

waterloopkundig laboratorium



laboratorium voor grondmechanica



taludbekleding van gezette steen

stabiliteit van enkele typen taludbekledingen
bij diverse golfomstandigheden

band A

verslag kleinschalig modelonderzoek

M 1795/M 1881 deel XIV WL

CO 272560

LGM

juni 1985

C 5824

waterloopkundig laboratorium



laboratorium voor grondmechanica



taludbekleding van gezette steen

stabiliteit van enkele typen taludbekledingen
bij diverse golfomstandigheden

band A

verslag kleinschalig modelonderzoek

M 1795/M 1881 deel XIV WL
CO 272560

LGM

juni 1985

REF. NR. 6540	DATUM 28-12-1984
SIGN. C5824	FRUG PL 0,00
Dit verslag is Hoeft te worden v. d. Water laat Koningkade 4 2596 AA 's-Gravenhage	

Het verslag M1795/M1881 deel XIV bestaat uit twee banden

KORTE INHOUDSOPGAVE

Band A: Stabiliteit van enkele typen talubekledingen bij diverse golfomstandigheden

- Sectie 1: Opzet, uitvoering en resultaten van het onderzoek
 - 1. Inleiding
 - 2. Randvoorwaarden
 - 3. Model
 - 4. Modelproeven
 - 5. Resultaten
 - Tabellen 1 t/m 10
 - Figuren 1 t/m 30
 - Appendices 1 t/m 5
- Sectie 2: Analyse van schademechanismen met behulp van de drukregistraties
 - 1. Inleiding
 - 2. Schademechanismen
 - 3. Analyse filmproeven
 - 4. Samenvatting
 - Tabellen 1 t/m 6
 - (Figuren 1 t/m 32 zijn opgenomen in band B)
 - Figuren 33 t/m 91
- Sectie 3: Vergelijking resultaten modelonderzoek met numerieke berekeningsresultaten (LGM)
 - 1. Inleiding
 - 2. Verschildrukken op een steenzetting in relatie tot de leklengte
 - 3. De berekening van de doorlatendheid van zetting en filter
 - 4. Vergelijking van de resultaten van STEENZET met de Scheldegoot-proeven
 - 5. Berekening van de leklengte en vergelijking van de op verschillende wijze gevonden leklengten
 - 6. De waarde van STEENZET voor het ontwerpen van steenzettingen
 - 7. Vergelijking van Scheldegootzettingen met prototypezettingen
 - 8. Conclusies
 - Figuren 1 t/m 11

Band B: Stabiliteit van enkele typen talubekledingen bij diverse golfomstandigheden

Figuren 1 t/m 32 van verslag kleinschalig modelonderzoek (op A3 formaat)

N.B. Band B is in een veel kleinere oplage verspreid dan band A.

Taludbekleding van gezette steen

Opzet, uitvoering en resultaten van het
onderzoek

Sectie 1 van verslag kleinschalig modelonderzoek

M 1795/M 1881 deel XIV	WL
Co 258901	LGM

februari 1985

INHOUD SECTIE 1

	blz.
1. <u>Inleiding</u>	1
1.1 Doel van het onderzoek.....	1
1.2 Samenvatting, conclusies en aanbevelingen.....	1
2. <u>Randvoorwaarden</u>	6
3. <u>Model</u>	8
4. <u>Modelproeven</u>	10
4.1 Wijze van uitvoering en metingen.....	10
4.2 Overzicht van de uitgevoerde proeven.....	11
5. <u>Resultaten</u>	13
5.1 Golfomstandigheden.....	13
5.2 Reflectie coëfficiënten.....	16
5.3 Golfoploop en golfterugloop.....	17
5.4 Plaats waar schade optreedt.....	21
5.5 Schademechanismen.....	21
5.6 Black-box schaderelaties.....	26
5.7 Relaties tussen regelmatige en onregelmatige golfaanval.....	30

REFERENTIES

TABELLEN

FIGUREN

APPENDICES

TABELLEN

1. Afmetingen en dichtheden van toegepaste blokken
2. Overzicht van de uitgevoerde proeven
3. Schade zoeken: regelmatige golven
4. Schade zoeken: Egmond spectrum
5. Schade zoeken: Jonswap spectrum
6. Overzicht posities drukopnemers in de filmproeven
7. Plaats golfsterugloopmeter en golfoploopmeter tijdens filmproeven
8. Aantallen en percentages golven uit onregelmatig golfveld dat boven schadelijn van regelmatige golven ligt.
9. Verhoudingen $\frac{H_i}{\Delta D} / \frac{H_{si}}{\Delta D}$
10. Overzicht opgetreden schademechanismen

FIGUREN

1. Egmond spectrum
2. Jonswap spectrum
3. Modelopstelling in Scheldegoot
4. Overzicht talud
- 5a. Nummering rijen en kolommen
- 5b. Positie blokken ten opzichte van SWL
6. Bovenaanzicht talud
7. Konstruktie 1: Detail talud met blokken $0,037 * 0,037 * 0,02 \text{ m}^3$
8. Konstruktie 2: Detail talud met blokken $0,04 * 0,04 * 0,02 \text{ m}^3$
9. Konstruktie 3: Detail talud met blokken met gaten
10. Zeefkrommen van het funderingsgrind
11. Registraties met rijdende golfhoogtemeter
12. Reflectiecoëfficiënt bij regelmatige- en onregelmatige golven voor ξ_{oiz} en ξ_{oip}
13. Golfoploop en golfterugloop bij regelmatige golven
14. Golfoploop en golfterugloop bij onregelmatige golven
15. Plaats waar schade optreedt onder regelmatige golfaanval
16. Plaats waar schade optreedt onder onregelmatige golfaanval
17. Plaats waar schade optreedt onder onregelmatige golfaanval
18. Schematische voorstelling van schademechanismen bij niet brekende golven of bij "collapsing" brekertype
19. Schematische voorstelling van schademechanismen bij "plunging" brekerstype
20. Breker typen
21. Voorbeeld van een belasting op een steenzetting
22. Schadecriteria voor regelmatige golven
23. Schadecriteria voor onregelmatige golven gekarakteriseerd door ξ_{oiz}
24. Schadecriteria voor onregelmatige golven gekarakteriseerd door ξ_{oip}
25. Verhouding H_1/H_{s1} versus ξ_{oi} of ξ_{oiz} gebaseerd op de schadecriteria uit Fig. 22 en 23
26. $H_1 - T$ en $H_{1\%} - T_z$ schadecriteria voor constructietype 1 op talud 1:3 en 1:6
27. $H_1 - T$ en $H_{1\%} - T_z$ schadecriteria voor constructietypen 2 en 3 op talud 1:3 en 1:6

FIGUREN (vervolg)

28. $\frac{\Delta P_{\max}}{\rho g H_1}$ als functie van ξ_{01}
29. Overschrijdingskrommen voor de dimensieloze maximale verschildruk bepaald volgens de equivalentiemethode
30. Overschrijdingskrommen voor de dimensieloze maximale verschildruk bepaald volgens de equivalentiemethode.

SYMBOLENLIJST

b	dikte filterlaag	(m)
D	dikte steenzetting	(m)
d_b	brekerdiepte	(m)
d_x	diameter waarvoor geldt dat x gewichtsprocenten van de korrels kleiner is	(m)
$E(f)$	energiedichtheid	($m^2 s$)
f	frequentie	(s^{-1})
f_m	frequentie waarbij energiedichtheid maximaal is	(s^{-1})
f_p		
g	versnelling t.g.v. de zwaartekracht	(ms^{-2})
H_b	hoogte van brekende golf	(m)
H_i	inkomende golfhoogte	(m)
H_r	gereflecteerde golfhoogte	(m)
H_{max}	maximale golfhoogte	(m)
H_{min}	minimale golfhoogte	(m)
H_s	significante golfhoogte	(m)
H_{si}	inkomende significante golfhoogte	(m)
H_{sr}	gereflecteerde significante golfhoogte	(m)
$H_{1\%}$	1% van de golven is hoger dan $H_{1\%}$	(m)
$H_{2\%}$	2% van de golven is hoger dan $H_{2\%}$	(m)
$\overline{j_1}$	golfgroeplengte, zie blz. 15	
$\overline{j_2}$	golfgroeplengte, zie blz. 15	
k	doorlatendheid filterlaag	(m/s)
k'	doorlatendheid steenzetting	(m/s)

SYMBOLENLIJST (vervolg)

L_o	golflengte op diep water	(m)
L_{op}	golflengte op diep water bij onregelmatige golven $= \frac{g}{2\pi} T_p^2$	(m)
M_{oi}	oppervlakte inkomend golfspectrum	(m ²)
M_{or}	oppervlakte gereflecteerd golfspectrum	(m ²)
R_u	golfoploop	(m)
R_d	golfterugloop	(m)
$R_{u2\%}$	2% van de golfoplopen is groter dan $R_{u2\%}$	(m)
$R_{d2\%}$	2% van de golfteruglopen is groter dan $R_{d2\%}$	(m)
r	reflectiecoëfficiënt	(-)
T	golfperiode = $1/f$	(s)
T_p	topperiode = $1/f_p$	(s)
T_z	gemiddelde periode	(s)
x	plaats van schade t.o.v. SWL	(m)
α	hellingshoek talud	(-)
α	parameter voor beschrijving spectrumvorm	(-)
γ	parameter voor beschrijving spectrumvorm	(-)
Δ	relatieve massadichtheid = $(\rho_a - \rho_w)/\rho_w$	(-)
ΔP_{max}	maximaal drukverschil	(N/m ²)
λ	lek lengte = $\sin \alpha / \frac{kbD}{k'}$	(m)
ξ	surf similarity parameter = $\text{tg} \alpha / \frac{H}{L_o}$	(-)
ξ_{oip}	surf similarity parameter = $\text{tg} \alpha / \frac{H_{si}}{1,56 T_p^2}$	(-)

SYMBOLENLIJST (vervolg)

$\xi_{oi z}$	surf similarity parameter = $\text{tga} / \sqrt{\frac{H_{si}}{1,56 T_z^2}}$	(-)
ρ_a	massadichtheid van de stenen	(kg/m ³)
ρ_w	massadichtheid van water	(kg/m ³)
σ	parameter voor beschrijving spectrumvorm	(-)

1. Inleiding

In het verslag M 1795 deel I is een overzicht gegeven van het onderzoek naar stabiliteit van steenzettingen onder golfaanval. Het kleinschalige modelonderzoek, dat in dit verslag wordt beschreven, is daar een onderdeel van.

Het onderzoek is deels in opdracht van de Deltadienst en deels in opdracht van het Centrum voor Onderzoek Waterkeringen uitgevoerd in het Waterloopkundig Laboratorium De Voorst van november 1982 tot mei 1983 onder leiding van ir. K. den Boer, die tevens auteur is van dit verslag. Aan dit verslag hebben verder meegewerkt ir. E.B. Peerbolte van het Waterloopkundig Laboratorium, die sectie 2 heeft samengesteld, en ir. A. Bezuijen en ir. H.J. van der Graaf van het Laboratorium voor Grondmechanica, die gezamenlijk sectie 3 en appendix 1 hebben samengesteld.

1.1 Doel van het onderzoek

Het doel van het onderzoek kan worden samengevat in een aantal punten:

1. Bepaling van schadecriteria (empirische relaties $\frac{H}{\Delta D} = f(\xi)$) bij regelmatige en onregelmatige golven.
2. Het verklaren van het optreden van schade door middel van een beschrijving van schademechanismen. Tevens is getracht de schademechanismen vast te leggen door middel van foto's en plotjes met drukverdelingen.
3. Trachten een relatie aan te geven tussen de resultaten bij regelmatige en bij onregelmatige golven.
4. Bepaling van de invloed van de verdeling van de doorlatendheid over het talud op de stabiliteit van de steenzetting.

1.2 Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

1. Er zijn drie constructietypen onderzocht onder talud 1:3 of 1:6 (zie fig. 7-9).

2. Tijdens alle proeven was de waterdiepte in de goot 0,8 m. Er zijn drie typen golfrandvoorwaarden toegepast:
 - A. regelmatige golven
 - B. onregelmatige golven (EGMOND spectrum; fig. 1)
 - C. onregelmatige golven (JONSWAP spectrum; fig. 2)
3. In tabel 2 is een overzicht gegeven van alle uitgevoerde proeven.
4. Op grond van de metingen zijn voor de drie onderzochte constructies relaties afgeleid tussen de reflectiecoëfficiënt en $\xi = \text{tg}\alpha / \sqrt{H/1,56 T^2}$ (zie fig. 12).
(Zie voor de betekenis van de symbolen de symbolenlijst.)
5. De golfoploop en de golfterugloop bij regelmatige golven zijn gepresenteerd in fig. 13.
Voor onregelmatige golven kunnen golfoploop en golfterugloop bepaald worden met fig. 14.
6. De plaats waar schade (= blok uit het talud) optreedt, bleek voor regelmatige golven begrensd door het stilwaterniveau en het golfterugloopniveau (zie fig. 15).
Voor onregelmatige golven trad ook op een lager niveau schade op (zie fig. 16 en 17).
7. Er zijn 8 mogelijke schademechanismen onderkend (zie fig. 19). In tabel 10 is een overzicht gegeven van de opgetreden schademechanismen, voor zover die afgeleid konden worden uit een analyse van filmbeelden en drukregistraties. Mechanisme C was in de meeste gevallen oorzaak van het optreden van schade.
In proeven met ξ -waarden van ongeveer 2 droegen in een aantal gevallen ook mechanismen e, f en g bij tot het ontstaan van schade.
Mechanisme b heeft een aantal malen schade veroorzaakt. Dit gebeurde altijd in combinatie met andere mechanismen.
Mechanisme h is waargenomen bij grotere waarden van ξ (3 à 4).
8. In fig. 22 zijn schadecriteria gegeven voor regelmatige golven. Deze schadecriteria vormen de grens tussen het wel of niet optreden van schade.

Uit fig. 22 blijkt dat de resultaten voor constructietypen 1 en 2 goed met elkaar overeenkomen. Beide typen kunnen als relatief doorlatend worden beschouwd. De metingen van de lek lengte bevestigen dit (zie Appendix 1). Het schadecriterium ligt voor constructietype 3 hoger dan voor typen 1 en 2. Bij type 3 is de doorlatendheid gespreid over de zetting. Blijkbaar is dit een mogelijkheid om de verschildrukken te reduceren.

9. De schadecriteria voor onregelmatige golven zijn samengevat in de fig. 23 en 24.

Uit deze figuren blijken de criteria voor taluds 1:3 en 1:6 goed op elkaar aan te sluiten. In tegenstelling tot hetgeen bij regelmatige golven was geconstateerd, komen de schadecriteria van constructietypen 1 en 2 nu niet met elkaar overeen. Een verklaring hiervoor kan worden gevonden door enkele berekeningen van verschildrukken uit te voeren.

Een andere niet verklaarde constatering uit fig. 23 is dat constructietype 3 voor de onderzochte omstandigheden nu niet stabiel is dan beide andere typen. Dit was bij regelmatige golven wel zo. Aanbevolen wordt voor deze verschijnselen enkele berekeningen van drukverschillen uit te voeren.

10. Er is geen duidelijke invloed van de spectrumvorm op de schadecriteria waargenomen.

11. Het vergelijken van schadecriteria $\frac{H_s}{\Delta D} = f(\xi)$ is geen bruikbare methode gebleken om de stabiliteit van een steenzetting bij regelmatige en onregelmatige golven te vergelijken.

12. Schadecriteria voor regelmatige en onregelmatige golven bleken goed met elkaar overeen te komen (afwijkingen van 10 à 20%). Wanneer de onregelmatige golven werden gekarakteriseerd door $H_{1\%}$ en T_z (zie fig. 26 en 27). Bij een Rayleigh verdeling is $H_{1\%} \approx 1,5 H_s$. Daaruit volgt de conclusie dat wanneer alleen voor regelmatige golven een schadecriterium bekend is voor een bepaalde steenzetting dit als benadering kan worden gebruikt voor onregelmatige golven door de onregelmatige golven te karakteriseren door $H_{1\%}$ ($\approx 1,5 H_s$) en T_z . Deze statistische grootheden kunnen worden ingevuld in het schadecriterium voor regelmatige golven.

Dat betekent dat uit het schadecriterium voor regelmatige golven een

bepaalde waarde (bijv. a) volgt van $H/\Delta D = a$. Voor onregelmatige golven kan dan worden genomen $H_{1\%}/\Delta D = 1,5 H_s/\Delta D = a$.

13. Uit analyse van de golven in een onregelmatig golfveld bleek dat indien juist schade optreedt ongeveer 1% van de onregelmatige golven boven het schadecriterium van regelmatige golven ligt. Dit stemt overeen met wat hiervoor bij punt 12 is opgemerkt.
14. Een manier om de kansdichtheids- of verdelingsfunctie van belastingen onder onregelmatige golven te schatten is de zogenaamde "equivalentiemethode". Bij deze methode wordt elke golf uit het onregelmatige golfveld afzonderlijk beschouwd. De H en T waarden kunnen worden weergegeven in H-T diagrammen (bijv. fig. A5-7). Door deze H en T waarden in te vullen in relaties voor de belastingen bij regelmatige golven kunnen voor al de afzonderlijk beschouwde golven uit het onregelmatige golfveld de belastingen worden bepaald. Op deze wijze wordt dus een reeks waarden van de belastingen samengesteld. Van deze reeks kunnen kansdichtheidsfuncties en verdelingsfuncties (overschrijdingsfuncties) worden samengesteld. Doordat bij deze methode alle golven in het onregelmatige golfveld afzonderlijk worden beschouwd, worden onderlinge invloeden tussen golven verwaarloosd. Op dit moment is er geen methode die wel rekening houdt met onderlinge invloeden in een onregelmatig golfveld.

Om de equivalentiemethode toe te passen moet een relatie bekend zijn tussen de belastingen en de golfkarakteristieken bij regelmatige golven. Uit de metingen van drukken op en onder de steenzetting kan worden afgeleid wat de maximale opwaarts gerichte resulterende druk is tijdens een golfperiode van de regelmatige golf. Hierbij wordt geen rekening gehouden met de plaats waar deze maximale resulterende druk optreedt. Door het afleiden van deze druk voor de verschillende proeven kunnen relaties worden bepaald tussen de belasting Δp_{\max} en de golfcondities. Het resultaat van deze procedure is samengevat in fig. 28. De belasting is uitgedrukt in dimensieloze vorm. De golfcondities zijn gekarakteriseerd door ξ_{oi} .

De relaties van fig. 28 zijn gebruikt om de belastingen die optreden ten gevolge van elke individuele golf uit een onregelmatig golfveld te

bepalen. Van al deze belastingen zijn overschrijdingskrommen samengesteld. Dit is gedaan voor elf proeven. De resulterende overschrijdingskrommen van $\Delta p_{\max}/\rho g H_1$ zijn gegeven in fig. 29 en 30. In de fig. 29 en 30 is voor elke weergegeven proef de dimensieloze druk t.g.v. het eigen gewicht aangegeven

$$\left(= \frac{\rho_a d D \cos \alpha}{\rho_w g H_{si}} \right).$$

Voor de beide doorlatende constructietypen 1 en 3 wordt deze "sterkteparameter" overschreden door 1-5% van de piekbelastingen. Dit komt overeen met wat in paragraaf 5.7 onder punt b is afgeleid. De resultaten van constructietype 2 wijken hier sterk van af. In dit geval wordt de sterkteparameter namelijk overschreden door 15 à 25% van de belastingen. Dit geeft de indruk dat constructietype 2 extra sterkte heeft door wrijving.

Aanbevolen wordt om de nauwkeurigheid van de equivalentiemethode verder te onderzoeken.

15. Ondanks het feit dat het uitgevoerde model-onderzoek en de uitwerking en analyse daarvan zeer veel informatie hebben opgeleverd; en ondanks het feit dat het in paragraaf 1.1 geformuleerde doel van het onderzoek is bereikt, is niet het algemeen bruikbare inzicht verkregen dat van het onderzoek werd verwacht. Achteraf is het mogelijk hiervoor een aantal redenen aan te geven, waaruit lering kan worden getrokken voor toekomstig onderzoek:

- De in het model beproefde constructies representeren geen reële constructies uit het prototype. Voor wat betreft de doorlatendheid van de toplaag is nog wel een vertaling mogelijk naar reële prototype constructies, maar vooral de onderlaag, zowel die met "fijn" als die met "grof" grind, heeft een relatief veel te hoge doorlatendheid gehad. Dit had kunnen worden voorkomen door de berekening van de doorlatendheden van toplaag en onderlaag en van de lek lengten voor de verschillende constructievarianten voorafgaand aan het onderzoek uit te voeren. Hoewel de betrouwbaarheid van deze methode vooraf natuurlijk niet bekend was had hierdoor tevens kunnen worden voorkomen dat alle drie de constructievarianten in feite tot hetzelfde type behoorden t.w.: doorlatende toplaag op (extreem) doorlatende onderlaag.
- De toepassing van grof zand of kif als onderlaag onder een dichte steenzetting had overwogen moeten worden.

- Om de enorme hoeveelheid meetgegevens enigszins te beperken is er vooraf bewust voor gekozen om het onderzoek op te splitsen in "schadezoek proeven" en "film proeven", waarbij alleen de laatste groep uitgebreid werd bemeten. Hierdoor hebben in feite alle meetgegevens betrekking op "schade proeven". Achteraf zou het te verkiesen zijn geweest om voor een aantal gevallen een volledige proevenserie te bemeten; dus ook het geleidelijk opvoeren van de golfhoogte totdat schade optreedt.
- Er zijn relatief veel proeven uitgevoerd met hoge ξ -waarden ($\xi_{0,1} > 2,5$) en relatief weinig bij lage ξ -waarde ($\xi_{0,1} < 1,5$). Gezien de relatief grote golfsteilheid tijdens de ontwerpomstandigheden voor een steenzetting had meer aandacht moeten worden gegeven aan de lagere ξ -waarden.
- Het inwinnen van meetgegevens was bij het onderzoek sterk geautomatiseerd. De grote hoeveelheid meetgegevens is pas na afloop van het onderzoek uitgewerkt en geanalyseerd. Bij een meer gefaseerde opzet van het onderzoek, met tijd voor tussentijdse analyse en rapportage zou bijstelling van het model-onderzoek beter mogelijk zijn geweest. Uit het bovenstaande zal duidelijk zijn dat de resultaten van het uitgevoerde onderzoek slechts een beperkte toepasbaarheid hebben voor het ontwerp van steenzettingen in het prototype, en dat de resultaten slechts met grote terughoudendheid moeten worden toegepast voor constructies die niet overeenkomen met de beproefde constructies.

2. Randvoorwaarden

Tijdens alle proeven was de waterdiepte in de goot 0,80 m. Er zijn drie typen golfomstandigheden toegepast:

- A. regelmatige golven
- B. onregelmatige golven, opgenomen in de Noordzee voor Egmond. De keuze werd bepaald door de wens een "natuurlijk" golfveld in de goot te reproduceren. De registratie van het wateroppervlak is gebruikt als stuursignaal voor het golfschot.

Een gedeelte van deze registratie is gegeven in figuur 1, waarin ook het energiedichtheidsspectrum is getekend.

In het vervolg wordt naar deze golfomstandigheden gerefereerd door middel van de term "Egmond-spectrum".

- C. onregelmatige golven met een golfenergiedichtheidsspectrum dat bij benadering gelijk is aan een JONSWAP spectrum, dat als volgt is geformuleerd:

$$E(f) = \alpha g^2 (2\pi)^{-4} f^{-5} \exp\left\{-\frac{5}{4} \left(\frac{f}{f_m}\right)^{-4}\right\} \gamma \exp \frac{-(f - f_m)^2}{2\sigma^2 f_m^2}$$

waarin:

$E(f)$ = energiedichtheid [m²s]

f = frequentie [s⁻¹]

g = versnelling ten gevolge van de zwaartekracht [ms⁻²]

f_m = frequentie waarbij energiedichtheid maximaal is

γ , α en σ zijn parameters gelijk aan

γ = 3,3

α = 0,081

σ = 0,070 voor $f < f_m$

σ = 0,090 voor $f > f_m$

Het JONSWAP spectrum is gekozen omdat dit een algemeen gebruikt spectrum is voor diepwater omstandigheden op de Noordzee.

Een grafische voorstelling van $E(f)$ is gegeven in figuur 2.

Het stuursignaal is in het laboratorium gemaakt met behulp van een witte ruis generator.

Uit fig. 1 en 2 volgt dat het "Egmond" spectrum bij lage frequenties energie bevat en het Jonswap spectrum niet. Dit is een gevolg van de

laagfrequente golf die in het golfveld bij Egmond blijkbaar aanwezig is.
De in de goot gemeten golfomstandigheden worden beschreven in hoofdstuk 5.

3. Model

Het onderzoek is uitgevoerd in de Scheldegoet. De lengte van deze goet is 55 m, de breedte 1 m en de hoogte 1,2 m, (zie figuur 3). In de goet is een golfschot aanwezig dat kan transleren en roteren. Tussen het golfschot en het model waren twee golfhoogtemeters geplaatst. Bij de teen van het talud bevond zich een derde golfhoogtemeter. Op 39,3 m vanaf het golfschot bevond zich de teen van het talud. Door middel van een ophang konstruktie kon de helling van het talud worden gevarieerd, (zie figuur 4). Op het talud waren blokken op grind gelegd. Door middel van rij- en kolomaanduiding kon ieder blok worden geïdentificeerd, (zie figuur 5). Een deel van de blokken lag op een zogenaamd pennenrooster, (zie figuur 6). Op deze manier lagen de blokken om en om vast en de andere blokken lagen daar los tussen in. Links op het talud bevonden zich een golfploopmeter, een golfterugploopmeter en blokken met drukopnemers aan boven- en onderzijde. Aan de onderzijde van de filterlaag bevonden zich vijf drukopnemers. De golfploopmeter bestond uit een reeks pennen die registreerden of het talud ter plaatse droog of nat was. Hierdoor werd de golfploop stapsgewijs gemeten.

De golfterugploopmeter bevond zich 2,5 cm boven het talud evenwijdig aan het talud en registreerde continu het niveau van het wateroppervlak langs het talud.

De plaats van de blokken met drukopnemers werd aangepast aan de golfhoogte. Een overzicht van deze plaatsen tijdens de uitgevoerde drukmetingen is gegeven in tabel 6. Naast de goet waren camera's opgesteld waarmee het talud vanaf de zijkant werd gefilmd.

Midden op het talud stond een schot om te voorkomen dat de signalen van de drukopnemers werden verstoord door het licht van de lampen.

Er zijn drie typen konstrukties toegepast:

1. Blokken met afmetingen $0,037 * 0,037 * 0,020 \text{ m}^2$ met een hart op hart afstand van 0,041 m, zodat tussen de blokken een spleet van 4 mm aanwezig was. Hieruit kan worden afgeleid dat 19% van het talud open was. Het glijden van een los blok tegen een vast blok op het pennenrooster werd voorkomen doordat op iedere zijkant van een los blok 2 staafjes waren gelijmd, (zie figuur 7). De massadichtheid van de blokken was 2.424 kg/m^3 . Onder de blokken bevond zich een 0,025 m dikke laag "grof" grind met een d_{50} van 8,2 mm. De zeefkromme van dit grind is gegeven in figuur 10. Onder

de laag grind bevond zich een houten plaat van 0,015 m dik.

De druk loodrecht op het talud van een blok bedraagt

$$\rho_a g D \cos \alpha = 0,47 \cos \alpha \text{ kN/m}^2.$$

2. Blokken met afmetingen $0,040 * 0,040 * 0,020 \text{ m}^3$ met een hart op hart afstand van 0,041 m, (zie figuur 8). Aan deze blokken waren staafjes gelijmd, zodat losse blokken niet tegen vaste blokken konden glijden waardoor boven de losse blokken een spleet van 1 mm aanwezig was. Het talud was voor 5% open. De massadichtheid van deze blokken was 2.160 kg/m^3 . Onder de blokken bevond zich een 0,025 m dikke laag "fijn" grind met een d_{50} van 4,8 mm, (zie figuur 10). Hieronder bevond zich een houten plaat van 0,015 m dik. De druk loodrecht op het talud ten gevolge van het eigen gewicht van de blokken was $0,42 \cos \alpha \text{ kN/m}^2$.
3. Blokken met afmetingen $0,040 * 0,040 * 0,020 \text{ m}^3$ met een hart op hart afstand van 0,041 m. Aan deze blokken waren geen staafjes gelijmd, zodat boven de losse blokken een spleet van 2 mm aanwezig was. In deze blokken waren gaten van $4 * 4 \text{ mm}^2$ gemaakt (zie figuur 9). Het openingspercentage bedroeg 19%. De massadichtheid van deze blokken was 2.726 kg/m^3 . Onder de blokken bevond zich een 0,025 m dikke laag grof grind met een d_{50} van 8,2 mm, waarvan de zeefkromme is gegeven in figuur 10. Onder de laag grind bevond zich een houten plaat van 0,015 m dik. De druk loodrecht op het talud ten gevolge van het eigen gewicht van de blokken was $0,53 \cos \alpha \text{ kN/m}^2$.

De belangrijkste gegevens van de toegepaste blokken zijn gegeven in Tabel 1.

De doorlatendheid van de steenzetting en de grindlaag is afgeleid uit drukken die werden gemeten in een modelopstelling. Een beschrijving van deze metingen en de resultaten zijn gegeven in Appendix 1. Daaruit blijkt dat de leklengte $\lambda = \sin \alpha \frac{\sqrt{k b D}}{k'}$ voor alle drie konstruktietypen klein was.

Hierin is:

- α : hellingshoek talud
- k : doorlatendheid grindlaag
- k' : doorlatendheid steenzetting
- D : dikte steenzetting
- b : dikte grindlaag

4. Modelproeven

4.1 Wijze van uitvoering en metingen

Regelmatige golven

Bij een bepaalde golfperiode werden 5 minuten regelmatige golven opgewekt met een hoogte waarbij geen schade of bewegen werd verwacht. Daarna werd bij die zelfde golfperiode de golfhoogte iets verhoogd. Dit werd herhaald totdat schade optrad. Met schade wordt bedoeld de situatie waarin een blok geheel uit het talud is gelicht en zich niet meer in het gat in het talud bevindt (in de tabellen 3...5 wordt dit aangegeven met het symbool +). Daarnaast worden onderscheiden de situatie waarin de blokken niet bewegen (symbool -), de situatie waarin de blokken bewegen maar niet geheel uit het talud worden gedrukt (symbool (-)) en de situatie waarin de blokken wel helemaal uit het talud zijn gedrukt maar zich rechtop in het gat in het talud bevinden (symbool (+)). Nadat de golfhoogte zover was opgevoerd dat schade optrad, werd de schade hersteld en werd de procedure herhaald bij een andere golfperiode. Tijdens deze proeven werden met behulp van een rijdende golfhoogtemeter de inkomende golfhoogte en de reflectiecoëfficiënt gemeten. Voor de wijze waarop dit gedaan werd, wordt hier volstaan met de verwijzing naar [1]. De golfoploop en de golfterugloop werden visueel bepaald door de rij op te nemen tot waar de golven op- respectievelijk terugliepen. Deze wijze van waarneming heeft een onnauwkeurigheid van $\pm 0,015$ m (verticaal gemeten).

Uit de uitgevoerde proeven werd een aantal proeven geselecteerd waarbij schade was opgetreden. Deze proeven werden herhaald. Daarbij werden nu ook drukken gemeten en de proeven werden opgenomen op film. In het vervolg wordt naar deze proeven verwezen door de term "filmproeven".

De plaatsen van de drukopnemers werden aangepast aan de golfhoogten, (zie tabel 6). Bij de hogere golven werden de opnemers over een groter gebied langs het talud verspreid dan bij de lagere golven. Op de plaats waar naar verwachting de golftong van een brekende golf zou neerkomen, werden de drukopnemers dichter bij elkaar gelegd. De signalen van deze laatste drukopnemers werden op een band opgenomen, omdat hierin hoog frequente verschijnselen voorkomen. Deze signalen werden ook, evenals de signalen van de overige drukopnemers, gefilterd opgenomen door een computersysteem. De frequentie waarboven de signalen niet door het filter werden doorgelaten bedroeg 10 Hz.

Een marker werd gebruikt voor de tijdsynchronisatie. Het signaal van de marker werd namelijk opgenomen op het computersysteem, de bandrecorder, de schrijver en de film.

Onregelmatige golven

De wijze van uitvoering van de proeven met onregelmatige golven was in grote lijnen gelijk aan die van de proeven met regelmatige golven. In eerste instantie werden proeven uitgevoerd om te bepalen bij welke omstandigheden schade optrad. De duur van deze proeven was 25 min. De inkomende significante golfhoogte en de reflectiecoëfficiënt werd bepaald met behulp van de golfhoogtemeters 1 en 2, (zie figuur 3).

Voor de procedure wordt verwezen naar [1]. Bij deze proeven werd geen golfoploop en golfterugloop gemeten. Uit de uitgevoerde proeven werd een aantal proeven waarin schade was opgetreden geselecteerd. Deze proeven werden herhaald, waarbij nu ook drukken, golfoploop en golfterugloop werden gemeten. Bovendien werden deze proeven opgenomen op film.

