

2e EXEMPLAAR

waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

stormvloedkering Oosterschelde
belasting in gesloten toestand

oriënterend onderzoek
golfklappen
scheve golfaanval

AFGEHANDELD

verslag modelonderzoek

M1396 deel III

maart 1982

M1396-3

stormvloedkering Oosterschelde
belasting in gesloten toestand

oriënterend onderzoek
golfklappen
scheve golfaanval

verslag modelonderzoek

M1396 deel III

maart 1982

INHOUD

pag.

Lijst van tabellen

Lijst van figuren

<u>1</u>	<u>Algemeen.....</u>	<u>1</u>
1.1	Inleiding, opdracht.....	1
1.2	Samenvatting en konklusies.....	
<u>2</u>	<u>Probleemstelling.....</u>	<u>2</u>
<u>3</u>	<u>Beschrijving van het onderzoek.....</u>	<u>3</u>
3.1	Randvoorwaarden en proevenprogramma.....	3
3.2	Schaalregels.....	4
3.3	Model en meetopstelling.....	4
3.4	Meet- en verwerkingsprocedure.....	6
3.4.1	Golven.....	6
3.4.2	Golfklappen.....	7
<u>4</u>	<u>Resultaten.....</u>	<u>9</u>
<u>5</u>	<u>Theoretische modellen voor golfklapverschijnselen.....</u>	<u>11</u>
<u>6</u>	<u>Het responsiegedrag van de konstruktie bij golfklapbelastingen</u>	<u>14</u>

LITERATUUR

TABELLEN

FIGUREN

Lijst van tabellen

- 1 Proevenprogramma
- 2 Gemeten golfhoogten

Lijst van figuren

- 1 Plattegrond en doorsnede windgolfgoten
- 2 Overzicht van de opstelling in de goot zonder krachtmeetframe
- 3 Schema geprogrammeerde golfmachine
- 4 De meetsektie voor de golfklapmetingen
- 5 De mogelijke posities van de drukopnemers
- 6 De posities van de drukopnemers per proef
- 7 t/m 14 Kumulatieve frekwentieverdelingen, golfhoogtemeters 2,3 en 4
- 15 t/m 22 Energiedichtheidsspektra golfhoogtemeter 2
- 23 t/m 38 Kumulatieve frekwentieverdeling van golfklapdrukken (piekdrukken)
- 39 Overzicht van het aantal geregistreerde klappen $> 1 \text{ kN/m}^2$ per 1000 watergolven
- 40 Klapgevoeligheidsgetallen (klappen $> 1 \text{ kN/m}^2$)
- 41 Overzicht van de maximale golfklapdrukken
- 42 Vier belastingvormen met bijbehorende konstruktiereakties bij onderling vergelijkbare impuls (als funktie van T_d)
- 43 Konstruktiereakties voor belasting in de vorm van een halve sinus met impuls onafhankelijk van T_d

STORMVLOEDKERING OOSTERSCHELDE, BELASTING IN GESLOTEN TOESTAND
ORIENTEREND ONDERZOEK GOLFKLAPPEN, SCHEVE GOLFAANVAL

1 Algemeen

1.1 Inleiding, opdracht

Tijdens een bespreking in het Waterloopkundig Laboratorium te Delft op 13 januari 1976 is door de Hoofdafdeling Waterloopkunde van de Deltadienst van de Rijkswaterstaat opdracht verleend tot het uitvoeren van een oriënterend modelonderzoek naar de golfbelasting op de Stormvloedkering Oosterschelde (zie besprekingsverslag WL 199/76).

In dit onderzoek is opgenomen:

- het bepalen van de golfbelasting op een sectie van de stormvloedkering, bij loodrechte en bij scheve golfaanval, bij onregelmatige golven.
- het bepalen van de grootte van optredende golfklappen in de situatie dat van de dubbele rij schuiven alleen de achterste schuif in een sectie weigert te zakken. De golfklappen treden dan op op het openblik dat een over de voorste schuif stortende golftong de achterste schuif raakt.

Het onderhavige verslag beschrijft het onderzoek naar de optredende golfklappen. De verslagen M 1396-I [1] en M 1396-II [2] beschrijven de onderzoeken naar de golfbelastingen bij respectievelijk loodrechte en scheve golfaanval. Het totale onderzoek is uitgevoerd onder leiding van ir. J.C. Stans, die ook de verslagen samengesteld heeft.

2 Probleemstelling

Bij de Stormvloedkering Oosterschelde komt bij het ten tijde van dit onderzoek vigerende ontwerp een dubbele rij schuiven voor. In de situatie, waarbij de noodzaak aanwezig is om de schuiven neer te laten (dreiging van stormvloed) zou het kunnen voorkomen dat een achterste schuif in een sectie weigert te zakken. De bij deze situatie voorkomende golfklappen, veroorzaakt door de golftong die over de voorste schuif stort en de achterste schuif treft, dienen onderzocht te worden.

De volgende aspecten zijn daarbij van belang:

- de gevoeligheid voor golfklappen in relatie tot de waterstand en de positie van de schuiven ten opzichte van de voorzijde van de pijler
- de verdeling van de golfklapdrukken over de schuif
- de statistische verdeling van golfklapdrukken op verschillende posities op de schuif
- de omrekening van de golfklapdrukken naar het prototype.

Met betrekking tot de omrekening naar het prototype wordt volstaan met het aangeven van bestaande theoretische modellen en enkele opmerkingen over het responsiegedrag van de konstruktie.

3 Beschrijving van het onderzoek

3.1 Randvoorwaarden en proevenprogramma

Door de Deltadienst zijn te onderzoeken waterstanden, golfbeelden en bijbehorende windsnelheden opgegeven.

De golfbeelden zijn gekarakteriseerd door de golfhoogteverdeling en het golfspektrum. De golfhoogteverdeling moet voldoen aan een Rayleighverdeling, waarbij de verdeling wordt vastgelegd door de significante golfhoogte H_s , zijnde de golfhoogte die door ca. 13,5% van de waargenomen golven wordt overschreden. Uit praktische overwegingen is bij dit onderzoek de significante golfhoogte gelijkgesteld aan de golfhoogte die door 15% van de waargenomen golven wordt overschreden.

Het golfspektrum wordt gekarakteriseerd door zijn vorm en door de waarde van de topperiode T_p , zijnde de periode met de grootste energiedichtheid.

De volgende randvoorwaarden zijn door de Deltadienst opgegeven:

Waterstand t.o.v. N.A.P. (m)	H_s (m)	T_p (s)	Windsnelheid (m/s)	Waterstand in de Oosterschelde tov NAP (m)
5,3	4,50	10,0	40	-1,7 en 2,0
3,0	3,20	8,8	25	-1,7
0,0	1,45	6,7	20	-1,7

De golven komen vanuit zee, waarbij de voortplantingsrichting van de golven een hoek van 30° maakt met de normaal op de as van de stormvloedkering (zie figuur 2).

In het proevenprogramma (tabel 1) is te zien dat van de randvoorwaarden, die zijn opgesteld voor het totale onderzoek bij scheve golfaanval, bij de proeven waarbij golfklappen zijn gemeten alleen de twee hoogste waterstanden zijn gebruikt.

De laagst opgegeven zeewaterstand is bij het golfklaponderzoek niet gebruikt

daar bij deze waterstand vrijwel geen golfoverslag over de voorste schuif optreedt en daardoor ook geen golfklappen op de achterste schuif zullen voorkomen. De meeste proeven zijn uitgevoerd met wind.

De nummering van de proeven is overeenkomstig het proevenprogramma van M1396 deel II.

3.2 Schaalregels

De gebruikte modellen zijn geometrisch gelijkvormig op schaal gemaakt met als lengteschaal $n_l = 50$. Voor de te reproduceren golfverschijnselen en de te onderzoeken golfbelastingen moet voor een juiste reproductie het getal van Froude in het model en in het prototype dezelfde waarde bezitten. Hieruit volgt voor de schaalrelaties:

lengte	: $n_l = 50$
tijd, snelheid	: $n_t = n_v = \sqrt{n_l} = 7,07$
versnelling	: $n_a = n_l \cdot n_t^{-2} = 1$
massa	: $n_m = n_l^3 = 125.000$
kracht	: $n_F = n_m \cdot n_a = 125.000$
druk	: $n_p = n_F \cdot n_l^{-2} = 50$

Voor de golfklappen zullen de schaalregels moeten volgen uit de analyse van de gemeten golfklapverschijnselen en een vergelijking van deze verschijnselen met de golfklapmodellen. In dit verslag wordt echter volstaan met het beschrijven van de gemeten verschijnselen en bestaande theoretische golfklapmodellen. Alle in dit verslag opgenomen golfklapdrukken betreffen daarom modelwaarden.

3.3 Model en meetopstelling

Het onderzoek is uitgevoerd in de 8 m brede windgolfgoot van het Waterloopkundig Laboratorium te Delft (zie figuur 1).

Op figuur 2 is de opstelling van het model (bestaande uit meet- en dummy sekties) in het zogenaamde hamereind van de 8 m brede windgolfgoot weergegeven.

De hoek tussen de voortplantingsrichting van de inkomende golven en de normaal op de as van de stormvloedkering bedraagt 30° . De plaats van het model in het hamereind is zo gekozen dat de tegen het model reflekterende golven vrijwel

niet weer in de goot terechtkomen, waar zij het inkomende golfbeeld zouden verstoren, maar in het hamereind door golfdempende taluds worden geabsorbeerd.

De sektie waarin de golfklappen zijn gemeten is op figuur 2 aangegeven.

Een gedetailleerder weergave van deze sektie is op figuur 4 gegeven.

Bij het golfklaponderzoek zijn de volgende twee schuifmodellen beproefd als weergegeven in figuur 4.

Bij beide modellen waren als kenmerken aanwezig:

- dubbele kering, voorste schuif neergelaten, achterste schuif geheven
- afstand tussen de schuiven 6 m
- schuifdikte 3,5 m

Het verschil tussen de modellen is:

Model a: afstand tussen voorzijde voorste schuif en pijlervoorzijde 5,80 m

Model b: afstand tussen voorzijde voorste schuif en pijlervoorzijde 13,65 m.

Daar onder andere gevraagd wordt naar de ruimtelijke verdeling van de golfklapdrukken is op een aantal posities, zowel in hoogte- als in breedterichting, een drukopnemer in de achterste schuif gemonteerd, met het meetvlak aan de schuifvoorzijde. De posities van de meetplaatsen zijn opgenomen in figuur 5. Tevens is op deze figuur te zien dat ook op de voorste schuif enkele meetplaatsen zijn aangebracht.

Daar het aantal te gebruiken drukopnemers geringer is dan het aantal gewenste meetplaatsen, is de meetpositie van de drukopnemers bij de proeven soms geverieerd. Een overzicht van de drukopnemerposities per proef is gegeven in figuur 6.

De schuiven zijn opgehangen aan pijlers, die gefundeerd zijn op putten. Rond de putten is een drempel aangebracht die uit verschillende lagen bestaat. Tussen de putten is een kesp aangebracht (zie figuur 4). De bodem ligt op NAP -30 m. De pijlers hebben een hart op hart afstand van 35 m.

Achter het model is een gedeelte van het hamereind door metselwerk afgescheiden, waardoor hier een andere waterstand dan elders in de goot kan worden ingesteld met behulp van een regelbare overstort. (respektievelijk Oosterschelde- en zeewaterstand).

3.4 Meet- en verwerkingsprocedure

3.4.1 Golven

De opwekking van het golfbeeld geschiedt door middel van een golfmachine, die gestuurd wordt door een servomechanisme. Het servomechanisme krijgt een signaal aangeboden dat afkomstig kan zijn van een ponsband, waarop een golfregistratie uit het prototype of een kunstmatige registratie is aangebracht, of, zoals in het onderhavige onderzoek, een signaal dat wordt vervaardigd met behulp van een ruisgenerator. Dit laatste signaal wordt zodanig door filters en versterkers bewerkt, dat het uiteindelijke signaal tot het gewenste onregelmatige golfbeeld leidt.

Het stuursignaal veroorzaakt via versterkers en een overdrachtsnetwerk een translaterende en een roterende beweging van het golfschot en daardoor de golfbeweging. Ook kunnen regelmatige golven worden opgewekt door als signaalbron een sinusgenerator te gebruiken.

Dankzij de grote variatiemogelijkheid van het stuursignaal bij de opwekking van zowel regelmatige als onregelmatige golven is ook een grote range van golfhoogten en golfperiodes, respektievelijk spektra mogelijk.

Een schema van het golfopwekkingssysteem is op figuur 3 gegeven.

Voor een nog betere aanpassing van de vorm van de opgewekte onregelmatige golven kan tevens wind worden toegepast. De lengte van de goot waarborgt de aanpassing van de golven aan de windsnelheid.

Het opgewekte golfbeeld wordt gecontroleerd door van de golfregistratie op een aantal plaatsen in de goot de golfhoogteverdeling en het golfspektrum te vervaardigen.

Op figuur 2 is de plaats van de golfhoogtemeters (H_1 t/m H_5) gegeven. Golfhoogtemeter 5 is gebruikt om enerzijds het golfbeeld aan de Oosterscheldezijde vast te leggen en anderzijds, na filtering van het signaal, de waterstand aan de Oosterscheldezijde te controleren. Een eventuele aanpassing van de Oosterscheldewaterstand kan plaatsvinden door aanpassing van de overstorthoogte.

Hoewel de plaats van het model in het hamereind zodanig is gekozen dat vrijwel geen gereflekterde golven in de goot teruglopen zal het golfbeeld bij H_3 en

H_4 toch enigszins door gereflekteerde golven verstoord zijn. Daarom is het inkomende golfbeeld bepaald uit de registraties van de golfhoogtemeters H_2 , H_3 en H_4 door als inkomende significante golfhoogte aan te houden:

$$H_{s_1} = 0,5 \left(\frac{H_{s_3} + H_{s_4}}{2} + H_{s_2} \right)$$

Uit metingen met en zonder model met als referentie golfhoogtemeter 1 blijkt dat het golfbeeld bij H_2 niet beïnvloed wordt door de aanwezigheid van het model en dat de fout in de berekening van H_{s_1} maximaal enkele procenten zal bedragen.

Als representatief golfspektrum wordt het golfspektrum van de registratie van golfhoogtemeter 2 genomen.

3.4.2 Golfklappen

Zoals reeds is vermeld zijn drukopnemers gebruikt voor het meten van de golfklapdrukken. Deze drukopnemers zijn aangebracht op diverse plaatsen op zowel de achterste als op de voorste schuif.

Er is gebruik gemaakt van drukopnemers van het type Statham PM 131 TC. Bij deze opnemers ligt de eigenfrequentie boven 2000 Hz, en bovendien zijn deze drukopnemers goed lineair. De drukopnemers zijn verbonden met rekmeters van het type KWS. De door deze rekmeters afgegeven spanningen zijn opgenomen op 7-kanaals bandrecorders van het type Analog 7, bij een bandsnelheid van 15 inch per seconde.

De opgenomen signalen zijn tijdens de meting (ter controle) en in de analysefase uitgeschreven met een lichtstraaloscillograaf.

Bij de verwerking van de golfklapdrukken tot frequentieverdelingen is het signaal door een piekdetektor geleid. Deze verwerkt alleen positieve spanningen, waarbij de grootste spanning enige tijd wordt vastgehouden, lang genoeg om verwerking van het verkregen signaal met een golfhoogte-analysator mogelijk te maken.

Om bij iedere golfklap ook nuldoorgangen te verkrijgen (waardoor de golfhoogte-analysator golfklappen kan onderscheiden) wordt aan het signaal een bekende nulverschuiving gegeven die bij de analyse in rekening wordt gebracht.

De kumulatieve frekwentieverdelingen worden bepaald voor de eerste 1000 watergolven van de proef. De frekwenties van voorkomen worden gerelateerd aan het aantal watergolven.

De met behulp van de piekdetektor en golfhoogte-analysator verkregen resultaten van golfklapdrukken, verdeeld over verschillende golfklapdrukclassen, zijn tevens te gebruiken voor het beschouwen van de golfklapgevoeligheid van verschillende situaties en posities, door (analoog aan M 1335 deel I [3]) een klapgevoeligheidsgetal te definiëren als de gemiddelde golfklap per 1000 golven, uitgewerkt per drukopnemer. Hierbij zijn alle golfklappen met een maximale klapdruk kleiner dan 1 kN/m^2 buiten beschouwing gelaten om een vergelijking met M 1320 IV [4] mogelijk te maken.

4 Resultaten

Voor gegevens over de ingestelde golfbeelden wordt verwezen naar tabel 2 (signifikante golfhoogten) en naar figuur 7 t/m 22 (kumulatieve frekventieverdelingen en golfspektra).

Opgemerkt wordt dat de waarden van de kenmerkende grootheden van de ingestelde golfbeelden goed met die van de gewenste golfbeelden overeenkomen.

De kumulatieve frekventieverdelingen van de maximale golfklapdrukken per golfklap zijn per proef voor iedere drukopnemerpositie afzonderlijk weergegeven op de figuren 23 t/m 38, waarbij de overschrijdingsfrekventies zijn gebaseerd op het aantal watergolven.

De golfklapmetingen voor de posities op de voorste schuif zijn na een voorlopige analyse niet verder uitgewerkt, daar gebleken is dat uitsluitend kwasi-statische golfdrukken zijn gemeten.

Naast de kumulatieve frekventieverdelingen zijn per proef en per drukopnemer ook bepaald:

- het aantal klappen met een maximale druk (piekdruk) groter dan 1 kN/m^2 (modelwaarde)
- het golfklapgevoeligheidsgetal (wederom voor klappen met een piekdruk groter dan 1 kN/m^2)
- de grootste gemeten piekdruk.

De resultaten zijn weergegeven op de figuren 39 t/m 41.

De onderzochte variabelen vertonen het volgende algemene beeld:

- in verticale richting vertonen de drie variabelen een sterke afname gaande in opwaartse richting langs de schuif
- in horizontale richting vertonen het golfklapgevoeligheidsgetal en het aantal golfklappen, gaande van het midden van de schuif naar de hoek aan de niet door een pijler afgeschermd zijde, een toename; de maximale piekdruk vertoont geen verschil in horizontale richting
- uit de kumulatieve frekventieverdelingen van de somsignalen $P_1+P_2+P_3$ en P_4+P_6 , vergeleken met de afzonderlijke signalen, blijkt dat een golfklap in verticale richting over grote hoogte vrijwel zonder tijdverschil voorkomt, en dat er in horizontale richting wel tijdverschillen aanwezig zijn, dan wel dat klappen niet over de volledige onderzochte breedte voorkomen.

Een vergelijking van de resultaten voor de verschillende onderzochte situaties leidt tot de volgende konklusies:

- uit proef 36 en 37 volgt dat de reproduceerbaarheid van de drie bepaalde variabelen bevredigend is
- uit proef 36, 37 en 38 volgt geen grote gevoeligheid voor wind. Uit proef 41 en 42 kan tot een geringe toename van zowel de golfklapgevoeligheid als het aantal klappen en de maximale piekdruk gekonkludeerd worden bij de aanwezigheid van een windsnelheid van 40 m/s ten opzichte van een situatie zonder wind. De maximale piekdruk bij drukopnemer 5 is opvallend groot, maar is geen toevalligheid, gezien het verloop van de kumulative frekwentieverdeling.
- bij een gemiddelde waterstand aan de zeezijde van NAP +3,0 m in plaats van NAP + 5,3 m en de bijbehorende golfkondities nemen de golfklapgevoeligheidsgetallen, de maximale piekdrukken en het aantal golfklappen aanzienlijk af (proef 40 en 43)
- bij een gemiddelde waterstand aan de Oosterscheldezijde van NAP +2,0 m in plaats van NAP -1,7 m treden op de drukopnemers dichtbij de onderrand van de achterste schuif grotere golfklapgevoeligheidsgetallen, maximale drukken en meer golfklappen op (proef 29)
- bij de schuifpositie "midden" ten opzichte van "voor" treden bij de drukopnemer in het midden van de achterste schuif minder golfklappen op. Verder zijn er geen significante verschillen in de onderzochte variabelen (proef 41, 42, 43).

De onderzochte variabelen uit het onderhavige onderzoek kunnen ook vergeleken worden met dezelfde variabelen uit het onderzoek M 1320-IV [4], waar enkele vrij goed vergelijkbare situaties zijn onderzocht bij loodrechte golfaanval. Vergelijking toont dat bij loodrechte golfaanval zowel de golfklapgevoeligheidsgetallen als de maximale piekdrukken groter zijn en tevens meer golfklappen optreden.

5 Theoretische modellen voor golfklapverschijnselen

Bij het bepalen van geldende schaalregels is van belang dat een model gevonden wordt waarmee de waargenomen verschijnselen in overeenstemming zijn. Belangrijke modellen zullen hierna kort worden beschreven en vergeleken met de waarnemingen.

De modellen die worden beschreven, kunnen worden gekarakteriseerd door het verschijnsel dat de belangrijkste rol speelt in het model:

- samendrukbaarheid van water
- samendrukbaarheid van water met een elastische constructie
- samendrukbaarheid van lucht
- verdringing van lucht.

Samendrukbaarheid van water

Zonder lucht tussen het wateroppervlak en de constructie, bij een oneindig stijve constructie, wordt de uitdrukking voor de maximale golfklapdruk ([5]):

$$P_{\max} - P_0 = \rho_w v c_w$$

waarin: $P_{\max}$ = maximale golfklapdruk

P_0 = atmosferische druk

ρ_w = soortelijke massa van water

v = watersnelheid

c_w = geluidssnelheid in water

Dit model levert (voor geschatte waarden van v en c_w) vaak drukken, die aanzienlijk groter zijn dan gemeten (het verschil kan zijn veroorzaakt door de elasticiteit van de constructie).

Samendrukbaarheid van water met een elastische constructie

Bij een elastische constructie zal tengevolge van de botsing tussen water en constructie een schokgolf in de constructie optreden.

Voor de maximale golfklapdruk wordt een soortelijke uitdrukking gevonden als bij het vorige model ([6]).

$$p_{\max} - p_0 = \rho_k c_k \frac{\rho_w v c_w}{\rho_w c_w + \rho_k c_k}$$

waarin: ρ_k = soortelijke massa van de konstruktie

c_k = geluidssnelheid in de konstruktie.

Ook bij dit model is de maximale druk vaak groter dan de gemeten waarde. Derhalve is de konklusie gerechtvaardigd, dat meestal wel lucht wordt ingesloten tussen de golf en de konstruktie. Dit betekent dan dat de twee voornoemde modellen niet toepasbaar zijn.

Samendrukbaarheid van lucht

In dit model wordt een luchtlaag met dikte δ en lengte L afgesloten van de atmosferische druk en gedraagt zich in het algemeen als een niet-lineaire veer. Toegevoegde watermassa wordt als onsamendrukbaar beschouwd.

Als in dit door Bagnold [7] ontwikkelde model worden ingevoerd als beginvoorwaarden: insluiting van de luchtlaag δ en watersnelheid v , en bovendien isothermische samendrukking wordt ondersteld, dan geldt voor de maximale druk $p_{\max}$ en de frekwentie waarmee de luchtlaag zal trillen f ([8]):

$$p_{\max} - p_0 = \sqrt{\frac{p_0 \rho_w L v^2}{\delta}}$$

$$\text{en } f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{p_0}{\delta \rho_w L}}$$

Hierbij wordt tevens verondersteld dat de golfklapdrukken klein genoeg zijn om een lineaire veer karakteristiek van de luchtlaag als benadering in te voeren. Indien de golfklapdrukken, en daardoor de indrukking van de luchtlaag, zo groot zijn dat de veer karakteristiek van de luchtlaag niet-lineair wordt, ontstaan andere uitdrukkingen. Hiervoor wordt verwezen naar [3].

