

I Bd
1099-I

2e exemplaar

PLAATSING CAISSONS SLUITGAT KOUS

I

KRACHTEN EN BEWEGINGEN DOOR GOLVEN

VERSLAG MODELONDERZOEK

AEGEHANDELD

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
DELFT M 1099

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

PLAATSING CAISSONS SLUITGAT KOUS

KRACHTEN EN BEWEGINGEN DOOR GOLVEN

Rapport modelonderzoek

M 1099

augustus 1970

INHOUD

| | blz. |
|--|------|
| <u>I. INLEIDING</u> | 1 |
| I.1. Opdracht | 1 |
| I.2. Gegevens | 1 |
| I.3. Konklusies | 2 |
| <u>II. MECHANICA VAN DE STOOT</u> | 4 |
| <u>III. MODELLEN EN MODELOPSTELLINGEN</u> | 6 |
| III.1. Drijvende caisson | 6 |
| III.2. Staande caisson | 6 |
| III.3. Dynamometers | 6 |
| III.4. Sleepboot en troskrachtmeter | 7 |
| III.5. Verplaatsingsmeting | 8 |
| III.6. Inrichting golfgoot en instrumenten | 8 |
| <u>IV. METINGEN VAN DE KRACHTEN OP DE CAISSON</u> | 10 |
| IV.1. Programma | 10 |
| IV.2. Resultaten | 10 |
| IV.3. Kontroles van de schematisaties van het model | 11 |
| <u>V. METINGEN VAN DE TROSKRACHTEN</u> | 13 |
| V.1. Programma | 13 |
| V.2. Resultaten | 13 |
| <u>VI. METINGEN VAN DE HORIZONTALE BEWEGINGEN VAN DE CAISSON</u> | 14 |
| VI.1. Programma | 14 |
| VI.2. Resultaten | 14 |

FIGUREN

- 1^a. Overzicht windgotengebouw
- 1^b. Schema geprogrammeerde golfmachine
2. Situatie
3. Overzichtstekening doorlaatcaisson
4. Lijnenplan sleepboot Europa/Azië.
5. Indraaimanoeuvre
6. Energie van een veer
7. Model van de drijvende caisson
8. Model van de staande caisson
9. Plaatsing dynamometers en veren
10. Dwarskrachtdynamometers en ringdynamometer
11. Simulatie systeem sleepboten
12. Opstelling in de goot
13. Toegepaste golfspektra
14. Resultaten krachtmeting, $\alpha = 90^\circ$
15. Resultaten krachtmeting, $\alpha = 60^\circ$
16. Resultaten krachtmeting, $\alpha = 30^\circ$
17. Resultaten krachtmeting, $\alpha = 0^\circ$
18. Voorbeelden van krachtregistraties, $\alpha = 30^\circ$
19. Voorbeeld van een overschrijdingskromme van de krachten
20. Vergelijking verplaatsingen bij veerkrachtige en onveerkrachtige stoot
21. Resultaten troskrachtmeting, $\alpha = 90^\circ$
22. Resultaten troskrachtmeting, $\alpha = 30^\circ$
23. Resultaten troskrachtmeting, $\alpha = 0^\circ$
24. Voorbeeld troskrachtregistratie en overschrijdingskromme van troskrachten
25. Voorbeeld verplaatsingsmeting en overschrijdingskromme van verplaatsingen
26. Resultaten verplaatsingsmeting

PLAATSING CAISSONS SLUITGAT KOUS

KRACHTEN EN BEWEGINGEN DOOR GOLVEN

1. INLEIDING

1.1. Opdracht

Door de Rijkswaterstaat, Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst, werd tijdens een bespreking op 26 maart 1970 aan het Waterloopkundig Laboratorium opdracht gegeven tot het onderzoeken van enkele problemen bij de plaatsing van de caissons in het noordelijke sluitgat van het Brouwershavense Gat, het sluitgat "Kous" (fig. 2).

Het onderzoek diende het volgende te omvatten:

- de meting van krachten of stoten van de drijvende caisson op de reeds eerder geplaatste caisson, bij verschillende posities en verschillende belastingen van de drijvende caisson door sleepboten en onregelmatige golven
- de meting van de krachten in de tros van één van de sleepboten in verschillende posities en bij verschillende golfomstandigheden
- de meting van de horizontale bewegingen van de caisson in de positie die hij heeft vlak voordat hij wordt afgezonken.

Van de proeven dienden filmopnamen te worden gemaakt.

Het onderzoek is in nauw overleg met de opdrachtgever en de betrokken aannemers uitgevoerd door ir. J.H. van Oorschot en ir. J.D. van den Bunt, die ook dit rapport samenstelden.

1.2. Gegevens

De caisson is een zogenaamd doorlaatcaisson (fig. 3).

De meest relevante gegevens zijn:

| | | |
|---------------------------------|-----------------|-----------------------|
| lengte over alles | $L_{o.a.}$ | = 67,98 m |
| breedte inclusief drijfschotten | B | = 18,60 m |
| diepgang | T | = 5,92 m |
| deplacement in zoet water | ∇ | = 7070 m ³ |
| drukkingspunt boven basis | \overline{FK} | = 3,17 m |
| zwaartepunt boven basis | \overline{GK} | = 7,10 m |
| metacenterhoogte | \overline{MG} | = 1,12 m |

| | |
|--|---|
| dwarstraagheidsstraal | $k_{\varphi\varphi} = 8,25 \text{ m}$ |
| langstraagheidsstralen | $k_{\psi\psi} = k_{\theta\theta} = 20,60 \text{ m}$ |
| eigen slingerperiode (vlgs meting NSP) | $T_{\varphi} = 18,1 \text{ s}$ |
| eigen stamperperiode (vlgs meting NSP) | $T_{\psi} = 9,6 \text{ s}$ |

Ten aanzien van de golven werd opgegeven dat tijdens de plaatsing golfperioden tot circa 10 s met golfhoogten van 0,5 tot 1,0 m kunnen vóórkomen. De golfrichting zal steeds vrijwel loodrecht op het tracé van de toekomstige dam zijn.

Als maat voor de golfhoogte is steeds genomen de significante golfhoogte H_s en als maat voor de periode T_0 , de periode uit het energiespektrum met maximale energiedichtheid.

Degrootste sleepboot die zal worden gebruikt en waarvoor de trosskrachten moesten worden gemeten heeft een displacement van 280 m³. Het lijnenplan is gegeven in fig. 4. De maximale trekkracht bedraagt ca. 15 ton. Het sleepgerei zal bestaan uit een staaldraad met een lengte van 20 m waaraan een polypropylene-tros ter lengte van circa 40 m (afgezien van het deel wat aan boord ligt). De rek van het geheel bedraagt 1,05 m bij een trekkracht van 10 ton. Het gewicht van de staaldraad bedraagt 3,8 kg/m en dat van de polypropylene-tros 2,3 kg/m. De breeksterkte van het geheel is circa 55 ton.

De drempel in het sluitgat ligt op N.A.P.-10 m, tijdens de plaatsing, welke omstreeks laagwater kentering zal plaats vinden, is de waterstand ongeveer N.A.P. - 1 m. Bij het modelonderzoek is ervan uitgegaan dat het sluitgat vanaf zee wordt benaderd, de caisson vervolgens met een hoek tegen zijn voorganger wordt gezet en tijdens stroomkentering scharnierend om deze hoek wordt ingedraaid en afgezonken (fig. 5).

De verbinding tussen de beide caissons tijdens het indraaien wordt tot stand gebracht door een lier op de staande caisson met een konstante trekkracht van 6 ton, en door de sleepboten die de caisson tegen elkaar drukken.

1.3. Konklusies

a. Krachten op de caisson (fig. 14, 15, 16 en 17):

- voor golven met $T_0 < 5 \text{ s}$ en $H_s < 0,3 \text{ m}$ zullen geen stoten optreden, mits de voorspanning tussen de caissons tussen 5 en 30 ton piekbelasting bedraagt.

- voor $T_o = 5$ à 7 s, $H_s < 0,3$ m en een voorspanning van 10 à 30 ton zullen waarschijnlijk geen stoten optreden, doch dit is niet zeker.
- voor $T_o > 4$ s en $H_s > 0,4$ m, en voor $T_o > 7$ s en $H_s > 0,2$ m zullen zeer waarschijnlijk stoten optreden.
- voor $\alpha = 0^\circ$ tot 60° is de waarschijnlijkheid van het optreden van stoten niet sterk afhankelijk van de waarde van α .
- stoten treden op tussen de verdikking op de buitenkant van de staande caisson en de binnenkant van de buitenste rib van de drijvende caisson. Bovendien kunnen voor $\alpha < 45^\circ$, $T_o > 6$ s en een voorspanning > 30 ton piekbelastingen tussen de beide glijbolders optreden.
- indien stoten optreden zullen de daarbij behorende krachten groot zijn: indien de stijfheden van de caissons zo zijn dat een kracht tussen de caissons van 100 ton een verplaatsing van de drijvende caisson van 1 mm veroorzaakt, dan zullen krachten groter dan 1000 ton voorkomen.
- de grootte van de kracht varieert, bij gelijkblijvende impuls, met de wortel uit de stijfheid.

b. Troskrachten (fig. 21, 22 en 23):

- bij een trekkracht van de sleepboot van 10 ton, een golfhoogte $H_s = 1,0$ m en een golfperiode $T_o = 4,5$ s, $6,5$ s en $8,5$ s, zullen de maximale trekkrachten in de tros respectievelijk 17, 20 en 25 ton zijn.
- voor $H_s = 0,5$ m zijn de overeenkomstige krachten 12, 16 en 18 ton.
- voor een trekkracht van de sleepboot van 15 ton in plaats van 10 ton moeten de genoemde krachten in de tros met 5 ton worden vermeerderd.

c. Bewegingen van de caisson (zie fig. 26):

- voor $\alpha = 0^\circ$, $H_s = 0,5$ m en $T_o = 5$ tot 10 s moeten verplaatsingen uit de middenstand van de orde van 0,5 m worden verwacht.
- de bewegingen zullen ongeveer lineair met de golfhoogte variëren.

De troskrachten en de bewegingen van de caisson zullen voor de plaatsing waarschijnlijk geen problemen geven, doch de krachten tussen de caissons mogelijk wel. Een beperking van de krachten kan worden verkregen door op de verdikking op de staande caisson verend materiaal aan te brengen en de drijvende caisson zó te ballasten dat kontakten tussen de glijbolders minder snel zullen optreden.

II. MECHANICA VAN DE STOOT

De stoot (of klap of botsing) van de caissons op elkaar is het eenvoudigst voor te stellen wanneer het verschijnsel wordt geschematiseerd tot een één-dimensionaal en volkomen veerkrachtig geval, waarbij alle elasticiteit gekoncentreerd is op de plaats waar het contact optreedt. Dit is ook de schematisatie die in het model is toegepast. Wanneer de staande caisson daarbij volkomen star met de ondergrond is verbonden zal het mechanisme van de stoot als volgt zijn: de bewegende caisson met massa m en snelheid v heeft een kinetische energie $E_k = \frac{1}{2}mv^2$. Wanneer deze caisson de staande caisson raakt, wordt de kinetische energie omgezet in elastische energie, E_e in de denkbeeldige c.q. in het model reëel aanwezige veer. Ondervindt de veer een kracht F , een indrukking x en is de veerstijfheid $R = F/x$, dan is de energietoename bij een toename van de indrukking x met dx :

$$dE_e = F \cdot dx = R \cdot x \cdot dx$$

De totale energie in de veer is dan:

$$E_e = \int_0^x R \cdot x \cdot dx = \frac{1}{2} \cdot R \cdot x^2 = \frac{1}{2} \cdot F^2/R$$

Wanneer de caisson tot stilstand is gekomen, $\frac{1}{2}mv^2$ nul is geworden en derhalve E_e maximaal en gelijk aan de oorspronkelijke $E_k = \frac{1}{2}m \cdot v^2$ is, dan is F ook maximaal en gelijk aan

$$F_{\max} = \sqrt{2 \cdot R \cdot E_k} \quad (\text{zie ook fig. 6})$$

Wordt de R tweemaal zo groot (de veer tweemaal zo stijf), dan wordt F_{\max} $\sqrt{2}$ maal zo groot. Het is dus niet noodzakelijk de stijfheid in werkelijkheid op de juiste schaal in het model weer te geven, bij een afwijkende stijfheid kan de maximale kracht uit de stijfheidsverhouding worden berekend. Hierbij is verondersteld dat het verschil in stijfheden niet zo groot is, dat als gevolg daarvan de bewegingen van de drijvende caisson in het model essentieel anders zijn dan in het prototype.

De afwijkingen van de werkelijkheid met de beschreven schematisaties zijn de volgende:

- de elasticiteit zal niet in de betreffende hoek gekoncentreerd zijn. Wanneer een stoot optreedt zal zowel van de staande als van de drijvende caisson een groot deel van de konstruktie aan de vervorming meedoen. Dit zal enige invloed hebben op het verloop van de kracht in de tijd
- de stoot zal, zeker wanneer deze groot is, niet volkomen veerkrachtig zijn. Een deel van de energie wordt tijdens de stoot gedissipeerd door inwendige wrijving in de beton en door verbrijzeling van de beton in de omgeving van het kontaktpunt. De invloed hiervan, bij gegeven impuls van de stoot, op de maximale kracht is moeilijk te schatten
- hoewel de staande caisson zwaar geballast is en de onderkant van de bodem is voorzien van ribben zal mogelijk de caisson zich niet als volkomen star met de ondergrond verbonden gedragen. Daardoor kan de maximale kracht tijdens de stoot iets afnemen.

Door deze omstandigheden zal voor de juiste interpretatie van de in dit onderzoek gemeten krachten moeten worden bestudeerd hoe het verloop van de krachten en de vervormingen in de werkelijkheid zal zijn.

III. MODELOPSTELLING

III.1. Drijvende caisson

Het model van de drijvende caisson werd door de opdrachtgever ter beschikking gesteld. Het model was gebouwd door het Nederlands Scheepsbouwkundig Proefstation te Wageningen, de modelschaal was 1 : 25. In het N.S.P. waren met het model ook reeds dynamische proeven uitgevoerd waartoe het op de juiste massaverdeling was geballast. In het Waterloopkundig Laboratorium is het model opnieuw volgens de tekening van het N.S.P. geballast. Het stabiliteitskoppel en de eigen periode voor de slinger- en stampbeweging werden nog eens gecontroleerd en gekorrigeerd.

Verder werd het houten model op die hoek waar de beide caissons tegen elkaar zouden stoten versterkt met een stalen konstruktie (fig. 7).

III.2. Staande caisson

De staande caisson is zo stijf mogelijk gemaakt en star aan de vloer van de golfgoet vastgebout. De caisson was geheel van staal en slechts gelijkvormig aan het prototype voorzover dit van belang was voor de invloed van de caisson op de golfbeweging en verder voorzover de geometrie van invloed kon zijn op de krachten tussen de caissons (fig. 8).

Om de krachten ondubbelzinnig te kunnen meten zijn de caissons als stijve konstrukties uitgevoerd en is alle benodigde elasticiteit gekoncentreerd in de hoek van de staande caisson. Daar werden ook, door middel van de dynamometers en veren, de krachten gemeten.

III.3. Dynamometers

De meetopstelling was zó uitgevoerd dat afzonderlijk werden gemeten de krachten die aangrepen tussen 3,6 en 12 m boven de bodem en de krachten die daarboven, dus ter hoogte van de glijbolderkonstruktie aangrepen (fig. 9). Daarbij werden alleen de horizontale komponenten van de krachten in het vlak van de kopwand gemeten.

Voor de dynamometers zijn standaardinstrumenten gebruikt die uitsluitend de dwarskracht in één richting meten, en ongevoelig zijn voor

alle andere krachten en momenten (fig. 10). De toelaatbare belasting van de dynamometers bedraagt 40 kgf, de bezwijkbelasting circa 80 kgf.

Om de dynamometers niet te forceren zijn ze verbonden met twee bladveren met een zodanige veerkracht dat de van tevoren geschatte maximale belasting tijdens de proeven niet zou worden overschreden. Ook deze veersystemen zijn zo uitgevoerd dat ze in alle richtingen op één na stijf zijn. Door onvoldoende buigstijfheid van het geheel trad bij belasting echter behalve een translaterende ook een roterende beweging op, waardoor de veerconstante variëerde met de hoogte.

