

I Bd 1099-  
II

LD  
2e exemplaar

# PLAATSING CAISSONS SLUITGAT KOUS

## II

KWASISTATISCHE KRACHTEN DOOR GOLVEN

VERSLAG MODELONDERZOEK

AFGEHANDELD

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM  
DELFT

M 1099

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

PLAATSING CAISSONS SLUITGAT KOUS

KWASISTATISCHE KRACHTEN DOOR GOLVEN

Rapport modelonderzoek

M 1099  
april 1973

## INHOUD

	blz.
I. <u>INLEIDING</u>	1
I.1. Opdracht	1
I.2. Gegevens	2
I.3. Konklusies	2
II. <u>MODELLEN EN MODELOPSTELLINGEN</u>	3
III. <u>METINGEN VAN DE KRACHTEN</u>	5
III.1. Programma	5
III.2. Resultaten	5
III.3. Berekening van de krachten bij gegeven spectrum- vorm en $H_s$	7

## FIGUREN

1. Situatie
2. Nieuwe indraaimanoeuvre
3. Bovenaanzicht kopwanden staande en drijvende caisson
4. Meetopstelling in de golfgoot
5. Energiedichtheidsspektra van de golfbeweging bij de proeven 9, 31, 36 en 41
6. Energiedichtheidsspektra van de golfbeweging bij de proeven 21 en 22
7. Kumulatieve frekwentieverdelingen van de golven bij de proeven 9, 31, 36 en 41
8. Kumulatieve frekwentieverdelingen van de krachten bij de proeven 9, 31, 36 en 41
9. Kumulatieve frekwentieverdelingen van de golven bij de proeven 21 en 22
10. Kumulatieve frekwentieverdelingen van de krachten bij de proeven 21 en 22
11. Kumulatieve frekwentieverdelingen van de golven bij de proeven 3 en 5
12. Kumulatieve frekwentieverdelingen van de krachten bij de proeven 3 en 5
13. Kumulatieve frekwentieverdelingen van de golven bij de proeven 13 en 15
14. Kumulatieve frekwentieverdelingen van de krachten bij de proeven 13 en 15
15.  $F_s$  als funktie van  $H_s$  bij  $T_o = 2,5, 3, 4,5, 7,5$  en  $11,5$  s ; geen ballastwater in caisson
16.  $F_s$  als funktie van  $H_s$  bij  $T_o = 3, 4,5, 7,5$  en  $11,5$  s; 75 cm ballastwater in caisson
17.  $F_s$  als funktie van  $H_s$  bij  $T_o = 2,5, 3, 4,5, 7,5$  en  $11,5$  s; 225 cm ballastwater in caisson
18.  $F_s$  als funktie van  $H_s$  en  $T_o$ ; geen ballastwater in caisson
19.  $F_s$  als funktie van  $H_s$  en  $T_o$ ; 75 cm ballastwater in caisson
20.  $F_s$  als funktie van  $H_s$  en  $T_o$ ; 225 cm ballastwater in caisson
21.  $F_x/F_s$  als funktie van het overschrijdingspercentage der krachten
22.  $(H_s)_5$  als funktie van  $T_o$
23.  $F_s/H_s$  als funktie van  $T_o$  bij 0,75 en 225 cm ballastwater in caisson en bij  $H_s = 0,20$  m
24. Gemeten en berekende waarden van  $F_s/H_s$  bij dubbeltoppige spektra met  $T_D = \text{ca. } 7,5$  s en  $T_W = \text{ca. } 2,5$  s
25. Voorbeelden van krachtregistraties

## TABELLEN

1.  $T_O$ ,  $H_S$  en  $F_S$  bij de proeven 1 t/m 24 (geen water in caisson)
2.  $T_O$ ,  $H_S$  en  $F_S$  bij de proeven 25 t/m 34 (75 cm water in caisson)
3.  $T_O$ ,  $H_S$  en  $F_S$  bij de proeven 35 t/m 46 (225 cm water in caisson)

## VERKLARING SYMBOLEN

$B_0$	toestand waarbij in de drijvende caisson geen water aanwezig is
$B_{75}$	toestand waarbij in de drijvende caisson 75 cm water aanwezig is
$B_{225}$	toestand waarbij in de drijvende caisson 225 cm water aanwezig is
$C_D(\text{tfm}^{-1})$	waarde van $F_S/H_S$ bij $T_D$ in fig. 23
$C_W(\text{tfm}^{-1})$	waarde van $F_S/H_S$ bij $T_W$ in fig. 23
$F$ (tf)	top-dalwaarde van de kracht $K-K_V$ (zie fig. 25)
$F_S$ (tf)	signifikante kracht, hier benaderd door de kracht welke door 15% van het aantal krachten $F$ wordt overschreden
$F_x$ (tf)	kracht welke door $x\%$ van het aantal krachten $F$ wordt overschreden
$H$ (m)	grootste niveauverschil tussen twee opeenvolgende neergaande snijdingen van het wateroppervlak met de gemiddelde waterspiegel
$H_S$ (m)	signifikante golfhoogte
$(H_S)_5$ (m)	signifikante golfhoogte waarbij de drijvende caisson 5 maal loskomt van de staande caisson
$K$ (tf)	kracht tussen de drijvende en staande caisson (zie fig. 25)
$K_V$ (tf)	kracht tussen de drijvende en staande caisson welke door sleepboot A (zie fig. 2) wordt veroorzaakt
$R_0(\text{tfcm}^{-1})$	veerconstante van de onderste dynamometer
$S_D(\text{m}^2\text{s})$	topwaarde van de deiningspiek in een dubbeltoppig energiedichtheidspektrum van de waterbeweging

$S_W(m^2s)$	topwaarde van de windgolfpiek in een dubbeltoppig energiedichtheids- spektrum van de waterbeweging
$T(s)$	periode van een komponent van de golfbeweging
$T_0(s)$	periode uit het energiedichtheidsspektrum van de waterbeweging met maximale energiedichtheid
$T_D(s)$	periode waarbij de deiningspiek in een dubbeltoppig energiedichtheids- spektrum van de waterbeweging optreedt
$T_W(s)$	periode waarbij de windgolfpiek in een dubbeltoppig energiedichtheids- spektrum van de waterbeweging optreedt
$\bar{T}(s)$	gemiddelde golfperiode
$f(s^{-1})$	$1/T$
$f_0(s^{-1})$	$1/T_0$

## PLAATSING CAISSONS SLUITGAT KOUS

### KWASISTATISCHE KRACHTEN DOOR GOLVEN

#### I. INLEIDING

##### I.1. Opdracht

Uit de resultaten van het medio 1970 uitgevoerde oriënterende modelonderzoek naar de onder invloed van golfbeweging optredende krachten tussen een afgezonken en nog af te zinken caisson in het sluitgat Kous, bleek dat deze krachten bij ongunstige weersomstandigheden vrij groot kunnen zijn (M 1099-I). Om de krachten enigszins te reduceren is gedacht aan een eventueel gewijzigde afzinkprocedure. In plaats van de drijvende caissons scharnierend in te draaien wil men deze eerst in een positie evenwijdig aan de as van het sluitgat manoeuvreren en ze vervolgens langzaam naar de afgezonken caisson trekken (fig. 2).

Door deze wijziging wordt de tijd dat de buitenste ribben van de caissons tegen elkaar steunen aanzienlijk beperkt. Deze beperking houdt in dat de kans op een hoge golf in die tijd wordt verkleind en daarmee de kans op het optreden van grote krachten.

Verder is besloten een sleepboot met een trekkracht van 20 à 25 tf in te zetten om de caissons met een zekere "voorspanning" tegen elkaar gedrukt te houden. Door deze "voorspanning" komen minder dynamische belastingen voor doordat de drijvende caisson minder frekvent loskomt van de staande caisson.

Door de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst van de Rijkswaterstaat werd tijdens een bespreking d.d. 3 december 1970 aan het Waterloopkundig Laboratorium opdracht gegeven een modelonderzoek te verrichten naar de bij de gewijzigde afzinkprocedure optredende krachten. Daarbij diende tevens nagegaan te worden of het mogelijk was bij gegeven golfkondities de kans van optreden van een bepaalde kracht vast te stellen. Van de modelproeven dienden filmopnamen gemaakt te worden.

Het onderzoek is in nauw overleg met de opdrachtgever en de betrokken aannemers uitgevoerd door ir. G.E. Moret, die ook dit rapport samenstelde.

Voorafgaand aan dit rapport werden de resultaten van het onderzoek reeds in maart 1971 in voorlopige vorm gerapporteerd door middel van een interim-verslag.



## I.2. Gegevens

Ten aanzien van de golven werd door de opdrachtgever opgegeven dat bij de plaatsing van de caissons niet alleen op enkeltoppige energiedichtheidsspektra van de golven moest worden gerekend, maar ook op dubbeltoppige spektra, waarbij gelijktijdig deining en zeevang voorkomen (zie ook fig. 6).

Voor verdere gegevens wordt verwezen naar hoofdstuk I.2. van deel I.

## I.3. Konklusies

- Om te voorkomen dat reeds bij zeer lage golven dynamische belastingen (stoten) tussen de drijvende en staande caisson zullen optreden, dient de drijvende caisson zodanig geballast te worden dat het door sleepboot A (zie fig. 2) hierop uitgeoefende koppel wordt gekompenseerd.
- Indien de stijfheden van de caissons zo zijn, dat een kracht van 60 tf een verplaatsing van de drijvende caisson van 1 cm veroorzaakt en sleepboot A met 20 tf trekt, is bij enkeltoppige spektra met  $4 \text{ s} \leq T_0 \leq 12 \text{ s}$  de overschrijdingskans van  $K=75$  tf vrijwel nul bij  $H_s \leq 0,20 \text{ m}$ . Bij enkeltoppige spektra met  $T_0 = 2,5 \text{ s}$  en  $3 \text{ s}$  is dit het geval indien  $H_s < 0,55 \text{ m}$  resp.  $H_s < 0,30 \text{ m}$  en bij dubbeltoppige spektra indien  $H_s \leq 0,20 \text{ m}$ .
- Bij vergroting van de trekkracht van sleepboot A nemen de hiervoor genoemde golfhoogten toe.
- Indien  $H_s$  en de vorm van het energiedichtheidsspektrum bekend zijn, kan via de in III.3. genoemde rekenprocedure worden berekend wat de overschrijdingskans is van een bepaalde kwasistatische kracht (bijvoorbeeld  $K = 2 K_v$ ), zowel bij de enkeltoppige als bij de dubbeltoppige spektra. Deze rekenprocedure is alleen geldig indien de drijvende caisson gedurende de plaatsing slechts een aantal malen of in het geheel niet loskomt van de staande caisson.

## II. MODELLEN EN MODELOPSTELLINGEN

De modelproeven werden uitgevoerd in de 8 m brede en 100 m lange windgoot van het Laboratorium "Delft". De modelopstelling is weergegeven op fig. 4.

In de modelopstelling is ook de drempel in het sluitgat opgenomen; dit in tegenstelling tot de situatie bij de oriënterende proeven.

De invloed van de sleepboten op de bewegingen van de drijvende caisson is in het model gereproduceerd door middel van konstante krachten. Om de krachten ondubbelzinnig te kunnen meten zijn de sleepboten die de drijvende caisson tegen de staande caisson drukken, in het model weggelaten. Zodoende werden de wrijvingskrachten welke daardoor tussen de kopwanden ontstaan en welke de te meten krachten beïnvloeden, geëlimineerd.

De positie van de drijvende caisson evenwijdig aan de as van het sluitgat is gefixeerd met behulp van een slappe veer. Deze was aan het ene eind verbonden met de kopwand van de drijvende caisson (ter plaatse van het zwaartepunt); aan het andere eind was de veer op dezelfde hoogte bevestigd aan het tussenschot van de staande caisson op ca. 25 m vanaf de kopwand. (Daartoe was het nodig in de kopwand en drie tussenschotten gaten te branden). Door deze fixatie van de positie werden door de veer vrijwel geen krachten opgenomen in het vlak loodrecht op de as van het sluitgat, terwijl de bewegingen van de drijvende caisson in dit vlak evenmin werden beïnvloed.

Voor het meten van de horizontale componenten van de krachten in het vlak van de kopwand is dezelfde meetopstelling gebruikt als bij de oriënterende proeven (zie III.3. van rapport M 1099 deel I). Door een kleine konstruktiewijziging was de veerconstante nu  $R_0 = 60 \text{ tf cm}^{-1}$ .

Zowel de uitgangssignalen van de golfhoogtemeters als die van de dynamometers zijn opgenomen op magneetband en op papier met behulp van een U-V-recorder. De kumulatieve frekwentieverdelingen van de krachten en de golven werden bepaald met behulp van analysatoren. Bij de uitwerking van de proeven is ook gebruik gemaakt van filters, welke van een bepaald signaal componenten met een bepaalde frekwentie affilteren dan wel onversterkt doorlaten.

Voor verdere gegevens omtrent gebruikte instrumenten, modellen, golfopwekking en dergelijke wordt verwezen naar hoofdstuk III van deel I.

Uit praktische overwegingen is als benadering voor de significante golfhoogte  $H_{15}$  (de golfhoogte welke door 15% van het aantal golven wordt overschreden) genomen.

### III. METINGEN VAN DE KRACHTEN

#### III.1. Programma

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

- de hoeveelheid ballastwater in de drijvende caisson;
- de verdeling van de energie van de golven over het periodegebied, gekarakteriseerd door de vorm van het energiedichtheidsspektrum en de ligging van de top(pen) en
- de significante hoogte van de onregelmatige golven.

Het volledige programma is samengevat in de tabellen 1, 2 en 3. De proeven duurden ongeveer 50 min. (prototype).

Bij een aantal proeven waarbij dubbeltoppige energiedichtheidsspektra werden toegepast, zijn de op magneetband opgenomen golf- en krachtsignalen op overeenkomstige wijze gefilterd. Door eerst het hoogfrequentie deel van de signalen af te filteren en daarna het laagfrequentie deel bleven de laagfrequentie resp. de hoogfrequentie delen van de dubbeltoppige spektra over. Zodoende werden de proeven 2 tot en met 6, 8, 11 tot en met 15 en 17 verkregen.

Naast proeven met onregelmatige golven zijn ook nog een aantal proeven uitgevoerd met regelmatige golven. De daarbij opgewekte (zeer lage) golven varieerden evenwel dermate in hoogte over de breedte van de golfgoot, dat de gegevens onvoldoende betrouwbaar werden geacht. In verband hiermede is aan deze proeven verder geen aandacht geschonken in dit rapport.