In deze modellen kan $p_{\max} - p_0$ de waarde $\rho_w v c_w$ overschrijden, die toch als een bovengrens beschouwd moet worden. Volgens [3] moet om die reden het model worden aangepast door de invoering van de invloed van de samendrukbaarheid van water.

Dit moet gebeuren indien:

$$\frac{v \cdot L}{\delta \cdot c_w} > 0,1 \quad \text{en} \quad \frac{\rho_w L v^2}{p_o \delta} > 4$$

verdringing van lucht

Chuang [9] observeerde het slammingverschijnsel dat zich voordoet als een wig vertikaal op een wateroppervlak valt. De gemeten drukken op het wigoppervlak blijken te voldoen aan:

$$p_{\max} - p_o = \beta v^2$$

$$\beta = \beta(\alpha)$$

indien α , de hoek tussen het wigoppervlak en het wateroppervlak, groter is dan ca. 5 graden. Het golfklapverschijnsel is vergelijkbaar met een geventileerde golfklap ([10]), waarvan het grootste gedeelte van de lucht de gelegenheid krijgt om te ontsnappen.

6 Het responsiegedrag van de konstruktie bij golfklapbelastingen

Met betrekking tot de omrekening van in het model gemeten golfklapbelastingen naar het prototype wordt een beschouwing gegeven over het te verwachten responsiegedrag van de konstruktie bij golfklapbelastingen.

Daar veelal onzekerheid bestaat over de toe te passen schaalregels voor klaptijd en drukverloop bij de omrekening naar het prototype, wordt ernaar gestreefd een konservatieve benadering toe te passen.

Als uitgangspunt wordt gebruikt de impuls van de golfklapbelasting, daar voor de impuls altijd de schaalwet van Froude kan worden toegepast.

Bij de poging een konservatieve benadering toe te passen wordt een klaptijd gekozen die in de buurt van de eigenfrequentie van de konstruktie ligt. De gedachte daarbij is dat dan tevens de maximale responsie zal zijn verkregen. Aangetoond zal worden dat deze benadering beslist geen garantie biedt dat een konservatieve belasting wordt verkregen. Er kan zelfs van een onderschatting sprake zijn.

In figuur 42 is weergegeven de maximale responsie die optreedt bij een konstruktie met een eigenperiode T , tengevolge van een impuls met grootte

$$I(T_d) = \frac{2 K_1 T_d}{\pi}$$

waarin T_d de belastingduur voorstelt en K_1 een eenheidskracht van de impuls. Deze impuls is dus een funktie van de belastingduur T_d .

De maximale responsie is gegeven als funktie van T_d (dus ook als funktie van I) en voor verschillende belastingvormen (met voor een bepaalde waarde van T_d gelijke impulsen). De maximale responsie is dimensieloos gemaakt door te delen door de statische belasting $K = K_1$.

Opgemerkt wordt dat bij kleine waarde van T_d de belastingvorm niet meer van groot belang is, zoals blijkt uit figuur 42.

In figuur 42 was de impuls grootte een funktie van T_d . In figuur 43 is wederom de maximale responsie weergegeven, ^{maar} nu tengevolge van een belasting met een konstante impuls grootte $I = \frac{2 K_1 T}{\pi}$, (konstant voor één waarde van T) dus onafhankelijk van T_d . De belastingvorm is een halve sinus, met als klaptijd T_d en als maximale kracht K ; voor $T_d = T$ geldt dan: $K = K_1$. Opgemerkt

wordt dat bij afnemende T_d dus een toename van K optreedt om de impuls konstant te houden. De responsie is wederom gedeeld door $K = K_1$.

De maximale responsie blijkt bij afnemende T_d toe te nemen tot $4K_1$.

In formulevorm: 1. $T_d < 0,5 T$: $R_{\max} = \frac{T}{T_d} K_1 \left[\frac{(T/T_d) \cos(\pi T_d/T)}{(T^2/4T_d^2) - 1} \right]$
zie [11]

$$2. T_d > 0,5T : R_{\max} = \frac{T}{T_d} K_1 \frac{1}{1 - \frac{T^2}{4T_d^2}} \left(\sin \frac{\pi \beta}{T_d} - \frac{T}{2T_d} \sin \frac{2\pi \beta}{T} \right)$$

waarin: $\beta = \frac{2}{\frac{T}{T_d} + 2}$

$R_{\max}$ = maximale responsie

Uit deze beschouwing volgt dat indien bij de keuze van een klaptijd rekening wordt gehouden met de eigenfrequentie van de konstruktie, dit niet behoeft in te houden dat een konservatieve benadering wordt toegepast, maar dat dit juist kan leiden tot een onderschatting van de optredende maximale responsie, indien klaptijden korter kunnen zijn dan de eigenfrequentie van de konstruktie.

Indien bij de vertaling van klaptijden en golfklapbelastingen van modelwaarden naar prototypewaarden onzekerheid bestaat over de juiste schaalregels, verdient het aanbeveling om, uitgaande van de via de schaalregel van Froude vertaalde impuls van de klap, na te gaan welke kombinaties van klaptijd en klapbelasting mogelijk zijn en hiervan de responsie te bepalen, met de nadruk op de ondergrens van de klapduur, daar zoals uit figuur 43 blijkt hierbij de grootste responsie zal optreden.

LITERATUUR

- 1 WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM, Stormvloedkering Oosterschelde, belasting in gesloten toestand, oriënterend onderzoek, loodrechte golfaanval, verslag modelonderzoek M1396 deel I, februari 1977.
- 2 WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM, Stormvloedkering Oosterschelde, belasting in gesloten toestand en bij falende kering, oriënterend onderzoek, scheve golfaanval, verslag modelonderzoek M1396 deel II, februari 1979.
- 3 WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM, Stormvloedkering Oosterschelde, golfklappen op de schuif in de Oosterschelde-caisson, verslag modelonderzoek, M 1335, deel I band I, april 1977.
- 4 WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM, Stormvloedkering Oosterschelde, onderzoek naar de golfklapgevoeligheid van de pijleroplossing met dubbele kering, voorlopig verslag modelonderzoek M 1320 Fase IV, april 1976.
- 5 KARMAN, Th. von, The impact on sea plane floats during landing. National Advisory Committee for Aeronautics, TN 321, Washington D.C., 1929
- 6 KAMEL, A.M., Shock pressures on coastal structures, A.S.C.E. Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Div., Vol. 96, No. WW3, Aug. 1970.
- 7 BAGNOLD, R.A., Interim report on wave pressure research, Journal of the Institution of Civil Engineers, London, Vol. 12, June 1939.
- 8 WESTERGAARD, H.M., Water pressures on dams during earth quakes, Transactions of the A.S.C.E., Vol. 98, Paper No. 1835, 1933.
- 9 CHUANG, S.L., Experiments on slamming of wedge-shaped bodies, Journal of Ship Research, September 1967.

LITERATUUR (vervolg)

- 10 LUNDGREN, H., Wave shock forces. An analysis of deformation and forces in the wave and in the foundation.
Proc. Research on Wave Action, Vol. II, Delft, 1969.
- 11 HARRIS, C.M. and Ch.E. CREDE, Shock and Vibration Handbook,
New York, McGraw Hill Book Company, 1976.

Tabel 1

Proevenprogramma

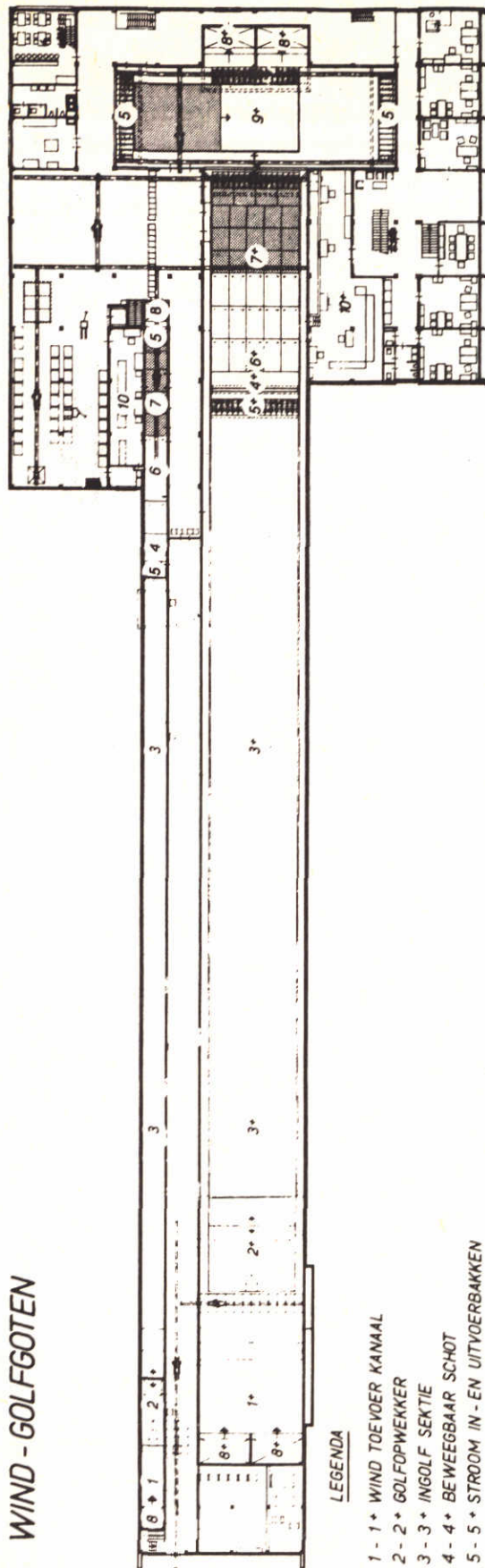
Proef	Model	Schuif- positie	Waterstand (m tov NAP)		Wind- snelheid (m/s)	Gewenst	
			zee	Ooster- schelde		H _s (m)	T _p (s)
36	a	voor	5,30	-1,70	-	4,50	10,0
37	a	voor	5,30	-1,70	-	4,50	10,0
38	a	voor	5,30	-1,70	40	4,50	10,0
39	a	voor	5,30	+2,00	40	4,50	10,0
40	a	voor	3,00	-1,70	25	3,20	8,8
41	b	midden	5,30	-1,70	-	4,50	10,0
42	b	midden	5,30	-1,70	40	4,50	10,0
43	b	midden	3,00	-1,70	25	3,20	8,8

Tabel 2

Gemeten golfhoogten

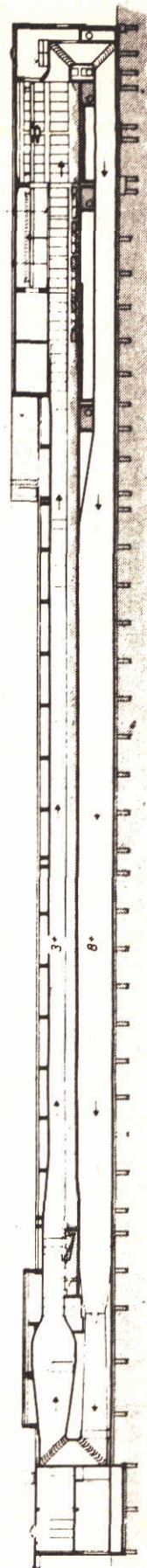
Proef	Waterstand (m tov NAP)		wind- snelheid (m/s)	H _s (m)					H _{s1} (m)	H _s gewenst (m)
	Zee	Ooster- schelde		1	2	3	4	5		
36	5,30	-1,70	-	4,55	4,50	4,50	4,85	2,10	4,59	4,50
37	5,30	-1,70	.-	4,75	4,50	4,50	4,75	-	4,56	4,50
38	5,30	-1,70	40	4,30	4,45	4,50	4,85	-	4,56	4,50
39	5,30	+2,00	40	4,45	4,55	4,35	4,40	0,92	4,46	4,50
40	3,00	-1,70	25	2,90	3,05	3,65	3,40	-	3,29	3,20
41	5,30	-1,70	-	4,65	4,45	4,25	4,75	1,55	4,48	4,50
42	5,30	-1,70	40	4,55	4,50	4,30	4,75	1,55	4,51	4,50
43	3,00	-1,70	25	3,55	3,15	3,55	3,25	-	3,28	3,20

WIND - GOLFGOTEN

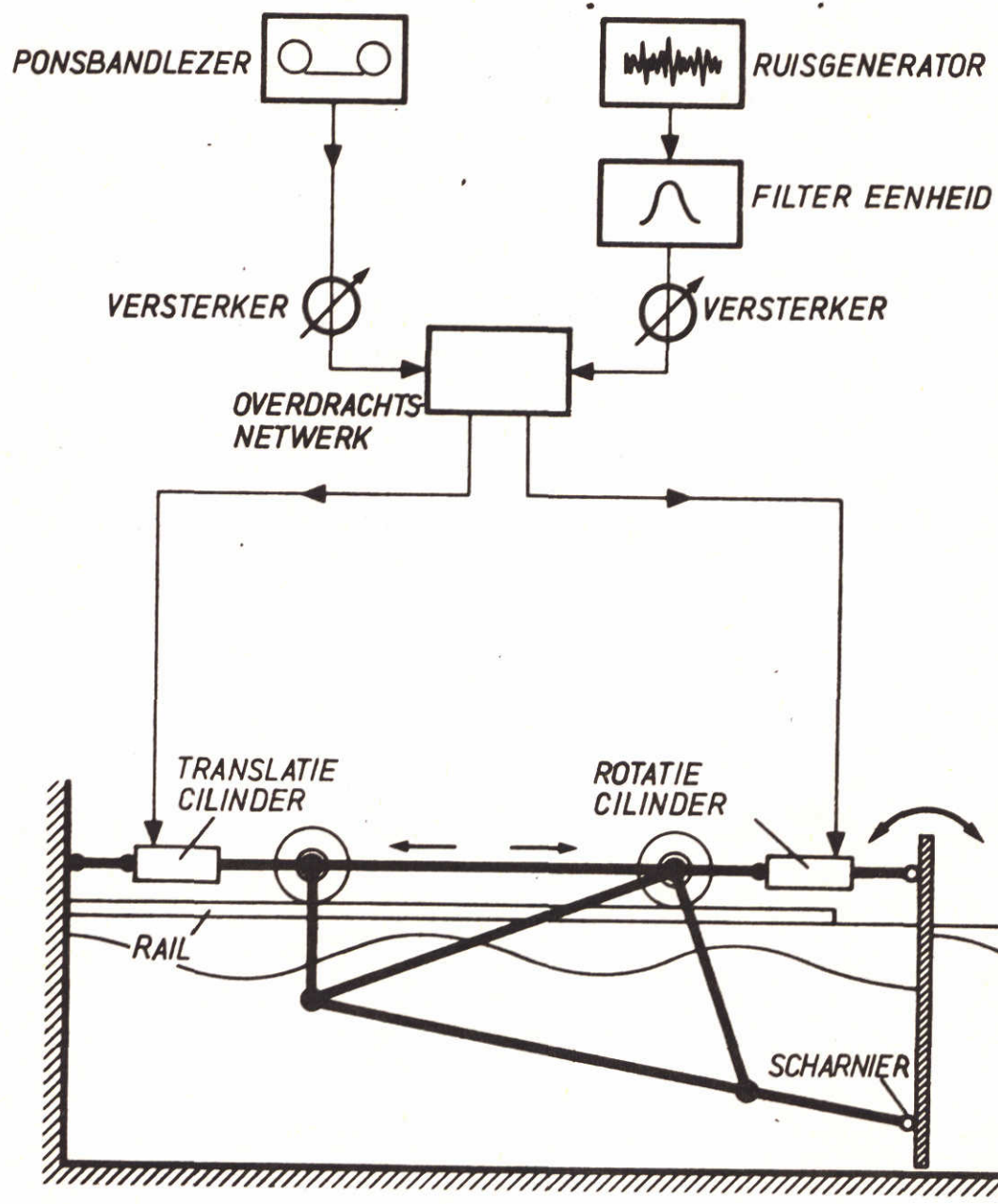


LEGENDA

- 1 - 1* WIND TOEVOER KANAAL
- 2 - 2* GOLFOUWKKER
- 3 - 3* INGOLF SEKTIE
- 4 - 4* BEWEEGBAAR SCHOT
- 5 - 5* STROOM IN - EN UITVOERBAKKEN
- 6 - 6* SEKTIE MET INSTELBAAR BODEMPROFIEL
- 7 - 7* MODEL SEKTIE
- 8 - 8* OMLOOPKANAAL
- 9 - 9 GOLFBASSIN
- 10 - 10* MEET - EN KONTROLERUIMTE



PLATTEGROND EN DOORSNEDE WINDGOLFGOTEN



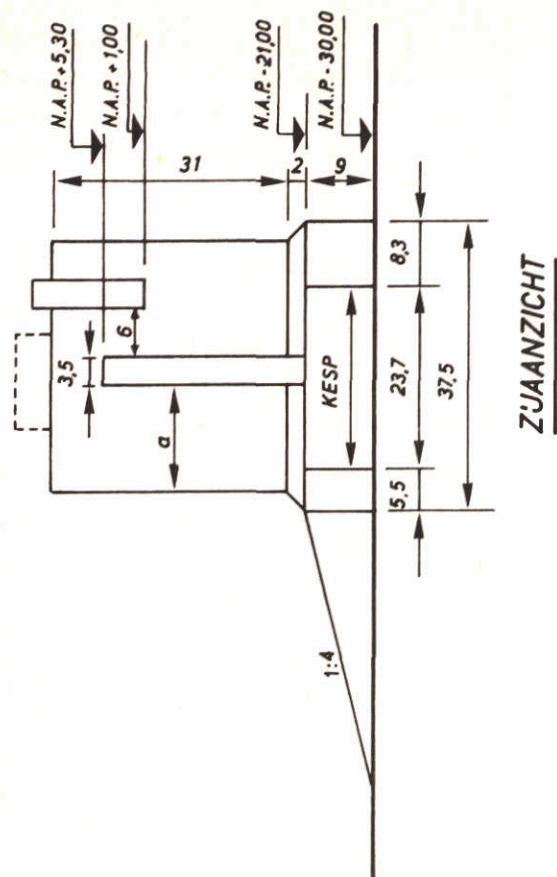
SCHEMA GEPROGRAMMEERDE GOLFMACHINE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

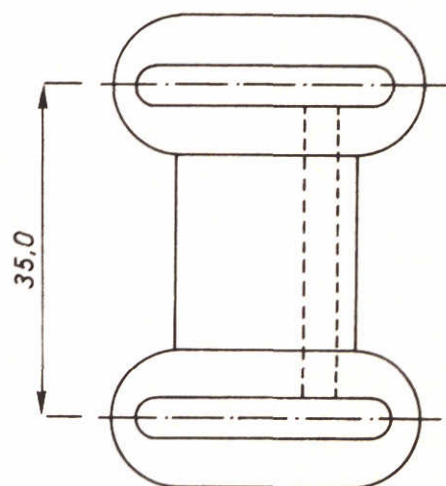
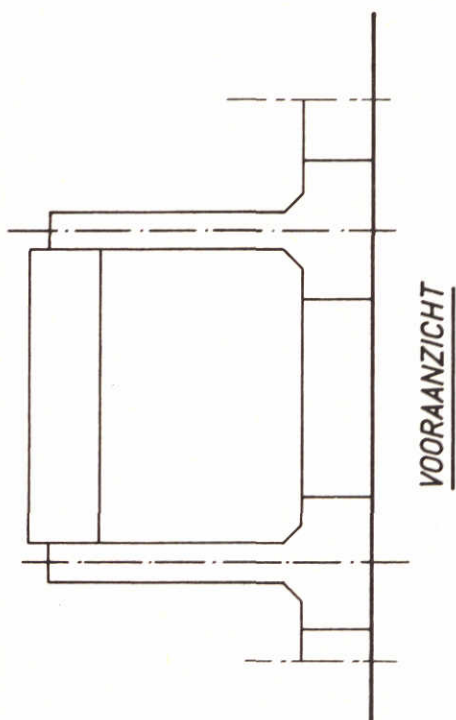
M.1396-III-1116

FIG. 3

A4



SCHUIFPOSITIE VOOR: $\alpha = 5,8^\circ$
 SCHUIFPOSITIE MIDDEN: $\alpha = 13,65^\circ$



DE MEETSEKTIE VOOR DE GOLFKLAPMETINGEN

SCHAAL t.o.v. PROT. 1:1000

WK

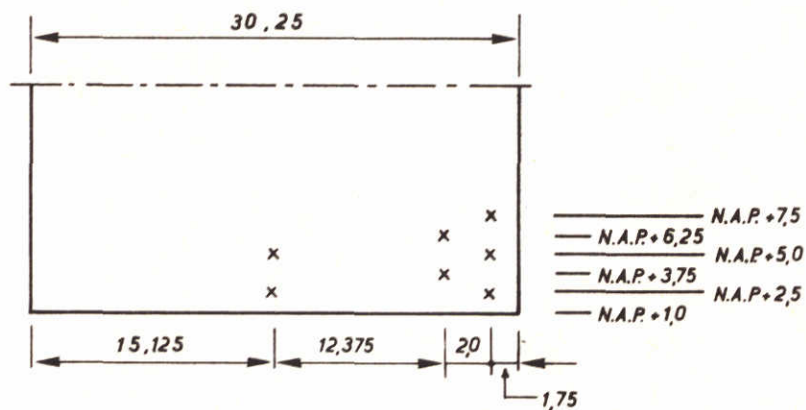
MATEN in m

A4

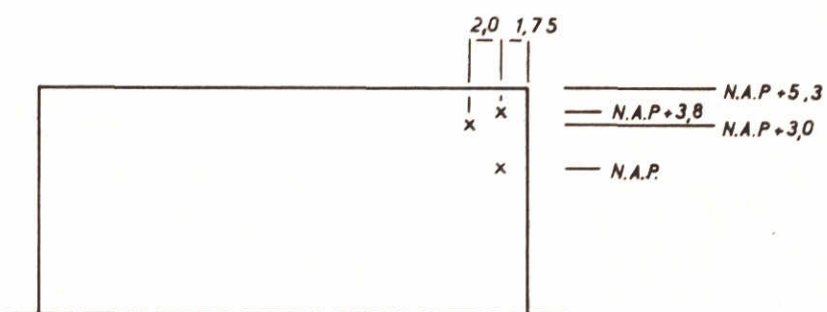
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1117