De signalen van de drukopnemers werden op dezelfde wijze opgenomen als bij de proeven met regelmatige golven. De signalen van de golfoploop- en de golfterugloopmeter werden door het computersysteem opgenomen.

4.2 Overzicht van de uitgevoerde proeven

Zoals in de vorige paragraaf beschreven, zijn er twee soorten proeven uitgevoerd. Ten eerste proeven om de golfomstandigheden te bepalen waarbij schade optrad en ten tweede zogenaamde "filmproeven" waarin uitvoerige metingen werden verricht.

Er zijn drie typen golfomstandigheden toegepast:

- A Regelmatige golven.
- B Onregelmatige golven; Egmond Spectrum.
- C Onregelmatige golven; JONSWAP Spectrum.

De proeven zijn uitgevoerd voor drie konstrukties:

1. Blokken van $0,037 * 0,037 * 0,020 \text{ m}^3$ op grof grind.
2. Blokken van $0,040 * 0,040 * 0,020 \text{ m}^3$ op fijn grind.
3. Blokken van $0,040 * 0,040 * 0,020 \text{ m}^3$ met 16 gaten van $4 * 4 \text{ mm}^2$ op grof grind.

Er zijn twee taludhellingen toegepast: 1 : 3 en 1 : 6. Een overzicht van de uitgevoerde proeven is gegeven in tabel 2.

5. Resultaten

5.1 Golfomstandigheden

In hoofdstuk 2 zijn de toegepaste golfomstandigheden onderscheiden in:

- A regelmatige golven,
- B onregelmatige golven; Egmond Spectrum,
- C onregelmatige golven; JONSWAP Spectrum.

In deze paragraaf worden de tijdens de proeven in de goot aanwezige golfomstandigheden geanalyseerd.

A Regelmatige golven

Bij opwekken van regelmatige golven ontwikkelt zich een staande golvenpatroon, (zie figuur 11). Hieruit is de hoogte van de inkomende golven af te leiden, zie [1]:

$$H_i = \frac{H_{\max} + H_{\min}}{2}$$

De hoogte van de gereflecteerde golven is:

$$H_r = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{2}$$

en de reflectiecoëfficiënt

$$r = \frac{H_r}{H_i} = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{H_{\max} + H_{\min}}$$

Op de gemeten waarden van r wordt verder ingegaan in paragraaf 5.2. In figuur 11 zijn registraties van een rijdende golfhoogtemeter gegeven voor de proeven 10, 11 en 12.

In tabel 3 zijn voor de proeven met regelmatige golven de waarden vermeld van de volgende grootheden:

- H_i hoogte van de inkomende golf
- H_{\max} maximale golfhoogte in de goot
- r reflectiecoëfficiënt
- T golfperiode

L_o golflengte op diep water = $\frac{g}{2\pi} T^2$

$\xi_{oi} = \frac{\text{tg}\alpha}{\sqrt{H_i/L_o}}$ waarbij α = hellingshoek van talud

De duur van de proeven met regelmatige golven was 5 minuten.

B en C Onregelmatige golven

Een proef met onregelmatige golven duurde 25 minuten. De golven werden gemeten met de twee golfhoogtemeters 1 en 2 (zie figuur 3) die een afstand Δl uit elkaar stonden. Met de procedure beschreven in [1] werden uit deze metingen de volgende grootheden afgeleid:

H_{si} significante golfhoogte van inkomende golven

r reflectiecoëfficiënt = $\left(\frac{m_{or}}{m_{oi}}\right)^{\frac{1}{2}}$ (zie ook paragraaf 5.2)

waarin:

m_{oi} = oppervlak van het energiedichtheidsspectrum van de inkomende golven

m_{or} = oppervlak van het energiedichtheidsspectrum van de gereflecteerde golven.

Behalve deze twee grootheden zijn in tabel 4 en 5 de volgende grootheden gegeven:

$T_p = f_p^{-1}$ waarin f_p = frequentie waarbij energiedichtheid maximaal is

T_z = gemiddelde golfperiode

$H_{1\%}$ = golfhoogte die door 1% van de golven wordt overschreden

$L_{op} = \text{golflengte op diep water} = \frac{g}{2\pi} T_p^2$

$\xi_{oip} = \text{tg}\alpha / \sqrt{\frac{H_{si}}{1,56 T_p^2}}$

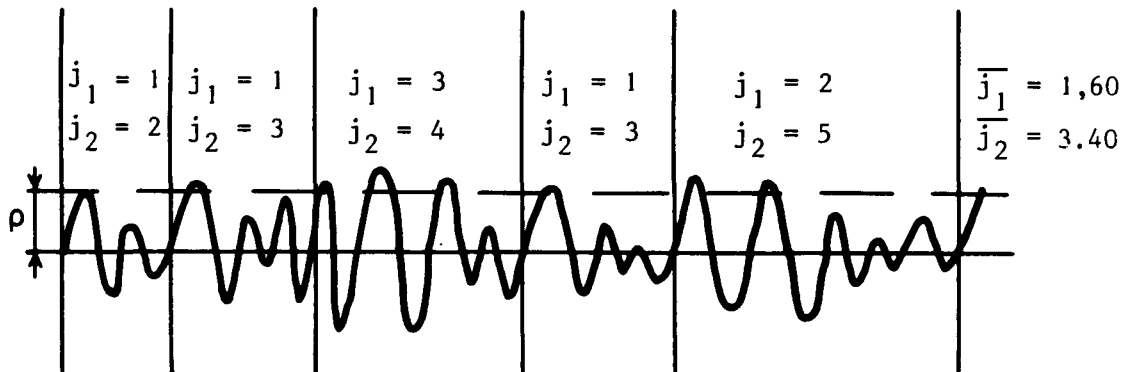
$$\xi_{oiz} = \operatorname{tg} \alpha / \sqrt{\frac{H_{s1}}{1,56 T_z^2}}$$

Voor de "filmproeven" zijn bovendien gegeven:

$\overline{j_1}$ gemiddelde lengte van een golfgroep, gedefinieerd als het aantal golfhoogten in die golfgroep. Hierin wordt onder golfgroep verstaan een opeenvolgend aantal waarden van de golfhoogten die elk groter zijn dan een bepaalde waarde ρ .

$\overline{j_2}$ gemiddelde lengte van een totale golfgroep, gedefinieerd als het aantal golfhoogten in de totale golfgroep. Hierin wordt onder totale golfgroep verstaan een opeenvolging van j golfhoogten waarvan de eerste ($j-k$) de waarde ρ overschrijden terwijl de volgende k onder die waarde blijven.

Beide definities worden geïllustreerd in onderstaande figuur. Voor ρ is gebruikt de waarde van H_{s1} .



Van de "filmproeven" zijn H-T diagrammen gemaakt en overschrijdingskrommen van de golfhoogten H en de golfperioden T . Deze gegevens zijn gemaakt voor het signaal van golfhoogtemeter 1 op 19,65 m vanaf het golfschot. De H-T diagrammen zijn gebruikt voor het vergelijken van resultaten bij onregelmatige en bij regelmatige golven, zie paragraaf 5.7.

5.2 Reflectie coëfficiënten

De reflectiecoëfficiënt bij regelmatige golven is:

$$r = \frac{H_r}{H_i} \text{ en bij onregelmatige golven}$$

$$r = \left(\frac{m_{or}}{m_{oi}} \right)^{\frac{1}{2}} \approx \left(\frac{H_{sr}}{H_{si}} \right).$$

Hierin is:

r = reflectie coëfficiënt

H_r = hoogte van de regelmatige gereflecteerde golven

H_i = hoogte van de regelmatige inkomende golven

H_{sr} = significante hoogte van de onregelmatige gereflecteerde golven

H_{si} = significante hoogte van de onregelmatige inkomende golven

m_{or} = oppervlak van het energiedichtheidsspectrum van de gereflecteerde golven

m_{oi} = oppervlak van het energiedichtheidsspectrum van de inkomende golven.

De procedure voor het bepalen van r is beschreven in [1]. De gemeten waarden zijn gegeven in de tabellen 3, 4 en 5 en appendix 2.

Voor $\xi_{oi} > 3,2$ vertonen de gemeten waarden veel spreiding. Dit is ook het geval bij in de literatuur beschreven metingen van reflectiecoëfficiënten, zie bijvoorbeeld [3]. Voor een glad talud en regelmatige golven geeft Battjes [3] de volgende relatie:

$$r = 0,1 \xi_{oi}^2 \quad \text{voor } \xi_{oi} < 2,5$$

Voor de drie steenzettingen zijn de gemeten reflectiecoëfficiënten 40% lager. De metingen voldoen bij benadering aan de volgende relatie:

$$r = 0,06 \xi_{oi}^2 \quad \text{voor } \xi_{oi} < 3,4$$

$$r = 0,7 \quad \text{voor } \xi_{oi} > 3,4$$

De in verslag M 1795 deel II [2] gegeven relaties komen hiermee overeen, zowel voor blokken van $0,04 * 0,04 * 0,02 \text{ m}^3$ als voor Gobi blokken.

De metingen met onregelmatige golven geven voor ieder van de drie konstruktietypen verschillende reflectiecoëfficiënten. De meetpunten voldoen bij benadering aan de volgende relaties:

Konstruktietype 1 (blokken van $0,037 * 0,037 * 0,020 \text{ m}^3$)

$$r = 0,08 \xi_{oiz}^2 \quad \text{voor } \xi_{oiz} < 2,25$$

$$r = -0,04 \xi_{oiz}^2 + 0,46 \xi_{oiz} - 0,46 \quad \text{voor } 2,25 < \xi_{oiz} < 6$$

Konstruktietype 2 (blokken van $0,040 * 0,040 * 0,020 \text{ m}^3$)

$$r = 0,1 \xi_{oiz}^2 \quad \text{voor } \xi_{oiz} < 2,25$$

$$r = -0,07 \xi_{oiz}^2 + 0,64 \xi_{oiz} - 0,61 \quad \text{voor } 2,25 < \xi_{oiz} < 4,5$$

Konstruktietype 3 (blokken van $0,040 * 0,040 * 0,020 \text{ m}^3$ met gaten van $4 * 4 \text{ mm}^2$)

$$r = 0,1 \xi_{oiz}^2 \quad \text{voor } \xi_{oiz} < 2,25$$

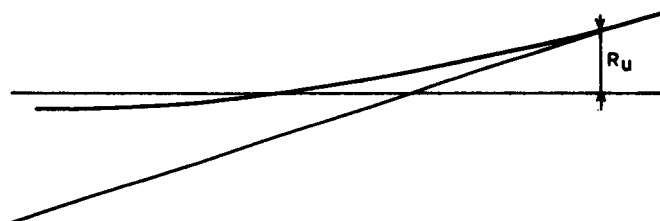
Bovenstaande relaties zijn samengevat in figuur 12.

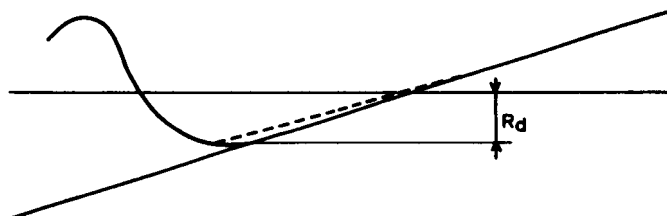
Voor de volledigheid zijn de reflectiecoëfficiënten bij onregelmatige golven in de figuren A2-13 tot A2-19 gegeven als functie van ξ_{oip} . De relatie tussen r en ξ_{oip} zijn samengevat in figuur 12A.

5.3 Golfoploop en golfterugloop

Golfoploop is de verticale afstand tussen het gemiddelde waterniveau en het punt op het talud tot waar een golf oploopt.

Golfterugloop is de verticale afstand tussen het gemiddelde waterniveau en het punt op het talud tot waar een golf terugloopt.

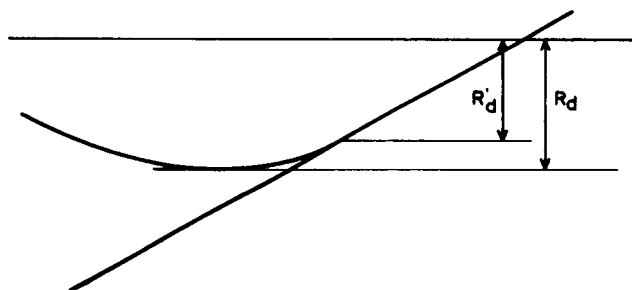




De definitie van golfterugloop kan onduidelijkheid geven indien op het talud een laagje water aanwezig is tijdens het teruglopen van de golf, zoals in bovenstaande figuur is aangegeven.

Bij steenzettingen is dit in het algemeen het geval, doordat water uit de filterlaag door de spleten naar buiten stroomt. Met name bij het meten van golfterugloop met een instrument dat bepaalt of het talud op een bepaalde plaats nat of droog is, kan dit leiden tot het onderschatten van de golfterugloop (R'_d). Het niveau tot waar de golf zich terugtrekt, wordt dus te hoog geschat. Daarom wordt de definitie van de golfterugloop gewijzigd in:

Golfterugloop is de verticale afstand tussen het gemiddelde waterniveau en het laagste niveau boven het talud tot waar een golf terugloopt.



In bepaalde gevallen (zie bijvoorbeeld bovenstaande figuur) kan de golfterugloop volgens deze definitie R_d groter zijn dan die volgens de eerdere definitie R'_d , ook als er geen waterlaagje op het talud aanwezig is.

In de proeven met regelmatige golven zijn de golfoploop en de golfterugloop visueel bepaald. Deze wijze van waarnemen heeft een nauwkeurigheid van $\pm 0,015$ m.

In de proeven met onregelmatige golven is de golfoploop gemeten met een instrument dat om de 0,05 m registreerde of het talud droog of nat was. Het hoogste niveau dat nat werd, is de golfoploop.

De golfterugloop is gemeten met een instrument dat het waterniveau op 0,025 m vanaf het talud registreerde. Het laagste niveau is de golfterugloop.

De gemeten waarden van de golfoploop- en terugloop bij regelmatige golven zijn gepresenteerd in tabel 3.1 t/m 3.5 en appendix 3.

De gemeten waarden voor regelmatige golven voldoen bij benadering aan de volgende relaties:

Konstruktietype 1 (Blokken van $0,037 * 0,037 * 0,020 \text{ m}^3$ met spleten van 4 mm)

$$\frac{R_u}{H_i} = 0,9 \xi \quad \text{voor} \quad \xi < 2,2$$

$$\frac{R_u}{H_i} = 2 \quad \text{voor} \quad \xi > 2,2$$

Konstruktietypen 2 en 3 (Blokken van $0,040 * 0,040 * 0,020 \text{ m}^3$ respectievelijk blokken met gaten van $4 * 4 \text{ mm}^2$).

$$\frac{R_u}{H_i} = 0,9 \xi \quad \text{voor} \quad \xi < 2,44$$

$$\frac{R_u}{H_i} = 2,2 \quad \text{voor} \quad \xi > 2,44$$

Voor alle 3 konstruktietypen voldoet de golfterugloop bij regelmatige golven bij benadering aan de volgende relatie:

$$\frac{R_d}{H_i} = -0,1 \xi^2 + \xi - 0,6$$

R_d kan blijkens figuur A3-3, die geldt voor constructietype 1, goed benaderd worden met H_{\max} , de maximale golfhoogte in de goot. Uit de figuren A3-5 en A3-6 blijkt dat dit voor de beide andere constructietypen 2 en 3 niet het geval is.

De golfoploop- en golfteruglooprelatie voor regelmatige golven zijn samengevat in figuur 13. Daarin is ook de relatie getekend tussen d_b/H en ξ_{01} voor een glad talud volgens [4]. Voor de definitie van d_b en H wordt verwezen naar figuur 13.

In deze figuur zijn ter vergelijking ook de golfoploop- en golfterugloop- relaties uit Deltagoot onderzoek op een ondoorlatend talud 1:3 weergegeven (M1881 deel XII). Deze relaties wijken niet veel af van de relaties uit het kleinschalige onderzoek. De verschillen kunnen een gevolg zijn van de grotere doorlatendheid van de steenzetting in het kleinschalig onderzoek.

In de tabellen 4 en 5 en de figuur A3-7 zijn de resultaten bij onregelmatige golven gepresenteerd. Als karakteristieke grootte is gekozen $R_{u2\%}$ dat is het niveau boven de stilwaterlijn dat door 2% van het aantal toppen in de registratie van de golfoplooppeter wordt overschreden. Een top is het deel van de registratie tussen een opwaartse en een neerwaartse nuldoorgang (nulniveau = Stil Water Lijn). De gemeten waarden voldoen bij benadering aan de volgende relaties:

$$\frac{R_{u2\%}}{H_{si}} = 1,1 \xi \quad \text{voor} \quad \xi < 2,75$$

$$\frac{R_{u2\%}}{H_{si}} = 2,3 \quad \text{voor} \quad \xi > 2,75$$

$$\frac{R_{d2\%}}{H_{si}} = -0,6 \xi - 0,2$$

$$\xi \text{ is hierin gedefinieerd als } \operatorname{tg} \alpha / \sqrt{\frac{2\pi H_{si}}{g T_z^2}}$$

Bovengenoemde relaties zijn samengevat in figuur 14.

Voor $\xi > 3$ is de afwijking van de gemeten waarden ten opzichte van bovengenoemde relaties groot.

In figuur A3-8 zijn de golfoploop en de golfterugloop gerelateerd aan ξ_{oip} . Door de meetpunten zijn de volgende lijnen getrokken:

$$\frac{R_{u2\%}}{H_{si}} = \xi_{oip} \quad \text{voor} \quad \xi_{oip} < 3$$

$$\frac{R_{u2\%}}{H_{si}} = 3 \quad \text{voor} \quad \xi_{oip} > 3$$

$$\frac{R_{d2\%}}{H_{si}} = 0,5 \xi_{oip} - 0,2$$

Ter vergelijking zijn ook relaties aangegeven voor golfoploop en golfterugloop op gladde ondoorlatende taluds bij onregelmatige golven. Deze relaties zijn

overgenomen uit [6].

De verschillen met de relaties uit het kleinschalig onderzoek kunnen zijn veroorzaakt door de grotere doorlatendheid van het talud in het kleinschalig onderzoek. Er is geen verklaring gevonden waarom de verschillen groter zijn dan in het geval van regelmatige golven.

5.4 Plaats waar schade optreedt

In tabel 3 en op figuur 15 is aangegeven op welke plaats de eerste maal tijdens een proef schade optrad onder regelmatige golfaanval. Met schade wordt bedoeld de situatie waarin een blok geheel uit het talud is gelicht en zich niet meer in het gat in het talud bevindt. Daarnaast is in tabel 3 aangegeven de plaats waar een blok uit het talud werd gedrukt maar zich nog rechtop in het gat bevond. Tevens is in figuur 15 de relatie voor golfterugloop bij regelmatige golven aangegeven. Uit deze figuur blijkt dat bij een talud van 1 : 3 de plaats waar schade optreedt boven het golfterugloophniveau ligt en op drie metingen na onder het stil water niveau. Voor een talud 1 : 6 is het niveau waar schade optreedt bij benadering gelijk aan het golfterugloophniveau. De plaats waar schade optreedt, is gerelateerd aan de manier waarop schade optreedt en zal daarom in de volgende paragraaf nader worden geanalyseerd.

In de tabellen 4 en 5 en de figuren 16 en 17 is de plaats waar schade optreedt onder onregelmatige golfaanval gegeven. In de figuren 16 en 17 is ook de relatie van de golfterugloop bij onregelmatige golven uit fig. 14 aangegeven. Het blijkt dat de laagste plaats waar schade optreedt voor een talud 1 : 3 ongeveer 20% van de golfhoogte H_{si} beneden dit golfterugloophniveau ligt. Voor $\xi > 3,5$ à 4 treedt ook op een veel lager niveau nog schade op. Talud 1 : 6 is alleen onderzocht met een Jonswap spectrum. De plaats waar schade optreedt ligt ongeveer 50% van H_{si} beneden het golfterugloophniveau $R_{d2\%}$.

5.5 Schademechanismen

Wanneer de golfoploop zijn maximum waarde heeft bereikt, begint het water op het talud terug te stromen ten gevolge van de zwaartekracht. In deze fase stroomt water door de spleten tussen de blokken in het filter, waardoor het waterstandsniveau in de filterlaag kan toenemen. Dit toenemen is onder andere afhankelijk van de doorlatendheid van de bekleding k' en van de filterlaag k .

Tijdens het terugstromen van water langs het talud neemt de druk op het talud af. Dit terugstromende water kan sleepkrachten, traagheidskrachten en liftkrachten op de blokken uitoefenen (mechanisme a, figuur 19). Afhankelijk van k' , k en de geometrie kan het water in het filter niet onmiddellijk het op het talud terugstromende water volgen, waardoor drukken tegen de onderzijde van de blokken groter zijn dan drukken tegen de bovenzijde. Deze overdrukken kunnen een blok uit de bekleding drukken (mechanisme b, figuur 19).

Doordat de volgende golf het talud nadert en oploopt, nemen de drukken onder deze golf op het talud toe. In veel gevallen, met name bij 'plunging breakers', is het front van de aankomende golf erg steil. Daardoor ontstaat op het talud een grote drukgradiënt. De hoge drukken op het talud planten zich voort onder de bekleding naar de plaats waar de drukken op het talud laag zijn, dat is voor het front van de aankomende golf. De druk op het talud is voor het front laag. Dit resulteert in verschildrukken die het blok uit de bekleding willen drukken (mechanisme c, figuur 19).

Tijdens deze fase waarin de volgende golf aankomt, kunnen grote veranderingen in het snelheidsveld ontstaan, doordat de aankomende golf en het teruglopende water van de voorafgaande golf elkaar ontmoeten (mechanisme d, figuur 19). Afhankelijk van de waarde van $\xi = \text{tg } \alpha / \sqrt{H/L_0}$ zullen golven breken. Een 'plunging breaker' kan een golfklap op de bekleding veroorzaken. Hierdoor nemen de drukken op het talud snel toe en weer af in een periode van orde grootte 0,1 s. Deze drukken op het talud kunnen zich voortplanten onder de taludbekleding (mechanisme e, figuur 19).

Na dit verschijnsel met een korte duur valt de tong van de 'plunging breaker' op het talud, waardoor hoge drukken op het talud ontstaan. Juist boven de plaats waar deze golftong neervalt is de druk op het talud laag. Ook beneden de plaats waar de golftong neervalt is de druk op het talud relatief laag, door de luchtinsluiting in de 'plunging breaker'. De grote drukgradiënten op het talud kunnen resulteren in drukverschillen op en onder de bekleding die een blok uit de bekleding kunnen drukken (mechanisme f, figuur 19). In principe is dit mechanisme vergelijkbaar met mechanisme c. Wanneer de golftong van een 'plunging breaker' op het talud valt, wordt een hoeveelheid lucht ingesloten. Onder deze luchtinsluiting zijn sterke drukverlagingen waargenomen met een duur in de orde van 0,1 s. (Zelfs kleiner dan de atmosferische druk). Dit verschijnsel is verklaard als het gevolg van trillingen van de ingesloten

luchtcylinder. Dit verschijnsel kan niet optreden als de luchtcylinder niet volledig opgesloten wordt, zoals in de werkelijkheid het geval is. Afgezien van deze snelle trillingen van de luchtcylinder is de druk op het talud onder de luchtcylinder relatief laag. Deze relatief lage druk op het talud veroorzaakt verschildrukken die een blok eruit kunnen drukken (mechanisme g, figuur 19). Belangrijk hierbij is ook dat de druk iets hoger op het talud op dit moment juist erg hoog is, zoals beschreven bij mechanisme f. Nadat de golf gebroken is, loopt de golf het talud op. Gedurende deze fase nemen de drukken op het talud toe. Deze oplopende golf kan sleep-, traagheids- en liftkrachten op de blokken uitoefenen (mechanisme h, figuur 19). Bovengenoemde mechanismen treden in het algemeen niet geïsoleerd op. In veel gevallen zal schade juist ontstaan door een combinatie van mechanismen. Indien er een "collapsing" brekertype (zie figuur 20) optreedt of de golf in het geheel niet breekt, kunnen een aantal mechanismen die in figuur 19 zijn genoemd niet optreden, zie figuur 18.

Om te kunnen bepalen wanneer welke schademechanismen optreden, zijn plotjes gemaakt (zie figuur 21) waarin de drukverdeling op en onder het talud en de verschildruk is gegeven voor verschillende tijdstippen. In de plotjes met de verschildrukken is ook een lijn getekend die de druk ten gevolge van het eigen gewicht van de blokken aangeeft. Als de verschildruk (= druk op - druk onder talud) beneden deze lijn ligt, is er potentiële instabiliteit. Voor de tijdstippen waarvoor de drukverdelingen zijn geplot, zijn ook foto's afgedrukt om een beeld te geven van de golf op het talud en om te laten zien of er schade optreedt. In band B van dit verslag zijn deze plotjes gebundeld als de figuren 1 t/m 32 van sectie 2. In sectie 2 zijn de plotjes geanalyseerd voor wat betreft de opgetreden schademechanismen.

In het hiernavolgende wordt een samenvatting gegeven van de 31 proeven die zijn geanalyseerd. Hiertoe is allereerst Tabel 10 opgesteld welke een overzicht geeft van de opgetreden schademechanismen, voor zover bekend, en de mechanismen die herkenbaar optraden zonder dat er schade is opgetreden.

Aan de hand van deze tabel kan allereerst worden opgemerkt dat mechanisme c verreweg in de meeste gevallen de oorzaak van de schade is. In de proeven met lagere ξ -waarden (ongeveer 2) dragen in een aantal gevallen ook de mechanismen e, f en g bij tot de schade. Dit blijkt duidelijk uit het diagram in figuur 91

van de Sectie 2 waar de proeven zijn uitgezet tegen hun ξ -waarden en de opgetreden schademechanismen. Dit zijn mechanismen die vooral optreden bij 'plunging' brekers waarbij een grote impuls op de taludbekleding wordt uitgeoefend. In het algemeen is hier sprake van snelle verschijnselen.

Onderscheid tussen mechanisme e en f is vrijwel niet te maken op grond van de metingen en lijkt ook niet zo relevant. Mechanisme d is niet herkenbaar; fysisch gezien is het aannemelijk dat dit mechanisme samen met e en f optreedt.

Mechanisme b heeft een aantal malen tot schade geleid; dit gebeurde altijd in samenwerking met andere mechanismen. Mechanisme h (en a, dat soms ook is waargenomen) treedt juist op bij wat grotere ξ -waarden (3 à 4 en groter), waarbij de watersnelheden langs het talud groot zijn. Dit mechanisme werkt veelal nadat een blok door een ander mechanisme (c) enigszins is opgetild.

Het optreden van andere mechanismen dan c is niet frequent en systematisch genoeg om daar meer specifieke conclusies aan te kunnen verbinden. De indruk bestaat dat de hierboven gegeven beschrijving de belangrijkheid van de onderscheiden mechanismen voldoende aangeeft.

Een aantal malen kon met behulp van het beschikbare materiaal niet worden afgeleid wat de werkelijke schademechanismen zijn geweest. Een belangrijke handicap hierbij vormde de korte duur van de fotoseries (0,56 s), het ontbreken van een duidelijk rijnummering op de foto's en de kwaliteit van de opnamen (in een aantal gevallen). Het blijkt moeilijk aan de hand van foto's vast te stellen wanneer en waar er precies schade optreedt. Ten aanzien hiervan zouden de waarnemingsmethoden verbeterd moeten worden zodat het moment van bewegen en schade en de plaats daarvan duidelijk kan worden vastgelegd. Verder zou in elke rij van het talud een set drukopnemers moeten worden geplaatst om een meer volledig beeld van de drukopbouw te krijgen en een diepgaandere analyse mogelijk te maken.

Echter, zoals gezegd, de algemene trend, en dat is het dominante optreden van mechanisme c, blijkt duidelijk uit de analyse van het beschikbare materiaal.

Apart dient te worden vermeld dat bij een aantal proeven met grotere ξ -waarden

een vrij constante piek (althans gedurende het 0,56 sec.-tijdsinterval van de fotoseries rondom het schadetijdstip) in de verschildruk is waargenomen ter plaatse van rij 52 à 53. Bij deze proeven waren ook drukopnemers in deze dieper gelegen rijen geplaatst. Dit constante maximum in de verschildruk (CMV) was in een aantal gevallen groter dan het eigen gewicht van de bekleding maar heeft nergens tot schade geleid. De plaats van het CMV was meestal ruim onder het diepste teruglooppunt van de golf en aan de hand van de drukverlopen langs het talud kan worden geconcludeerd dat gedurende de beschouwde periode van 0,56 s de waterstand boven het CMV meestal ongeveer constant was. Bij hogere ξ -waarden krijgt de golf bij het talud een staand karakter ('surgino' of 'collapsing'-brekers) en het CMV ligt dan ongeveer ter plaatse van de eerste knoop vanaf het talud gerekend.

Zoals gezegd heeft het CMV in geen van de gevallen waarbij het CMV groter was dan het eigen gewicht tot schade geleid. De oorzaak hiervan kan zijn dat ondanks de resulterende opwaartse druk ter plaatse van de opnemers de resulterende kracht op het blok toch neerwaarts is door scheve drukverdelingen. Mogelijk heeft ook de wrijving een rol gespeeld, met name als gevolg van het initiële kantelen van het blok in zijn plaats waarbij de ribben contact maken met de aangrenzende blokken.

Het mechanisme dat tot een CMV leidt, is niet met zekerheid vast te stellen. Een voorzichtige verklaring is dat de druk onder het talud de neiging heeft gemiddeld gezien iets op te lopen omdat de oploop in het algemeen groter is dan de terugloop. Als nu de waterstand boven het talud in de hierboven genoemde knoop gedurende enige tijd wat lager is, mogelijk om de watermassa te leveren voor de oplopende tong, dan kan, doordat de druk onder het talud vertraagd reageert op de waterstand boven het talud, de verschildruk tijdelijk opwaarts gericht zijn. Volgens dit principe is dus mechanisme b verantwoordelijk voor het optreden van een CMV.

De proeven zijn uitgevoerd, met ξ -waarden variërend van 1 tot 10. De onderstaande tabel laat zien dat de CMV's optraden bij de proeven met hogere ξ -waarden. Opgemerkt zij dat bij vrijwel alle andere proeven geen drukopnemers in de betreffende zone van rij 52 à 53 waren geplaatst zodat een dergelijke vergelijking moeilijk is. Daarom is omzichtigheid geboden bij bovenstaande conclusie omtrent de werking van het CMV.

Proef	$\xi_{o,i,(p)}$	grootte CMV
P5F	4,0	> e.g.
P004	5,3	< e.g.
P007	5,4	= e.g.
P017	7,0	> e.g.
P019	9,5	> e.g.
P020	6,0	> e.g.
P021	7,1	> e.g.
P022	10,0	> e.g.
P034	4,7	< e.g.

In de derde kolom van deze tabel is de grootte van het vaste maximum aangegeven. Meestal was dit net iets groter dan de neerwaartse druk t.g.v. het eigen gewicht van het betreffende blok. Het feit dat er toch geen schade of beweging in deze dieper gelegen rijen is opgetreden vindt zoals gezegd mogelijk zijn verklaring in het feit dat de resulterende kracht op de blokken steeds omlaag gericht is geweest of dat de wrijvingskracht op de zijvlakken voldoende was om de resulterende opwaartse kracht te neutraliseren. Het verdient aanbeveling om, zodra tijdens de proeven een CMV optreedt (en dit wordt waargenomen), hier nadere metingen aan te doen, bijv. door het plaatsen van meerdere drukopnemers in en naast de rij waar de CMV wordt gemeten.

Tenslotte kan nog een opmerking worden gemaakt over de toegepaste constructietypen. Uit de registraties van de drukverlopen rondom de schadetijdstippen (15 sec.-registraties) wordt geconcludeerd dat alle toegepaste constructies in feite open constructies zijn: de drukken onder en boven de taludbekleding verlopen vrijwel parallel, zonder faseverschuiving en met een verschil ter grootte van het eigen gewicht van het betreffende blok. Alleen op of vlak voor het moment van breken treden pieken in de verschildruk op, veroorzaakt door de schade mechanismen die dan optreden.

5.6 Black-box schaderelaties

Voor alle uitgevoerde proeven zijn de waarden van de dimensieloze grootheden $H_1/\Delta D$ en $\xi_{o,i} = \tan \alpha / \sqrt{H_1/L_0}$ bepaald. Deze waarden zijn weergegeven in

tabellen 3, 4 en 5. Dezelfde grootheden zijn eveneens in grafische vorm gepresenteerd (zie appendix 4). Vooral de waarden van $H_1/\Delta D$ en $\xi_{o,i}$ voor proeven waarbij schade aan de steenzetting is opgetreden of waarbij beweging werd geconstateerd zijn van groot belang. Wanneer voldoende proeven zijn uitgevoerd is het dan namelijk mogelijk om voor een bepaalde constructie-variant de relatie tussen de dimensieloze grootheid $H_1/\Delta D$ en $\xi_{o,i}$ te bepalen, waarbij schade optreedt.

