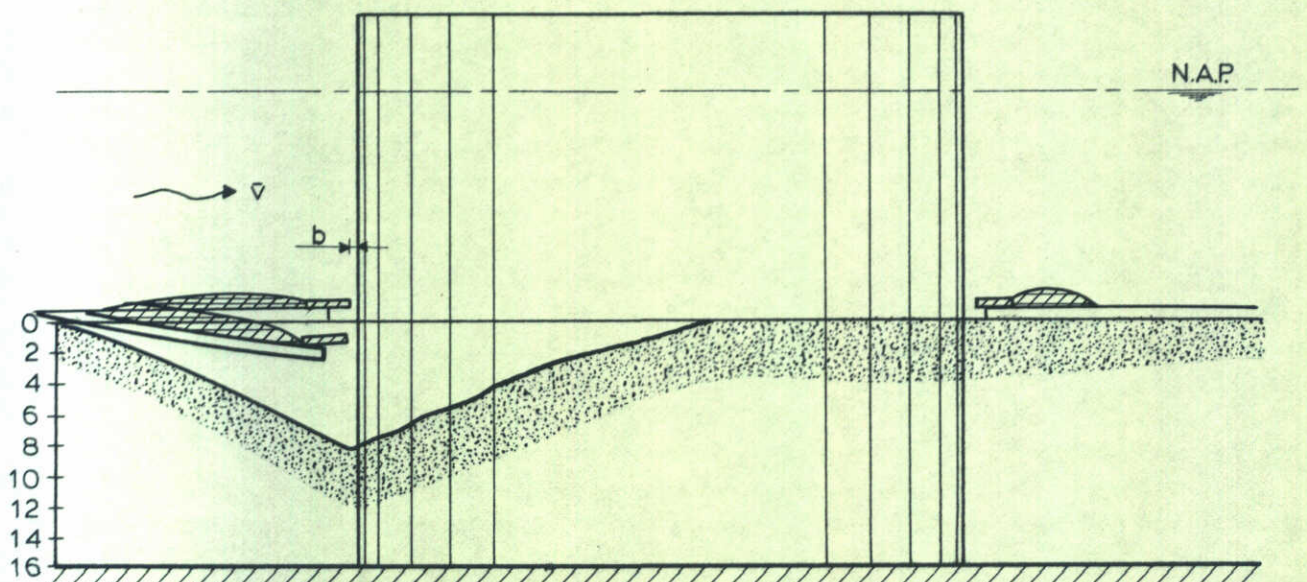
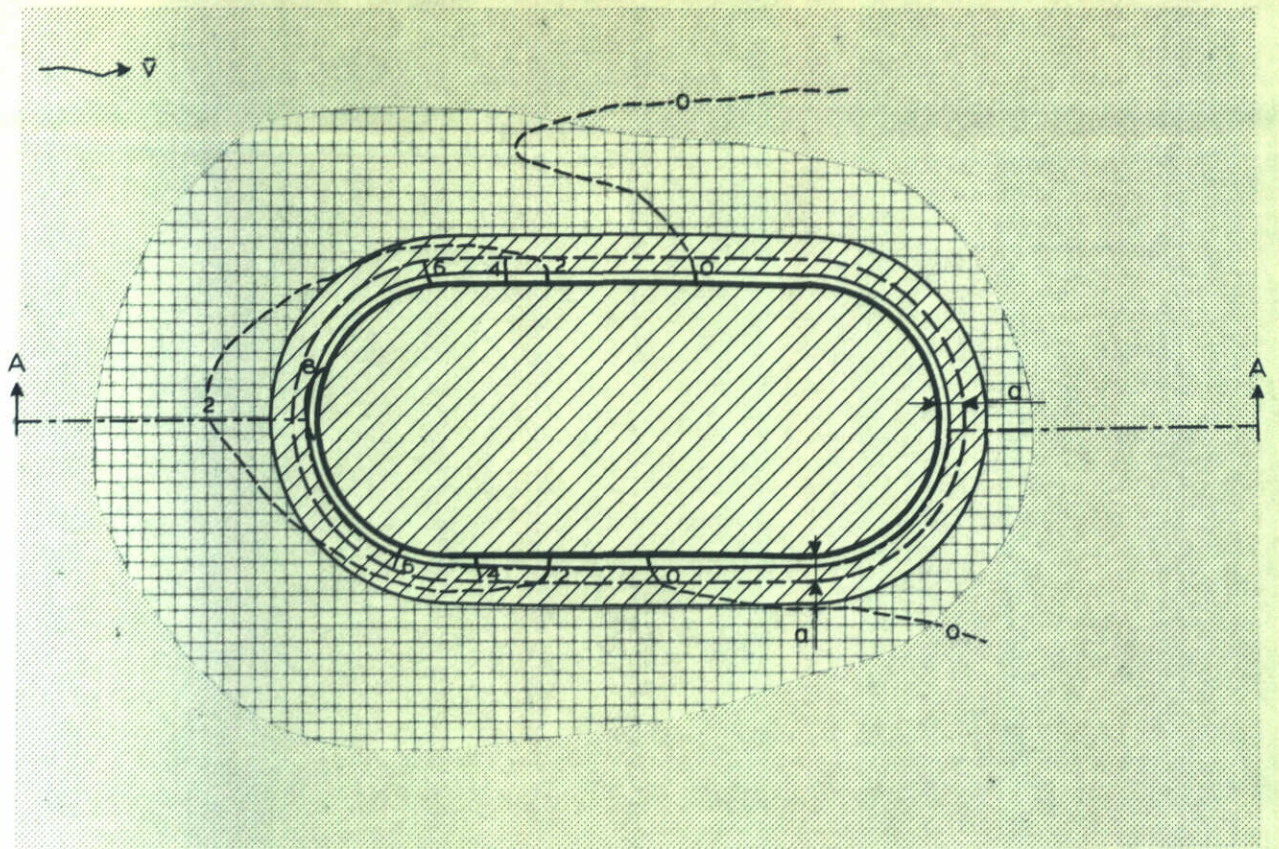
T13

SCHAAL 1:500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 20



DOORSNEDE A-A

$a = 1,5 \text{ m}$ (prototype)

$\bar{v} = 0,6 \text{ m/s}$ (model)

$b = 0,3 \text{ m}$ (prototype)

ring op bodembescherming (zanddicht)

▣ bestorting

— ontgrondingen binnen de spleet

--- ligging bodembescherming

— oorspronkelijke situatie

diepte in m prototype

T13 ONTGRONDING $t = 0,75$ uur (MODEL)
RING OM PUT

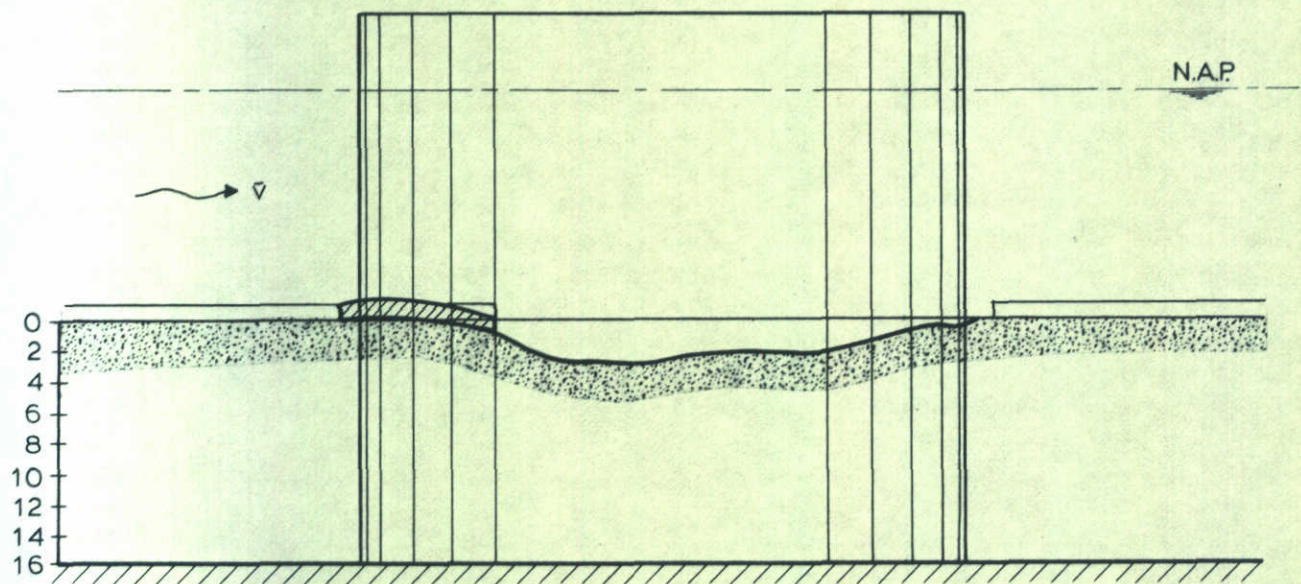
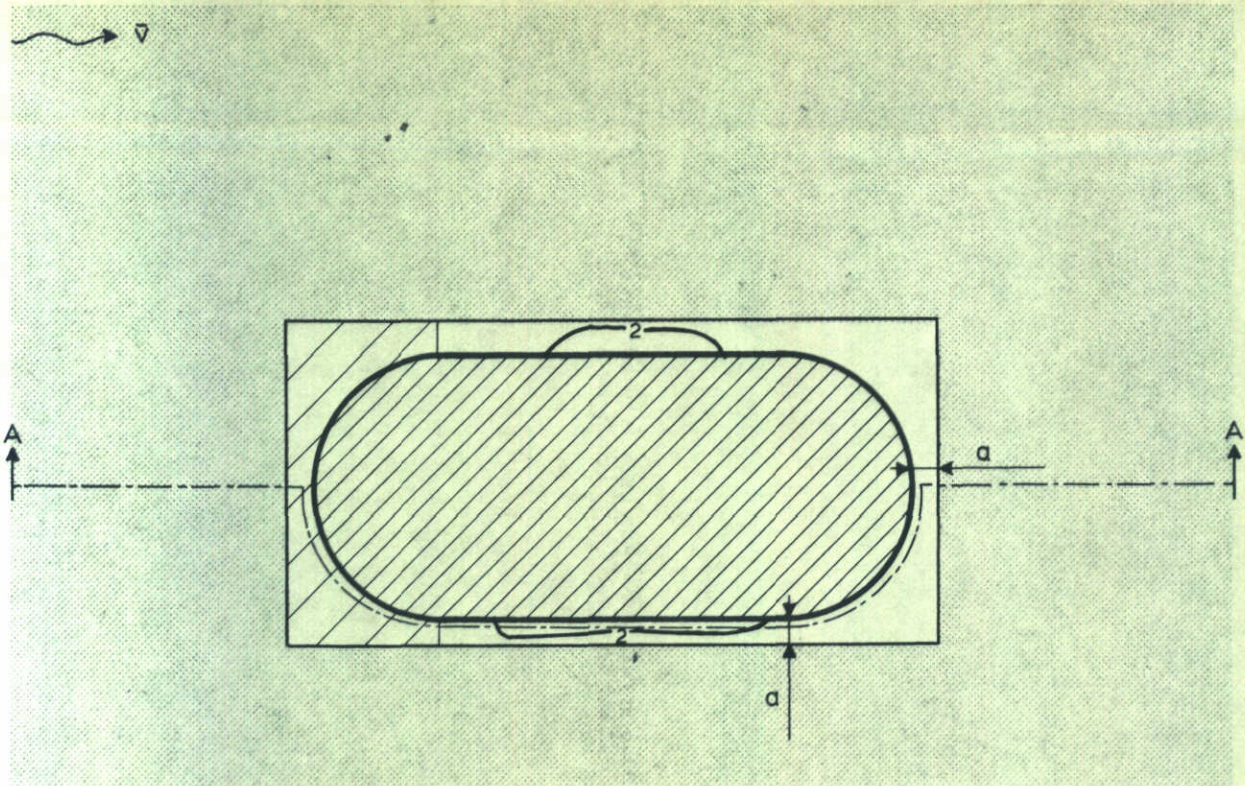
T13

SCHAAL 1:500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 21



DOORSNEDE A-A

$a = 1,5\text{m}$ (prototype)

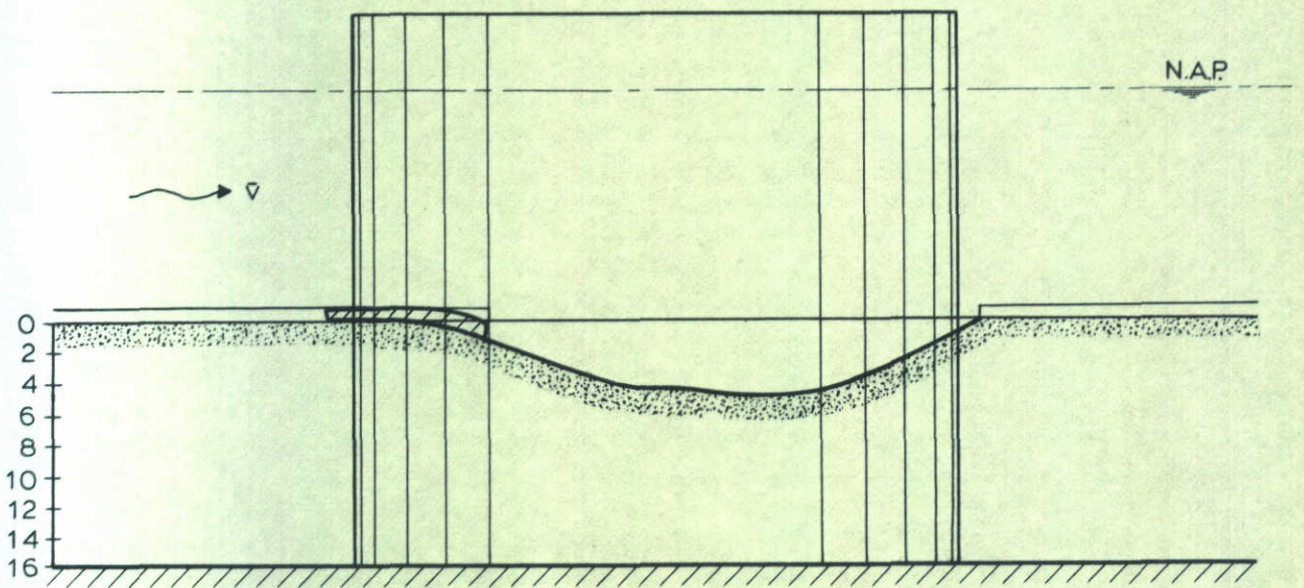
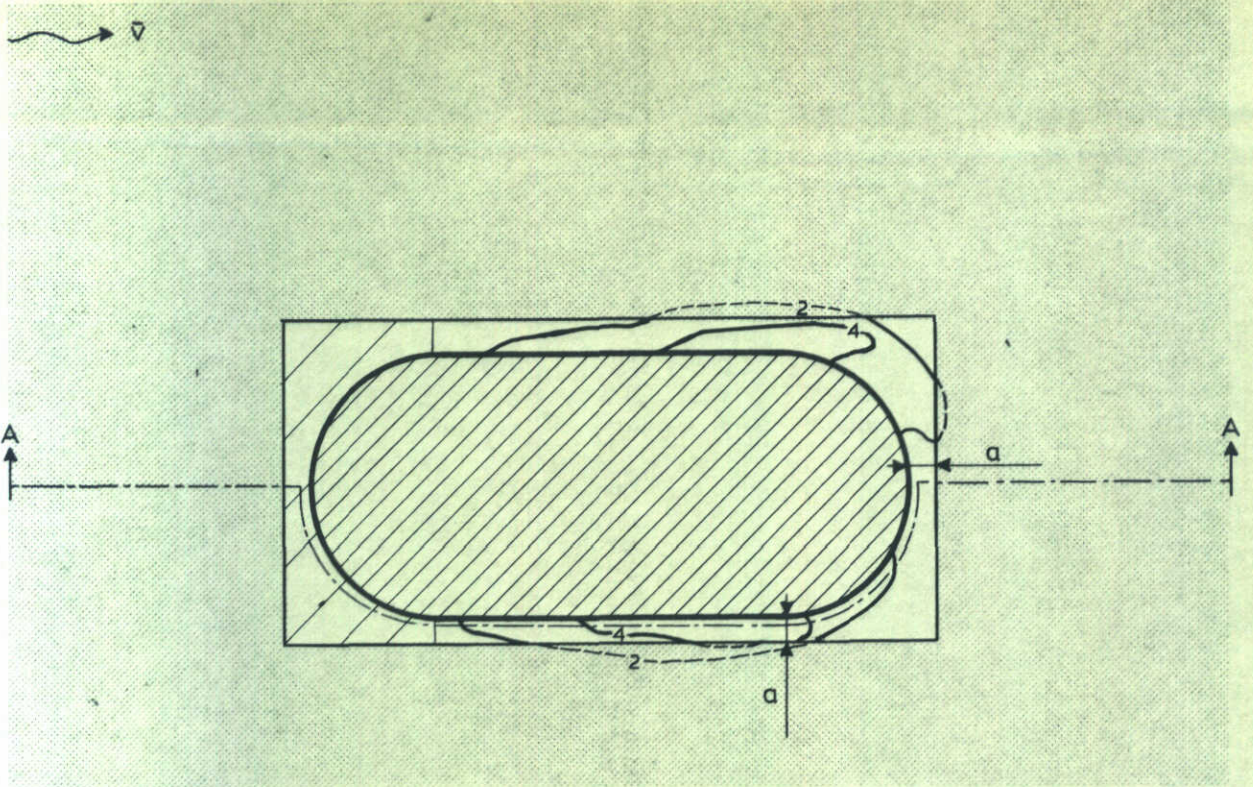
$\bar{v} = 0,6\text{m/s}$ (model)

/// loodslakken in spleet rond
bovenstroomse kop

- ontgravingen binnen de spleet
- ligging bodembescherming
- oorspronkelijke situatie

diepte in m prototype

T4 ONTGRONDING $t = 0,25$ uur (MODEL) BESTORTING ROND ÉÉN KOP	T4	
	SCHAAL 1:500	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 1402	FIG. 22



DOORSNEDE A-A

$a = 1,5\text{m}$ (prototype)

$\bar{v} = 0,6\text{m/s}$ (model)