FIG. 4



ACHTERSTE SCHUIF, VOORAANZICHT



VOORSTE SCHUIF, VOORAANZICHT

DE MOGELIJKE POSITIES VAN DE DRUKOPNEMERS

WK

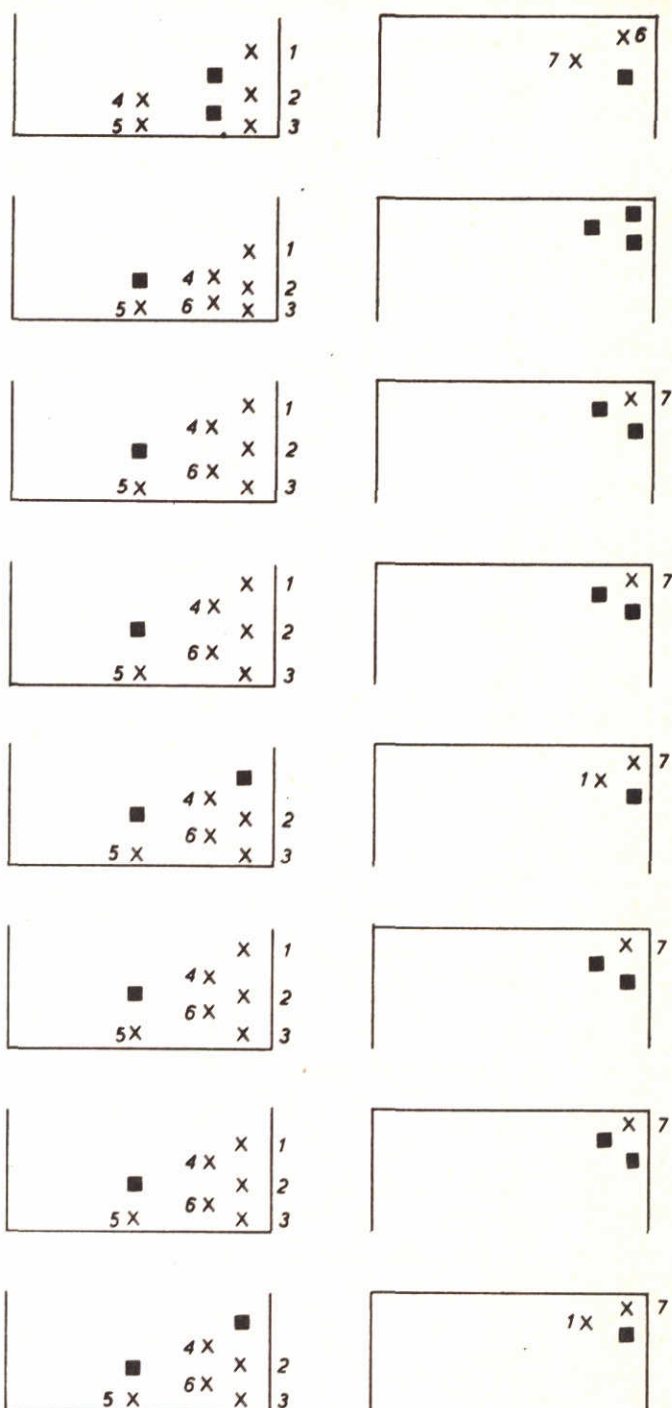
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396 - III - 1118

FIG. 5

PROEF	ZEEWS	OSWS	WIND	SCHUIF
36	5,3	-1,7	-	VOOR
37	5,3	-1,7	-	VOOR
38	5,3	-1,7	40	VOOR
39	5,3	+2,0	40	VOOR
40	3,0	-1,7	25	VOOR
41	5,3	-1,7	-	MIDDEN
42	5,3	-1,7	40	MIDDEN
43	3,0	-1,7	25	MIDDEN



GETALLEN GEVEN DRUKOPNEMERNUMMERS AAN

DE POSITIE VAN DE DRUKOPNEMERS PER PROEF

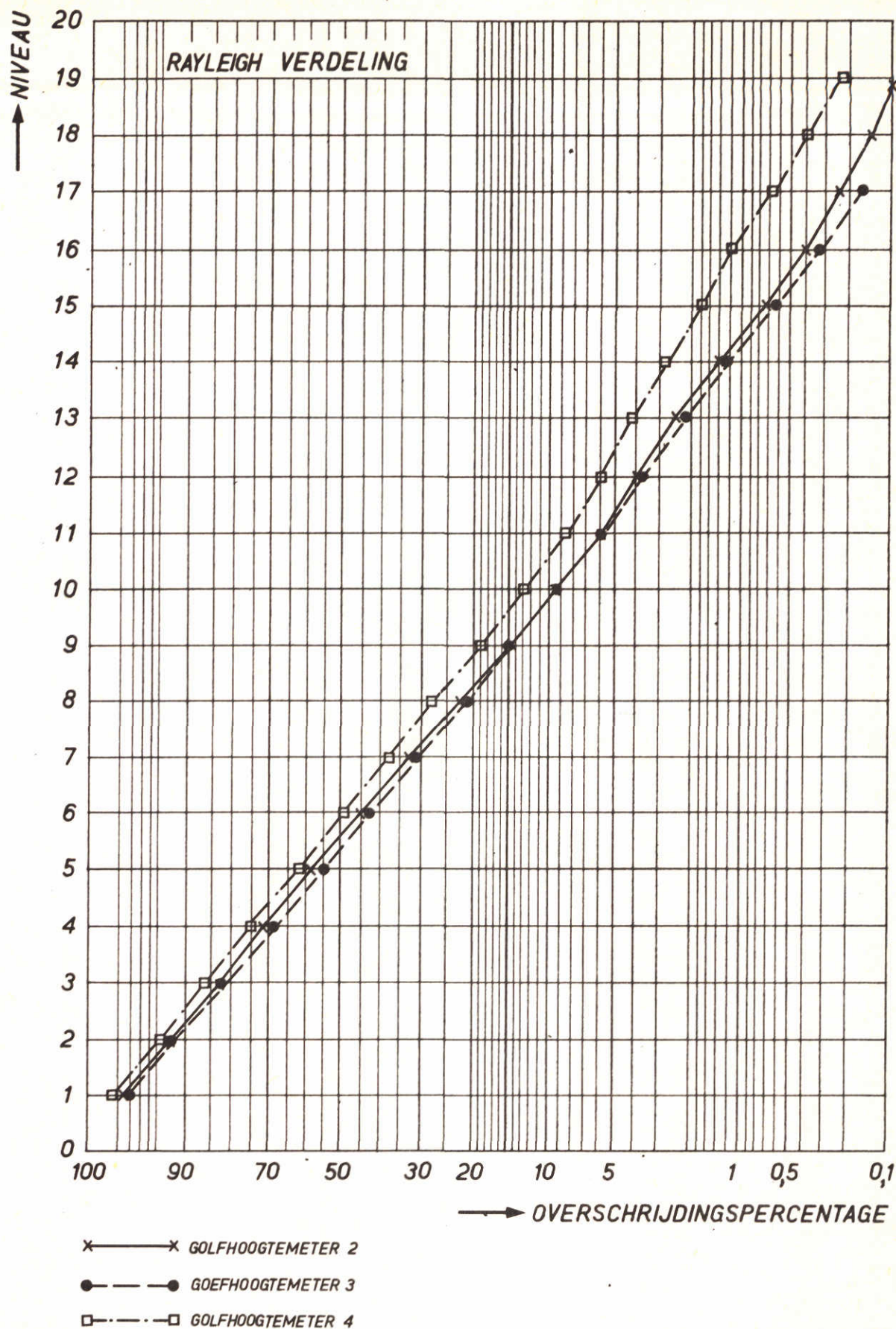
WK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1119

FIG. 6



KUMULATIEVE FREKWENTIEVERDELINGEN

PROEF 36

j.w.

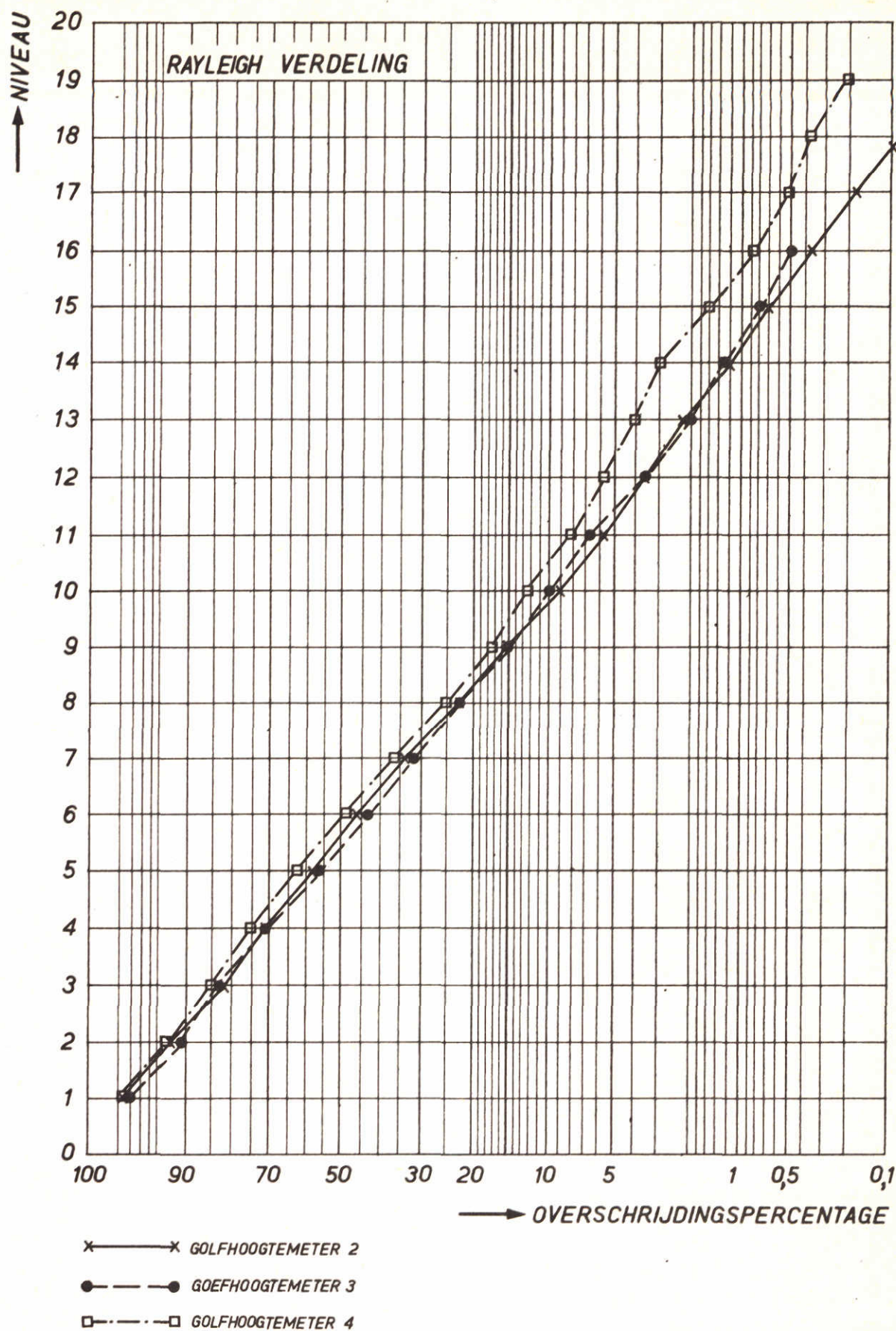
1 NIVEAU $\hat{=}$ 0,5 m

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1120

FIG. 7



KUMULATIEVE FREKWENTIEVERDELINGEN

PROEF 37

j.w.

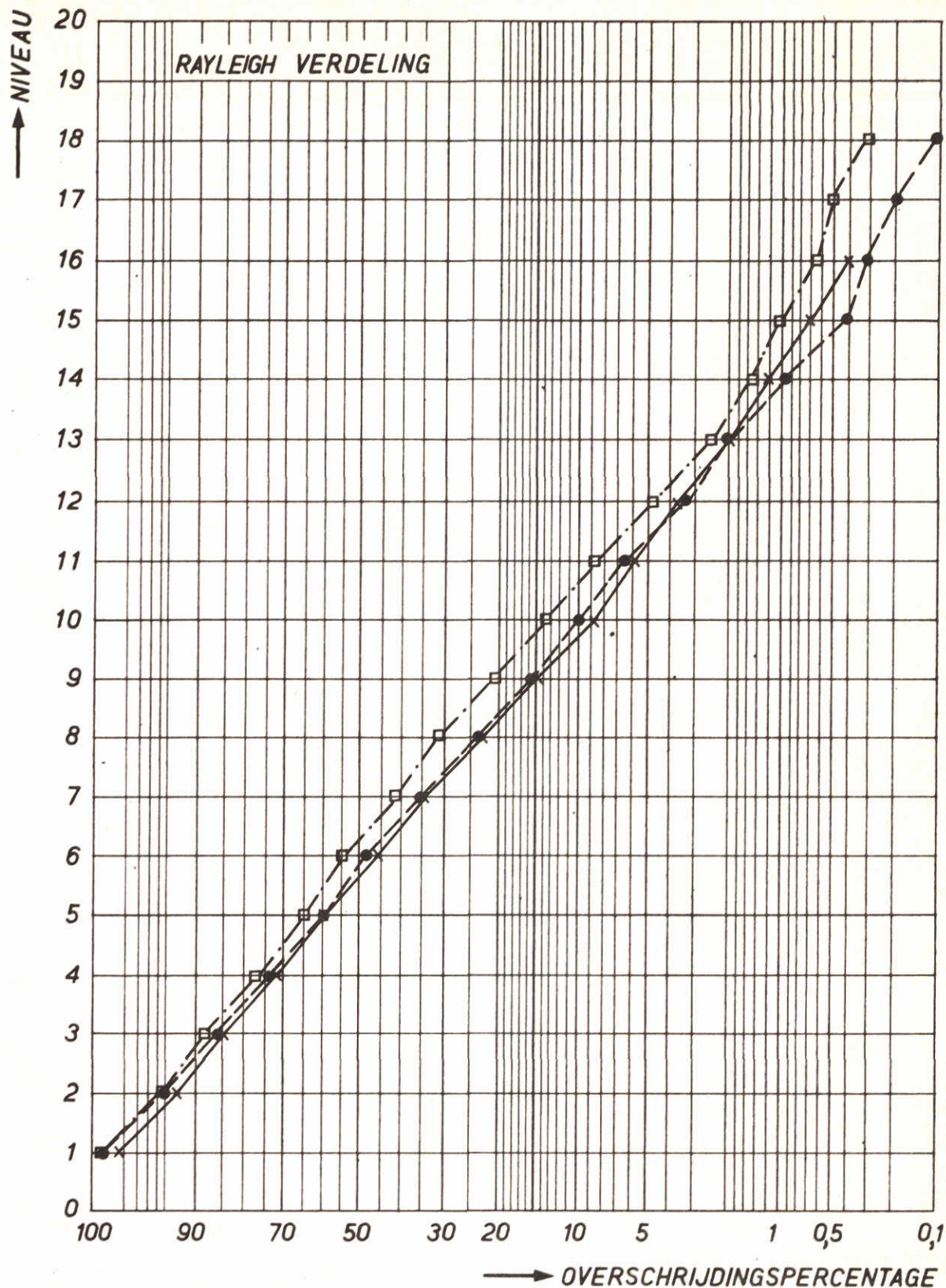
1 NIVEAU $\hat{=}$ 0,5 m

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1121

FIG. 8



KUMULATIEVE FREKWENTIEVERDELINGEN

PROEF 38

j.w.

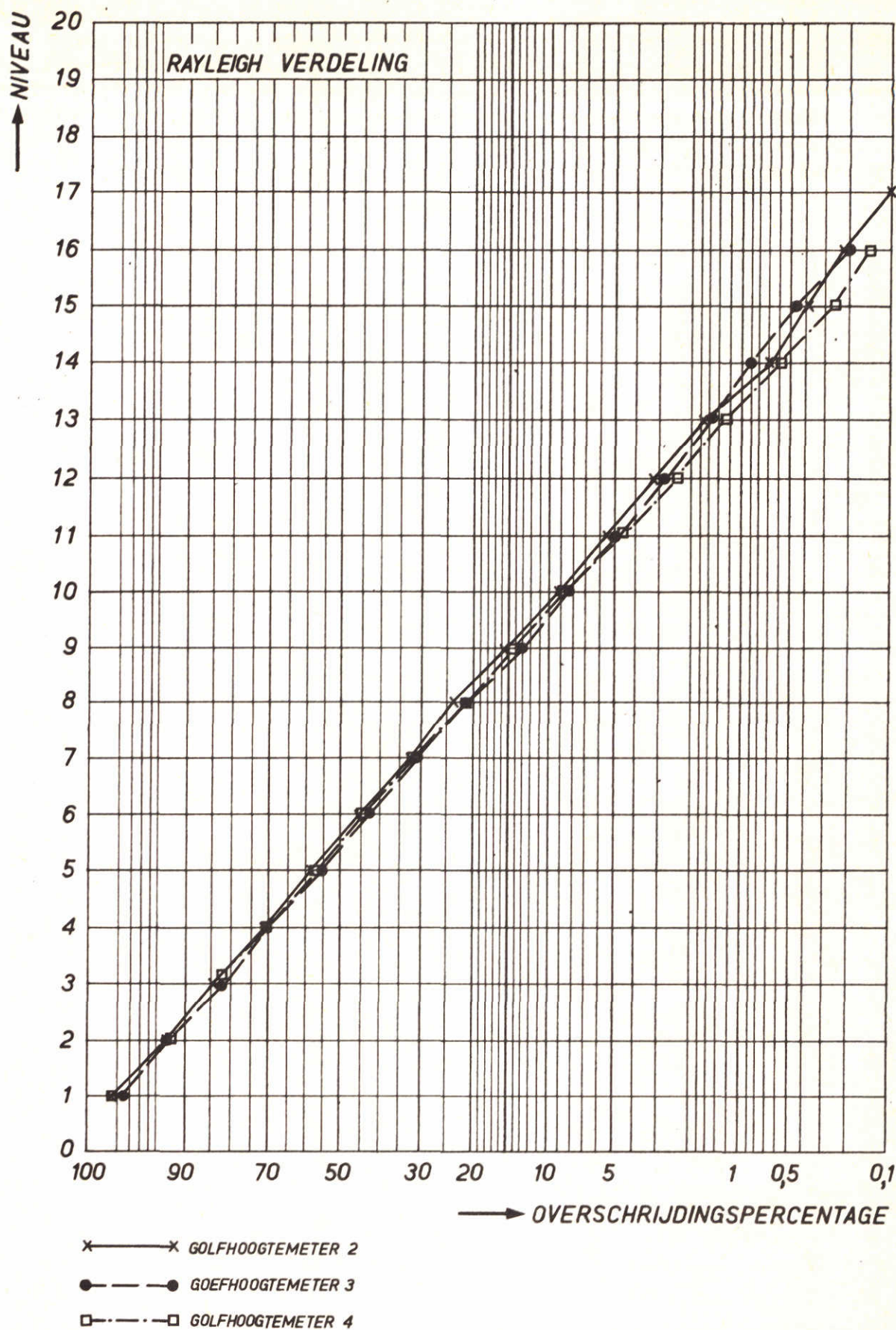
1 NIVEAU $\hat{=}$ 0,5m

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1122

FIG. 9



KUMULATIEVE FREKWENTIEVERDELINGEN

PROEF 39

j.w.

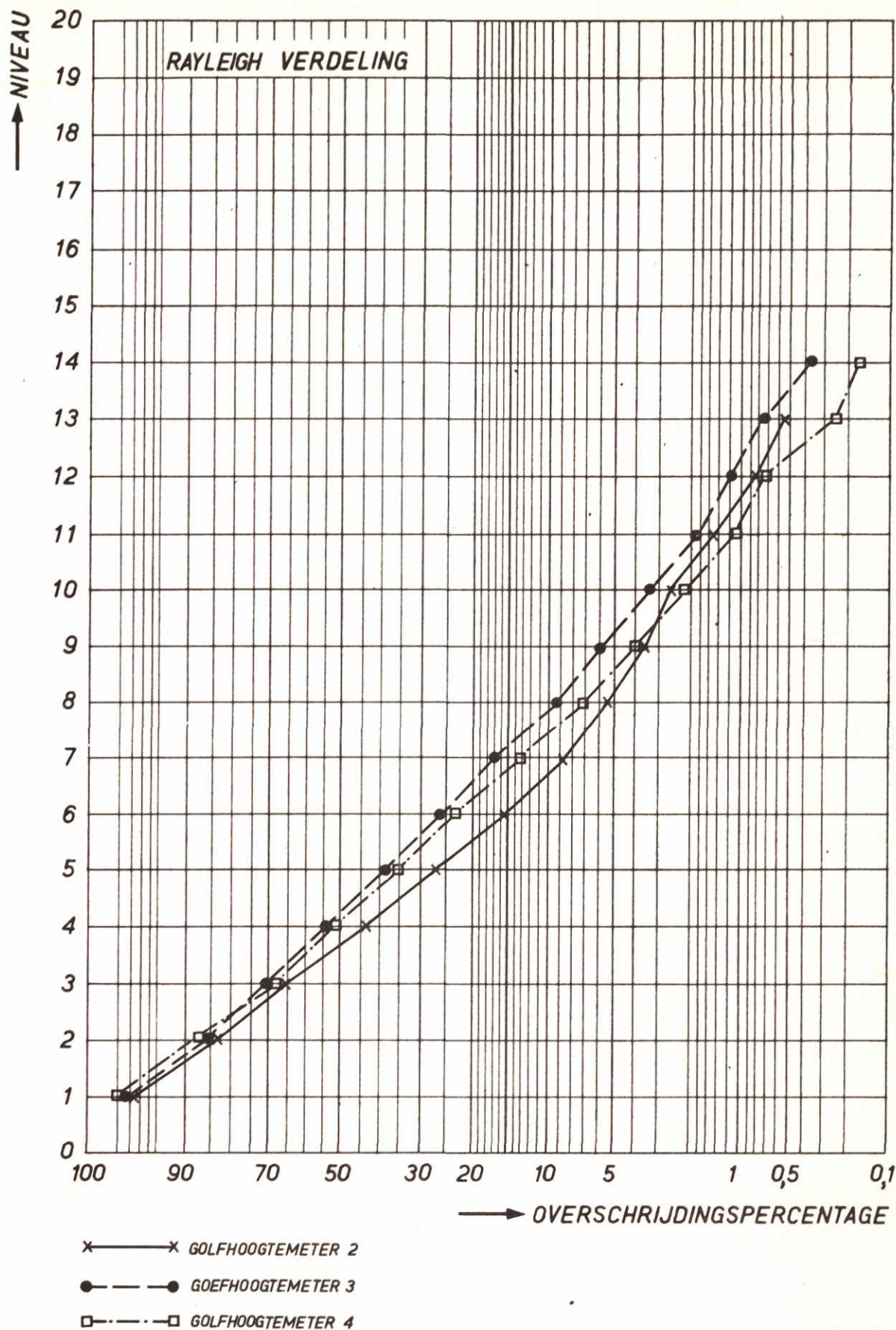
1 NIVEAU $\hat{=}$ 0,5 m

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1123

FIG. 10



KUMULATIEVE FREKWENTIEVERDELINGEN

PROEF 40

j.w.