In de figuren A4-1 t/m A4-3 zijn de waarden van $H_1/\Delta D$ en $\xi_{o,i}$ voor de proeven die zijn uitgevoerd met regelmatige golven weergegeven. Uit deze figuren blijkt dat er een snelle overgang is van een situatie waarin geen beweging optreedt naar een situatie waarin een blok uit het talud wordt gelicht. Er is dus geen overgangsgebied waarin de blokken wel bewegen maar niet helemaal uit het talud worden gelicht. Hierbij is de in paragraaf 4.1 onderscheiden situatie waarin de blokken wel helemaal uit het talud zijn gedrukt maar zich rechtop in het gat van het talud bevinden in de figuren A4-1 t/m A4-3 niet apart weergegeven maar als schade gepresenteerd.

In figuur A4-1 zijn ook enkele meetpunten weergegeven van het Gidsonderzoek in de Deltagoot beschreven in het verslag M1795/M1881 deel IX. In dit onderzoek is dezelfde soort steenzetting toegepast als in het kleinschalig onderzoek. De afmetingen waren 5 maal groter. Uit figuur A4-1 blijkt dat de resultaten van beide onderzoeken voor de onderzochte omstandigheden goed overeenkomen. Voor die omstandigheden zijn schaaleffecten dus verwaarloosbaar.

In figuur 22 zijn de schadecriteria voor regelmatige golven samengevat.

Hierbij kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt:

- Uit paragraaf 5.5 blijkt dat mechanisme c (zie figuur 19) ten gevolge van het steile golffront een overwegende rol speelde in de onderzochte varianten. Voor $\xi < 3$ vervormen de golven boven het talud. Er vormt zich een steil front en de golf gaat breken. Voor grotere waarden van ξ (dus grotere golflengten) neemt deze vervorming af en moet voor het ontstaan van een steil golffront de golfhoogte hoger zijn. Dit is de verklaring voor het toenemen van $H_1/\Delta D$ bij ξ -waarden groter dan 3.
- Voor de onderzochte constructietypen neemt $H_1/\Delta D$ niet sterk af voor ξ toenemend van 1 tot 3. Dit kan worden verklaard door de ondergeschikte rol die mechanisme b (zie figuur 19) blijkens paragraaf 5.5 heeft gespeeld.

- Het minimum van $H_1/\Delta D$ ligt voor talud 1:3 bij $\xi \approx 3$ en voor talud 1:6 bij $\xi \approx 1,5$ à 2. Dit betekent dat bij het minimum de golfsteilheid gelijk is, $H_1/L_0 = 0,11$.

Wanneer de resultaten voor de verschillende constructies met elkaar worden vergeleken, kunnen hierbij de volgende opmerkingen worden gemaakt:

- De resultaten van de constructietypen 1 en 2 komen goed met elkaar overeen.

Op zich is deze constatering verrassend. Immers, constructietype 1, met spleten tussen de blokken van ca 4 mm breed, heeft een totaal percentage openingen van ca 19% terwijl dat bij constructietype 2, met spleten van ca 1 mm slechts ca 5% is. Blijkbaar kunnen constructietypen 1 en 2 beide als relatief doorlatende constructies op een doorlatende onderlaag worden beschouwd.

De metingen van de lek lengte λ beschreven in Appendix 1 bevestigen dit.

- De dimensieloze schadegolfhoogten $H_1/\Delta D$ voor constructietype 3 zijn aanmerkelijk hoger dan die voor de constructietypen 1 en 2. Het percentage openingen voor constructietype 3 (19%) is gelijk aan dat voor constructietype 1, maar bij constructietype 3 is de doorlatendheid gespreid over de hele zetting, doordat de afzonderlijke blokjes zijn geperforeerd (zie figuur 9). Blijkbaar is het perforeren van de afzonderlijke blokken een goede manier om de verschildrukken over de blokjes te reduceren, waardoor de schadegolfhoogte wordt vergroot.

Behalve de spreiding van de open ruimte kunnen ook de andere massadichtheid en een andere wrijvingscoëfficiënt invloed hebben gehad op dit resultaat.

De blokken van constructietype 3 waren namelijk van aluminium.

De proeven met onregelmatige golfaanval zijn op eenzelfde wijze uitgewerkt als de proeven met regelmatige golven. Bij deze uitwerking is het echter noodzakelijk een keuze te maken voor de karakteristieke golfhoogte en de karakteristieke golfperiode waarmee het onregelmatige golfsignaal wordt beschreven. In het algemeen wordt voor de karakteristieke golfhoogte gekozen voor de inkomende significante golfhoogte H_{s1} en voor de karakteristieke golfperiode wordt veelal gekozen voor de zogenaamde top-periode T_p van het variantiedichtheids-spectrum of de gemiddelde golfperiode T_z . Deze golfperiode is lager dan de top-periode T_p waardoor ook de met deze golfperiode berekende waarde van de brekerparameter ξ lager is.

Bij de proeven met onregelmatige golfaanval zijn twee verschillende variantiedichtheidsspectra toegepast; het Jonswap-spectrum en het Egmond-spectrum. In de figuren A4-4 t/m A4-9 zijn voor de verschillende constructievarianten de verschillende taludhellingen en de verschillende spectra de waarden uitgezet van de volgende dimensieloze grootheden:

- Schadegrootheid: $\frac{H_{s_i}}{\Delta D}$
- Brekerparameter: $\frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_{s_i} / (g/2\pi \cdot T_p^2)}}$ of $\frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_{s_i} / (g/2\pi \cdot T_z^2)}}$

Er is een vrij snelle overgang waargenomen van geen bewegen naar schade. Daarom kan er geen afzonderlijk overgangsgebied worden aangegeven waarin wel beweging maar geen schade optreedt. De schadecriteria zijn samengevat op de figuren 23 en 24.

Uit deze figuren blijkt dat de schadecriteria voor $\xi_{oiz} < 3$ vrijwel horizontaal verlopen. Dit is waarschijnlijk een gevolg van het feit dat schademechanisme b (zie figuur 19) een ondergeschikte rol speelt bij de toegepaste constructietypen. Het toenemen van $H_{s_i}/\Delta D$ bij grotere ξ_{oiz} -waarden is waarschijnlijk een gevolg van het feit dat schademechanisme c (zie figuur 19) in de meeste gevallen de schade veroorzaakte.

Verder blijkt dat de schadecriteria voor taluds 1:3 en 1:6 goed op elkaar aansluiten.

In tegenstelling tot hetgeen bij regelmatige golven was geconstateerd, komen de stabiliteitscriteria van constructietype 1 en 2 niet met elkaar overeen. Constructietype 2 is stabielere dan constructietype 1 voor $\xi_{oiz} > 3$. Hiervoor is geen duidelijke verklaring. Constructietype 1 heeft voegen van 4 mm en constructietype 2 van 1 mm. In het gebied met $\xi_{oiz} > 3$, waar de golven minder vervormen dan bij kleinere waarden van ξ_{oiz} speelt wellicht de drukvoortplanting door de spleten een grote rol, maar dat zou dan ook bij regelmatige golven het geval zijn. Dit probleem kan nader worden bestudeerd door enkele berekeningen uit te voeren.

Voor constructietype 3 zijn slechts een beperkt aantal proeven met onregelmatige golven uitgevoerd. In tegenstelling tot hetgeen bij regelmatige golven was geconstateerd blijkt voor de beschouwde waarde van ξ_{oiz} constructietype 3 niet stabielere dan de beide andere typen. Dit is een verrassende waarneming en

het is niet duidelijk wat de oorzaak ervan is. Ook in dit geval kunnen enkele berekeningen misschien wat opheldering geven.

De hiervoor gemaakte opmerkingen bij de figuren 23 en 24 gelden zowel voor het Jonswap als voor het Egmond-spectrum. De schadecriteria voor beide spectra vertonen veel overeenkomst zodat geen invloed van de spectrumvorm kan worden geconstateerd.

5.7 Relaties tussen regelmatige en onregelmatige golfaanval

Om de resultaten van proeven naar de stabiliteit van steenzettingen voor regelmatige golfaanval te vergelijken met die voor onregelmatige golfaanval staan een aantal verschillende methoden ter beschikking:

- a Het vergelijken van schadecriteria $H/\Delta D = f(\xi)$. Door bij een bepaalde waarde van ξ_{oi} of ξ_{oiz} de waarden van $H_1/\Delta D$ en $H_{s1}/\Delta D$ te vergelijken, kan een omrekenfactor worden bepaald. Deze is gepresenteerd in tabel 9 en figuur 25. Hieruit blijkt dat de omrekenfactor erg afhankelijk is van ξ , spectrumvorm en constructietype. De praktische bruikbaarheid van deze methode is daarom erg beperkt.
- b In plaats van uit te gaan van $H/\Delta D = f(\xi)$ kan ook gebruik worden gemaakt van de basisgegevens H en T . Voor regelmatige golven kunnen H_1 en T worden gebruikt. Op deze wijze zijn schadecriteria in de vorm $H_1 = f(T)$ bepaald. In de figuren A5-1, A5-4 en A5-6 zijn van de proeven met regelmatige golven H_1 en T waarden gegeven. Hieruit zijn H_1 - T schadecriteria afgeleid die ook zijn gegeven in de figuren 26 en 27.

Voor onregelmatige golven moeten statistische grootheden worden gekozen om de golven te karakteriseren. Na enig uitproberen zijn hiervoor $H_{1\%}$ en T_z gekozen.

In de figuren A5-2, A5-3, A5-5 en A5-6 zijn $H_{1\%}$ - T_z waarden van de proeven met onregelmatige golven gegeven. Hieruit zijn $H_{1\%}$ - T_z criteria afgeleid die ook zijn gegeven in de figuren 26 en 27. Uit deze figuren blijkt dat de H_1 - T schadecriteria voor regelmatige golven en de $H_{1\%}$ - T_z schadecriteria voor onregelmatige golven vrij goed overeenkomen.

Voor constructietype 1 ligt het $H_{1\%}$ - T_z schadecriterium voor het Jonswap-spectrum voor $T_z > 3$ ongeveer 10% hoger dan voor regelmatige golven. Voor $T_z < 3$ en ook voor het Egmond-spectrum komen de schadecriteria echter

overeen. Bij een talud 1:6 blijken ook voor een Jonswap-spectrum de schade-criteria voor regelmatige en onregelmatige golven overeen te komen.

Voor constructietype 2 liggen de $H_{1\%}-T_z$ schadecriteria zowel voor het Jonswap als het Egmond-spectrum 10 à 20% boven die voor regelmatige golven. Voor constructietype 3 kan slechts voor één periode een vergelijking worden gemaakt. Hiervoor ligt het schadecriterium voor onregelmatige golven 10% hoger dan voor regelmatige golven.

Conclusie van methode b is dat schadecriteria van regelmatige en onregelmatige golven vrij goed met elkaar overeenkomen (afwijkingen tot 10 à 20%) wanneer de onregelmatige golven worden gekarakteriseerd door $H_{1\%}$ en T_z . Rekening houdend met afwijkingen van 10 en 20% kan in plaats van $H_{1\%}$ respectievelijk worden gekozen $H_{3\%}$ en $H_{5\%}$. Bij een Rayleigh verdeling is $H_{1\%} \approx 1,5 H_s$ zodat voor de beschouwde gevallen geconcludeerd kan worden dat onregelmatige golven kunnen worden gekarakteriseerd door $1,5 H_s$ en T_z voor een vergelijking met regelmatige golven.

- c Het bepalen van het aantal golven van het onregelmatige golfveld dat op grond van het schadecriterium bij regelmatige golven schade zou veroorzaken. Hiertoe kan de volgende procedure worden gevolgd. Van het onregelmatige golfveld worden een H-T diagram gemaakt. Hierin wordt het H_1-T schadecriterium voor regelmatige golven getekend. Het aantal golven boven dit schadecriterium kan dan eenvoudig worden geteld. Deze procedure is voor een aantal proeven uitgevoerd. Zie figuur A5-7 en tabel 8.

Voor de beoordeling van de stabiliteit van een steenzetting onder regelmatige golfaanval kan nu de volgende procedure worden gehanteerd. In het H-T diagram van het onregelmatige golfveld wordt het schadecriterium bij regelmatige golven getekend. Indien het percentage van de golven dat boven dit schadecriterium ligt groter is dan de kritieke waarde moet op schade worden gerekend. Vraag is nu wat als kritieke waarde moet worden genomen. Uit figuur A5-2 blijkt dat de proeven P04, P12, P17 boven de schadeliijn liggen, dus de percentages in Tabel 8 van deze proeven liggen hoger dan de kritieke. Uit figuur A5-3 volgt dat ook P13, P20 en P21 boven de schadeliijn liggen. Dus ook de percentages in Tabel 8 van deze proeven liggen hoger dan de kritieke.

Hetzelfde geldt ook voor de proeven P27, P28, P38, P24, P26 en P35; zie figuur A5-5 en tabel 8.

Voor de proeven P45 en P44 zijn de percentages volgens tabel 8 erg klein (1 resp. 2). Uit figuur A5-6 blijkt dat deze proeven ook iets boven de schadelijn liggen.

De proeven P46 en P55 zijn in figuur A5-3 aangegeven. P46 ligt verder boven de schadelijn dan P55. Dit komt ook tot uitdrukking in de percentages van tabel 8, resp. 10 en 4%.

Conclusie uit het voorgaande is dat de kritieke waarde uitgedrukt in percentage van het aantal golven waarschijnlijk klein is, dat wil zeggen in de orde van 1%. Dit stemt overeen met de resultaten van methode b waaruit volgde dat de onregelmatige golven kunnen worden gekarakteriseerd door $H_{1\%}$ en T_z .

Het kritieke percentage kan nauwkeurig worden bepaald door de analyse van een proef met onregelmatige golven die "op" de schadelijn ligt. In dit onderzoek werden alleen de metingen van de "filmproeven" opgeslagen in bestanden voor verdere analyse. In verband met het analyseren van schade lagen deze "filmproeven" boven de schadelijn.

- d Bij regelmatige golven hebben de belastingen op een steenzetting een regelmatig cyclisch verloop. Bij onregelmatige golven zijn ook de optredende belastingen onregelmatig. Wat zijn nu die onregelmatige belastingen en wat is de kansdichtheids- of de verdelingsfunctie? Het antwoord op deze vraag is vooral belangrijk voor het toepassen van probabilistische ontwerpmethoden. Een manier om de kansdichtheids- of de verdelingsfunctie van belastingen onder onregelmatige golfaanval te schatten is de zogenaamde "equivalentie methode". Bij deze methode wordt elke golf uit het onregelmatige golfveld afzonderlijk beschouwd. De H en T-waarden kunnen worden weergegeven in H-T diagrammen (bijv. figuur A5-7). Door deze H en T-waarden in te vullen in de (empirische) relaties voor de belastingen bij regelmatige golven kunnen voor al de afzonderlijk beschouwde golven uit het onregelmatige golfveld de belastingen worden bepaald. Op deze wijze wordt dus een reeks waarden van de belastingen samengesteld. Van deze reeks kunnen kansdichtheidsfuncties en verdelingsfuncties (overschrijdingsfuncties) worden samengesteld. Doordat bij deze methode alle golven in het onregelmatige golfveld afzonderlijk worden beschouwd, worden onderlinge invloeden tussen golven verwaarloosd. Op dit moment is er geen methode die wel rekening houdt met

onderlinge invloeden tussen golven in een onregelmatig golfveld. Uit het Gidsonderzoek [5] is gebleken dat dit voor de stabiliteit van de in het onderzoek beschouwde constructie aanvaardbaar is.

Om de equivalentiemethode toe te passen moet een relatie bekend zijn tussen de belastingen en de golfkarakteristieken bij regelmatige golven. Uit de metingen van drukken op en onder de steenzetting kan worden afgeleid wat de maximale opwaarts gerichte resulterende druk is tijdens een golfperiode van de regelmatige golf. Hierbij wordt geen rekening gehouden met de plaats waar deze maximale resulterende druk optreedt. Door het afleiden van deze druk voor de verschillende proeven kunnen relaties worden bepaald tussen de belasting Δp_{\max} en de golfcondities.

Het resultaat van deze procedure is samengevat in figuur 28. De belasting is uitgedrukt in dimensieloze vorm. De golfcondities zijn gekarakteriseerd door ξ_{oi} .

Deze relaties hebben niet exact betrekking op de situatie waarin juist de schade ontstaat. In de meeste gevallen is de golfaanval zwaarder dan die waarbij juist schade ontstaat.

De relaties van figuur 28 zijn gebruikt om de belastingen die optreden ten gevolge van elke individuele golf uit een onregelmatig golfveld te bepalen.

Van al deze belastingen zijn overschrijdingskrommen samengesteld. Dit is gedaan voor elf proeven. De resulterende overschrijdingskrommen van

$\Delta p_{\max}/\rho g H_i$ zijn gegeven in figuur 29 en 30.

Uit figuur 28 en 29 blijkt dat de dimensieloze belastingen bij constructietype 2 hoger liggen dan voor typen 1 en 3. Dit kan een gevolg zijn van de kleinere doorlatendheid van constructietype 2.

In figuur 28a (transparante figuur) is voor dezelfde proeven als in figuur 28 de waarde van de parameter

$$\frac{\rho_a \cdot g \cdot D \cdot \cos \alpha}{\rho \cdot g \cdot H_i}$$

uitgezet als functie van ξ_{oi} . Vergelijking van figuur 28 en 28a geeft inzicht in het quotient van de belasting die tot schade heeft geleid en de "eigen gewicht sterkte" van de beschouwde constructie. Uit de vergelijking van figuur 28 en 28a ontstaat het volgende consistente beeld:

- Voor waarden van $\xi_{oi} > \approx 3$ à 3,5 zijn de opgetreden verschildrukken in de schade proeven ongeveer gelijk aan de "eigen gewicht sterkte". Blijkbaar

is een geringe extra belasting voldoende om tot instabiliteit te leiden. Wanneer men zich realiseert dat hoge ξ -waarden samenhangen met grote golfperiodes wordt het begrijpelijk dat de relatief langdurige overdrukken tot schade leiden.

- In het gebied van de plunging-brekers ($1,0 < \xi_{oi} < 2,0$) wordt de "eigen gewicht sterkte" met een factor 2 overschreden voordat schade optreedt. Kortdurende overbelasting leidt dus niet direct tot schade.
- Een enkele maal wordt schade waargenomen terwijl de "eigen gewicht sterkte" de belasting toch (in geringe mate) overschreidt. Dit is een gevolg van meet onnauwkeurigheden of van een ongelijkmatige druk verdeling onder en boven de blokken.

In de figuren 29 en 30 is voor elke weergegeven proef de dimensieloze druk t.g.v. het eigen gewicht aangegeven

$$\left(= \frac{\rho g D \cos \alpha}{\rho_w g H_{si}} \right).$$

Voor de beide doorlatende constructietypen 1 en 3 wordt deze "sterkte-parameter" overschreden door 1-5% van de piekbelastingen. Dit komt overeen met wat in paragraaf 5.7 onder punt b is afgeleid. De resultaten van constructietype 2 wijken hier sterk van af. In dit geval wordt de sterkteparameter namelijk overschreden door 15 à 25% van de belastingen. Dit geeft de indruk dat constructietype 2 extra sterkte heeft door wrijving.

REFERENTIES

- 1 K. den Boer,
Estimation of incident and reflected wave characteristics of perpendicular wave action,
Research report S 434, Volume I, Waterloopkundig Laboratorium, april 1981
- 2 K. den Boer,
Taludbekleding van gezette steen; Hydraulische aspecten,
Verslag literatuurstudie M 1795 deel II, Waterloopkundig Laboratorium, juli 1982
- 3 J.A. Battjes,
Computation of Set-Up, Longshore Currents, Run-Up and Overtopping due to Wind Generated Waves,
Publ. 74-2, Technische Hogeschool Delft, 1974
- 4 K.W. Pilarczyk,
Invloed van bermen op de oploop van regelmatige golven,
Waterloopkundig Laboratorium, verslag M 1130,
Rijkswaterstaat, Deltadienst, Waterloopkundige Afdeling, W 73, H 900 L,
oktober 1976
- 5 A.M. Burger,
Taludbekleding van gezette steen; Grootschalig gidsonderzoek,
Verslag modelonderzoek M 1795/M 1881 deel IX, Waterloopkundig Laboratorium,
december 1983
- 6 J.W. van der Meer en A.M. Burger,
Taluds van losgestorte materialen,
Hydraulische aspecten van stortsteen, grind en zandtaluds onder golfaanval,
Waterloopkundig Laboratorium, M 1809, oktober 1983.

type	afmetingen		dichtheden		"sterkte"
	gemiddeld	standaardafwijking	gemiddeld	standaard- afwijking	$\rho_a g D \cos \alpha$
	(10^{-3} m)	(10^{-3} m)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kN/m ²)
1	37,4 * 37,4 * 19,7	0,22 * 0,14 * 0,15	2.424	0,126	0,47 $\cos \alpha$
2	40,2 * 40,2 * 19,9	0,11 * 0,16 * 0,16	2.160	0,034	0,42 $\cos \alpha$
3	39,9 * 40,0 * 19,9	0,30 * 0,14 * 0,11	2.726	0,009	0,53 $\cos \alpha$

Tabel 1 Afmetingen en dichtheden van toegepaste blokken

PROEVEN VOOR SEPALING GOLFOOMSTANDIGHEDEN WAARBIJ SCHADE OPTREEDT

A Regelmatige golven

Talud 1:3

Konstruktie 1 Blokken van $0,037 * 0,037 * 0,020 \text{ m}^3$ op grof grind
Proef 1...75 (9 golfperiodes) (tabel 3.1 en 3.2)

Konstruktie 2 Blokken van $0,040 * 0,040 * 0,020 \text{ m}^3$ op fijn grind
Proef 76...89 (5 golfperiodes) (tabel 3.2 en vervolg)
Proef 233...255 (6 golfperiodes)

Konstruktie 3 Blokken met gaten $4 * 4 \text{ mm}^2$ op grof grind
Proef 90...102 (5 golfperiodes) (tabel 3.3)

Talud 1:6

Konstruktie 1 Blokken van $0,037 * 0,037 * 0,020 \text{ m}^3$ op grof grind
Proef 103...118 (5 golfperiodes) (tabel 3.3)

Konstruktie 2 Blokken van $0,040 * 0,040 * 0,020 \text{ m}^3$ op fijn grind
Proef 119...124 (5 golfperiodes) (tabel 3.3)

B Onregelmatige golven; Egmond spectrum

Talud 1:3

Konstruktie 1 Blokken van $0,037 * 0,037 * 0,020 \text{ m}^3$ op grof grind
Proef 125...154 (10 golfperiodes) (tabel 4.1)
Proef 256...261

Konstruktie 2 Blokken van $0,040 * 0,040 * 0,020 \text{ m}^3$ op fijn grind
Proef 155...168 (5 golfperiodes) (tabel 4.2)

Konstruktie 3 Blokken met gaten $4 * 4 \text{ mm}^2$ op grof grind
Proef 169...172 (1 golfperiode) (tabel 4.2)

C Onregelmatige golven; JONSWAP spectrum

Talud 1:3

Konstruktie 1 Blokken van $0,037 * 0,037 * 0,020 \text{ m}^3$ op grof grind
Proef 173...194 (9 golfperiodes) (tabel 5.1)

Konstruktie 2 Blokken van $0,040 * 0,040 * 0,020 \text{ m}^3$ op fijn grind
Proef 195...211 (5 golfperiodes) (tabel 5.1 en vervolg)
Proef 262...271 (3 golfperiodes)

Konstruktie 3 Blokken met gaten $4 * 4 \text{ mm}^2$ op grof grind
Proef 212...215 (1 golfperiode) (tabel 5.2)

Talud 1:6

Konstruktie 1 Blokken van $0,037 * 0,037 * 0,020 \text{ m}^3$ op grof grind
Proef 216...232 (5 golfperiodes) (tabel 5.2)

Tabel 2 Overzicht van de uitgevoerde proeven

FILMPROEVEN

A Regelmatige golven

Talud 1:3

Konstruktie 1 Blokken van $0,037 * 0,037 * 0,020 \text{ m}^3$ op grof grind
Proef P1B...P5F (5 golfperiodes) (tabel 3.4)

Konstruktie 2 Blokken van $0,040 * 0,040 * 0,020 \text{ m}^3$ op fijn grind
Proef P30...P34 (5 golfperiodes) (tabel 3.4)

Konstruktie 3 Blokken met gaten $4 * 4 \text{ mm}^2$ op grof grind
Proef P39...P43 (5 golfperiodes) (tabel 3.5)

Talud 1:6

Konstruktie 1 Blokken van $0,037 * 0,037 * 0,020 \text{ m}^3$ op grof grind
Proef P49...P53 (5 golfperiodes) (tabel 3.5)

Konstruktie 2 Blokken van $0,040 * 0,040 * 0,020 \text{ m}^3$ op fijn grind
Proef P56...P60 (5 golfperiodes) (tabel 3.5)

B Onregelmatige golven; Egmond spectrum

Talud 1:3

Konstruktie 1 Blokken van $0,037 * 0,037 * 0,020 \text{ m}^3$ op grof grind
Proef P1...P12, P17, P19, P23 (7 golfperiodes) (tabel 4.3)

Konstruktie 2 Blokken van $0,040 * 0,040 * 0,020 \text{ m}^3$ op fijn grind
Proef P27...P29, P37...P38 (5 golfperiodes) (tabel 4.3)

Konstruktie 3 Blokken met gaten $4 * 4 \text{ mm}^2$ op grof grind
Proef P45 (1 golfperiode) (tabel 4.3)

C Onregelmatige golven; JONSWAP spectrum

Talud 1:3

Konstruktie 1 Blokken van $0,037 * 0,037 * 0,020 \text{ m}^3$ op grof grind
Proef P13...P16, P20...P22 (7 golfperiodes) (tabel 5.3)

Konstruktie 2 Blokken van $0,040 * 0,040 * 0,020 \text{ m}^3$ op fijn grind
Proef P24...P26, P35, P36 (5 golfperiodes) (tabel 5.3)

Konstruktie 3 Blokken met gaten $4 * 4 \text{ mm}^2$ op grof grind
Proef P44 (1 golfperiode) (5.3)

Talud 1:6

Konstruktie 1 Blokken van $0,037 * 0,037 * 0,020 \text{ m}^3$ op grof grind
Proef P46...P48, P54, P55 (5 golfperiodes) (5.3)

	proef.	L _o (m)	H _i (cm)	H _{max} (cm)	ξ _{oi}	r (%)	T (s)	H _i ΔD	H _{max} ΔD	schade rijnr.	x (cm)	$\frac{x}{H_i}$	Ru (cm)	$\frac{Ru}{H_i}$	$\frac{Ru}{H_{max}}$	Rd (cm)	$\frac{Rd}{H_i}$	$\frac{Rd}{H_{max}}$
Konstruktietype 1, talud 1:3	1	1,56	4,50	5,40	1,96	19	1,00	1,58	1,90	-								
	2	1,56	5,00	6,00	1,86	18	1,00	1,76	2,11	-								
	3	1,56	6,10	6,80	1,69	11	1,00	2,15	2,39	(+)	-0,95	-0,32						
	4	1,56	6,70	7,40	1,61	10	1,00	2,36	2,61	(+)	-1,30	-0,19						
	5	1,56	7,40	8,10	1,53	8	1,00	2,61	2,85	+	+0,65	+0,09						
	6	1,56	7,90	8,60	1,48	9	1,00	2,78	3,03	+	+0,65	+0,08						
	7	3,51	4,30	6,40	3,01	49	1,50	1,51	2,25	-								
	8	3,51	4,85	7,20	2,84	47	1,50	1,71	2,54	-								
	9	3,51	5,20	7,70	2,74	47	1,50	1,83	2,71	+	-4,54	-0,87						
	10	3,51	5,25	7,80	2,73	47	1,50	1,85	2,75	-								
	11	3,51	5,80	8,40	2,69	45	1,50	2,04	2,96	(+)	-5,19	-0,89						
	12	3,51	6,25	8,60	2,50	39	1,50	2,20	3,03	+	-5,19	-0,83						
	13	3,51	2,40	4,00	5,37	67	2,00	0,85	1,41	-								
	14	6,24	3,30	5,60	4,58	70	2,00	1,16	1,97	-								
	15	6,24	4,70	7,60	3,84	62	2,00	1,65	2,68	-			+9,08	+1,93	+1,19	-7,78	-1,66	-1,22
	16	6,24	5,50	9,20	3,55	67	2,00	1,94	3,24	-			+10,37	+1,89	+1,13	-9,08	-1,65	-0,99
	17	6,24	6,50	10,60	3,27	63	2,00	2,29	3,73	(+)	-0,65	-0,10	+12,97	+2,00	+1,22	-11,54	-1,78	-1,09
	18	6,24	6,90	11,10	3,17	60	2,00	2,43	3,91	+	-9,08	-1,32	+14,23	+2,06	+1,28	-10,37	-1,50	-0,93
	19	6,24	7,30	11,50	3,08	59	2,00	2,57	4,05	+	-9,72	-1,33	+14,93	+2,05	+1,30	-11,04	-1,51	-0,96
	20	9,75	2,40	4,20	6,72	81	2,50	0,85	1,48	-			+3,26	+1,36	+0,78	-13,89	-1,62	-0,93
	21	9,75	2,60	4,60	6,45	77	2,50	0,92	1,62	-			+4,55	+1,75	+0,99	-6,48	-2,49	-1,41
	22	9,75	3,10	5,40	5,91	74	2,50	1,09	1,90	-			+5,19	+1,67	+0,96	-5,19	-1,67	-0,96
	23	9,75	3,50	6,00	5,56	71	2,50	1,23	2,11	-			+7,78	+2,22	+1,30	-6,48	-1,85	-1,08
	24	9,75	4,00	6,80	5,20	70	2,50	1,41	2,39	-			+7,78	+1,95	+1,14	-7,78	-1,94	-1,14
	25	9,75	4,60	7,60	4,85	65	2,50	1,62	2,68	-			+7,78	+1,69	+1,02	-9,08	-1,97	-1,19
	26	9,75	4,80	8,00	4,75	67	2,50	1,69	2,82	-			+9,08	+1,89	+1,14	-9,08	-1,89	-1,14
	27	9,75	5,40	8,80	4,48	63	2,50	1,90	3,10	-			+9,08	+1,68	+1,03	-10,37	-1,92	-1,18
	28	9,75	5,70	9,60	4,36	68	2,50	2,01	3,38	-			+9,08	+1,59	+0,95	-10,37	-1,82	-1,08
	29	9,75	5,80	10,00	4,32	72	2,50	2,04	3,52	-			+10,37	+1,79	+1,04	-11,67	-2,01	-1,17
	30	9,75	6,30	10,40	4,15	65	2,50	2,22	3,66	-			+11,67	+1,85	+1,12	-12,97	-2,06	-1,25
	31	9,75	7,00	11,80	3,93	69	2,50	2,46	4,15	-			+12,97	+1,85	+1,10	-12,97	-1,85	-1,10
	32	9,75	7,20	12,40	3,88	72	2,50	2,54	4,37	-			+12,97	+1,80	+1,05	-14,26	-1,98	-1,15
	33	9,75	7,20	12,40	3,88	72	2,50	2,54	4,37	-			+14,26	+1,98	+1,15	-14,26	-1,98	-1,15
	34	9,75	8,60	14,00	3,55	63	2,50	3,03	4,93	-			+14,26	+1,66	+1,02	-14,26	-1,66	-1,02
	35	9,75	8,90	14,40	3,49	62	2,50	3,13	5,07	(+)	-14,93	-1,68	+15,56	+1,75	+1,08	-14,36	-1,60	-0,99
	36	9,75	8,70	14,20	3,53	63	2,50	3,06	5,00	(+)	-14,93	-1,72	+16,85	+1,94	+1,19	-14,89	-1,71	-1,03
	37	9,75	9,80	15,60	3,32	59	2,50	3,45	5,49	(+)	-15,56	-1,59	+17,52	+1,79	+1,12	-15,56	-1,59	-1,00
	38	9,75	10,20	16,40	3,26	61	2,50	3,59	5,77	(+)	-14,93	-1,46	+17,52	+1,72	+1,07	-15,56	-1,53	-0,95
	39	9,75	10,00	16,80	3,29	65	2,50	3,52	5,92	+	-11,04	-1,10	+18,82	+1,88	+1,12	-16,85	-1,69	-1,00
	40	14,04	10,90	16,90	3,78	58	3,00	3,84	5,95	-			+18,82	+1,73	+1,11	-14,93	-1,37	-0,88
	41	14,04	12,75	19,50	3,50	53	3,00	4,49	6,87	-			+20,08	+1,57	+1,03	-16,22	-1,27	-0,83
	42	14,04	12,80	20,00	3,49	54	3,00	4,51	7,04	+	-18,82	-1,47	+24,00	+1,88	+1,20	-18,82	-1,47	-0,94
	43	14,04	12,75	19,00	3,50	49	3,00	4,49	6,69	+	-20,08	-1,57	+26,56	+2,08	+1,40	-18,82	-1,49	-0,99