De voor de interpretatie van de metingen benodigde grootten van de veerstijfheden zijn bepaald op de plaatsen waar, volgens observaties, de stoten steeds aangrepen. Door middel van statische proeven werd voor het model gevonden:

$$\text{onder: } R_o = 13,9 \text{ kgf/mm}$$

$$\text{boven: } R_b = 33,0 \text{ kgf/mm}$$

De naar het prototype vertaalde waarden zijn dan:

$$\text{onder: } R_o = 86 \text{ ton/cm}$$

$$R_b = 206 \text{ ton/cm}$$

III.4. Sleepboot en troskrachtmeter

De sleepboten waren voor de bewegingen van de caisson alleen van belang voorzover ze door hun trekkracht (of duwkracht) de plaats van de drijvende caisson bepaalden of de vóórspanning tussen de beide caissons regelden. Daarom zijn voor de meting van de krachten tussen de caissons alleen de trekkrachten (of duwkrachten) van de boten in model weergegeven. Door middel van schijfjes waarover draadjes met aan het einde een hangend gewichtje werd volgens de juiste werklijn de kracht op de caisson aangebracht. Voor de sleepboten die geen vóórspanning leverden maar twee-aan-twee de caisson op zijn plaats moesten houden werd een systeem gebruikt zoals aangegeven in fig. 11.

Voor de meting van de krachten in de sleeptros van de boten was het wel nodig een boot op schaal in model weer te geven en een tros met de juiste elastische eigenschappen te simuleren. Van de betreffende sleepboot werd een model op schaal 1 : 25 gemaakt op basis van het lijnenplan dat via de opdrachtgever werd opgegeven (fig. 4).

De voortstuwing van de boot werd gesimuleerd door de boot met een konstante kracht op het juiste aangrijpingspunt naar voren te trekken middels een over een schijf hangend gewicht. Van de sleeptros werden zowel de elasticiteit van de tros als het effect van de zeeg in de tros in model gerepresenteerd door middel van een spiraalveertje aan een relatief lichte draad. De veerstijfheid van het geheel bedroeg 0,18 kgf/cm. De kracht in de tros werd gemeten met een ringdynamometer (fig. 10).

III.5. Verplaatsingsmeting

De horizontale verplaatsingen van de caisson werden gemeten met behulp van een draaipotentiometer. Daartoe werd een draadje wat aan de caisson was bevestigd over een wielletje op de as van de potentiometer geleid.

III.6. Inrichting golfgoot en instrumenten

De metingen werden uitgevoerd in de brede windgoot van het Laboratorium "Delft". Deze goot is 100 m lang en 8 m breed. De waterdiepte kan maximaal 0,8 m bedragen. Aan het ene einde van de goot is de golfopwekker opgesteld, aan het andere einde het golfdempende talud, het model stond vlak voor het talud (fig. 12).

Het golfschot wordt aangedreven door twee elektronisch bestuurd hydraulische plunjers, teneinde golven op te wekken die dezelfde statistische eigenschappen hebben als de golven in het prototype. Het elektronische signaal wordt verkregen door het signaal van een ruisgenerator met behulp van een set elektronische filters zodanig aan te passen dat het gewenste energiespectrum van de golven wordt verkregen. Hierbij werd geen wind toegepast.

De bodemconfiguratie en de drempel van het sluitgat werden niet in het model weergegeven: de waterdiepte was in de hele goot gelijk aan de waterdiepte boven de drempel. Verwacht wordt dat deze afwijking van het model geen merkbare invloed op de resultaten heeft.

De met behulp van rekmeters verkregen uitgangssignalen van de dynamometers werden geregistreerd met een U-V recorder die in staat is de snelle stijgtijden van de stoten zonder vervorming weer te geven. Het signaal van de potentiometer werd geregistreerd met een Sanborn-schrijver. De registraties werden met de hand uitgewerkt.

De registratie en de verdere verwerking van de golfmetingen geschiedde met de standaard apparatuur van de windgoot, onder andere bestaande uit een spectrum analysator in combinatie met een "totale energie" bepaler en enkele golfhoogten-analysatoren. Enkele kenmerkende spectra zijn weergegeven in fig. 13.

IV. METINGEN VAN DE KRACHTEN OP DE CAISSON

IV.1. Programma

Voor de metingen van de krachten op de staande caisson werden gevarieerd:

- de hoek α tussen de k pwallen van de beide caissons. Daarbij dienden de proeven met $\alpha = 90^\circ$ voornamelijk als verkenning. Deze situatie zal namelijk in werkelijkheid waarschijnlijk niet v orkomen
- de denkbeeldige posities van de verschillende sleepboten
- de verdeling van de energie van de golven over het periodegebied, gekarakteriseerd door de vorm van het spektrum en de ligging van de top
- de significante hoogte van de onregelmatige golven.

Het volledige programma is samengevat in fig. 14, 15, 16 en 17.

De keuzen van de posities van de sleepboten en van de trekkrachten zijn gemaakt na overleg met de opdrachtgever.

IV.2. Resultaten

Het mechanisme van de beweging van de drijvende caisson en van de krachten op de staande caisson bleek min of meer afhankelijk van de voorspanning tussen de caissons. Waar de golfkrachten groot waren ten opzichte van de voorspanning dreef de caisson bijna voortdurend vrij en kwam af en toe met een klap tegen de andere caisson aan waarna hij weer terugveerde. (Omtrent het effect van dit terugveren, zie IV.3).

Wanneer de golfkrachten klein waren ten opzichte van de voorspanning maakten de caissons gedurende het grootste gedeelte van de tijd contact met elkaar en werd slechts af en toe de drijvende caisson door een hoge golf van de andere losgetrokken, kwam vervolgens met een klap weer terug, waarna hij wat naveerde. (In dat geval werd overigens bij het uitwerken alleen de eerste krachtpiek beschouwd en werden de volgende pieken van zo'n serie genegeerd.) Beide mechanismen leidden elk tot een eigen karakteristieke registratie, zie fig. 18.

Voor iedere situatie werden steeds gedurende 30 minuten (prototype) de krachten en/of verplaatsingen gemeten.

Bij het uitwerken werden de krachten op grootte gerangschikt en als overschrijdingskrommen uitgezet op enkel-logaritmisch papier. Deze lijnen bleken, voor niet te grote frekwenties van v orkomen, over een

klein gebied benaderd te kunnen worden door rechten. Bovendien bleek de verhouding tussen de kracht die per half uur éénmaal werd overschreden en die welke in die tijd tienmaal werd overschreden voor alle proeven vrijwel konstant, namelijk 1,4 à 1,5 voor de krachten op het onderste stuk en 1,55 à 1,65 voor het bovenste deel (fig. 19). Deze omstandigheid opent de mogelijkheid om de overschrijdingskromme steeds met één getal adequaat te karakteriseren. Daarvoor is genomen F_{10} , respectievelijk F_{10}^1 , dit is de kracht op de onderste, respectievelijk bovenste dynamometer die gemiddeld eenmaal per 10 minuten (prototype) wordt overschreden.

Een soortgelijke maat is afgeleid voor die gevallen waarin de voorspanning ten opzichte van de golfkrachten zó groot was dat het contact tussen de beide caissons niet werd verbroken. Daarbij varieerde de kracht wel. F_{ks} is de kwasi-statische kracht die eens per 10 minuten werd overschreden.

Opgemerkt wordt dat de omrekeningsfactoren van model naar prototype voor F_{10} (of F_{10}^1) en F_{ks} verschillend zijn. Voor F_{ks} is dit getal overeenkomstig de modelwet van Froude 25^3 , voor F_{10} en F_{10}^1 moet bovendien de relatieve verhouding van de veerstijfheden in model en prototype worden verrekend.

De resultaten van de krachtmetingen zijn samengevat in fig. 14, 15, 16 en 17. Daarbij zijn F_{10} en F_{10}^1 uitgedrukt in ton aangenomen dat de effectieve stijfheden van de beide caissons samen zodanig zijn dat een kracht van 100 ton een verplaatsing van de drijvende caisson in de richting van de kracht van 1,0 cm geeft. Bij afwijkende stijfheden variëren F_{10} en F_{10}^1 met de wortel uit de veerstijfheid.

IV.3. Kontroles van de schematisaties van het model

a. Invloed van de schematisatie van de sleepboten.

Voor één geval is nagegaan in hoeverre de schematisatie van het systeem (elastische tros - sleepboot met voortstuwing, massa en weerstand - in golven) tot een systeem waarbij alleen de voortstuwing in het model werd gereproduceerd door een konstante kracht, invloed heeft op de optredende krachten. Daartoe zijn voor $\alpha = 30^\circ$, $T = 6,5$ s en $H_s = 0,5$ m vergeleken de drie situaties waarbij de sleepboot S respectievelijk werd voorgesteld door een konstante kracht overeenkomend met 16 ton, door dezelfde kracht op de sleepboot werkend met

tussen de sleepboot en de caisson een starre draad en een draad met de juiste elasticiteit. Daarbij bleken de waarden van F_{10} in model achtereenvolgens 32, 30 en 31 kgf te bedragen, zodat de betreffende schematisatie alleszins geoorloofd lijkt.

b. Invloed van de volkomen veerkrachtigheid van de stoten

Waarschijnlijk zal in werkelijkheid na een stoot de drijvende caisson niet terugveren. Een groot deel van de energie zal in botsing worden gedissipeerd. Dit is echter onmogelijk weer te geven in een model waarin ook krachten moeten worden gemeten. Om toch een indruk van het effect van deze afwijking van het model ten opzichte van het prototype te krijgen is het volgende gedaan: voor $\alpha = 30^\circ$ en variërende T , H_s en S is de horizontale beweging van de hoek van de drijvende caisson gemeten (fig. 20). Dit is gedaan voor de normale modelopstelling met de elastische veren en voor de opstelling waarbij in de veren een sterke demping was aangebracht, en waarvoor dus geen krachten konden worden gemeten. Daarbij zijn de overeenkomstige verplaatsingsregistraties vergeleken. De demping bleek op het grootste deel van de registratie een duidelijke invloed te hebben, maar juist bij de zwaarste stoten, n.l. op die ogenblikken dat een grote golf de drijvende caisson enige afstand van de staande wegtrok om hem daarna met relatief grote snelheid terug te verplaatsen, vertoonden de registraties geen verschillen. Voor een karakteristiek registratiegedeelte zie men fig. 20. Daaruit valt te concluderen dat de invloed van de demping op de impuls die bij F_{10} hoort gering zal zijn. De omrekening van de impuls naar een maximale kracht op de caisson hangt af van de aard van de demping in de werkelijkheid en valt buiten het bestek van dit onderzoek.

V. METINGEN VAN DE TROSKRACHTEN

V.1. Programma

De troskrachten zijn gemeten met de caisson in de posities 90° , 30° en 0° en de sleepboot in een zodanige positie dat de troskrachten maximaal zouden zijn. Daarbij was de trekkracht van de sleepboot 10 ton, de golfperiode 4,5 ; 6,5 en 8,5 s en de golfhoogte 0,5 en incidenteel 1,0 m. Het volledige programma is samengevat in fig. 21, 22 en 23.

V.2. Resultaten

Een karakteristieke registratie is gegeven in fig. 24. De 50 grootste krachten zijn op waarde gerangschikt en als overschrijdingskromme uitgezet op enkel-logaritmisch papier. Deze lijnen bleken voor kleine overschrijdingsfrequenties over een beperkt gebied te kunnen worden benaderd door rechten met een zodanige helling dat de kracht die per half uur eenmaal werd overschreden steeds 1,10 à 1,15 maal zo groot was als de kracht die in die tijd 10 maal werd overschreden (fig. 24). Als kenmerkende kracht is genomen T_{10} , dit is de kracht die gemiddeld eens per 10 minuten wordt overschreden. Alle resultaten zijn op deze wijze samengevat in fig. 21, 22 en 23.

Wanneer de trekkracht van de sleepboot 15 ton wordt in plaats van 10 ton, dan zal de T_{10} bij benadering ook met 5 ton toenemen.

VI. METINGEN VAN DE HORIZONTALE BEWEGINGEN VAN DE CAISSON

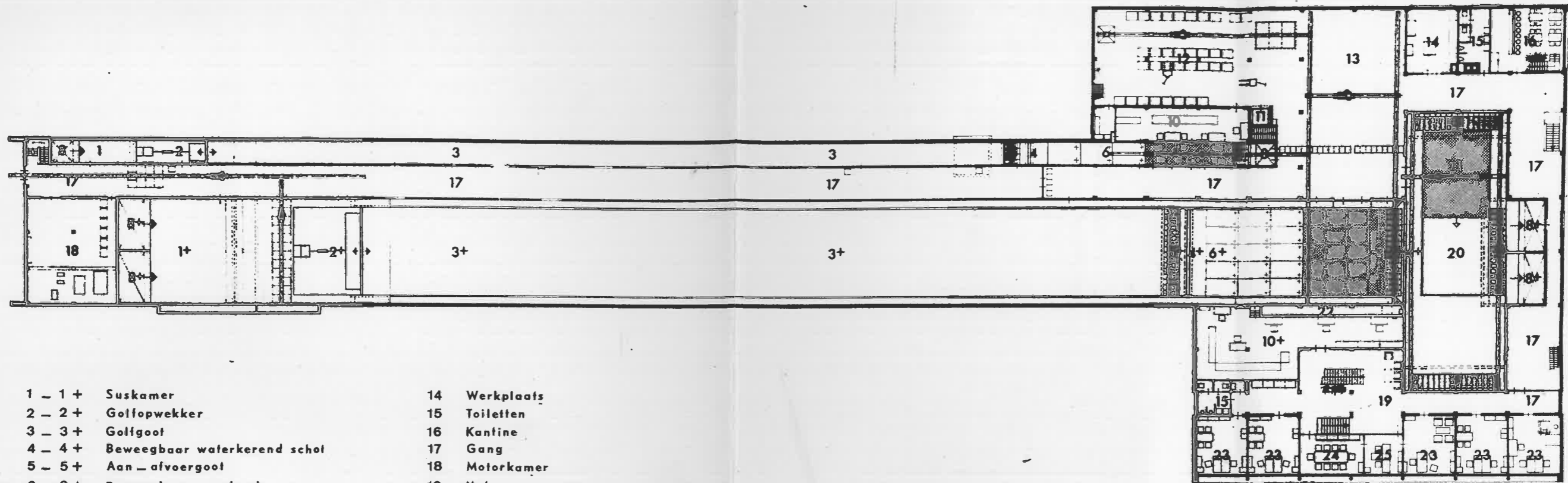
VI.1. Programma

Het was gewenst een indruk van de door de golven veroorzaakte horizontale bewegingen van de caisson te krijgen, speciaal tijdens de afzinkmanoeuvre. Daaruit zou een schatting kunnen worden gemaakt van de te verwachten afwijkingen tussen zijn eindpositie en de gewenste positie. Niet het afzinken zelf is gesimuleerd, maar de caisson is in de positie als aangegeven in fig. 26 gebracht zonder dat waterballast werd aangebracht. De bewegingen zijn gemeten voor $T = 4,5$ s, $6,5$ s en $8,5$ s met een golfhoogte van $0,5$ m en incidenteel van $1,0$ m (fig. 26).

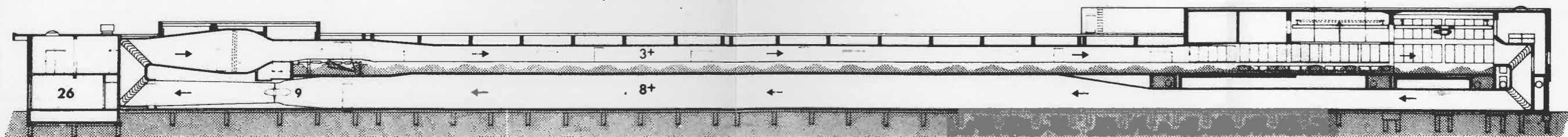
VI.2. Resultaten

Een karakteristieke registratie en de definitie van de verplaatsing x_{10} zijn gegeven in fig. 25. Ook hiervoor verliep de frekwentielijn weer vrij regelmatig. De verplaatsing die één maal per half uur werd overschreden was ongeveer $1,5$ maal zo groot als die welke in dezelfde tijd tien maal werd overschreden. De waarden die betrekking hebben op een overschrijding van een maal per 10 minuten, x_{10} , zijn opgenomen in de tabel van fig. 26.

Deze proef was in wezen zeer summier en de verschillen met de werkelijke afzinkmanoeuvre waren te groot dan dat er betrouwbare kwantitatieve resultaten uit zouden komen. Evenwel zijn de verplaatsingen die werden gemeten zo klein dat wat dit betreft kan worden gesteld dat bij het afzinken geen moeilijkheden zullen vóórkomen.