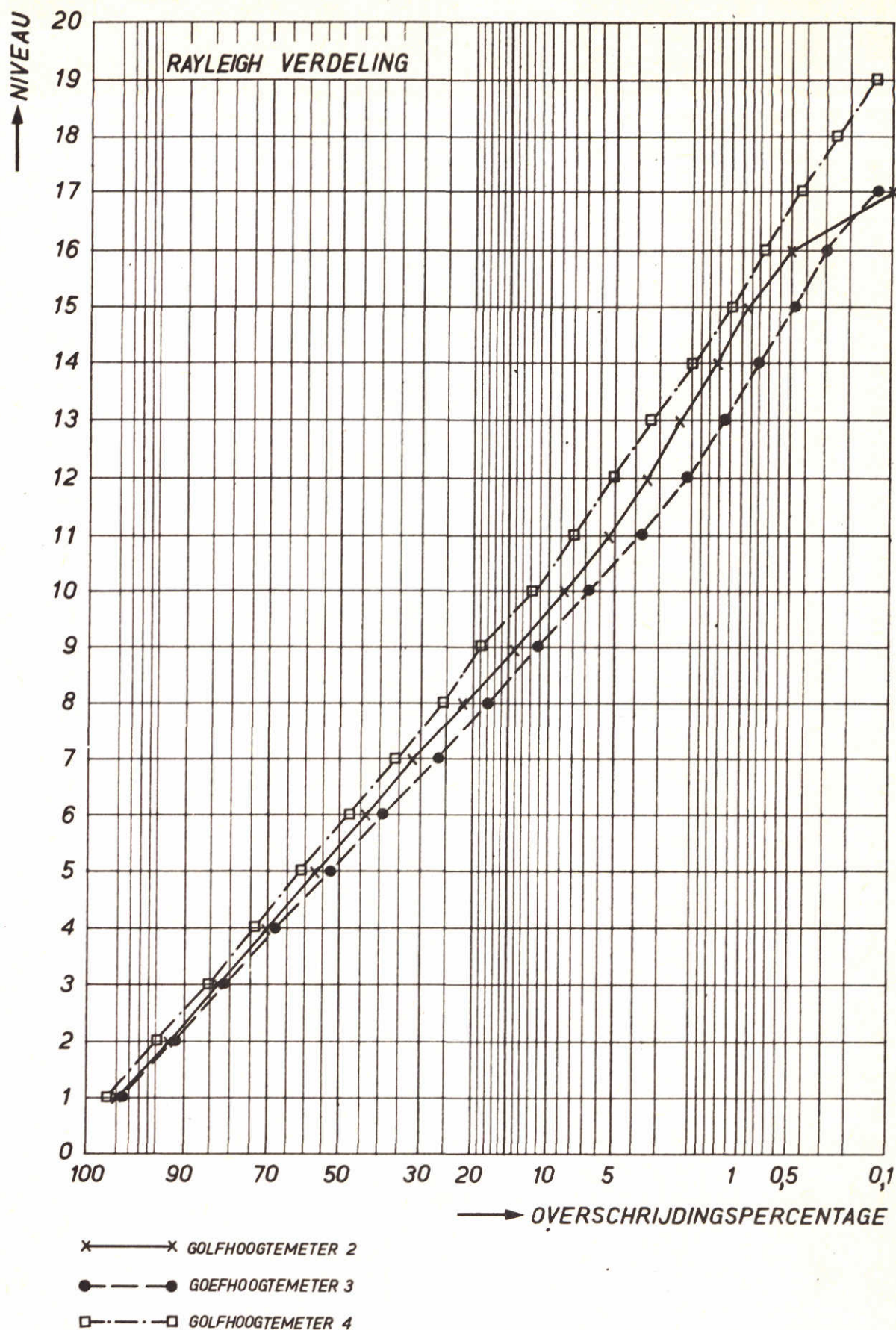
1 NIVEAU $\hat{=}$ 0,5 m

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1124

FIG. 11



KUMULATIEVE FREKWENTIEVERDELINGEN

PROEF 41

j.w.

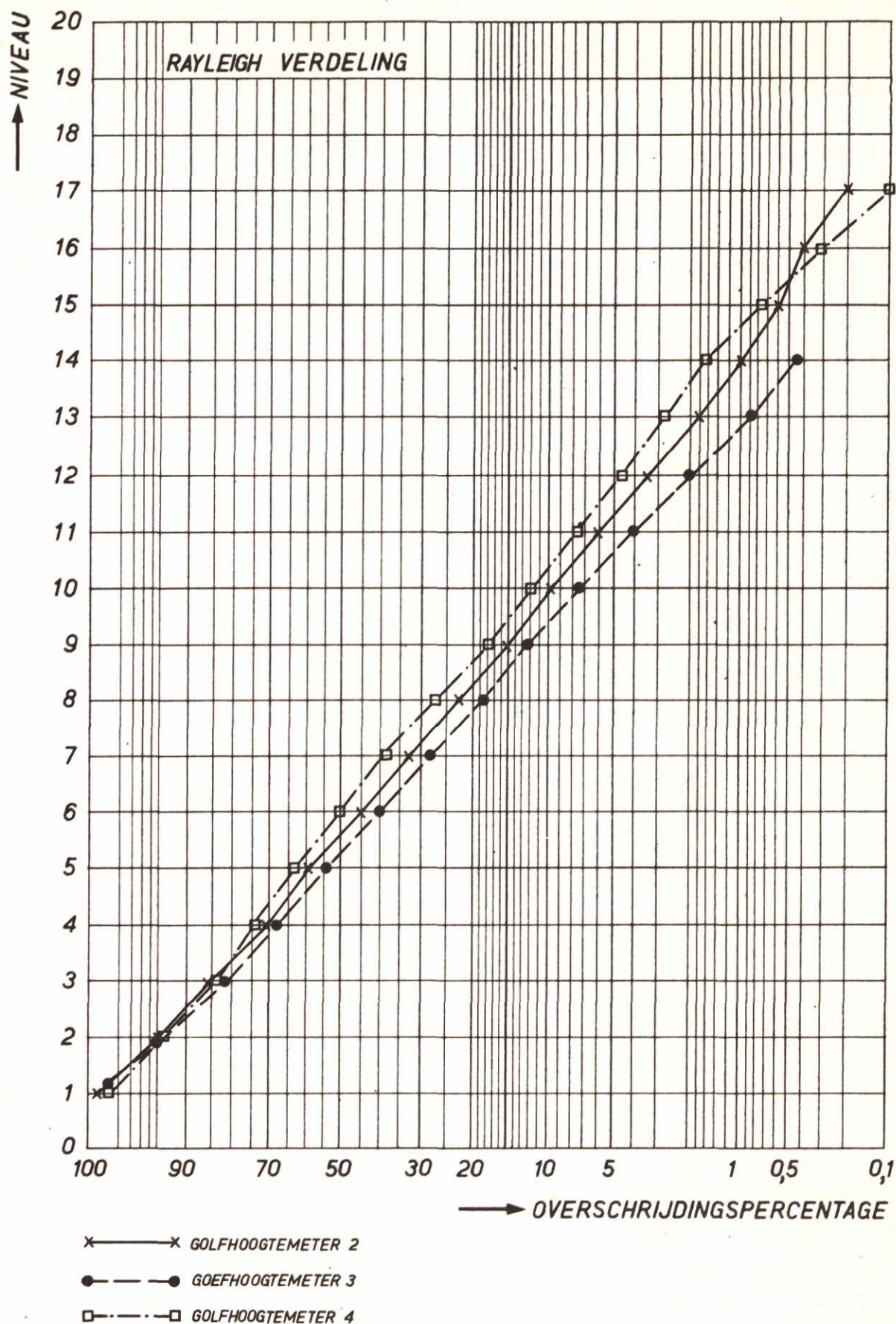
1 NIVEAU $\hat{=}$ 0,5m

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1125

FIG. 12



KUMULATIEVE FREKWENTIEVERDELINGEN

PROEF 42

j.w.

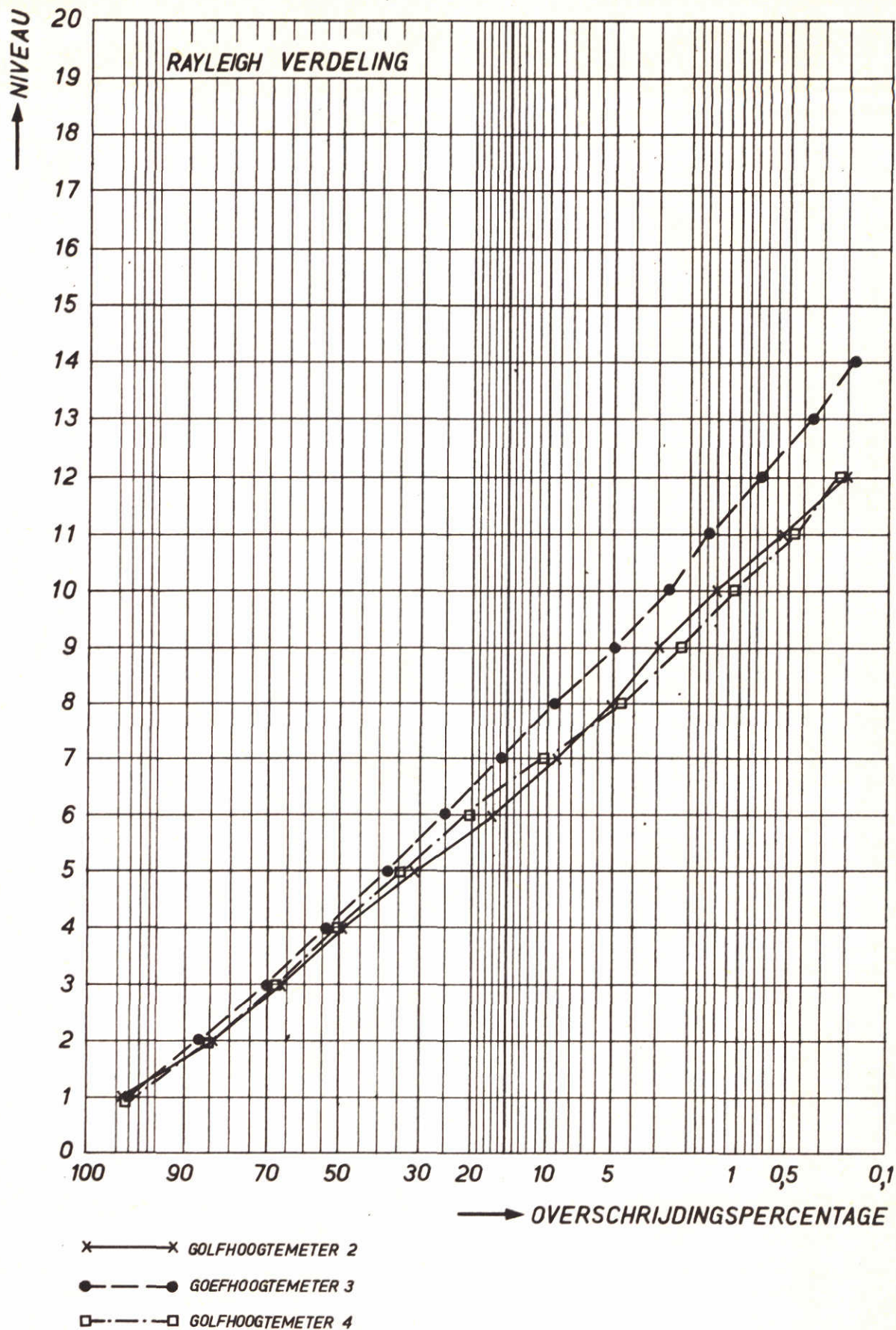
1 NIVEAU $\hat{=}$ 0,5 m

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1126

FIG. 13



KUMULATIEVE FREKWENTIEVERDELINGEN

PROEF 43

j.w.