#### III.2. Resultaten

De sleepboot met 20 tf trekkraft oefende een horizontale kracht en een moment uit op de drijvende caisson. Door de horizontale kracht werd de drijvende caisson met de buitenste ribben tegen de ribben van de staande caisson getrokken (fig. 3). Het moment had tot gevolg dat reeds bij stil water de glijborders elkaar raakten. Hierdoor traden bij zeer lage golven al dynamische belastingen op, waartegen met name de glijborders zeker niet bestand zouden zijn. In verband hiermede is nu overleg met de opdrachtgever besloten de caisson zodanig te ballasten

dat het bovengenoemde moment juist werd opgeheven. Bij vrijwel alle uitgevoerde proeven kwamen hierdoor alleen belastingen op de onderste dynamometer voor.

Bij de proeven waarbij de drijvende caisson niet of slechts nu en dan loskwam van de staande caisson voldeden niet alleen de golven, maar ook de krachten goed aan de Rayleigh-verdeling. Dit geldt zowel voor de enkeltoppige als voor de dubbeltoppige spektra en de afgefilterde hoog- en laagfrequentie delen van de dubbeltoppige spektra. Ter illustratie zijn een aantal representatieve voorbeelden van de kumulatieve frequentieverdelingen van de golven en de krachten bij de verschillende spektrumvormen weergegeven in de figuren 7 t/m 14.

Bij alle proeven is de significante kracht  $F_g$  bepaald (zie de tabellen 1, 2 en 3). In de figuren 15 t/m 20 is  $F_g$  uitgezet als functie van  $H_g$ ,  $T_0$  en de hoeveelheid ballastwater in de caisson.

De krachten tussen de caissons namen toe bij vergroting van de golfperiode tot  $T_0 = \text{ca. } 5 \text{ s}$ . Bij grotere golfperiodes werden de krachten niet of nauwelijks groter. Bij B0 (geen ballastwater in de caisson) trad bij  $T_0 = 5 \text{ s}$ . een kracht  $F_g = 30 \text{ tf}$  op bij  $H_g = \text{ca. } 0,30 \text{ m}$ ; bij B75 en B225 (75 en 225 cm ballastwater in de caisson) was dit het geval bij  $H_g = \text{ca. } 0,24 \text{ m}$  resp.  $H_g = \text{ca. } 0,17 \text{ m}$ .

De fluktuatie van de kracht  $F$  rondom de voorspanning was vrijwel symmetrisch, althans wanneer de drijvende caisson niet loskwam van de staande caisson.

Wanneer de voorspanning op een gegeven moment overschreden werd, gingen de kwasistatische krachten over in dynamische krachten en namen de belastingen aanzienlijk toe (zie ook fig. 25). De kracht waarmee sleepboot A de drijvende caisson tegen de staande trekt, dient derhalve zo groot te zijn, dat de voorspanning slechts een aantal malen of in het geheel niet wordt overschreden (zie ook III.3.).

In het model zijn een aantal schematisaties aangebracht. Welke invloed deze schematisaties hebben op de krachten is uiteengezet in hoofdstuk II van het rapport M 1099 deel I. In dit verband kan nog opgemerkt worden dat de kwasistatische krachten niet afhankelijk zijn van de veerstijfheid  $R_0$ . Dit in tegenstelling tot de dynamische krachten, welke, zoals in bovengenoemd rapport aangetoond is, evenredig zijn met  $\sqrt{R_0}$ .

### III.3. Berekening van de krachten bij gegeven spektrumvorm en $H_s$

Bij de enkeltoppige spektra kan men, indien  $H_s$  en  $T_0$  bekend zijn,  $F_s$  bij B0, B75 en B225 bepalen met behulp van de figuren 18, 19 en 20. Aangezien de krachten bij benadering voldoen aan de statistische Rayleigh-verdeling (althans, wanneer het aantal dynamische belastingen beperkt blijft) volgt uit  $F_s$  direkt  $F_x =$  de top-dalwaarde van de kracht welke door  $x\%$  van het aantal krachten wordt overschreden (fig. 21).

Indien bovendien het aantal krachten ten opzichte van het aantal golven, de gemiddelde golfperiode  $\bar{T}$  en de tijd dat de caissons kontakt zullen maken, bekend is, kan men berekenen hoeveel maal een bepaalde kracht bij de plaatsing van een caisson overschreden zal worden en ook, hoe groot de kans is dat de drijvende caisson los zal komen van de staande caisson.

Het aantal krachten  $F$  bleek bij de proeven met enkeltoppige spektra in het algemeen ongeveer gelijk te zijn aan het aantal golven bij  $T_0 \gtrsim 2,5$  s. Bij kleinere golfperioden en de dubbeltoppige spektra met  $T_w \lesssim 2,5$  s. was het aantal golven wat groter dan het aantal krachtfluctuaties (maximaal 2 maal groter).

Afhankelijk van de spektrumvorm varieert  $\bar{T}$  van  $T_0/1,4$  (Pierson-Moskowitz spektrum) tot  $T_0$  (extreem smal spektrum).

Nadat de caisson tegen de afgezonken caisson is getrokken worden de afsluiters opgedraaid en zakt de caisson geleidelijk totdat de bodemplaat op de drempel rust. Deze afzinkprocedure zou men, in de tijd gezien, als volgt kunnen schematiseren:

B0 : 8 minuten  
B75 : 4     "  
B225 : 3     "

#### Voorbeeld enkeltoppig spektrum

Gegeven :  $T_0 = 5$  s  
           $H_s = 0,20$  m  
           $K_v = 20$  tf

Op de figuren 18, 19 en 20 valt af te lezen:

$$F_s = 23,5 \text{ tf bij B0; } \frac{2 \times K_v}{F_s} = \frac{40}{F_s} = 1,70$$

$$F_s = 26 \text{ tf bij B75; } \frac{40}{F_s} = 1,54$$

$$F_s = 33,5 \text{ tf bij B225; } \frac{40}{F_s} = 1,19$$

Fig. 21 geeft:

$$F_{0,5} = 40 \text{ tf bij B0}$$

$$F_{1,2} = 40 \text{ tf bij B75}$$

$$F_7 = 40 \text{ tf bij B225}$$

Bij B0 komt de caisson derhalve los bij gemiddeld 0,5% van het aantal golven, bij B75 resp. B225 bedraagt dit percentage 1,2 resp. 7.

Veronderstelt men dat  $\bar{T} = T_0/1,4 = 3,6$  s dan wordt de voorspanning en daarmee een kracht  $K = 2K_v$  gemiddeld  $\frac{8 \times 60}{3,6} \times \frac{0,5}{100} + \frac{4 \times 60}{3,6} \times \frac{1,2}{100} + \frac{3 \times 60}{3,6} \times \frac{7}{100} = \text{ca. } 5$  maal overschreden.

Geheel analoog kan voor andere perioden worden berekend bij welke golfhoogte de drijvende caisson 5 maal los zal komen van de staande caisson. Deze golfhoogte  $(H_g)_5$  is weergegeven in fig. 22. Uit de krachtregistraties van de uitgevoerde proeven blijkt dat de kans dat een (dynamische) kracht  $K = 75$  tf zal worden overschreden bij  $(H_g)_5$  vrijwel nihil is.

Indien  $K_v$  enigszins groter of kleiner is dan 20 tf zullen de kwasistatische krachten  $F$  weinig afwijken van de waarden welke bij de modelproeven bij  $K_v = 20$  tf zijn gevonden en kan in verband hiermede dezelfde procedure worden gevolgd. Bij  $K_v = 23$  tf bijvoorbeeld geldt:

$$\frac{46}{F_s} = \frac{46}{23,5} = 1,96 \text{ bij B0}$$

$$\frac{46}{F_s} = \frac{46}{26} = 1,77 \text{ bij B75}$$

$$\frac{46}{F_s} = \frac{46}{33,5} = 1,37 \text{ bij B225}$$

Fig. 21 geeft:

$$\begin{aligned} F_{0,1} &= 46 \text{ tf bij B0} \\ F_{0,3} &= 46 \text{ tf bij B75} \\ F_3 &= 46 \text{ tf bij B225} \end{aligned}$$

Bij het afzinken wordt de kracht  $K = 2K_v$  derhalve gemiddeld  $\frac{8 \times 60}{3,6} \times \frac{0,1}{100} + \frac{4 \times 60}{3,6} \times \frac{0,3}{100} + \frac{3 \times 60}{3,6} \times \frac{3}{100} = \text{ca. 2 maal overschreden.}$

Via deze methode is het ook mogelijk bij een bepaalde voorspankracht te berekenen hoeveel maal een bepaalde kracht, welke kleiner is dan  $2K_v$ , wordt overschreden. Wanneer bijvoorbeeld  $K_v = 23 \text{ tf}$ , zal een kracht  $K = 40 \text{ tf}$  ca. 5 maal worden overschreden.

Bij de dubbeltoppige spektra kan men voor de berekening van de kans dat een bepaalde kwasistatische kracht wordt overschreden, uitgaan van de waarden  $F_s/H_s$  van de enkeltoppige spektra bij  $H_s = 0,20 \text{ m}$ . Deze waarden van  $F_s/H_s$  zijn weergegeven in fig. 23. De waarden van  $F_s/H_s$  bij de dubbeltoppige spektra kunnen worden berekend via de volgende relatie:

$$\frac{F_s}{H_s} = \frac{S_D \times C_D + S_W \times C_W}{S_D + S_W} \quad (1)$$

Voor de betekenis van  $S_D$ ,  $C_D$  enz. wordt verwezen naar de lijst met symbolen.

Op fig. 24 zijn de gemeten en de via de bovengenoemde relatie berekende waarden van  $F_s/H_s$  bij dubbeltoppige spektra met  $T_D = \text{ca. } 7,5 \text{ s}$  en  $T_W = \text{ca. } 2,5 \text{ s}$  uitgezet als functie van  $S_D/S_W$ . Bij proef 24 ( $T_D = 10,9 \text{ s}$ ,  $T_W = 3,1 \text{ s}$ ,  $S_D/S_W = 2,41$  en geen water in de caisson) is de gemeten waarde van  $F_s/H_s = 27/0,22 = 122 \text{ tfm}^{-1}$  en de berekende waarde:

$$\frac{F_s}{H_s} = \frac{2,41 \times 125 + 1 \times 95}{1 + 2,41} = 116 \text{ tfm}^{-1}.$$

Uit fig. 24 en uit bovenstaande berekening blijkt dat de berekende waarden goed overeenstemmen met de gemeten waarden.



$\bar{T}$  zal in het algemeen ongeveer gelijk zijn aan de gemiddelde periode welke behoort bij het hoogfrequentie deel van het golfspektrum.

Zijn  $H_S$  en de spektrumvorm bekend dan kan via (1)  $F_S$  en via figuur 21  $F_X$  worden bepaald en daarmee de kans dat bij het afzinken een bepaalde kracht zal worden overschreden.

Voorbeeld dubbeltoppig spektrum

Gegeven:  $T_D = 10$  s  
 $T_W = 2,8$  s  
 $S_D : S_W = 1,5 : 1$   
 $H_S = 0,25$  m

Uit (1) volgt:

$$\frac{F_S}{H_S} = \frac{1,5 \times 126 + 1 \times 78}{1 + 1,5} = 107 \text{ tfm}^{-1} \quad (\text{B0})$$

$$\frac{F_S}{H_S} = \frac{1,5 \times 133 + 1 \times 68}{1 + 1,5} = 107 \text{ tfm}^{-1} \quad (\text{B75})$$

$$\frac{F_S}{H_S} = \frac{1,5 \times 160 + 1 \times 82}{1 + 1,5} = 129 \text{ tfm}^{-1} \quad (\text{B225})$$

$$F_S = 26,8 \text{ tf} \quad \frac{40}{F_S} = 1,49 \quad (\text{B0})$$

$$F_S = 26,8 \text{ tf} \quad \frac{40}{F_S} = 1,49 \quad (\text{B75})$$

$$F_S = 32,2 \text{ tf} \quad \frac{40}{F_S} = 1,24 \quad (\text{B225})$$

Fig. 21 geeft:

$$\begin{aligned} F_{1,6} &= 40 \text{ tf bij B0} \\ F_{1,6} &= 40 \text{ tf bij B75} \\ F_{5,5} &= 40 \text{ tf bij B225} \\ \bar{T} &= \frac{T_W}{1,3} = \frac{2,8}{1,3} = 2,15 \text{ s} \end{aligned}$$

Bij het afzinken zal, indien de voorspankracht  $K_V = 20$  tf is, de drijvende caisson gemiddeld  $\frac{8 \times 60}{2,15} \times \frac{1,6}{100} + \frac{4 \times 60}{2,15} \times \frac{1,6}{100} + \frac{3 \times 60}{2,15} \times \frac{5,5}{100} = \text{ca. } 10$  maal loskomen van de staande caisson.