Tabel 3.1 Schade zoeken: regelmatige golven

	proef	L _o (m)	H _i (cm)	H _{max} (cm)	ξ _{oi}	r (%)	T (s)	H _i ΔD	H _{max} ΔD	schade	schade rijnr.	x (cm)	$\frac{x}{H_i}$	Ru (cm)	$\frac{Ru}{H_i}$	$\frac{Ru}{H_{max}}$	Rd (cm)	$\frac{Rd}{H_i}$	$\frac{Rd}{H_{max}}$
Konstruktietype 1, talud 1:3	44	19,11	10,30	18,00	4,54	35	3,50	3,63	6,34	-				+20,47	+2,01	+1,15	-16,85	-1,64	-0,93
	45	19,11	11,25	19,00	4,34	35	3,50	3,69	6,69	-				+23,34	+2,07	+1,23	-19,45	-1,73	-1,02
	46	19,11	12,30	21,00	4,15	35	3,50	4,33	7,39	-				+24,63	+2,00	+1,17	-20,74	-1,69	-0,99
	47	19,11	12,40	20,80	4,14	35	3,50	4,37	7,32	(+)		-16,22	-1,31	+23,34	+1,88	+1,12	-18,82	-1,52	-0,90
	48	19,11	12,90	21,50	4,06	35	3,50	4,54	7,57	-				+25,93	+2,01	+1,21	-22,04	-1,71	-1,03
	49	19,11	13,50	22,30	3,97	35	3,50	4,75	7,85	-				+27,89	+2,07	+1,25	-23,34	-1,73	-1,05
	50	19,11	13,60	22,70	3,95	35	3,50	4,79	7,99	+	55	-17,55	-1,29	+27,23	+2,00	+1,20	-21,41	-1,57	-0,94
	51	19,11	13,90	23,50	3,91	35	3,50	4,89	8,27	-				+29,19	+2,10	+1,24	-24,63	-1,77	-1,05
	52	19,11	14,80	24,30	3,79	35	3,50	5,21	8,56	+	54-57	-17,52	-1,18	+29,82	+2,01	+1,23	-25,30	-1,71	-1,04
	53	19,11	15,40	26,30	3,71	35	3,50	5,42	9,26	+	35-59	-18,82	-1,22	+25,93	+1,68	+0,99	-24,00	-1,56	-0,91
	54	24,96	12,10	20,30	4,79	40	4,00	4,26	7,15	-				+27,23	+2,25	+1,34	-19,45	-1,61	-0,96
	55	24,96	12,50	21,50	4,71	40	4,00	4,40	7,57	(+)				+28,52	+2,28	+1,33	-22,04	-1,76	-1,03
	56	24,96	13,50	22,70	4,53	40	4,00	4,75	7,99	(+)				+29,82	+2,21	+1,31	-20,74	-1,54	-0,91
	57	24,96	13,80	23,30	4,48	40	4,00	4,86	8,20	(+)				+31,12	+2,26	+1,34	-23,34	-1,69	-1,00
	58	24,96	14,50	24,20	4,37	40	4,00	5,11	8,52	(+)				+32,41	+2,14	+1,34	-23,06	-1,59	-0,95
	59	24,96	15,20	25,30	4,27	40	4,00	5,35	8,91	(+)				+33,08	+2,18	+1,31	-25,93	-1,71	-1,02
	60	24,96	15,50	26,00	4,23	40	4,00	5,46	9,15	(+)				+34,37	+2,21	+1,31	-26,56	-1,71	-1,02
	61	24,96	16,40	27,00	4,11	40	4,00	5,77	9,51	(+)		-22,71	-1,38	+35,67	+2,18	+1,32	-27,23	-1,66	-1,01
	62	24,96	16,60	27,50	4,09	40	4,00	5,85	9,68	+	25-59	-18,97	-1,14	+36,97	+2,23	+1,34	-27,23	-1,64	-0,99
	63	2,44	3,70	5,20	2,71	41	1,25	1,30	1,83	-				+6,48	+1,75	+1,25	-3,89	-1,05	-0,75
	64	2,44	4,40	6,00	2,48	36	1,25	1,55	2,11	-				+7,78	+1,77	+1,30	-5,85	-1,33	-0,98
	65	2,44	5,10	6,20	2,31	33	1,25	1,80	2,18	-				+9,06	+1,78	+1,46	-6,48	-1,27	-1,05
	66	2,44	5,70	7,40	2,18	28	1,25	2,01	2,61	(+)		-4,55	-0,80	+10,37	+1,82	+1,40	-7,78	-1,36	-1,05
	67	2,44	6,40	8,00	2,06	25	1,25	2,25	2,82	(+)		-3,26	-0,51	+11,04	+1,73	+1,38	-7,78	-1,22	-0,97
	68	2,44	7,10	8,60	1,95	21	1,25	2,50	3,03	(+)		-3,89	-0,56	+11,67	+1,64	+1,28	-8,44	-1,19	-0,98
	69	2,44	7,80	9,20	1,86	18	1,25	2,75	3,24	+	46	-5,85	-0,75	+12,33	+1,58	+1,34	-9,08	-1,16	-0,99
	70	4,78	3,50	5,80	3,90	66	1,75	1,23	2,04	-				+7,78	+2,22	+1,34	-6,48	-1,85	-1,12
	71	4,78	4,20	6,80	3,56	62	1,75	1,47	2,39	-				+8,44	+2,01	+1,24	-7,78	-1,85	-1,14
	72	4,78	5,00	8,00	3,26	60	1,75	1,76	2,82	-				+9,74	+1,95	+1,22	-7,78	-1,56	-0,97
	73	4,78	5,60	8,80	3,08	57	1,75	1,97	3,10	(+)		-6,48	-1,16	+11,04	+1,97	+1,25	-9,08	-1,62	-1,03
	74	4,78	6,20	9,60	2,93	55	1,75	2,18	3,38	(+)		-6,48	-1,05	+12,97	+2,09	+1,35	-9,08	-1,46	-0,95
	75	4,78	6,90	10,20	2,77	50	1,75	2,43	3,59	+	46-47	-6,48	-0,94	+14,26	+2,07	+1,40	-10,37	-1,50	-1,02
Konstruktietype 2, talud 1:3	76	2,44	5,63	7,25	2,19	29	1,25	2,43	3,14	(+)									
	77	2,44	6,42	8,08	2,06	26	1,25	2,77	3,48	(+)									
	78	3,51	3,50	5,75	3,34	64	1,50	1,51	2,48	-									
	79	3,51	4,21	6,83	3,04	62	1,50	1,81	2,94	-									
	80	3,51	4,92	7,58	2,82	54	1,50	2,12	3,27	(+)									
	81	3,51	5,67	8,58	2,62	51	1,50	2,44	3,70	(+)									
	82	3,51	6,67	9,16	2,42	35	1,50	2,88	3,95	(+)									
	83	6,24	4,46	7,75	3,94	74	2,00	1,92	3,34	-									
	84	6,24	5,18	8,88	3,66	71	2,00	2,23	3,85	-									
	85	6,24	5,67	9,58	3,50	69	2,00	2,44	4,13	(+)									
	86	6,24	6,17	10,33	3,35	68	2,00	2,66	4,45	+	32-34	-8,43	-1,37	-0,82					
	87	14,04	9,63	15,13	4,03	57	3,00	4,15	6,52	-									
	88	14,04	11,75	18,25	3,64	55	3,00	5,06	7,87	(+)									
	89	24,96	11,63	19,75	4,88	70	4,00	5,01	8,51	-									

Tabel 3.2 Schade zoeken: regelmatige golven

	proef	L _o (m)	H ₁ (cm)	H _{max} (cm)	ξ_{oi}	r (%)	T (s)	$\frac{H_1}{\Delta D}$	$\frac{H_{max}}{\Delta D}$	schade	schade rijnr.	x (cm)	$\frac{x}{H_1}$
Konstruktietype 2, talud 1:3	233	1,26	6,6	7,3	1,46	11	0,9	2,84	3,15	-			
	234	1,26	8,5	9,2	1,29	8	0,9	3,66	3,96	-			
	235	1,26	10,1	10,7	1,18	6	0,9	4,35	4,61	-			
	236	1,26	11,25	12,0	1,12	7	0,9	4,85	5,17	+	28	-1,94	-0,17
	237	2,44	6,7	8,8	2,01	30	1,25	2,89	3,79	-			
	238	2,44	7,4	9,4	1,91	26	1,25	3,19	4,05	+	29	-3,24	-0,44
	239	2,44	8,4	10,3	1,80	23	1,25	3,62	4,44	+	28-30	-3,24	-0,39
	240	3,51	4,9	8,0	2,82	62	1,50	2,11	3,45	-			
	241	3,51	6,0	8,9	2,55	50	1,50	2,59	3,84	-			
	242	3,51	6,6	9,5	2,43	45	1,50	2,84	4,09	+	29	-3,24	-0,49
	243	6,24	4,7	8,0	3,84	70	2,00	2,03	3,45	-			
	244	6,24	5,7	9,8	3,49	72	2,00	2,46	4,22	-			
	245	6,24	6,7	11,3	3,22	69	2,00	2,89	4,87	-			
	246	6,24	7,7	12,7	3,00	65	2,00	3,32	5,47	-			
	247	6,24	8,2	13,2	2,91	60	2,00	3,53	5,69	+	29-33	-8,43	-1,03
	248	6,24	8,75	13,9	2,81	59	2,00	3,77	5,99	+	29-35	-7,13	-0,81
	249	14,04	13,1	21,0	3,45	60	3,00	5,65	9,05	-			
	250	14,04	14,0	22,3	3,34	59	3,00	6,03	9,61	-			
	251	14,04	14,4	23,2	3,29	62	3,00	6,21	10,00	+	32	-7,13	-0,50
	252	24,96	11,5	19,0	4,91	65	4,00	4,96	8,19	-			
	253	24,96	13,0	21,5	4,62	65	4,00	5,60	9,27	-			
	254	24,96	13,4	22,25	4,55	63	4,00	5,78	9,59	-			
	255	24,96	13,75	23,0	4,49	67	4,00	5,93	9,91	+	41-42	-20,10	-1,46

Tabel 3.2 Vervolg schade zoeken regelmatige golven

	proef	L_o (m)	H_1 (cm)	H_{max} (cm)	ξ_{ol}	r (%)	T (s)	$\frac{H_1}{\Delta D}$	H_{max}	schade
Konstruktietype 3, talud 1:3	90	14,04	20,00	29,00	2,79	44	3,00	5,79	8,40	-
	91	9,75	14,13	21,75	2,77	54	2,50	4,09	6,30	-
	92	9,75	16,25	24,25	2,58	50	2,50	4,70	7,02	-
	93	6,24	6,50	11,00	3,27	69	2,00	1,88	3,18	-
	94	6,24	7,63	12,25	3,01	61	2,00	2,21	3,55	-
	95	6,24	8,75	13,50	2,82	54	2,00	2,53	3,91	-
	96	6,24	10,25	15,00	2,60	46	2,00	2,97	4,34	-
	97	6,24	11,75	16,50	2,43	40	2,00	3,40	4,78	-
	98	3,51	11,25	13,75	1,86	22	1,50	3,26	3,98	-
	99	3,51	12,50	15,00	1,77	20	1,50	3,62	4,34	-
	100	3,51	13,13	15,50	1,72	18	1,50	3,80	4,49	-
	101	2,44	13,13	14,00	1,44	7	1,25	3,80	4,05	-
	102	2,44	15,00	15,75	1,34	5	1,25	4,34	4,56	-
Konstruktietype 1, talud 1:6	103	2,44	5,00	5,25	1,16	2	1,25	1,76	1,85	-
	104	2,44	5,95	6,20	1,07	2	1,25	2,10	2,18	-
	105	2,44	6,50	6,75	1,02	2	1,25	2,29	2,38	-
	106	3,51	4,75	5,33	1,43	12	1,50	1,67	1,88	-
	107	3,51	5,84	6,17	1,29	6	1,50	2,06	2,17	-
	108	6,24	3,75	4,50	2,15	20	2,00	1,32	1,58	-
	109	6,24	4,58	5,50	1,95	20	2,00	1,61	1,94	-
	110	6,24	5,08	6,17	1,85	21	2,00	1,79	2,17	-
	111	14,04	6,63	9,25	2,43	40	3,00	2,33	3,26	-
	112	14,04	7,00	9,50	2,36	36	3,00	2,47	3,35	-
	113	24,96	7,25	11,00	3,09	52	4,00	2,55	3,87	-
	114	24,96	7,50	11,50	3,04	53	4,00	2,64	4,05	-
	115	24,96	8,00	12,00	2,94	50	4,00	2,82	4,23	-
	116	24,96	8,00	12,00	2,94	50	4,00	2,82	4,23	-
	117	24,96	8,50	12,50	2,86	47	4,00	2,99	4,40	-
	118	24,96	9,00	13,00	2,78	44	4,00	3,17	4,58	-
Konstruktietype 2, talud 1:6	119	2,44	5,83	6,33	1,08	9	1,25	2,51	2,73	-
	120	3,51	4,50	5,17	1,47	15	1,50	1,94	2,23	-
	121	3,51	5,25	6,00	1,36	15	1,50	2,26	2,59	-
	122	6,24	5,00	6,00	1,86	20	2,00	2,16	2,59	-
	123	14,04	6,50	9,50	2,45	46	3,00	2,80	4,09	-
	124	24,96	6,50	10,25	3,27	58	4,00	2,80	4,42	-

Tabel 3.3 Schade zoeken: regelmatige golven

	proef	L _o (m)	H ₁ (cm)	H _{max} (cm)	ξ_{oi}	r (%)	T (s)	$\frac{H_1}{\Delta D}$	$\frac{H_{max}}{\Delta D}$	schade	schade rijnr.	x (cm)	$\frac{x}{H_1}$	$\frac{x}{H_{max}}$	Ru (cm)	$\frac{Ru}{H_1}$	$\frac{Ru}{H_{max}}$	Rd (cm)	$\frac{Rd}{H_1}$	$\frac{Rd}{H_{max}}$
Konstruktietype 1, talud 1:3	P1B	2,44					1,25			+	31	-5,85								
	P2B	2,44	8,40	10,00	1,80	19	1,25	2,96	3,52	(+)		-0,65	-0,08	-0,07						
	P3B	2,44	8,40	9,80	1,80	17	1,25	2,96	3,45	(+)		-0,65	-0,08	-0,07	+11,00	+1,31	+1,12	-9,74	-1,16	-0,99
	P4B	2,44	9,00	10,40	1,74	16	1,25	3,17	3,66	(+)		+0,65	+0,07	+0,06	+13,60	+1,51	+1,31	-7,15	-0,79	-0,69
	P1C	3,51	6,60	9,20	2,43	39	1,50	2,11	3,24	(+)		-5,85	-0,89	-0,64	+11,04	+1,67	+1,20	-7,15	-1,08	-0,78
	P2C	3,51	7,40	10,00	2,30	35	1,50	2,61	3,52	+	30-33	-5,85	-0,79	-0,59	+13,80	+1,84	+1,36	-8,44	-1,14	-0,84
	P1D	6,24	8,50	12,60	2,86	48	2,00	2,99	4,44	+	27-34	-5,85	-0,69	-0,46	+17,52	+2,06	+1,39	-11,04	-1,30	-0,88
	P2D	6,24	7,80	11,80	2,98	53	2,00	2,75	4,15	+	28-34	-5,85	-0,75	-0,50	+14,93	+1,91	+1,27	-11,04	-1,42	-0,94
	P1E	14,04					3,00			+										
	P2E	14,04	13,00	20,00	3,46	54	3,00	4,58	7,04	+	31-40	-6,48	-0,50	-0,32	+25,30	+1,95	+1,27	-18,82	-1,45	-0,94
	P3E	14,04	13,00	20,00	3,46	54	3,00	4,58	7,04	+	31-40	-8,44	-0,65	-0,32	+25,30	+1,95	+1,27	-18,82	-1,45	-0,94
	P4E	14,04					3,00			+	40-45	-24,00			+20,81			-18,82		
	P1F	24,96					4,00			-										
	P2F	24,96	15,00	24,70	4,30	66	4,00	5,28	8,70	(+)		-26,59	-1,77	-1,08	+31,78	+2,12	+1,29	-22,71	-1,51	-0,92
	P3F	24,96					4,00			(+)		-7,15			+36,30			-25,30		
	P4F	24,96	17,40	29,30	3,99	71	4,00	6,13	10,32	+	32-45	-24,00	-1,38	-0,82	+38,90	+2,24	+1,33	-27,86	-1,60	-0,95
	P5F	24,96	17,40	29,30	3,99	71	4,00	6,13	10,32	+										
Konstruktietype 2, talud 1:3	P30	2,44	7,00	8,67	1,97	24	1,25	3,02	3,74	+	30-32	-5,83	-0,83	-0,67	+11,10	+1,59	+1,28	-4,03	-0,58	-0,46
	P31	3,51	6,67	9,25	2,42	39	1,50	2,88	3,99	+	29-32	-4,54	-0,68	-0,49	+14,25	+2,14	+1,54	-5,90	-0,88	-0,64
	P32	6,24	6,13	10,33	3,36	69	2,00	2,64	4,45	+	32-34	-8,43	-1,38	-0,82	+14,25	+2,32	+1,40	-9,18	-1,50	-0,89
	P33	14,04	12,38	19,38	3,55	57	3,00	5,34	8,35	+	39-41	-18,80	-1,52	-0,97	+20,63	+1,67	+1,06	-18,96	-1,53	-0,98
	P34	24,96	12,63	21,50	4,69	72	4,00	5,44	9,27	+	44	-22,69	-1,80	-1,06	+17,52	+1,39	+0,81	-23,24	-1,84	-1,08

Tabel 3.4 Filmproeven: regelmatige golven

	proef	L_o (m)	H_i (cm)	H_{max} (cm)	ξ_{oi}	r (%)	T (s)	$\frac{H_i}{\Delta D}$	$\frac{H_{max}}{\Delta D}$	schade	schade rijnr.	x (cm)	$\frac{x}{H_i}$	$\frac{x}{H_{max}}$	R_u (cm)	$\frac{R_u}{H_i}$	$\frac{R_u}{H_{max}}$	R_d (cm)	$\frac{R_d}{H_i}$	$\frac{R_d}{H_{max}}$
Konstruktietype 3, talud 1:3	P39	14,04	21,00	30,50	2,73	45	3,00	6,08	8,83	+	43-46	-21,39	-1,02	-0,70	+36,53	+1,74	+1,20	-30,80	-1,47	-1,01
	P40	9,75	17,00	25,00	2,52	47	2,50	4,92	7,24	+	33-40	-8,43	-0,49	-0,34	+36,41	+2,14	+1,46	-21,99	-1,29	-0,88
	P41	6,24	12,75	17,00	2,33	33	2,00	3,69	4,92	+	33-34	-9,72	-0,76	-0,57	+20,66	+1,62	+1,22	-14,87	-1,17	-0,87
	P42	3,51	13,25	15,50	1,72	17	1,50	3,84	4,49	+	33	-8,43	-0,64	-0,54	+18,98	+1,43	+1,22	-8,03	-0,61	-0,52
	P43	2,44	15,88	17,25	1,31	6	1,25	4,60	4,99	+	32	-7,13	-0,45	-0,41	+17,41	+1,10	+1,01	-3,65	-0,23	-0,21
Konstruktietype 1, talud 1:6	P49	2,44	7,50	8,00	0,95	3	1,25	2,64	2,82	+	11	-3,71	-0,49	-0,46	+4,93	+0,66	+0,62	-1,46	-0,19	-0,18
	P50	3,51	6,42	6,83	1,23	6	1,50	2,26	2,40	+	11	-3,71	-0,58	-0,54	+5,77	+0,90	+0,84	-1,98	-0,31	-0,29
	P51	6,24	6,00	7,00	1,70	17	2,00	2,11	2,46	+	13	-5,06	-0,84	-0,72	+9,03	+1,51	+1,29	-2,85	-0,48	-0,41
	P52	14,04	7,38	10,00	2,30	36	3,00	2,60	3,52	+	20	-9,77	-1,32	-0,98	+14,82	+2,01	+1,48	-5,84	-0,79	-0,58
	P53	24,96	8,00	12,00	2,94	50	4,00	2,82	4,23	+	25	-13,14	-1,64	-1,12	+16,49	+2,06	+1,37	-10,42	-1,30	-0,87
Konstruktietype 2, talud 1:6	P56	2,44	6,50	7,00	1,02	8	1,25	2,80	3,02	+	10	-3,03	-0,47	-0,43	+12,33	+1,90	+1,76	-1,68	-0,26	-0,24
	P57	3,51	6,08	6,83	1,27	12	1,50	2,62	2,94	+	11	-3,71	-0,61	-0,54	+7,41	+1,22	+1,08	-1,96	-0,32	-0,29
	P58	6,24	5,33	6,00	1,80	13	2,00	2,30	2,59	+	12-13	-5,06	-0,95	-0,84	+9,87	+1,85	+1,65	-3,08	-0,58	-0,51
	P59	14,04	6,88	9,75	2,38	42	3,00	2,97	4,20	+	16-19	-9,10	-1,32	-0,93	+14,88	+2,16	+1,53	-6,65	-0,97	-0,68
	P60	24,96	7,38	11,50	3,07	56	4,00	3,18	4,96	+	21-23	-11,80	-1,60	-1,03	+14,05	+1,90	+1,22	-10,53	-1,43	-0,92

Tabel 3.5 Filmproeven: regelmatige golven

	proef	L _{op}	H _{sl}	H _{1%}	ξ _{oip}	ξ _{oiz}	r	T _p	T _z	T _p T _z	H _{sl} ΔD	H _{1%} ΔD	schade	schade rijnr.	plaats schade		
															x	$\frac{x}{H_i}$	$\frac{x}{H_{1\%}}$
Konstruktietype 1, talud 1:3	125	21,70	8,59	12,52	5,30	4,05	81	3,73	2,85	1,31	3,02	4,41	+	29-43	-21,42	-2,49	-1,71
	126	21,70	6,70	9,26	6,00	4,57	82	3,73	2,84	1,31	2,36	3,26	(+)		-7,15	-1,07	
	127	21,70	7,72	10,69	5,59	4,26	82	3,73	2,84	1,31	2,72	3,76	(+)		-3,26	-0,42	-0,30
	128	15,48	6,96	9,91	4,97	3,66	75	3,15	2,32	1,36	2,45	3,49	+	33-41	-9,74	-1,40	-0,98
	129	15,48	6,14	8,58	5,29	3,88	75	3,15	2,31	1,36	2,17	3,02	+	33-39	-8,44	-1,38	-1,98
	130	15,48	5,12	7,17	5,80	4,27	78	3,15	2,32	1,36	1,80	2,52	(+)		-12,33	-2,41	-1,72
	131	9,59	4,36	6,07	4,94	3,67	71	2,48	1,84	1,35	1,54	2,14	+	33	-8,44	-1,94	-1,39
	132	9,59	4,39	6,06	4,93	3,74	72	2,48	1,88	1,32	1,55	2,13					
	133	9,59	3,51	4,69	5,51	4,16	72	2,48	1,87	1,33	1,24	1,65	-				
	134	9,59	5,29	7,15	4,49	3,37	69	2,48	1,86	1,35	1,86	2,52	+	32-33	-8,44	-1,60	-1,18
	135	6,37	3,07	4,21	4,80	3,56	63	2,02	1,50	1,35	1,08	1,48	-				
	136	6,37	3,83	5,65	4,30	3,19	61	2,02	1,50	1,35	1,35	1,98	(+)		-3,26	-0,85	-0,58
	137	6,37	4,51	6,44	3,96	2,94	58	2,02	1,50	1,35	1,59	2,26	+	29-32	-3,26	-0,72	-0,51
	138	6,24	5,23	8,01	3,64	2,73	54	2,00	1,50	1,35	1,84	2,82	+	28-29	-3,26	-0,62	-0,41
	139	3,06	3,81	5,67	2,99	2,58	44	1,39	1,21	1,15	1,34	2,00	-				
	140	3,06	4,51	6,85	2,75	2,35	42	1,40	1,20	1,17	1,59	2,41	+	32	-7,15	-1,59	-1,04
	141	3,06	5,09	7,70	2,58	2,20	39	1,39	1,19	1,17	1,79	2,71	(+)		-5,85	-1,15	-0,76
	142	3,06	5,77	8,58	2,43	2,08	35	1,40	1,20	1,17	2,03	3,02	+	25-32	-0,65	-0,11	-0,08
	143	2,93	4,35	6,58	2,74	2,25	38	1,37	1,12	1,22	1,53	2,32	(+)		-0,65	-0,15	-0,10
	144	1,96	4,70	7,10	2,15	2,02	32	1,12	1,05	1,07	1,65	2,50	+	31	-5,85	-1,24	-0,82
	145	1,96	4,10	6,25	2,30	2,14	35	1,12	1,04	1,08	1,44	2,20	(+)		-1,95	-0,48	-0,31
	146	1,99	5,30	8,28	2,04	1,90	31	1,13	1,05	1,08	1,87	2,91	(+)				
	147	1,99	5,84	9,56	1,95	1,81	28	1,13	1,05	1,08	2,06	3,37	+	25-30	-4,55	-0,78	-0,48
	148	40,89	7,45	11,39	7,81	4,87	87	5,12	3,19	1,61	2,62	4,01	-				
	149	40,89	8,51	12,67	7,31	4,55	87	5,12	3,19	1,61	3,00	4,46	(+)	40	-17,52	-2,06	-1,38
	150	40,89	9,34	13,58	6,97	4,24	86	5,12	3,11	1,65	3,29	4,78	+	42-44	-20,11	-2,15	-1,48
	151	86,58	9,91	14,68	9,85	4,89	80	7,45	3,40	2,01	3,49	5,16	(+)	42-44	-20,11	-2,03	-1,37
	152	86,58	10,75	15,13	9,46	4,61	87	7,45	3,63	2,05	3,78	5,33	+	31-43	-5,85	-0,54	-0,39
	153	86,58	8,65	12,28	10,55	5,34	88	7,45	3,77	1,98	3,05	4,32	+	25-31	+1,96	+0,23	+0,16
	154	86,58	7,58	10,28	11,27	5,99	91	7,45	3,96	1,88	2,67	3,62	-				
	256	1,92	5,40	8,78	1,99	1,52	35	1,11	0,85	1,31	2,33	3,78	-				
	257	1,92	7,38	11,21	1,70	1,32	30	1,11	0,89	1,25	3,18	4,83	-				
	258	1,89	7,95	12,03	1,62	1,33	28	1,10	0,90	1,22	3,43	5,19	+	28-30	-4,54	-0,57	-0,38
	259	2,17	6,91	11,38	1,87	1,43	32	1,18	0,90	1,31	2,98	4,91	-				
	260	2,17	7,58	12,03	1,78	1,39	31	1,18	0,90	1,28	3,27	5,19	+	29-31	-3,24	-0,43	-0,38
	261	2,17	8,60	13,33	1,68	1,33	29	1,18	0,94	1,26	3,71	5,75	+	25-30	-4,54	-0,53	-0,34

Tabel 4.1 Schade zoeken: Egmond-spectrum

	proef	L_{op}	H_{si}	$H_{1\%}$	ξ_{oip}	ξ_{oiz}	r	T_p	T_z	$\frac{T_p}{T_z}$	$\frac{H_{si}}{\Delta D}$	$\frac{H_{1\%}}{\Delta D}$	schade	schade rijnr.	plaats schade		
															x	$\frac{x}{H_i}$	$\frac{x}{H_{1\%}}$
Konstruktietype 2, talud 1:3	155	1,99	4,51	7,65	2,22	2,02	40	1,13	1,03	1,10	1,95	3,30	(+)				
	156	1,99	5,08	8,85	2,09	1,92	38	1,13	1,04	1,09	2,19	3,81	+	31	-5,83	-1,15	-0,66
	157	3,32	5,38	9,26	2,62	2,19	46	1,46	1,22	1,20	2,32	3,99	+	32-30	-7,13	-1,33	-0,77
	158	3,32	4,69	8,05	2,81	2,35	50	1,46	1,22	1,20	2,02	3,47	+	31	-5,83	-1,24	-0,72
	159	3,32	4,11	7,24	3,00	2,84	55	1,46	1,22	1,20	1,77	3,12	+	32-31	-7,13	-1,73	-0,98
	160	3,32	3,43	6,44	3,28	2,74	59	1,46	1,22	1,20	1,48	2,78	(+)				
	161	6,12	4,41	7,65	3,93	3,07	68	1,98	1,55	1,28	1,90	3,30	+	33			
	162	6,12	5,17	8,45	3,63	2,84	65	1,98	1,54	1,29	2,23	3,64	+	38-31	-8,43	-1,63	-1,10
	163	6,12	3,55	6,44	4,38	3,42	71	1,98	1,55	1,28	1,53	2,78	-				
	164	14,32	4,50	8,26	5,95	4,63	85	3,03	2,36	1,28	1,94	3,56	-				
	165	14,32	5,63	10,34	5,32	4,14	84	3,03	2,36	1,28	2,43	4,46	+	40-36	-12,32	-2,19	-1,19
	166	22,88	7,82	14,08	5,70	4,20	86	3,83	2,82	1,36	3,37	6,07	+	42-33	-8,43	-1,08	-0,60
	167	22,88	5,70	10,36	6,68	4,92	88	3,83	2,85	1,34	2,46	4,47	-				
	168	22,88	6,66	12,42	6,18	4,55	86	3,83	2,82	1,36	2,87	5,35	-				
Konstruktietype 3, talud 1:6	169	2,95	9,46	16,02	2,06	1,66	39	1,52	1,23	1,24	2,75	4,64	+	33-32	-8,43	-0,89	-0,53
	170	2,95	8,86	14,38	2,13	1,71	31	1,52	1,22	1,25	2,58	4,16	+	33-32	-8,43	-0,95	-0,59
	171	2,95	8,38	13,96	2,19	1,75	33	1,52	1,22	1,25	2,44	4,04	+	33	-8,43	-1,01	-0,60
	172	2,95	7,68	12,73	2,28	1,80	35	1,52	1,20	1,27	2,24	3,69	-				

Tabel 4.2 Schade zoeken: Egmond-spectrum

	proef	L _{op}	H _{si}	H _{1%}	ξ _{oip}	ξ _{oiz}	r	T _p	T _z	T _p T _z	H _{si} ΔD	H _{1%} ΔD	j ₁	j ₂	schade	schade rijnr.	plaats schade			golfoploop		golfterugloop	
																	x	$\frac{x}{H_{si}}$	$\frac{x}{H_{1\%}}$	R _{u2%}	$\frac{R_{u2\%}}{H_{si}}$	R _{d2%}	$\frac{R_{d2\%}}{H_{si}}$
Konstruktietype 1, talud 1:3	P01	21,70	7,72	10,69	5,59	4,26	82	3,73	2,84	1,31	2,71	3,76			+	36	-12,33	-1,60	-1,15				
	P02	21,70	7,72	10,69	5,59	4,26	82	3,73	2,84	1,31	2,71	3,76			(+)		-9,74	-1,26	-0,91				
	P03	21,70	8,55	12,21	5,31	3,99	81	3,73	2,80	1,33	3,01	4,30			+	29-35	-11,04	-1,29	-0,90				
	P04	21,70	8,55	12,21	5,31	3,99	81	3,73	2,80	1,33	3,01	4,30	1,49	10,26	+	33-39	-8,44	-0,99	-0,69				
	P05	15,48	5,90	8,57	5,40	3,96	76	3,15	2,31	1,36	2,08	3,02			+	33	-8,44	-1,43	-0,98				
	P06	15,48	5,90	8,57	5,40	3,96	76	3,15	2,31	1,36	2,08	3,02			+	34	-9,74	-1,65	-1,14				
	P07	15,48	5,90	8,57	5,40	3,96	76	3,96	2,31	1,36	2,08	3,02	1,48	10,14	+	38-39	-16,22	-2,75	-1,89				
	P08	6,24	5,23	8,01	3,64	2,73	54	2,00	1,50	1,35	1,84	2,82	1,35	5,51	+	29	-3,29	-0,82	-0,41				
	P09	3,06	5,77	8,58	2,43	2,08	35	1,40	1,20	1,17	2,03	3,02	1,59	9,02	+	27-31	-5,85	-1,01	-0,68				
	P10	1,99	5,84	9,56	1,95	1,81	28	1,13	1,05	1,08	2,06	3,37	1,80	10,67	+	26-31	+0,65	+0,11	+0,07				
	P11	1,99	5,84	9,58	1,96	1,81	28	1,13	1,05	1,08	2,06	3,37			+	26	+0,65	+0,11	+0,07				
	P12	1,99	5,84	9,56	1,95	1,81	28	1,13	1,05	1,08	2,06	3,37	1,69	14,07	+	26-27	+0,65	+0,11	+0,07				
Konstruktie 2, talud 1:3	P17	40,89	9,34	13,58	6,97	4,24	86	5,12	3,11	1,65	3,29	4,78	1,26	8,18	+	32-45				+29,48	+3,16	-20,20	-2,16
	P19	86,58	10,75	15,13	9,47	4,61	87	7,45	3,63	2,05	3,79	5,33	1,28	8,88	+	26-44				+35,00	+3,26	-11,50	-1,07
	P23	1,99	5,84	9,56	1,95	1,81	28	1,13	1,05	1,08	2,06	3,37	1,64	11,68	+	27	herh.	P12		+11,48	+1,98	-6,00	-1,03
Konstruktie 3, talud 1:3	P27	2,03	5,91	10,06	1,95	1,78	33	1,14	1,04	1,10	2,55	4,24	1,79	13,67	+	30-32	-5,83	-0,99	-0,58	+11,90	+2,01	-2,25	-0,38
	P28	6,12	5,11	8,85	3,65	2,84	64	1,98	1,54	1,29	2,20	3,81	1,40	10,63	+	31-35	-8,43	-1,65	-0,95	+13,90	+2,72	-8,00	-1,57
	P29	3,19	5,48	9,26	2,54	2,17	45	1,43	1,22	1,17	2,36	3,99	1,56	9,57	+	31-32	-5,83	-1,06	-0,63	+14,10	+2,57	-6,00	-1,09
	P37	14,32	6,38	12,00	4,99	3,87	82	3,03	2,35	1,29	2,75	5,17	1,88	14,23	+	35-41	-14,91	-2,34	-1,24	+18,00	+2,82	-14,10	-2,21
	P38	22,88	7,63	14,08	5,77	4,21	86	3,83	2,79	1,37	3,29	6,07	1,24	8,69	+	38-42	-18,80	-2,46	-1,34	+20,80	+2,73	-18,40	-2,41
Konstruktie 3, talud 1:3	P45	3,23	9,15	14,78	1,98	1,55	31	1,44			2,65	4,28	1,70	10,28	+	33	-8,43	-0,92	-0,57	+17,80	+1,95	-8,10	-0,89