- | | | | |
|-----------|------------------------------|----|-----------------------------|
| 1 - 1 + | Suskamer | 14 | Werkplaats |
| 2 - 2 + | Golfopwekker | 15 | Toiletten |
| 3 - 3 + | Golfgoot | 16 | Kantine |
| 4 - 4 + | Beweegbaar waterkerend schot | 17 | Gang |
| 5 - 5 + | Aan-afvoergoot | 18 | Motorkamer |
| 6 - 6 + | Beweegbaar voorland | 19 | Hal |
| 7 - 7 + | Modelgedeelte | 20 | Golfbassin |
| 8 - 8 + | Retourkanaal | 21 | Vrijrijbare vloer |
| 9 | Ventilatoren | 22 | Verzonken waarnemingsruimte |
| 10 - 10 + | Meet-en controlekamer | 23 | Kantoren |
| 11 | Lift | 24 | Bespreekkamer |
| 12 | Opslag | 25 | Receptie |
| 13 | Bouwplaats modellen | 26 | Transformatorruimte |
- + heeft betrekking op de 8m brede goot



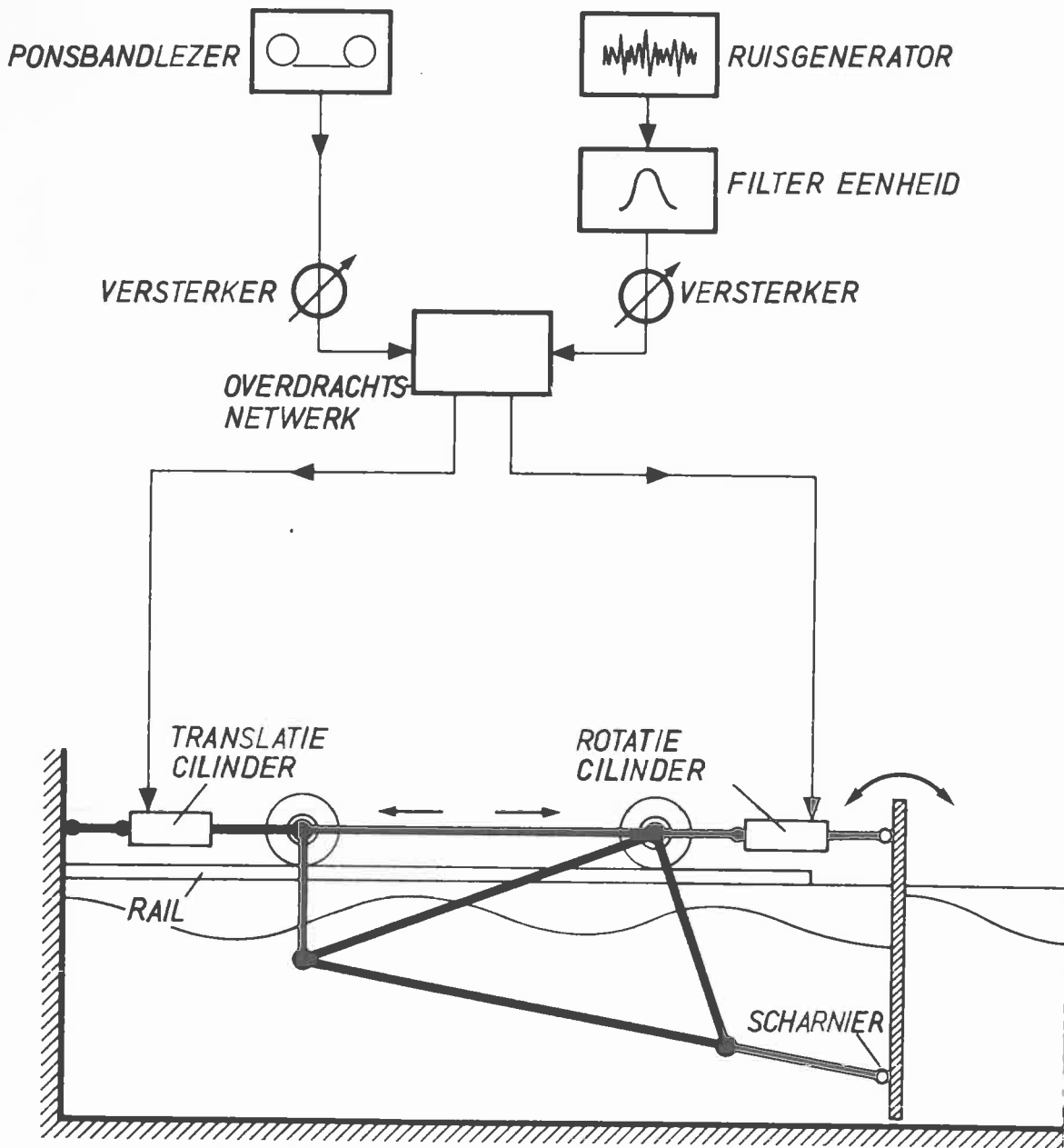
OVERZICHT WINDGOTENGEBOUW

JM

A3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1099-1025 FIG 1A



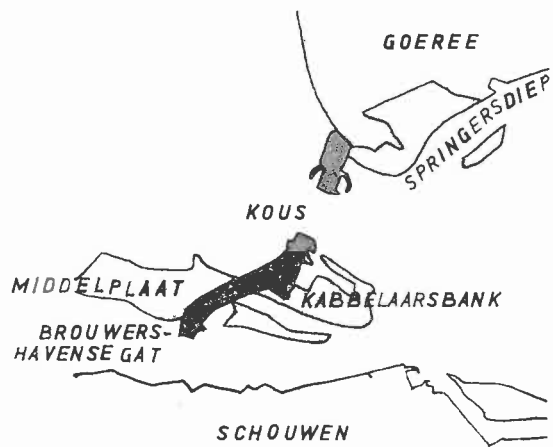
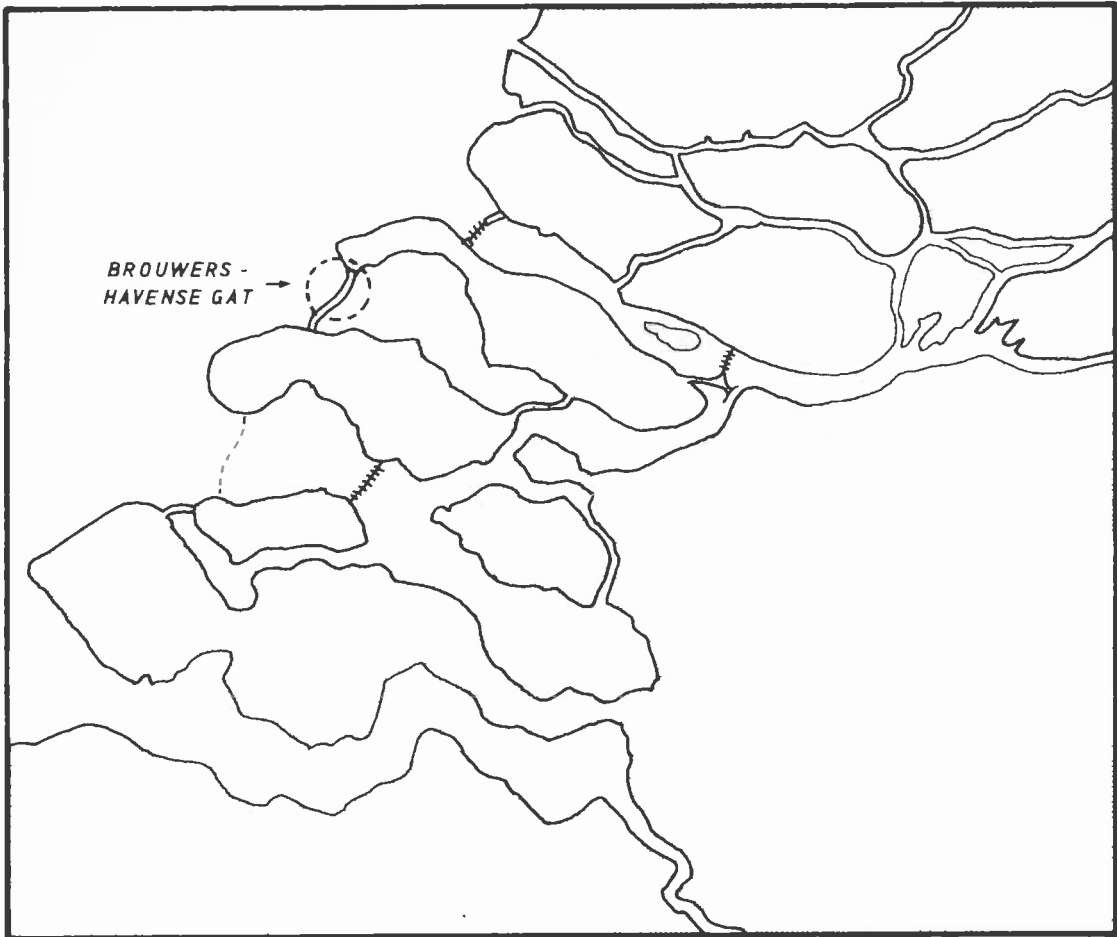
SCHEMA GEPROGRAMMEERDE GOLFMACHINE

JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

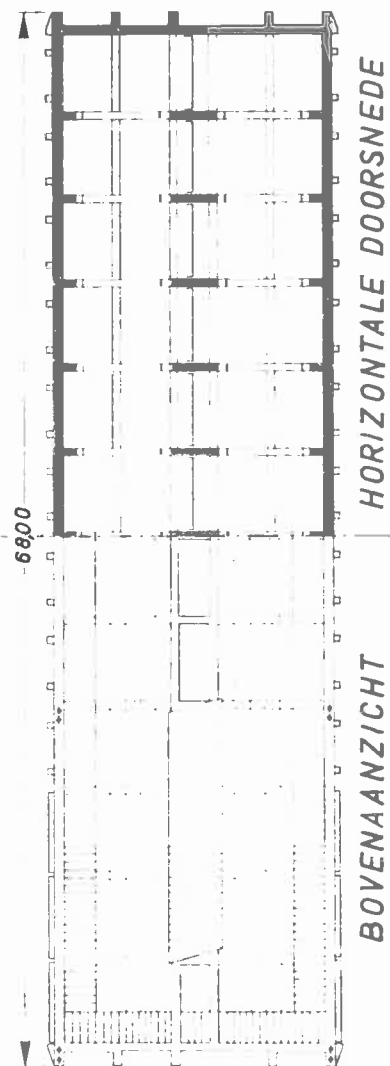
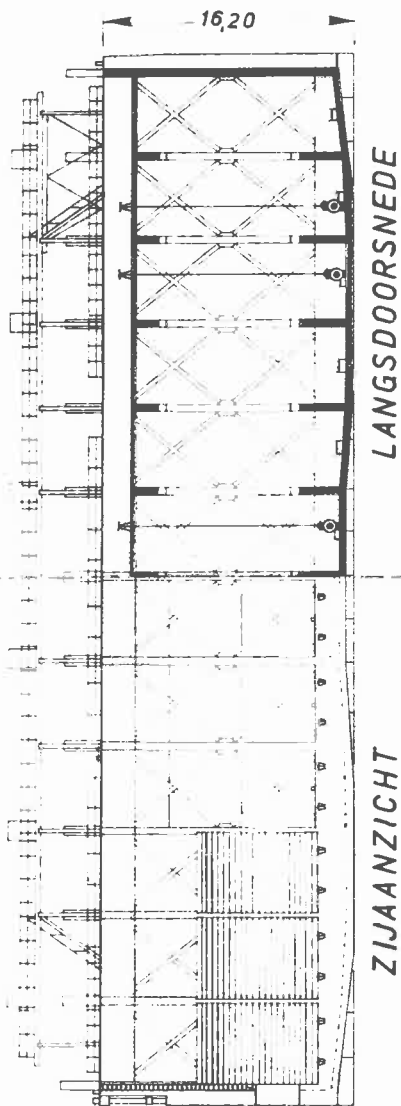
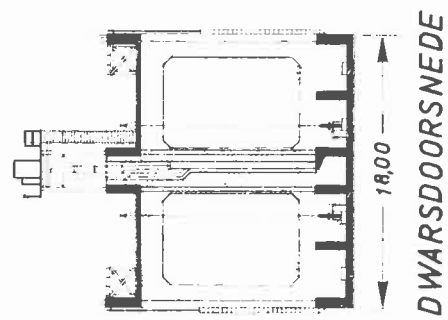
M 1099-1024 FIG. 1 B



SITUATIE

JM

A4



OVERZICHTSTEKENING DOORLAATCAISSON

MATEN IN m

JM

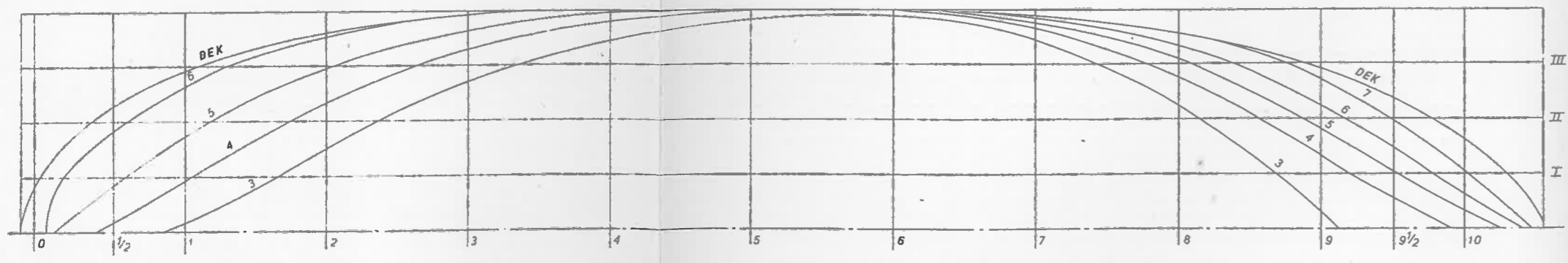
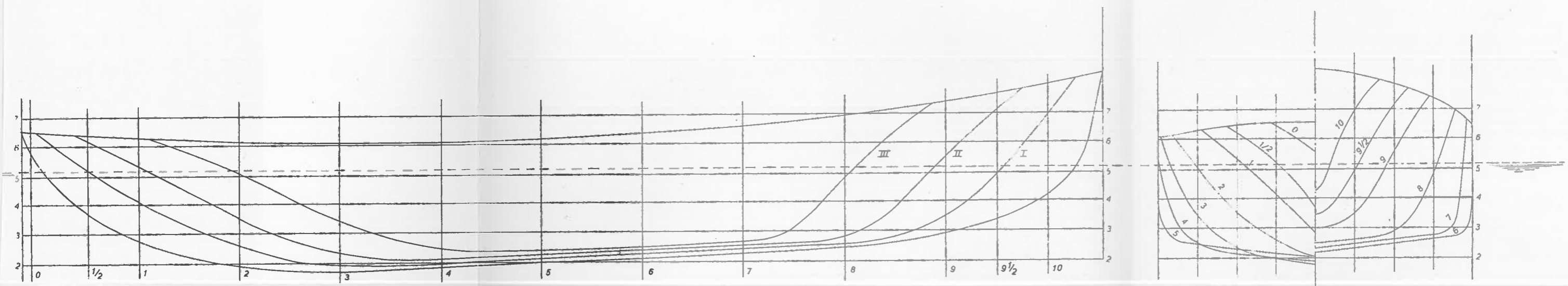
SCHAAL 1:500

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1099-1021

FIG 3



LIJNENPLAN SLEEPBOOT EUROPA/AZIE

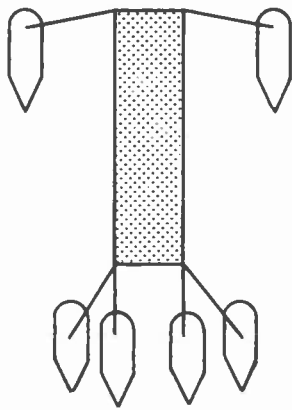
A3

SCHAAL 1 : 100 JM

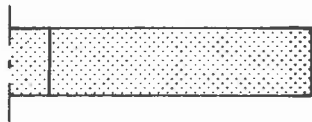
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1099-1023 FIG 4