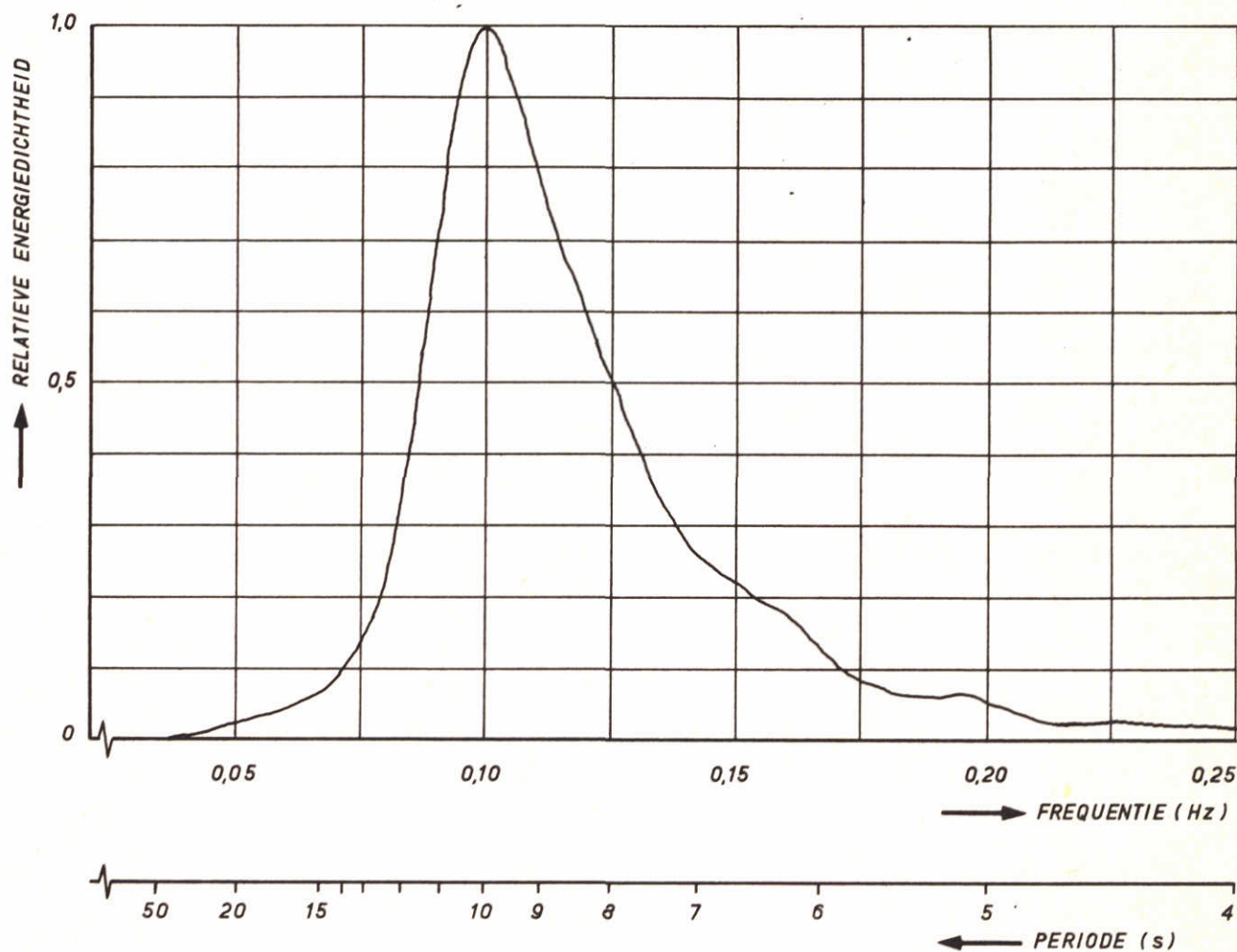
1 NIVEAU $\hat{=}$ 0,5 m

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1127

FIG. 14



ENERGIEDICHTHEIDSSPECTRUM

PROEF 36

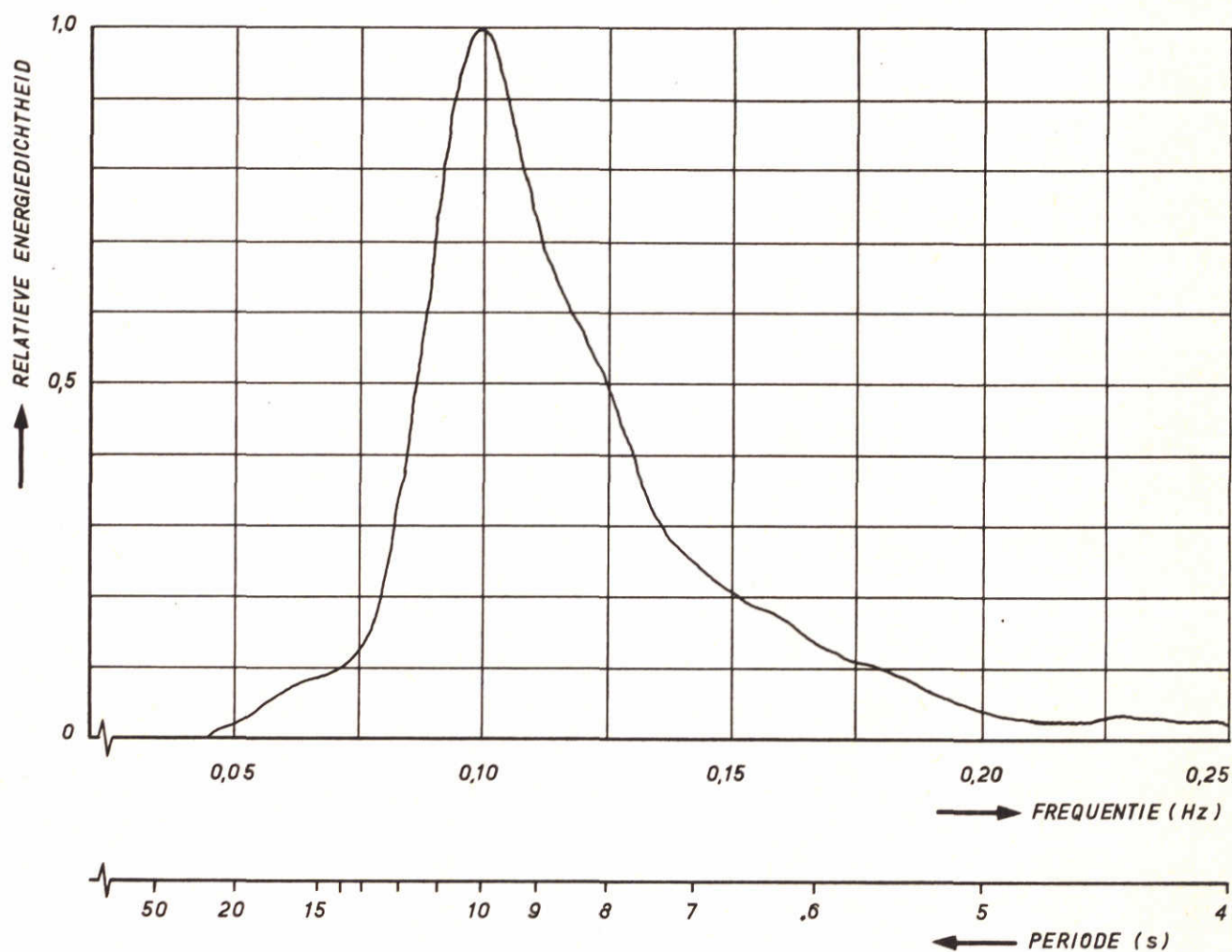
GOLFHOOGTEMETER: 2

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III- 1128

FIG.15



ENERGIEDICHTHEIDSSPECTRUM

PROEF 37

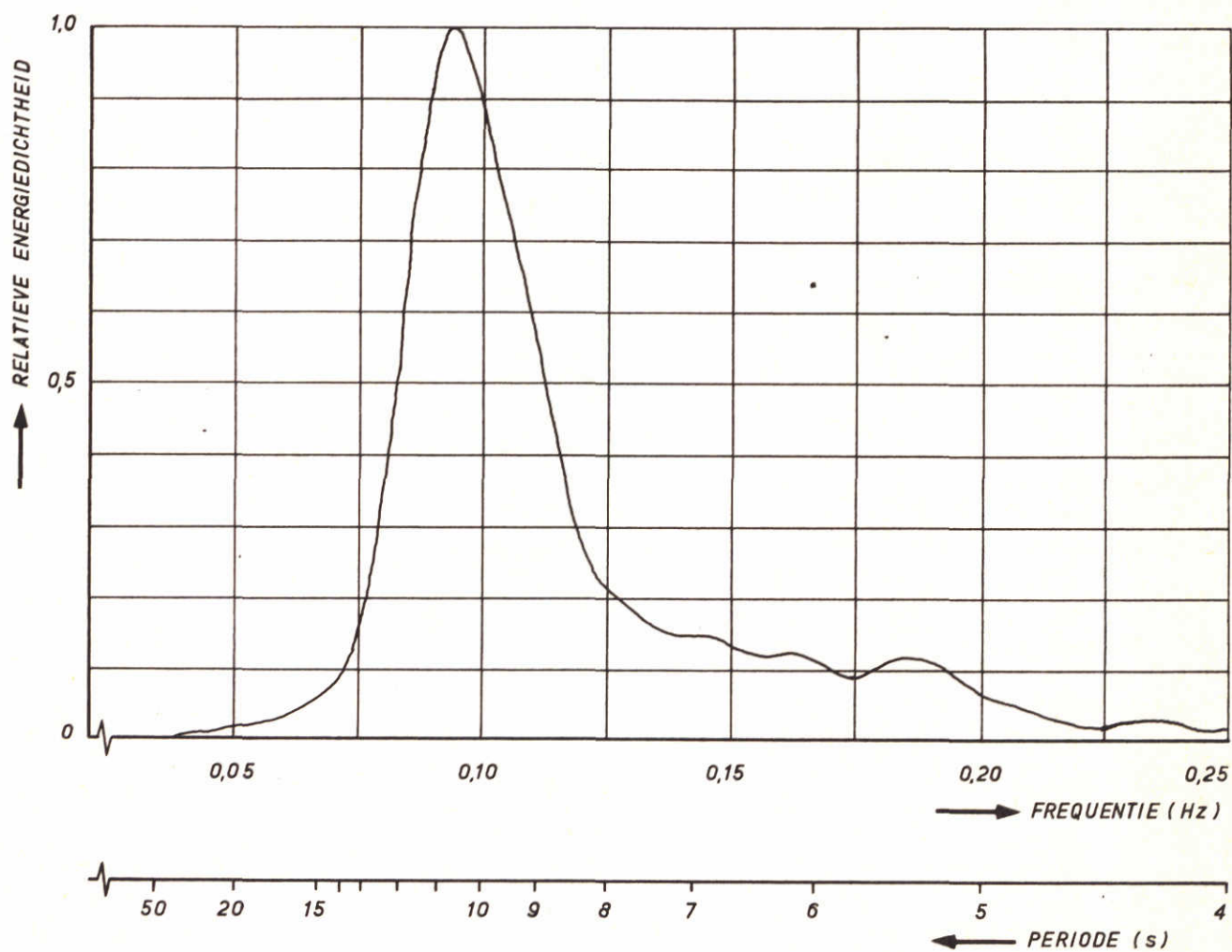
GOLFHOOGTEMETER: 2

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1397-III-1129

FIG. 16



ENERGIEDICHTHEIDSSPECTRUM

PROEF 38

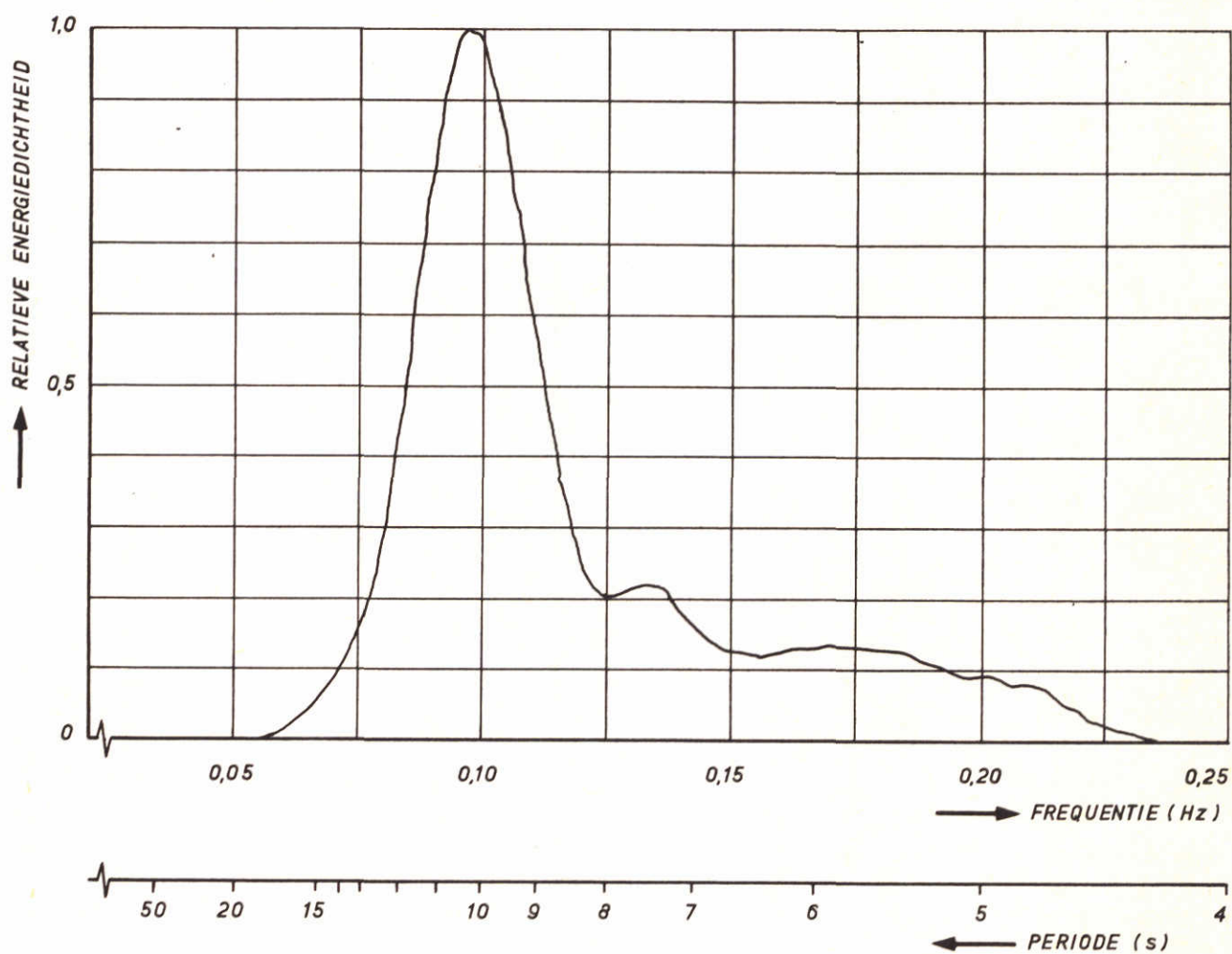
GOLFHOOGTEMETER: 2

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III- 1130

FIG.17



ENERGIEDICHTHEIDSSPECTRUM

PROEF 39

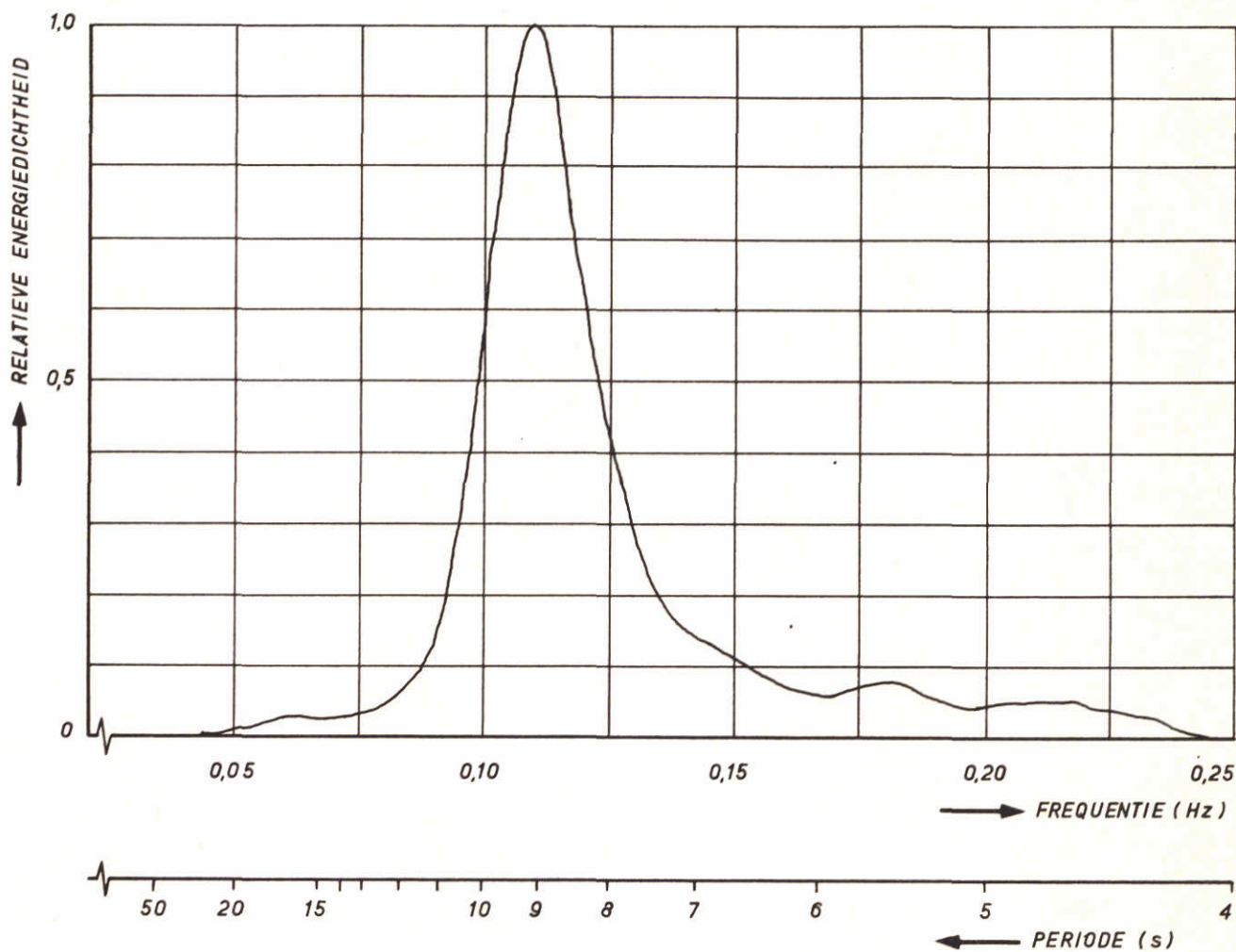
GOLFHOOGTETER: 2

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1131

FIG.18



ENERGIEDICHTHEIDSSPECTRUM

PROEF 40

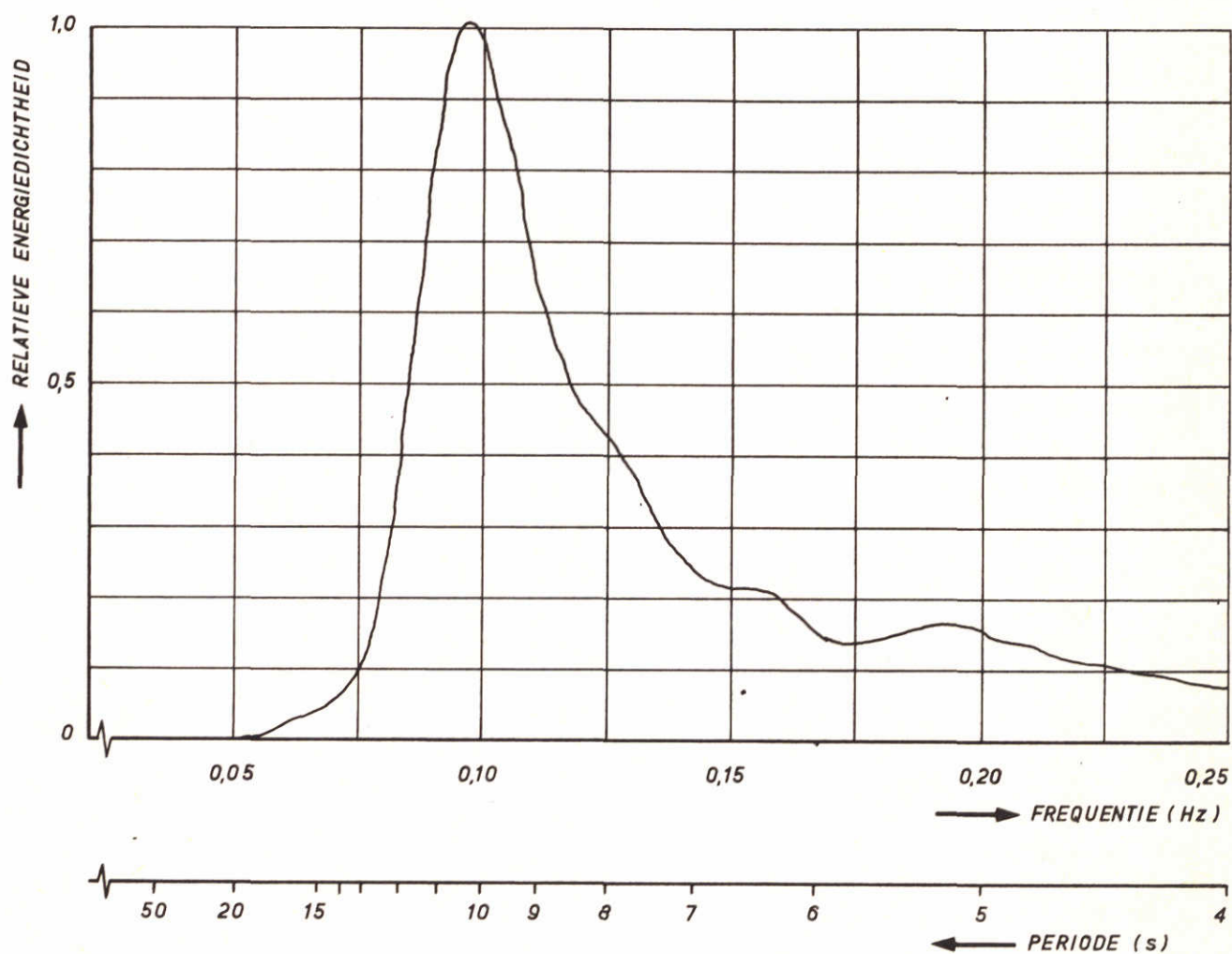
GOLFHOOGTEMETER: 2

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1132

FIG.19



ENERGIEDICHTHEIDSSPECTRUM

PROEF 41

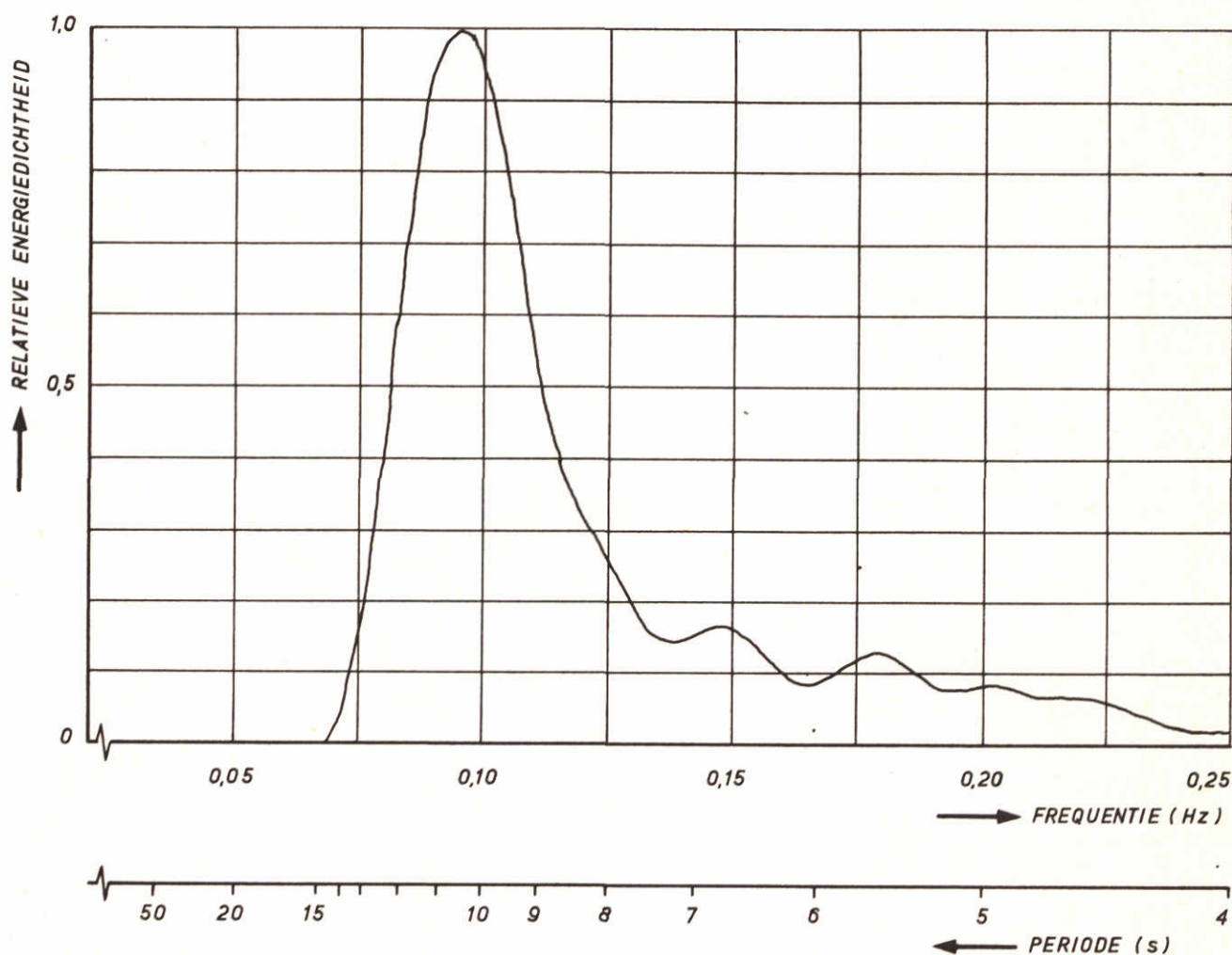
GOLFHOOGTEMETER: 2

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1133

FIG. 20



ENERGIEDICHTHEIDSSPECTRUM

PROEF 42

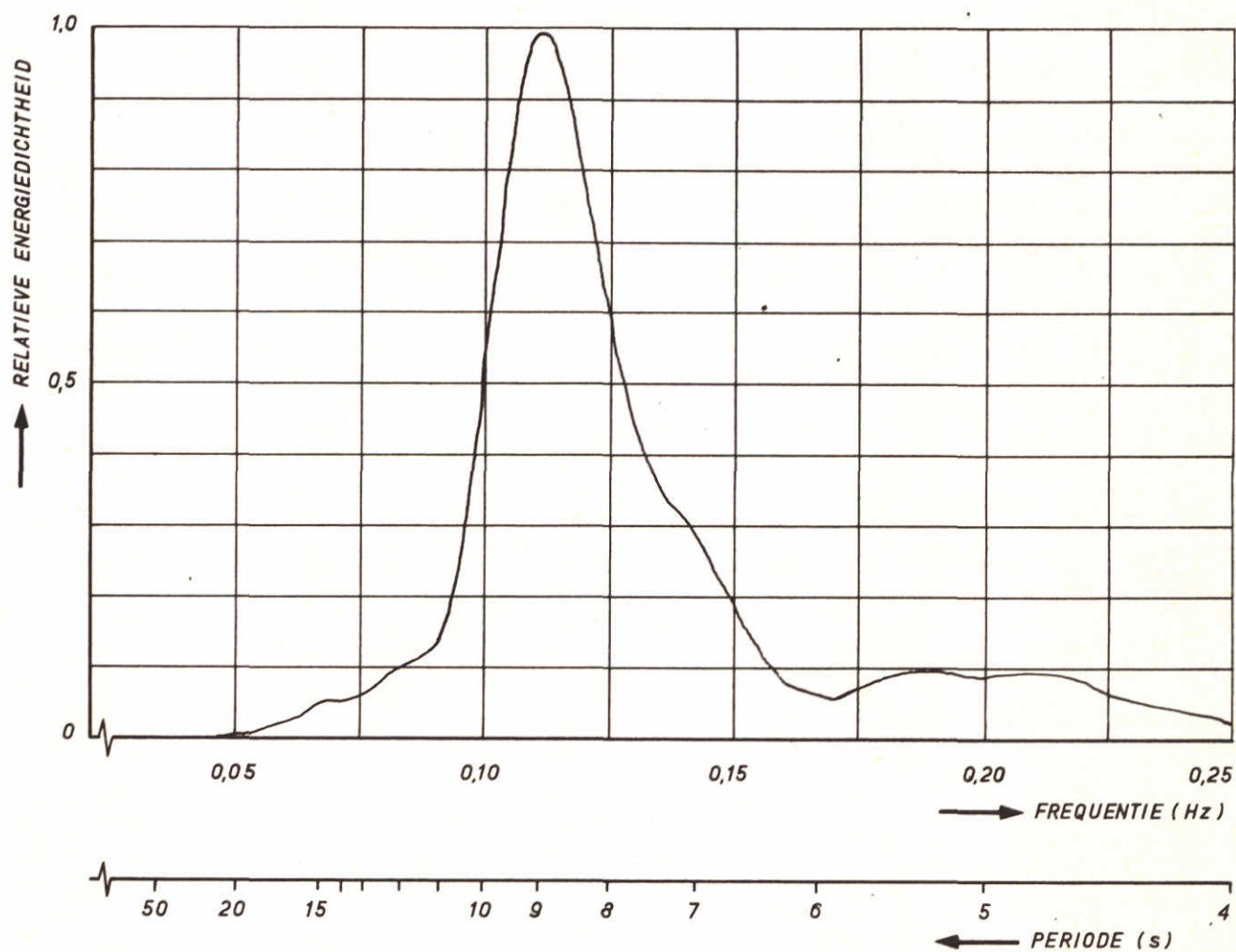
GOLFHOOGTEMETER: 2

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1134

FIG. 21



ENERGIEDICHTHEIDSSPECTRUM

PROEF 43

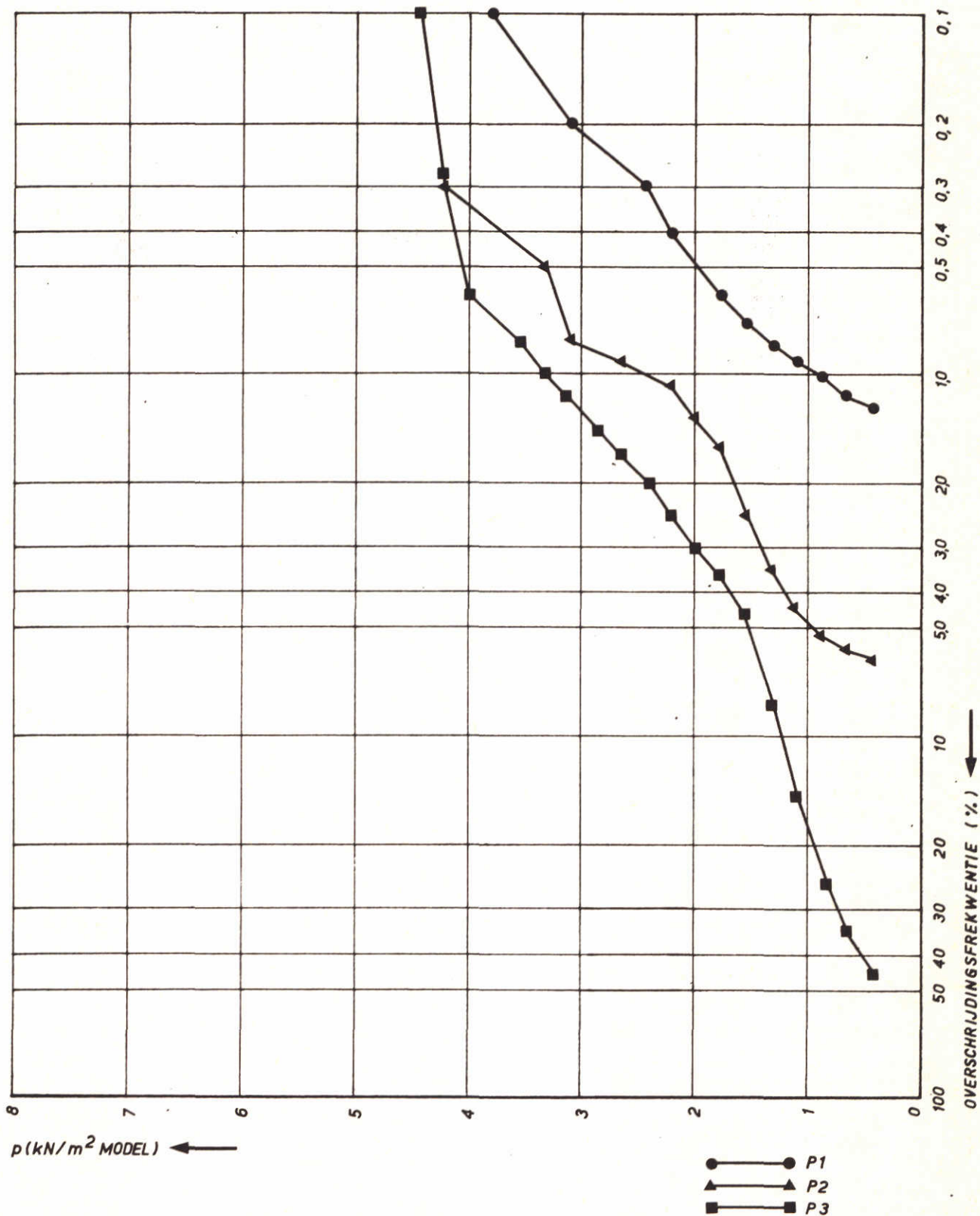
GOLFHOOGTETER: 2

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III- 1135

FIG. 22



KUMULATIEVE FREKWENTIEVERDELING VAN GOLFKLAP-
DRUKKEN (PIEKDRUKKEN)

PROEF 36

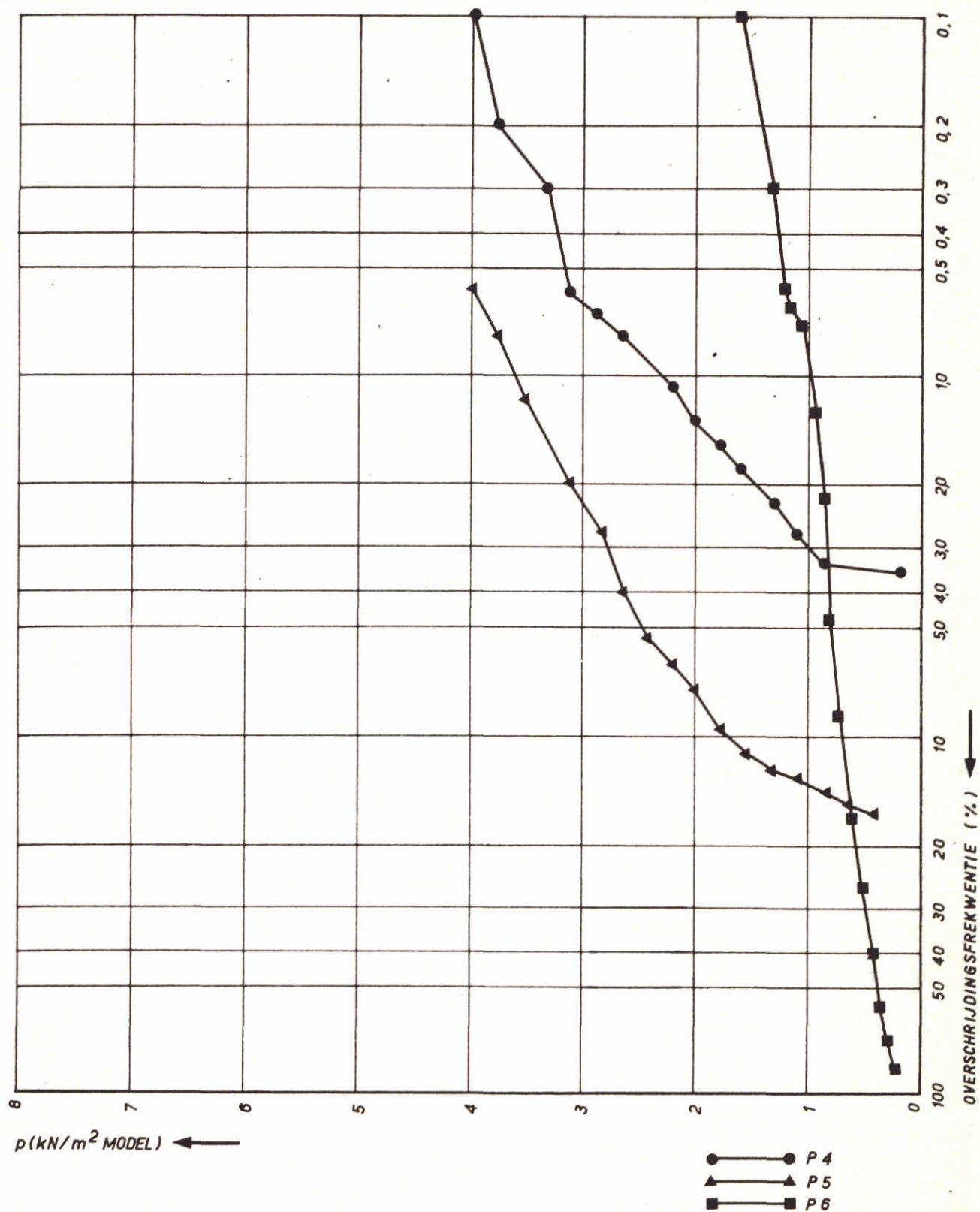
WK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1136