TABEL 1

T<sub>O</sub>, H<sub>S</sub> EN F<sub>S</sub> BIJ DE PROEVEN 1 t/m 24 (GEEN WATER IN CAISSON)

Proef	T <sub>O</sub> (s)	H <sub>S</sub> (m)	F <sub>S</sub> (tf)	Opmerkingen
1	2,7	0,17	12	
2	2,4	0,18	12	Afgefilterd van proef 23
3	2,4	0,21	12	" " " 22
4	2,6	0,21	10	" " " 20
5	2,5	0,25	15	" " " 21
6	2,5	0,32	17	" " " 19
7	3,0	0,14	10	
8	3,1	0,17	19	" " " 24
9	4,5	0,17	20	
10	4,5	0,27	27	
11	7,5	0,13	20	" " " 19
12	7,6	0,14	20	" " " 20
13	7,4	0,15	22	" " " 21
14	7,4	0,20	26	" " " 23
15	7,3	0,20	26	" " " 22
16	7,0	0,30	33	
17	10,9	0,16	23	" " " 24
18	11,1	0,24	28	
19	2,5/7,5	0,37	25	S <sub>D</sub> : S <sub>W</sub> = 0,30 : 1
20	2,6/7,6	0,28	23	S <sub>D</sub> : S <sub>W</sub> = 0,58 : 1
21	2,5/7,4	0,31	26	S <sub>D</sub> : S <sub>W</sub> = 0,75 : 1
22	2,4/7,3	0,29	29	S <sub>D</sub> : S <sub>W</sub> = 1,92 : 1
23	2,4/7,4	0,26	30	S <sub>D</sub> : S <sub>W</sub> = 2,94 : 1
24	3,1/10,9	0,22	27	S <sub>D</sub> : S <sub>W</sub> = 2,41 : 1

TABEL 2

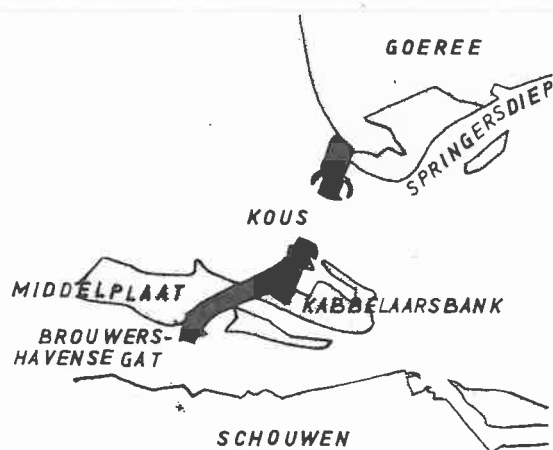
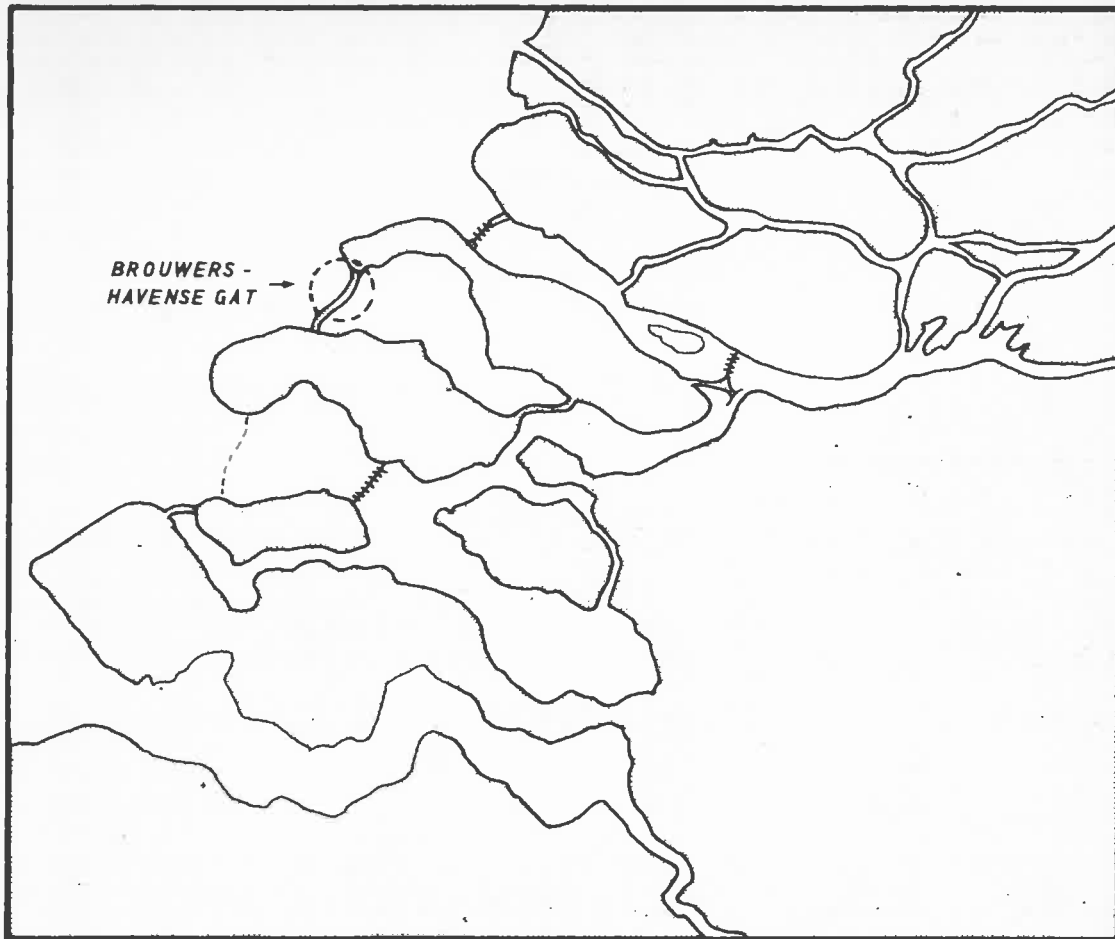
T<sub>0</sub>, H<sub>s</sub> EN F<sub>s</sub> BIJ DE PROEVEN 25 t/m 34 (75 cm WATER IN CAISSON)

Proef	T <sub>0</sub> (s)	H <sub>s</sub> (m)	F <sub>s</sub> (tf)	Opmerkingen
25	3,1	0,14	15	
26	3,1	0,34	24	
27	4,4	0,18	24	
28	4,4	0,25	31	
29	7,4	0,15	20	
30	7,0	0,26	30	
31	11,6	0,14	20	
32	11,6	0,21	28	
33	2,5/7,4	0,29	25	S <sub>D</sub> : S <sub>W</sub> = 1,05 : 1
34	2,6/7,4	0,25	23	S <sub>D</sub> : S <sub>W</sub> = 1,85 : 1

TABEL 3

T<sub>O</sub>, H<sub>S</sub> EN F<sub>S</sub> BIJ DE PROEVEN 35 t/m 46 (225 cm WATER IN CAISSON)

Proef	T <sub>O</sub> (s)	H <sub>S</sub> (m)	F <sub>S</sub> (tf)	Opmerkingen
35	2,6	0,24	14	
36	3,0	0,18	22	
37	3,0	0,45	34	
38	4,5	0,12	20	
39	4,5	0,20	33	
40	7,1	0,11	20	
41	6,9	0,19	32	
42	11,6	0,13	23	
43	11,6	0,21	33	
44	2,6/7,4	0,24	23	S <sub>D</sub> : S <sub>W</sub> = 0,49 : 1
45	2,8/7,2	0,28	32	S <sub>D</sub> : S <sub>W</sub> = 1,09 : 1
46	2,5/7,1	0,23	26	S <sub>D</sub> : S <sub>W</sub> = 1,18 : 1



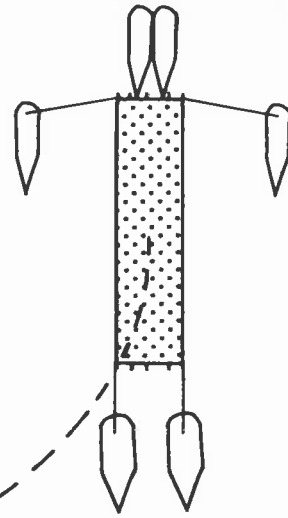
SITUATIE

JM

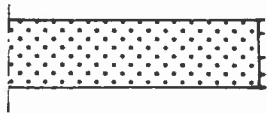
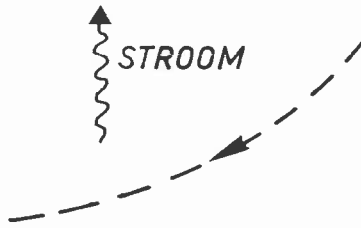
A4

NA PARKEREN BUITEN  
VAREN NAAR SLUITGAT

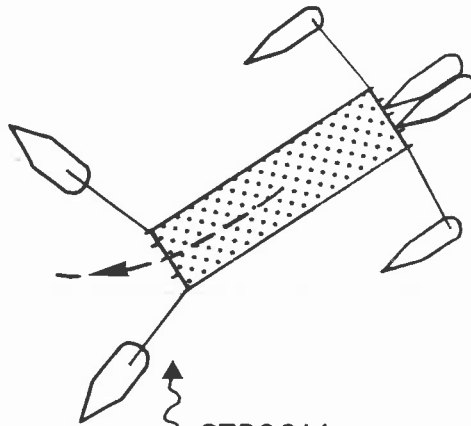
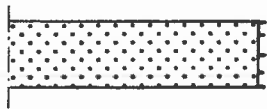
GOLVEN



STROOM



GOLVEN



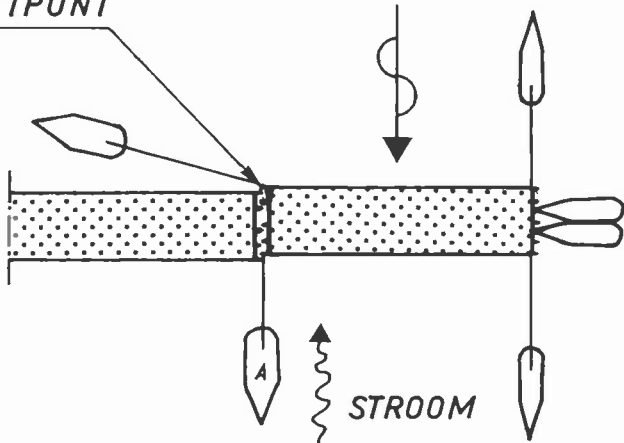
INDRAAI -  
MANOEUVRE

STROOM

GOLVEN



KONTAKTPUNT



AFZINKPOSITIE

STROOM

NIEUWE INDRAAIMANOEUVRE

JM

SCHAAL 1:2000

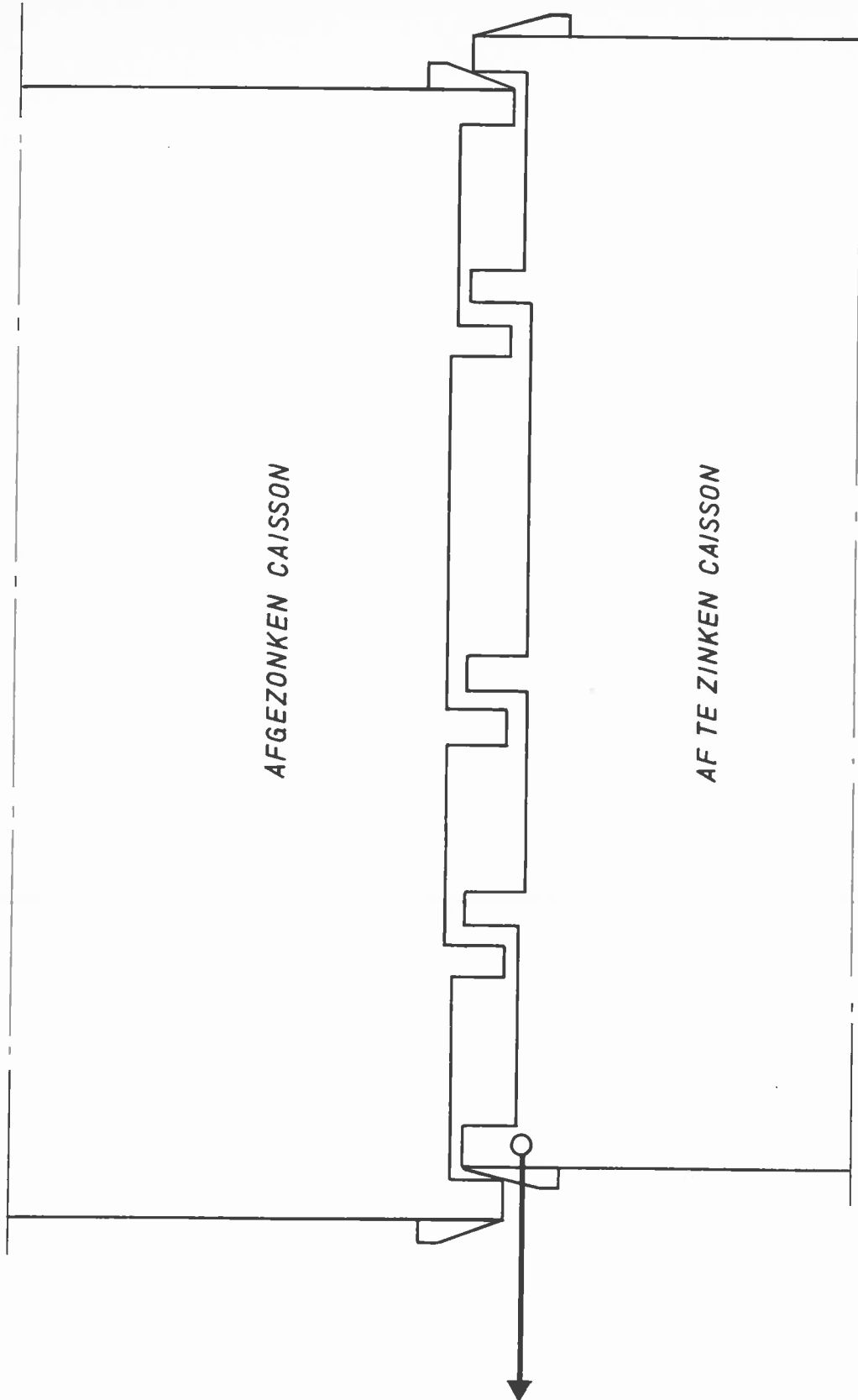
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1099 - 1029

FIG. 2

ZEEZIJDE



AFGEZONKEN CAISSON

AF TE ZINKEN CAISSON

"VOORSPANKRACHT"

BOVENAANZICHT KOPWANDEN STAANDE  
EN DRIJVENDE CAISSON

SCHAAL 1:100

JM

A4

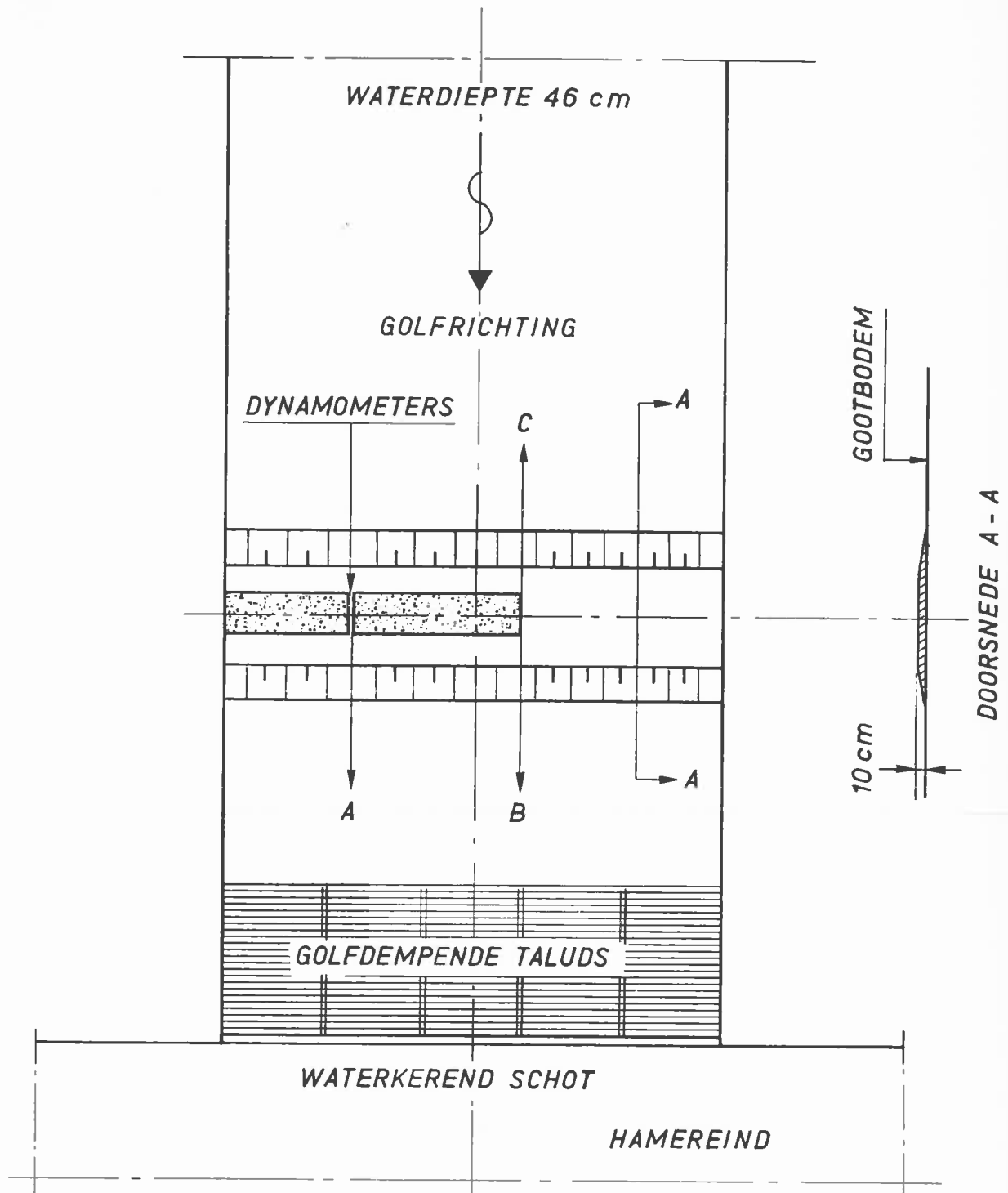
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1099-1030