GOLVEN



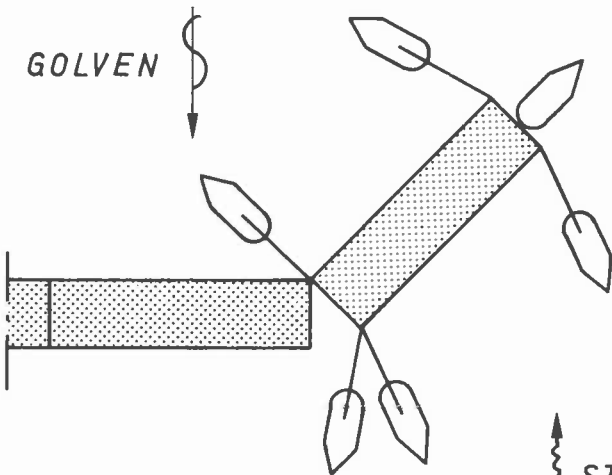
VARENDE NAAR SLUITGAT
EN PARKEREN



STROOM



GOLVEN

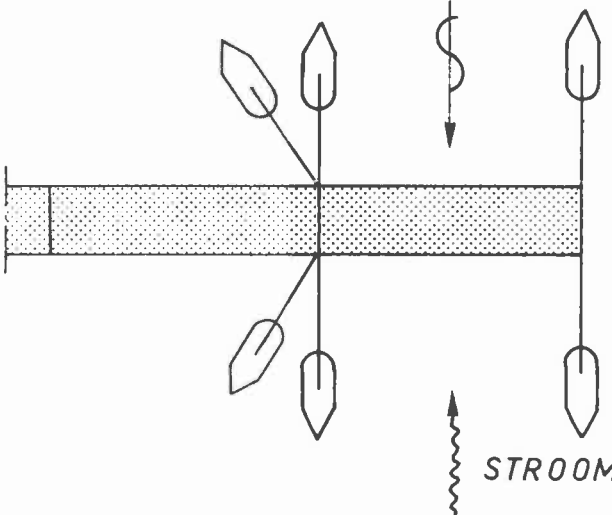


INDRAAI MANOEUVRE

STROOM



GOLVEN



AFZINK POSITIE

STROOM



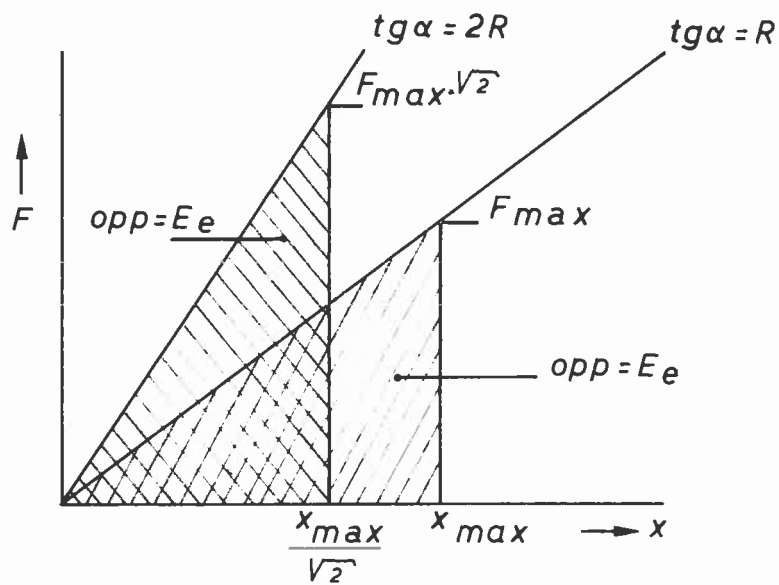
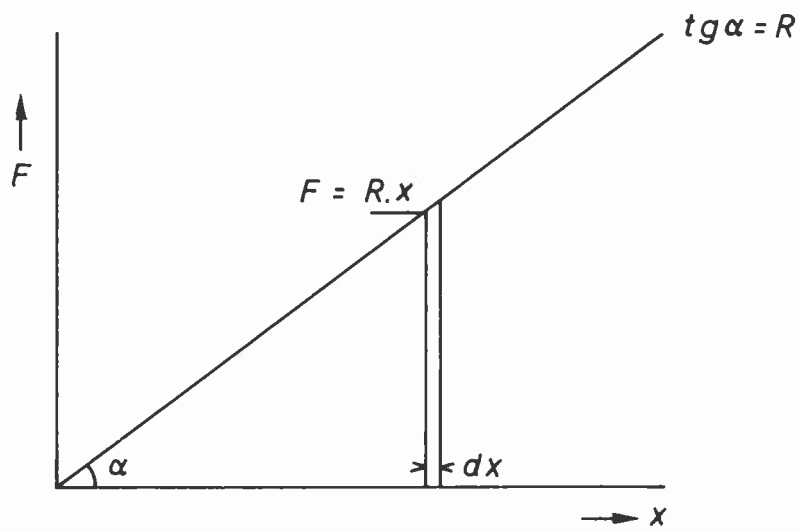
INDRAAI MANOEUVRE

JM

SCHAAL 1:2000 A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1099 - 1005 FIG 5



ENERGIE VAN EEN VEER

JM

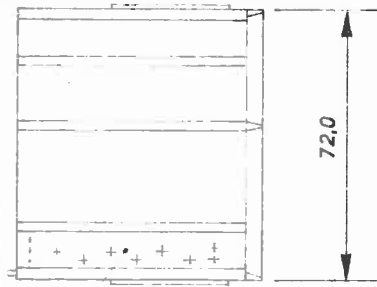
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

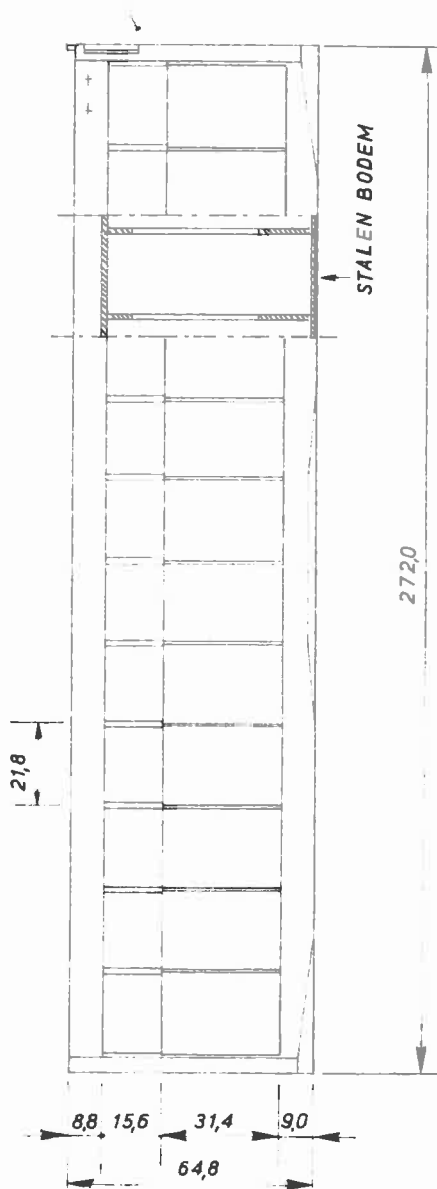
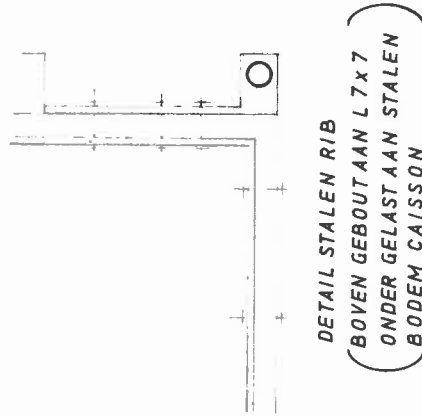
M 1099-1005

FIG 6

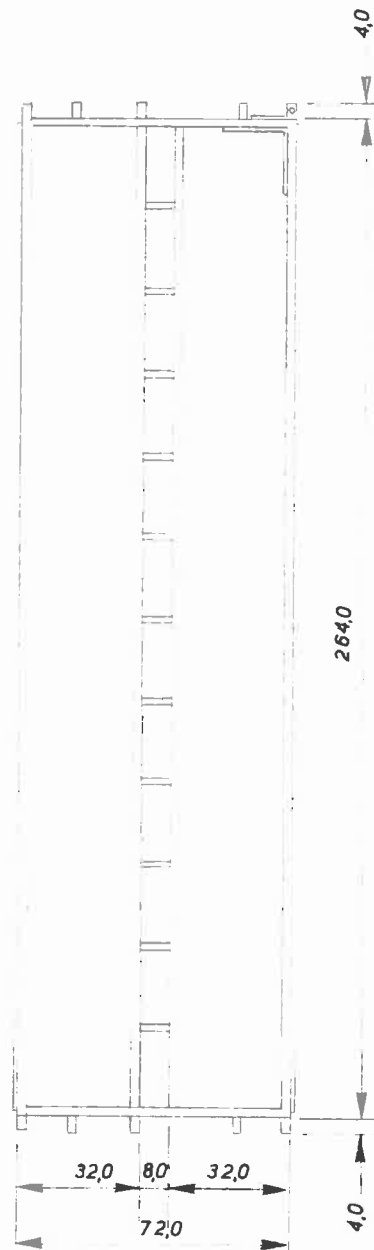
STALEN RIB MET
BEVESTIGINGSFLENS



AANZICHT KOPWAND



ZIJAANZICHT ZEEZIJDE



BOVEN AANZICHT

MATEN IN cm (LENGTESCHAAL MODEL 1 : 25)

MODEL VAN DE DRIJVENDE CAISSON

JM

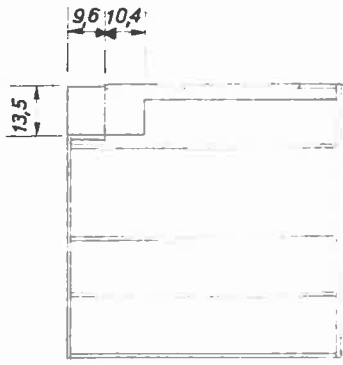
SCHAAL 1 : 20

A4

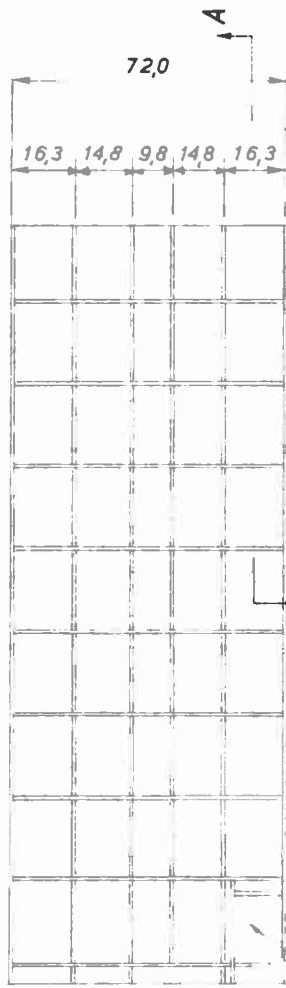
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1099-1004

FIG 7

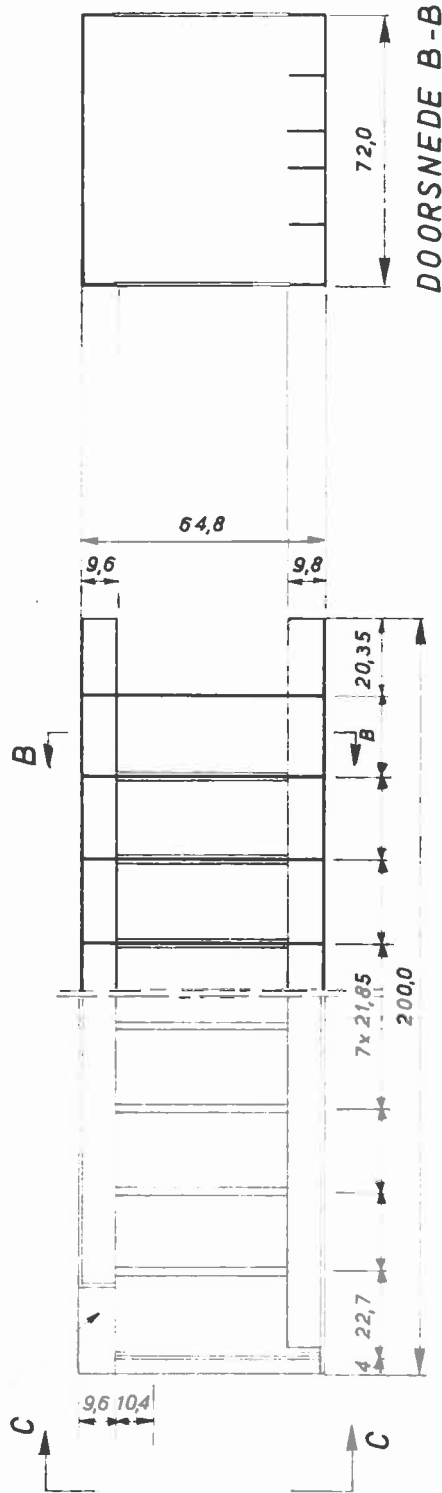


AANZICHT C-C



BOVENAANZICHT
ZONDER BOVENPLAAT

RUIMTE VOOR
BEVESTIGING
DYNAMOMETERS



DOORSNEDE A-A

MATEN IN cm (LENGTESCHAAL MODEL 1 : 25)
GELASTE KONSTRUKTIE, BODEMPLAAT $\delta = 8$ mm
OVERIGE PLATEN EN RIBBEN $\delta = 6$ mm