FIG. 23



KUMULATIEVE FREKVENTIEVERDELING VAN GOLFKLAP-
DRUKKEN (PIEKDRUKKEN)

PROEF 36

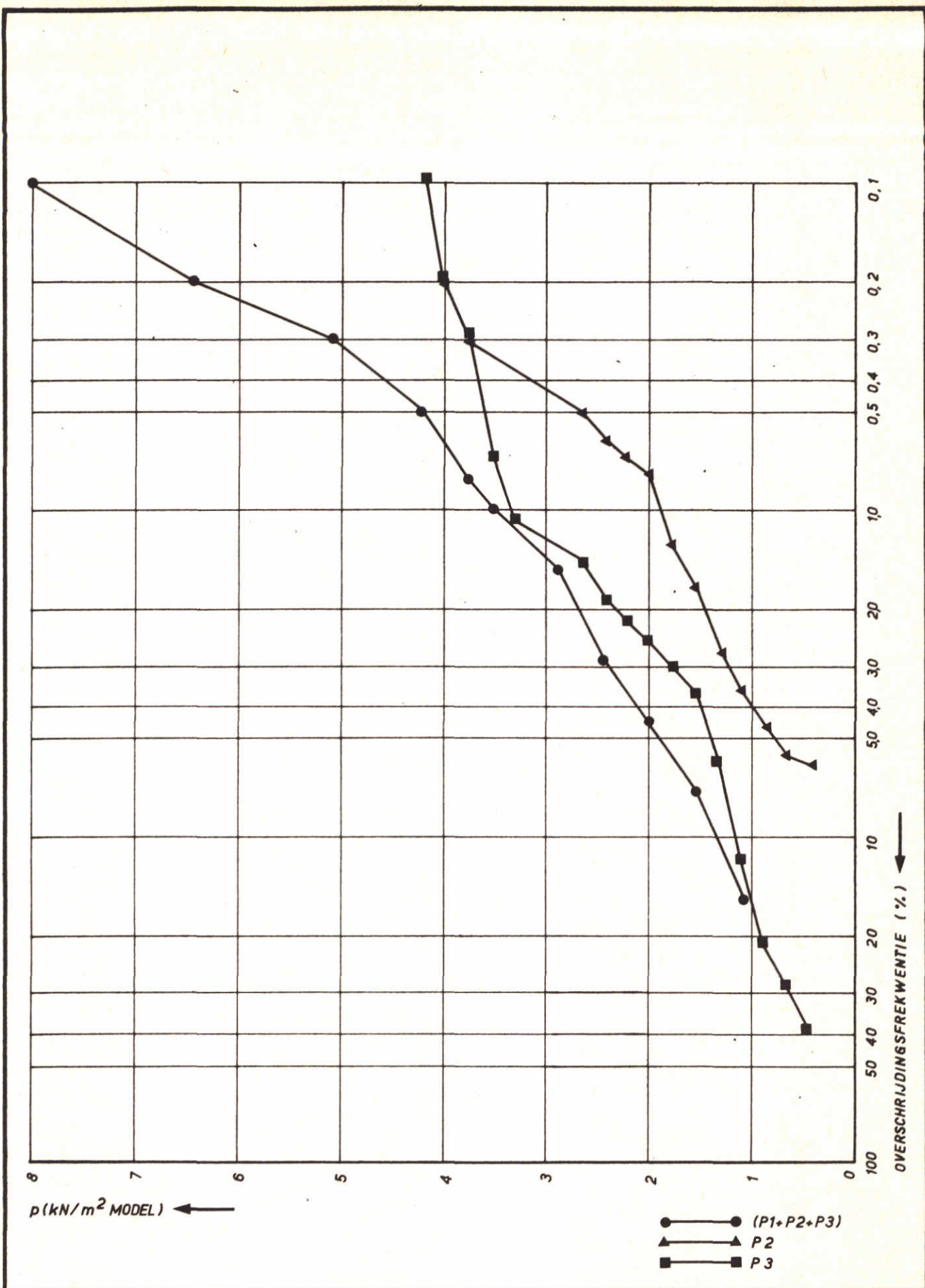
WK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1137

FIG. 24



KUMULATIEVE FREKVENTIEVERDELING VAN GOLFKLAP-
DRUKKEN (PIEKDRUKKEN)

PROEF 37

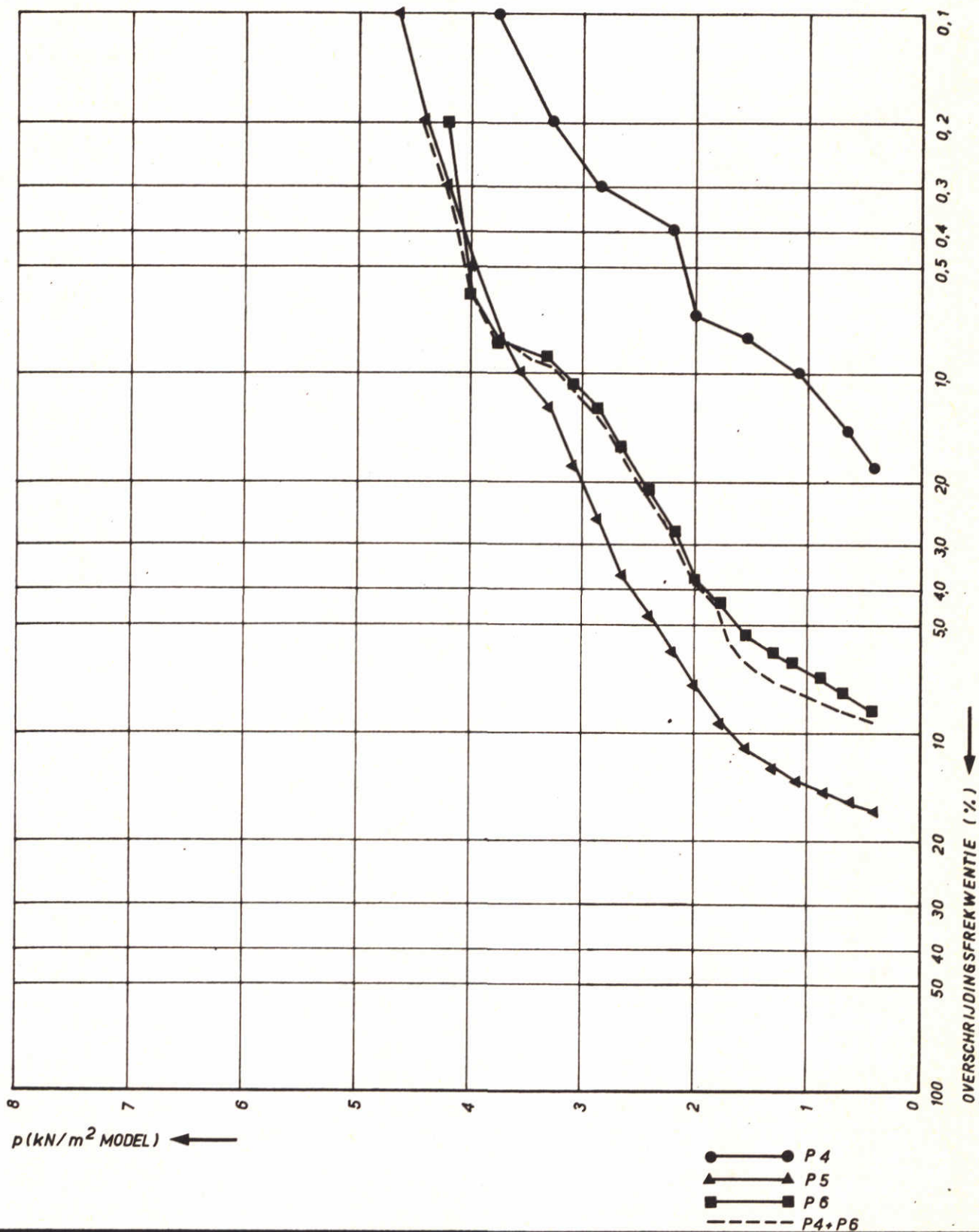
WK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1138

FIG. 25



KUMULATIEVE FREKVENTIEVERDELING VAN GOLFKLAP-
DRUKKEN (PIEKDRUKKEN)

PROEF 37

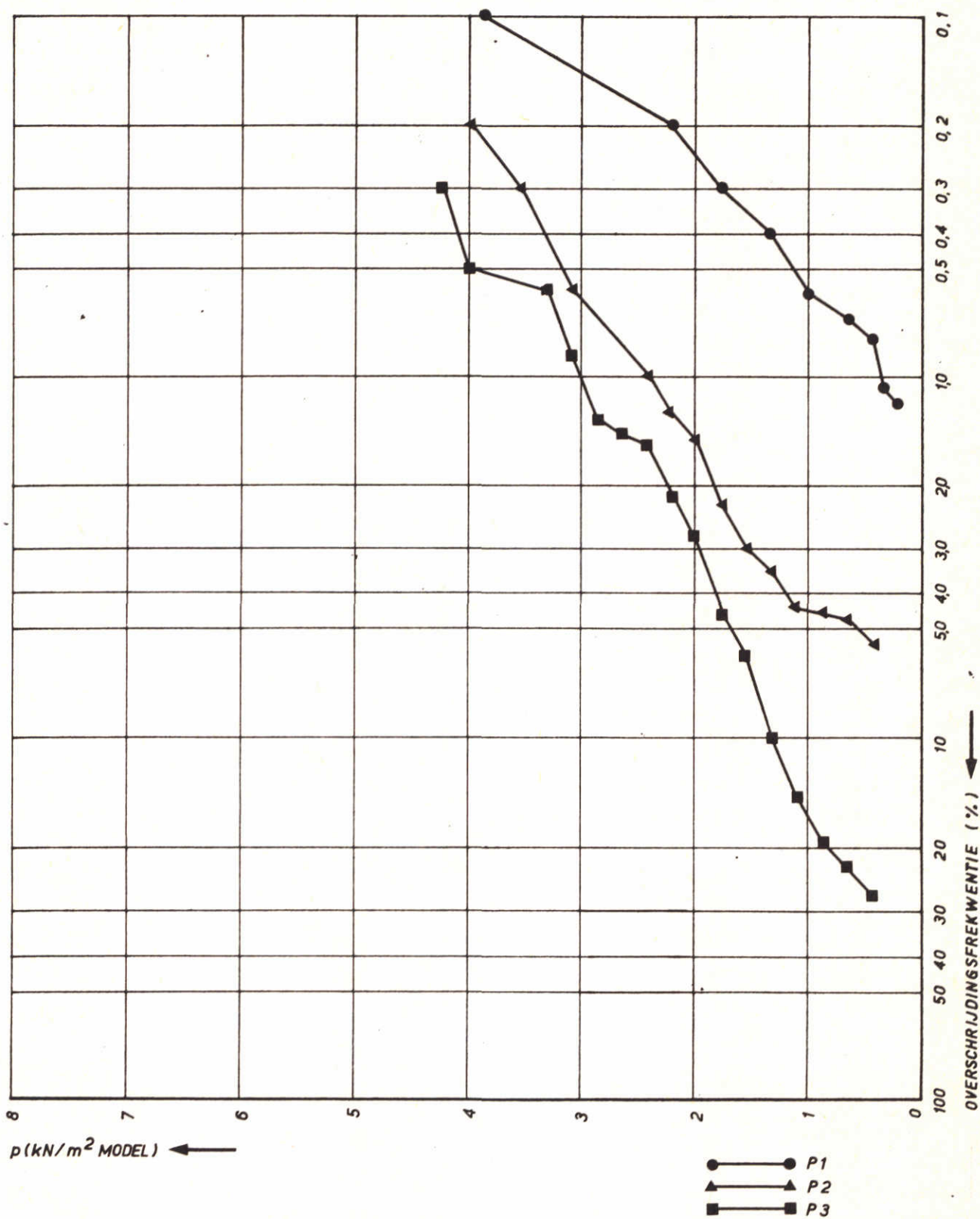
WK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III- 1139

FIG. 26



KUMULATIEVE FREKVENTIEVERDELING VAN GOLFKLAP-
DRUKKEN (PIEKDRUKKEN)

PROEF 38

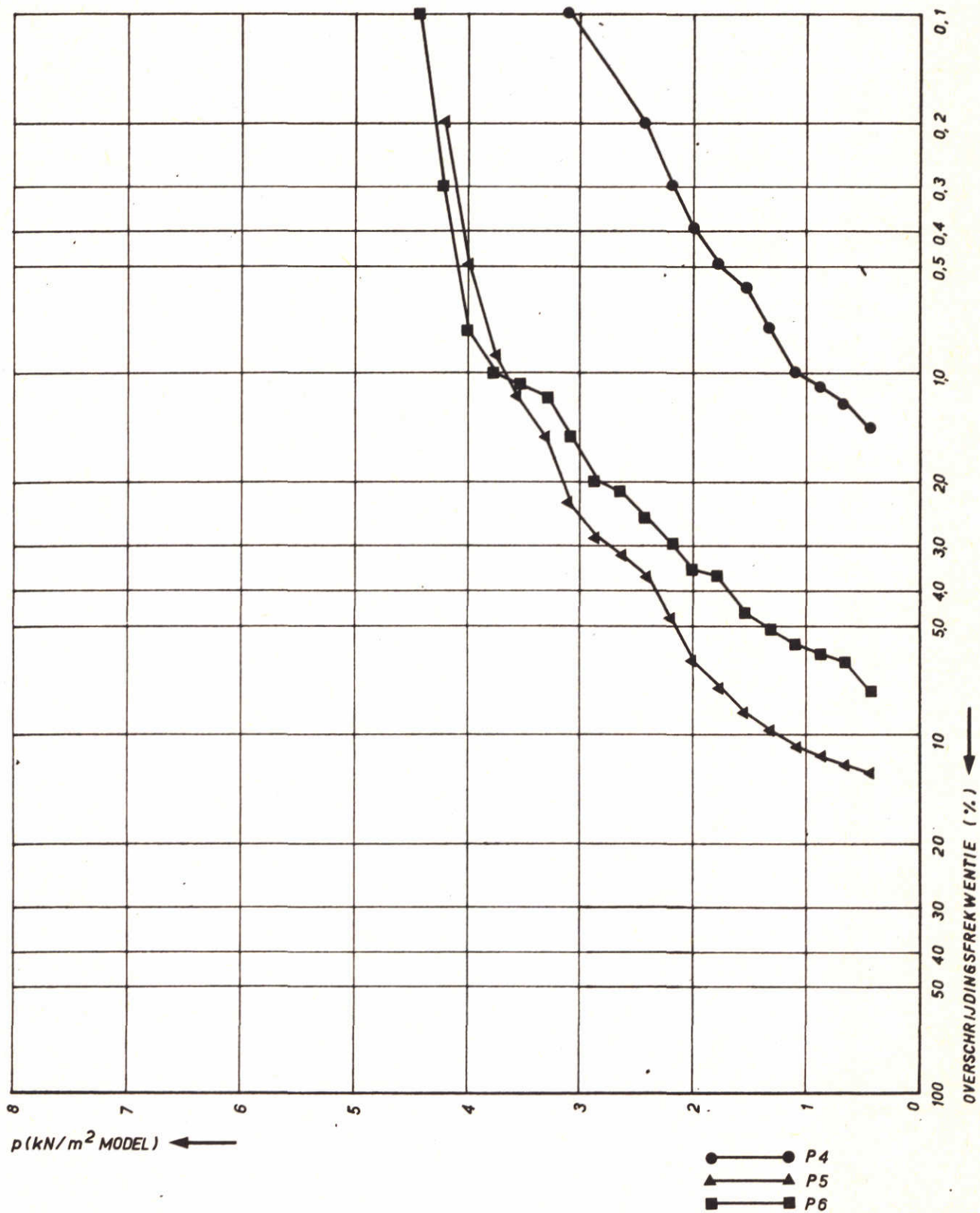
WK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1140

FIG. 27



KUMULATIEVE FREKVENTIEVERDELING VAN GOLFKLAP-
DRUKKEN (PIEKDRUKKEN)

PROEF 38

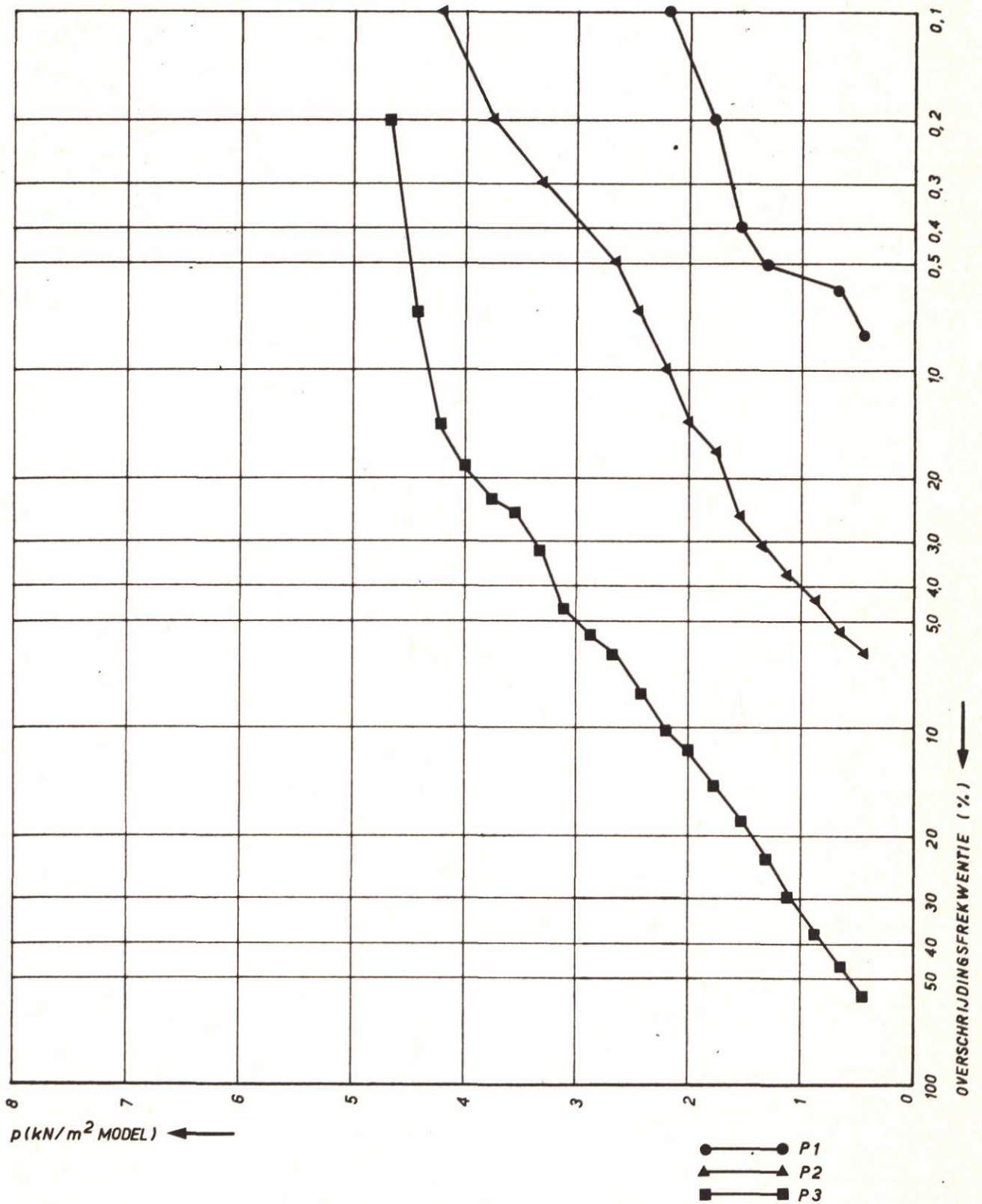
WK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1141

FIG. 28



KUMULATIEVE FREKWENTIEVERDELING VAN GOLFKLAP-
DRUKKEN (PIEKDRUKKEN)

PROEF 39

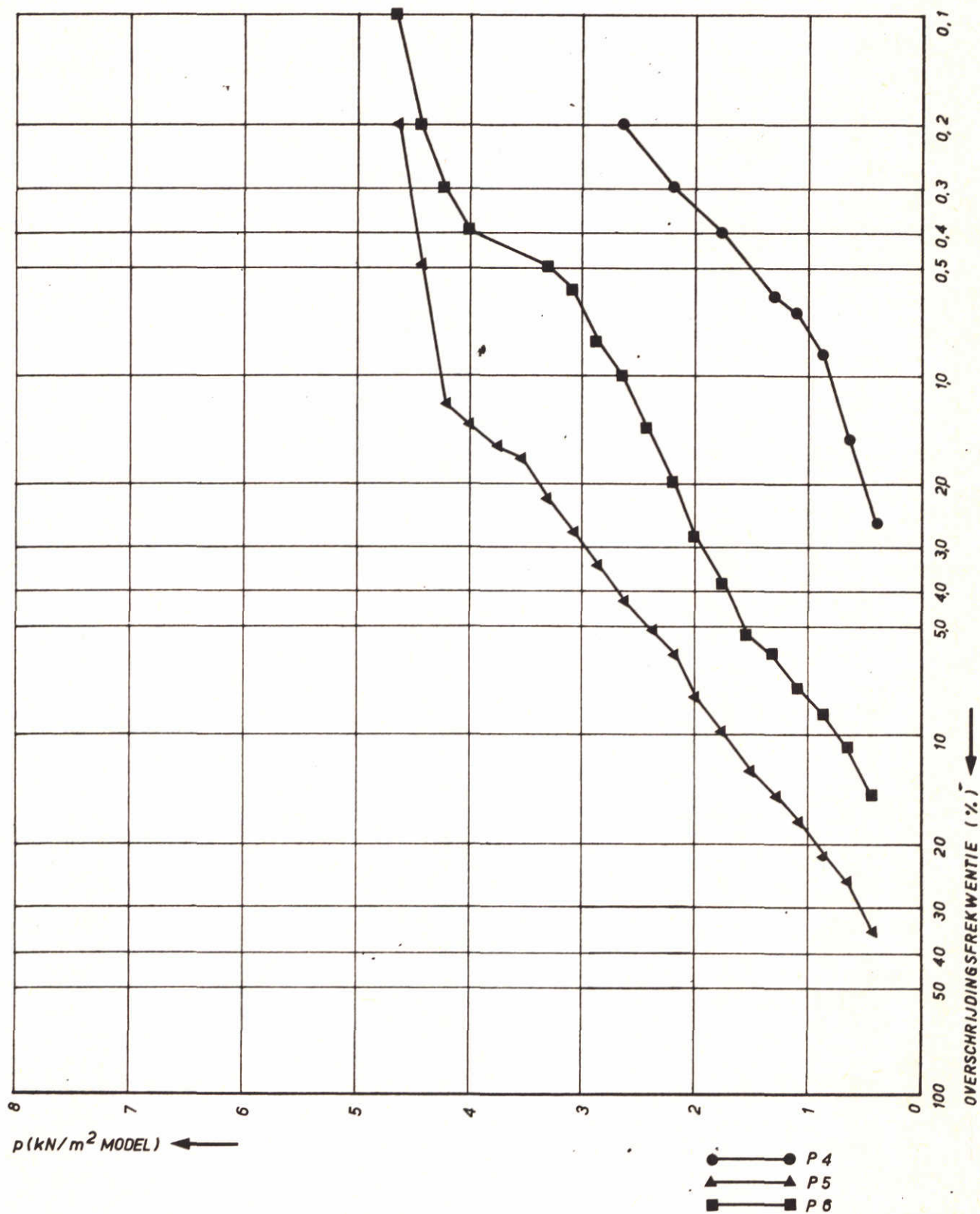
WK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1142