Tabel 4.3 Filmproeven: Egmond-spectrum

	proef	L_{op}	H_{si}	$H_{1\%}$	ξ_{oip}	ξ_{oiz}	r	T_p	T_z	$\frac{T_p}{T_z}$	$\frac{H_{si}}{\Delta D}$	$\frac{H_{1\%}}{\Delta D}$	schade	schade rijnr.	plaats schade		
															x	$\frac{x}{H_i}$	$\frac{x}{H_{1\%}}$
Konstruktietype 1, talud 1:3	173	1,96	5,52	8,36	1,99	1,81	28	1,12	1,02	1,10	1,94	2,94	+	30	-4,55	-0,82	-0,54
	174	1,96	4,90	7,12	2,11	1,92	31	1,12	1,02	1,10	1,73	2,51	(+)		-0,65	-0,13	-0,09
	175	1,98	6,22	9,19	1,87	1,70	27	1,12	1,02	1,10	2,19	3,24	+	25-31	-5,85	-0,94	-0,64
	176	3,60	5,56	7,99	2,68	2,28	42	1,52	1,29	1,18	1,96	2,81	(+)		-4,55	-0,82	-0,57
	177	3,60	6,27	8,89	2,53	2,14	38	1,52	1,29	1,18	2,21	3,13	+	30-31	-5,85	-0,93	-0,66
	178	5,99	4,27	6,00	3,95	3,26	61	1,98	1,62	1,21	1,50	2,11	(+)		-5,85	-1,37	-0,98
	179	5,99	5,10	7,47	3,61	3,00	59	1,96	1,63	1,20	1,80	2,63	+	31	-5,85	-1,15	-0,78
	180	5,99	5,85	8,32	3,37	2,81	55	1,96	1,63	1,20	2,06	2,92	+	30-32	-5,85	11,00	-0,70
	181	11,29	4,53	6,19	5,26	4,52	78	2,69	2,31	1,16	1,60	2,18	-				
	182	15,48	6,87	9,46	5,00	3,92	78	3,15	2,47	1,28	2,42	3,33	+	39-42	-1,622	-2,36	-1,71
	184	14,49	5,96	8,32	5,20	4,26	80	3,10	2,50	1,24	2,10	2,93	-				
	185	15,48	7,64	11,08	4,74	3,69	76	3,15	2,45	1,29	2,69	3,90	+	25-43	-11,04	-1,45	-1,00
	186	27,65	8,48	16,35	6,02	4,23	81	4,21	2,96	1,42	2,99	5,76	+	34-40	-11,04	-1,30	-0,67
	187	27,65	6,52	12,68	6,86	4,92	84	4,21	3,02	1,39	2,30	4,46	(-)				
	188	27,65	7,55	14,31	6,38	4,55	82	4,21	3,00	1,40	2,66	5,04	+	39	-16,22	-2,15	-1,13
	189	40,89	9,02	17,15	7,10	4,51	85	5,12	3,25	1,57	3,18	6,04	+	39-45	-16,22	-1,80	-0,94
	190	40,89	8,13	15,50	7,48	4,76	86	5,12	3,26	1,57	2,86	5,46	+	36-48	-27,88	-3,43	-1,80
	191	40,89	7,13	13,40	7,98	5,25	86	5,12	3,37	1,52	2,51	4,72	-				
	192	86,58	7,90	13,05	11,03	7,29	92	7,45	4,92	1,51	2,78	4,60	-				
	193	86,58	9,70	17,17	9,98	6,03	89	7,45	4,51	1,65	3,42	6,05	+	36-48	-27,88	-2,87	-1,62
	194	86,58	8,88	15,53	10,41	6,55	90	7,45	4,69	1,59	3,13	5,47	+	37	-13,63	-1,53	-0,88
Konstruktietype 2, talud 1:3	195	1,96	5,48	8,35	1,99	1,81	31	1,12	1,02	1,10	2,37	3,60	(+)	27	-0,65	-0,12	-0,08
	196	1,99	6,23	9,54	1,88	1,70	29	1,13	1,02	1,11	2,70	4,11	+	30-31	-5,83	-0,94	-0,61
	197	1,99	6,96	11,14	1,78	1,63	28	1,13	1,03	1,10	3,02	4,80	+	30-31	-5,83	-0,94	-0,52
	198	3,65	6,86	10,74	2,43	2,13	42	1,53	1,34	1,14	2,97	4,63	+	27-32	-7,13	-1,04	-0,66
	199	3,65	5,39	8,75	2,74	2,40	51	1,53	1,34	1,14	2,33	3,77	+	28-31	-5,83	-1,08	-0,67
	200	3,65	4,49	7,16	3,01	2,63	56	1,53	1,34	1,14	1,95	3,09	+	31	-5,83	-1,30	-0,81
	201	3,65	3,67	5,57	3,33	2,91	61	1,53	1,34	1,13	1,59	2,40	-				
	202	6,05	4,78	8,35	3,75	3,20	67	1,97	1,68	1,17	2,07	3,60	+	30-33	-7,13	-1,49	-0,85
	203	6,05	3,95	7,16	4,13	3,52	71	1,97	1,68	1,17	1,71	3,09	+	32	-7,13	-1,81	-1,00
	204	6,05	2,97	5,57	4,76	4,06	74	1,97	1,68	1,17	1,29	2,40	-				
	205	13,85	6,41	11,53	4,90	4,19	84	2,98	2,55	1,17	2,78	4,97	(+)	32	-7,13	-1,11	-0,62
	206	13,85	6,88	11,67	4,73	3,97	84	2,98	2,50	1,19	2,98	5,03	(+)	41-42	-20,10	-2,92	-1,72
	207	13,85	7,63	13,28	4,49	3,77	82	2,98	2,50	1,19	3,31	5,72	+	32-44	-20,10	-2,63	-1,51
	208	23,48	8,31	16,19	5,60	4,23	86	3,88	2,93	1,32	3,60	6,98	+	34-43	-21,39	-2,57	-1,32
	209	23,48	6,03	11,21	6,58	5,04	87	3,88	2,97	1,31	2,61	3,84	(-)				
	210	23,48	7,22	14,12	6,01	4,57	86	3,88	2,95	1,32	3,13	6,09	+	41-43	-23,99	-3,32	1,70
	211	22,88	7,89	11,21	5,68	4,36		3,83	2,94	1,30	3,42	4,83					

Tabel 5.1 Schade zoeken: Jonswap-spectrum

	proef	L _{op}	H _{sl}	H _{1%}	ξ_{oip}	ξ_{oiz}	r	T _p	T _z	$\frac{T_p}{T_z}$	$\frac{H_{sl}}{\Delta D}$	$\frac{H_{1\%}}{\Delta D}$	schade	schade rijnr.	plaats schade		
															x	$\frac{x}{H_i}$	$\frac{x}{H_{1\%}}$
Konstruktietype 2, talud 1:3	262	1,59	6,98	10,40	1,59	1,35	28	1,01	0,86	1,17	3,01	4,48	-				
	263	1,59	7,70	11,37	1,52	1,32	25	1,01	0,88	1,15	3,32	4,90	+	30	-4,54	-0,59	-0,40
	264	1,59	8,29	12,19	1,46	1,27	26	1,01	0,88	1,15	3,57	5,25	+	29-30	-3,24	-0,39	-0,27
	265	2,03	5,60	8,78	2,01	1,60	34	1,14	0,91	1,25	2,41	3,78	-				
	266	2,03	6,48	10,08	1,86	1,50	31	1,14	0,92	1,24	2,79	4,34	-				
	267	2,03	7,36	11,37	1,75	1,43	29	1,14	0,93	1,23	3,17	4,90	+	29	-3,24	-0,44	-0,28
	268	2,03	8,14	12,51	1,66	1,37	26	1,14	0,94	1,21	3,51	5,39	+	28-30	-1,94	-0,24	-0,16
	269	15,68	5,19	9,59	5,79	4,20	89	3,17	2,30	1,38	2,23	4,13	-				
	270	15,68	6,10	11,21	5,34	3,84	88	3,17	2,28	1,39	2,63	4,83	+	38	-14,91	-2,44	-1,33
	271	15,68	6,91	12,68	5,02	3,61	87	3,17	2,28	1,39	2,98	5,47	+	31	-5,83	-0,84	-0,46

Tabel 5.1 Vervolg schade zoeken: Jonswap-spectrum

	proef	L _{op}	H _{sl}	H _{1%}	ξ_{oip}	ξ_{oiz}	r	T _p	T _z	$\frac{T_p}{T_z}$	$\frac{H_{sl}}{\Delta D}$	$\frac{H_{1\%}}{\Delta D}$	schade	schade rijnr.	plaats schade		
															x	$\frac{x}{H_i}$	$\frac{x}{H_{1\%}}$
Konstruktie 3, talud 1:3	212	3,70	7,28	11,08	2,38	2,01	39	1,54	1,30	1,18	2,12	3,21	(-)				
	213	3,70	8,71	13,15	2,17	1,83	34	1,54	1,30	1,18	2,54	3,81	(-)				
	214	3,70	10,18	15,20	2,01	1,70	30	1,54	1,30	1,18	2,96	4,40	(+)	32-34	-9,72	-0,95	-0,64
	215	3,70	9,42	13,98	2,09	1,76	32	1,54	1,30	1,18	2,74	4,05	(+)	33	-8,43	-0,89	-0,60
Konstruktietype 1, talud 1:6	216	2,03	5,50	8,20	1,01	0,90	14	1,14	1,00	1,14	1,95	2,89	(-)				
	217	2,03	6,84	10,67	0,91	0,81	14	1,14	1,01	1,13	2,43	3,76	(+)	13	-5,06	-0,73	-0,47
	218	2,03	6,16	9,84	0,96	0,85	12	1,14	1,01	1,13	2,19	3,46	(+)	13	-5,06	-0,81	-0,51
	219	2,03	7,53	12,31	0,86	0,77	13	1,14	1,01	1,13	2,67	4,33	(+)	12-14	-5,06	-0,67	-0,41
	220	2,03	8,04	12,71	0,84	0,74	13	1,14	1,02	1,13	2,86	4,48	+	9-15	-4,38	-0,54	-0,34
	221	3,60	6,00	9,02	1,29	1,06	14	1,52	1,25	1,22	2,14	3,18	(+)	12-16	-4,38	-0,73	-0,49
	222	3,60	4,48	6,56	1,49	1,23	15	1,52	1,26	1,21	1,59	2,31	(+)	11-14	-3,71	-0,83	-0,57
	223	3,60	2,84	4,10	1,88	1,54	19	1,52	1,26	1,21	1,02	1,44	-				
	224	3,60	3,67	4,92	1,65	1,36	16	1,52	1,25	1,22	1,31	1,73	-				
	225	6,12	3,77	5,32	2,12	1,70	23	1,98	1,59	1,25	1,36	1,87	(-)				
	226	6,12	4,49	6,56	1,95	1,56	21	1,98	1,58	1,25	1,62	2,31	(+)	12-14	-5,73	-1,28	-0,87
	227	15,09	2,95	4,94	3,77	3,01	54	3,11	2,46	1,26	1,18	1,74	-				
	228	15,09	4,40	6,56	3,09	2,46	47	3,11	2,49	1,25	1,71	2,31	+	16-20	-7,75	-1,76	-1,18
	229	15,09	3,71	5,74	3,36	2,68	50	3,11	2,48	1,25	1,46	2,02	+	18	-8,43	-2,27	-1,47
	230	26,35	4,02	6,98	4,27	3,33	65	4,11	3,22	1,28	1,69	2,46	-				
	231	26,35	4,87	8,20	3,88	3,03	62	4,11	3,22	1,28	2,02	2,89	+	21	-10,45	-2,15	-1,27
	232	26,35	5,59	9,84	3,62	2,83	60	4,11	3,21	1,28	1,94	3,46	+	4-25	-9,77	-1,75	-0,99

Tabel 5.2 Schade zoeken: Jonswap-spectrum

	proef	L_{op}	H_{si}	$H_{1\%}$	ξ_{oip}	ξ_{oiz}	r	T_p	T_z	$\frac{T_p}{T_z}$	$\frac{H_{si}}{\Delta D}$	$\frac{H_{1\%}}{\Delta D}$	\bar{J}_1	\bar{J}_2	schade rijnr.	plaats schade			golfoploop		golfterugloop	
																x	$\frac{x}{H_{si}}$	$\frac{x}{H_{1\%}}$	$R_{u2\%}$	$\frac{R_{u2\%}}{H_{si}}$	$R_{d2\%}$	$\frac{R_{d2\%}}{H_{si}}$
Konstruktietype 1, talud 1:3	P13	1,96	6,22	9,19	1,87	1,70	27	1,12	1,02	1,10	2,19	3,24	1,68	12,49	+	30-31	-5,85	-0,94	-0,64			
	P14	3,60	6,27	8,89	2,53	2,13	38	1,52	1,28	1,19	2,21	3,13	1,65	12,70	+	28-31	-5,85	-0,93	-0,66			
	P15	5,99	5,85	8,32	3,37	2,81	55	1,96	1,63	1,20	2,06	2,93	1,55	11,60	+	30-35	-5,85	-1,00	-0,70			
	P16	15,48	7,64	11,06	4,74	3,67	76	3,15	2,44	1,29	2,69	3,89	1,78	12,84	+	31-41				+19,10	+2,50	-22,08
	P20	27,65	8,48	16,35	6,02	4,22	81	4,21	2,95	1,43	2,99	5,76	1,66	13,11	+	39-48				+24,00	+2,83	-21,00
	P21	40,89	9,02	17,15	7,10	4,54	85	5,12	3,27	1,57	3,18	6,04	1,22	8,15	+	38-44				+22,80	+2,53	-21,30
	P22	86,58	9,70	17,17	9,96	5,63	89	7,45	4,21	1,77	3,42	6,05	1,37	8,85	+	38-41				+30,00	+3,09	-18,20
Konstruktietype 2, talud 1:3	P24	1,99	6,86	11,27	1,80	1,64	28	1,13	1,03	1,10	2,96	4,86	1,64	12,14	+	30-31	-5,83	-0,85	-0,52	+12,40	+1,81	-4,10
	P25	3,65	5,07	8,05	2,83	2,44	51	1,53	1,32	1,16	2,19	3,47	1,81	13,42	+	31-32	-5,83	-1,15	-0,72	+12,40	+2,45	-6,05
	P26	6,12	4,91	8,85	3,72	3,18	67	1,98	1,69	1,17	2,12	3,81	1,47	11,09	+	30-35	-9,72	-1,98	-1,10	+14,10	+2,87	-8,50
	P35	22,88	8,04	16,62	5,62	4,30	86	3,83	2,93	1,31	3,47	7,16	1,28	8,05	+	35-40	-17,50	-2,17	-1,05	+22,20	+2,67	-19,50
	P36	13,85	7,41	12,42	4,56	3,73	81	2,98	2,44	1,22	3,20	5,35	1,54	11,21	+	32-42	-11,02	-1,49	-0,89	+21,10	+2,85	-17,00
Konstruktietype 3, talud 1:3	P44	3,70	10,13	15,22	2,01	1,70	30	1,54	1,30	1,18	2,93	4,41	1,72	12,91	+	32-33	-7,13	-0,70	-0,47	+20,40	+2,01	-8,70
Konstruktietype 1, talud 1:6	P46	2,03	7,44	11,89	0,87	0,78	13	1,14	1,02	1,13	2,62	4,19	1,62	12,09	+	12-16	-4,38	-0,59	-0,37	+6,55	+0,88	-1,90
	P47	3,60	5,29	7,38	1,38	1,14	14	1,52	1,26	1,21	1,86	2,60	1,59	11,63	+	15	-5,73	-1,08	-0,78	+6,50	+1,23	-2,00
	P48	6,12	4,55	6,56	1,93	1,55	21	1,98	1,59	1,25	1,60	2,31	1,53	10,04	+	13-14	-5,73	-1,26	-0,87	+7,60	+1,67	-3,00
	P54	15,09	4,53	6,57	3,04	2,41	46	3,11	2,46	1,26	1,60	2,31	1,67	12,75	+	17-19	-7,75	-1,71	-1,18	+11,10	+2,45	-6,10
	P55	27,65	5,59	9,45	3,71	2,84	59	4,21	3,23	1,30	1,97	3,33	1,49	11,52	+	20-25	-9,77	-1,75	-1,03	+15,85	+2,84	-10,35

Tabel 5.3 Filmproeven: Jonswap-spectrum

	regelmatige golven										
konstruktie/ talud	1			2		3		1		2	
	1:3			1:3		1:3		1:6		1:6	
proefnummer	4B,2C,2D	3E	5F	30,31,32	33,34	39,40	41,42,43	49,50,51	52,53	56,57,58	59,60
rijnummer											
1											
2											
3								11-1		11-1	
4								12-2		12-2	
5			16-6					11-1			11-1
6								13-3		13-3	
7								14-4	12-2	14-4	12-2
8											
9											
10											
11			17-7		10-1	10-1		15-5		15-5	
12								13-3			13-3
13								16-6		16-6	
14								17-7	14-4	17-7	14-4
15											
16											
17			18-8		11-2	11-2		18-8		18-8	
18								15-5			15-5
19								19-9		19-9	
20											
21	16-6								16-6		16-6
22											
23	17-7		19-9	10-1	12-3	12-3	10-1				
24								17-7			17-7
25	18-8	16-6		11-2			11-2				
26											
27	19-9	17-7		12-3			12-3		18-8		18-8
28	20-10			13-4			13-4				
29	21-11	18-8	20-10	14-5	13-4	13-4	14-5				
30								19-9			19-9
31	22-12	19-9		15-6			15-6				
32		20-10									
33	23-13	21-11		16-7			16-7				
34											
35	24-14	22-12	21-11	17-8	14-5	14-5	17-8				
36											
37	25-15	23-13		18-9			18-9				
38											
39		24-14									
40											
41		25-15	22-12		15-6	15-6					
42											
43											
44											
45											
46											
47			23-13		16-7	16-7					
48											
49											
50											
51											
52											
53			24-14		17-8	17-8					
54											
55											
56											
57											
58											
59											
60			25-15		18-9	18-9					

Tabel 6 Overzicht posities drukopnemers in de filmproeven

onregelmatige golven												
Egmond		JONSWAP		Egmond		JONSWAP		gem. JONSWAP		JONSWAP		type spectrum
1		1		2		2		3	3	1		konstruktie/
1:3		1:3		1:3		1:3		1:3	1:3	1:6		talud
4,7,17,19	8,9,23	13,14,15	16,20,21,22	27,28,29	37,38	24,25,26	35,36	45	44	46,47,48	54,55	proefnummer
16-6			16-6							11-1	11-1	rijnummer
												1
												2
												3
					10-1		10-1			12-2	12-2	4
												5
												6
												7
17-7			17-7		10-1		10-1			13-3	13-3	8
												9
												10
												11
18-8			18-8		11-2		11-2			14-4	14-4	12
												13
												14
												15
										15-5	15-5	16
												17
												18
												19
19-9	16-6	16-6	19-9	10-1	12-3	10-1	12-3			16-6	16-6	20
												21
												22
												23
	17-7	17-7						11-2	11-2	17-7	17-7	24
												25
												26
												27
20-10	18-8	18-8	20-10	12-3	13-4	12-3	13-4	12-3	12-3	18-8	18-8	28
												29
												30
												31
	19-9	19-9						13-4	13-4			32
												33
												34
												35
21-11	20-10	20-10	21-11	14-5	13-4	14-5	13-4	14-5	14-5	19-9	19-9	36
												37
												38
												39
	22-12	22-12						15-6	15-6			40
												41
												42
												43
22-12			22-12		15-6		15-6					44
												45
												46
												47
23-13			23-13		16-7		16-7					48
												49
												50
												51
												52
												53
												54
												55
24-14			24-14		17-8		17-8					56
												57
												58
												59
25-15			25-15		18-9		18-9					60

proef- nummer	plaats teruglooppeter (rijnummer)	plaats oplooppeter	
		pen 2 (rijnummer)	onderlinge afstand overige pennen
4B	24-48	26	5 cm
2C	24-48	26	5 cm
2D	24-48	26	5 cm
3E	24-48	26	5 cm
5F	24-48	26	3x5 cm, 10x10 cm
30	24-48	26	13x5 cm
31	24-48	26	13x5 cm
32	24-48	26	13x5 cm
33	24-48	26	3x5 cm, 7x10 cm, 1x15 cm, 1x5 cm, 1x10 cm
34	24-48	26	3x5 cm, 7x10 cm, 1x15 cm, 1x5 cm, 1x10 cm
39	24-48	26	3x5 cm, 10x10 cm
40	24-48	26	3x5 cm, 10x10 cm
41	24-48	26	13x5 cm
42	24-48	26	13x5 cm
43	24-48	26	13x5 cm
49	4-28	5	13x5 cm
50	4-28	5	13x5 cm
51	4-28	5	13x5 cm
52	4-28	5	9x10 cm
53	4-28	5	9x10 cm
56	4-28	5	13x5 cm
57	4-28	5	13x5 cm
58	4-28	5	13x5 cm
59	4-28	5	9x10 cm
60	4-28	5	9x10 cm
4	24-48	26	3x5 cm, 10x10 cm
7	24-48	26	3x5 cm, 10x10 cm
17	24-48	26	3x5 cm, 10x10 cm
19	24-48	26	3x5 cm, 10x10 cm
8	24-48	26	13x5 cm
9	24-48	26	13x5 cm
23	24-48	26	13x5 cm
13	24-48	26	13x5 cm
14	24-48	26	13x5 cm
15	24-48	26	13x5 cm
16	24-48	26	3x5 cm, 10x10 cm
20	24-48	26	3x5 cm, 10x10 cm
21	24-48	26	3x5 cm, 10x10 cm
22	24-84	26	3x5 cm, 10x10 cm
27	24-48	26	13x5 cm
28	24-48	26	13x5 cm
29	24-48	26	13x5 cm
37	24-48	26	3x5 cm, 7x10 cm, 1x15 cm, 1x5 cm, 1x10 cm
38	24-48	26	3x5 cm, 7x10 cm, 1x15 cm, 1x5 cm, 1x10 cm
24	24-48	26	13x5 cm
25	24-48	26	13x5 cm
26	24-48	26	13x5 cm
35	24-48	26	3x5 cm, 7x10 cm, 1x15 cm, 1x5 cm, 1x10 cm
36	24-48	26	3x5 cm, 7x10 cm, 1x15 cm, 1x5 cm, 1x10 cm
45	24-48	26	10x5 cm, 3x10 cm
44	24-48	26	10x5 cm, 3x10 cm
46	4-28	5	13x5 cm
47	4-28	5	13x5 cm
48	4-28	5	13x5 cm
54	4-28	5	9x10 cm
55	4-28	5	9x10 cm

Tabel 7 Plaats golfteruglooppeter en golfoplooppeter tijdens filmproeven

constructie- type	talud- helling	proef nr.	spectrum- type	aantal golven	aantal golven boven schadelijn	percentage golven boven schadelijn
1	1:3	4	Egmond	472	61	13
1	1:3	12	Egmond	1375	173	13
1	1:3	17	Egmond	431	86	20
1	1:3	13	Jonswap	1491	200	13
1	1:3	20	Jonswap	474	41	9
1	1:3	21	Jonswap	435	66	15
2	1:3	27	Egmond	1469	204	14
2	1:3	28	Egmond	757	146	19
2	1:3	38	Egmond	479	37	8
2	1:3	24	Jonswap	1476	273	18
2	1:3	26	Jonswap	668	113	17
2	1:3	35	Jonswap	471	54	11
3	1:3	45	Egmond	963	10	1
3	1:3	44	Jonswap	943	23	2
1	1:6	46	Jonswap	1485	142	10
1	1:6	55	Jonswap	463	20	4

Tabel 8 Aantallen en percentages golven uit onregelmatig golfveld dat boven
schadelijn van regelmatige golven ligt

constructietype 1 op talud 1:3		constructietype 2 op talud 1:6
ξ_{oi} of ξ_{oiz}	Egmond $\frac{H_i}{\Delta D} / \frac{H_{si}}{\Delta D} =$	Jonswap $\frac{H_i}{\Delta D} / \frac{H_{si}}{\Delta D} =$
1,00		2,6/2,0 = 1,3
1,50		2,2/1,6 = 1,4
1,75		2,3/1,6 = 1,4
2,00	2,1/1,6 = 1,3	2,1/2,0 = 1,1
2,50	2,0/1,5 = 1,3	2,0/2,0 = 1,0
3,00	2,0/1,5 = 1,3	2,0/1,8 = 1,1
3,25	2,4/1,5 = 1,6	2,4/2,0 = 1,2
3,50	3,2/1,5 = 2,1	3,2/2,1 = 1,5
3,50	4,8/1,5 = 3,2	4,8/2,1 = 2,3
4,00	4,6/2,1 = 2,2	4,6/2,4 = 1,9
4,50	4,6/2,7 = 1,7	4,6/2,6 = 1,8

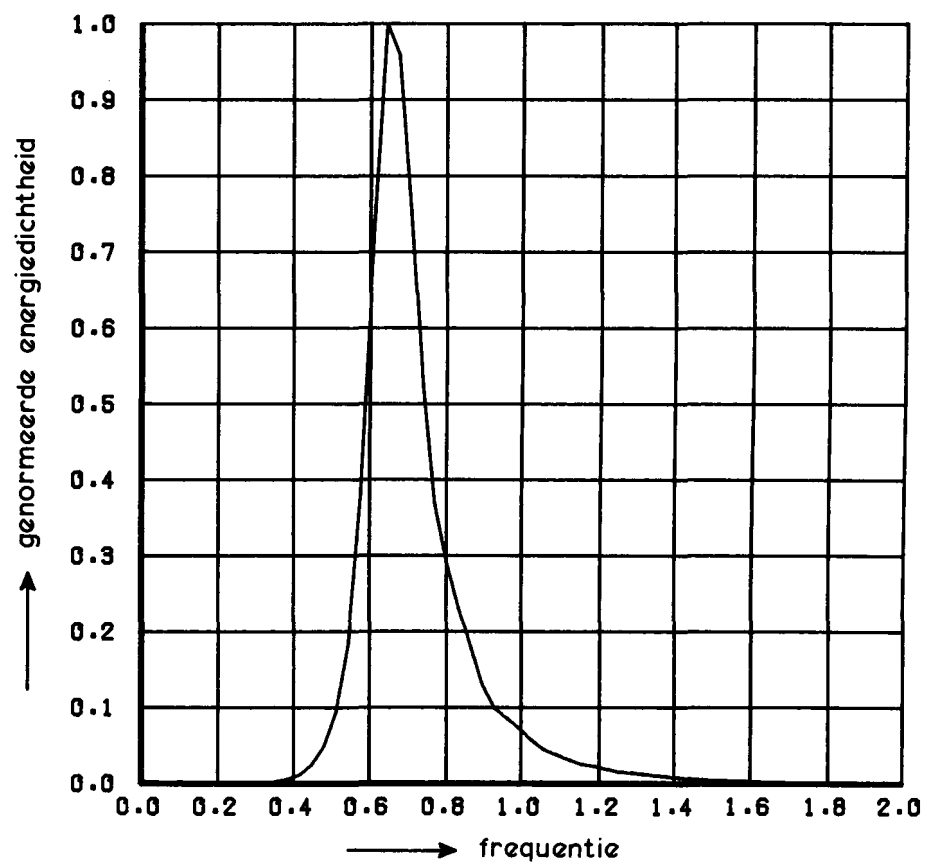
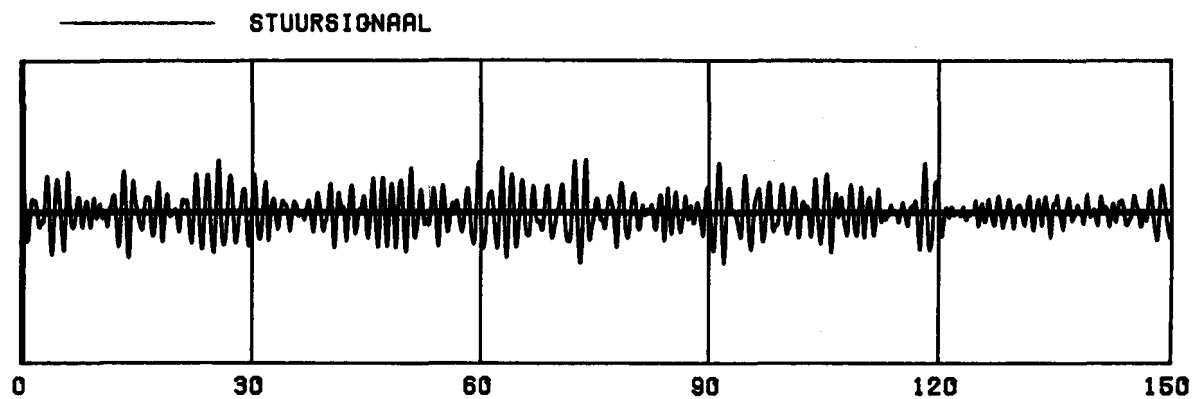
constructietype 2 op talud 1:3	
ξ_{oi} of ξ_{oiz}	Egmond $\frac{H_i}{\Delta D} / \frac{H_{si}}{\Delta D} =$
1,50	4,0/3,0 = 1,3
2,00	3,2/1,9 = 1,7
2,50	2,2/1,6 = 1,4
3,00	2,2/1,8 = 1,2
3,50	3,0/2,1 = 1,4
4,00	5,2/2,4 = 2,2
4,50	5,4/3,0 = 1,8

constructietype 3 op talud 1:3	
ξ_{oi} of ξ_{oiz}	Egmond $\frac{H_i}{\Delta D} / \frac{H_{si}}{\Delta D} =$
1,75	3,8/2,5 = 1,5

Tabel 9 Verhoudingen $\frac{H_i}{\Delta D} / \frac{H_{si}}{\Delta D}$

Proef	Constr. type	Taludhelling	Belasting	$\xi_{0,1}(p)$	Schade		Waargenomen mechanisme		Opmerkingen
					Plaats (rij)	Mechanisme	Plaats (rij)	Mechanisme	
P4B	1	1:3	regelm.	1.7	31	c	31,28	e, f, g	waargenomen schade in rij 31 niet uit verschildrukken af te leiden CMV in rij 53 (CMV = constant maximum in verschildruk) CMV in rij 53 CMV in rij 53
P2C	1	1:3	regelm.	2.3	30-32	c			
P2D	1	1:3	regelm.	3.0	33	c	33	h	
P3E	1	1:3	regelm.	3.5	31	?	39-37	c	
P5F	1	1:3	regelm.	4.0	25?	?	52	b	CMV in rij 53 CMV in rij 51, omvangrijke schade niet uit verschildrukken te verklaren
P004	1	1:3	Egmond	5.3	33	c	53	b	
P007	1	1:3	Egmond	5.4	39	?	53,35	b,c (resp.)	
P008	1	1:3	Egmond	3.6	29	c,g,h			
P009	1	1:3	Egmond	2.4	31	c,g			CMV in rij 53 CMV in rij 51, omvangrijke schade niet uit verschildrukken te verklaren
P017	1	1:3	Egmond	7.0	32	?	53	b	
P019	1	1:3	Egmond	9.5	26 (twijfel)	?	51	b	
P013	1	1:3	Jonswap	1.9	31	c			
P014	1	1:3	Jonswap	2.5	31	c	31	e,f	CMV in rij 53 CMV in rij 53 CMV in rij 53
P015	1	1:3	Jonswap	3.4	31	c,h			
P016	1	1:3	Jonswap	4.7	31	?			
P020	1	1:3	Jonswap	6.0	39	c	53	b	
P021	1	1:3	Jonswap	7.1	40	c,h	53	b	CMV in rij 52
P022	1	1:3	Jonswap	10.0	39	e in 41	53	b	
P030	2	1:3	regelm.	2.0	31	c		b,a,h	
P031	2	1:3	regelm.	2.4	30	c,e in 31	27	b	
P032	2	1:3	regelm.	3.4	33	c,h			mogelijk schade in rij 18 i.p.v. 19
P033	2	1:3	regelm.	3.6	41	c,h			
P034	2	1:3	regelm.	4.7	44	c	41	g	
							44	h	
P040	3	1:3	regelm.	2.5	33	?	49 à 50 29,35,41	e,f,g e,g	
P041	3	1:3	regelm.	2.3	34	c			
P042	3	1:3	regelm.	1.7	33	b,e,f	29	c	
P043	3	1:3	regelm.	1.3	32	c	27,28,29	e,f,g	
P056	2	1:6	regelm.	1.0	10	c,b			
P057	2	1:6	regelm.	1.3	11	c,g			
P058	2	1:6	regelm.	1.8	13	b,c,e,f			
P059	2	1:6	regelm.	2.4	19	c			
P060	2	1:6	regelm.	3.1	23	?	15-24	b,c	