FIG.3



A = 20 tf B EN C: 10 tf (OF B OF C TREKT; ZIE OOK FIG.11 IN DEEL I)



MODELSCHAAL 1:25

MEETOPSTELLING IN DE GOLFGOOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

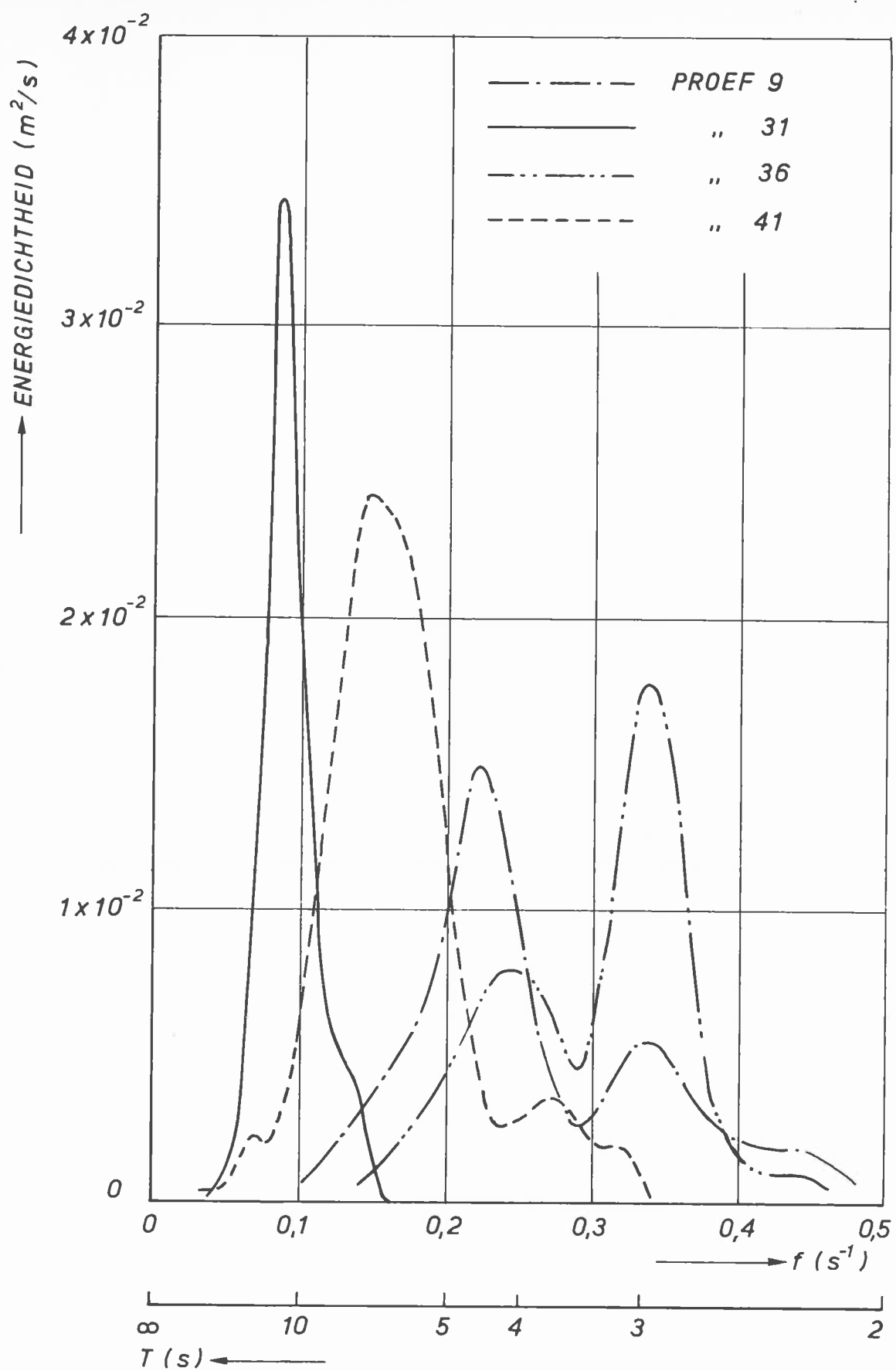
JM

SCHAAL 1:100

A4

M.1099 - 1031

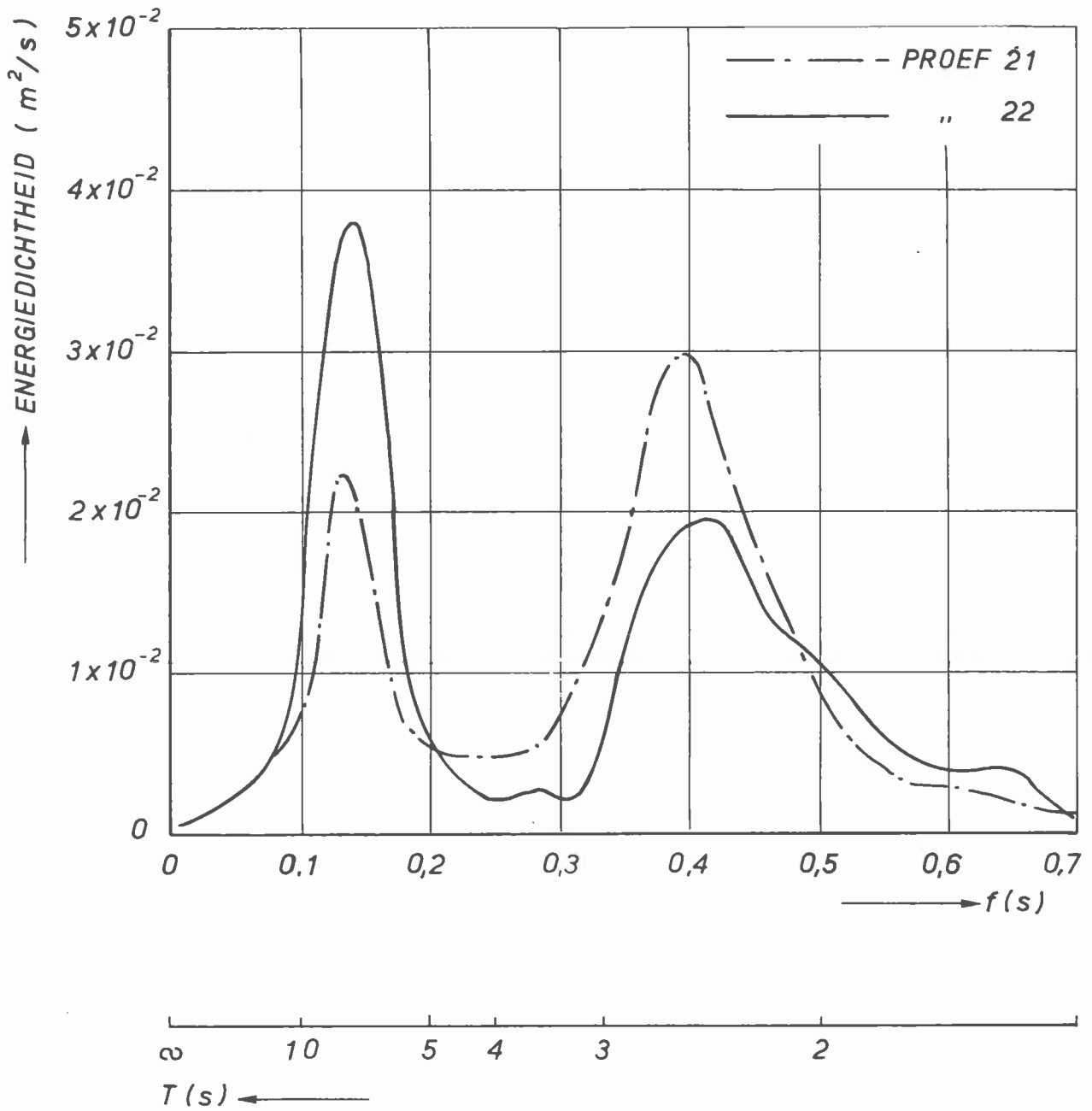
FIG. 4



ENERGIEDICHTHEIDSSPEKTRA VAN DE GOLFBEWEGING  
BIJ DE PROEVEN 9, 31, 36 EN 41

JM

A4



ENERGIEDICHTHEIDSSPEKTRA VAN DE GOLFBEWEGING  
BIJ DE PROEVEN 21 EN 22

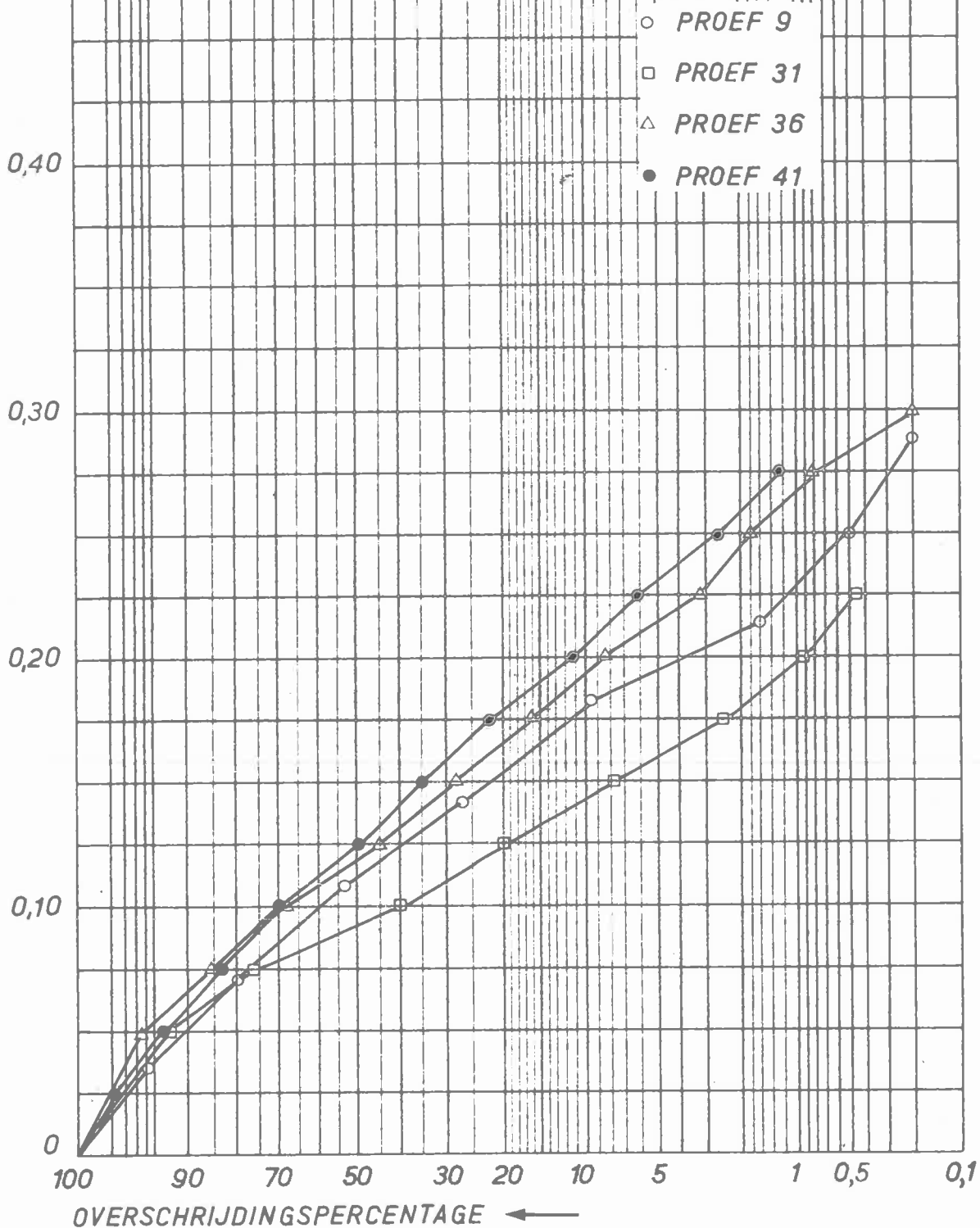
JM

A4

H (m) 0,50



RAYLEIGH VERDELING

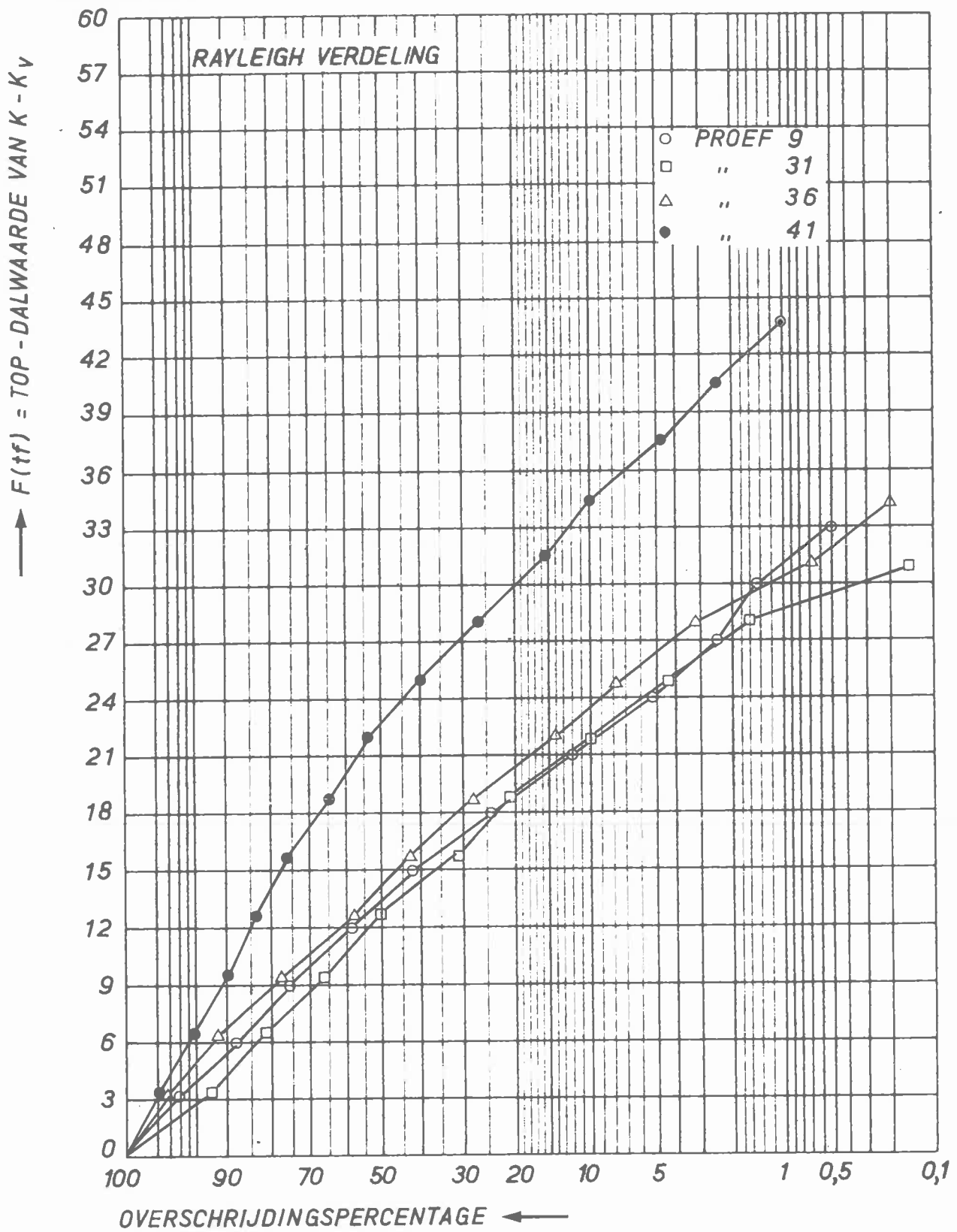


PROEVEN MET ENKELTOPPIGE SPEKTRA

KUMULATIEVE FREKWENTIEVERDELINGEN VAN DE  
GOLVEN BIJ DE PROEVEN 9, 31, 36 EN 41

JM

A4



PROEVEN MET ENKELTOPPIGE SPEKTRA

KUMULATIEVE FREKWENTIEVERDELINGEN VAN DE  
KRACHTEN BIJ DE PROEVEN 9,31,36 EN 41

JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1099 - 1035 FIG. 8

H (m)



RAYLEIGH VERDELING

▲ PROEF 21  
■ " 22