MODEL VAN DE STAANDE CAISSON

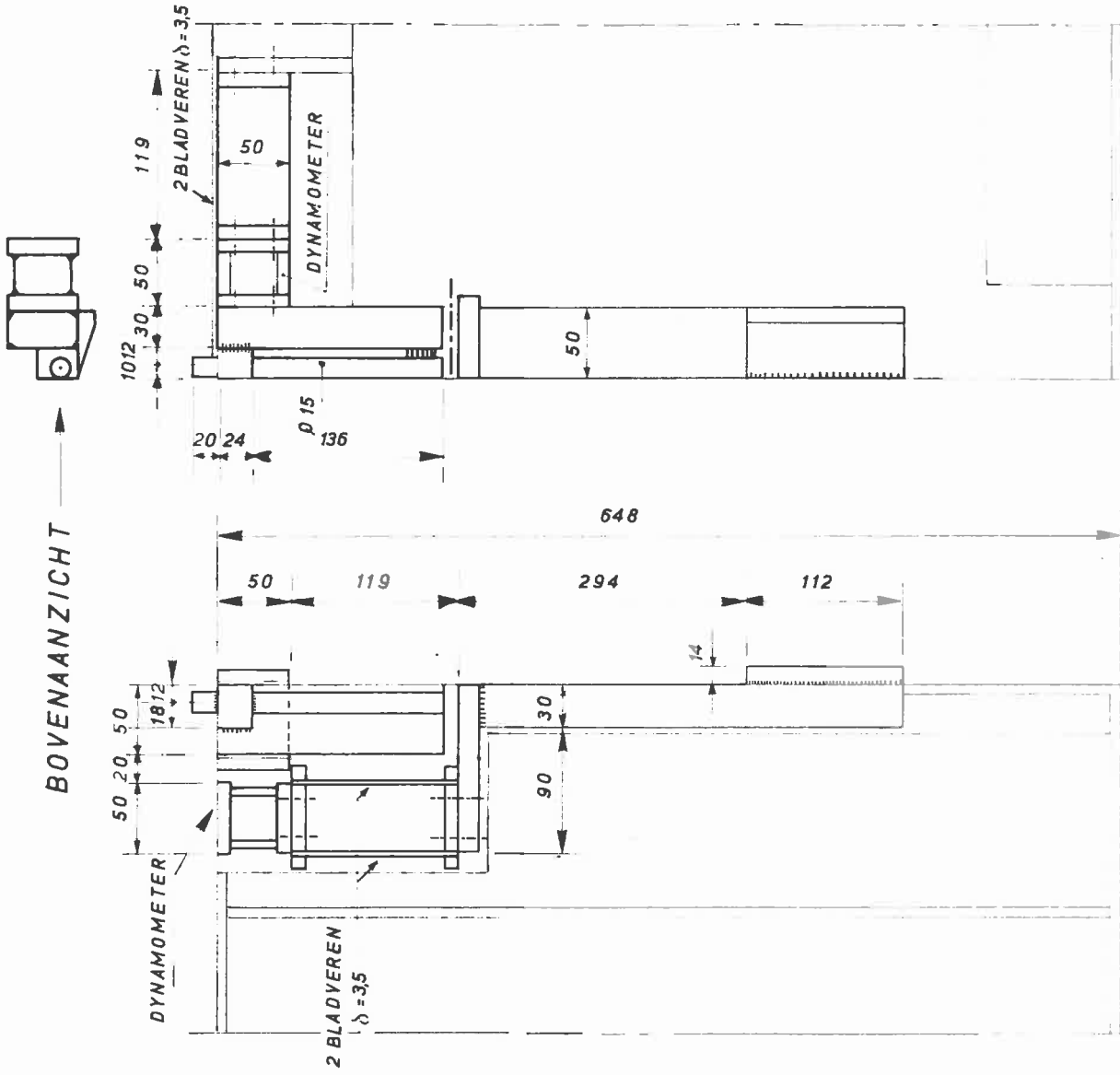
JM

SCHAAL 1:20

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1099-1003 FIG 8



PLAATSING DYNAMOMETERS EN VEREN

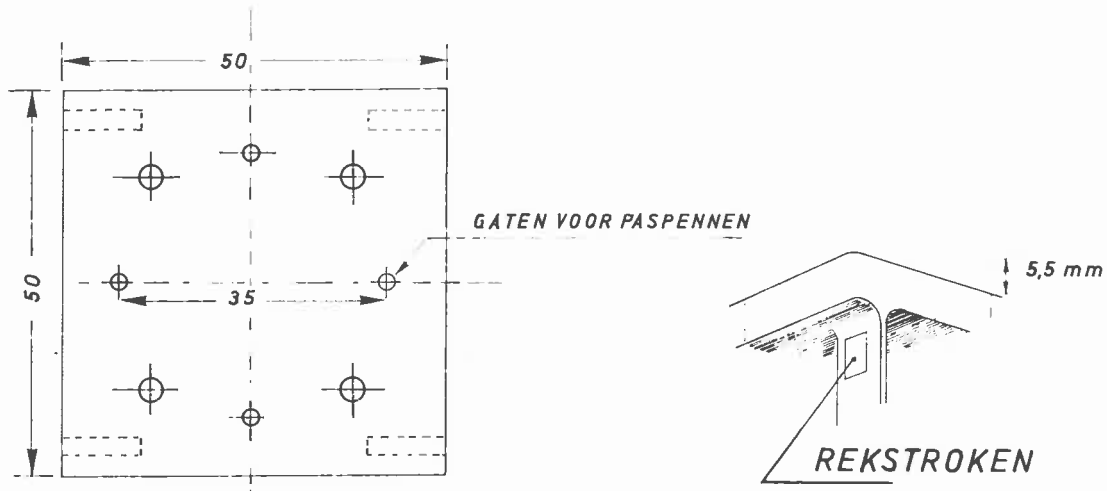
JM

A4

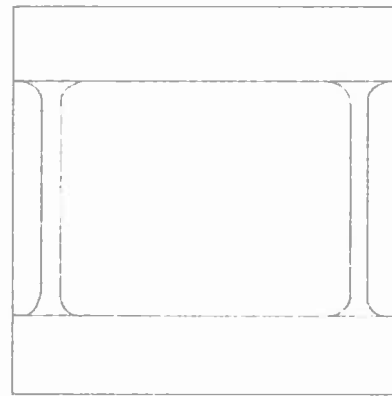
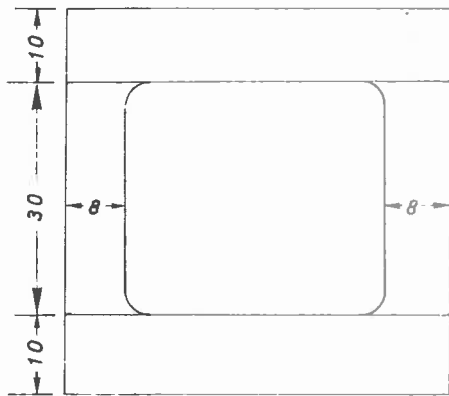
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1099-1005

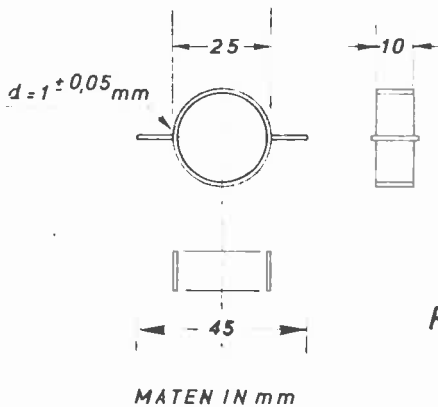
FIG 9



MATERIAAL = AISI/431
 MEETBEREIK = 40 kgf

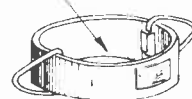


DWARSKRACHT DYNAMOMETER



4 REKSTROKEN

MEETBEREIK = 5 kgf
 MATERIAAL
 CHROOMNIKKELSTAAL



RINGDYNAMOMETER

DWARSKRACHT DYNAMOMETERS EN RINGDYNAMOMETER

JM

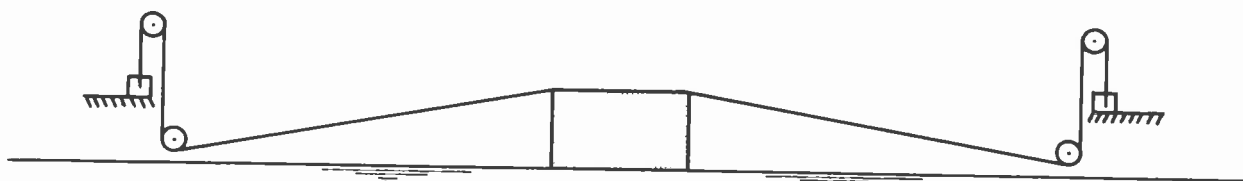
SCHAAL 1:1

A4

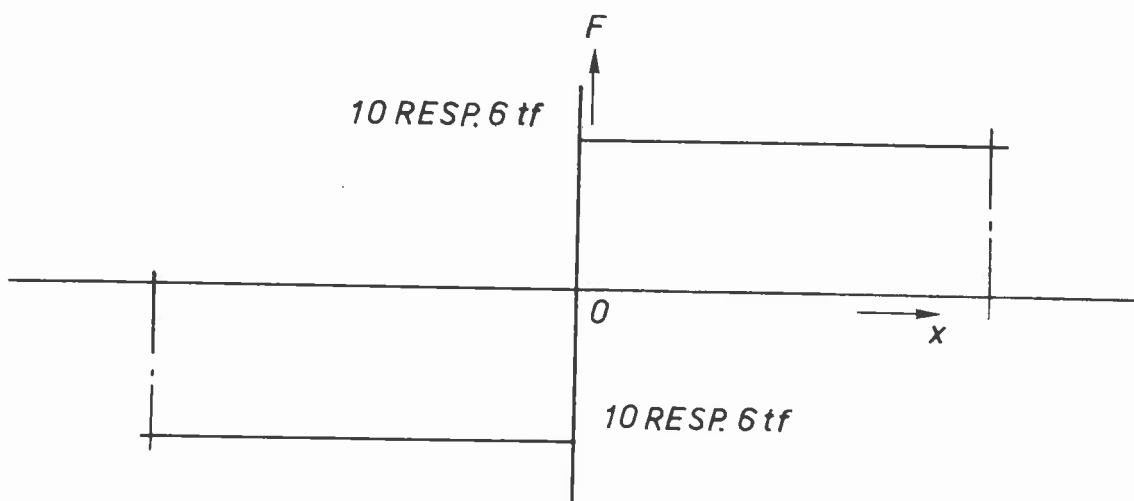
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1099-1022

FIG10



OPHANGING GEWICHTEN



VEER DIAGRAM

SIMULATIE SYSTEEM SLEEPBOTEN

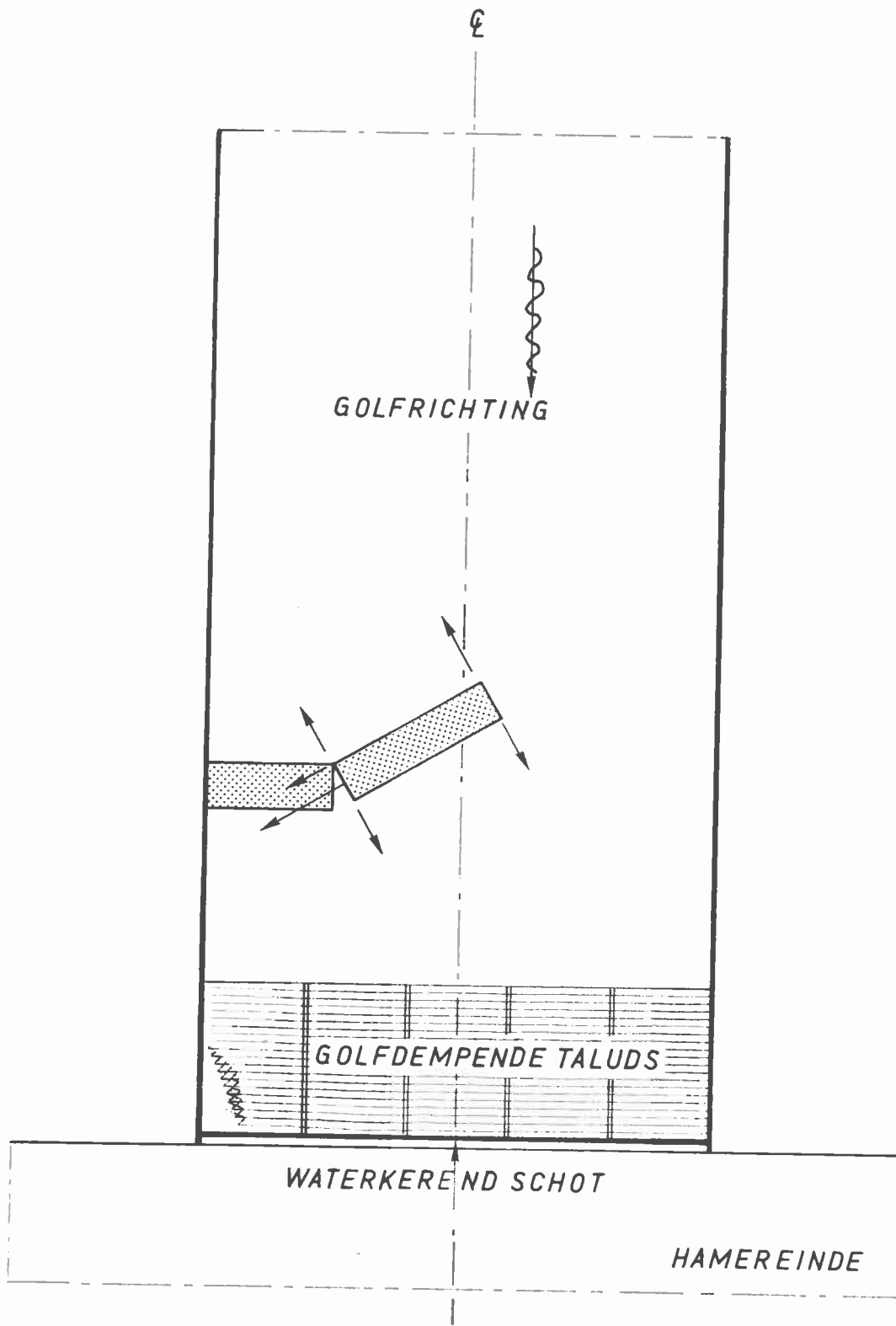
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1099 - 1001

FIG 11



OPSTELLING IN DE GOOT

JM

SCHAAL 1:100

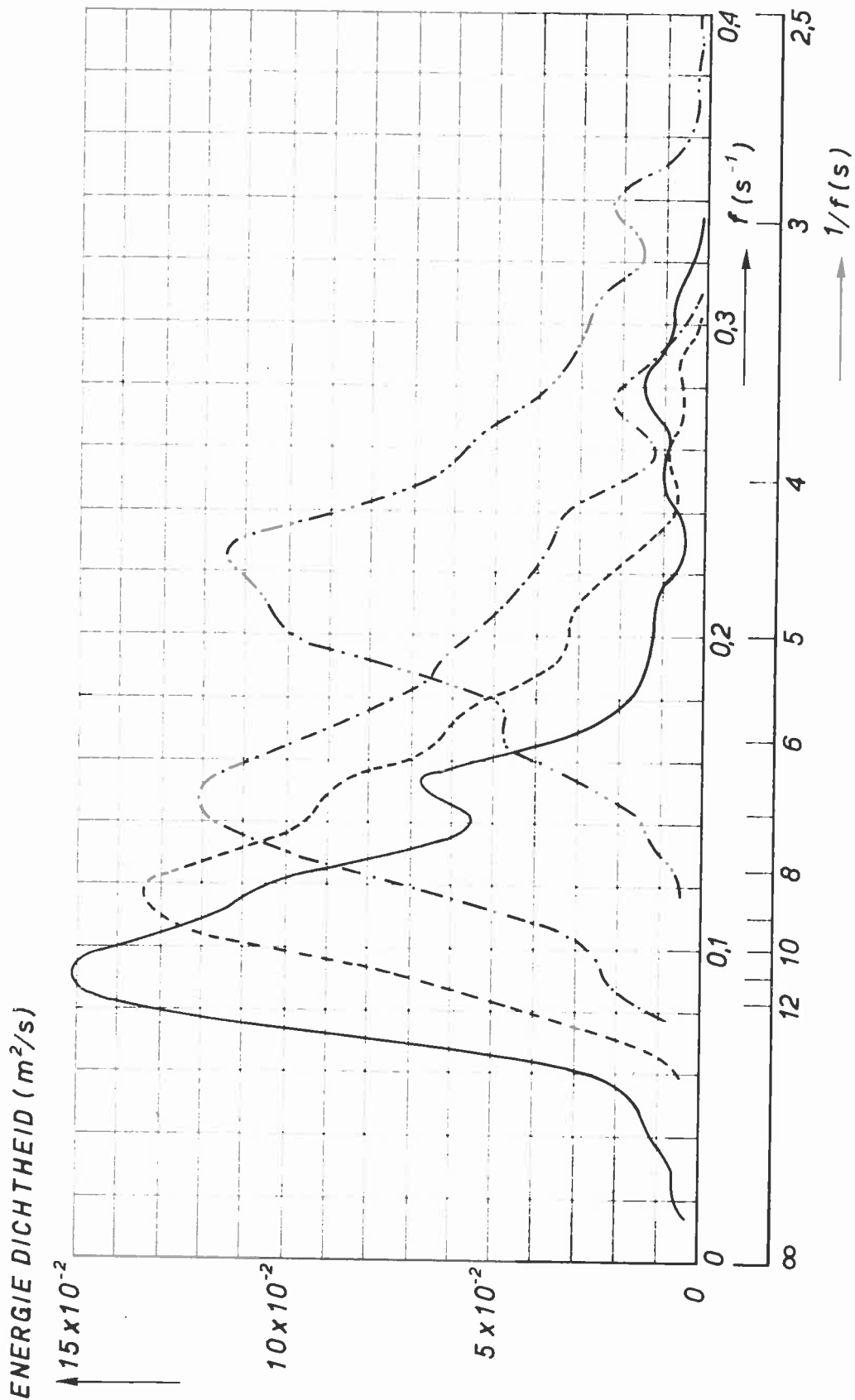
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1099-1017

FIG12

| | | | |
|---------------|-----------------|------------------|--|
| TOP PERIODE | GEMIDD. PERIODE | SIGN. GOLFHOOGTE | OPR. SPEKTRUM |
| $T_0 = 11$ s | $T_m = 8,4$ s | $H_s = 0,5$ m | $m_0 = 1,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ |
| $T_0 = 8,5$ s | $T_m = 6,7$ s | $H_s = 0,5$ m | $m_0 = 1,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ |
| $T_0 = 6,5$ s | $T_m = 5,7$ s | $H_s = 0,5$ m | $m_0 = 1,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ |
| $T_0 = 4,5$ s | $T_m = 4,2$ s | $H_s = 0,5$ m | $m_0 = 1,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ |



TOEGEPASTE GOLFSPEKTRA

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

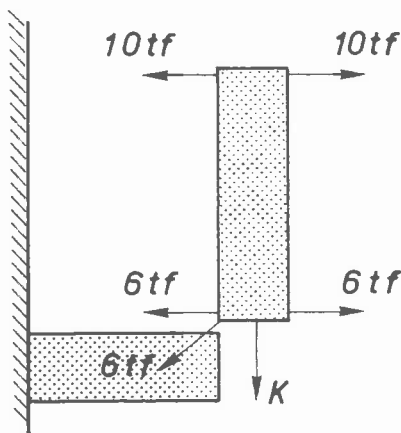
JM

A4

M1099-1006

FIG13

| T_0 (s) | K (tf) | H_s (m) | F_{10} (tf) |
|-----------|----------|-----------|---------------|
| 6,5 | 0 | 0,45 | 270 |
| | 6 | 0,55 | 320 |
| | 10 | 0,55 | 340 |
| | 0 | 1,09 | 540 |
| | 6 | 1,06 | 560 |
| | 10 | 1,06 | 510 |
| 8,5 | 0 | 0,23 | 220 |
| | 6 | 0,23 | 200 |
| | 0 | 0,48 | 340 |
| | 6 | 0,48 | 390 |
| | 10 | 0,48 | 410 |
| | 0 | 0,84 | 540 |
| | 6 | 0,96 | 600 |
| | 10 | 0,96 | 740 |
| | 0 | 1,38 | 770 |
| | 6 | 1,38 | 840 |
| 10,5 | 0 | 0,51 | 510 |
| | 6 | 0,51 | 580 |
| | 0 | 1,05 | 780 |
| | 6 | 1,05 | 940 |