Tabel 10 Overzicht opgetreden schademechanismen

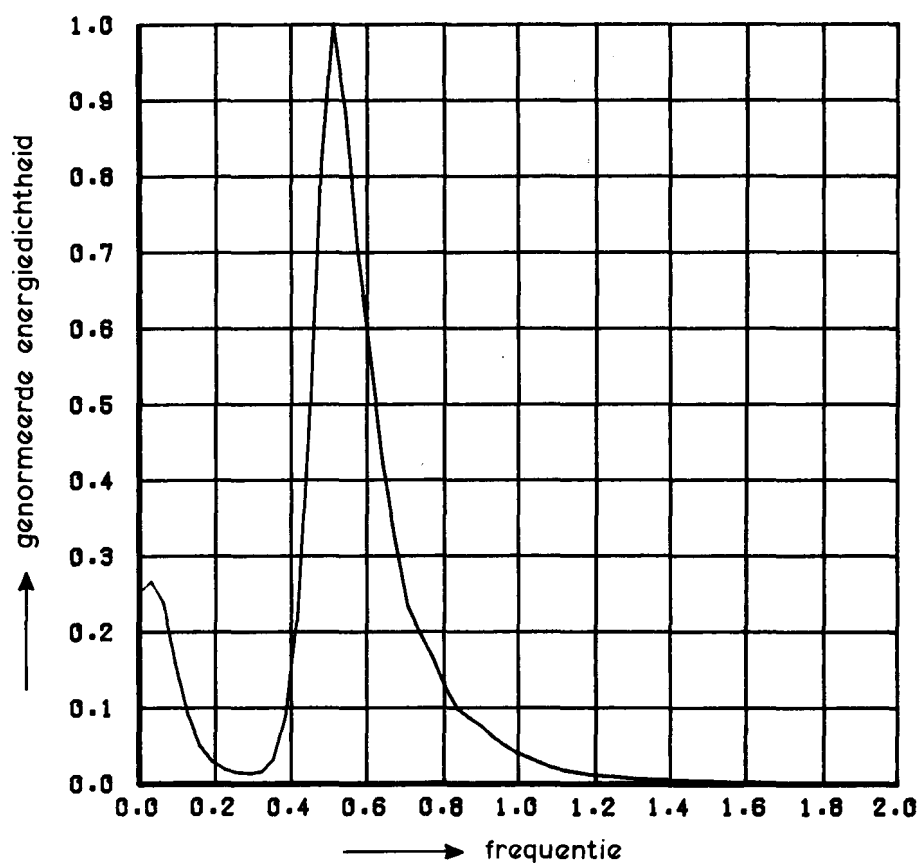
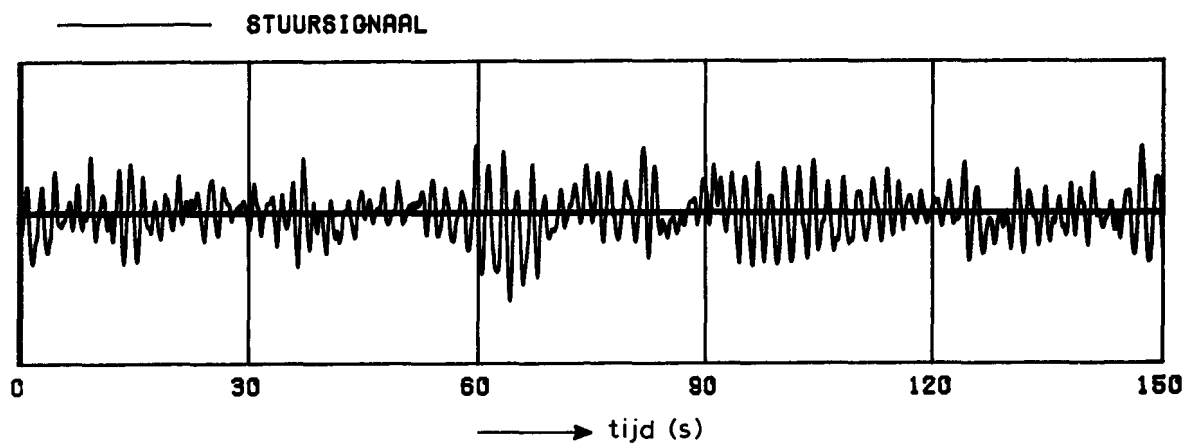


EGMOND SPECTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 1

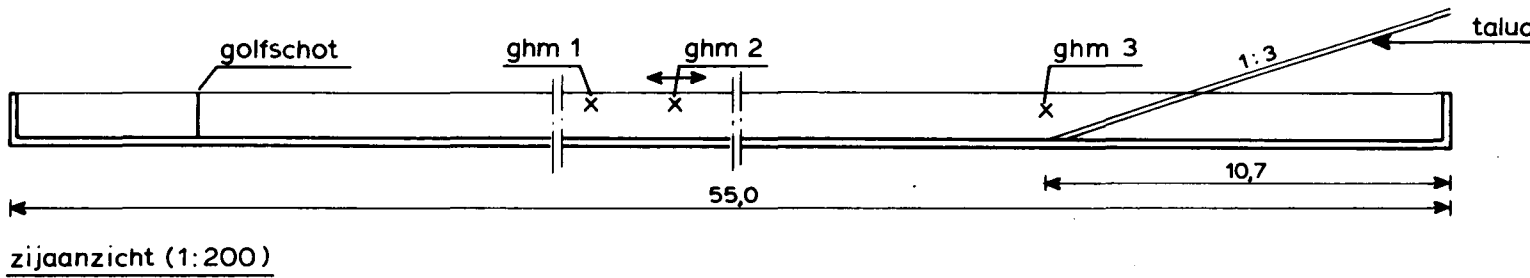
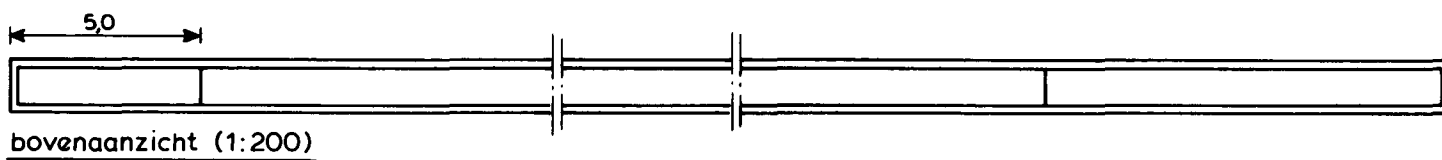


JONSWAP SPECTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

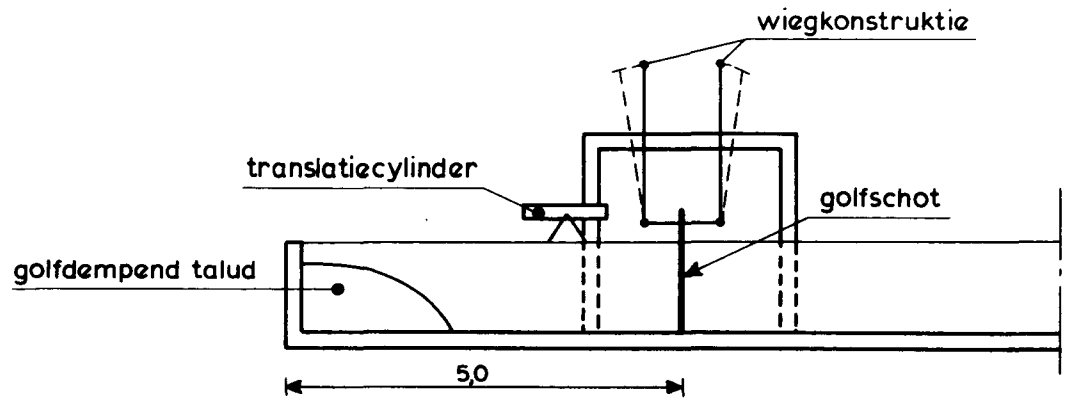
M 1881

FIG. 2



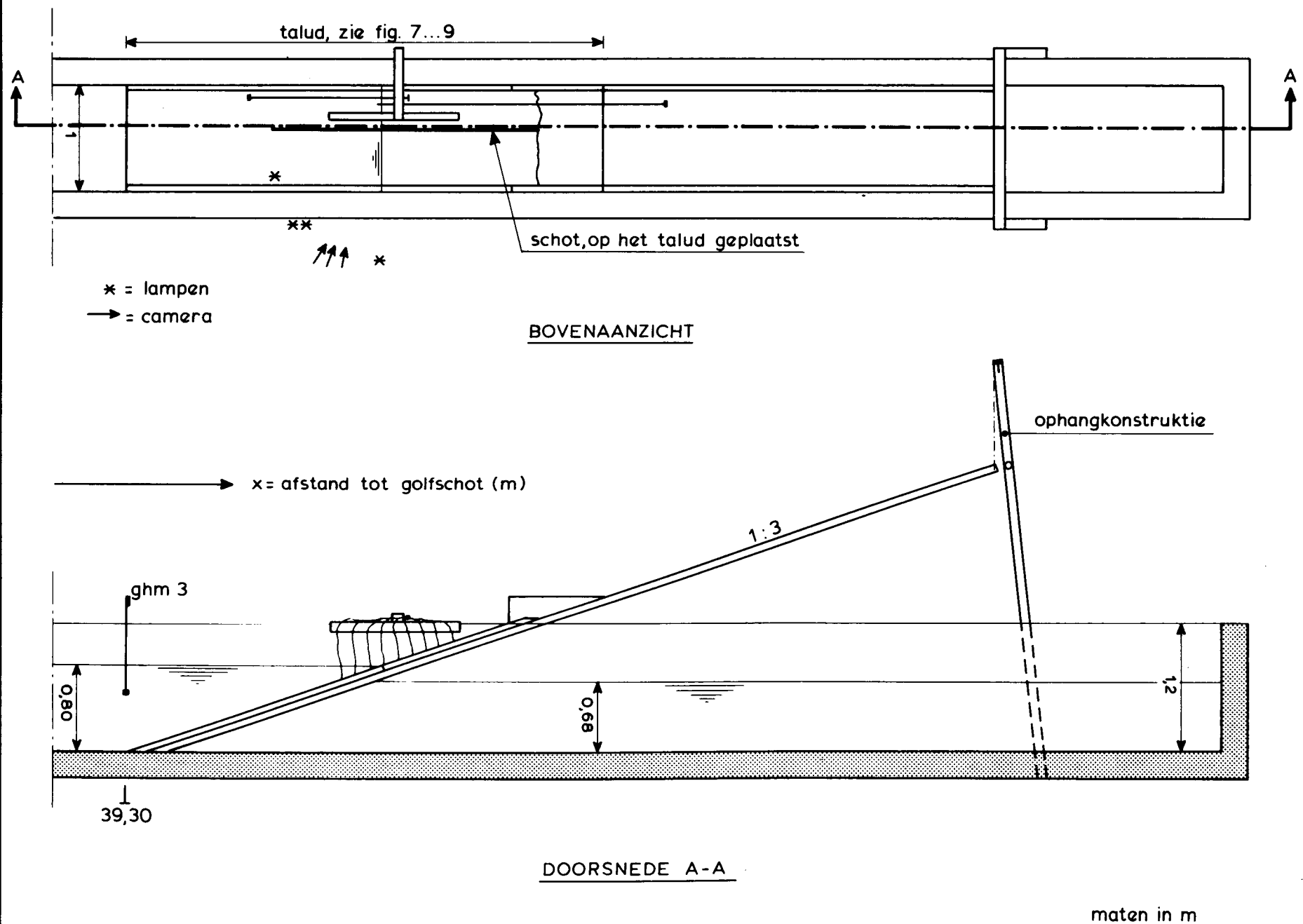
golfhoogtemeter 1 op 19,65 m van het golfshot
 golfhoogtemeter 2 op 39,30 m van het golfshot (= teen talud)
 golfhoogtemeter 3 op 19,65 m + $\Delta \ell$ van het golfshot

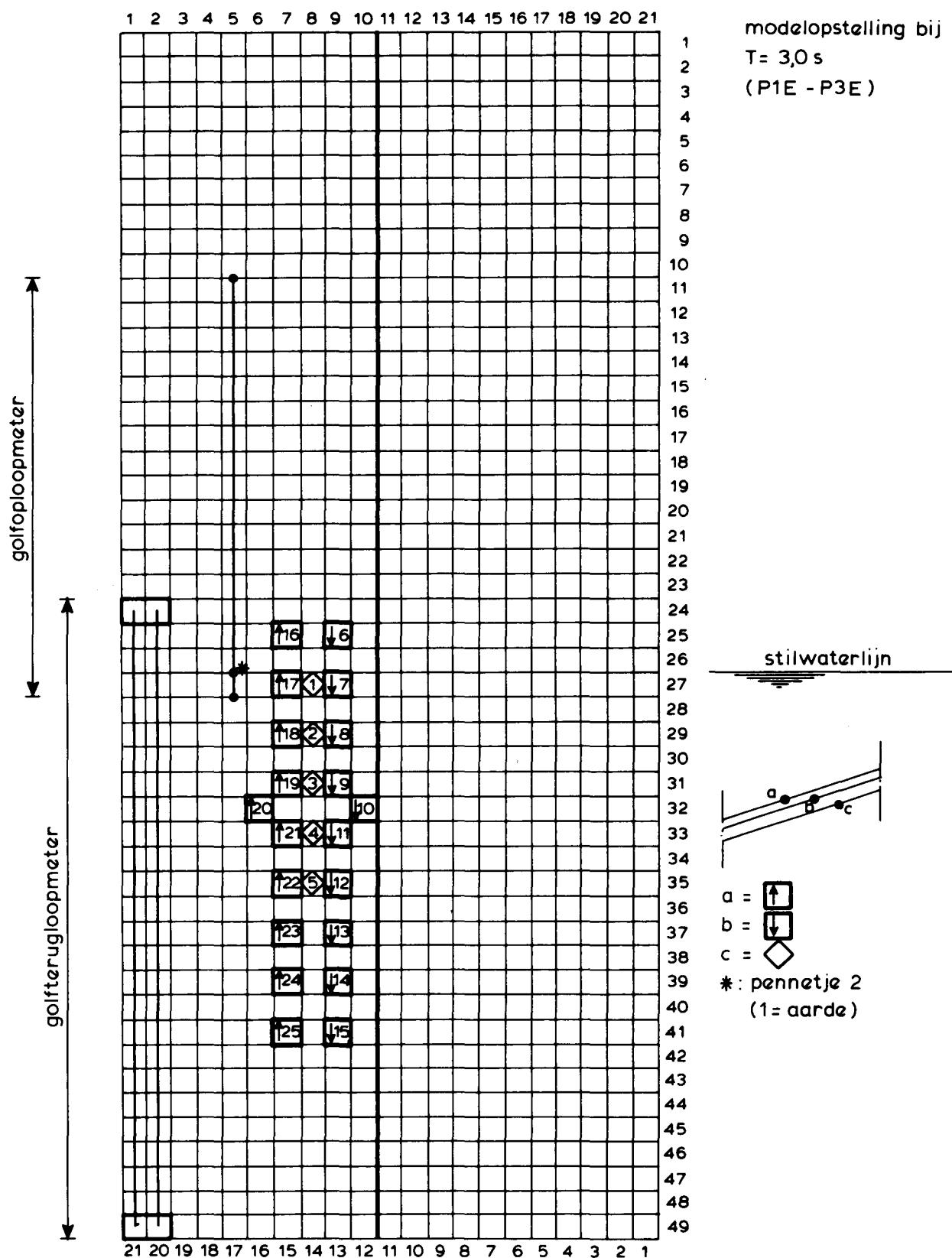
SCHELDEGOOT schaal 1:200



maten in m

SCHAAL 1:50



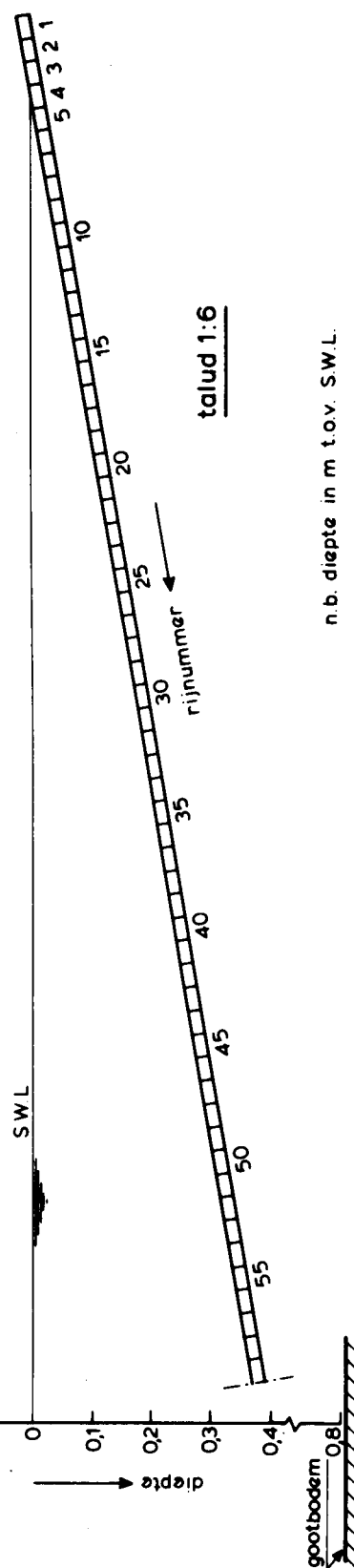
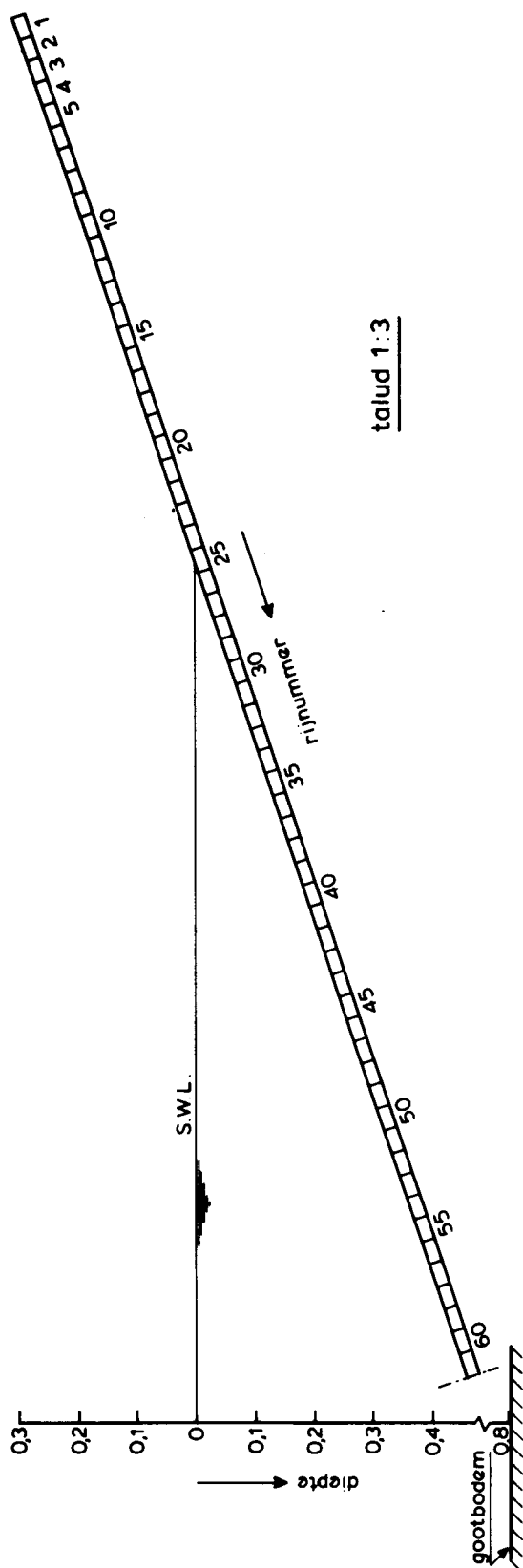


NUMMERING RIJEN EN KOLOMMEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 5 a



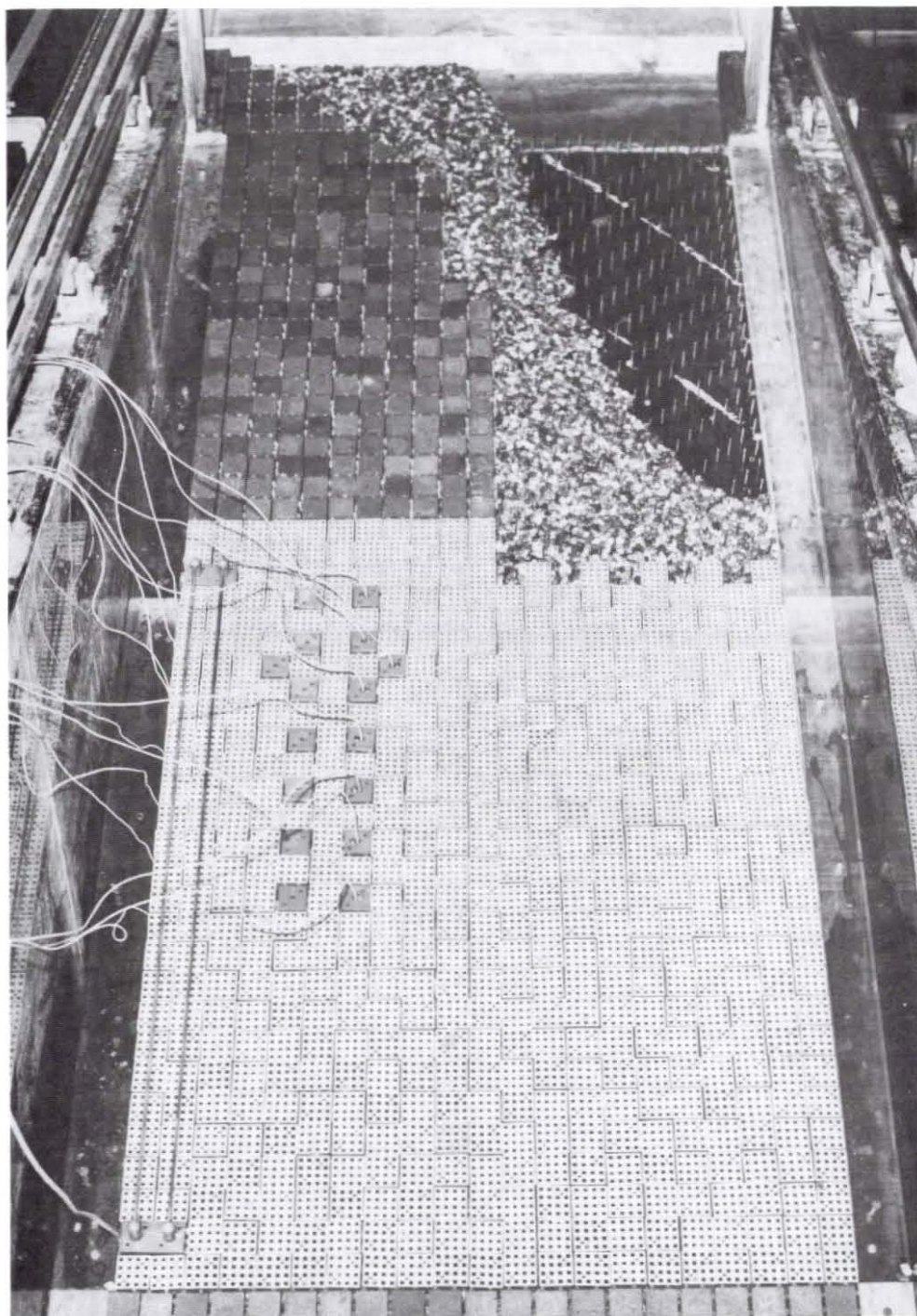
n.b. diepte in m t.o.v. S.W.L.

POSITIE BLOKKEN TEN OPZICHTE VAN S.W.L.

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 5 b

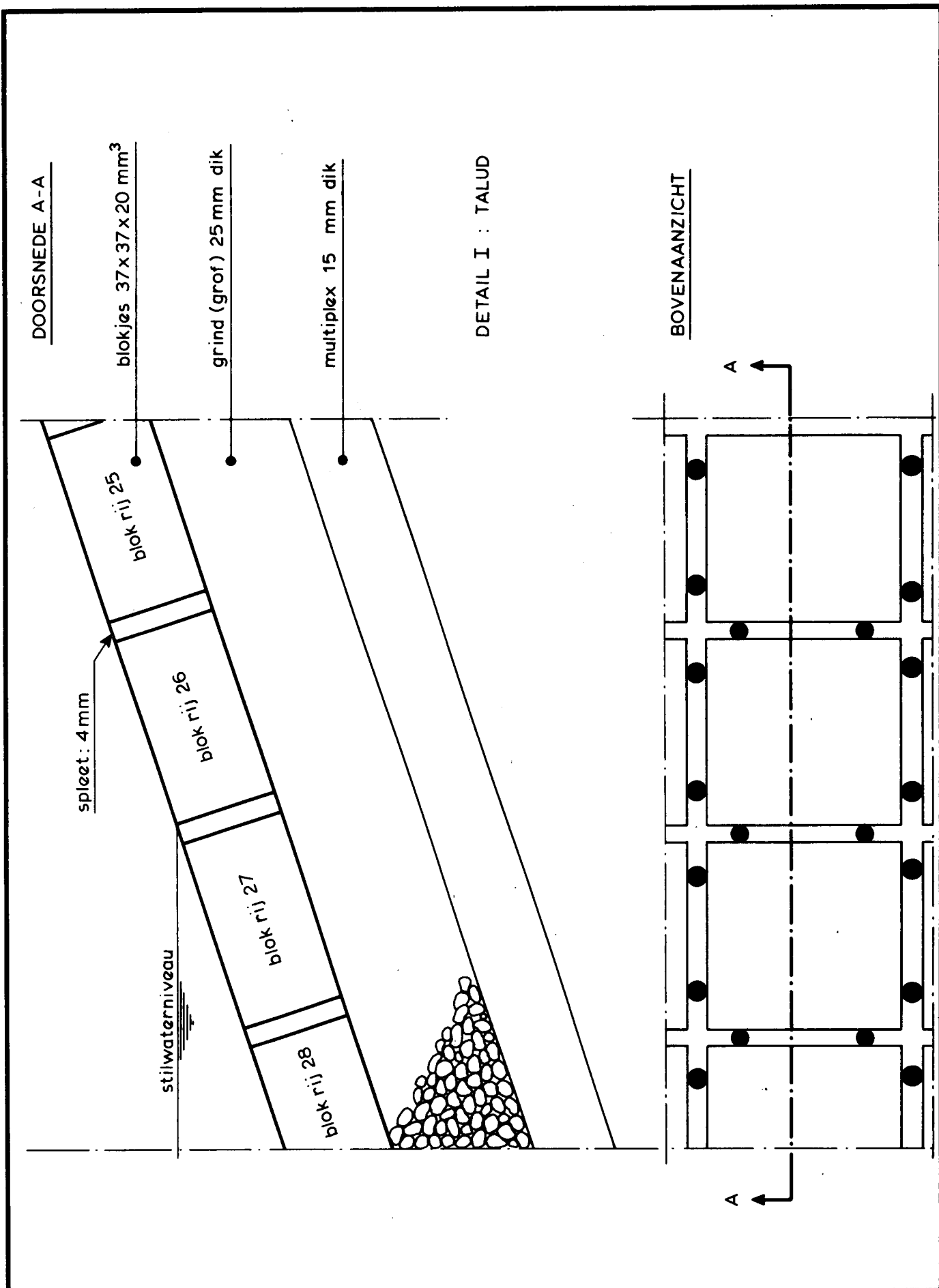


BOVENAANZICHT TALUD

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

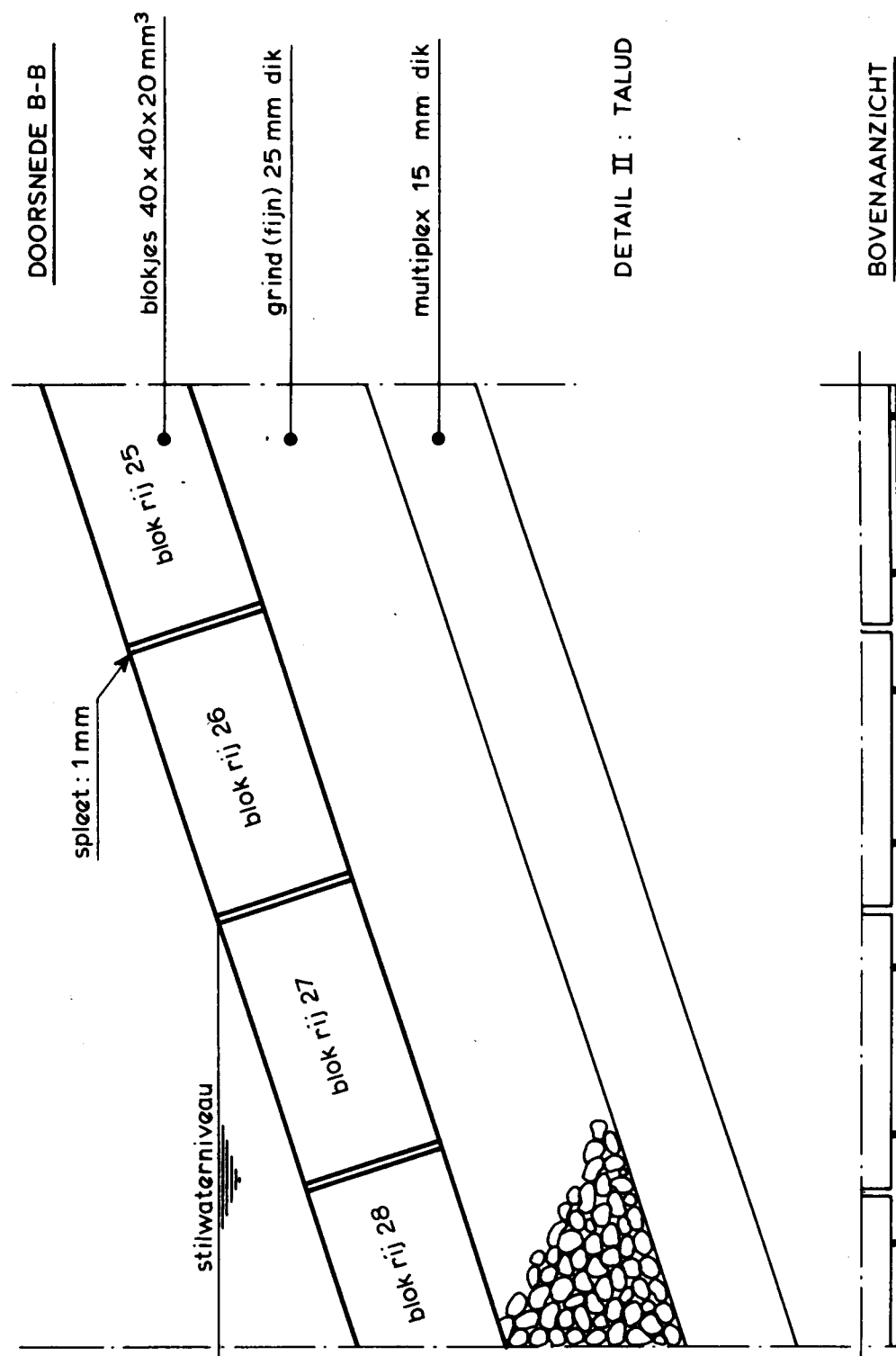
M 1881

FIG. 6



KONSTRUKTIE 1 : DETAIL TALUD MET BLOKKEN
 $0,037 \times 0,037 \times 0,02 \text{ M}^3$