0,50

0,25

0

100 90 70 50 30 20 10 5 1 0,5 0,1

OVERSCHRIJDINGSPERCENTAGE ←

PROEVEN MET DUBBELTOPPIGE SPEKTRA

KUMULATIEVE FREKWENTIEVERDELINGEN VAN DE  
GOLVEN BIJ DE PROEVEN 21 EN 22

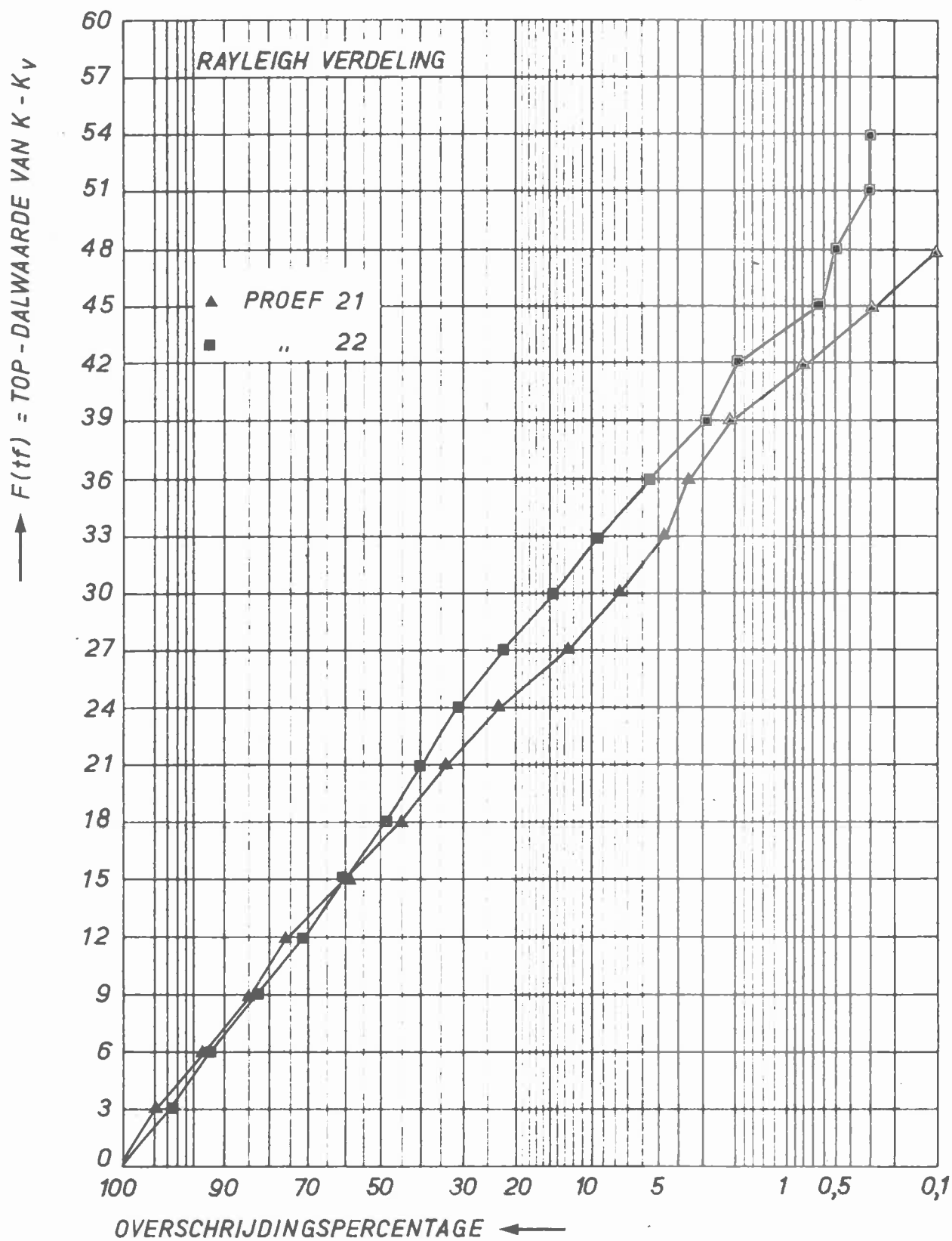
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1099-1036

FIG. 9



PROEVEN MET DUBBELTOPPIGE SPEKTRA

KUMULATIEVE FREKWENTIEVERDELINGEN VAN DE  
KRACHTEN BIJ DE PROEVEN 21 EN 22

JM

A4

H (m)



RAYLEIGH VERDELING

■ PROEF 3

▲ " 5

0,50

0,25

0

100 90 70 50 30 20 10 5 1 0,5 0,1

OVERSCHRIJDINGSPERCENTAGE ←

AFGEFILTERDE HOOGFREKWENTE DELEN VAN  
DUBBELTOPPIGE SPEKTRA

KUMULATIEVE FREKWENTIEVERDELINGEN VAN DE  
GOLVEN BIJ DE PROEVEN 3 EN 5

JM

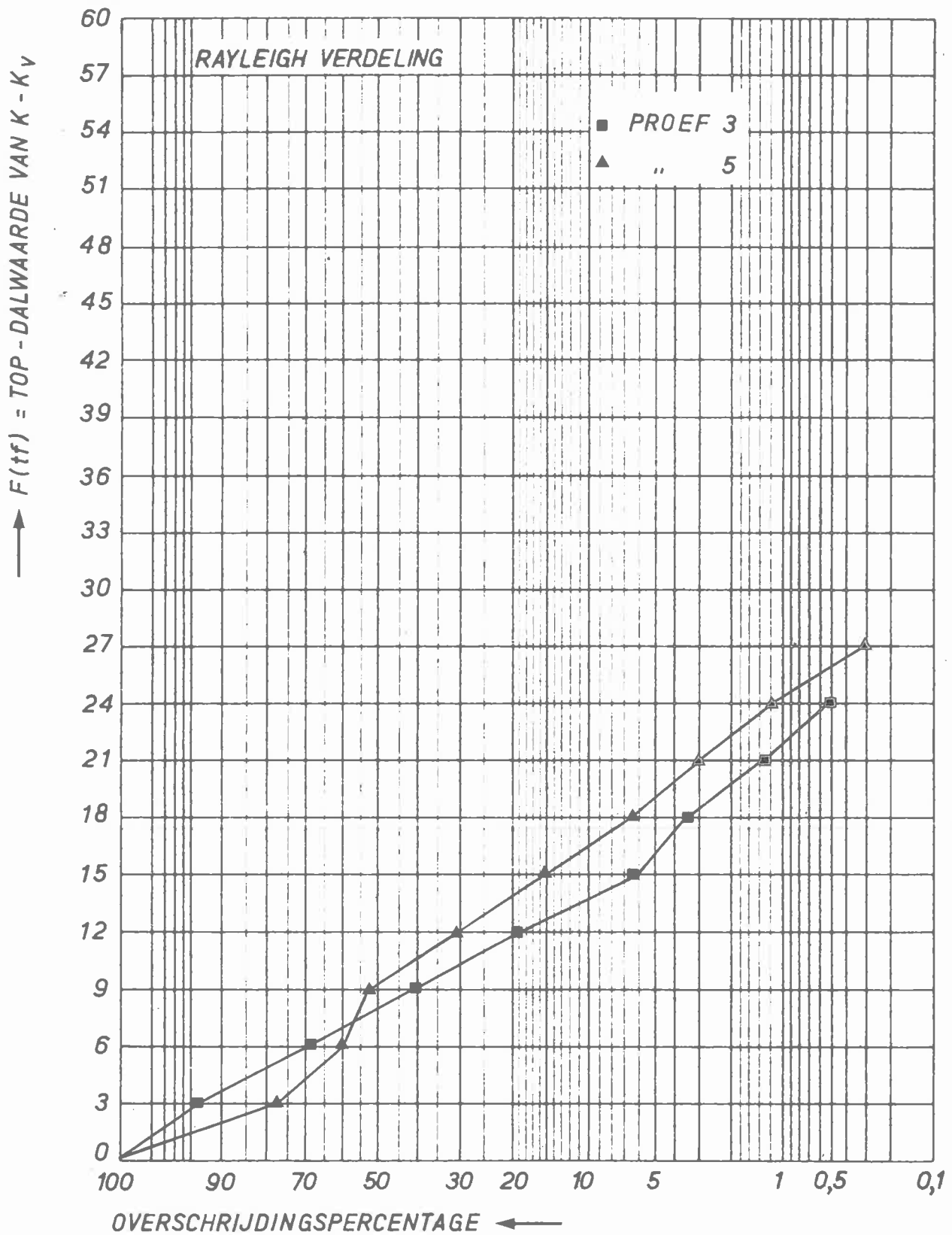
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1099-1038

FIG.11





AFGEFILTERDE HOOGFREKWENTE DELEN VAN  
DUBBELTOPPIGE SPEKTRA

KUMULATIEVE FREKWENTIEVERDELINGEN VAN DE  
KRACHTEN BIJ DE PROEVEN 3 EN 5

JM

A4

H (m)