/// loodslakken in spleet rond
bovenstroomse kop

— ontgrondingen binnen de spleet

--- ligging bodembescherming

— oorspronkelijke situatie

diepte in m prototype

T4 ONTGRONDING $t = 0,75$ uur (MODEL)
BESTORTING ROND ÉÉN KOP

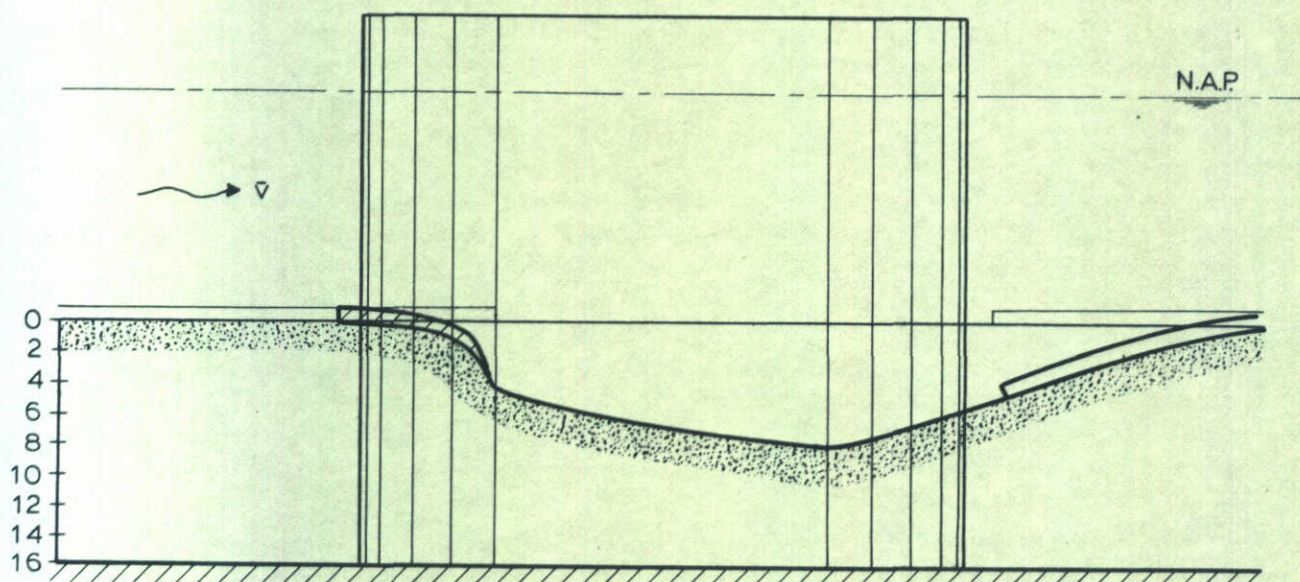
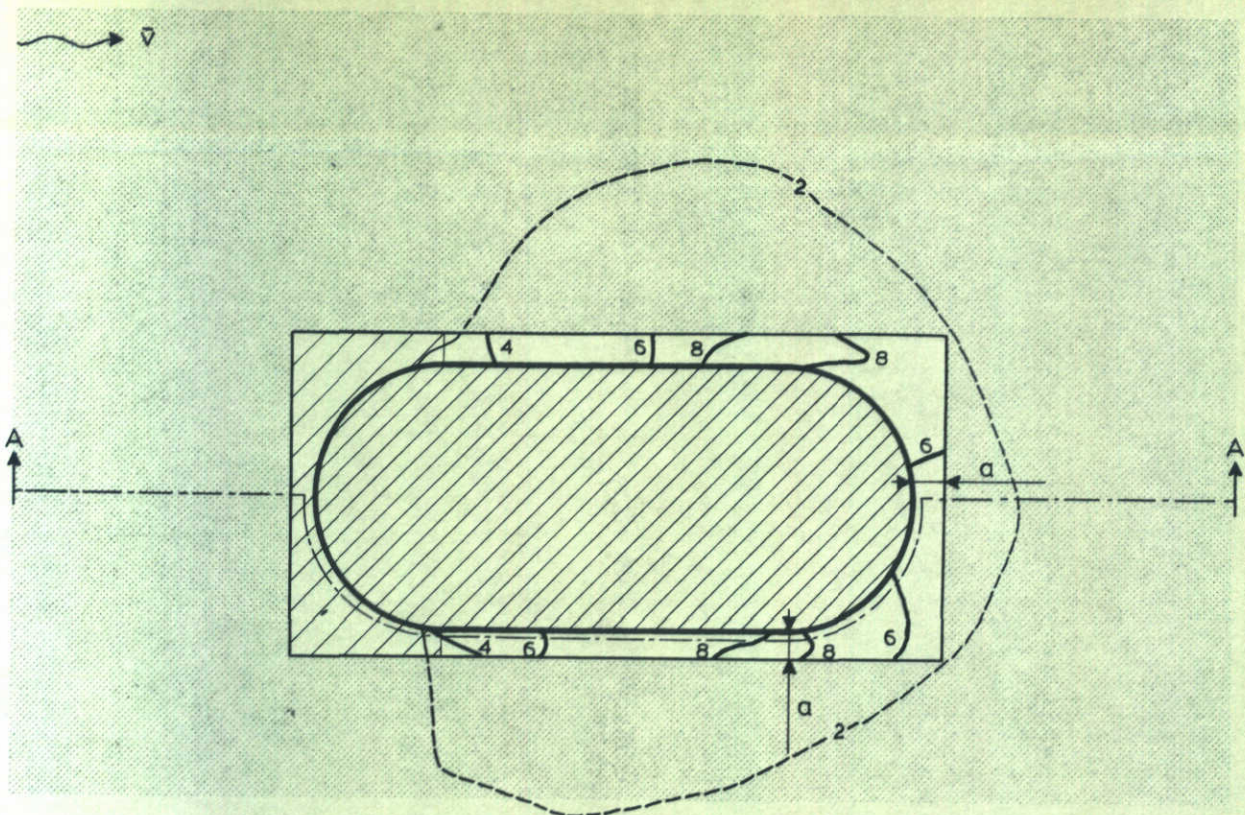
T4

SCHAAL 1:500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 23



DOORSNEDE A-A

$a = 1,5\text{m}$ (prototype)

$\bar{v} = 0,6\text{m/s}$ (model)

loodslakken in spleet rond
bovenstroomse kop

— ontgrondingen binnen de spleet

--- ligging bodembescherming

— oorspronkelijke situatie

diepte in m prototype

ONTGRONDING $t = 6,75$ uur (model)

BESTORTING ROND ÉÉN KOP

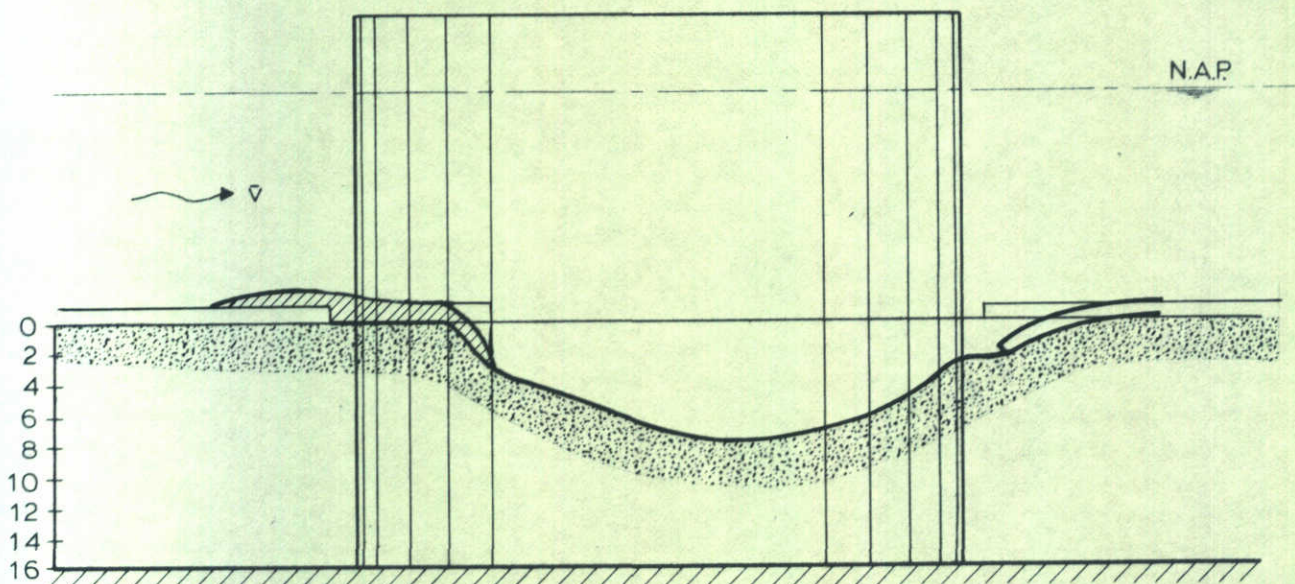
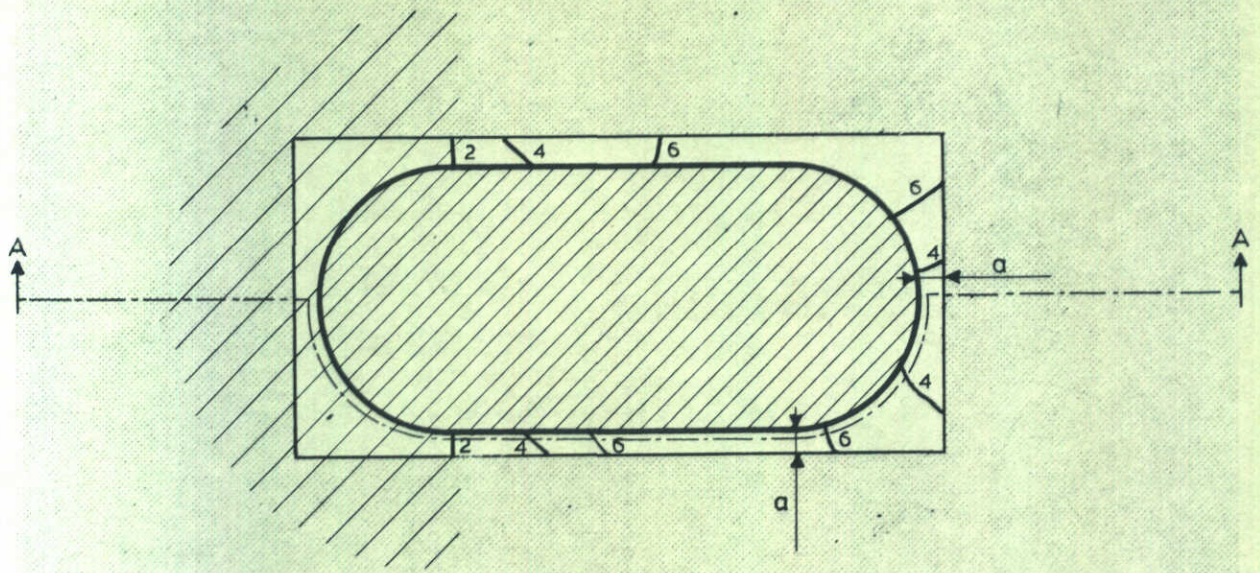
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

T4

SCHAAL 1:500

M 1402

FIG. 24



DOORSNEDE A-A

$a = 1,5 \text{ m}$ (prototype)

$\bar{v} = 0,52 \text{ m/s}$ (model)

loodslakken rond boven-
stroomse kop

- ontgrondingen binnen de spleet
- ligging bodembescherming
- oorspronkelijke situatie

diepte in m prototype

T18 ONTGRONDING $t = 17,75 \text{ uur}$ (MODEL)
BESTORTING ROND ÉÉN KOP

T18

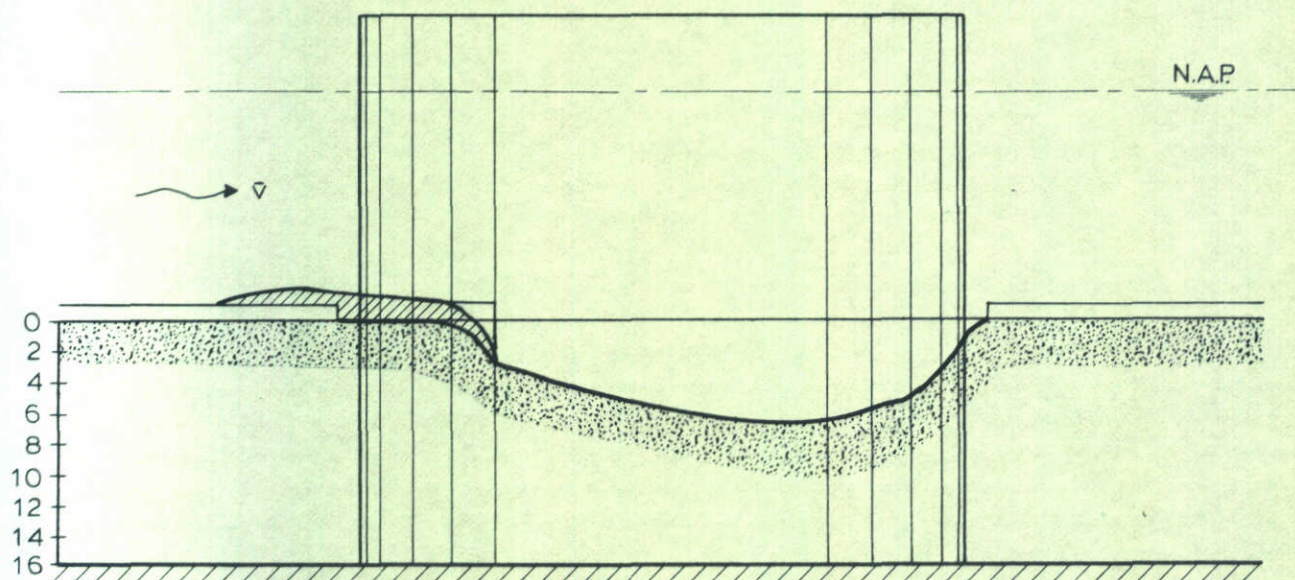
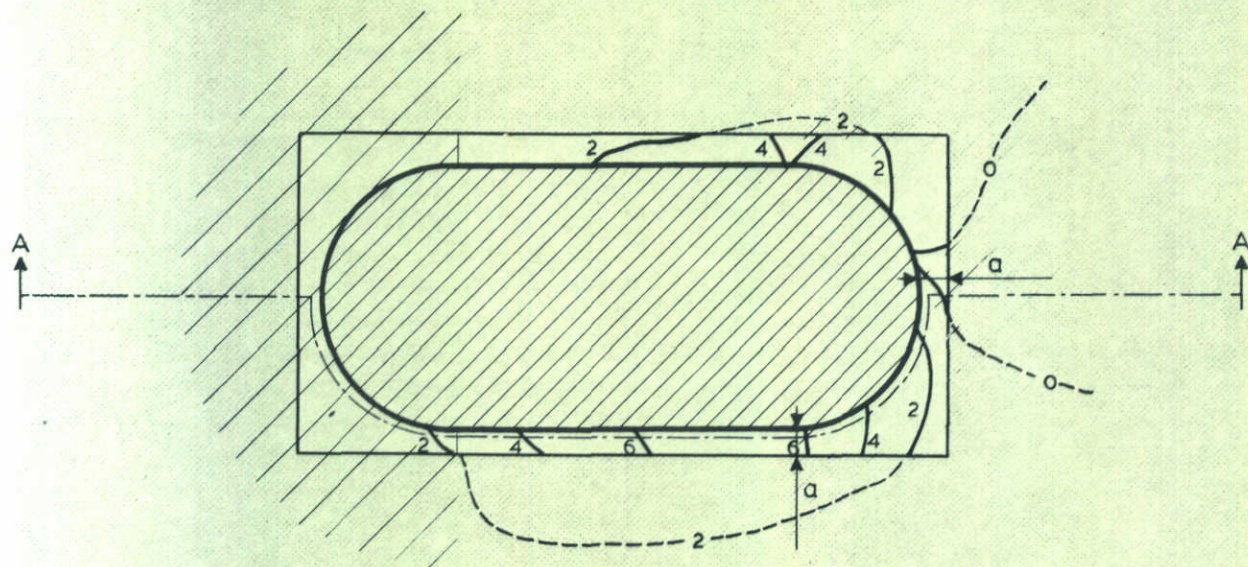
SCHAAL 1:500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 25

\vec{v}



DOORSNEDE A-A

$a = 1,5 \text{ m}$ (prototype)

$\vec{v} = 0,45 \text{ m/s}$ (model)

/// loodslakken rond boven-
stroomse kop

— ontgrondingen binnen de spleet

--- ligging bodembescherming

— oorspronkelijke situatie

diepte in m prototype

T 17 ONTGRONDING $t = 23,00$ uur (MODEL)
BESTORTING ROND ÉÉN KOP

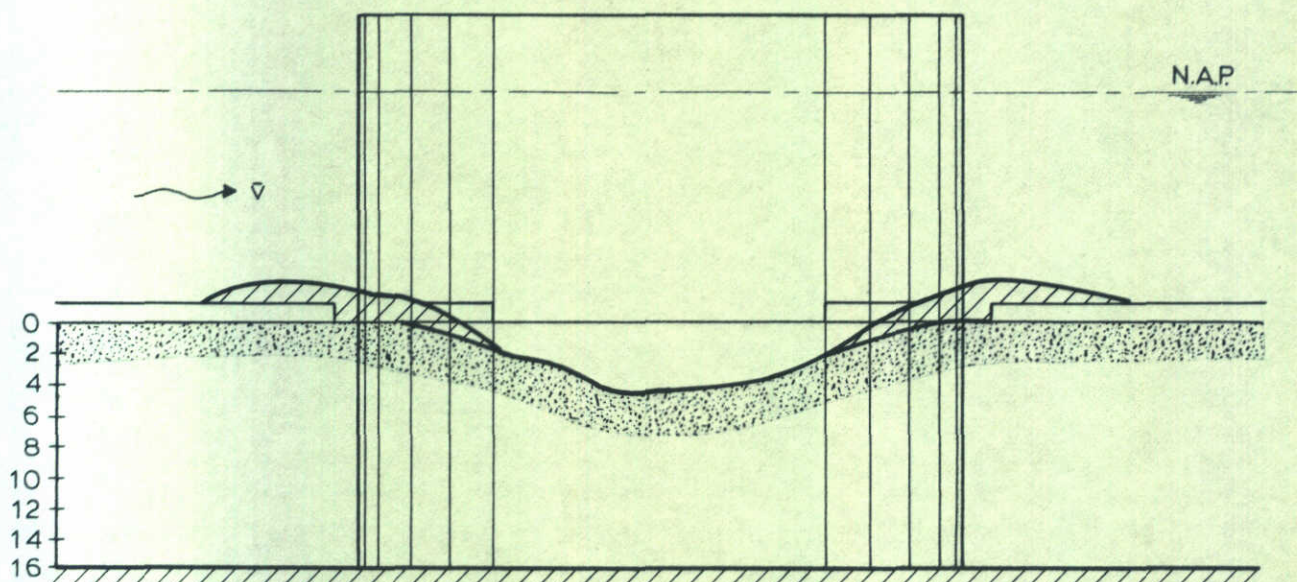
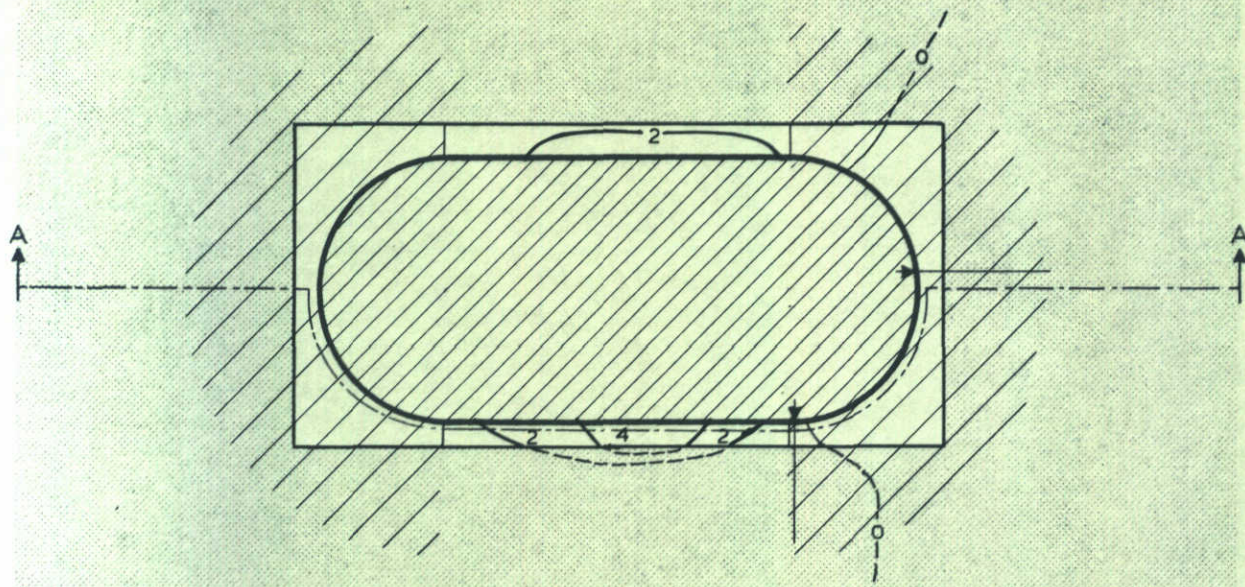
T 17

SCHAAL 1:500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 26



DOORSNEDE A-A

$a = 1,5 \text{ m}$ (prototype)

$\bar{v} = 0,6 \text{ m/s}$ (model)