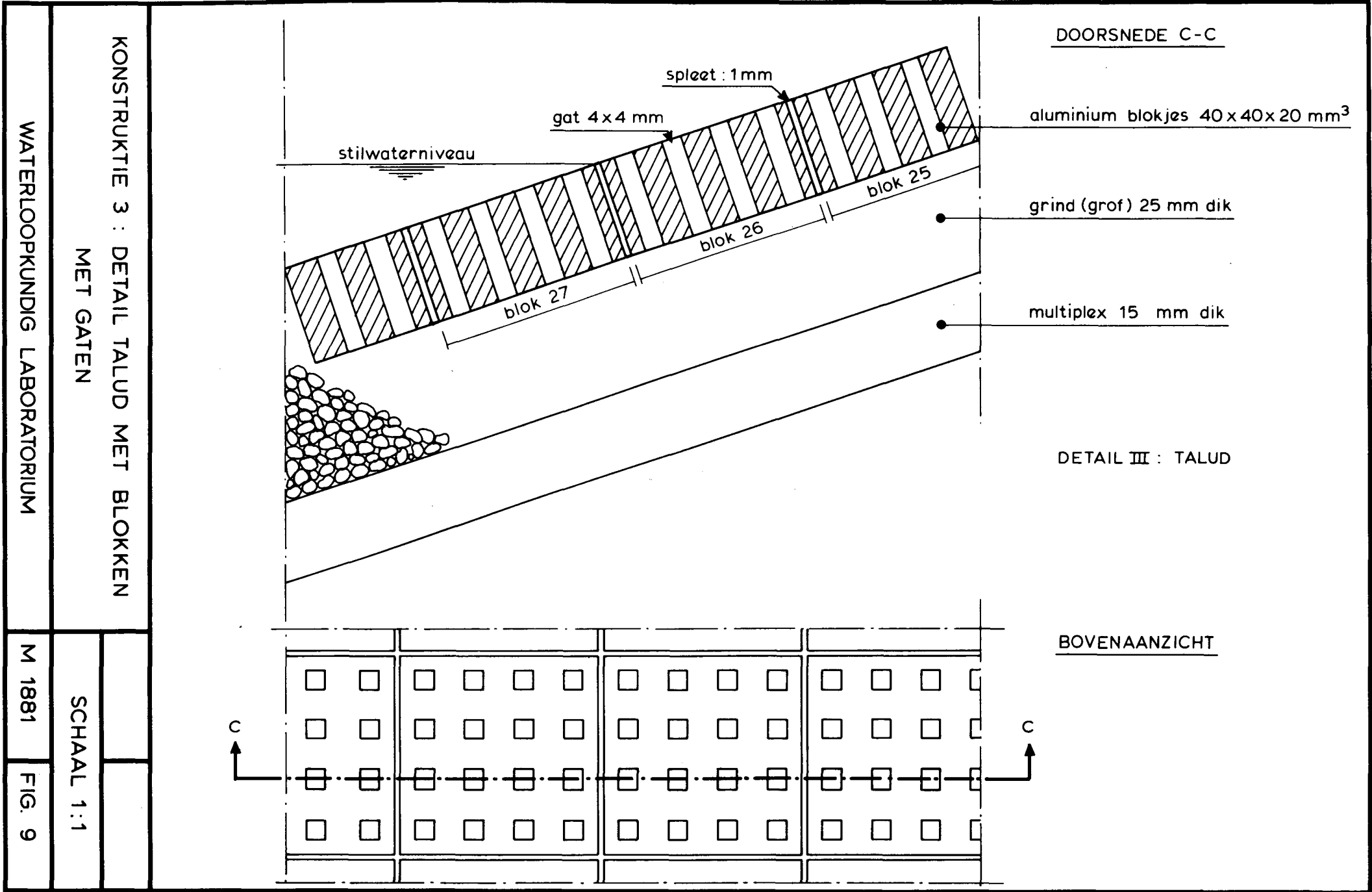
SCHAAL 1:1

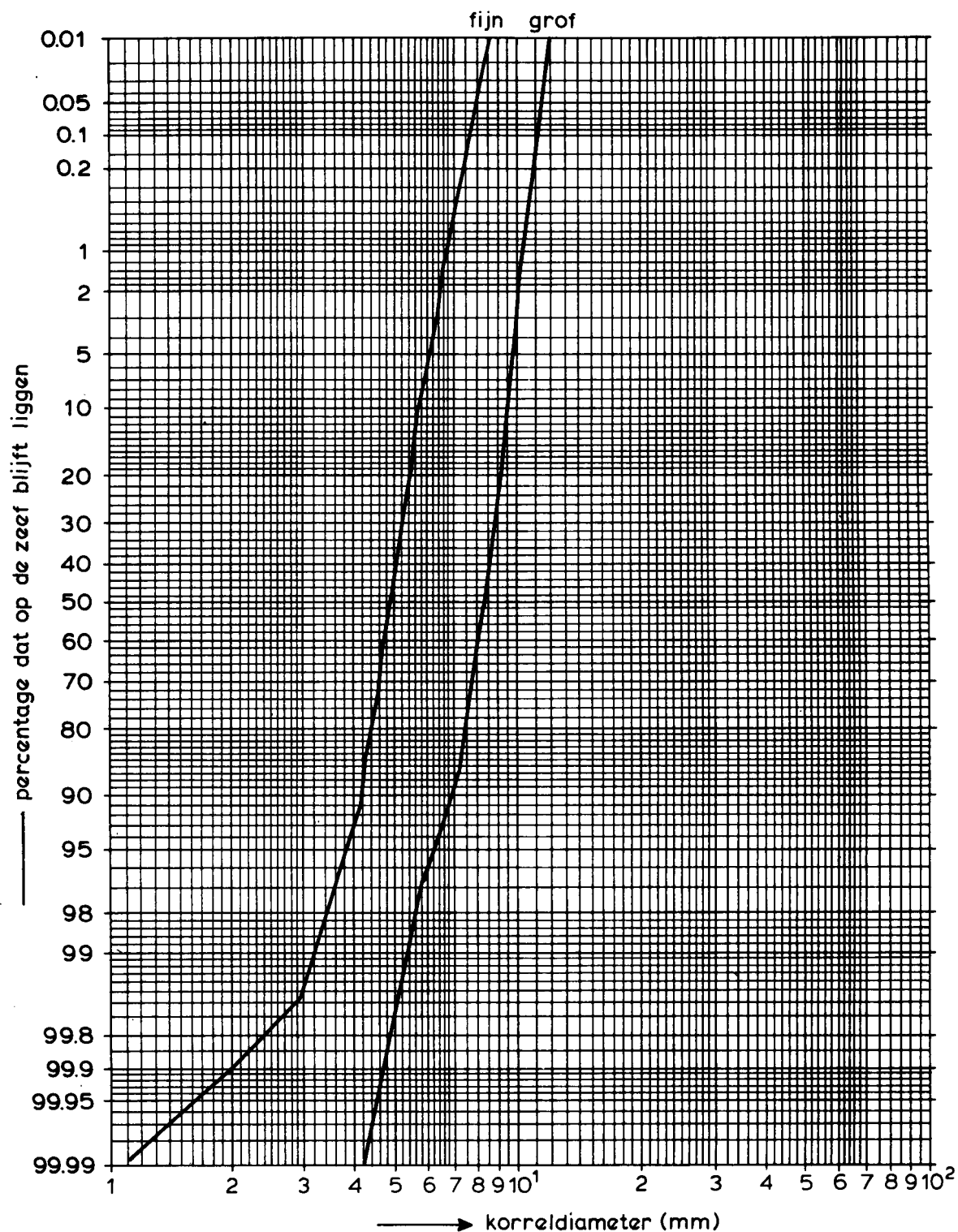


DETAIL II : TALUD

KONSTRUKTIE 2 : DETAIL TALUD MET BLOKKEN
0,04 * 0,04 * 0,02 M³

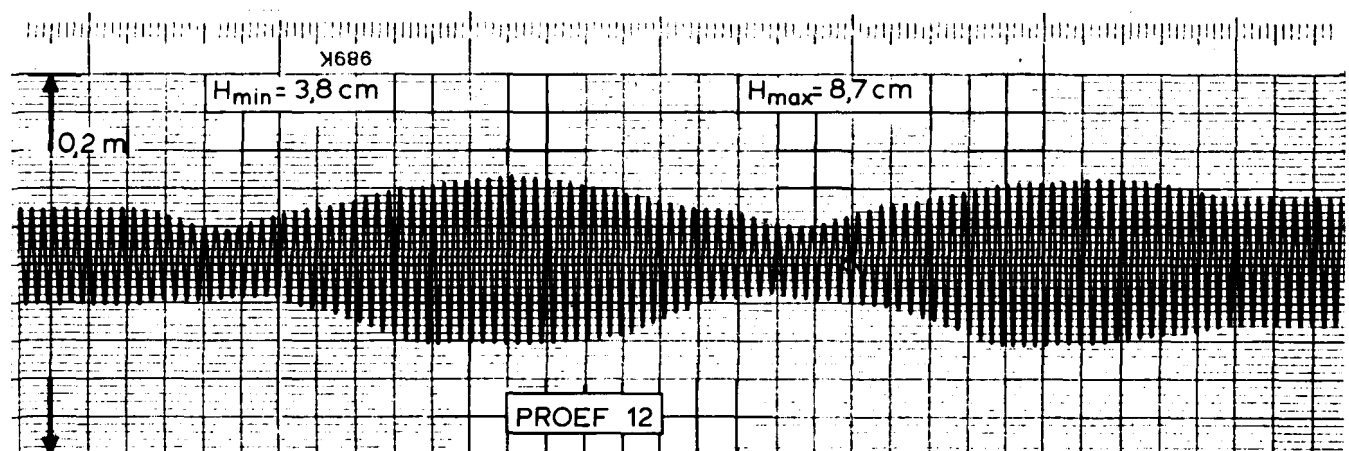
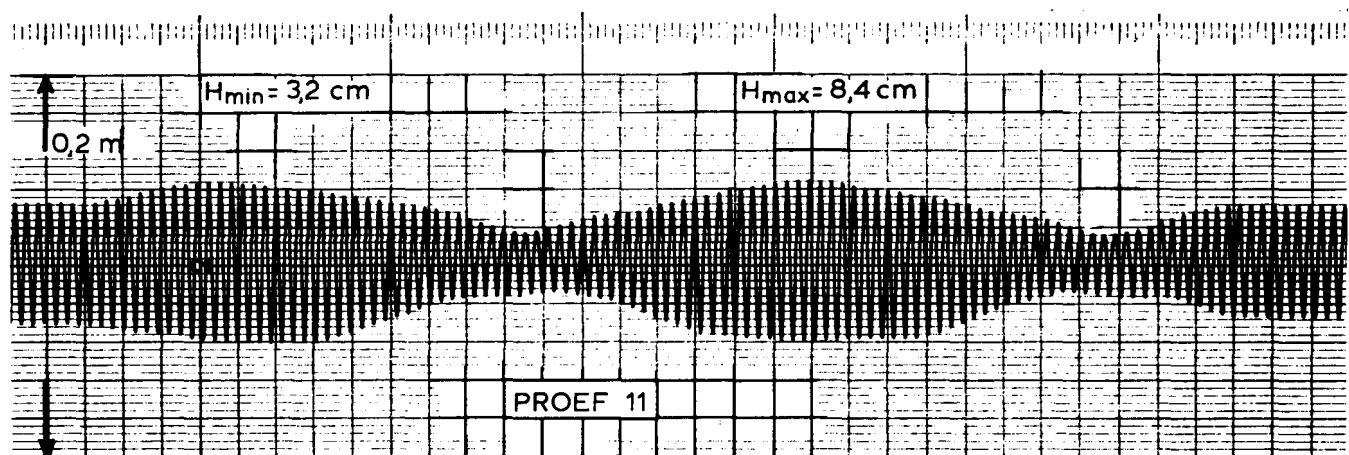
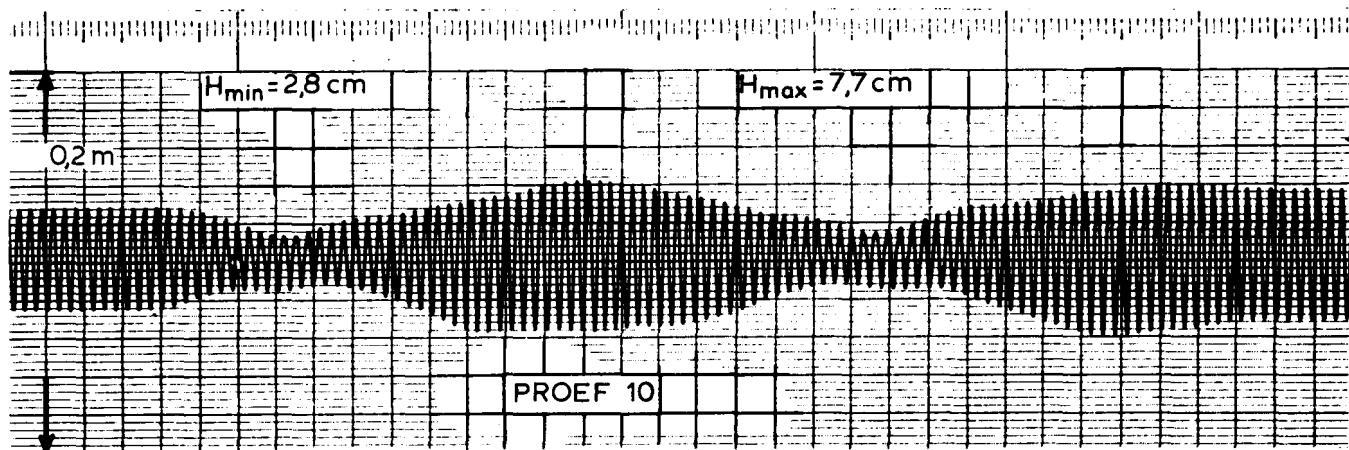
SCHAAL 1:1





fijn	grof
$d_{90} = 4,05 \text{ mm}$	$d_{90} = 6,7 \text{ mm}$
$d_{50} = 4,8 \text{ mm}$	$d_{50} = 8,2 \text{ mm}$
$d_{10} = 5,7 \text{ mm}$	$d_{10} = 9,3 \text{ mm}$

ZEEFKROMMEN VAN HET FUNDERINGSGRIND



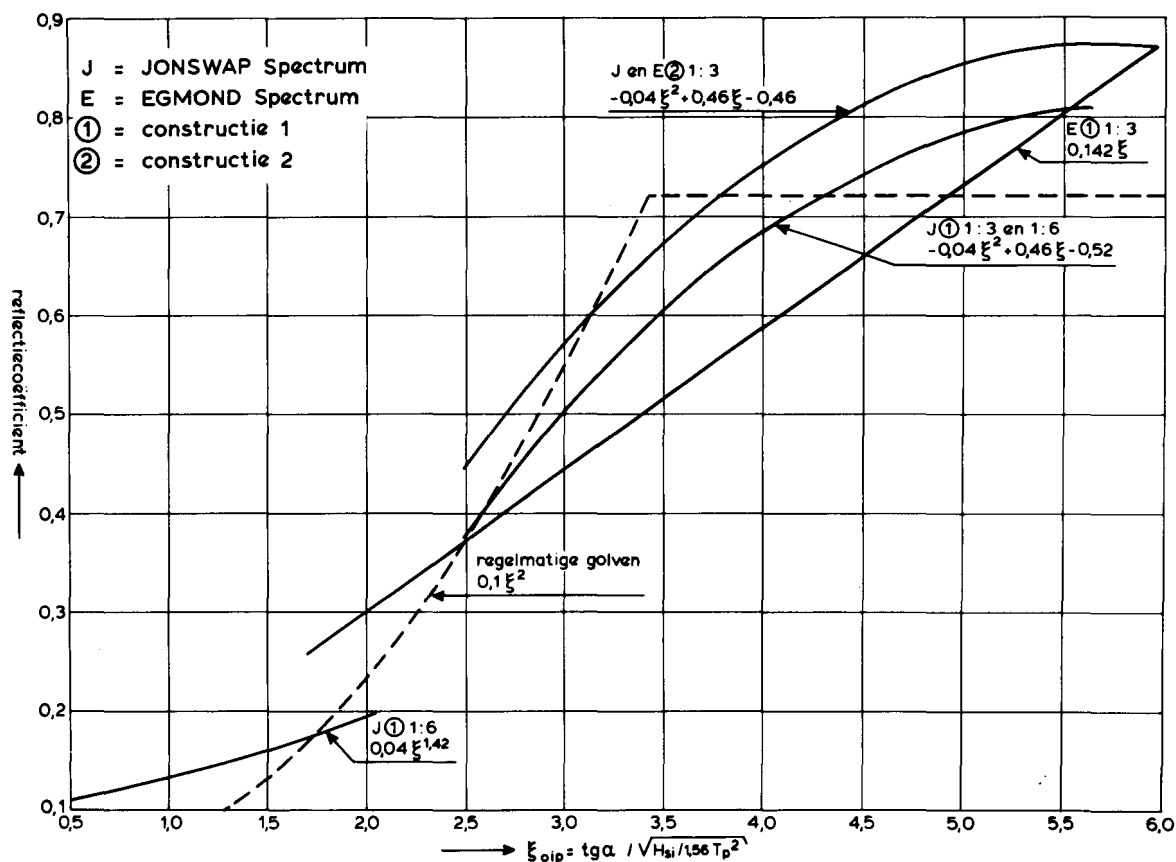
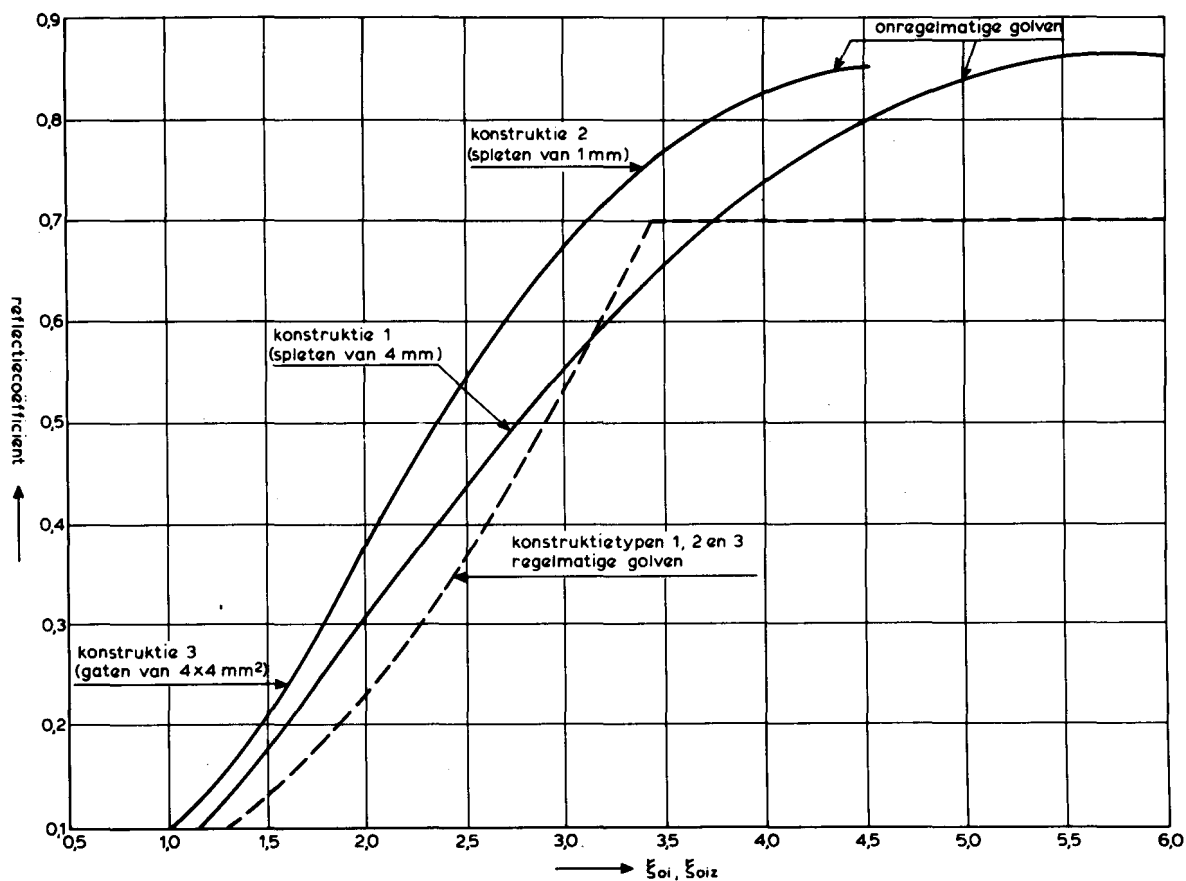
REGISTRATIES MET RIJDENDE GOLFHOOGTEMETER

$T = 1,5 \text{ s}$

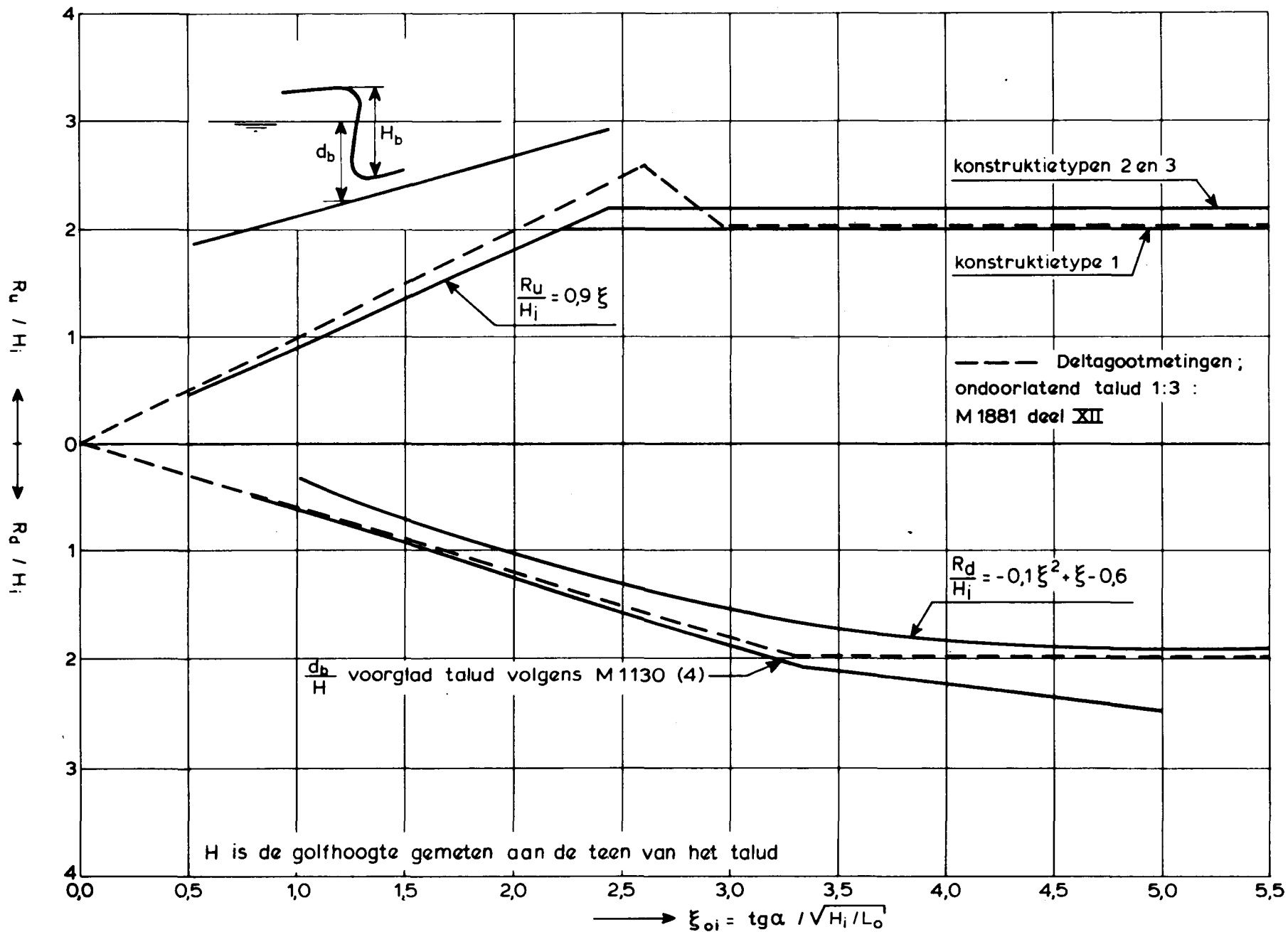
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

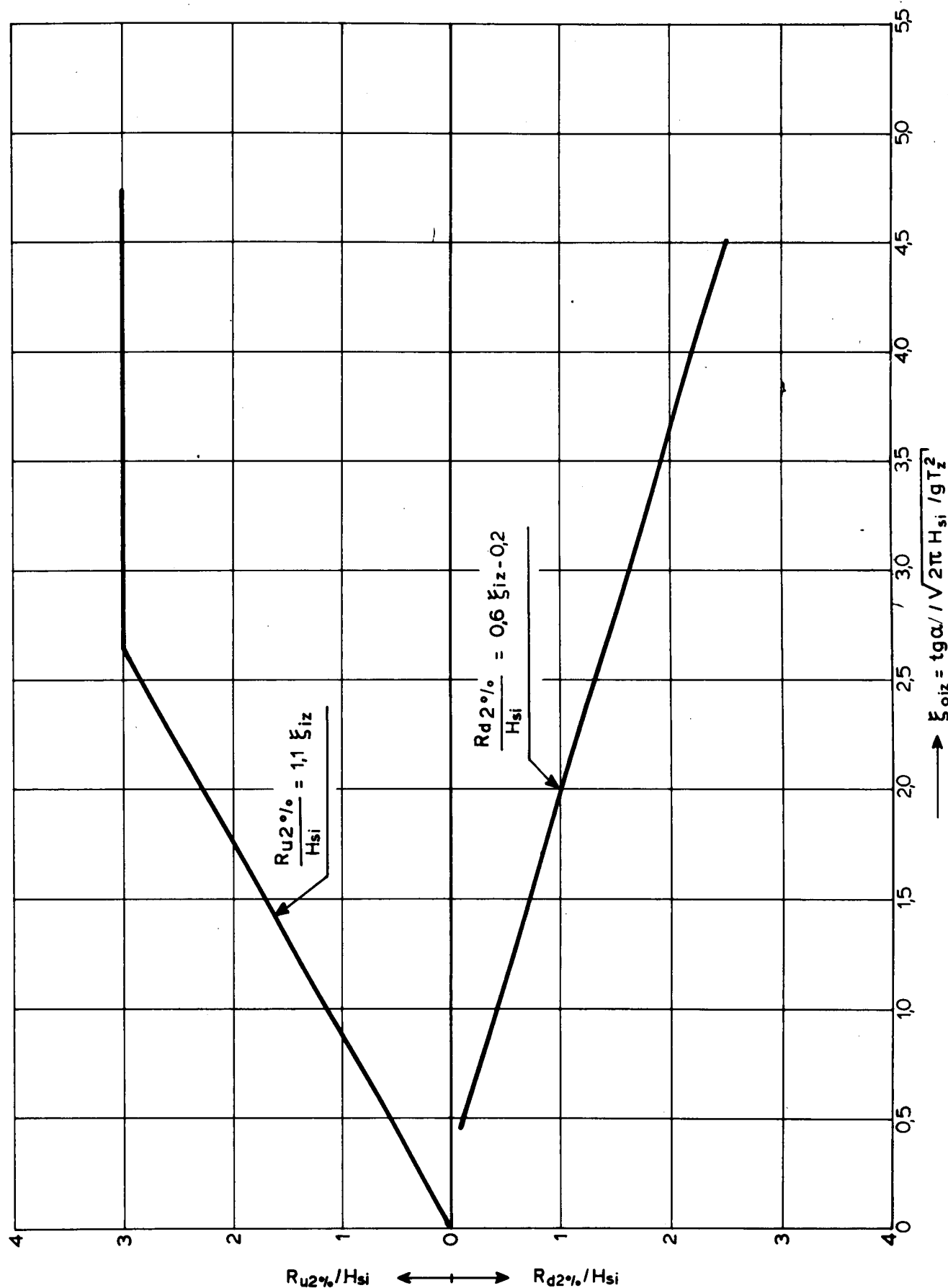
M 1881

FIG. 11



REFLECTIECOEFFICIENT BIJ REGELMATIGE - EN
ONREGELMATIGE GOLVEN VOOR ξ_{oiz} EN ξ_{oip}





GOLFOLOOP EN GOLFTERUGLOOP BIJ
ONREGELMATIGE GOLVEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

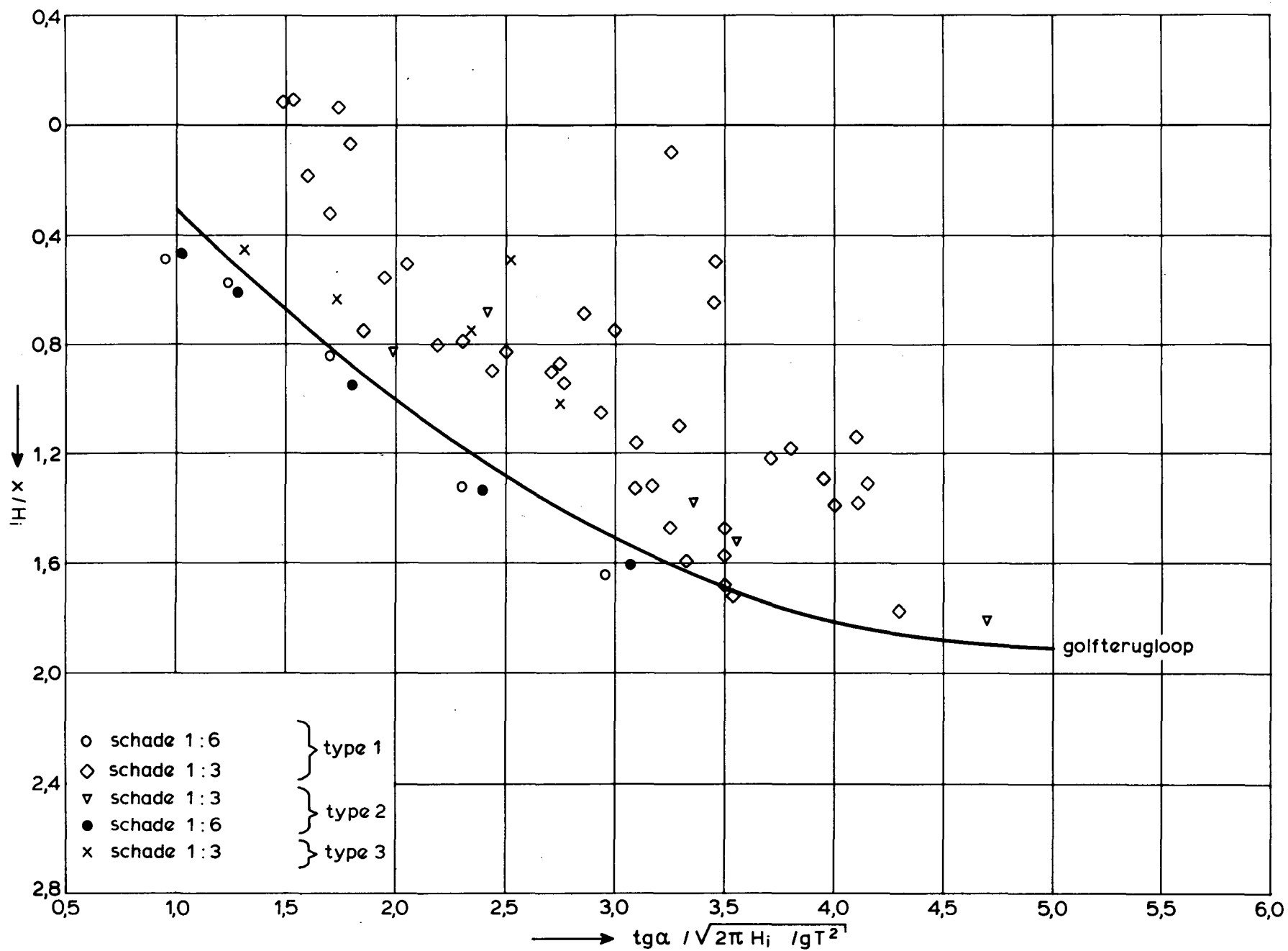
FIG. 14

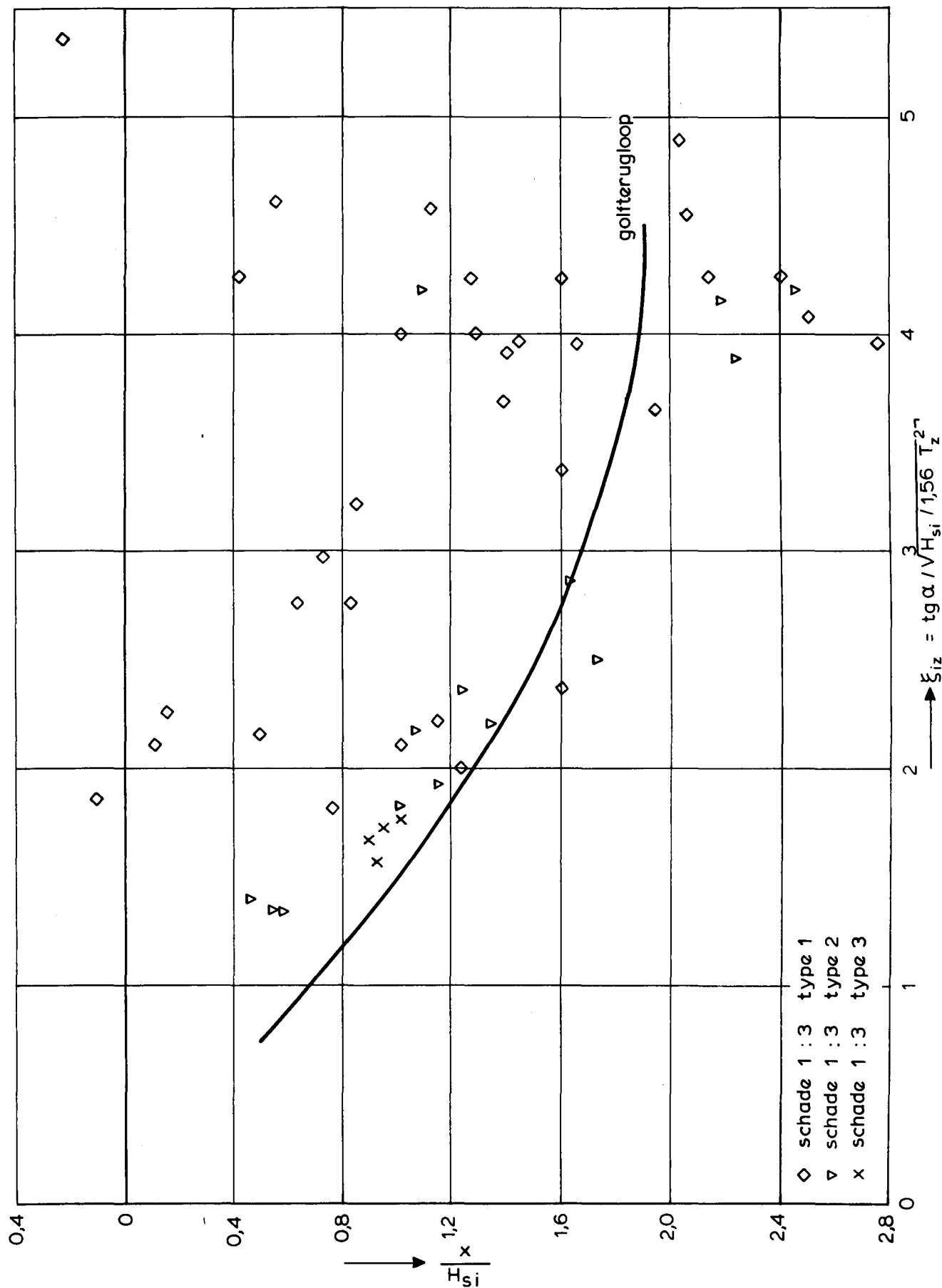
PLAATS WAAR SCHADE OPTREEDT ONDER
REGELMATIGE GOLFAANVAL