FIG. 29



KUMULATIEVE FREKVENTIEVERDELING VAN GOLFKLAP-
DRUKKEN (PIEKDRUKKEN)

PROEF 39

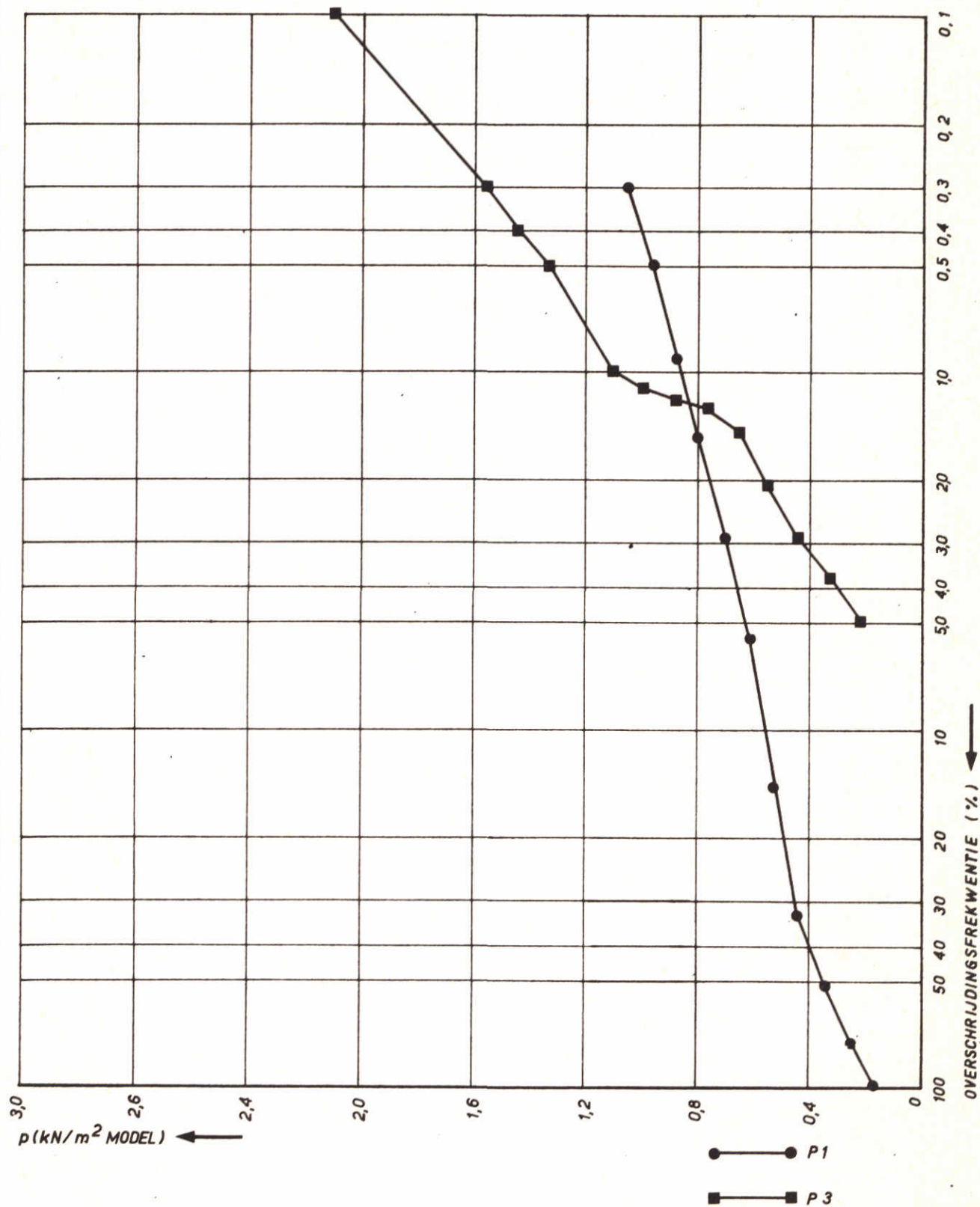
WK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1143

FIG. 30



KUMULATIEVE FREKVENTIEVERDELING VAN GOLFKLAP-
DRUKKEN (PIEKDRUKKEN)

PROEF 40

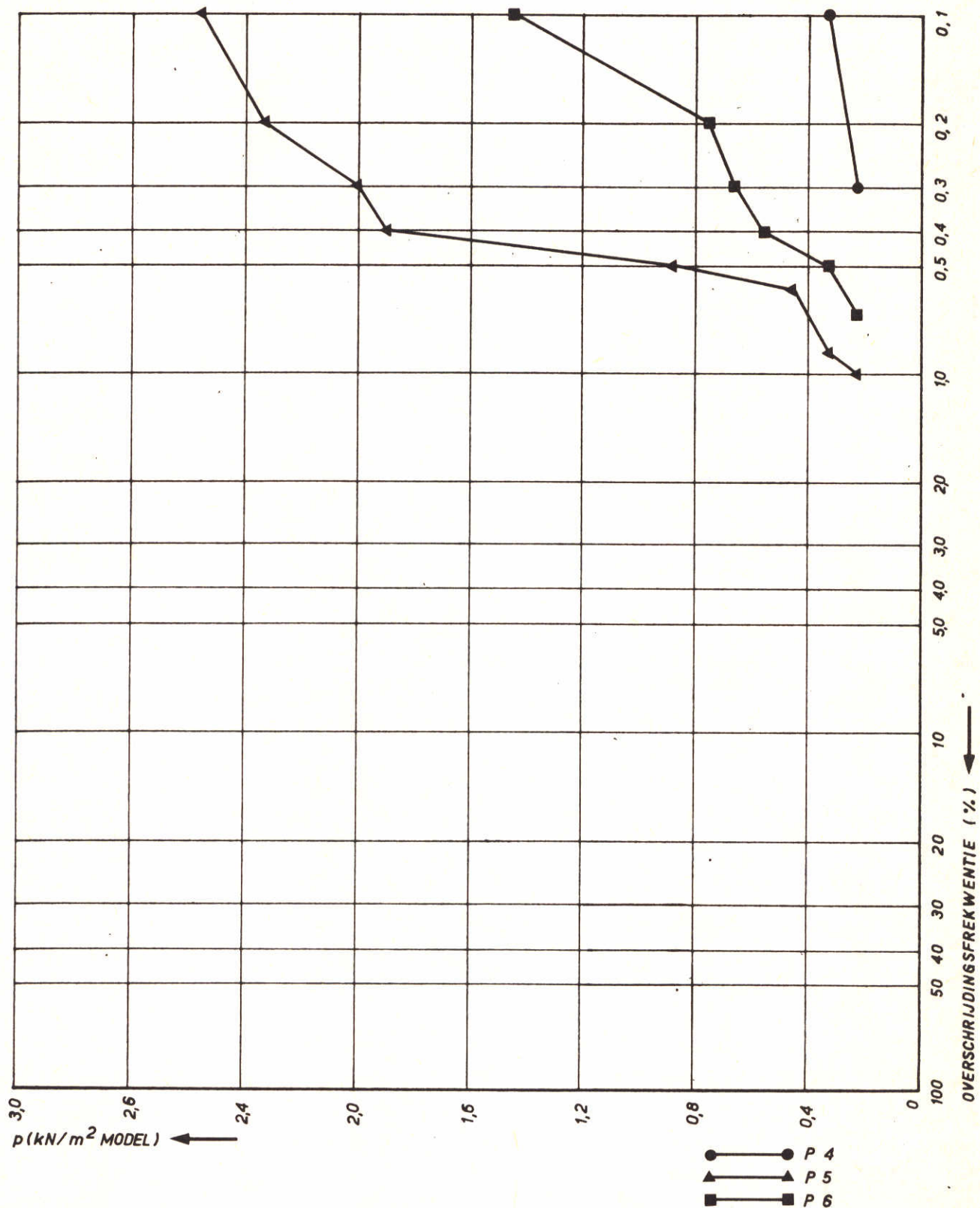
WK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1144

FIG. 31



KUMULATIEVE FREKVENTIEVERDELING VAN GOLFKLAP-
DRUKKEN (PIEKDRUKKEN)

PROEF 40

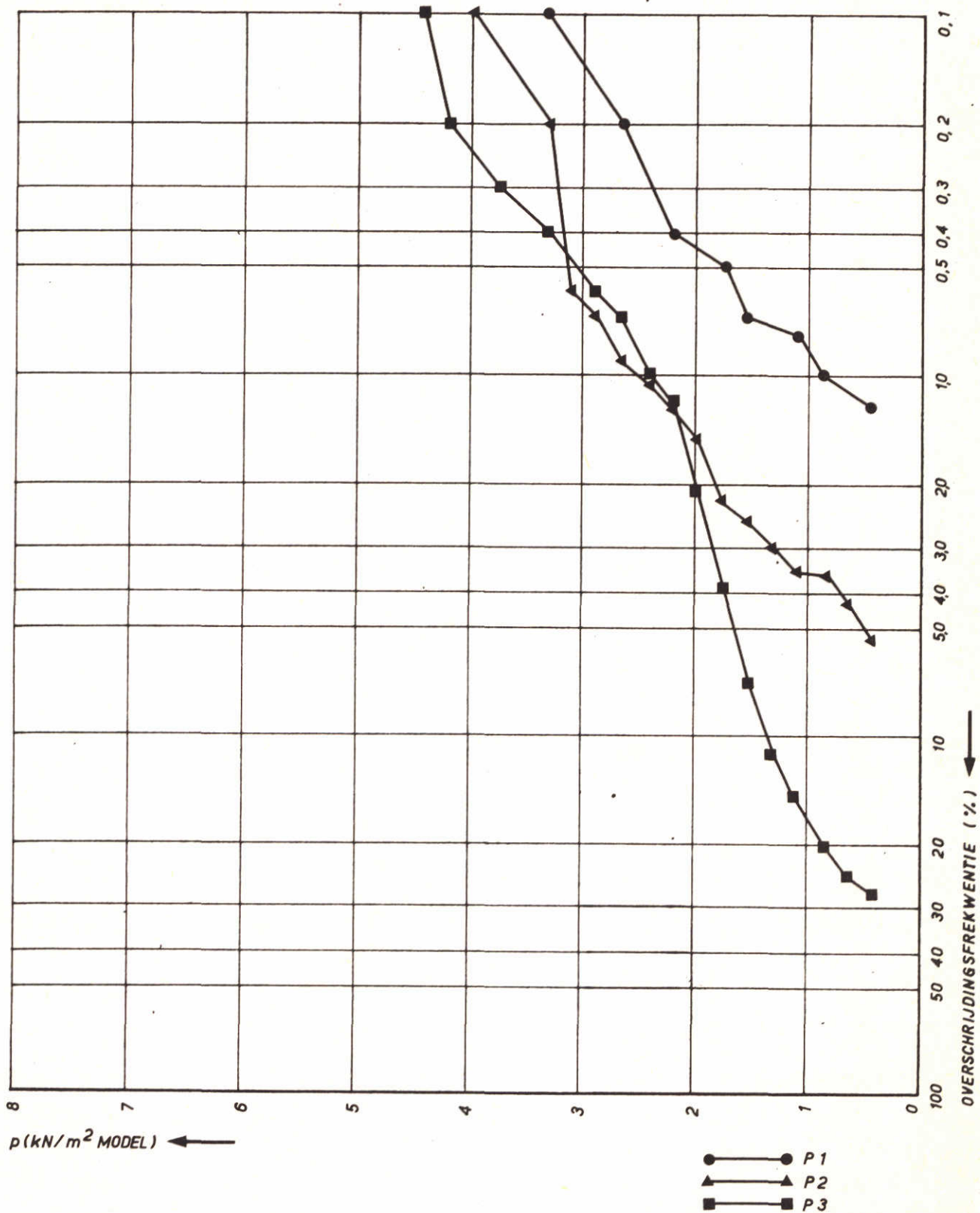
WK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1145

FIG. 32



KUMULATIEVE FREKVENTIEVERDELING VAN GOLFKLAP-
DRUKKEN (PIEKDRUKKEN)

PROEF 41

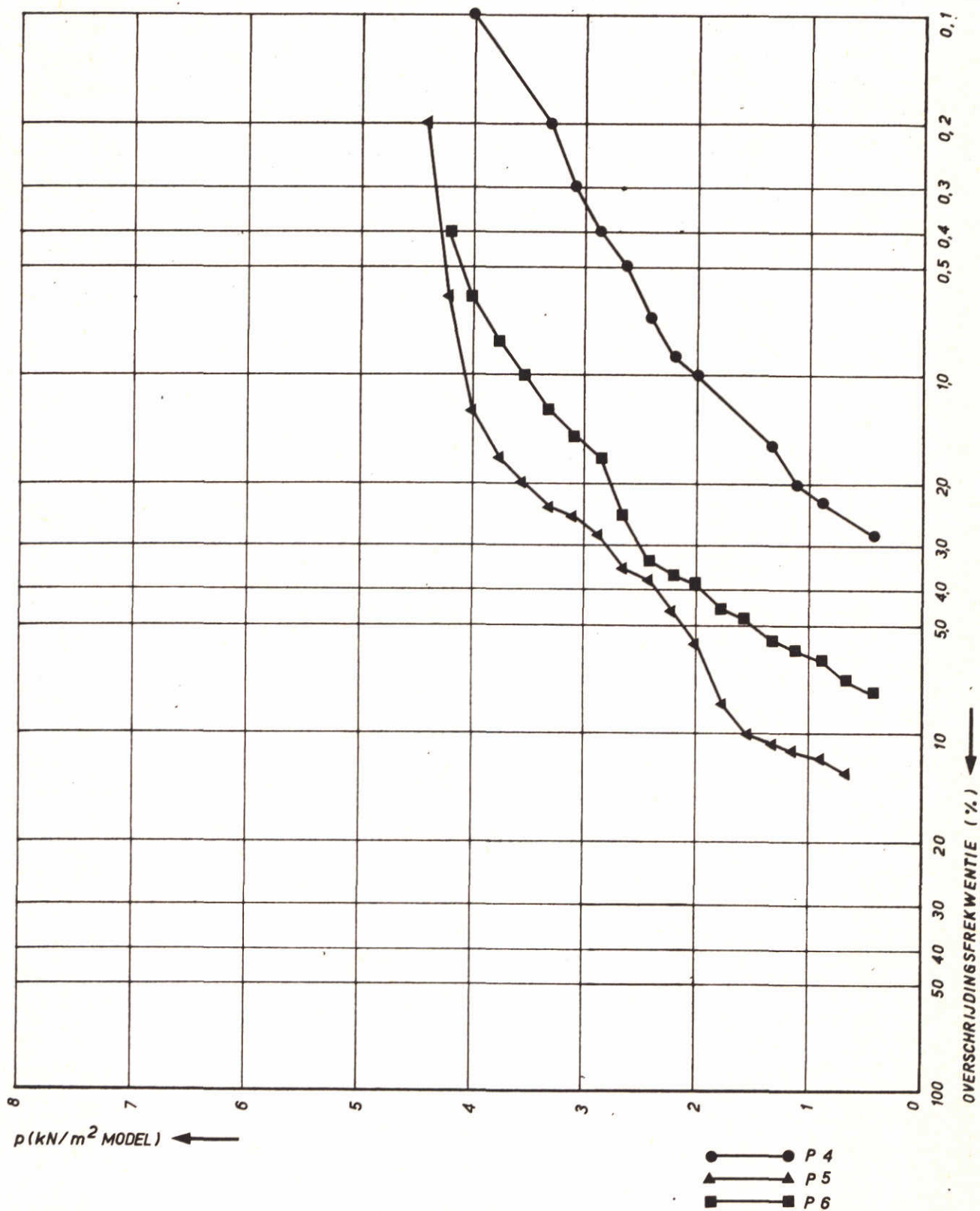
WK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III- 1146

FIG. 33



KUMULATIEVE FREKVENTIEVERDELING VAN GOLFKLAP-
DRUKKEN (PIEKDRUKKEN)

PROEF 41

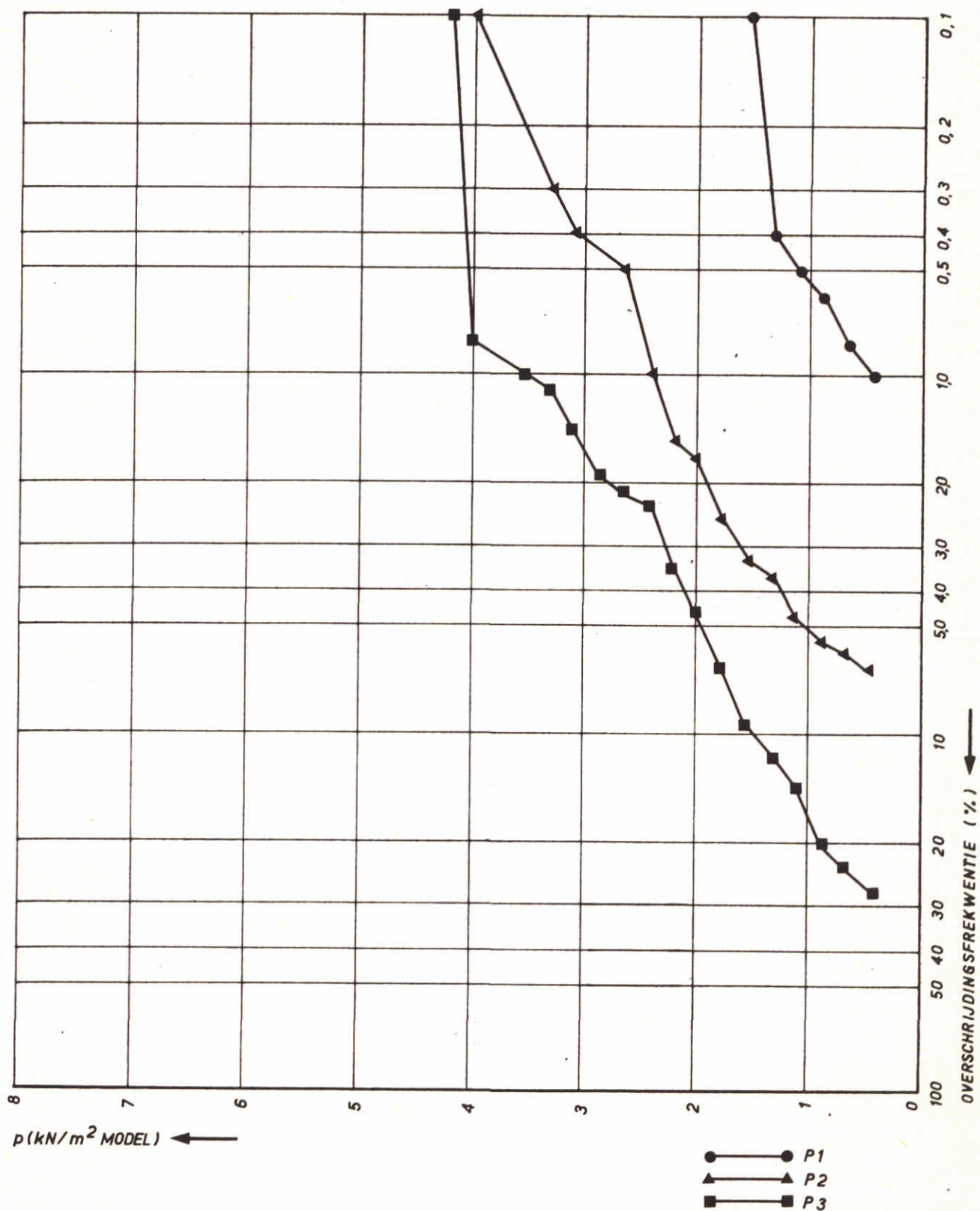
WK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1147

FIG. 34



KUMULATIEVE FREKVENTIEVERDELING VAN GOLFKLAP-
DRUKKEN (PIEKDRUKKEN)

PROEF 42

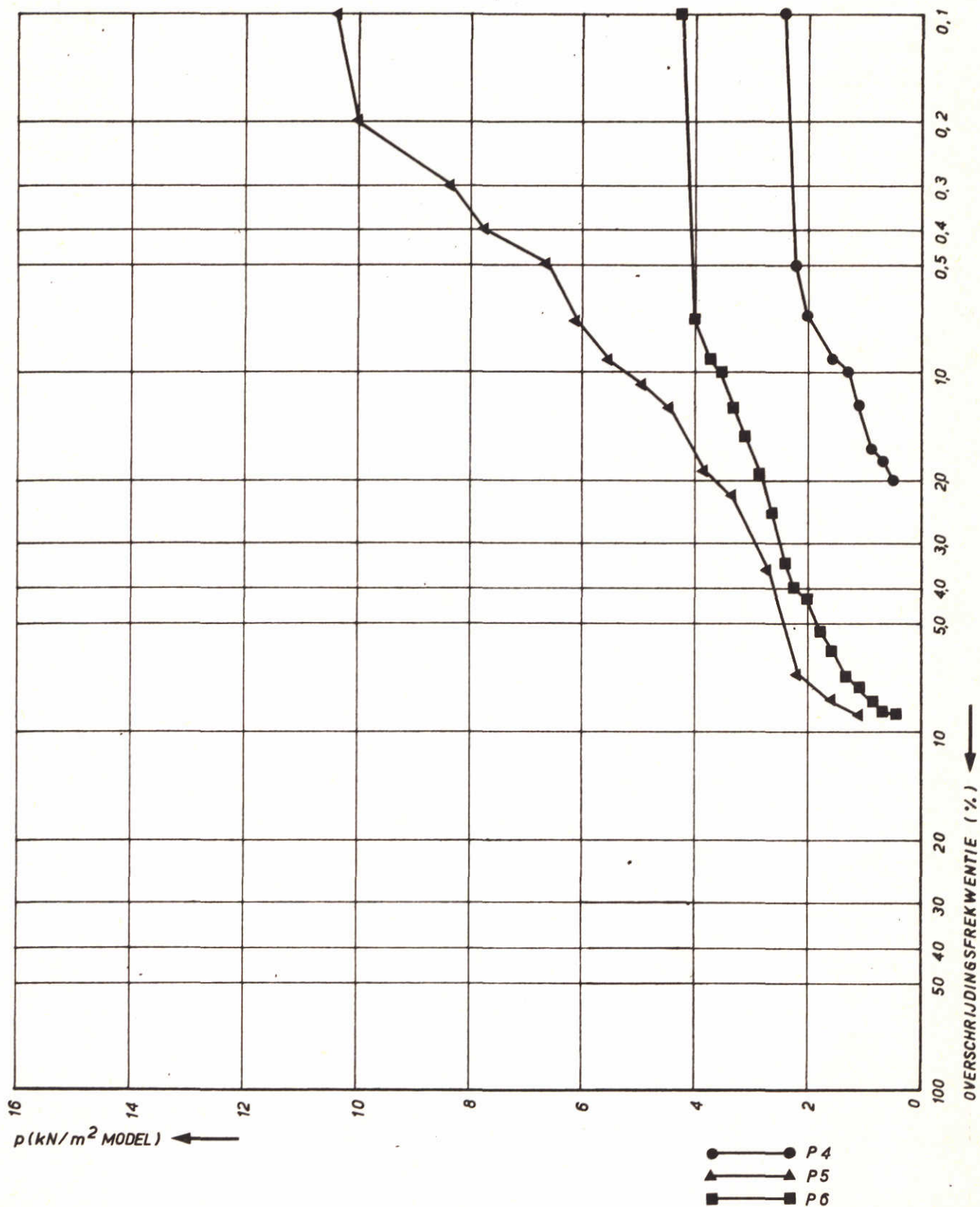
WK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1148