/// loodslakken rond
beide koppen

— ontgrondingen binnen de spleet

--- ligging bodembescherming

— oorspronkelijke situatie

diepte in m prototype

T16 ONTGRONDING $t = 075 \text{ uur}$ (MODEL)
BESTORTING ROND BEIDE KOPPEN

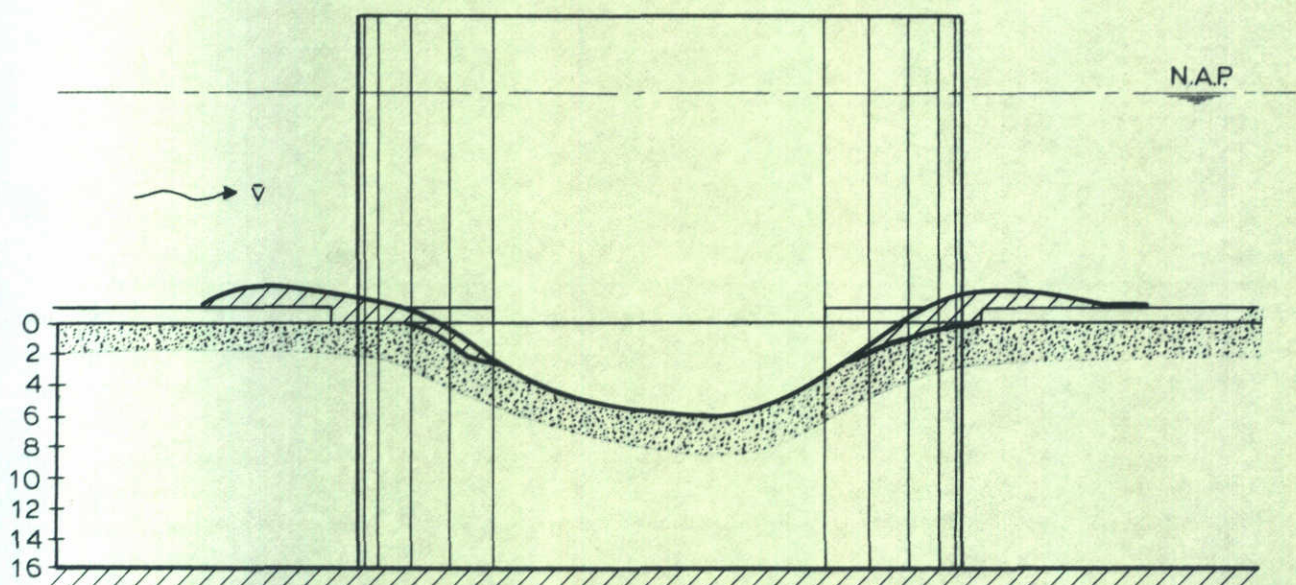
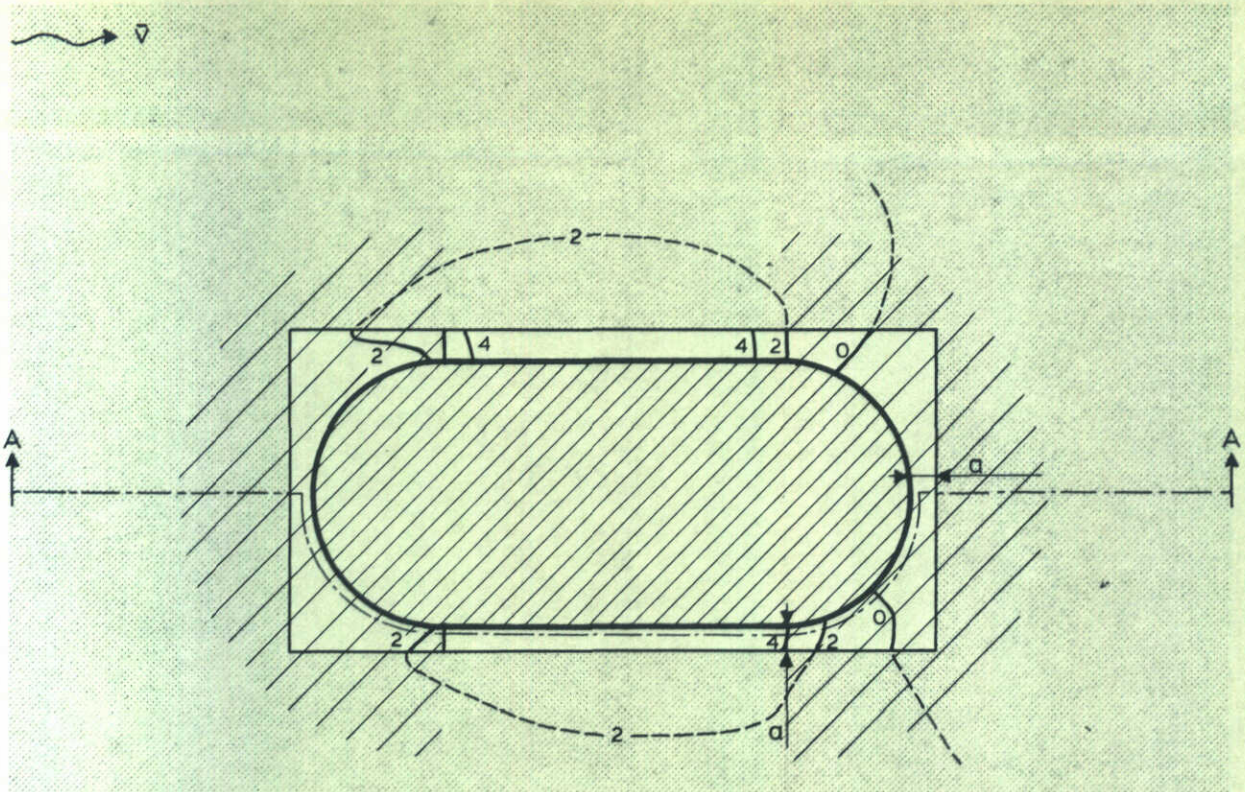
T16

SCHAAL 1:500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 27



DOORSNEDE A-A

$a = 1,5 \text{ m}$ (prototype)

$\bar{v} = 0,6 \text{ m/s}$ (model)

/// loodslakken rond beide koppen

— ontgrondingen binnen de spleet

--- ligging bodembescherming

— oorspronkelijke situatie

diepte in m prototype

T16 ONTGRONDING $t = 3,75 \text{ uur}$ (MODEL)
BESTORTING ROND BEIDE KOPPEN

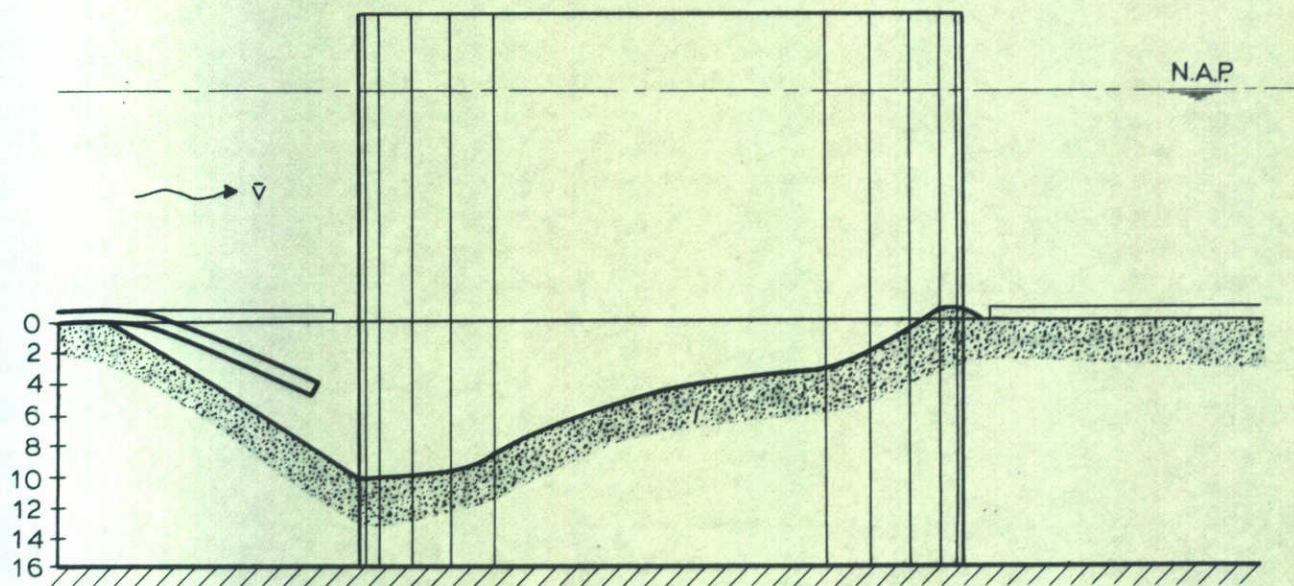
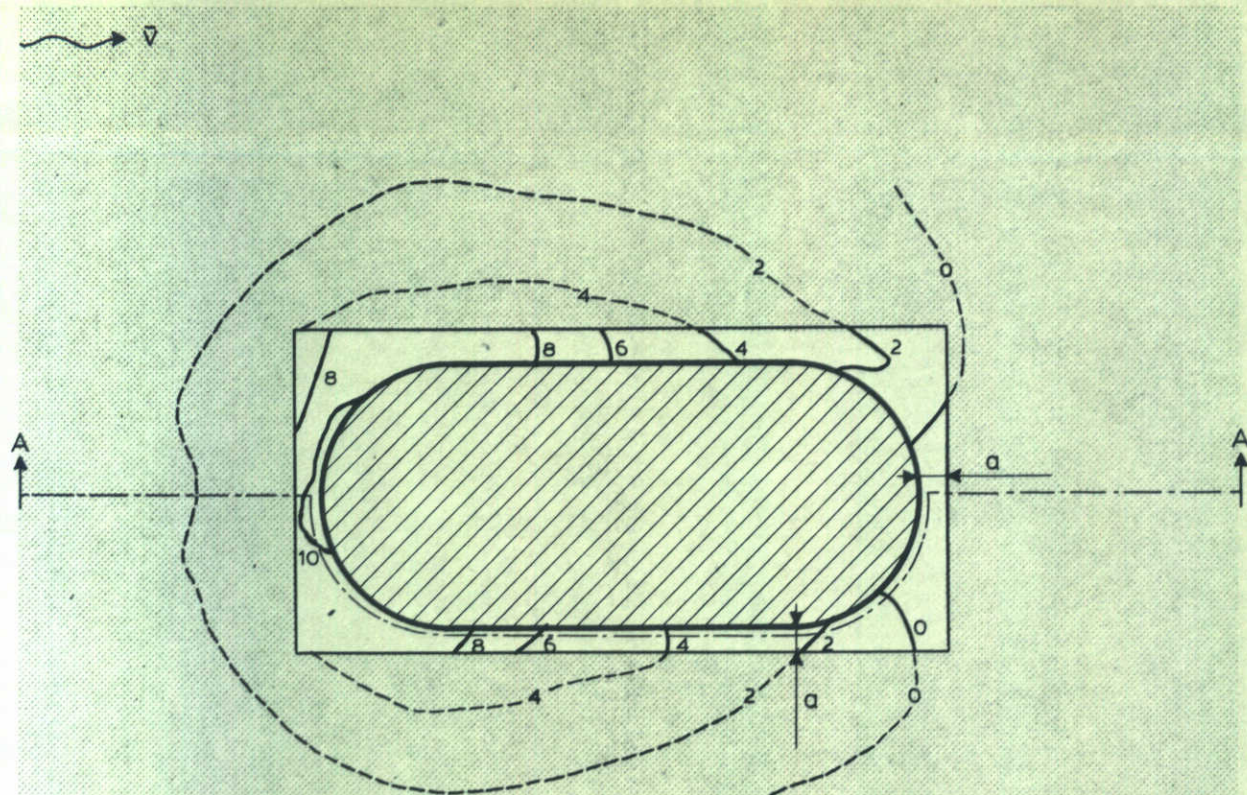
T16

SCHAAL 1:500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 28



DOORSNEDE A-A

$a = 1,5 \text{ m}$ (prototype)

$\bar{v} = 0,6 \text{ m/s}$ (model)

bovenaansvoer van zand

— ontgrondingen binnen de spleet

--- ligging bodembescherming

— oorspronkelijke situatie

diepte in m prototype

T5 ONTGRONDING $t = 0,25 \text{ uur}$ (MODEL)
BOVENAANSVOER VAN ZAND

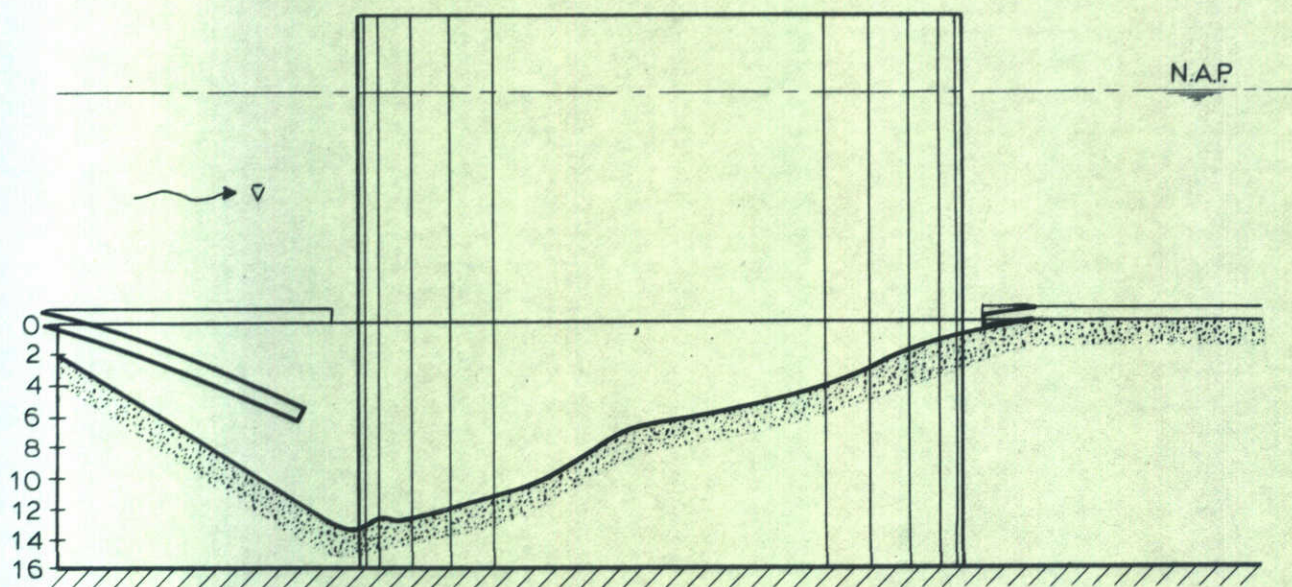
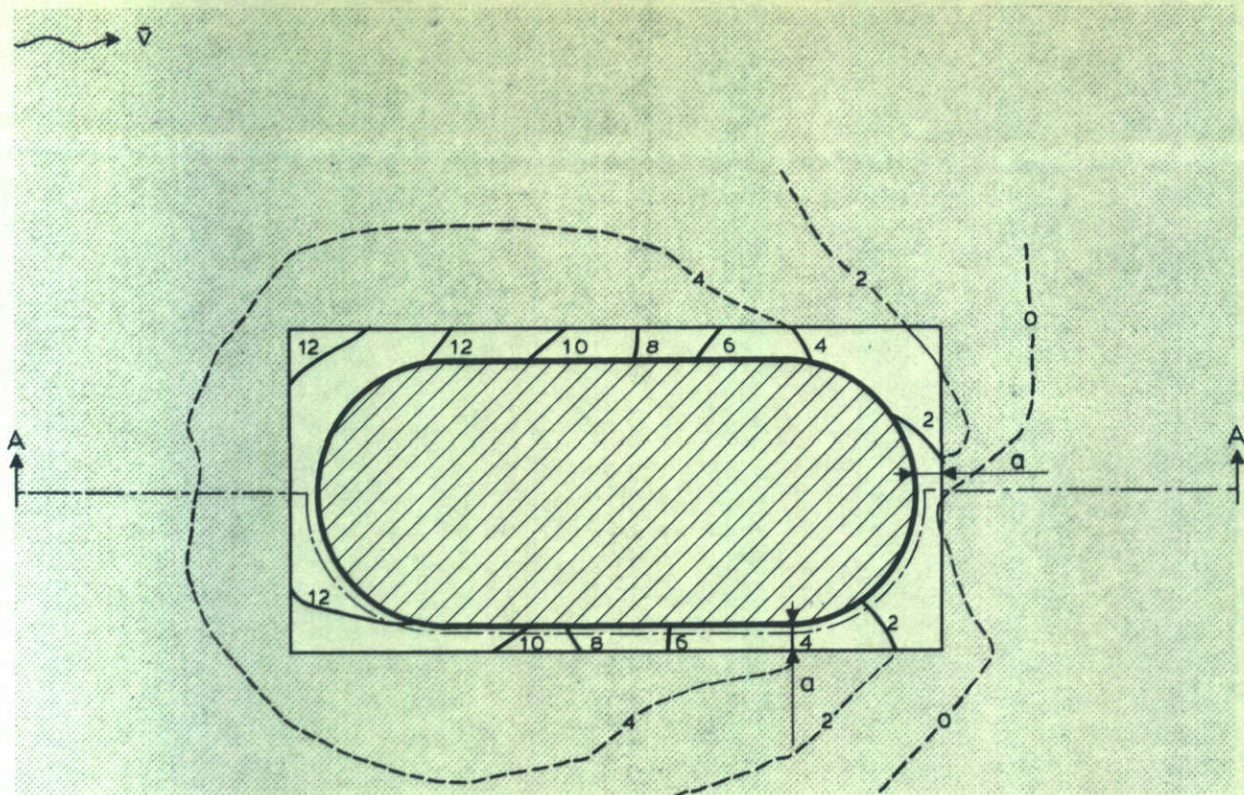
T5

SCHAAL 1:500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 29



DOORSNEDE A-A

$a = 1,5 \text{ m}$ (prototype)

$\bar{v} = 0,6 \text{ m/s}$ (model)

bovenaansvoer van zand

— ontgrondingen binnen de spleet

--- ligging bodembescherming

— oorspronkelijke situatie

diepte in m prototype

T5 ONTGRONDING $t = 0,75 \text{ uur}$ (MODEL)
BOVENAANSVOER VAN ZAND

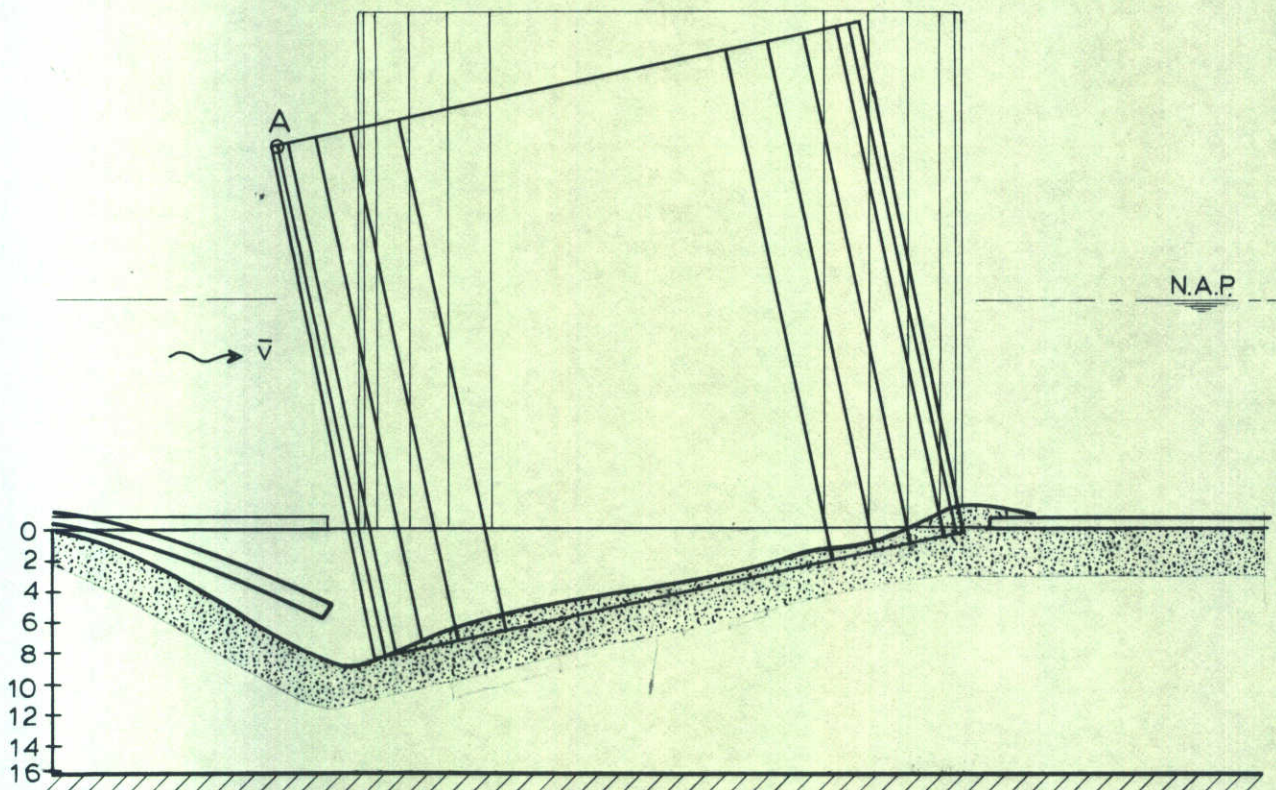
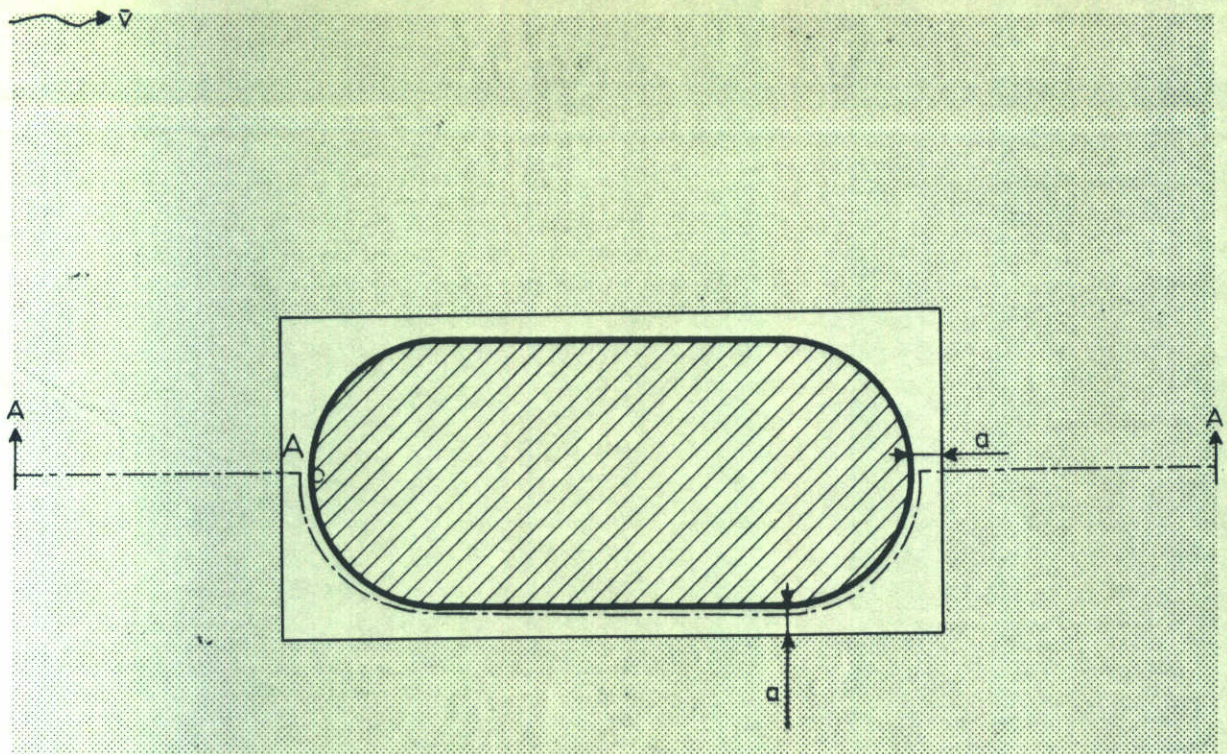
T5