RAYLEIGH VERDELING

▲ PROEF 13

■ .. 15

0,50

0,25

0

100

90

70

50

30

20

10

5

1

0,5

0,1

OVERSCHRIJDINGSPERCENTAGE ←

AFGEFILTERDE LAAGFREKWENTE DELEN VAN  
DUBBELTOPPIGE SPEKTRA

KUMULATIEVE FREKWENTIEVERDELINGEN VAN DE  
GOLVEN BIJ DE PROEVEN 13 EN 15

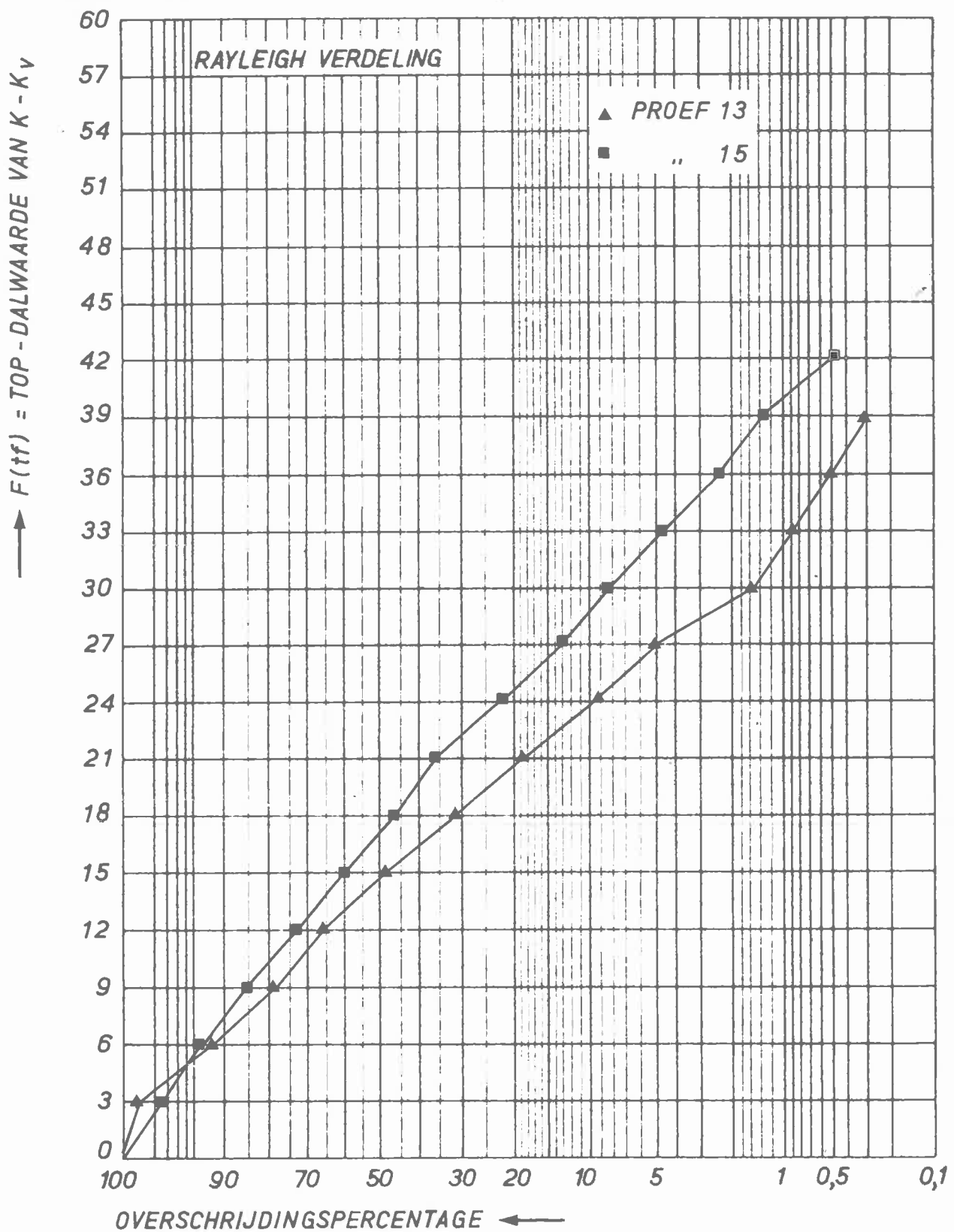
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1099-1040

FIG. 13



AFGEFILTERDE LAAGFREKWENTE DELEN VAN  
DUBBELTOPPIGE SPEKTRA

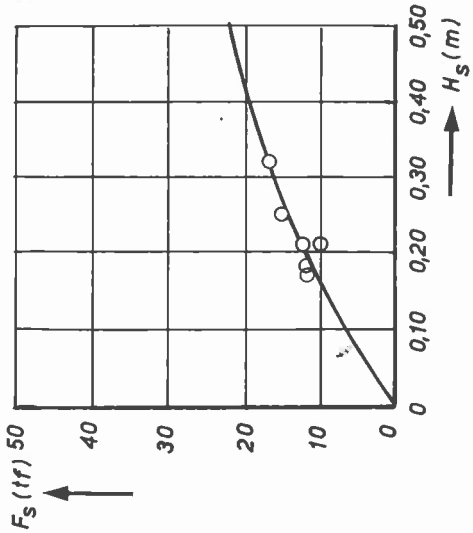
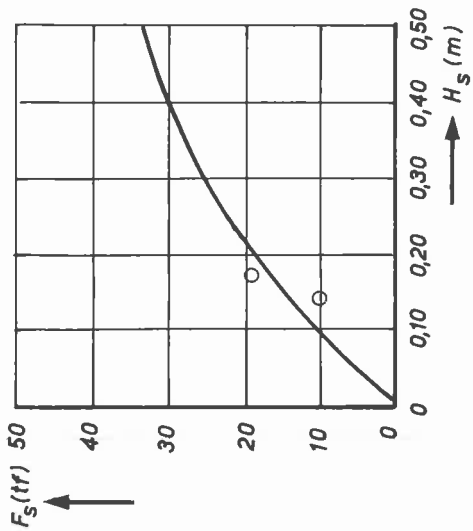
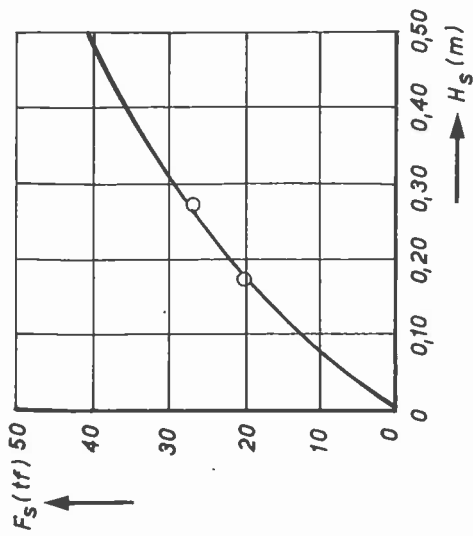
KUMULATIEVE FREKWENTIEVERDELINGEN VAN DE  
KRACHTEN BIJ DE PROEVEN 13 EN 15

JM

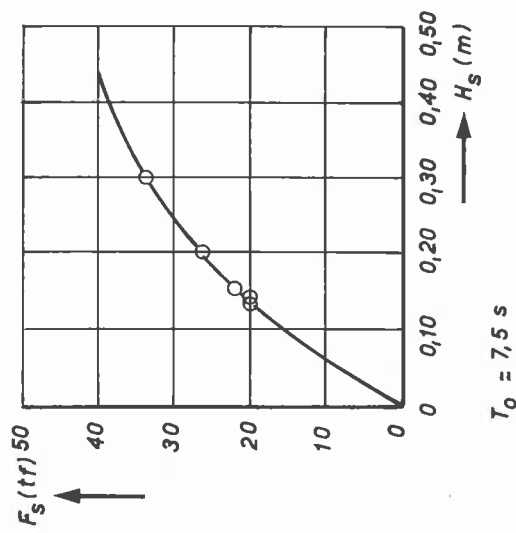
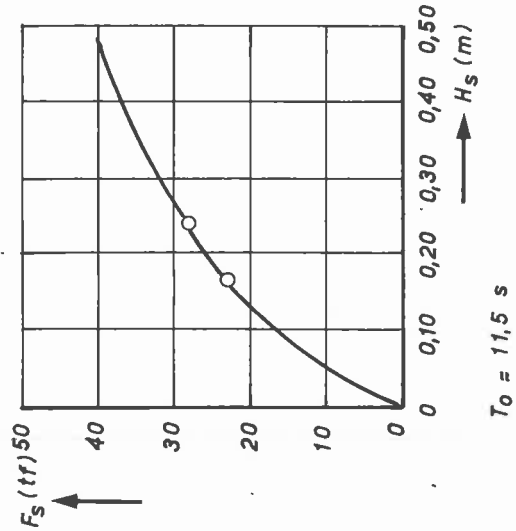
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1099 - 1041 FIG.14



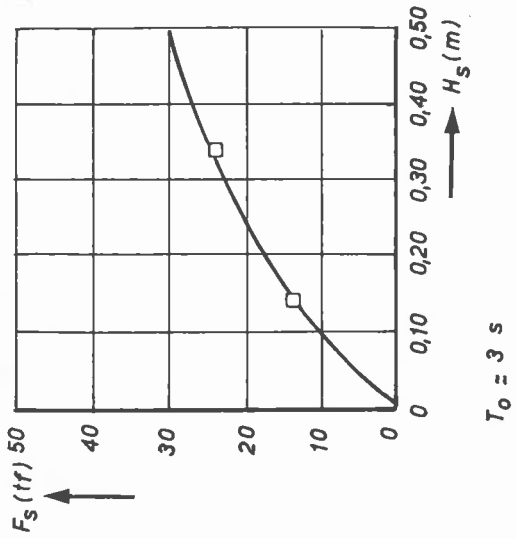
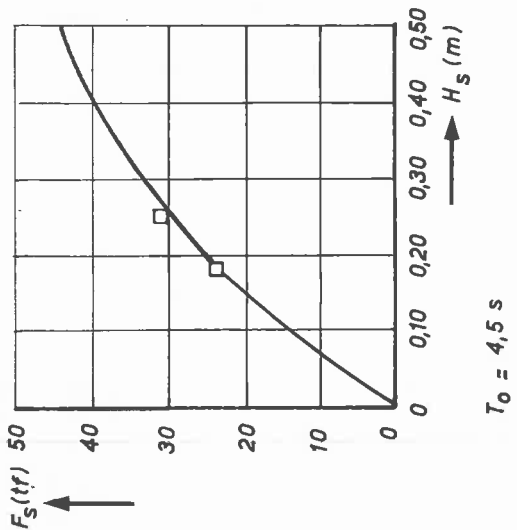
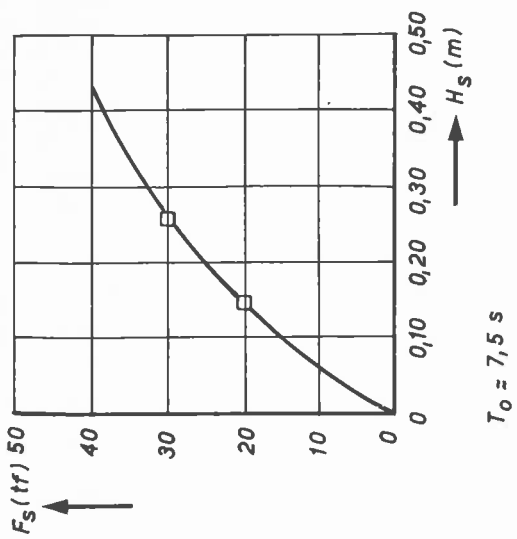
F = TOP-DALWAARDE VAN K-K<sub>v</sub>



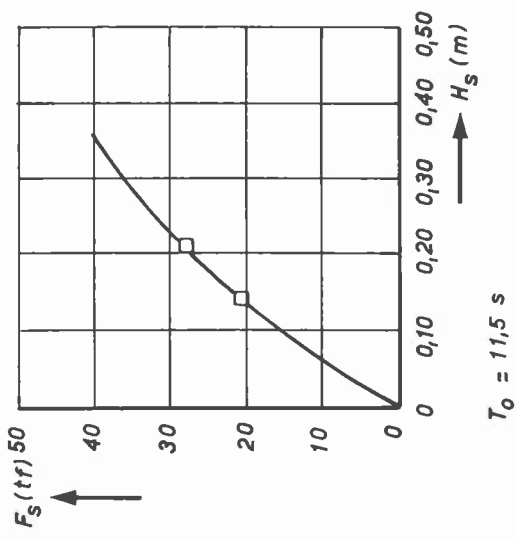
$F_S$  ALS FUNKTIE VAN  $H_S$  BIJ  $T_0 = 2,5, 3, 4,5, 7,5$  EN  $11,5 \text{ s}$  ; GEEN BALLASTWATER IN CAISSON

JM

A4

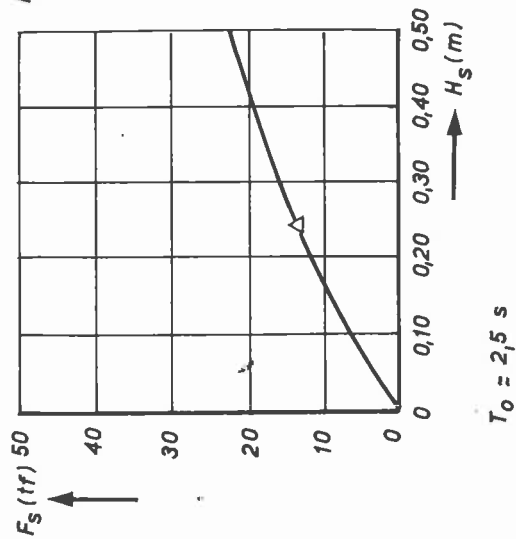
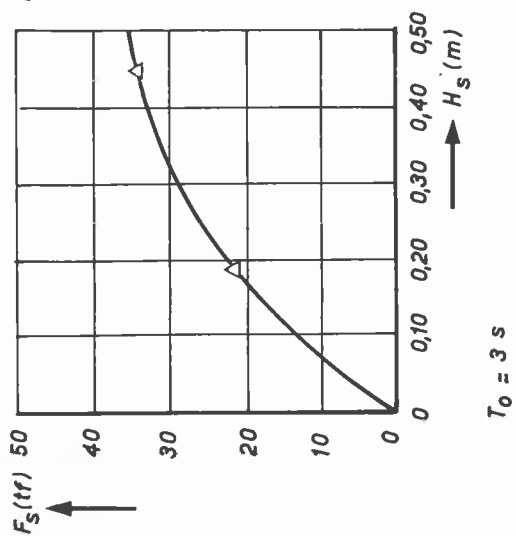
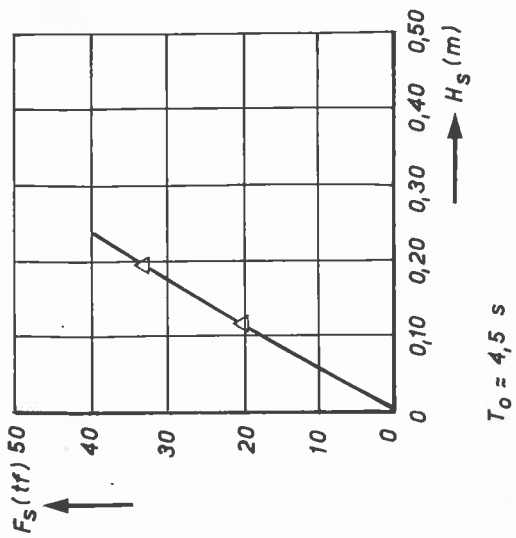