FIG. 35



KUMULATIEVE FREKVENTIEVERDELING VAN GOLFKLAP-
DRUKKEN (PIEKDRUKKEN)

PROEF 42

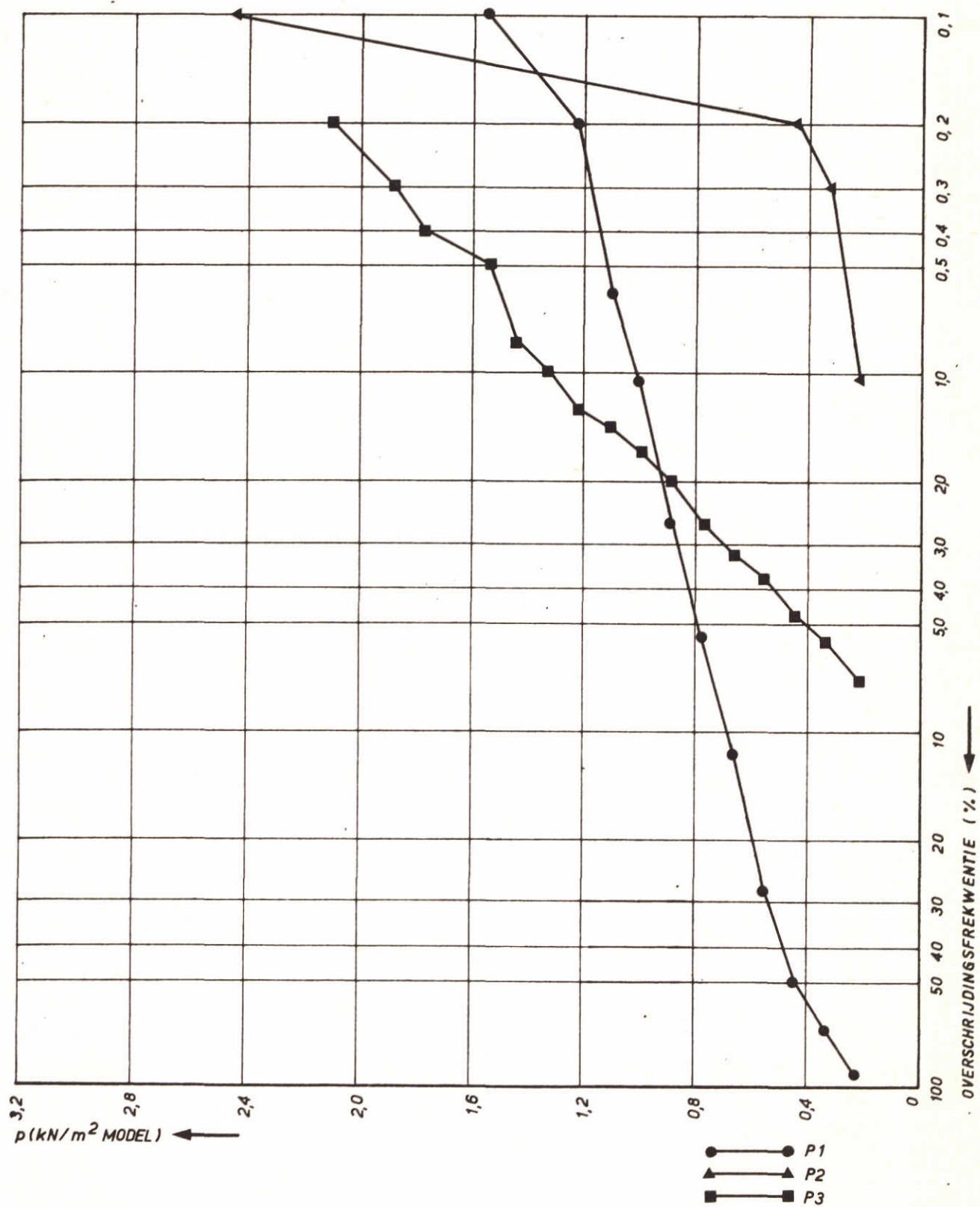
WK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III- 1149

FIG. 36



KUMULATIEVE FREKVENTIEVERDELING VAN GOLFKLAP-
DRUKKEN (PIEKDRUKKEN)

PROEF 43

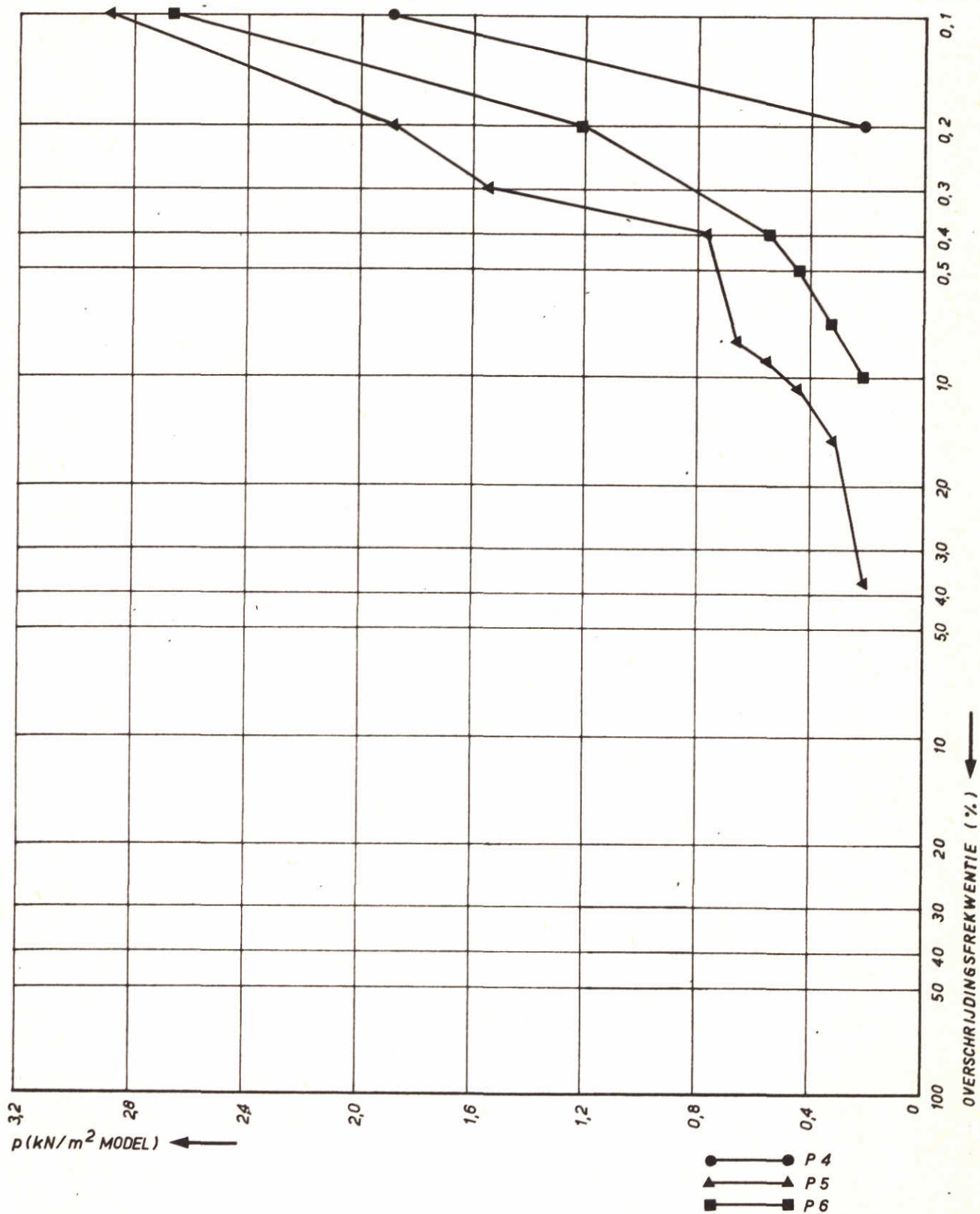
WK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1150

FIG. 37



KUMULATIEVE FREKWENTIEVERDELING VAN GOLFKLAP-
DRUKKEN (PIEKDRUKKEN)

PROEF 43

WK

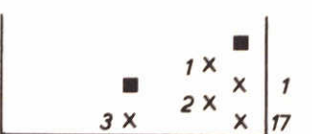
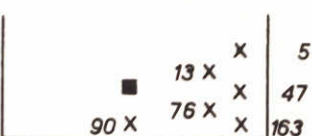
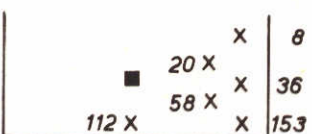
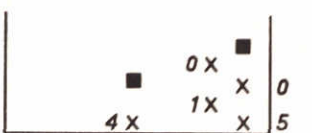
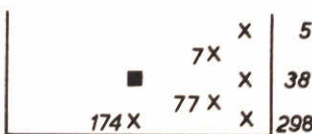
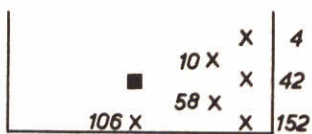
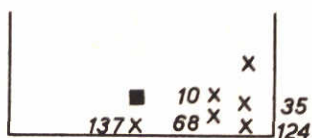
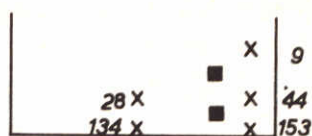
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1151

FIG. 38

PROEF	ZEEWS	OSWS	WIND	SCHUIF
36	5,3	-1,7	-	VOOR
37	5,3	-1,7	-	VOOR
38	5,3	-1,7	40	VOOR
39	5,3	+2,0	40	VOOR
40	3,0	-1,7	25	VOOR
41	5,3	-1,7	-	MIDDEN
42	5,3	-1,7	40	MIDDEN
43	3,0	-1,7	25	MIDDEN



OVERZICHT VAN HET AANTAL GEREgistREERDE KLAPPEN
> 1 kN/m² PER 1000 WATERGOLVEN

WK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1152

FIG. 39

PROEF	ZEEWS	OSWS	WIND	SCHUIF
36	5,3	-1,7	-	VOOR
37	5,3	-1,7	-	VOOR
38	5,3	-1,7	40	VOOR
39	5,3	+2,0	40	VOOR
40	3,0	-1,7	25	VOOR
41	5,3	-1,7	-	MIDDEN
42	5,3	-1,7	40	MIDDEN
43	3,0	-1,7	25	MIDDEN

			X	21
60 X		■	X	95
311 X		■	X	257

			X	-
	■	23 X	X	65
312 X		154 X	X	208

			X	9
	■	19 X	X	85
250 X		144 X	X	260

			X	9
	■	14 X	X	74
383 X		152 X	X	616

			X	-
	■	- X	X	-
9 X		2 X	X	15

			X	17
	■	42 X	X	76
272 X		149 X	X	270

			X	7
	■	25 X	X	92
301 X		180 X	X	305

			X	-
	■	2 X	X	2
7 X		4 X	X	25

WAARDEN IN N/m^2 MODEL

KLAPGEVOELIGHEIDSGETALLEN (KLAPPEN $>1 kN/m^2$)

WK

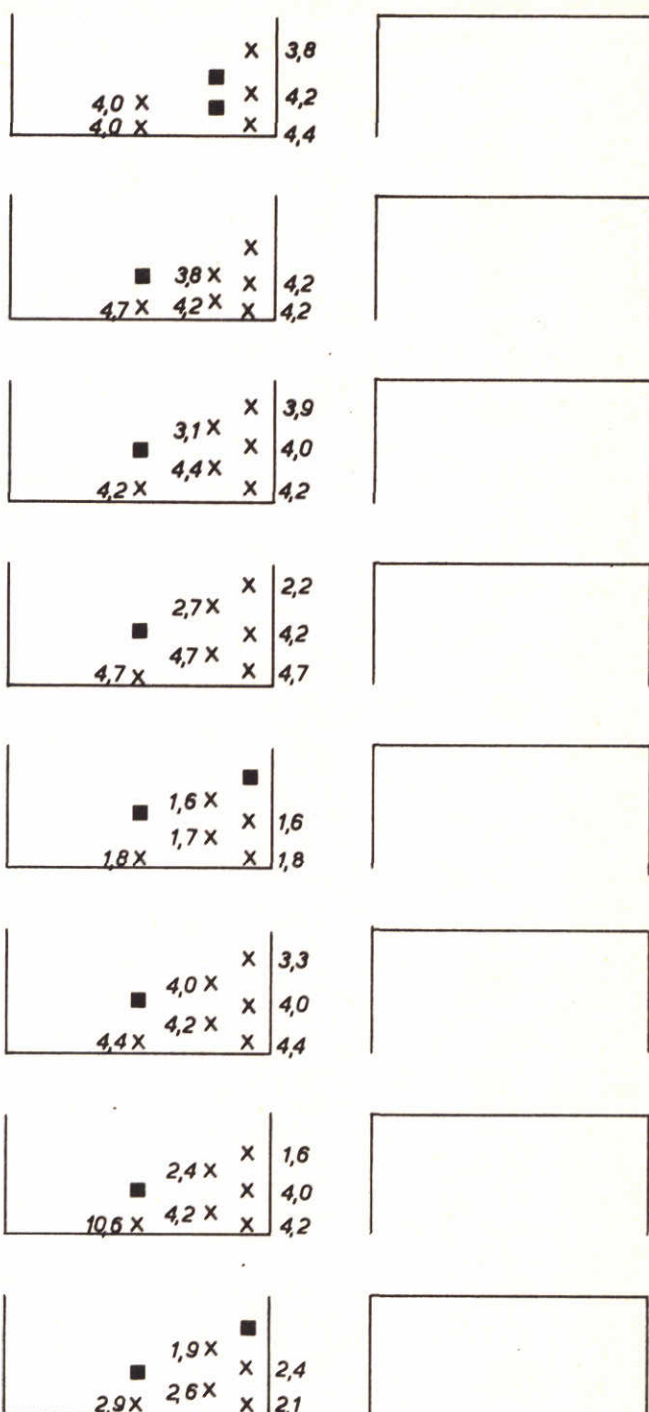
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1396-III-1153

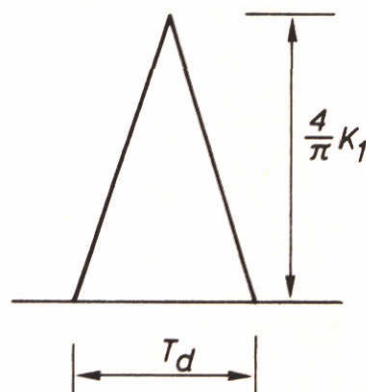
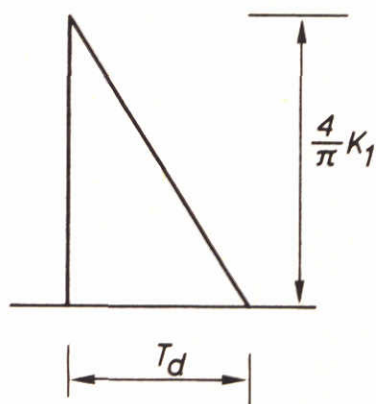
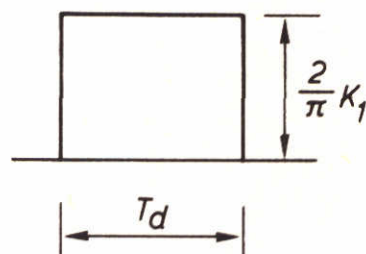
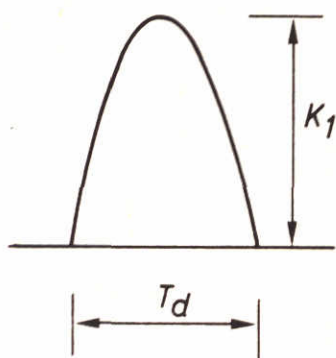
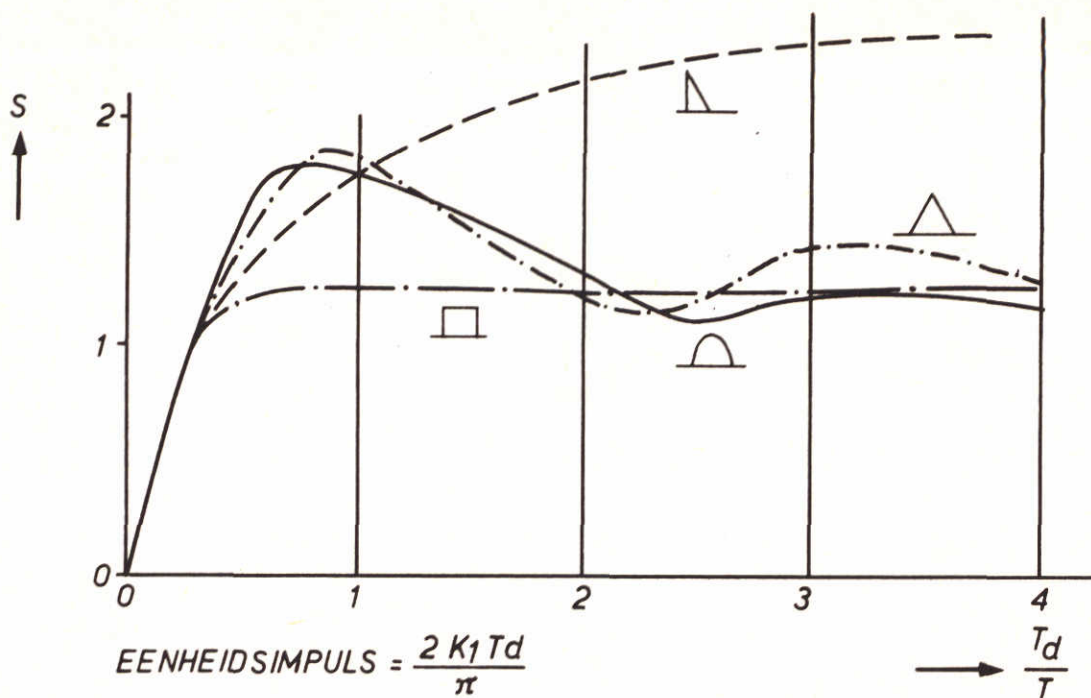
FIG. 40

PROEF	ZEEWS	OSWS	WIND	SCHUIF
36	5,3	-1,7	-	VOOR
37	5,3	-1,7	-	VOOR
38	5,3	-1,7	40	VOOR
39	5,3	+2,0	40	VOOR
40	3,0	-1,7	25	VOOR
41	5,3	-1,7	-	MIDDEN
42	5,3	-1,7	40	MIDDEN
43	3,0	-1,7	25	MIDDEN



WAARDEN IN kN/m^2 (MODEL)

OVERZICHT VAN DE MAXIMALE GOLFKLAPDRUKKEN		WK
		A4
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M.1396-III - 1154	FIG. 41



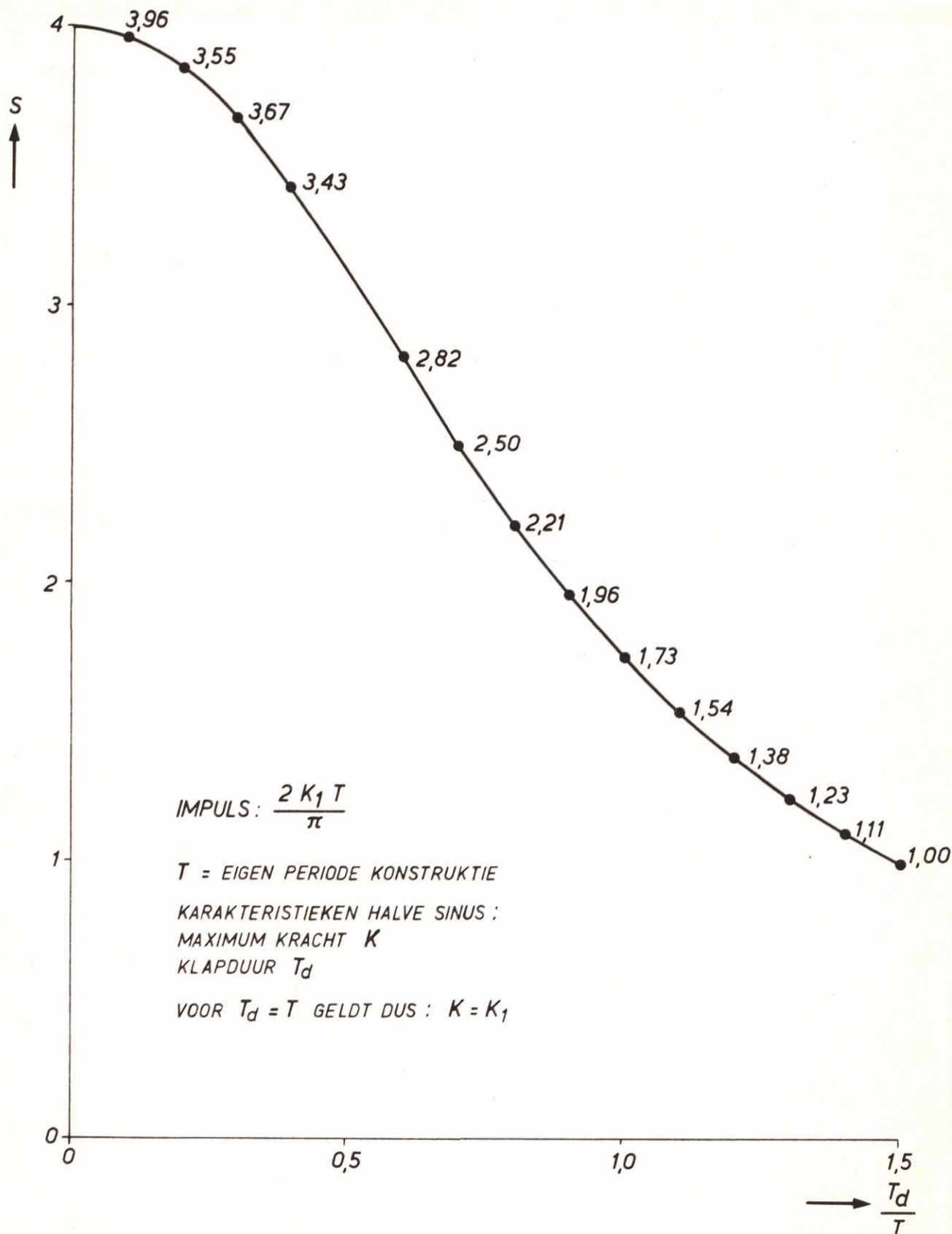
T = EIGEN PERIODE KONSTRUKTIE T_d = KLAPTJD

S = (MAX. DYNAMISCHE UITWIJING) / (STATISCHE UITWIJING VOOR $K=K_1$)

VIER BELASTINGVORMEN MET BIJBEHORENDE KONSTRUKTIE -
 REAKTIES BIJ ONDERLING VERGELIJKBARE IMPULS
 (ALS FUNKTIE VAN T_d)

WK

A4



KONSTRUKTIEREAKTIES VOOR BELASTING IN DE VORM
 VAN EEN HALVE SINUS MET IMPULS ONAFHANKELIJK VAN T_d

WK

A4

p.o. box 177

2600 mh delft

the netherlands