SCHAAL 1:500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 30



DOORSNEDE A-A

$a = 1,5\text{m}$ (prototype)

$v = 0,45\text{ m/s}$ gedurende 1,75 uur

— ongronding binnen de spleet
 - - - oorspronkelijke situatie

diepte in m prototype

T 21 ONTGRONDING $t = 1,75$ uur (MODEL)
 PUT OP HET ZANDBED GEPLAATST

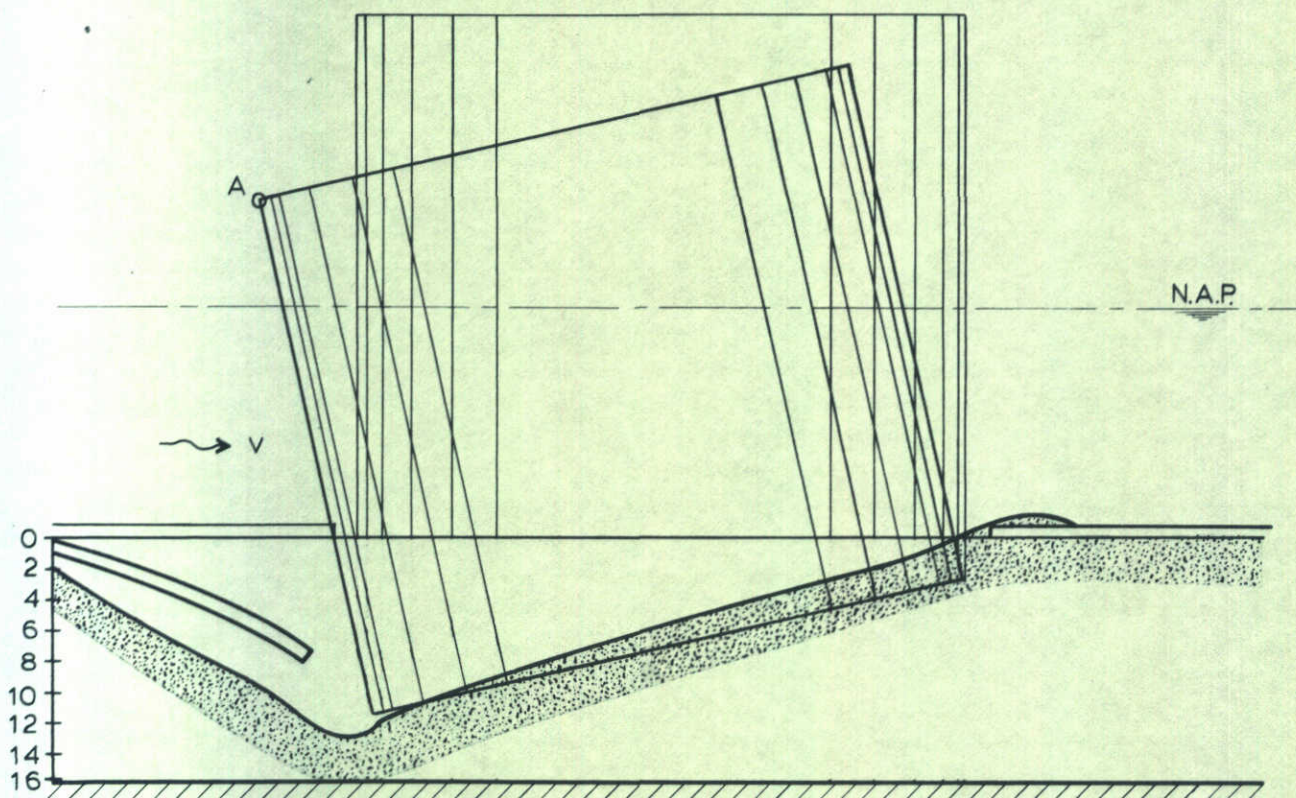
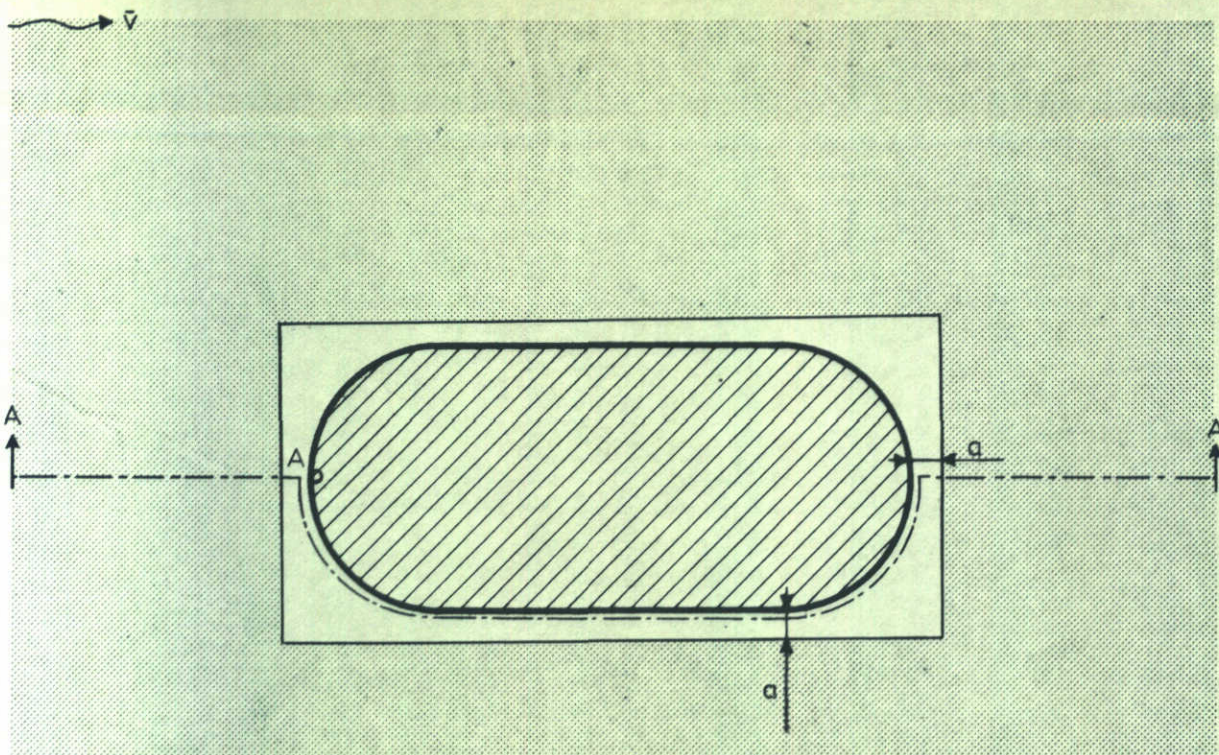
T 21

SCHAAL 1:500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 31



DOORSNEDE A-A

$a = 1,5\text{m}$ (prototype)

$v = 0,45\text{ m/s}$ gedurende 1,75 uur
 $+ 0,55\text{ m/s}$ gedurende 1,75 uur

— ongronding binnen de spleet
 - - - oorspronkelijke situatie

diepte in m prototype

T21 ONTGRONDING $t = 3,5$ uur (MODEL)
 PUT OP HET ZANDBED GEPLAATST

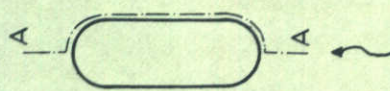
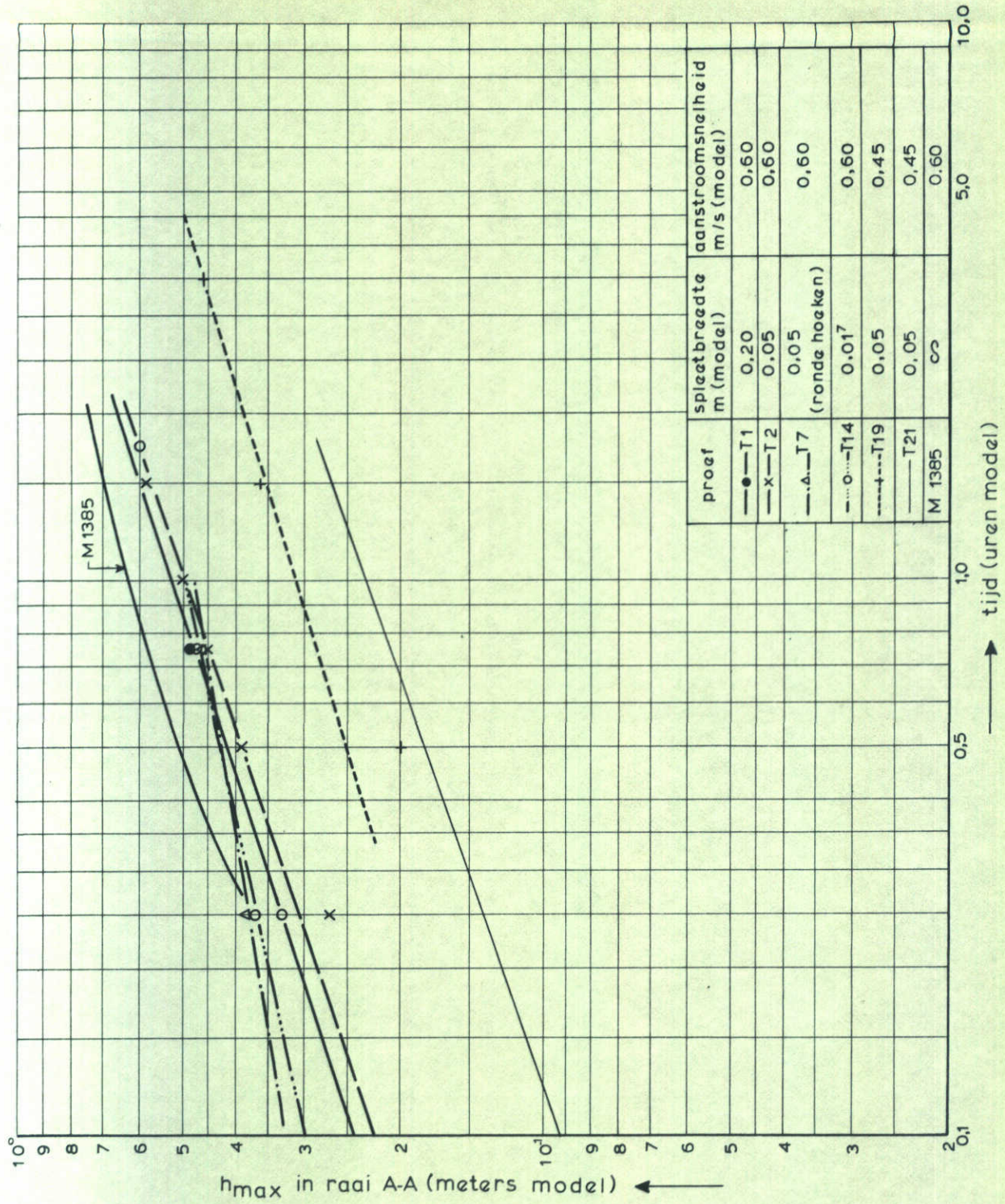
T21

SCHAAL 1:500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 32



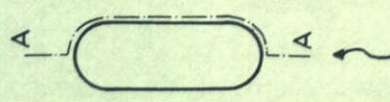
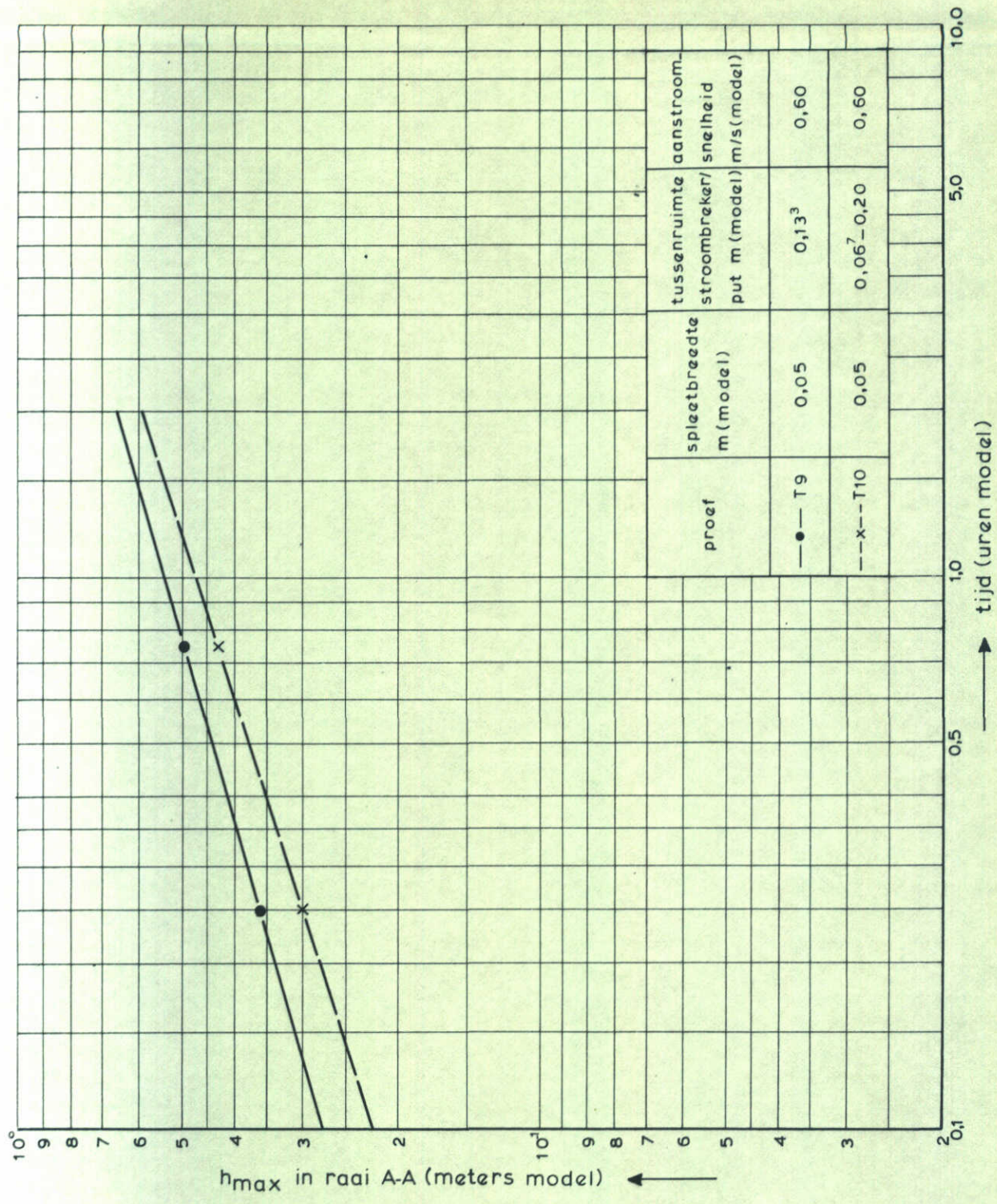
ONTGRONDINGSVERLOOP

T1,T2,T7,T14,T19

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 33



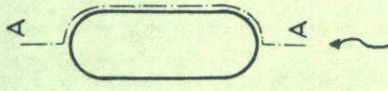
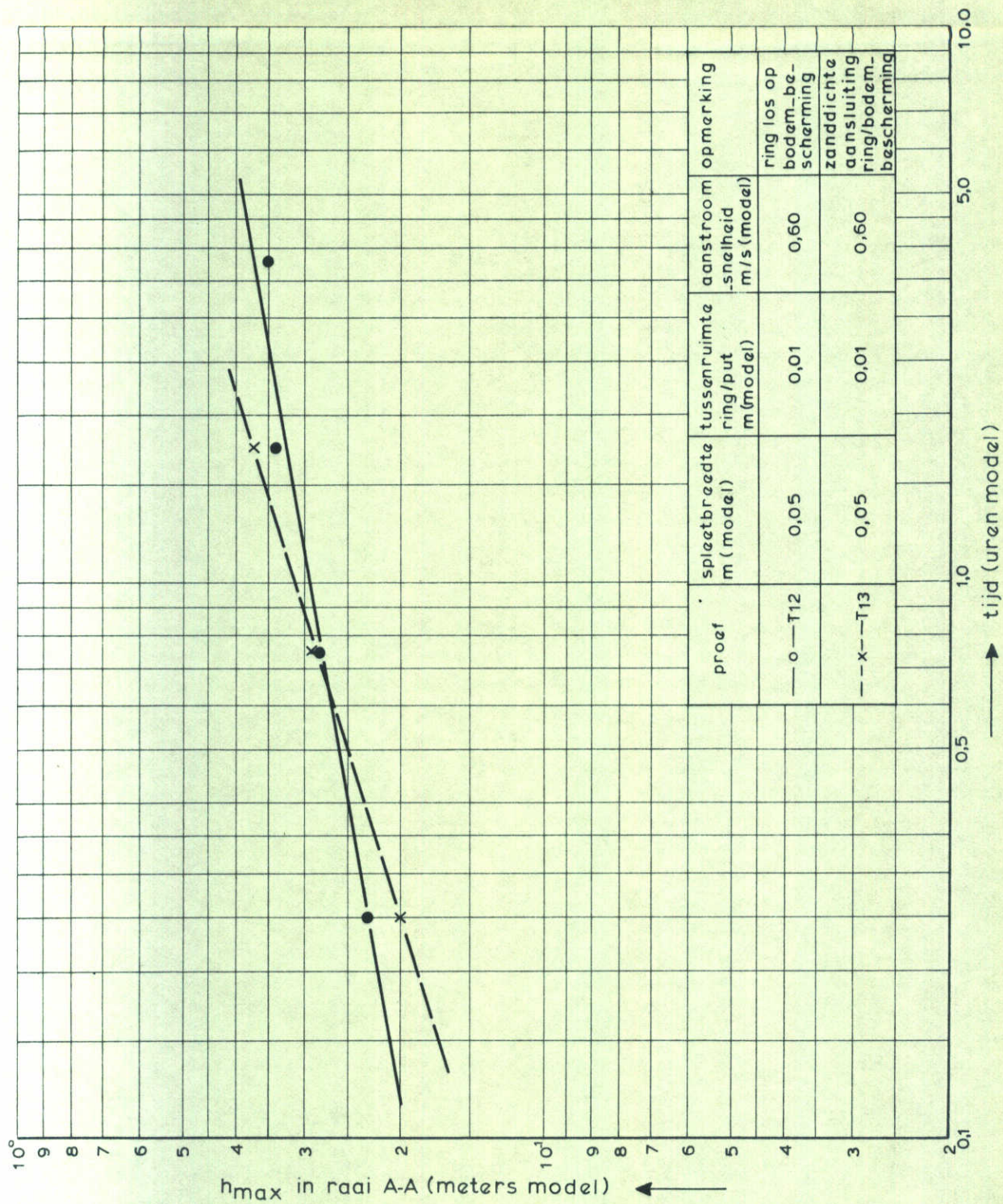
ONTGRONDINGSVERLOOP
STROOMBREKER