GEBRUIKTE SYMBOLEN

- T = topperiode van het spectrum
 K^0 = kracht waarmee de sleepboten tegen de buitenste wand duwen
 F_{10} = kracht aan onderzijde die gemiddeld één keer per 10 minuten wordt overschreden
 F_{10}^i = idem, aan bovenzijde
 F_{ks} = kwasi-statische kracht die gemiddeld één keer per 10 minuten wordt overschreden, in die gevallen waarin geen stoten optreden

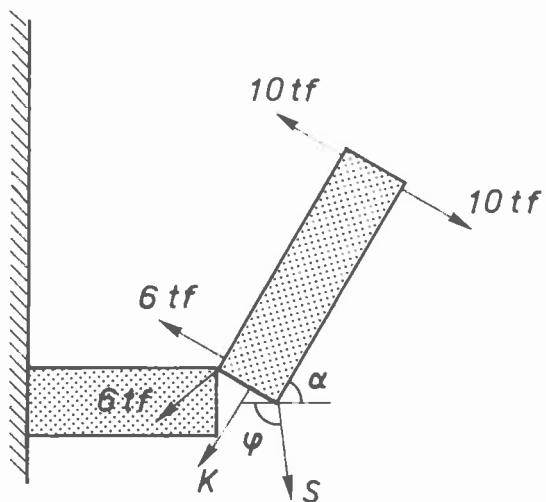
Aangenomen veerstijfheid van de aanslag: 100 tf/cm

RESULTATEN KRACHTMETING
 $\alpha = 90^\circ$

JM

A4

| T_o (s) | K (tf) | S (tf) | φ° | H_s (m) | F_{10} (tf) | F_{ks} |
|-----------|--------|--------|-----------------|-----------|---------------|----------|
| 4,5 | 6 | 0 | 90 | 0,20 | | 30 |
| | 6 | 6 | 90 | 0,25 | | 40 |
| | 6 | 0 | 90 | 0,65 | 380 | |
| | 6 | 6 | 90 | 0,45 | 240 | |
| | 6 | 16 | 90 | 0,49 | 190 | |
| | 6 | 22 | 90 | 0,45 | 170 | |
| 6,5 | 6 | 6 | 111 | 0,24 | 120 | |
| | 6 | 19 | 111 | 0,24 | | 70 |
| | 12 | 36 | 97 | 0,20 | | 60 |
| | 6 | 16 | 90 | 0,48 | 410 | |
| | 6 | 16 | 111 | 0,51 | 350 | |
| | 6 | 22 | 111 | 0,51 | 420 | |
| | 12 | 39 | 97 | 0,51 | 240 | |
| 8,5 | 6 | 16 | 111 | 0,24 | 240 | |
| | 6 | 22 | 111 | 0,24 | 330 | |
| | 12 | 39 | 97 | 0,24 | | 80 |
| | 6 | 16 | 100 | 0,49 | 430 | |
| | 6 | 22 | 100 | 0,49 | 410 | |
| | 6 | 39 | 106 | 0,49 | 340 | |
| | 12 | 39 | 100 | 0,49 | 240 | |



VOOR VERKLARING SYMBOLEN
ZIE FIGUUR 14

RESULTATEN KRACHTMETING
 $\alpha = 60^\circ$

JM

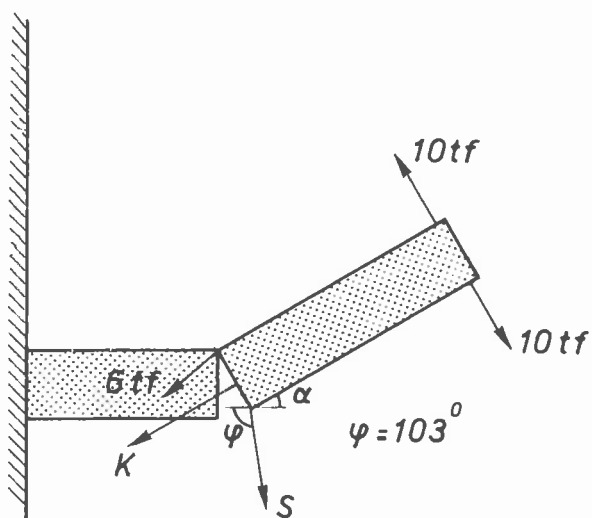
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1099-1008

FIG 15

| T_o (s) | K (tf) | S (tf) | H_s (m) | F_{10} (tf) | F'_{10} (tf) | F_{ks} (tf) |
|-----------|--------|--------|-----------|---------------|----------------|---------------|
| 4,5 | 6 | 6 | 0,27 | | | 80 |
| | 6 | 16 | 0,27 | | | 50 |
| | 6 | 24 | 0,26 | | | 80 |
| | 6 | 39 | 0,20 | | | 90 |
| | 6 | 6 | 0,50 | 170 | | |
| | 6 | 16 | 0,60 | 310 | | |
| | 6 | 24 | 0,51 | | | 130 |
| 6,5 | 6 | 12 | 0,24 | 150 | | |
| | 6 | 39 | 0,25 | | | 190 |
| | 6 | 12 | 0,53 | 550 | | |
| | 6 | 39 | 0,53 | 440 | 9 | |
| | 12 | 39 | 0,50 | 540 | 190 | |
| 8,5 | 6 | 12 | 0,22 | 150 | | |
| | 6 | 39 | 0,26 | 430 | | |
| | 12 | 31 | 0,25 | 260 | 130 | |
| | 12 | 39 | 0,25 | 260 | 140 | |
| | 6 | 6 | 0,50 | 610 | | |
| | 6 | 12 | 0,50 | 600 | | |
| | 6 | 39 | 0,52 | 730 | 410 | |
| | 12 | 39 | 0,50 | 650 | 360 | |



VOOR VERKLARING SYMBOLEN
ZIE FIGUUR 14

RESULTATEN KRACHTMETING
 $\alpha = 30^\circ$

JM

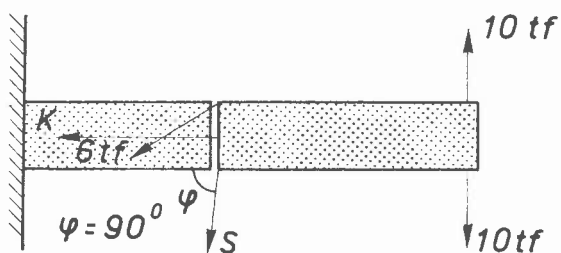
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1099 - 1010

FIG 16

| T_o (s) | K (tf) | S (tf) | H_s (m) | F_{10} (tf) | F'_{10} (tf) | F_{ks} (tf) |
|-----------|--------|--------|-----------|---------------|----------------|---------------|
| 4,5 | 12 | 6 | 0,22 | | | 30 |
| | 12 | 16 | 0,30 | | | 50 |
| | 12 | 22 | 0,23 | | | 50 |
| | 12 | 39 | 0,22 | 90 | | |
| | 12 | 6 | 0,60 | 320 | | |
| | 12 | 16 | 0,62 | 310 | | |
| | 12 | 22 | 0,63 | 320 | | |
| | 12 | 39 | 0,58 | 200 | | |
| 6,5 | 12 | 6 | 0,29 | 170 | | |
| | 12 | 16 | 0,24 | | | 80 |
| | 12 | 22 | 0,24 | | | 80 |
| | 12 | 39 | 0,25 | 170 | 130 | |
| | 12 | 6 | 0,63 | 480 | | |
| | 12 | 16 | 0,60 | 430 | | |
| | 12 | 22 | 0,59 | 360 | | |
| | 12 | 39 | 0,58 | 290 | 220 | |
| | 6 | 16 | 0,27 | | | 60 |
| | 6 | 16 | 0,57 | 360 | | |
| 8,5 | 12 | 6 | 0,24 | 150 | | |
| | 12 | 16 | 0,25 | | | 80 |
| | 12 | 22 | 0,25 | 100 | | |
| | 12 | 39 | 0,31 | 220 | 160 | |
| | 12 | 6 | 0,63 | 660 | | |
| | 12 | 16 | 0,53 | 460 | | |
| | 12 | 22 | 0,50 | 360 | 180 | |
| | 12 | 39 | 0,53 | 340 | 290 | |



VOOR VERKLARING SYMBOLEN
ZIE FIGUUR 14

RESULTATEN KRACHTMETING
 $\alpha = 0^\circ$

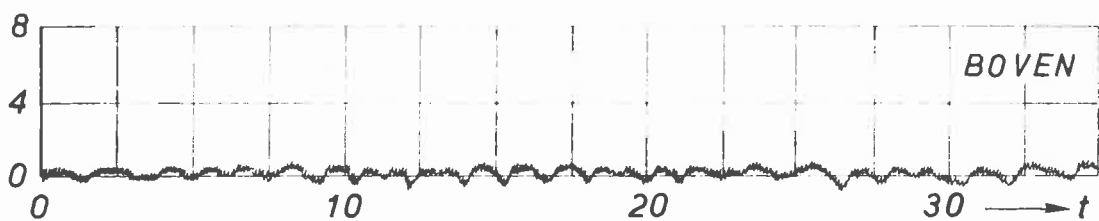
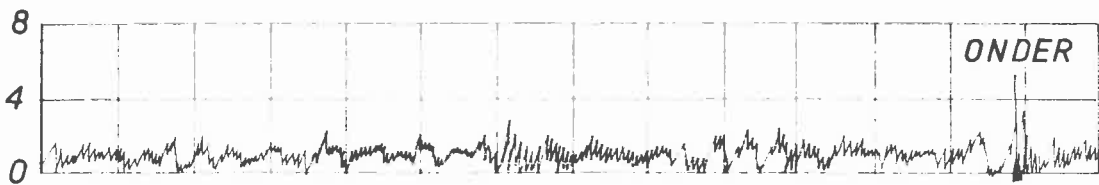
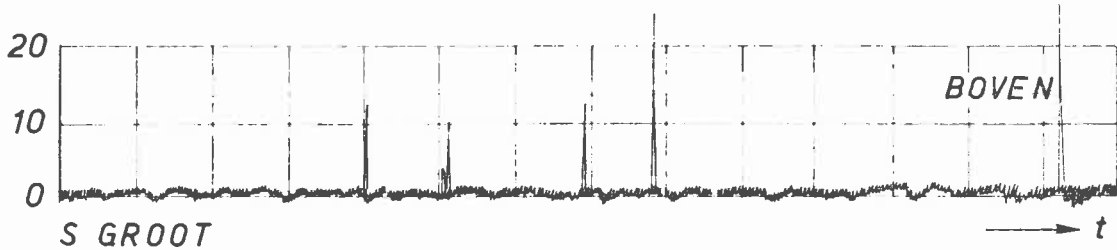
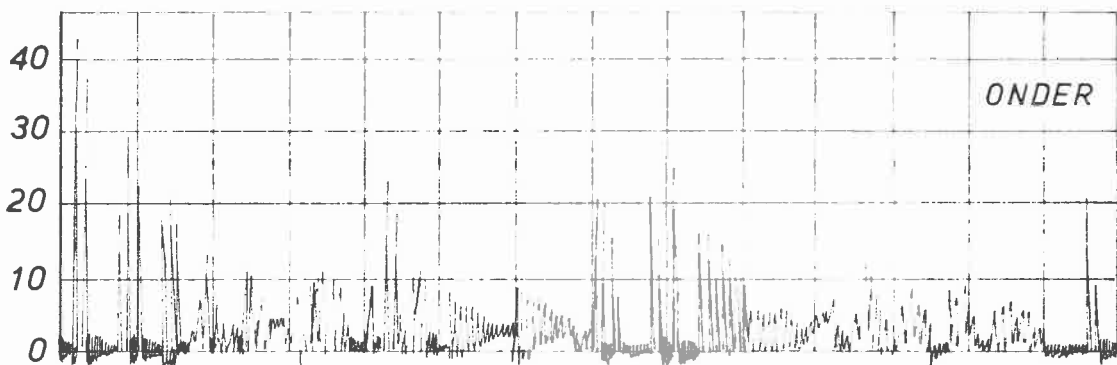
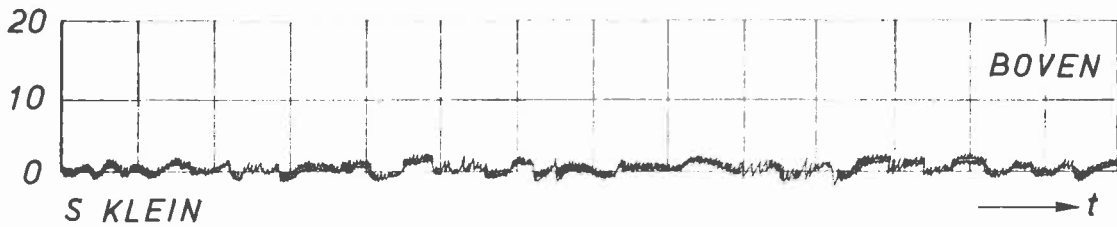
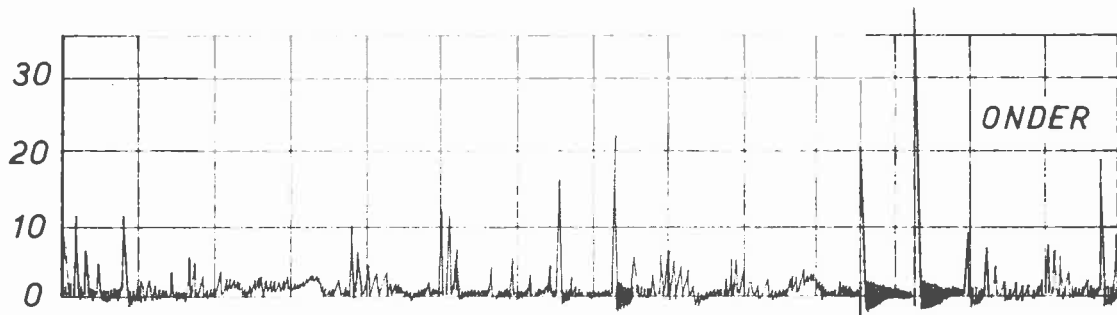
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1099-1009