F = TOP - DALWAARDE VAN K - K<sub>v</sub>

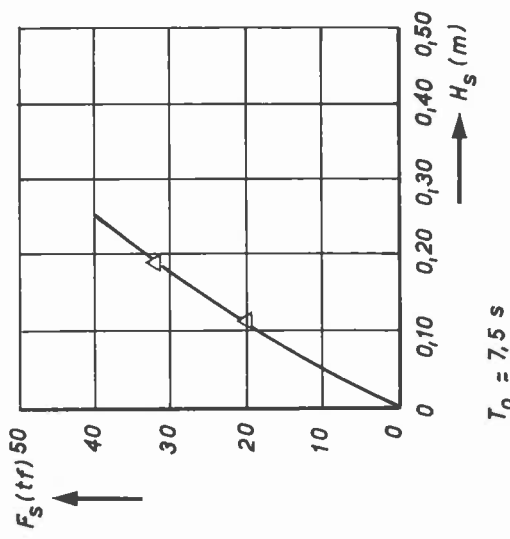
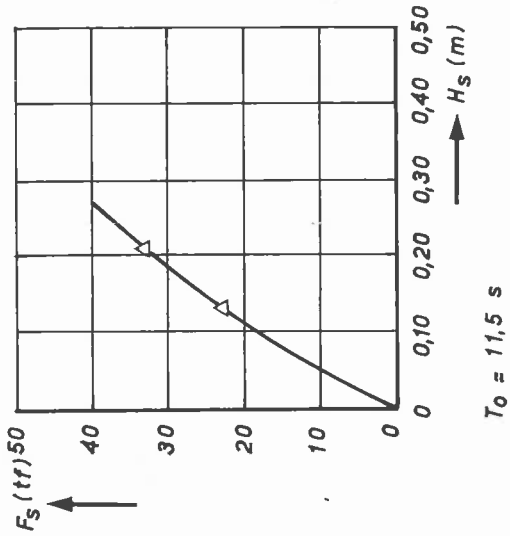


$F_s$  ALS FUNKTIE VAN  $H_s$  BIJ  $T_0 = 3, 4,5, 7,5$  EN  $11,5 \text{ s}$ ; 75 cm BALLASTWATER IN CAISSON

JM  
A4



F = TOP - DALWAARDE VAN K - K<sub>v</sub>

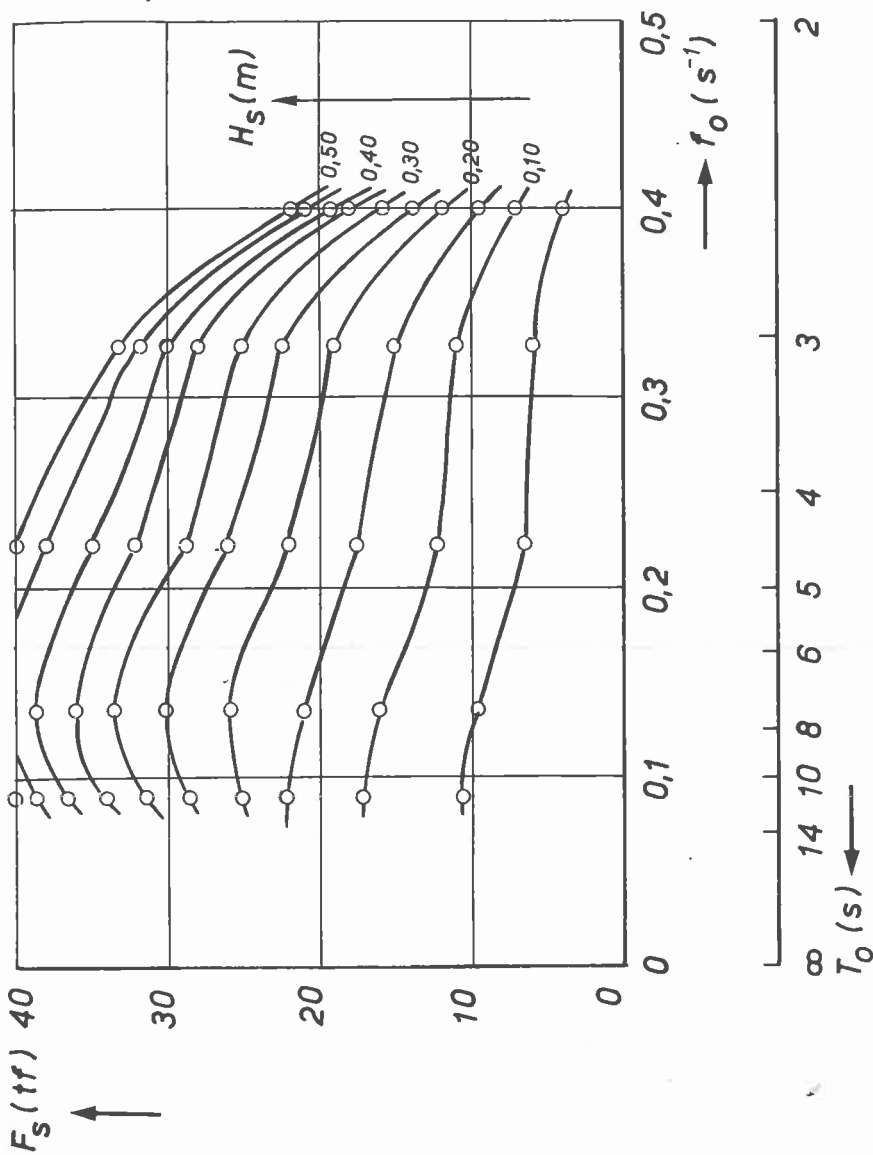


$F_S$  ALS FUNKTIE VAN  $H_S$  BIJ  $T_0 = 2,5, 3, 4,5, 7,5$  EN  $11,5 \text{ s}$ ; 225 cm BALLASTWATER IN CAISSON

JM

A4

○ ONTLEEND AAN DE  
 GRAFIEKEN OP FIG. 15  
 — GEINTERPOLEERD



F = TOP - DALWAARDE VAN K - K<sub>v</sub>

$F_s$  ALS FUNKTIE VAN  $H_s$  EN  $T_0$  ; GEEN  
 BALLASTWATER IN CAISSON

JM

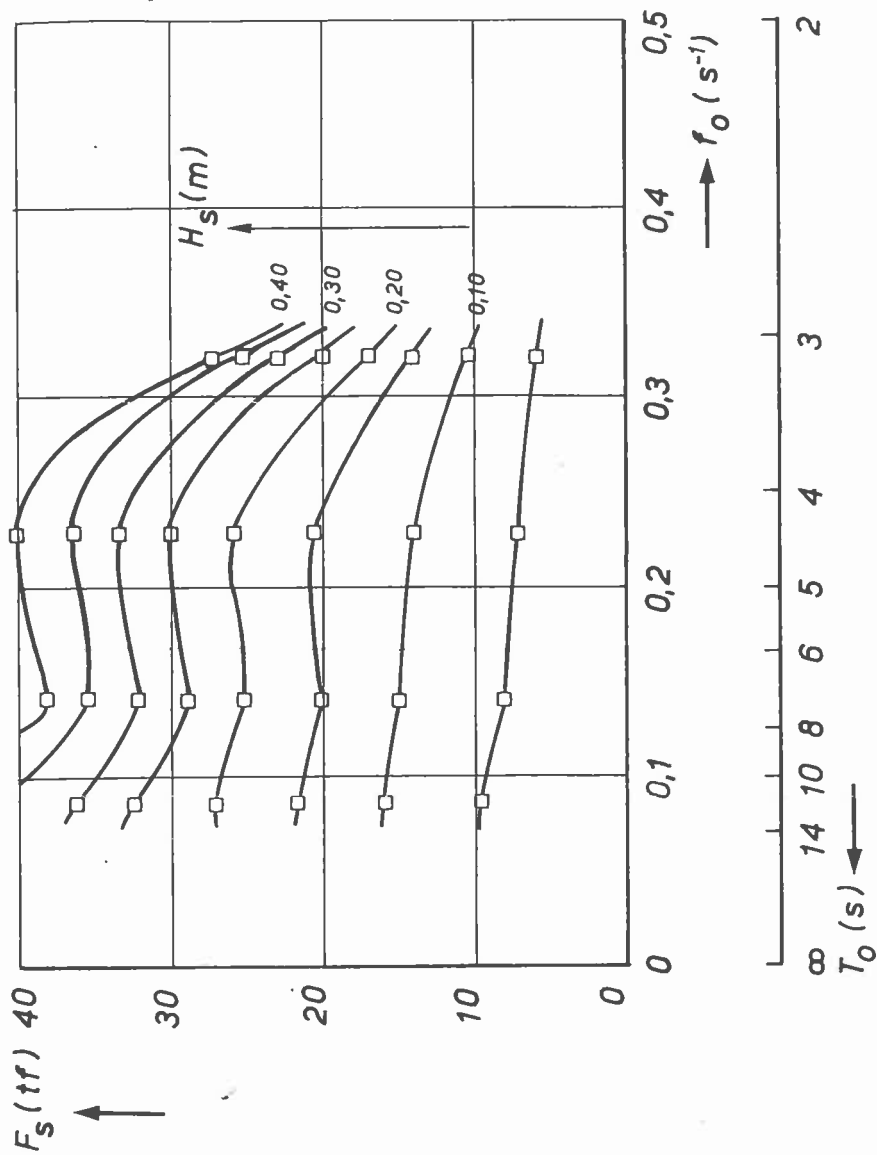
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1099 - 1045

FIG. 18

□ ONTLEEND AAN DE  
 GRAFIEKEN OP FIG.16  
 — GEINTERPOLEERD



F = TOP - DALWAARDE VAN K - K<sub>v</sub>

$F_s$  ALS FUNKTIE VAN  $H_s$  EN  $T_0$  ; 75 cm  
 BALLASTWATER IN CAISSON

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1099 - 1046

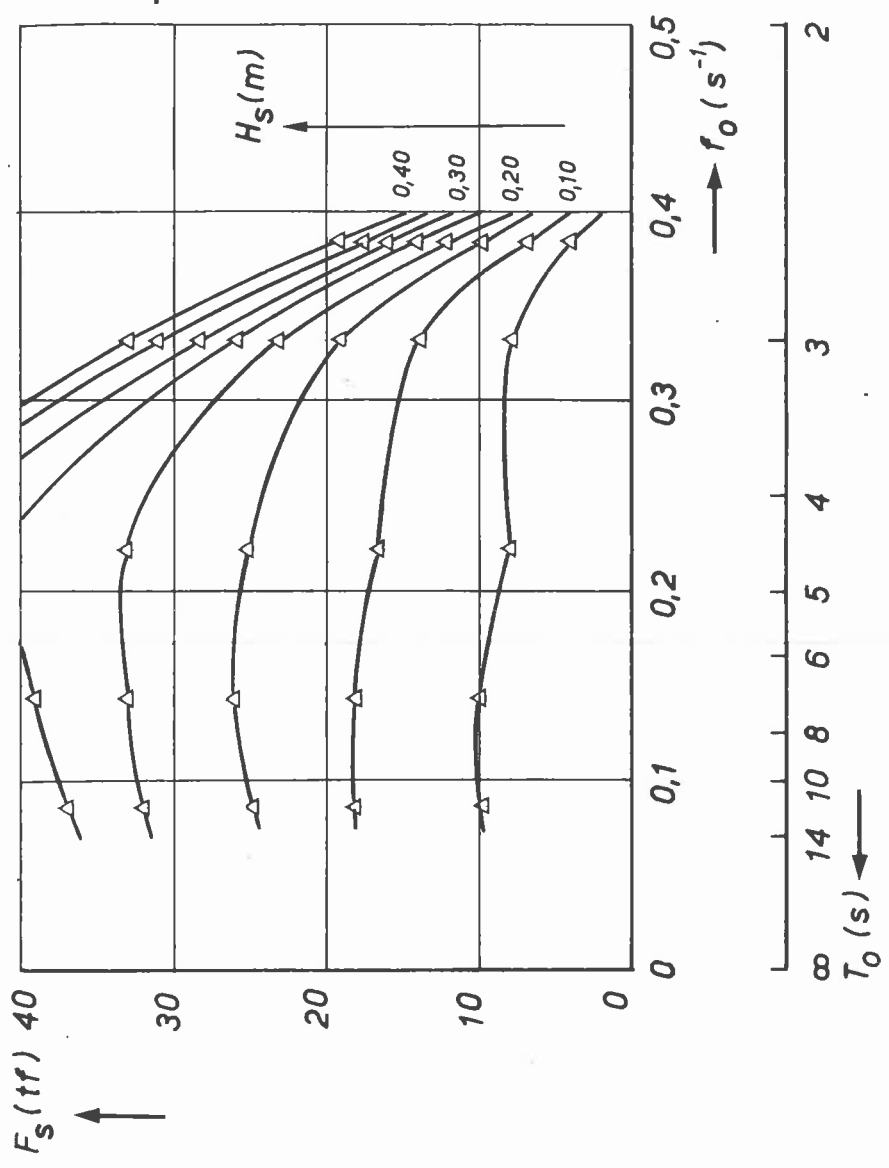
FIG.19

JM

A4



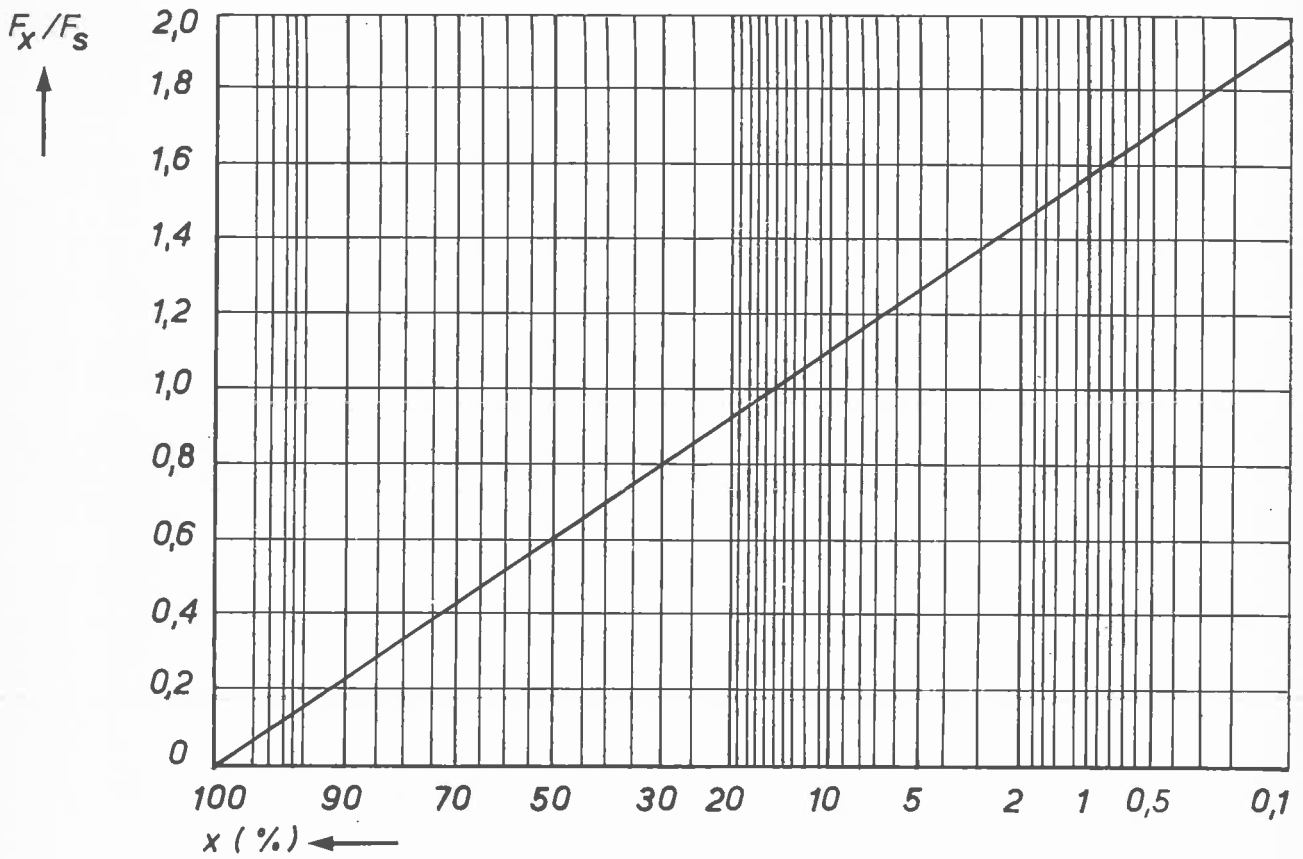
△ ONTLEEND AAN DE  
 GRAFIEKEN OP FIG.17  
 — GEINTERPOLEERD