T9,T10

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 34



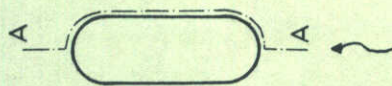
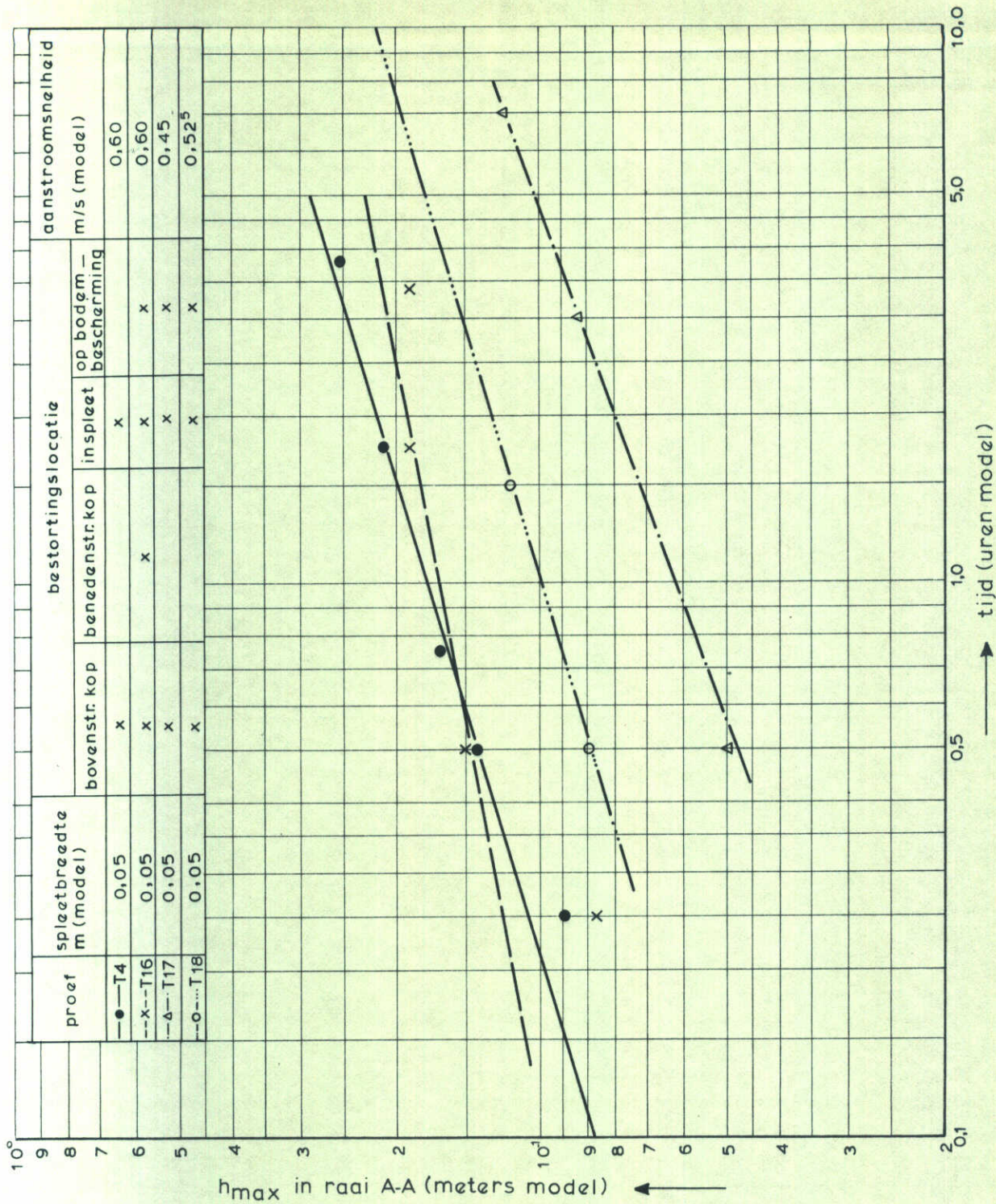
ONTGRONDINGSVERLOOP
RING OM PUT

T12,T13

WATERLOÓPKUNDIG LABORATORIUM

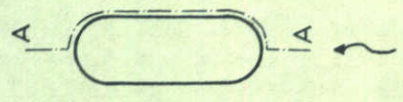
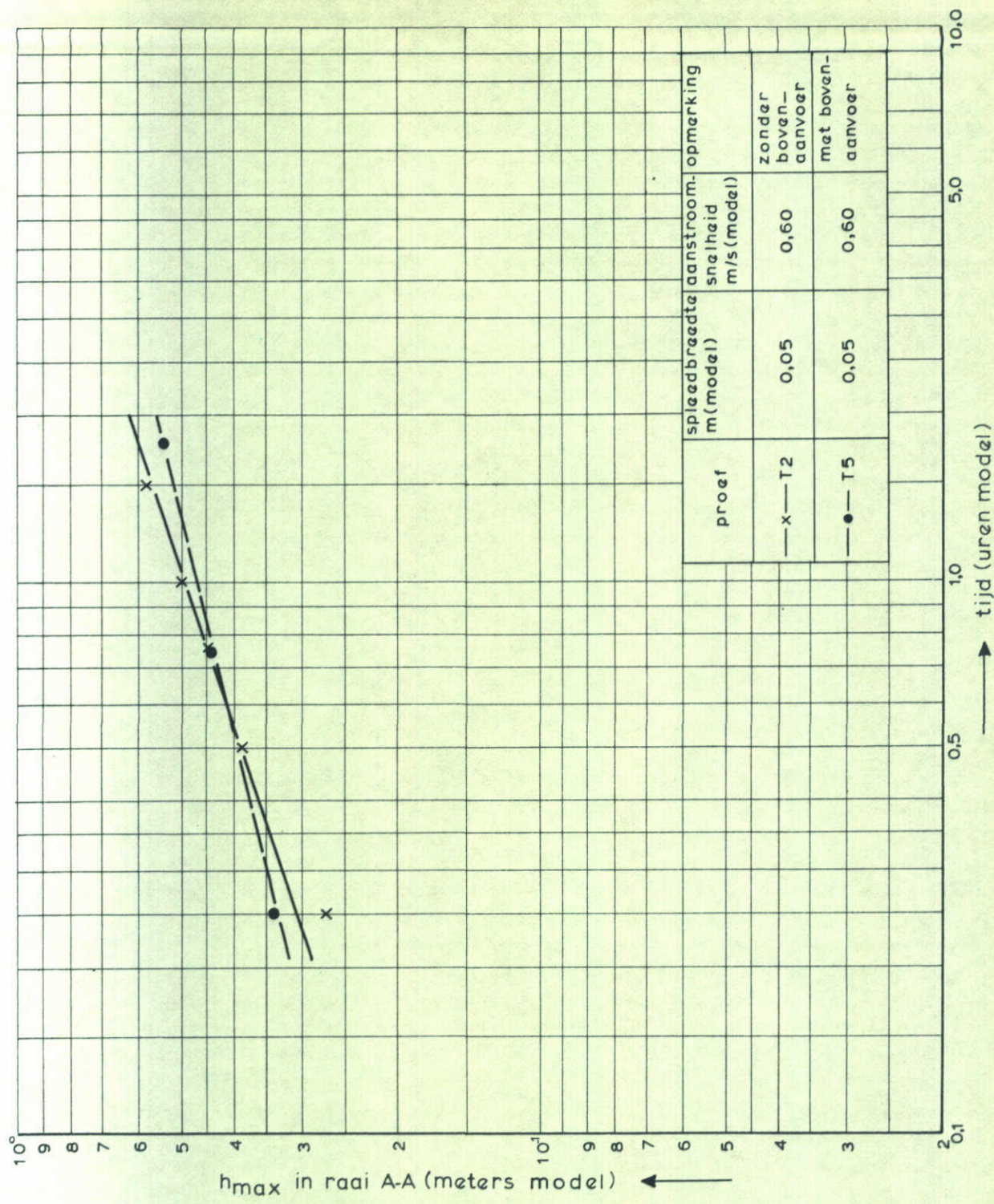
M 1402

FIG. 35



ONTGRONDINGSVERLOOP
BESTORTING

T4,T16,T17,T18



ONTGRONDINGSVERLOOP
 MET EN ZONDER BOVENAANVOER VAN ZAND

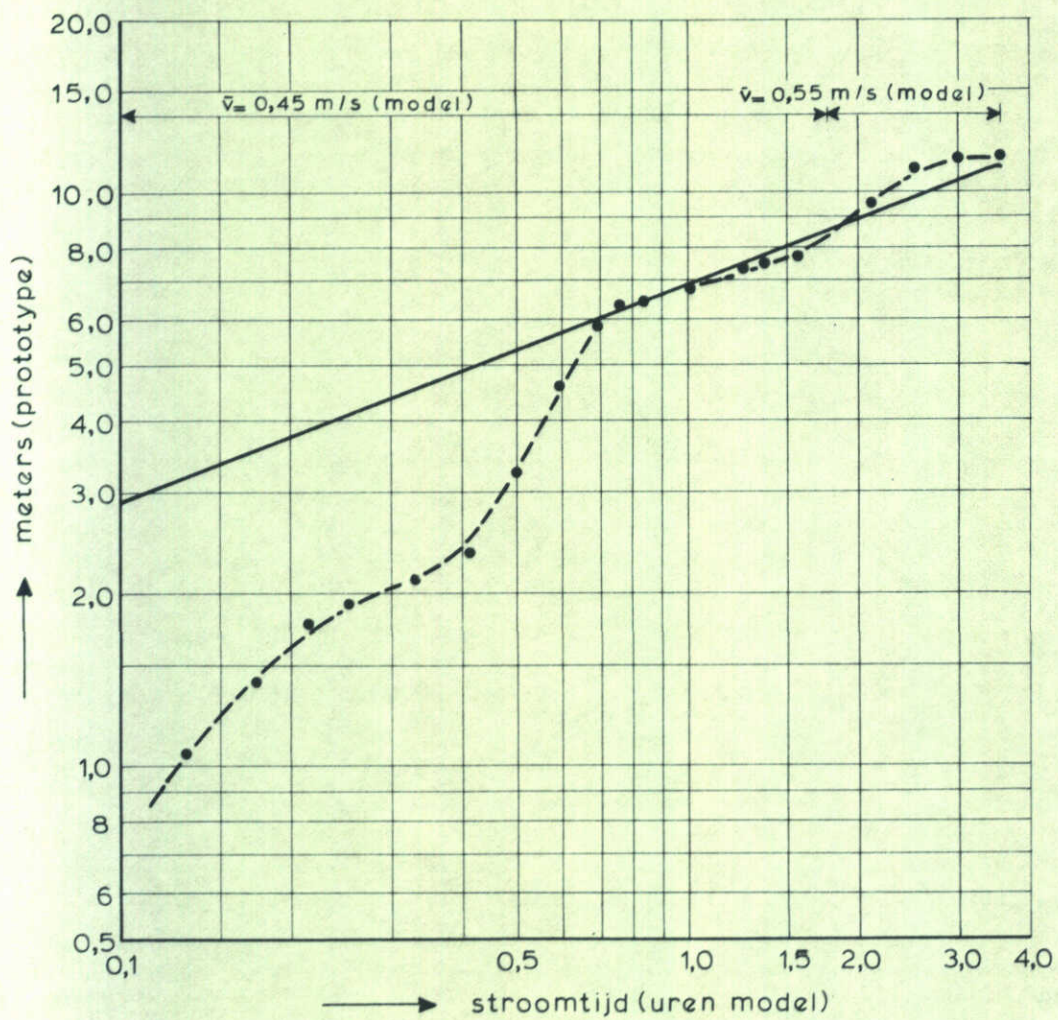
T2, T5

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 37

nl -bt



——— maximale ontgronding
 - - - - - zakking voorkant put (punt A , figuur 31,32)

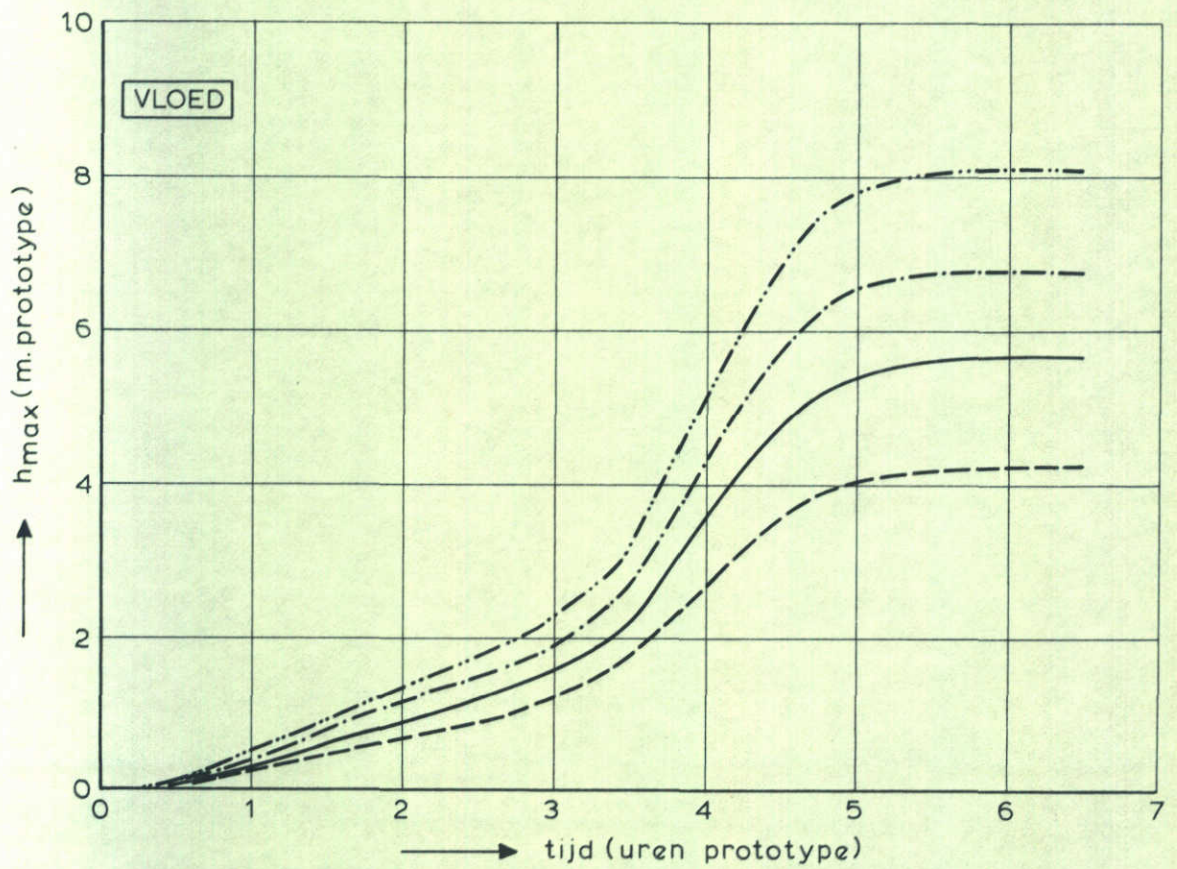
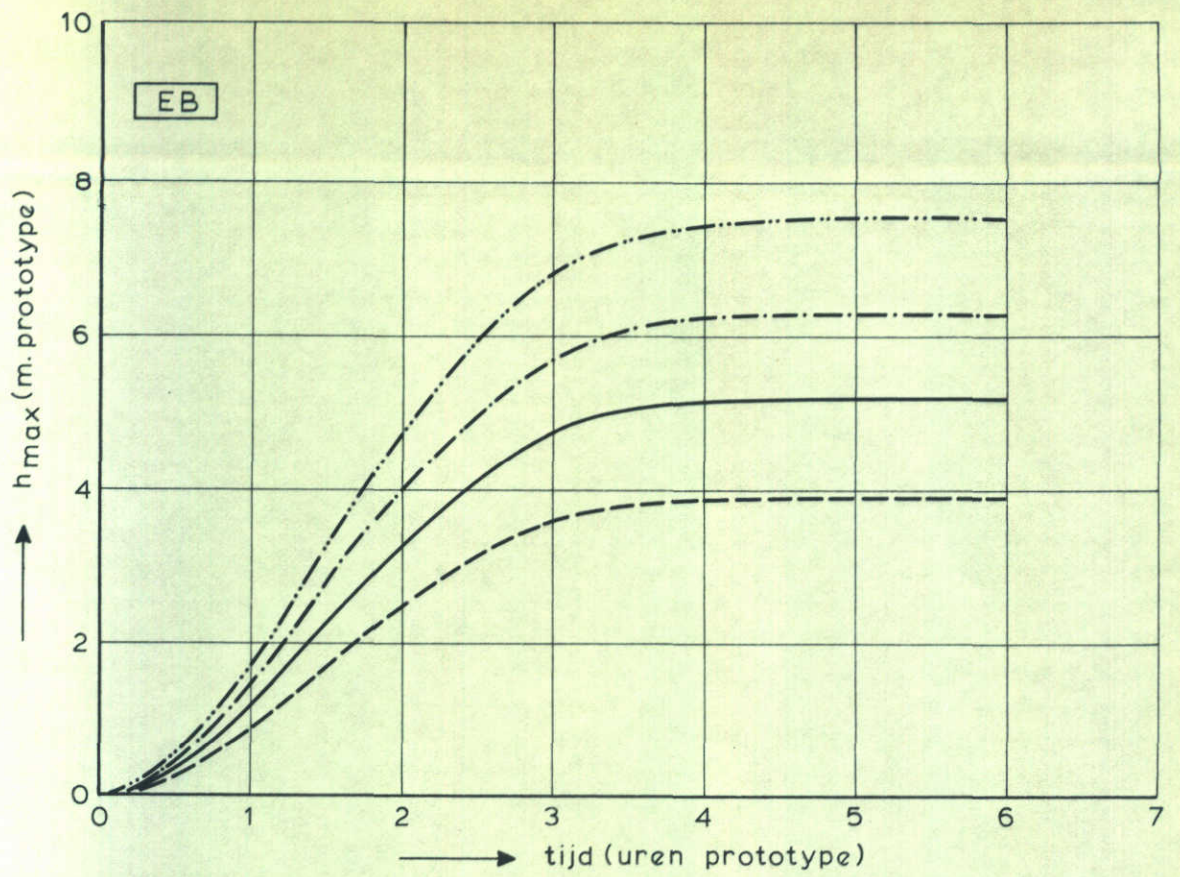
T 21 ONTGRONDINGS - EN ZAKKINGSVERLOOP
 PUT OP HET ZANDBED GEPLAATST

T21

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 38



- · - · - · extreem springtij ——— gemiddeld getij
 - · - · - · gemiddeld springtij - - - - - gemiddeld doottij