FIG 17

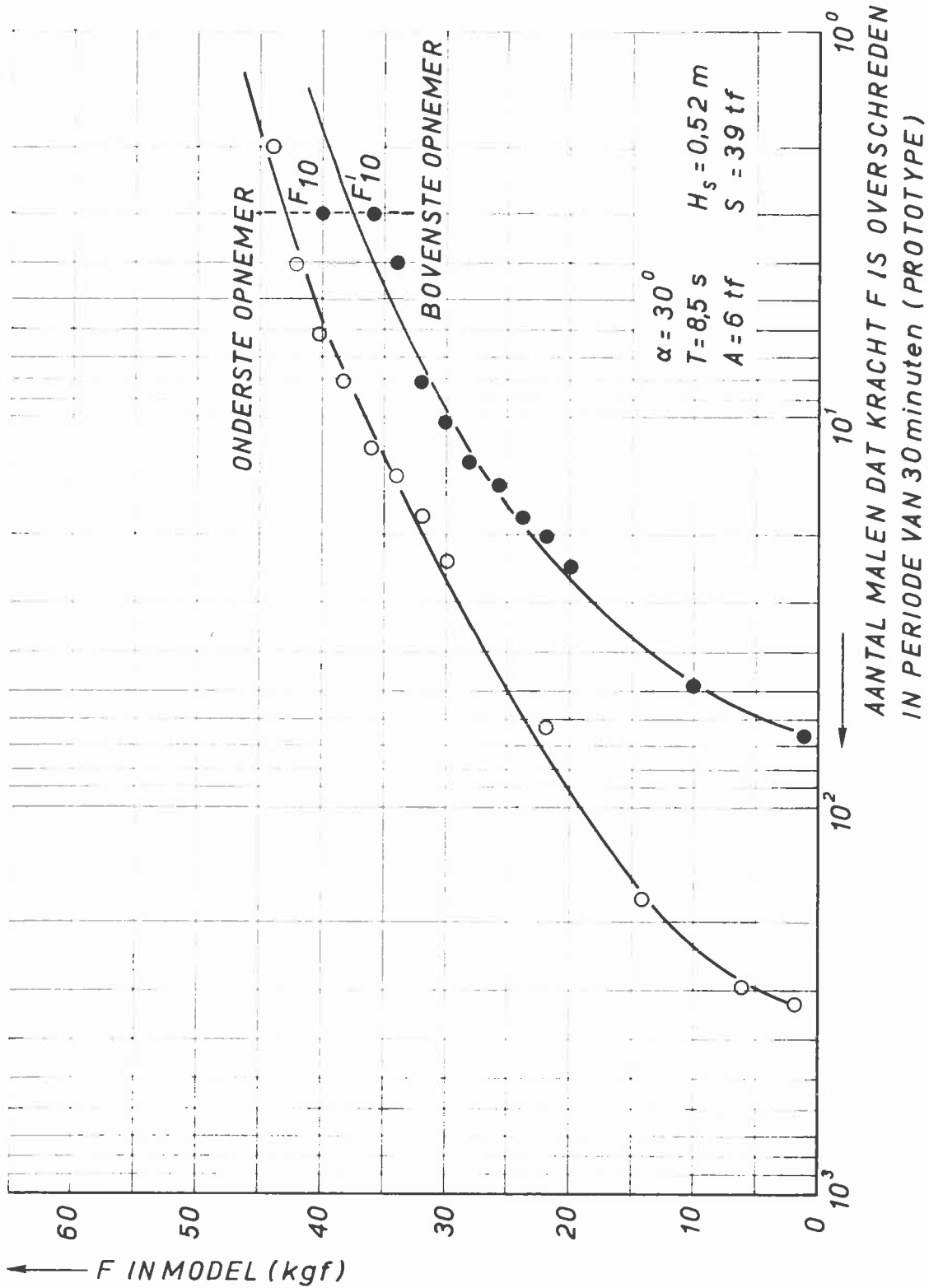


ZONDER STOTEN KRACHTEN (kgf) EN TIJD (s) IN MODEL

VOORBEELD VAN KRACHTREGISTRATIES
 $\alpha = 30^{\circ}$

JM

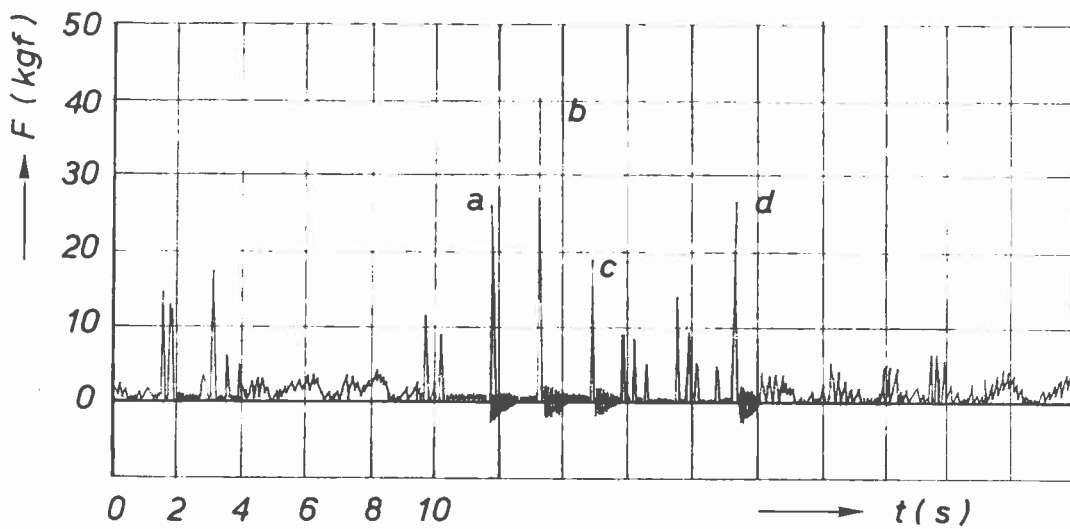
A4



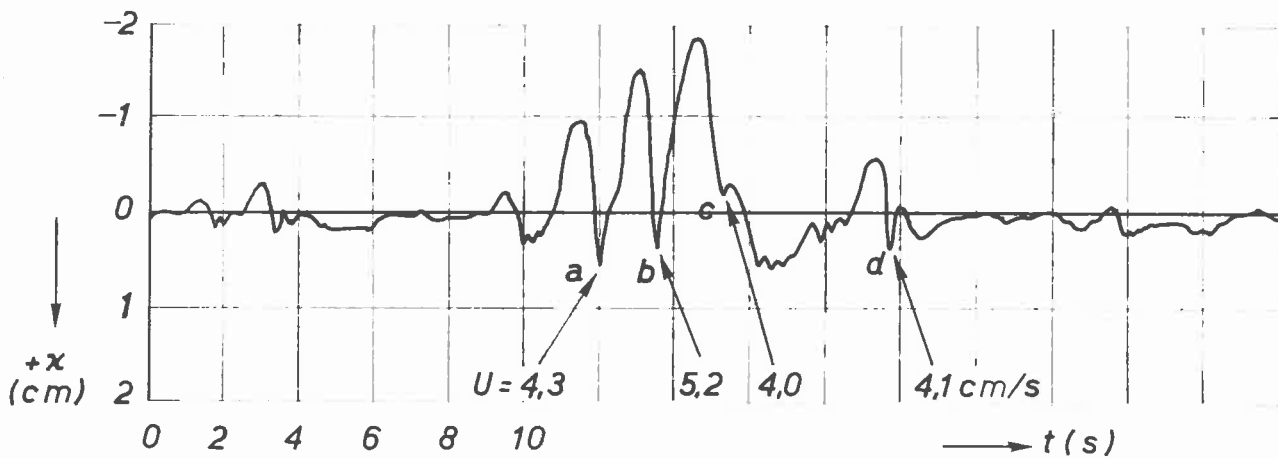
VOORBEELD VAN EEN OVERSCHRIJDINGS-
KROMME VAN DE KRACHTEN

JM

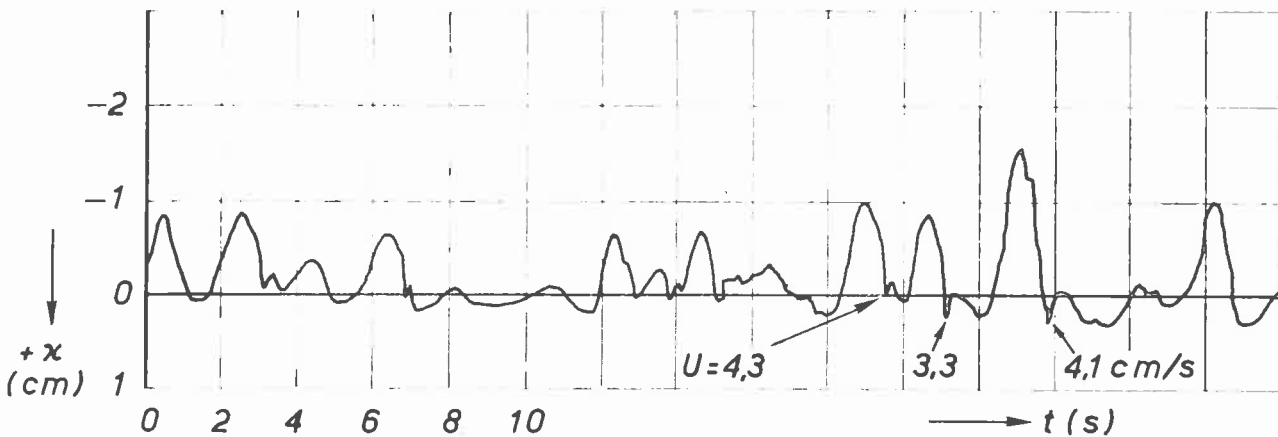
A4



KRACHT BIJ VEREN ZONDER DEMPING



VERPLAATSING BIJ VEREN ZONDER DEMPING



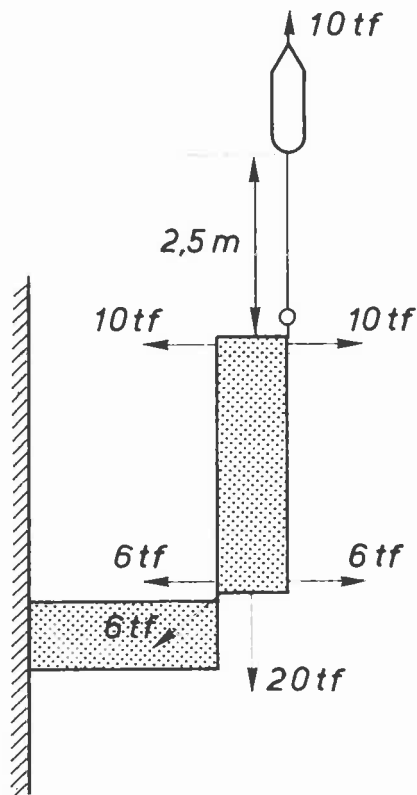
VERPLAATSING BIJ VEREN MET DEMPING

VERGELIJKING VERPLAATSINGEN BIJ
VEERKRACHTIGE EN ONVEERKRACHTIGE STOOT

$\alpha = 30^\circ$
 $T = 8,5 \text{ s}$ $H = 0,50 \text{ m}$
 $K = 6 \text{ tf}$ $S = 6 \text{ tf}$

JM
A4

| T_o (s) | H_s (m) | T_{10} (tf) |
|-----------|-----------|---------------|
| 4,5 | 0,5 | 12 |
| | 1,0 | 16 |
| 6,5 | 0,5 | 16 |
| | 1,0 | 20 |
| 8,5 | 0,5 | 17 |
| | 1,0 | 25 |



SLEEPBOOT: $\Delta = 280 t_{1000}$
TREKKRACHT = 10 tf

T_{10} = KRACHT DIE GEMIDDELD
EEN MAAL PER 10 minuten
WORDT OVERSCHREDEN

RESULTATEN TROSKRACHTMETING
 $\alpha = 90^\circ$

JM

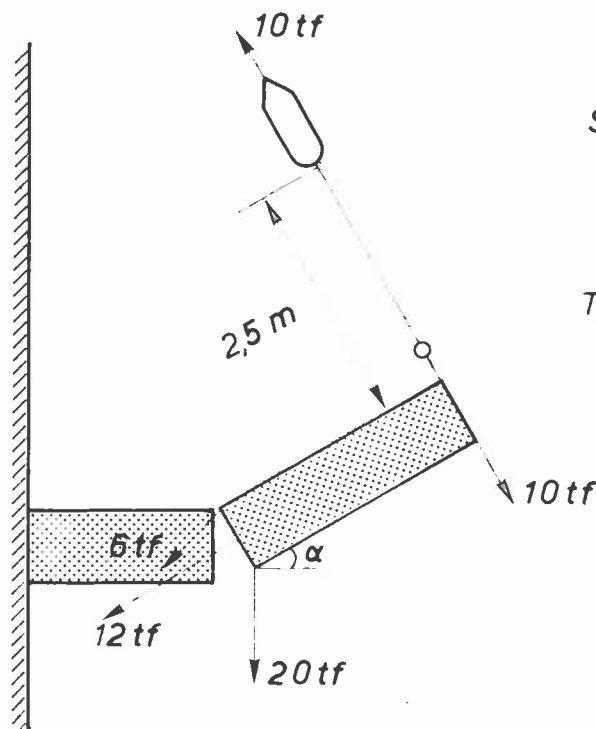
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1099-1011

FIG 21

| T_0 (s) | H_s (m) | T_{20} (tf) |
|-----------|-----------|---------------|
| 4,5 | 0,5 | 14 |
| | 1,0 | 17 |
| 6,5 | 0,5 | 16 |
| 8,5 | 0,5 | 20 |



SLEEPBOOT: $\Delta = 280 t_{1000}$
 TREKKRACHT = 10 tf

T_{10} = KRACHT DIE GEMIDDELD
 EEN MAAL PER 10 minuten
 WORDT OVERSCHREDEN

RESULTATEN TROSKRACHTMETING
 $\alpha = 30^\circ$

JM

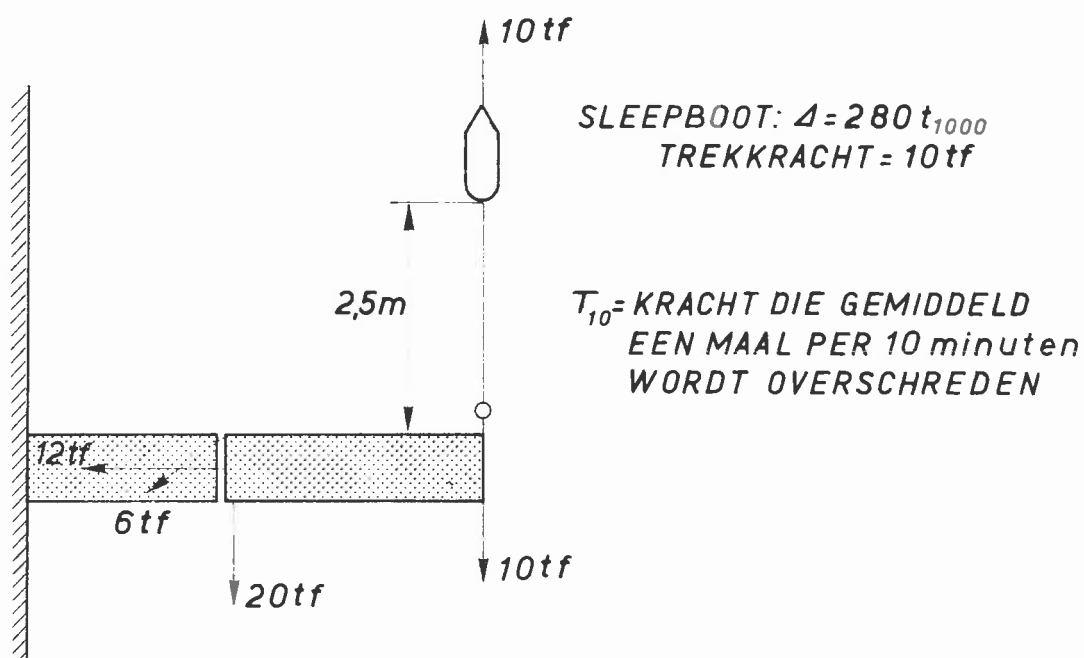
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1099-1012

FIG 22

| T_0 (s) | H_S (m) | T_{10} (tf) |
|-----------|-----------|---------------|
| 4,5 | 0,5 | 12 |
| | 1,0 | 17 |
| 6,5 | 0,5 | 17 |
| 8,5 | 0,5 | 17 |