F = TOP - DALWAARDE VAN K - K<sub>v</sub>

$F_s$  ALS FUNKTIE VAN  $H_s$  EN  $T_0$  ; 225 cm  
 BALLASTWATER IN CAISSON

JM  
 A4

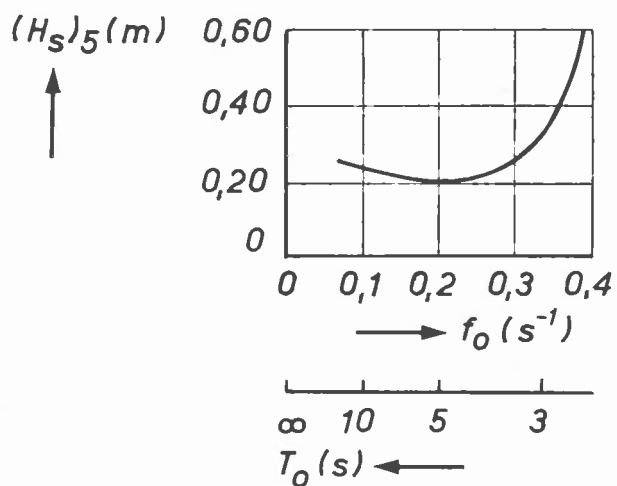


$F_x$  = KRACHT, WELKE DOOR  $x$  % VAN DE KRACHTEN WORDT OVERSCHREDEN

$F_x/F_s$  ALS FUNKTIE VAN HET OVERSCHRIJDINGS-  
PERCENTAGE DER KRACHTEN

JM

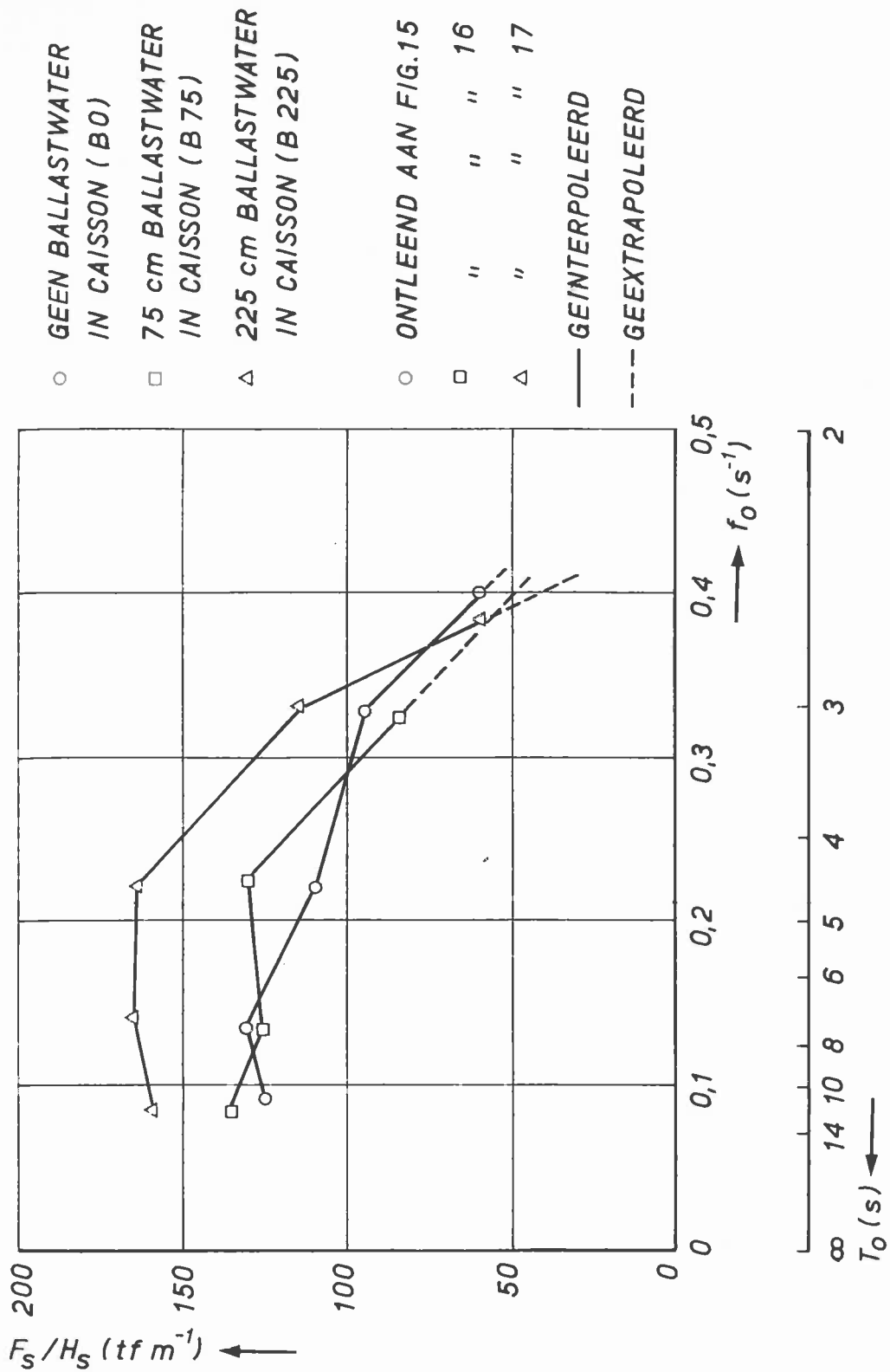
A4



$(H_s)_5$  ALS FUNKTIE VAN  $T_0$

JM

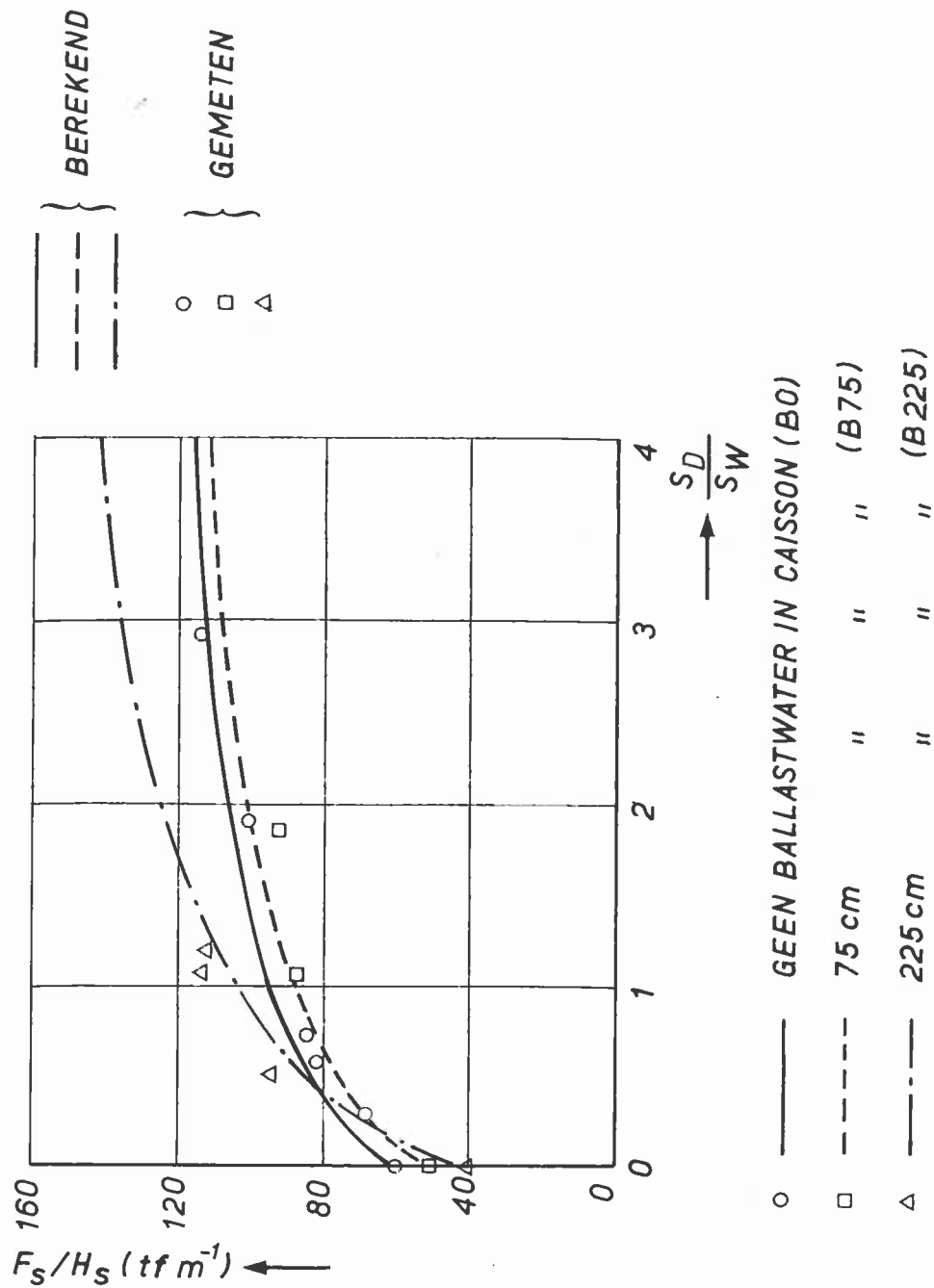
A4



$F_s/H_s$  ALS FUNKTIE VAN  $T_0$  BIJ 0,75 EN 225 cm BALLASTWATER IN CAISSON EN BIJ  $H_s = 0,20$  m

JM

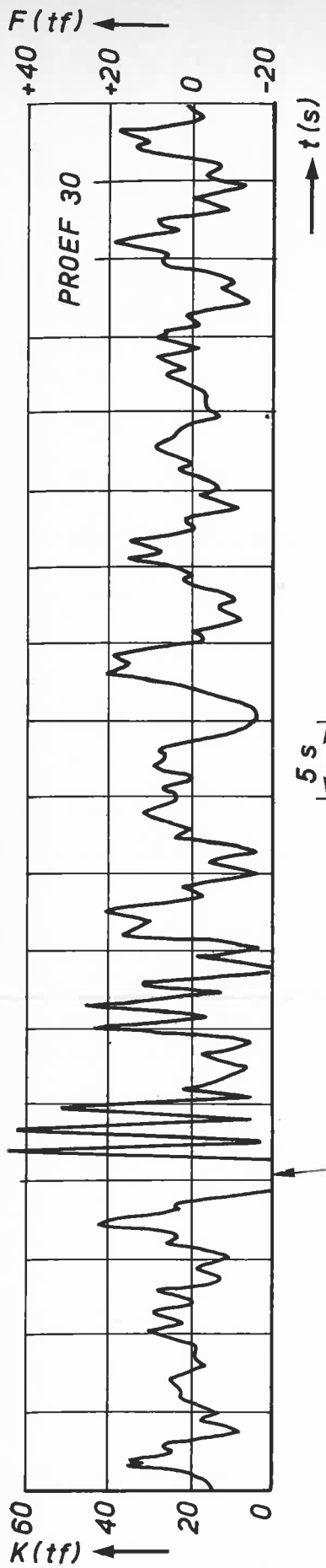
A4



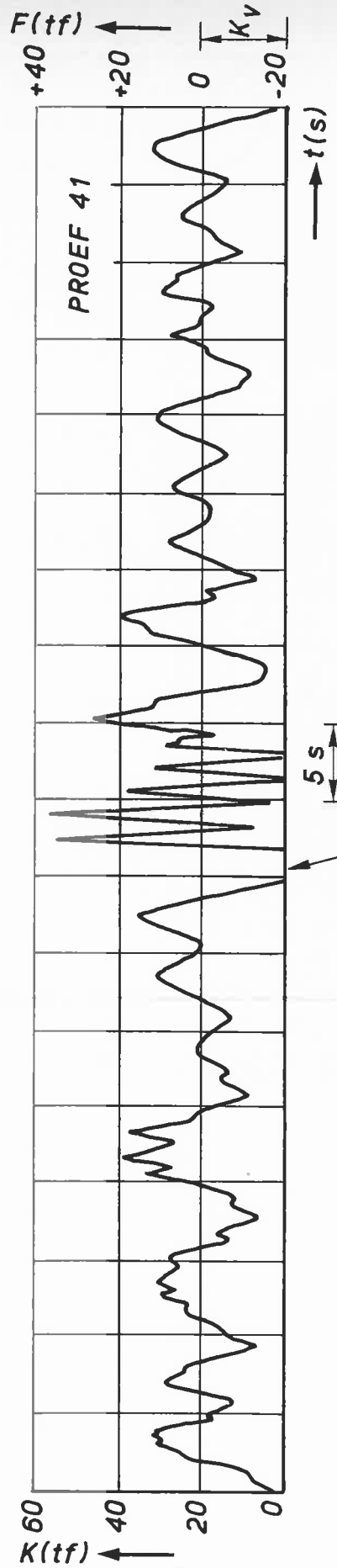
GEMETEN EN BEREKENDE WAARDEN VAN  $F_s/H_s$  BIJ DUBBELTOPPIGE SPEKTRA MET  $T_D = ca\ 7,5\ s$  EN  $T_W = ca\ 2,5\ s$

JM

A4



DRIJVENDE CAISSON LOS VAN STAANDE CAISSON



DRIJVENDE CAISSON LOS VAN STAANDE CAISSON

VOORBEELDEN VAN KRACHTREGISTRATIES

JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1099 - 1052

FIG.25