T19 MAXIMALE ONTGRONDINGSDIEPTE
TIJDENS GETIJ

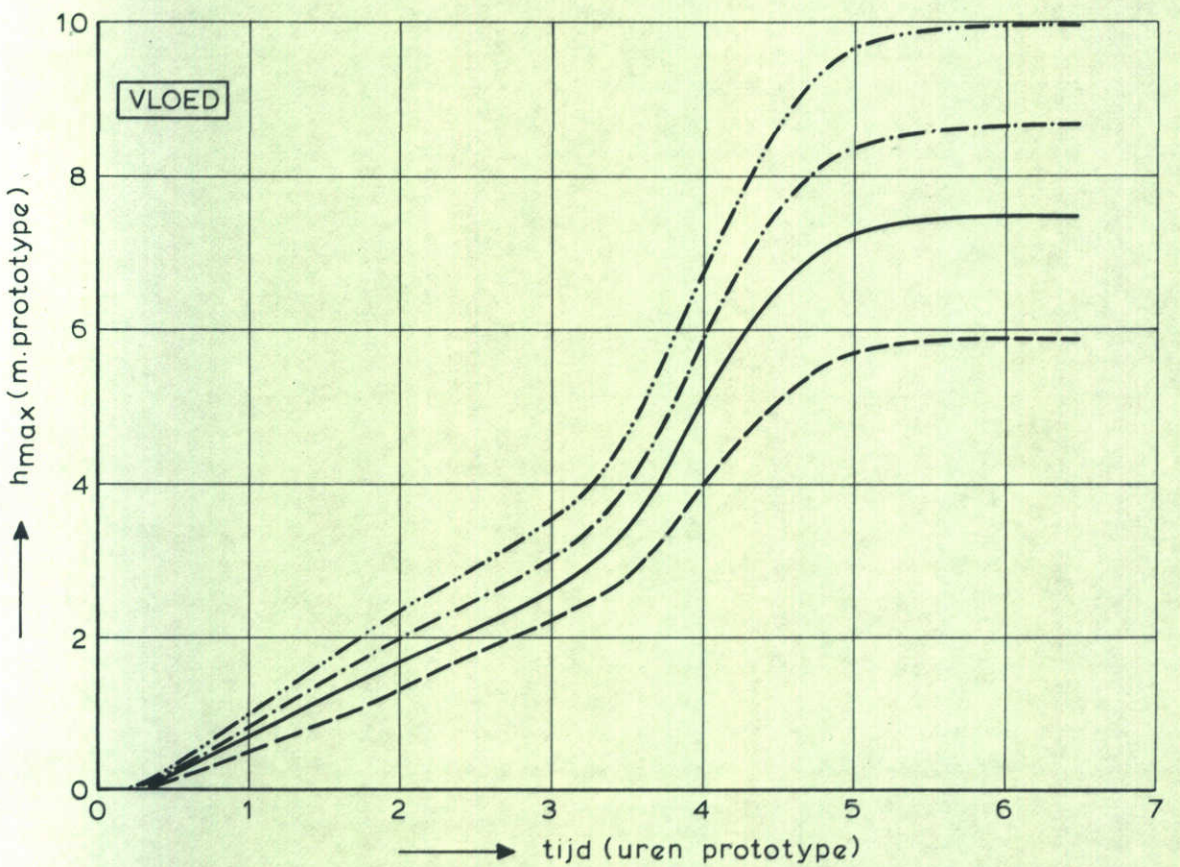
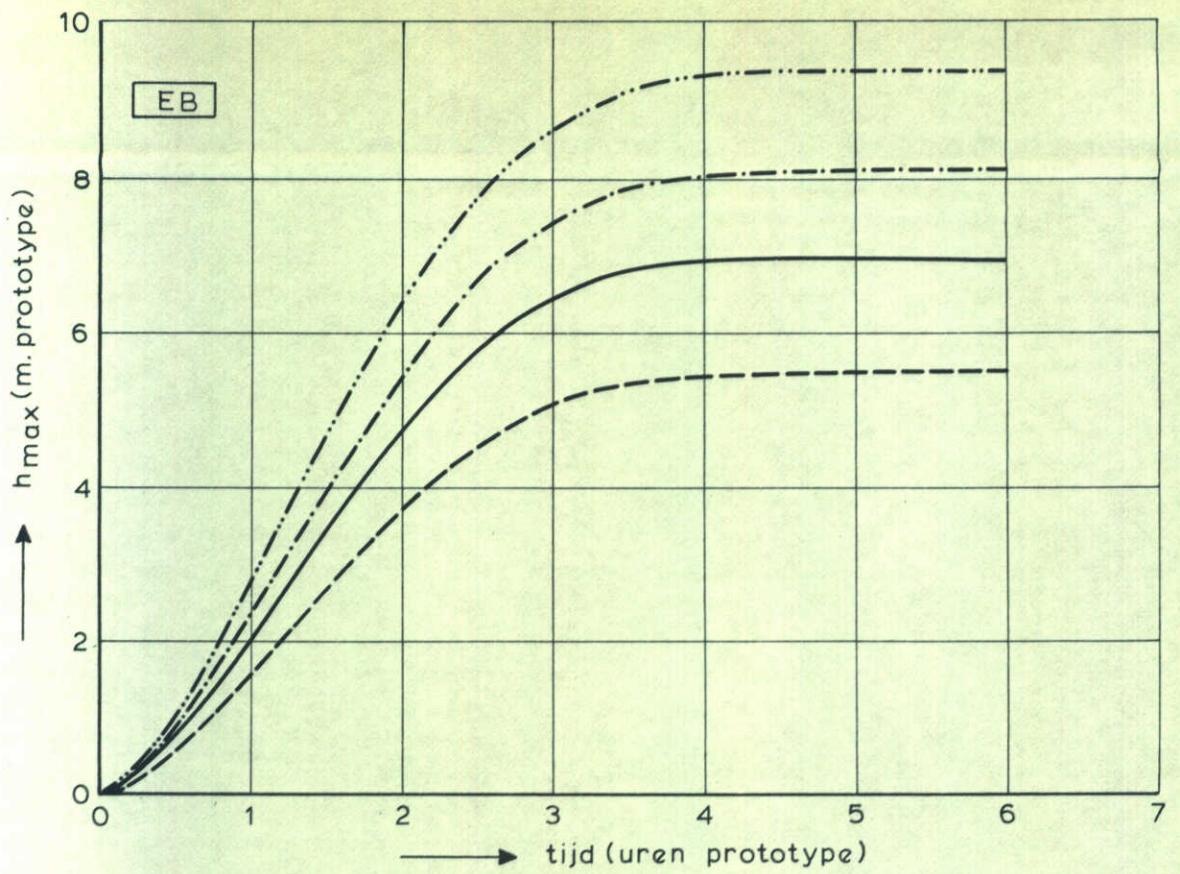
T19

\bar{v} model = 0,45m/sec

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 40



- · - · - · extreem springtij ——— gemiddeld getij
 - · - · - · gemiddeld springtij - - - - - gemiddeld doottij

T9 MAXIMALE ONTGRONDINGSDIEPTE
TUDENS GETIJ STROOMBREKER

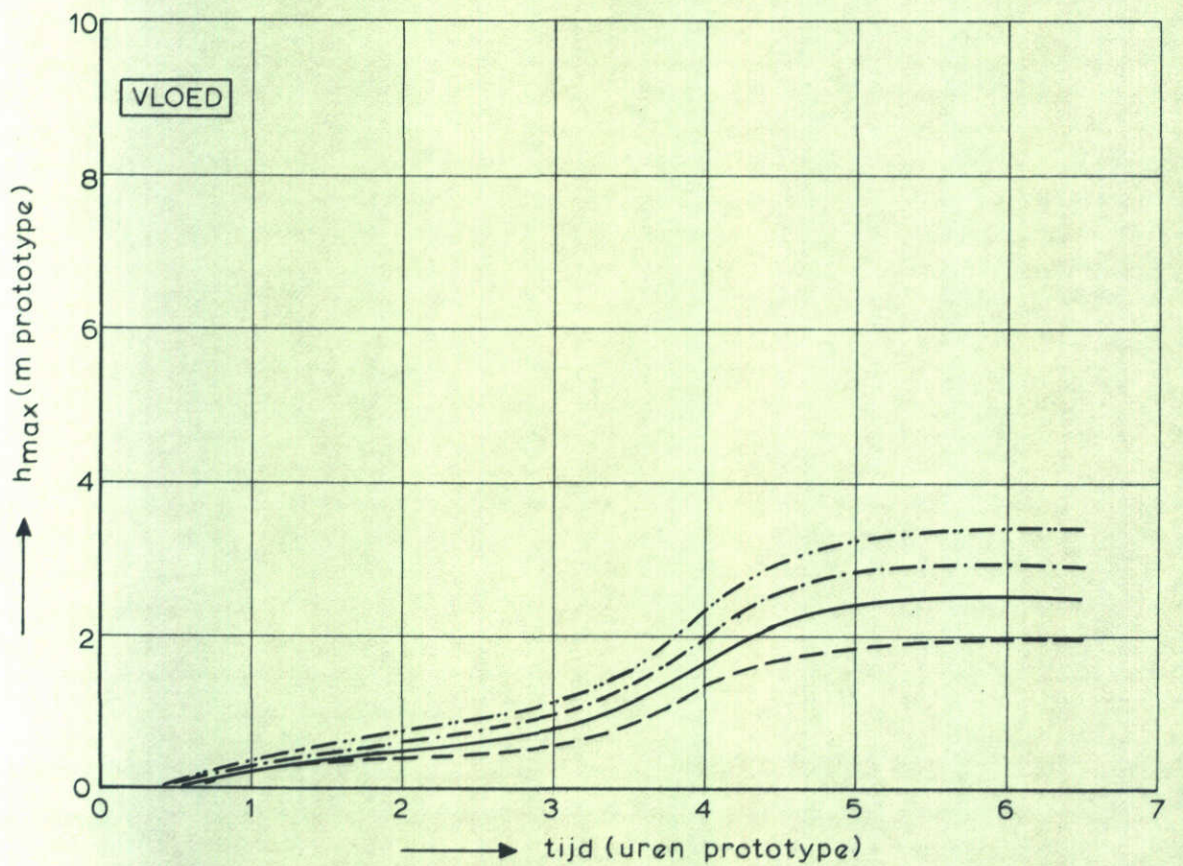
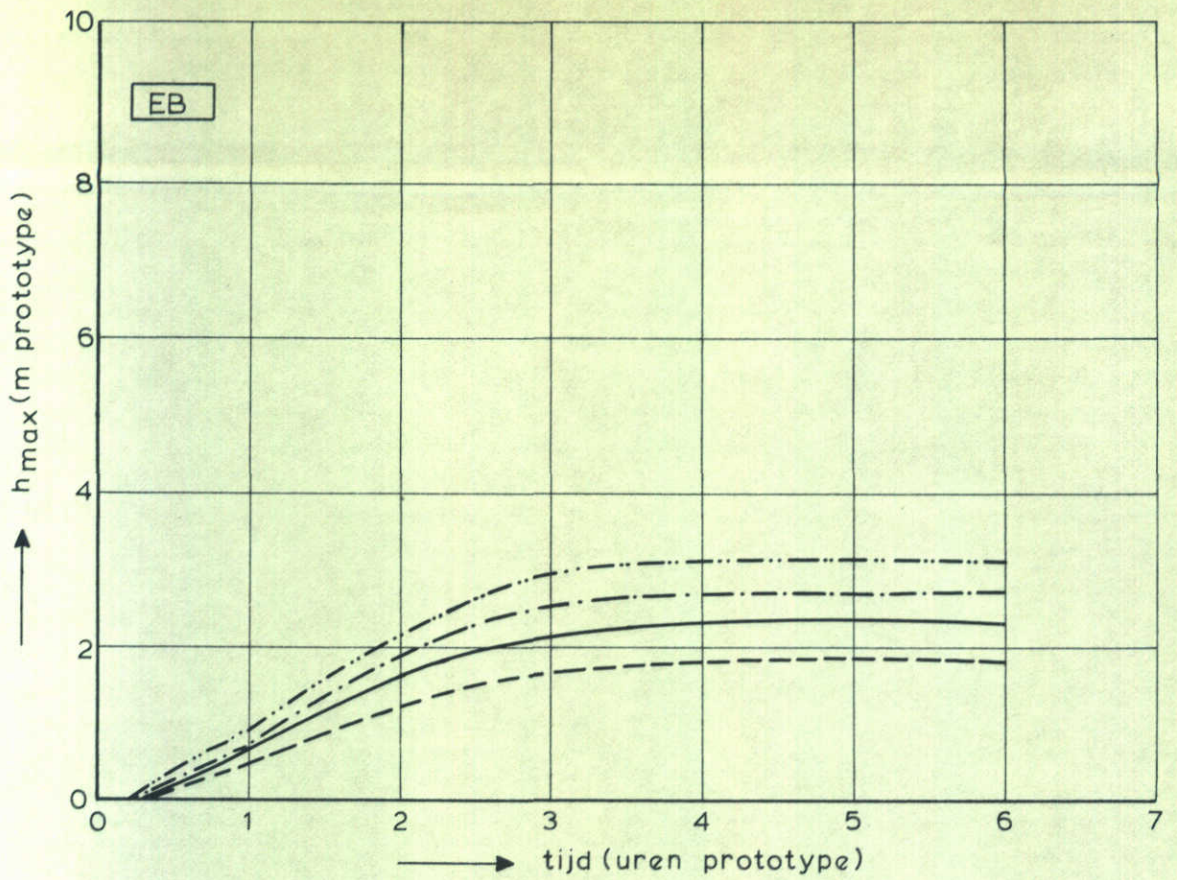
T9

\bar{v} model = 0.60 m/sec

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 41



- · - · - · extreem springtij ——— gemiddeld getij
 - · - · - · gemiddeld springtij - - - - - gemiddeld doottij

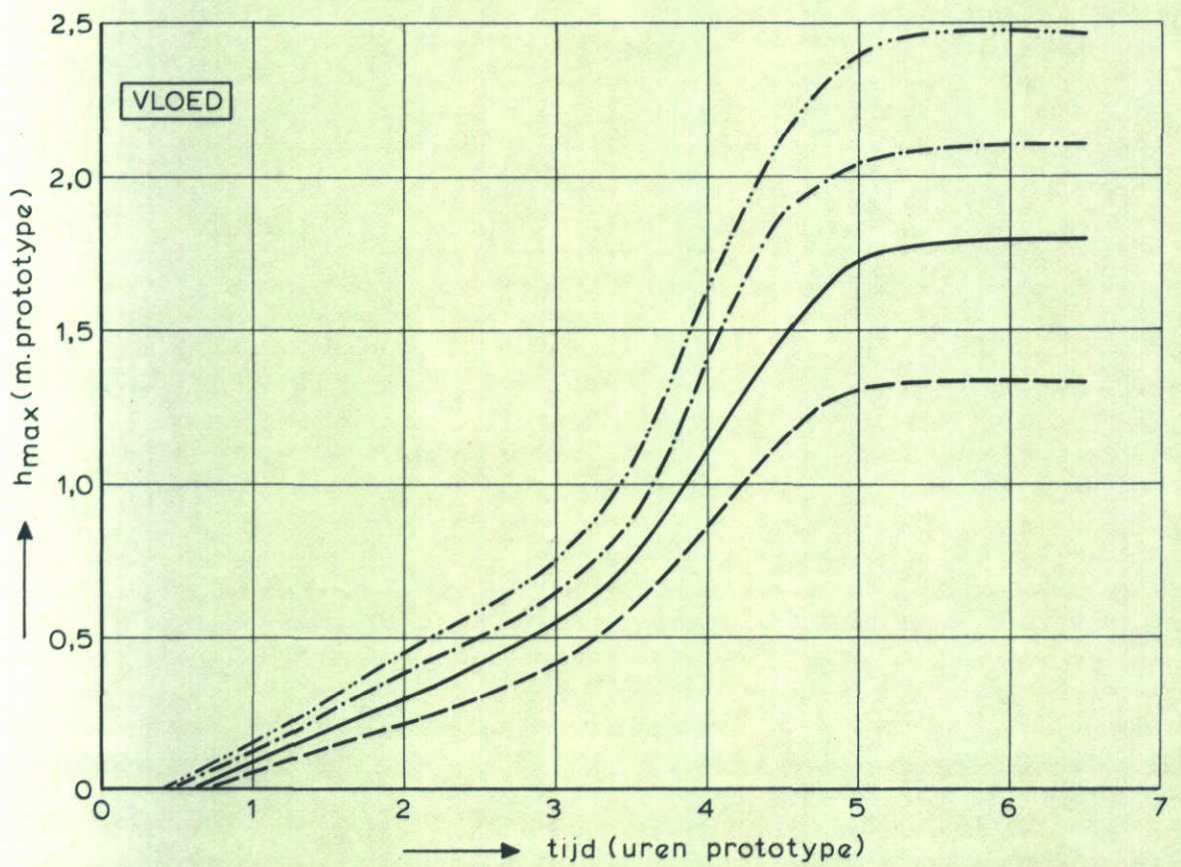
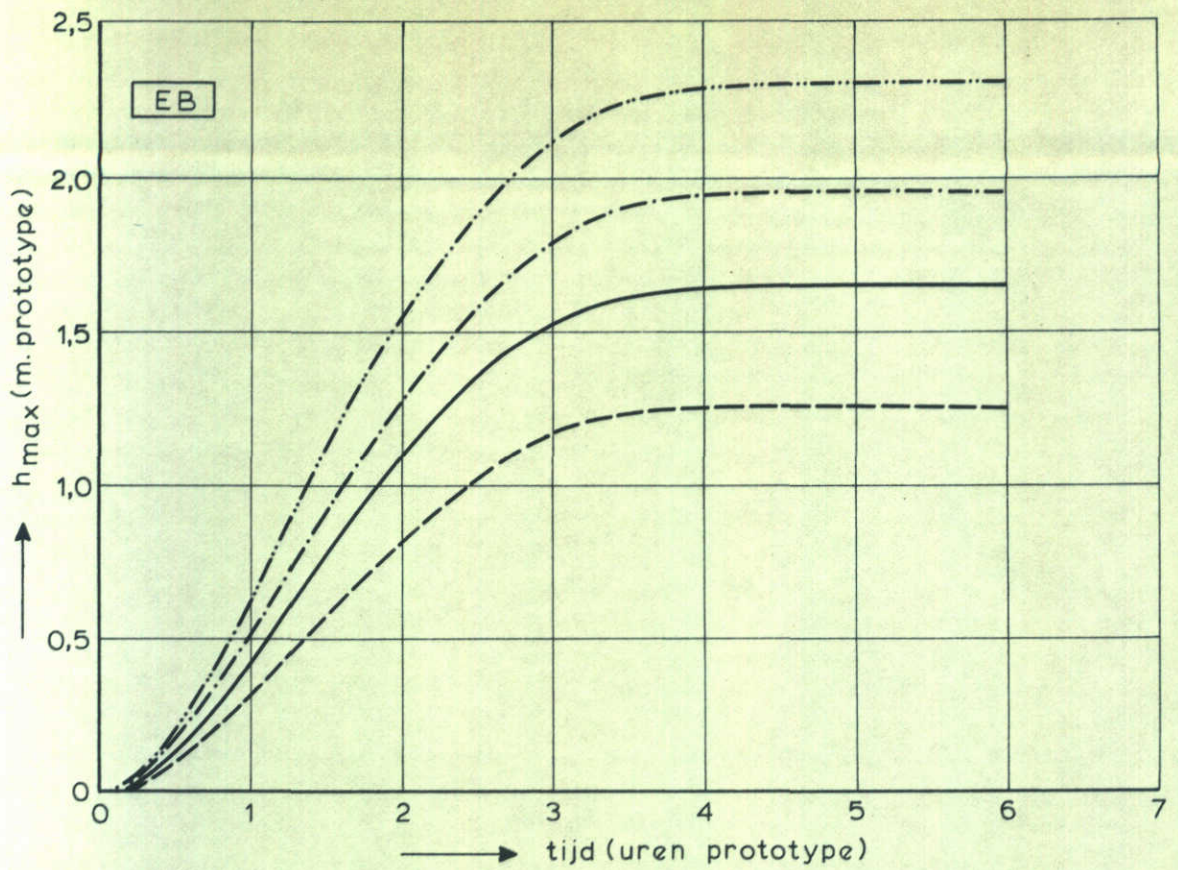
T4 MAXIMALE ONTGRONDINGSDIEPTE TIJDENS
GETIJ BESTORTING ROND ÉÉN KOP

T 4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 43



- · - · - · extremem springtij ——— gemiddeld getij
 - · - · - · gemiddeld springtij - - - - - gemiddeld doottij