RESULTATEN TROSKRACHTMETING
 $\alpha = 0^0$

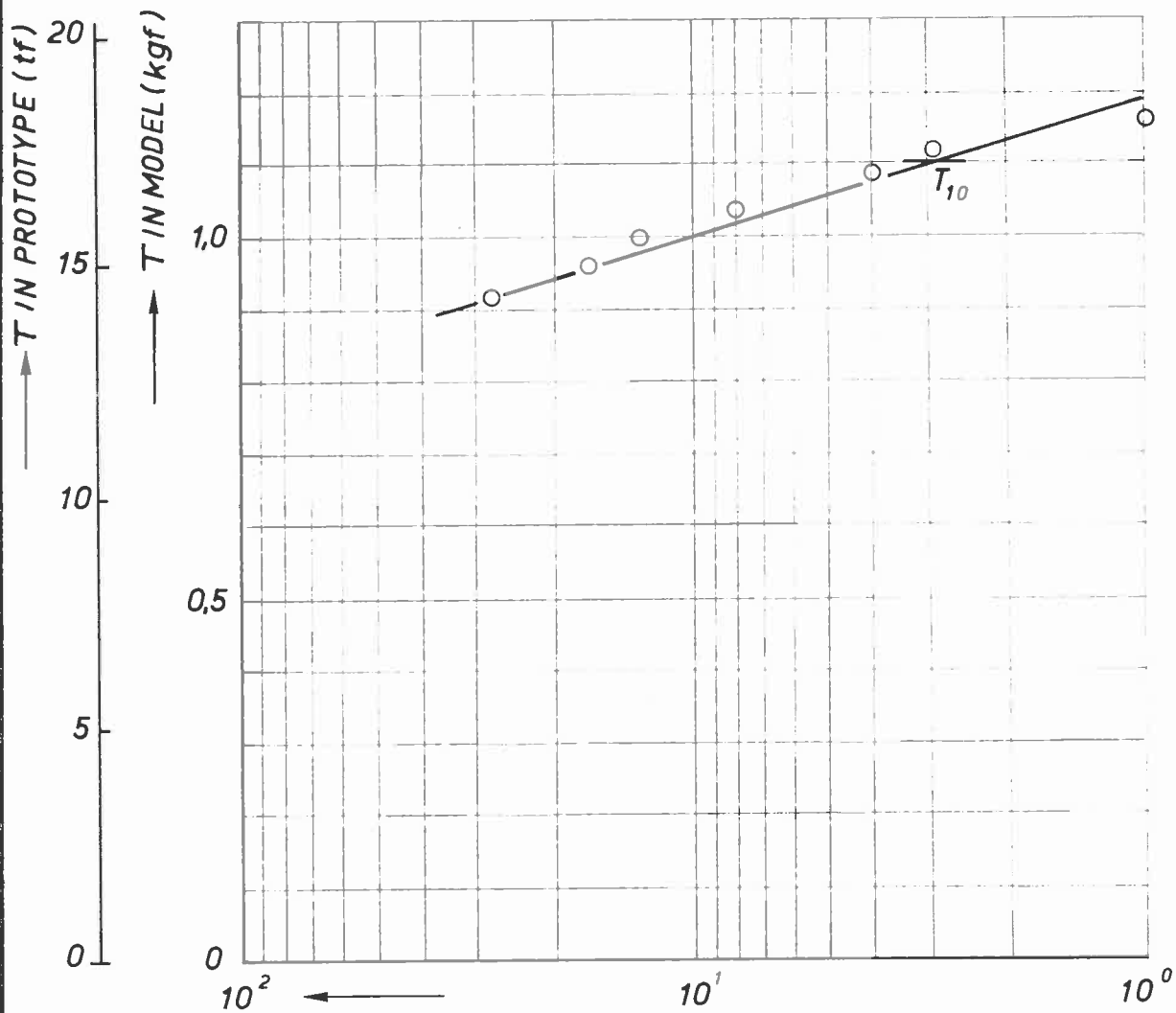
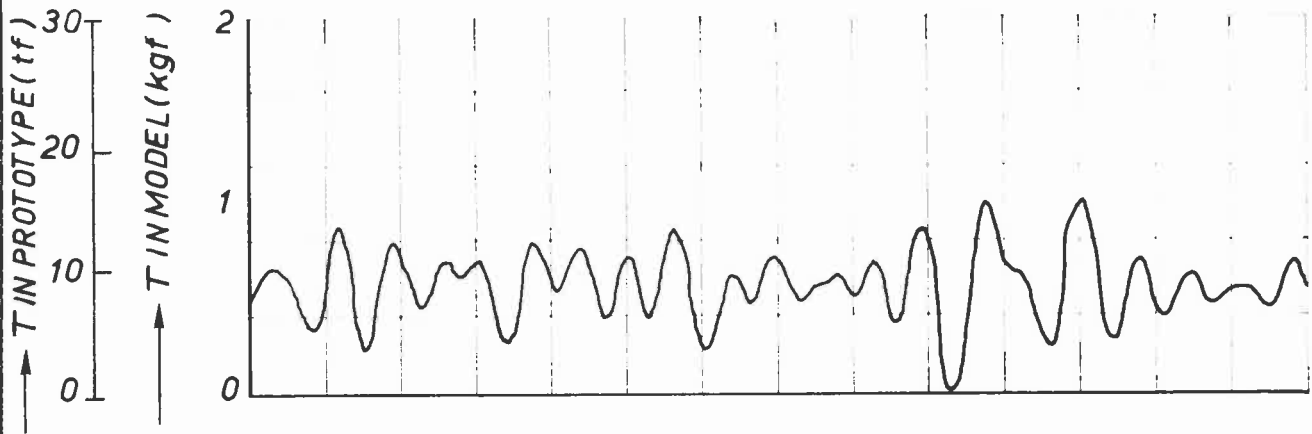
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1099-1013

FIG 23



AANTAL MALEN DAT KRACHT F IS OVERSCHREDEN
IN PERIODE VAN 30 minuten (PROTOTYPE)

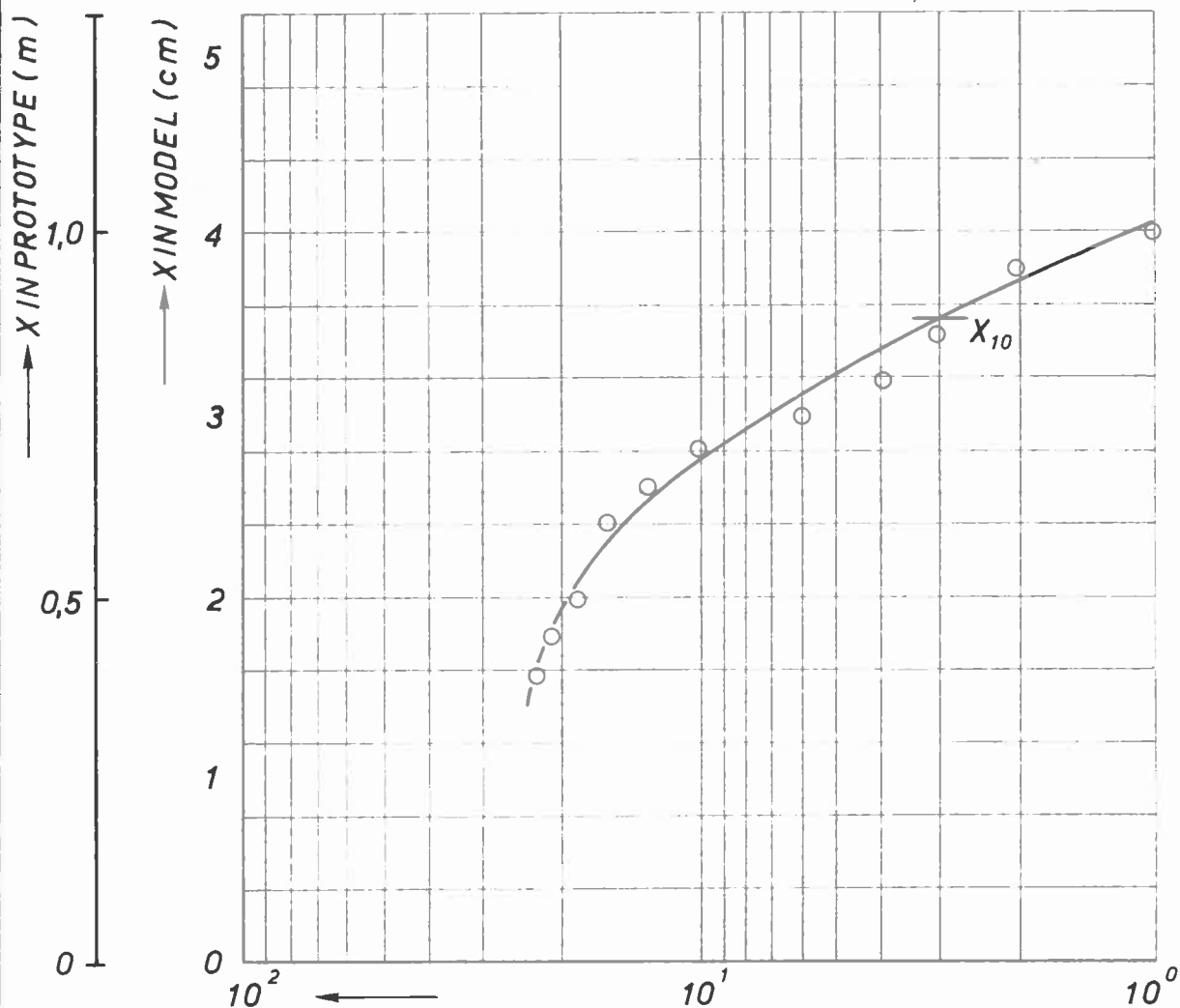
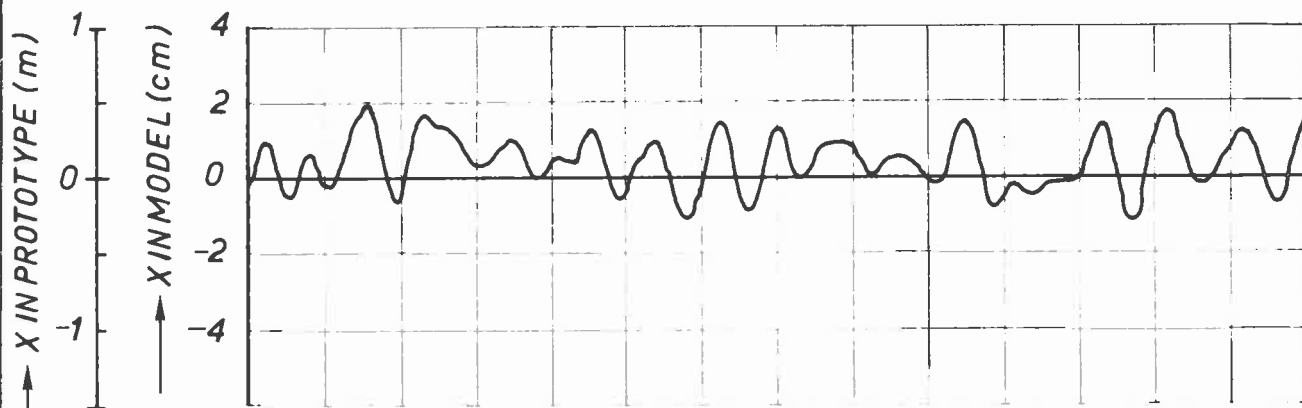
VOORBEELD TROSKRACHTREGISTRATIE EN
OVERSCHRIJDINGSKROMME VAN TROSKRACHTEN

| | |
|---|----|
| | JM |
| $\alpha = 0^\circ$ $T = 8,5 \text{ s}$ $H = 0,5 \text{ m}$ | A4 |

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1099-1015

FIG 24



AANTAL MALEN DAT VERPLAATSING X IS OVERSCHREDEN
IN PERIODE VAN 30minuten (PROTOTYPE)

VOORBEELD VERPLAATSINGSMETING EN
OVERSCHRIJDINGSKROMME VAN VERPLAATSINGEN

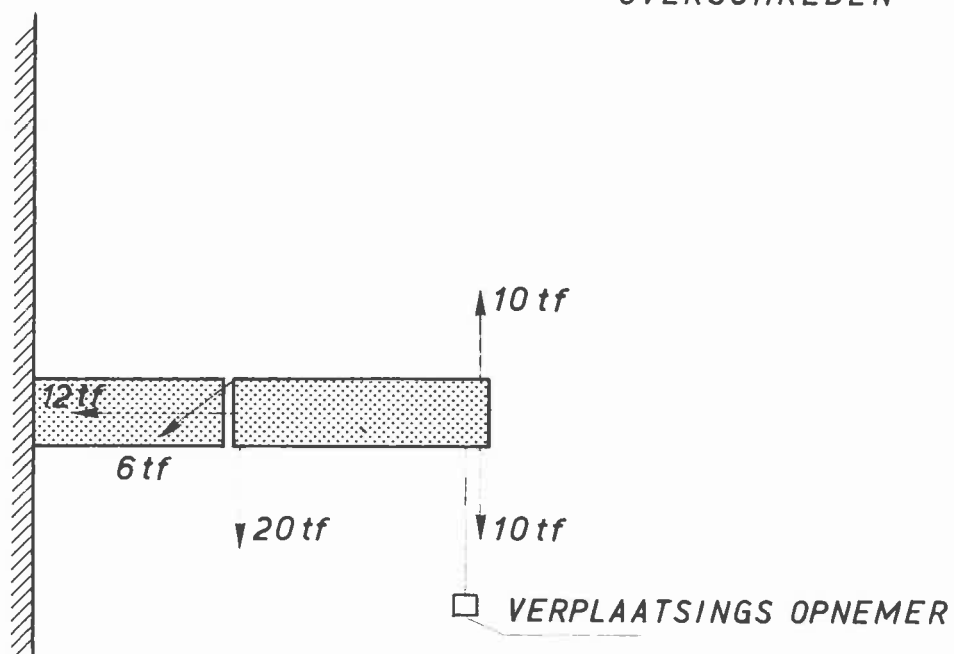
$\alpha = 0$
 $T = 8,5 \text{ s}$ $H_s = 0,5 \text{ m}$

JM

A4

| T_o (s) | H_s (m) | x_{10} (m) |
|-----------|-----------|--------------|
| 4,5 | 0,5 | 0,4 |
| | 1,0 | 0,9 |
| 6,5 | 0,5 | 0,8 |
| 8,5 | 0,5 | 0,9 |

X_{10} = DE VERPLAATSING DIE GEMIDDELD EENMAAL PER 10 minuten WORDT OVERSCHREDEN



RESULTATEN VERPLAATSINGSMETING
 $\alpha = 0^{\circ}$

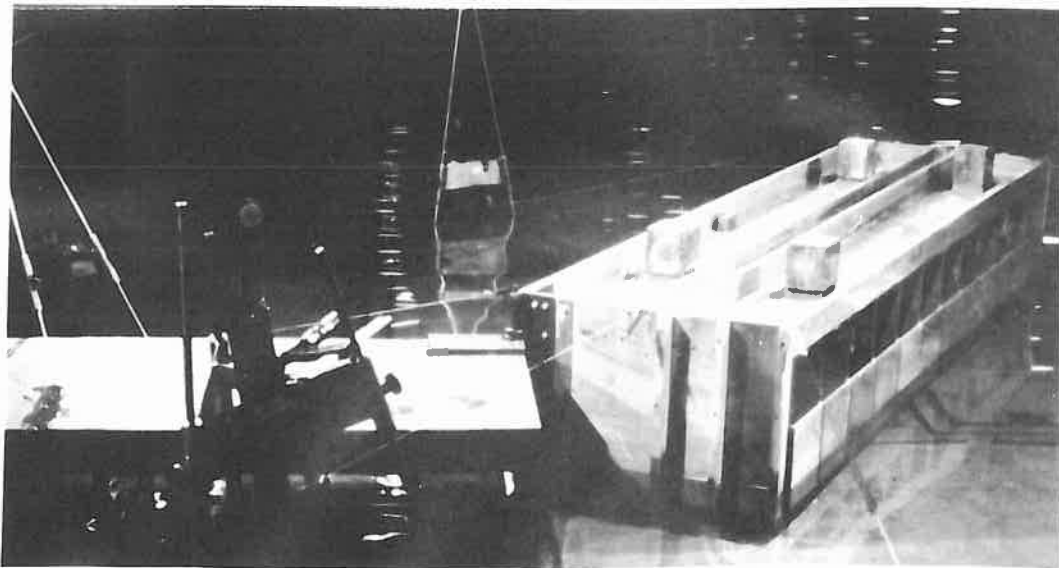
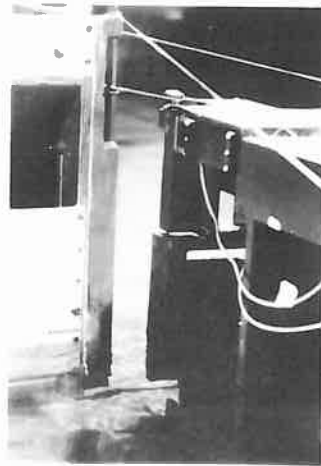
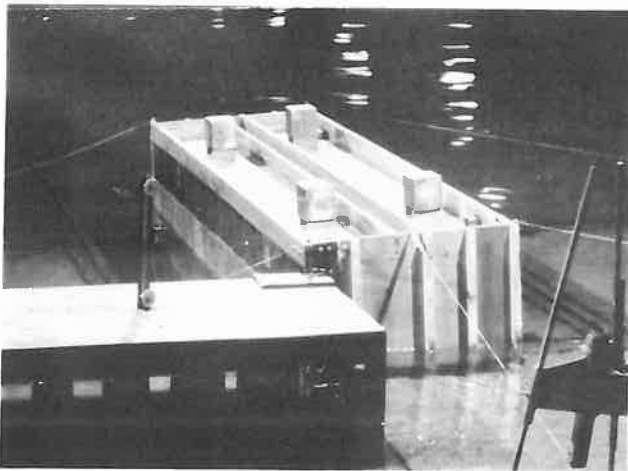
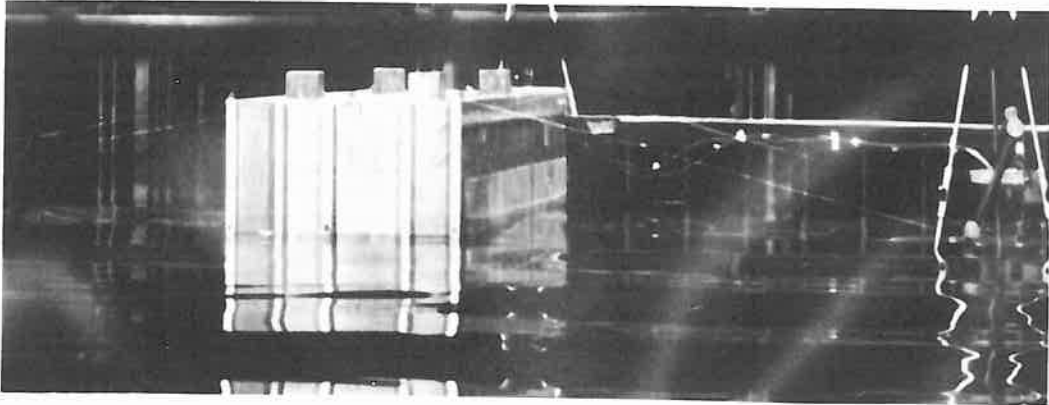
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1099-1014

FIG 26



OVERZICHT MODEL OPSTELLING, $\alpha = 90^\circ$ EN 60°