T 18 MAXIMALE ONTGRONDINGSDIEPTE TIJ -
DENS GETIJ BESTORTING ROND ÉÉN KOP

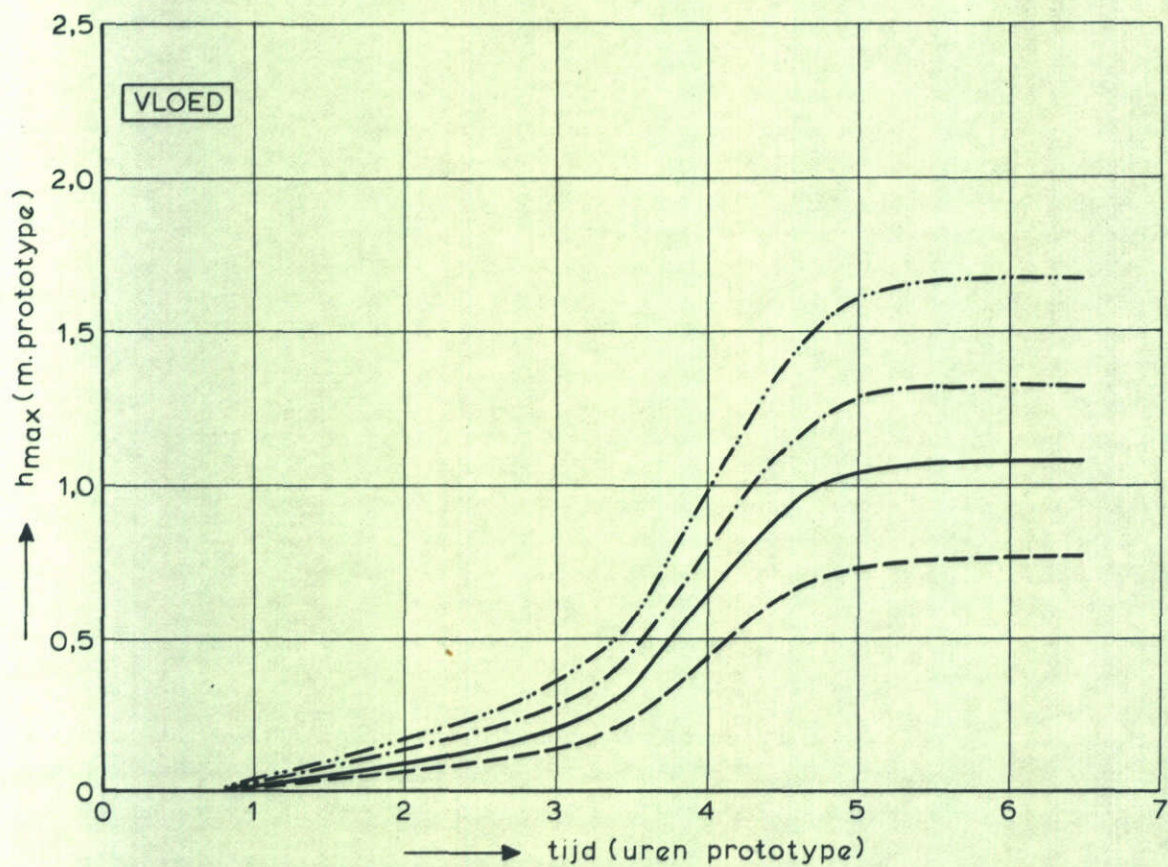
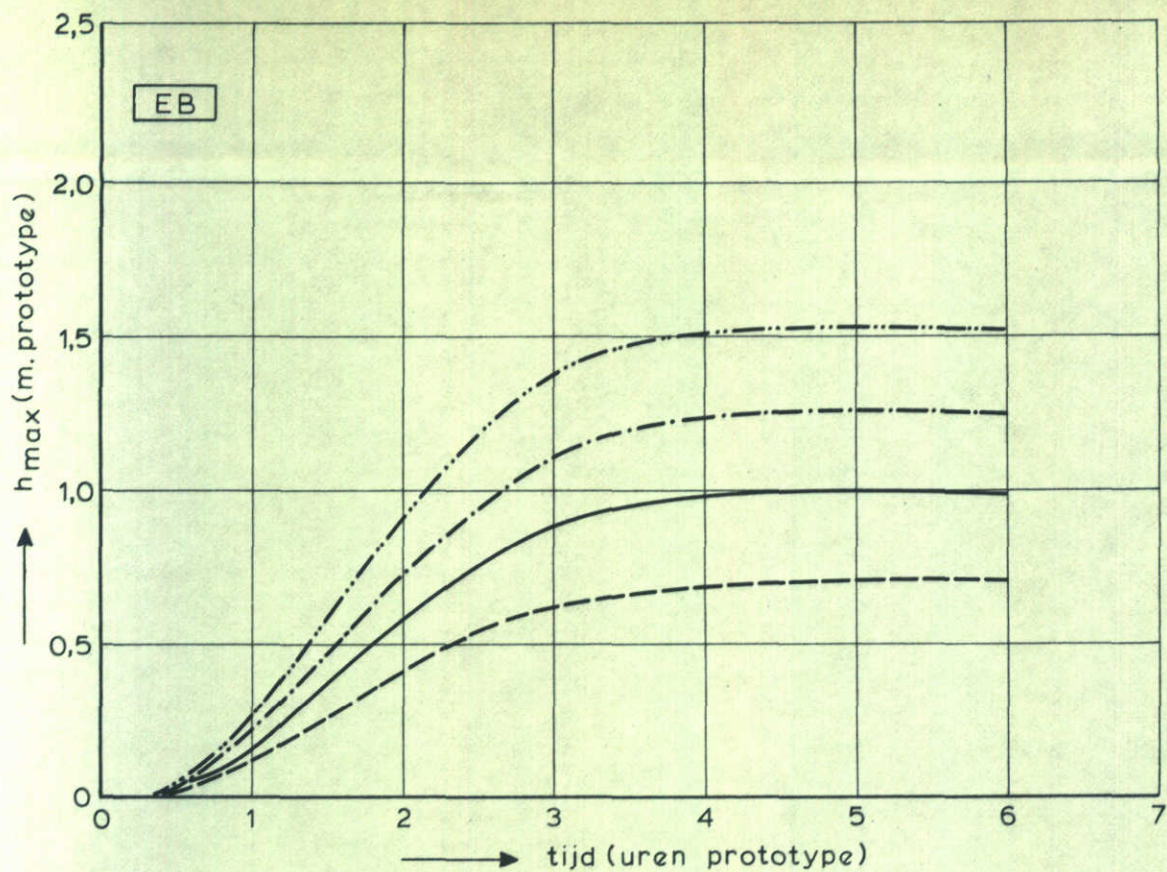
T18

$v_{model} = 0,525 \text{ m/sec}$

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 44



- - - - - extremum springtij ———— gemiddeld getij
 - · - · - · - gemiddeld springtij - - - - - gemiddeld doottij

T 17 MAXIMALE ONTGRONDINGSDIEPTE TIJDENS GETIJ BESTORTING ROND ÉÉN KOP

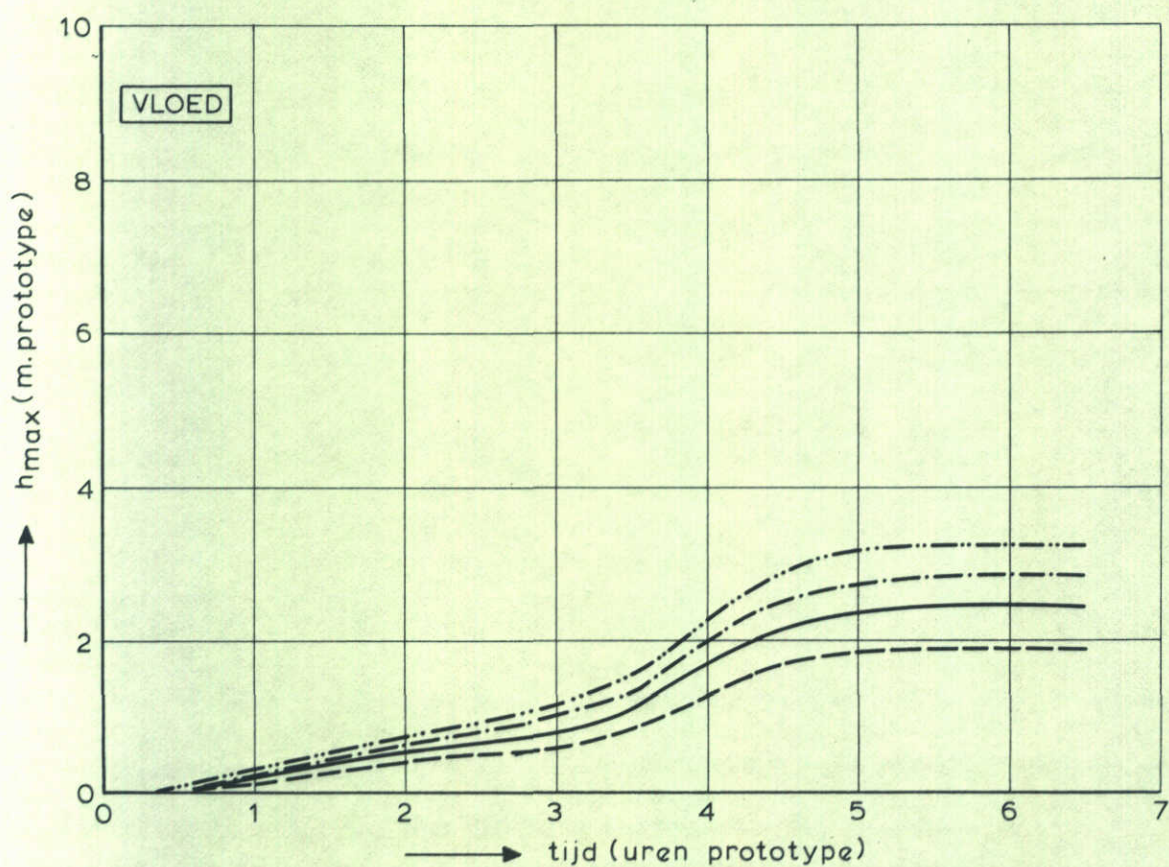
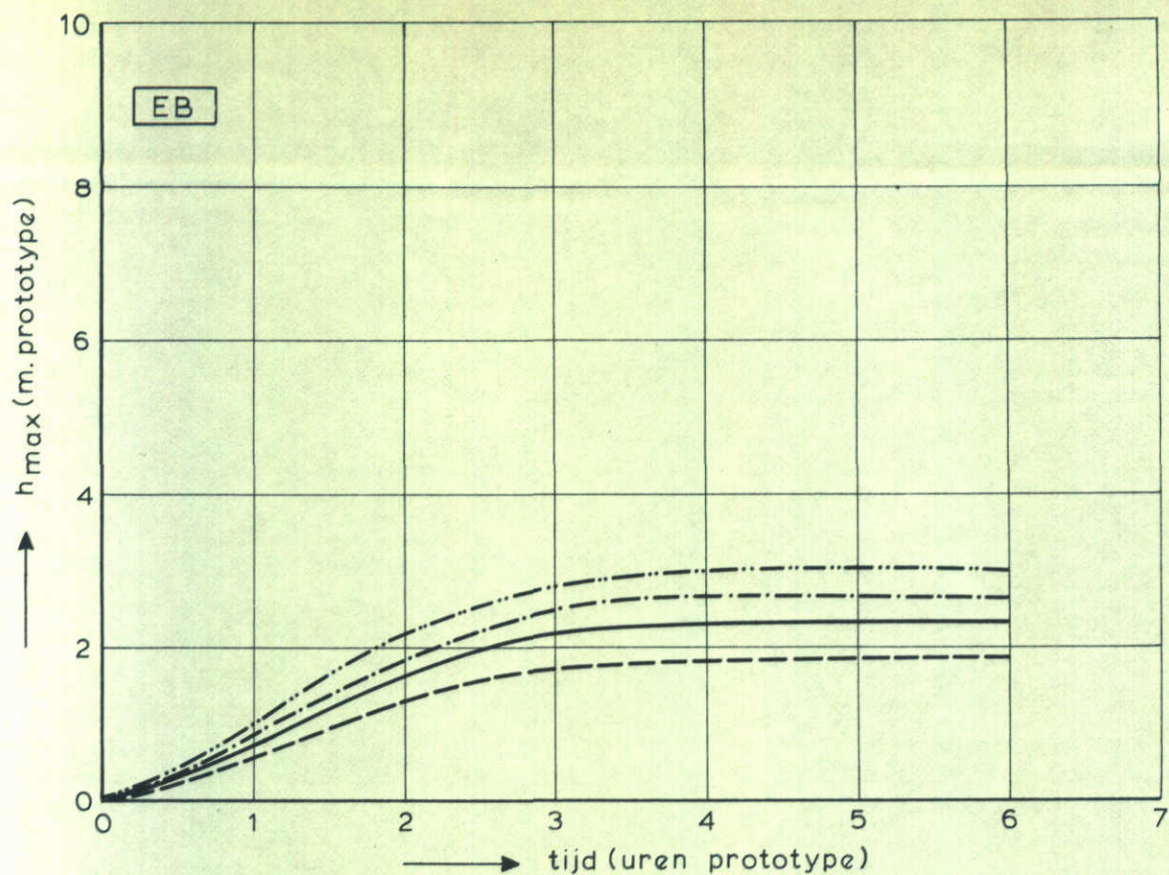
T17

$v_{model} = 0,45 \text{ m/sec}$

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 45



- · - · - · extreem springtij ————— gemiddeld getij
 - · - · - · gemiddeld springtij - - - - - gemiddeld doottij

T16 MAXIMALE ONTGRONDINGSDIEPTE TJDENS
GETIJ BESTORTING ROND BEIDE KOPPEN

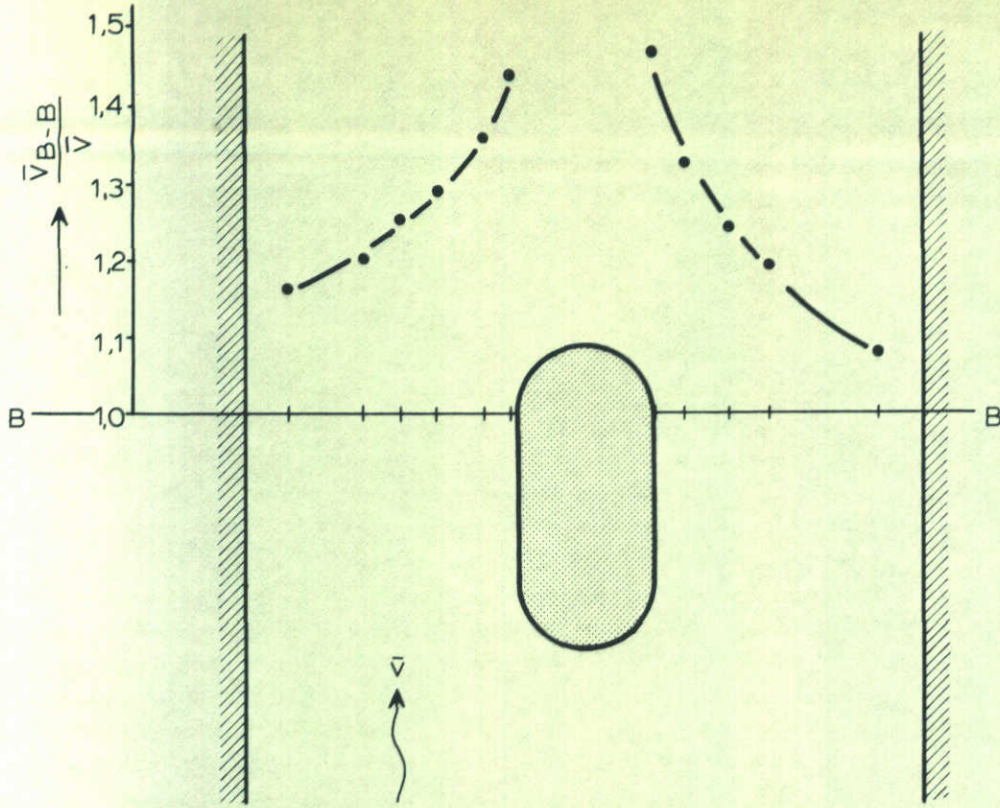
T16

\bar{v} model = 0,60 m/sec

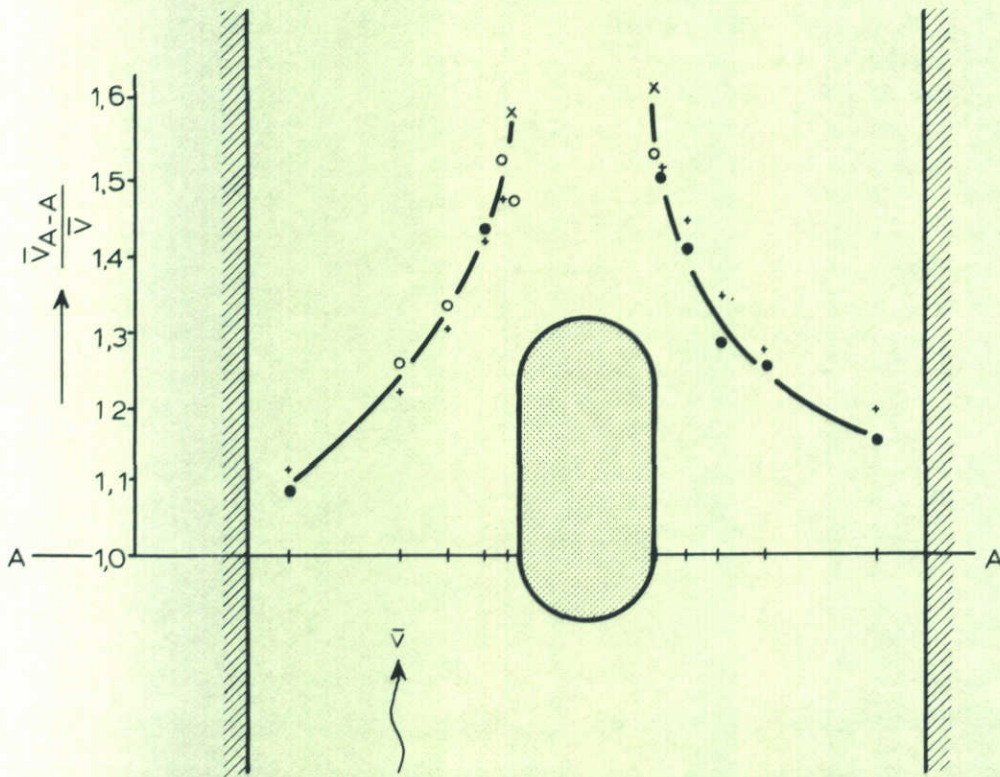
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 46



RAAI B-B



RAAI A-A

- ott-molen $\bar{v} = 0,40$ m/s
- micromolen $\bar{v} = 0,40$ m/s
- ott-molen $\bar{v} = 0,52$ m/s
- × micromolen $\bar{v} = 0,52$ m/s

stroomsnelheden zijn gemiddeld over de verticaal

STROOMSNELHEIDSVERDELING

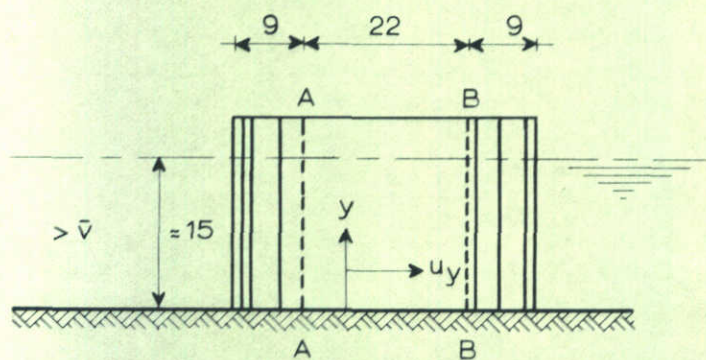
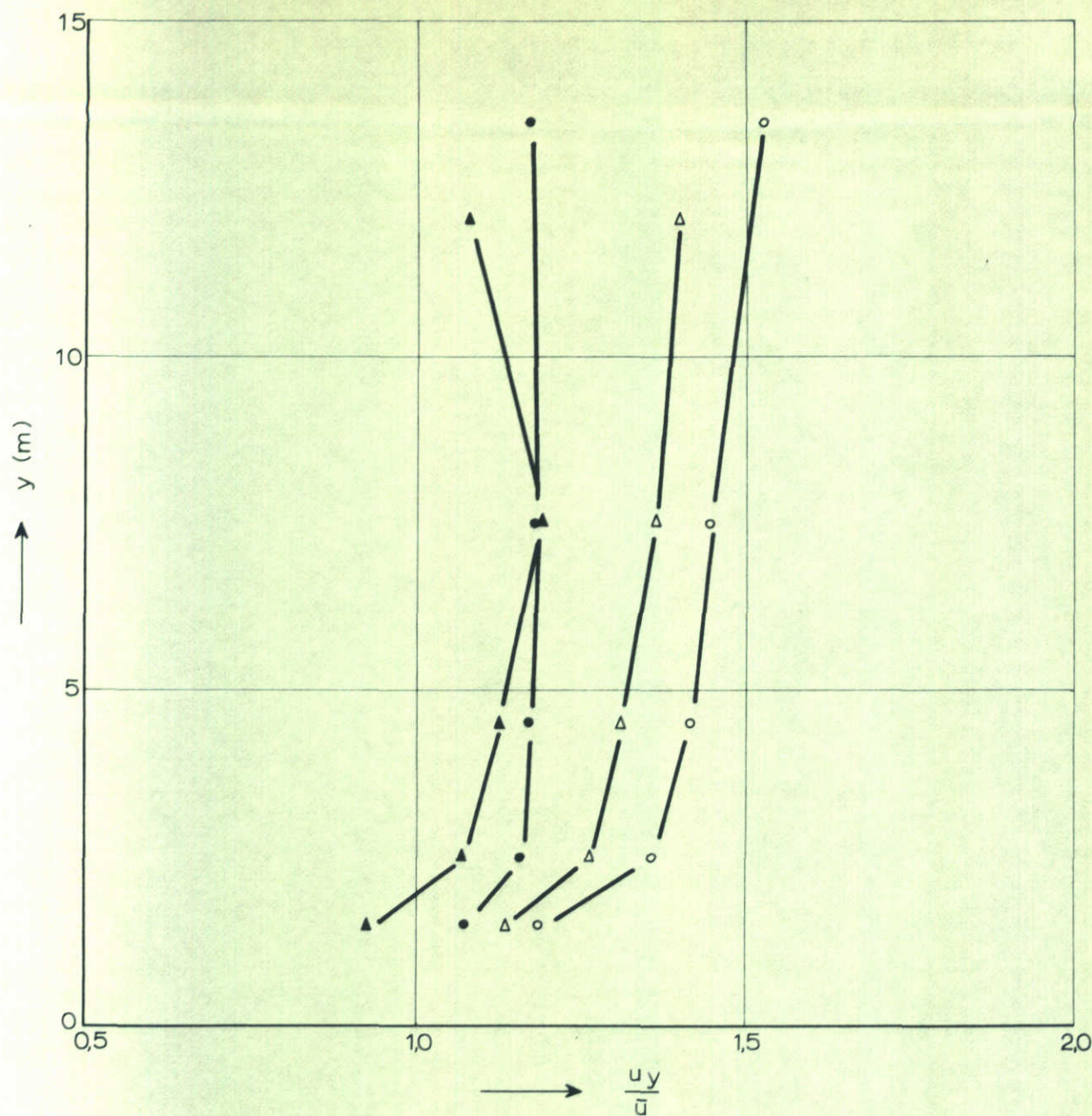
T 20

SCHAAL 1 : 1000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 47



- raai A-A 45 m uit putwand
- raai A-A 300 m uit putwand
- △ raai B-B 45 m uit putwand
- ▲ raai B-B 300 m uit putwand

prototypematen

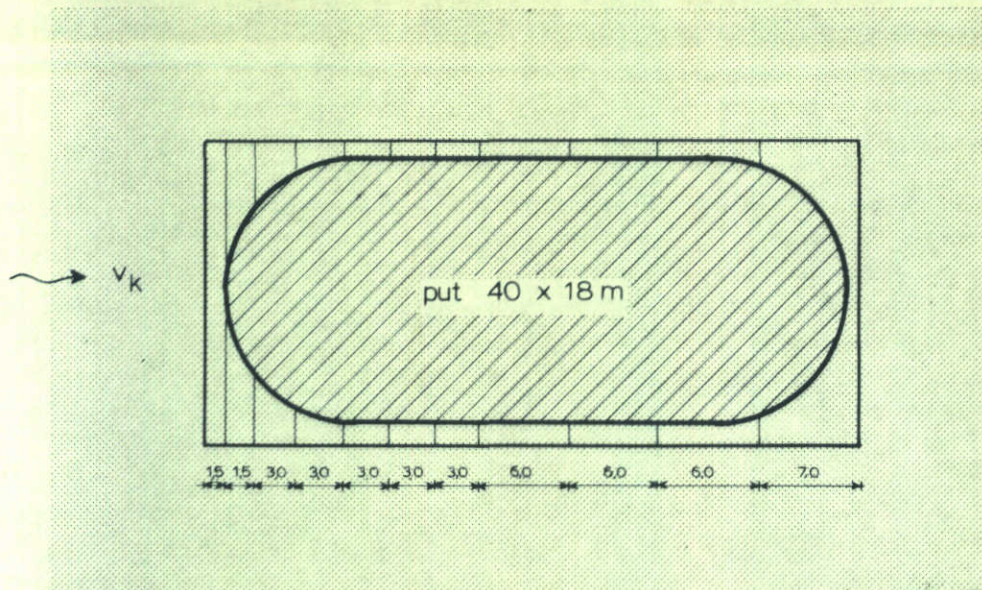
SNELHEIDSVERTICALEN

T 20

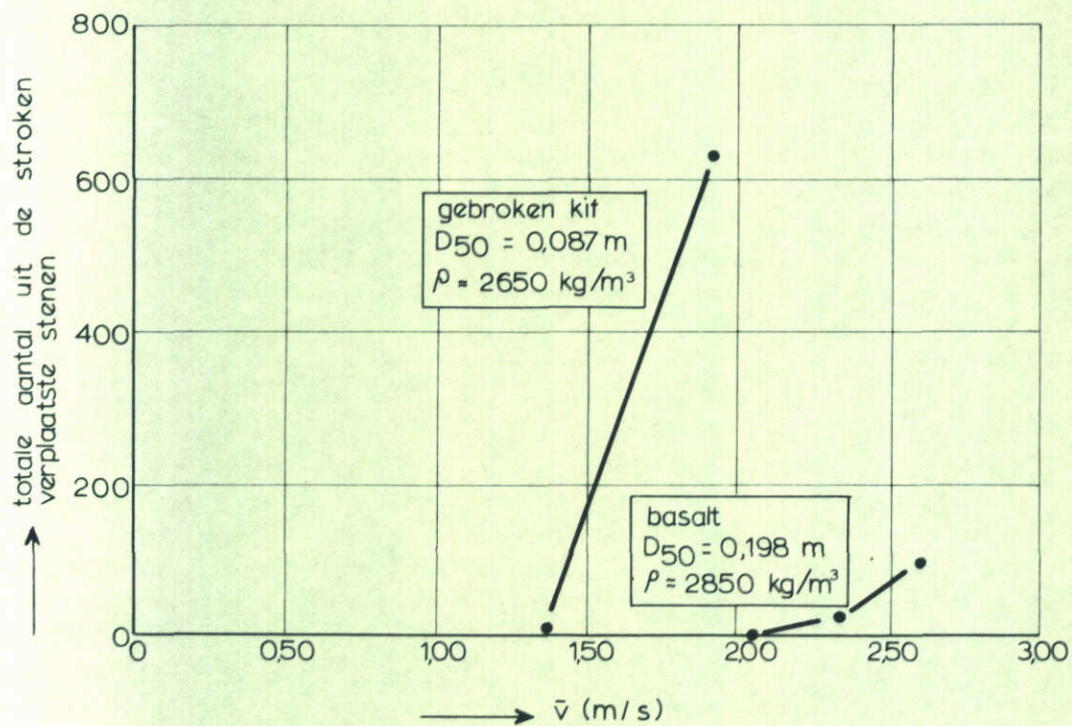
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

FIG. 48



VERDELING VAN BESTORTINGSSTROKEN



gebroken kif : $\bar{v}_k = 1,3$ m/s
 basalt : $\bar{v}_k = 2,0$ m/s

maten in m prototype

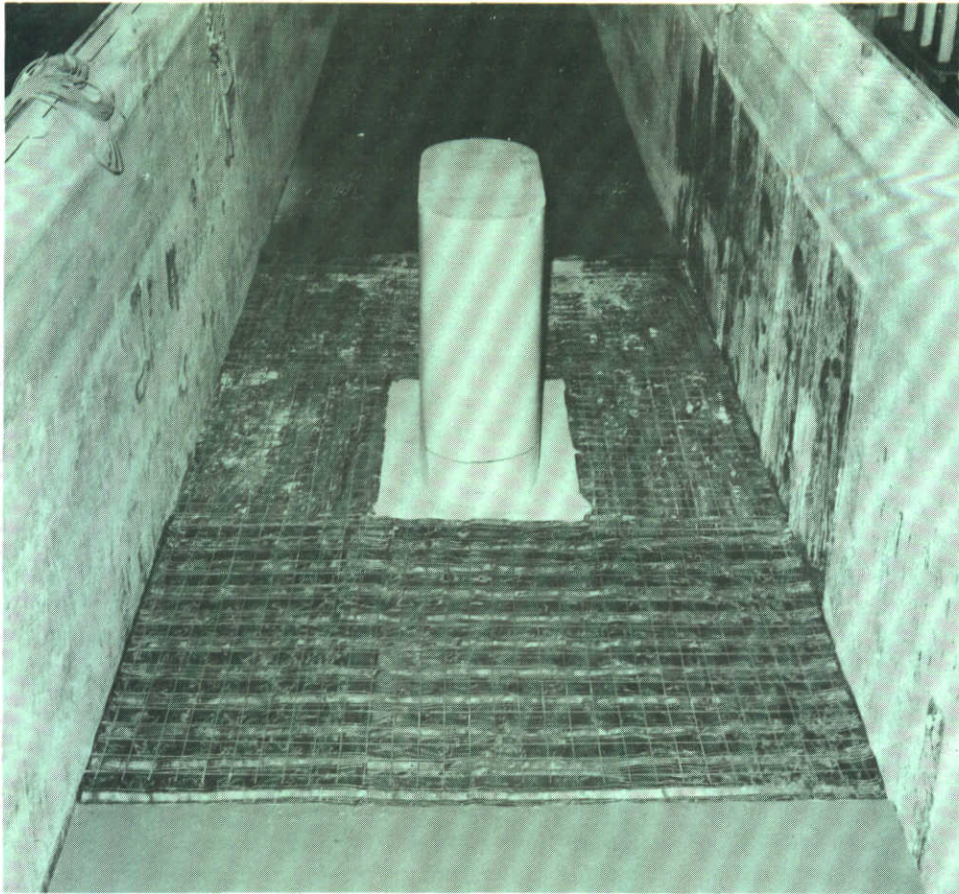
STABILITEIT BESTORTING ROND DE
 PUTTEN BIJ PLAATSING

T6 ,T8

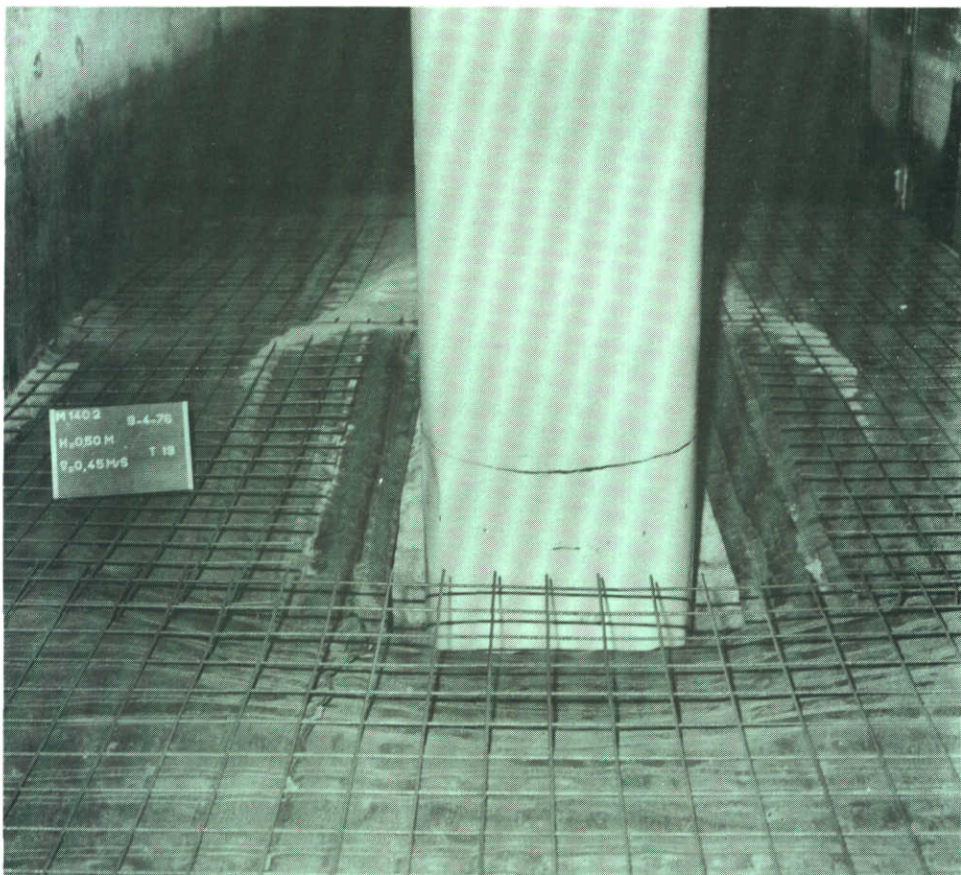
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1402

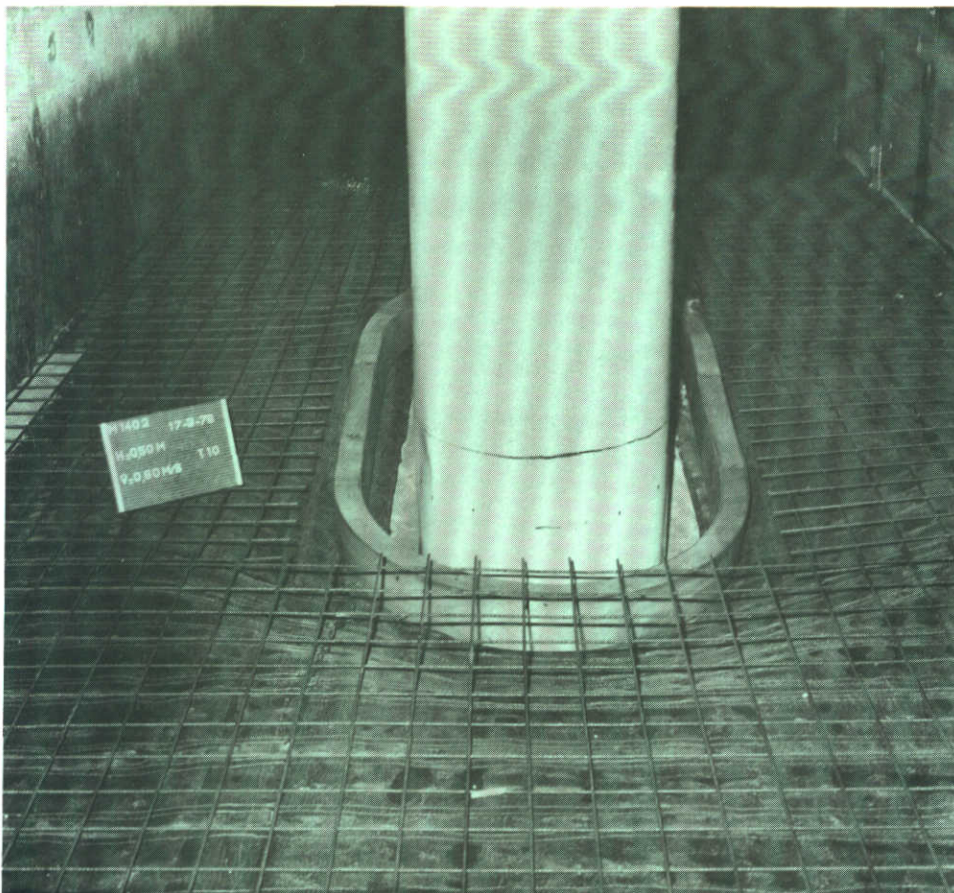
FIG. 49



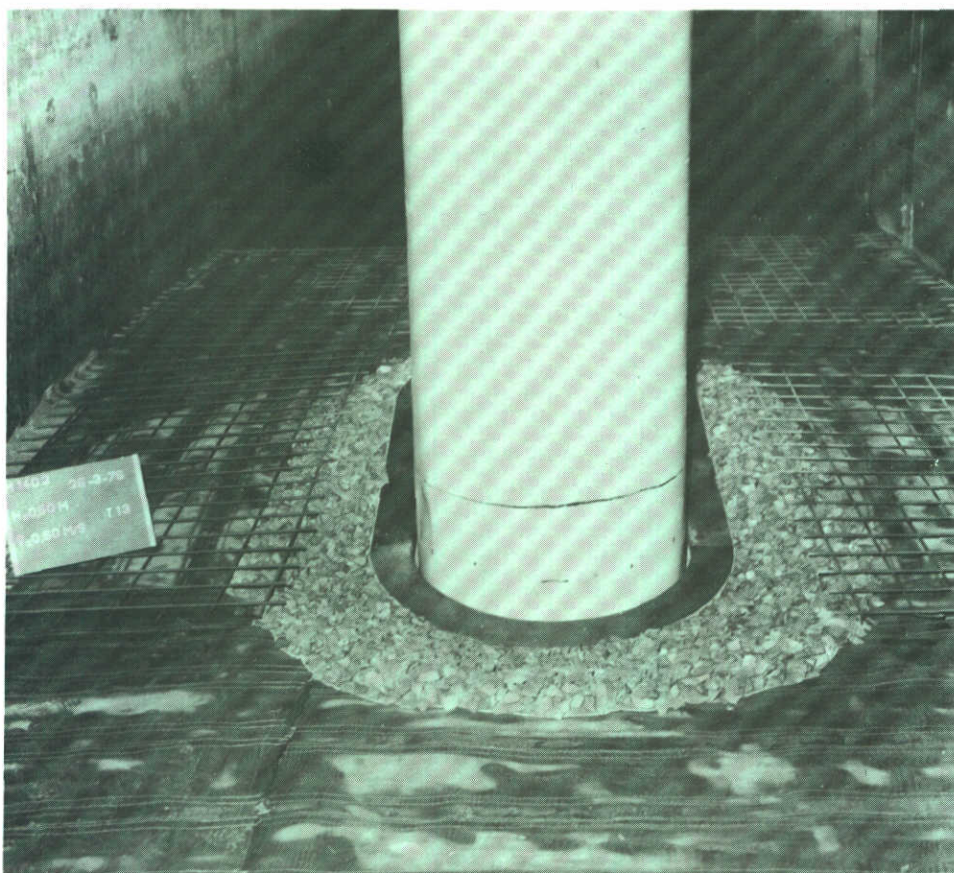
1 T1. Proefopstelling met spleetbreedte van 6 m



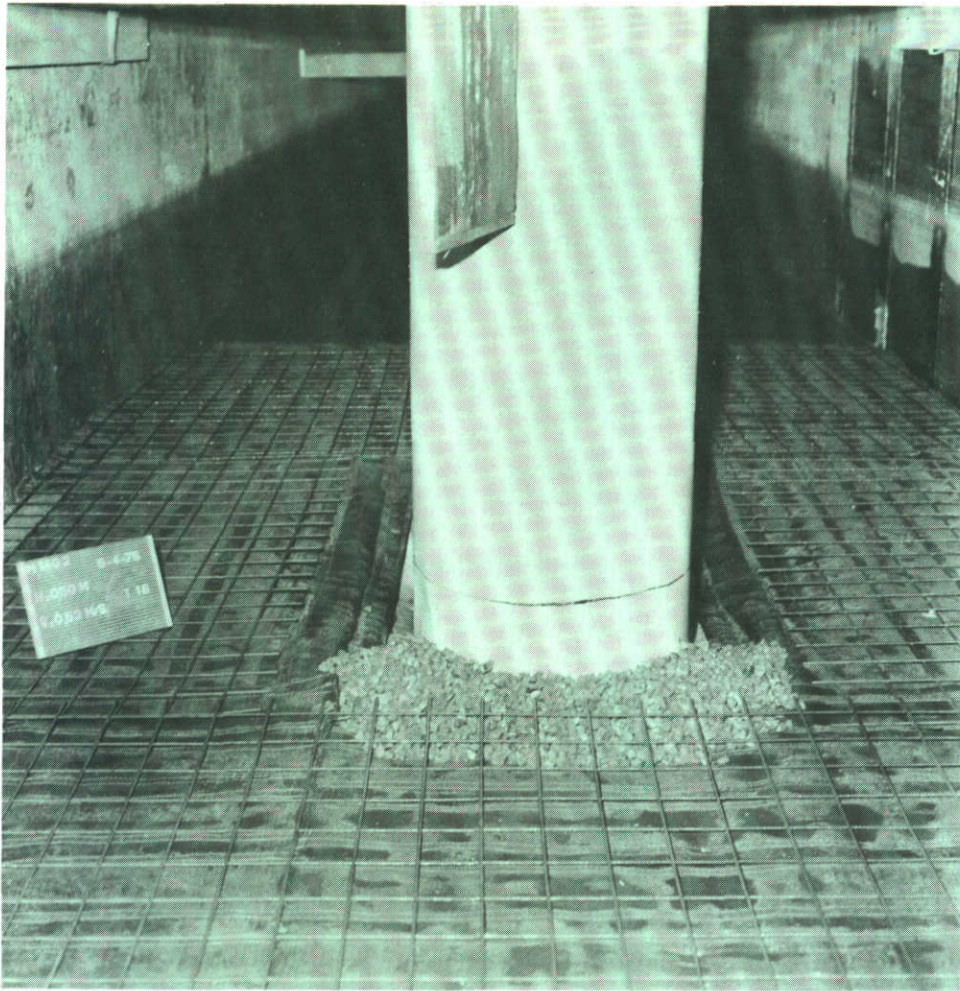
2 T19. Ontgraving bij alleen bodembescherming met spleetbreedte van 1,5 m



3 T10. Ontgroning bij stroombreker rond de put met spleetbreedte bodembescherming van 1,5 m



4 T13. Ontgroning bij ring rond de put met spleet tussen ring en put van 0,33 m



5 T18. Ontgroning bij bestorting rond bovestroomse putkop met spleetbreedte bodembescherming van 1,5 m