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 15





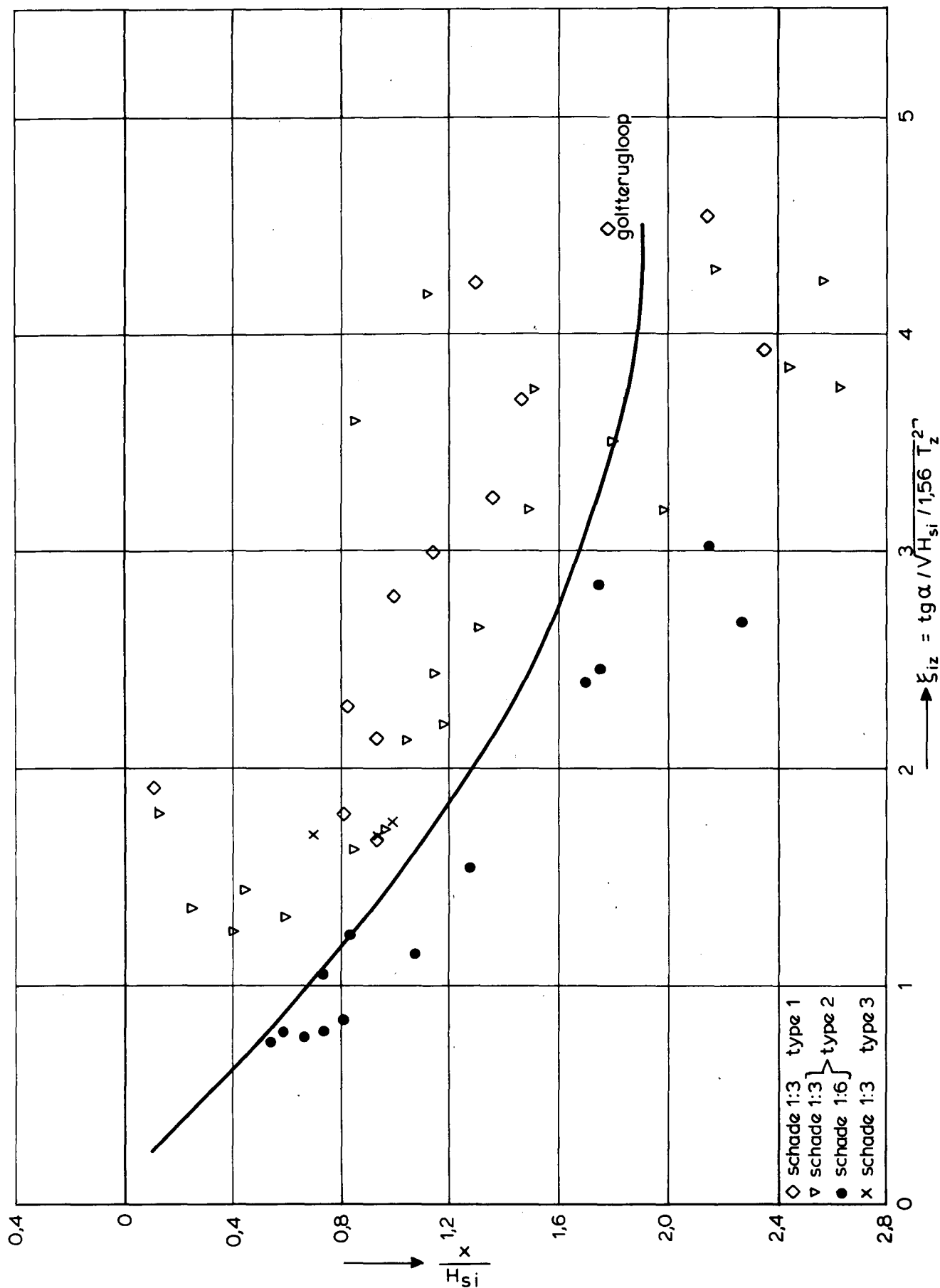
PLAATS WAAR SCHADE OPTREEDT ONDER
ONREGELMATIGE GOLFAANVAL

EGMOND SPECTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 16



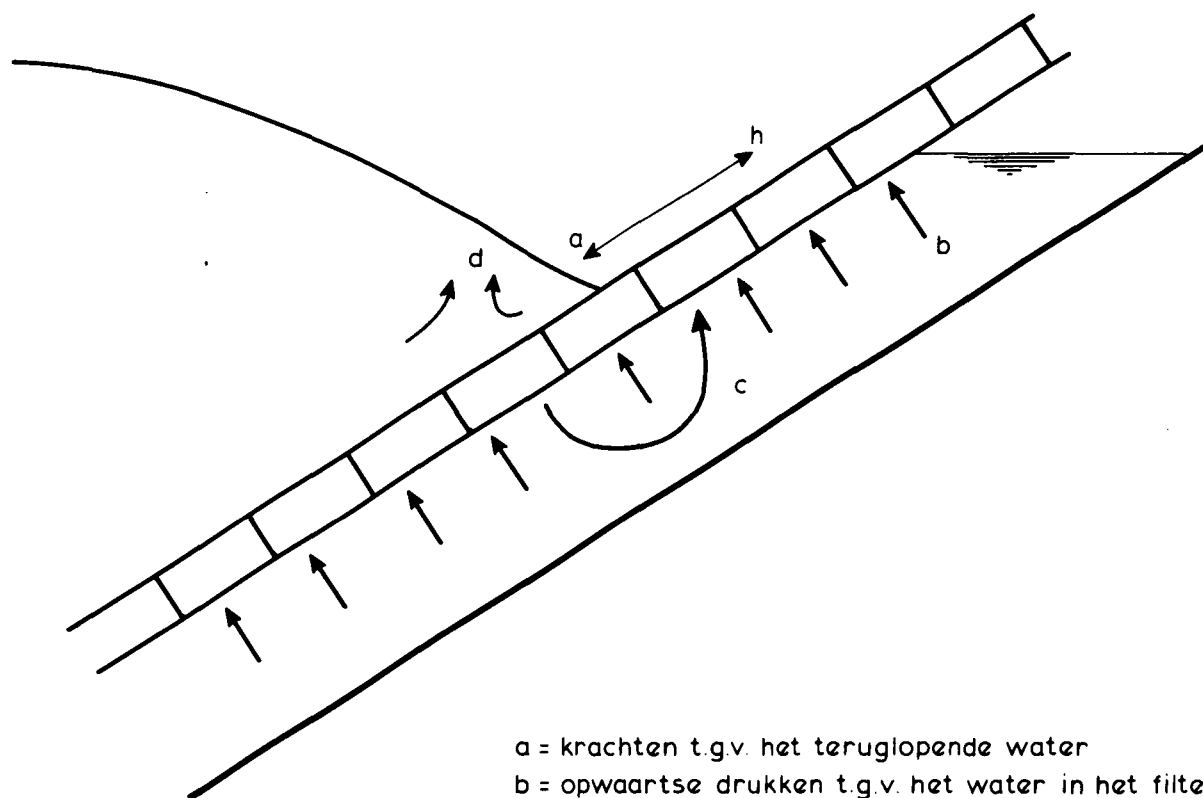
PLAATS WAAR SCHADE OPTREEDT ONDER
ONREGELMATIGE GOLFAANVAL

JONSWAP SPECTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 17



- a = krachten t.g.v. het teruglopende water
 b = opwaartse drukken t.g.v. het water in het filter
 c = opwaartse drukken t.g.v. het steile golffront
 d = drukken t.g.v. het snel veranderende snelheidsveld
 h = krachten t.g.v. het oplopende water

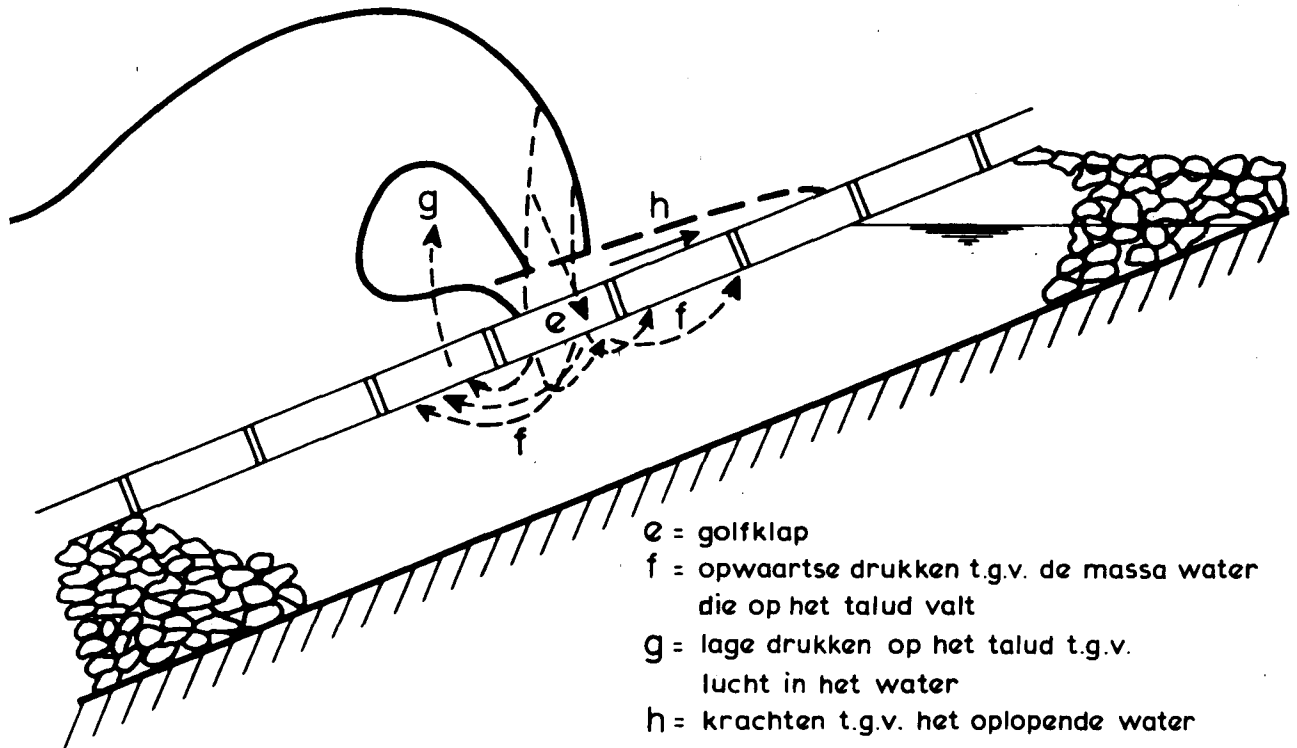
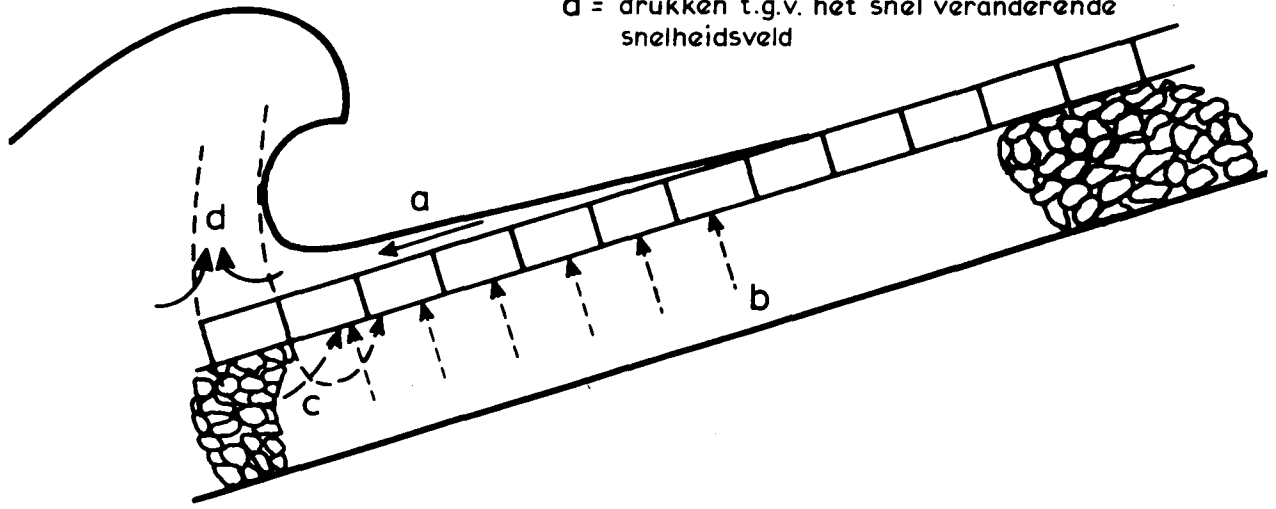
SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN
 SCHADEMECHANISMEN BIJ NIET BREKENDE GOLVEN
 OF BIJ "COLLAPSING" BREKERTYPE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

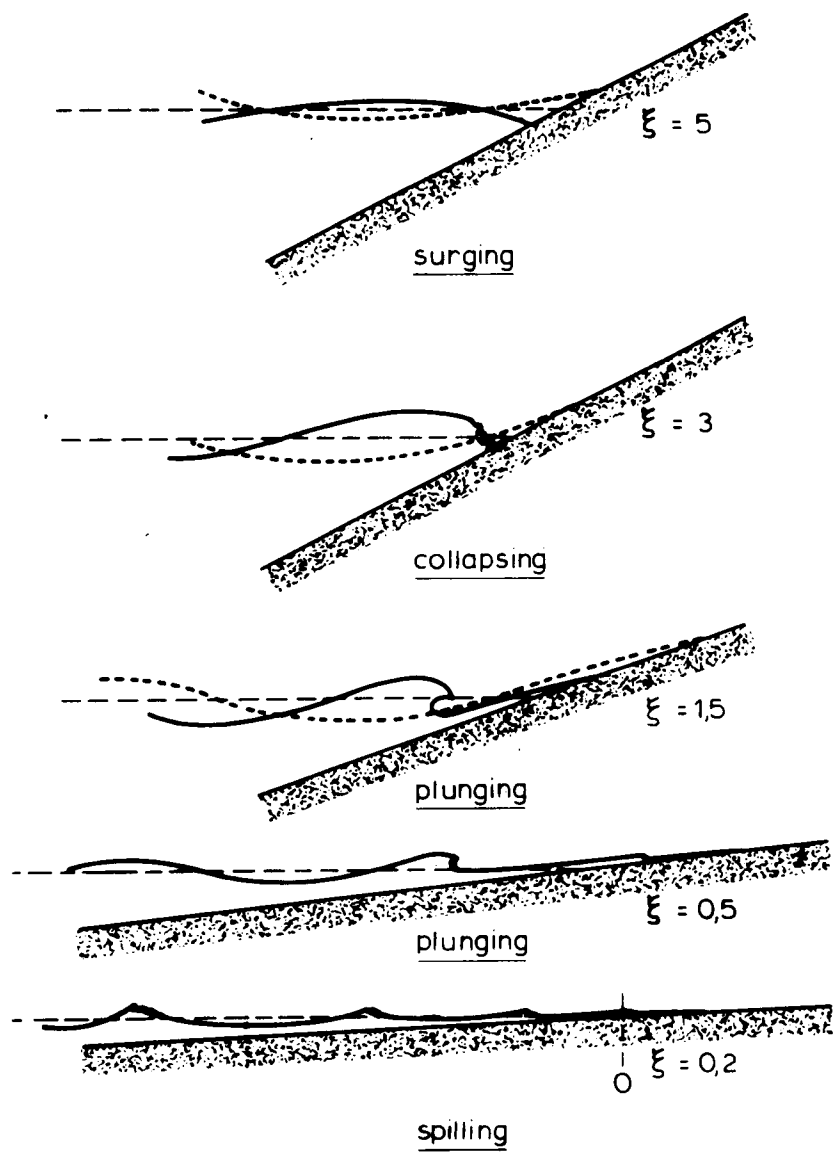
FIG. 18

- a = krachten t.g.v. het teruglopende water
 b = opwaartse drukken t.g.v. het water in het filter
 c = opwaartse drukken t.g.v. het steile golffront
 d = drukken t.g.v. het snel veranderende snelheidsveld

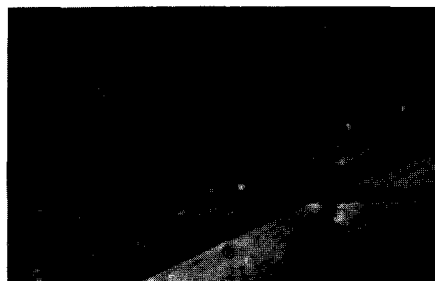


- e = golfklap
 f = opwaartse drukken t.g.v. de massa water die op het talud valt
 g = lage drukken op het talud t.g.v. lucht in het water
 h = krachten t.g.v. het oplopende water

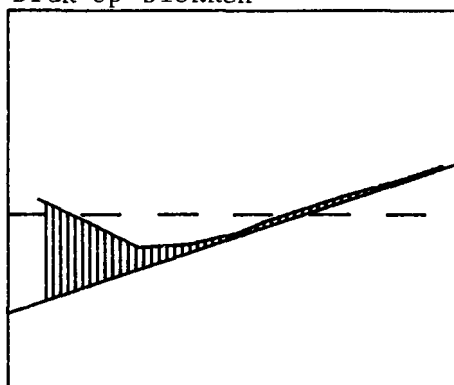
SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN
 SCHADEMECHANISMEN BIJ
 "PLUNGING" BREKERTYPE



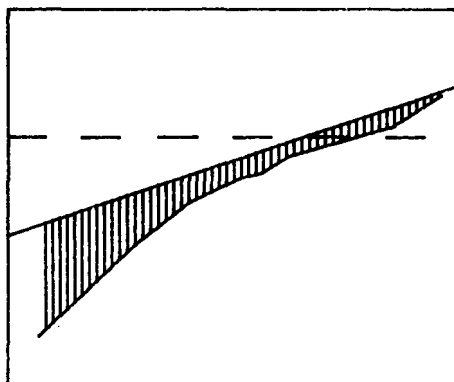
BREKER TYPEN



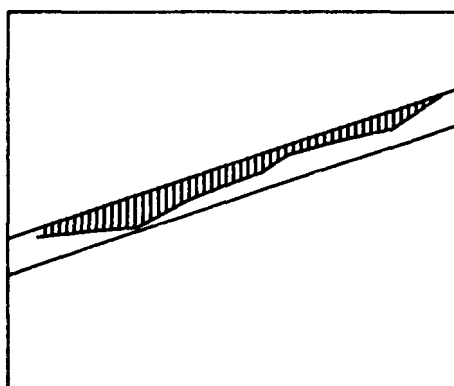
Druk op blokken



Druk onder blokken



Verschildruk



↑
↓ "druk" t.g.v. eigen
gewicht blokken =
 $\rho_{\text{blok}} \cdot g \cdot D \cdot \cos \alpha$
(zie tabel 1)

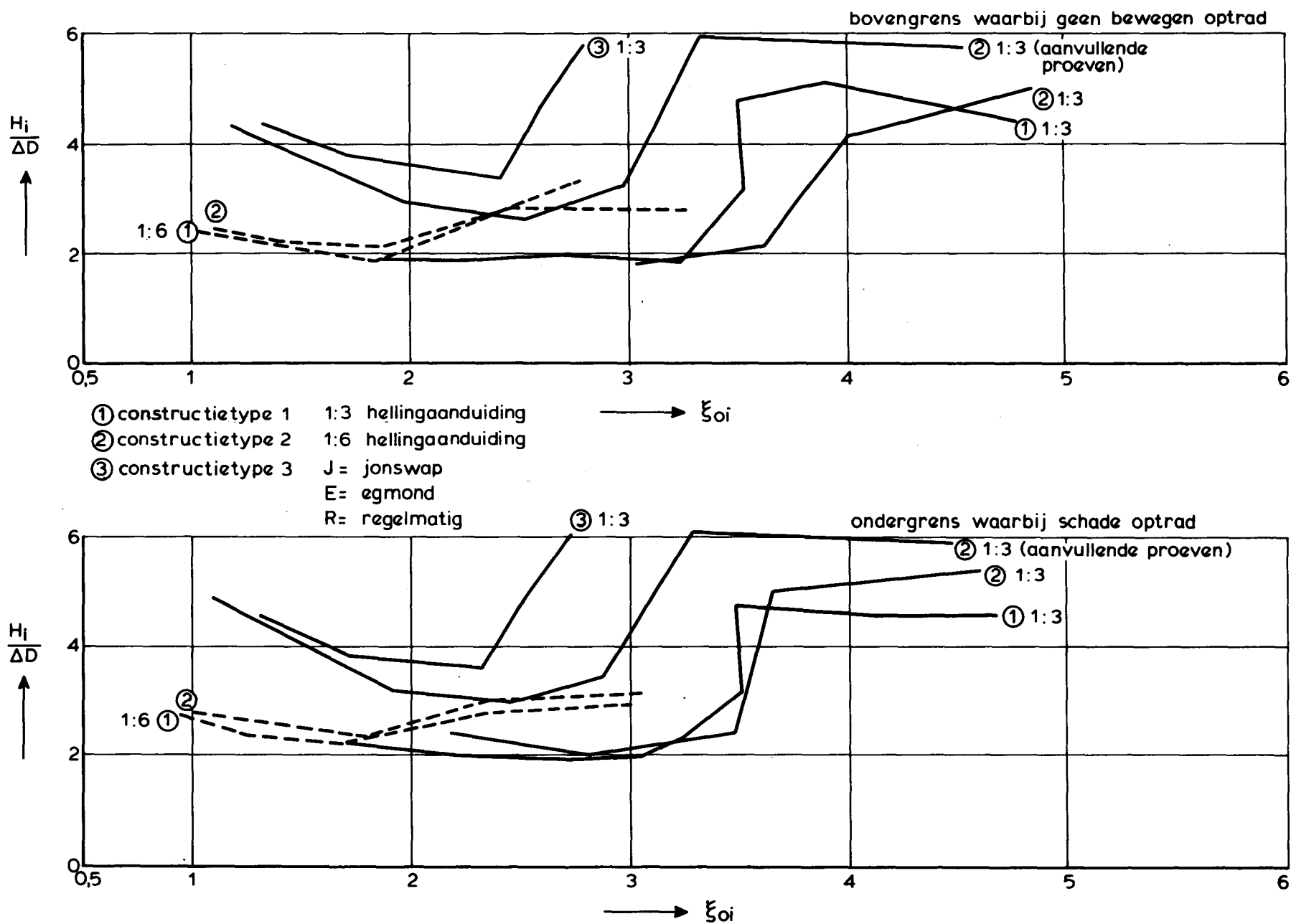
1.95 2.65
AFSTAND TEEN (M)

VOORBEELD VAN EEN BELASTING OP EEN
STEENZETTING

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

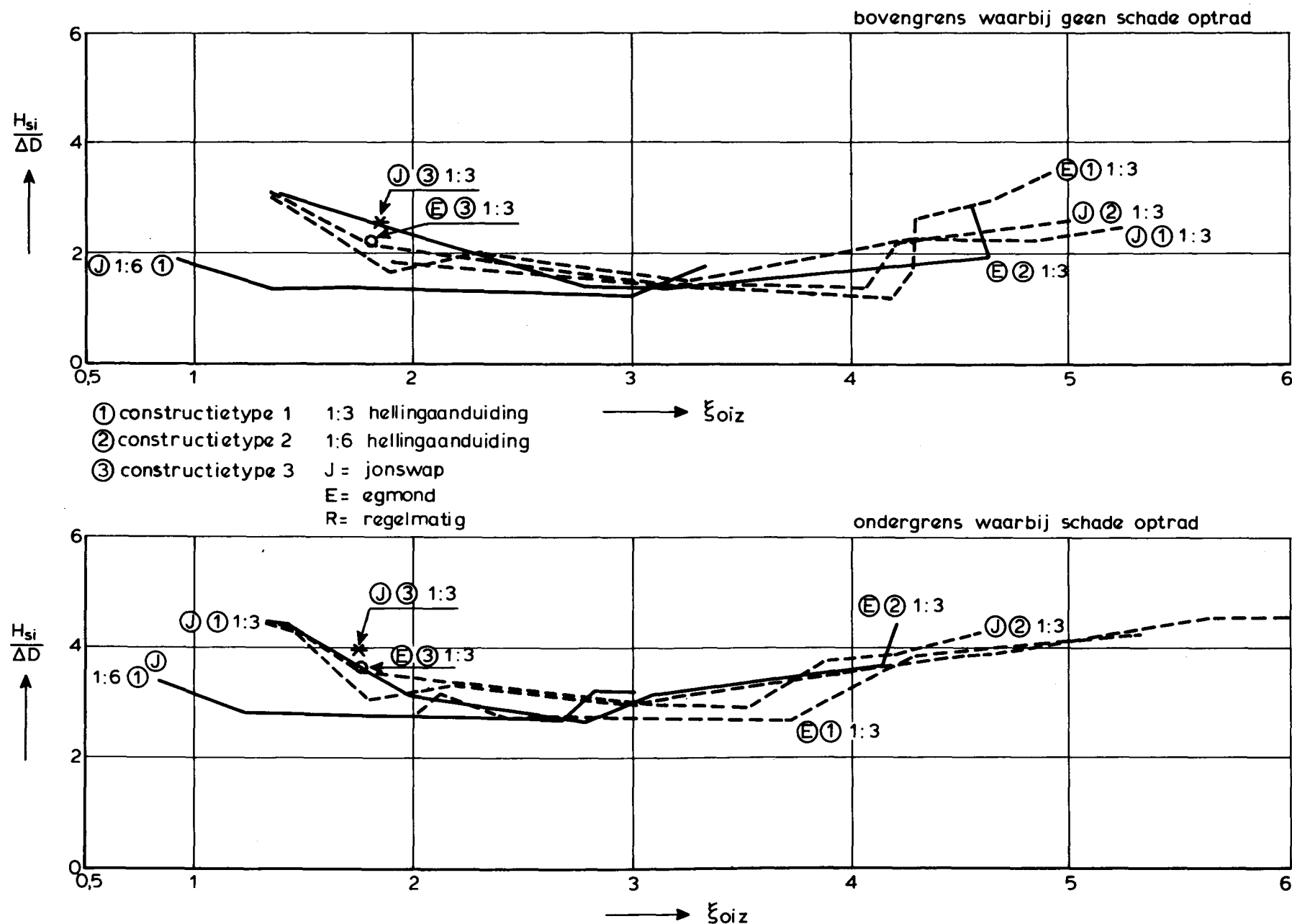
FIG. 21



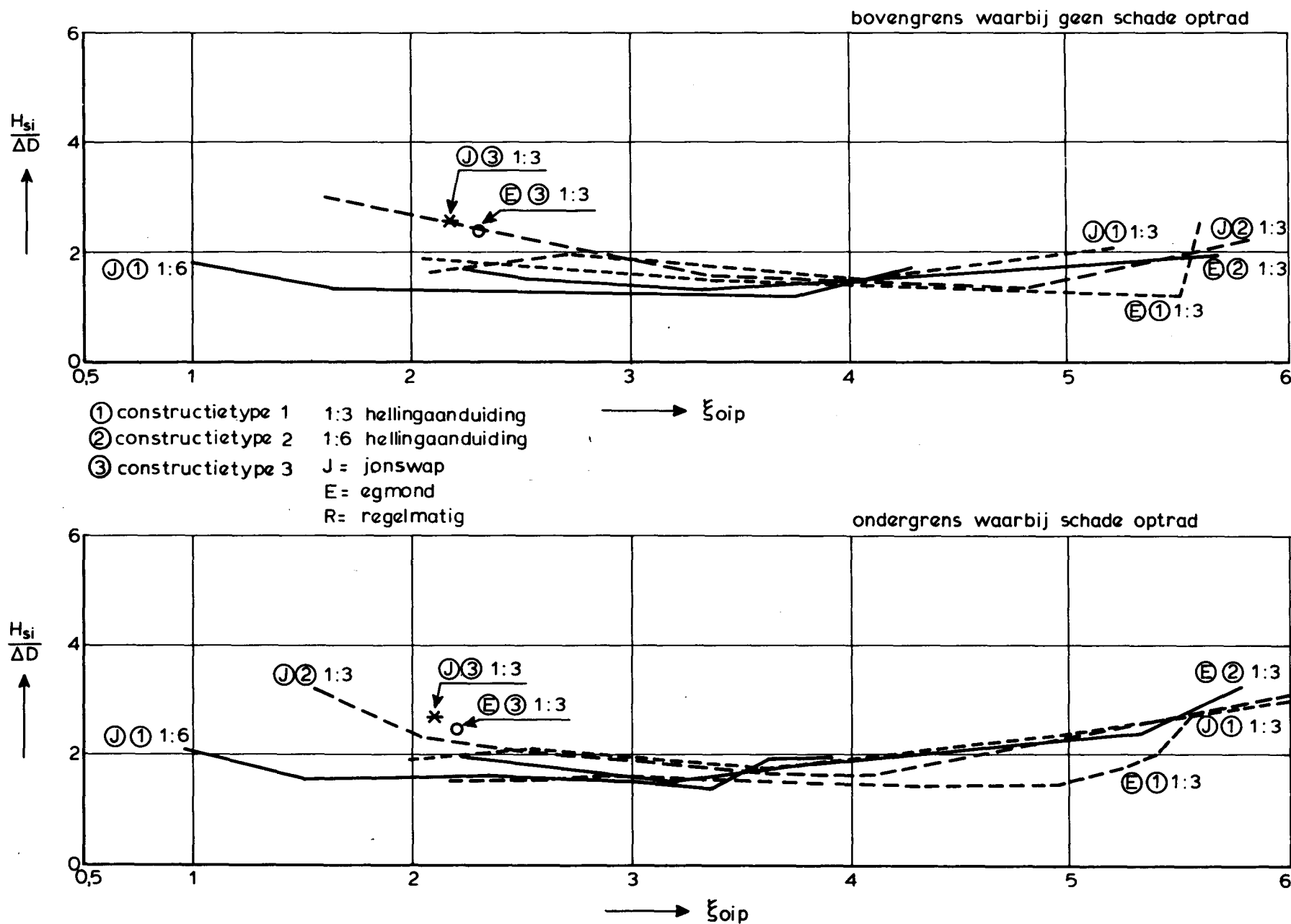
SCHADECRITERIA VOOR ONREGELMATIGE GOLVEN
GEKARAKTERISEERD DOOR ξ_{0iz}

M 1881

FIG. 23



SCHADECRITERIA VOOR ONREGELMATIGE GOLVEN
GEKARAKTERISEERD DOOR ξ_{oip}

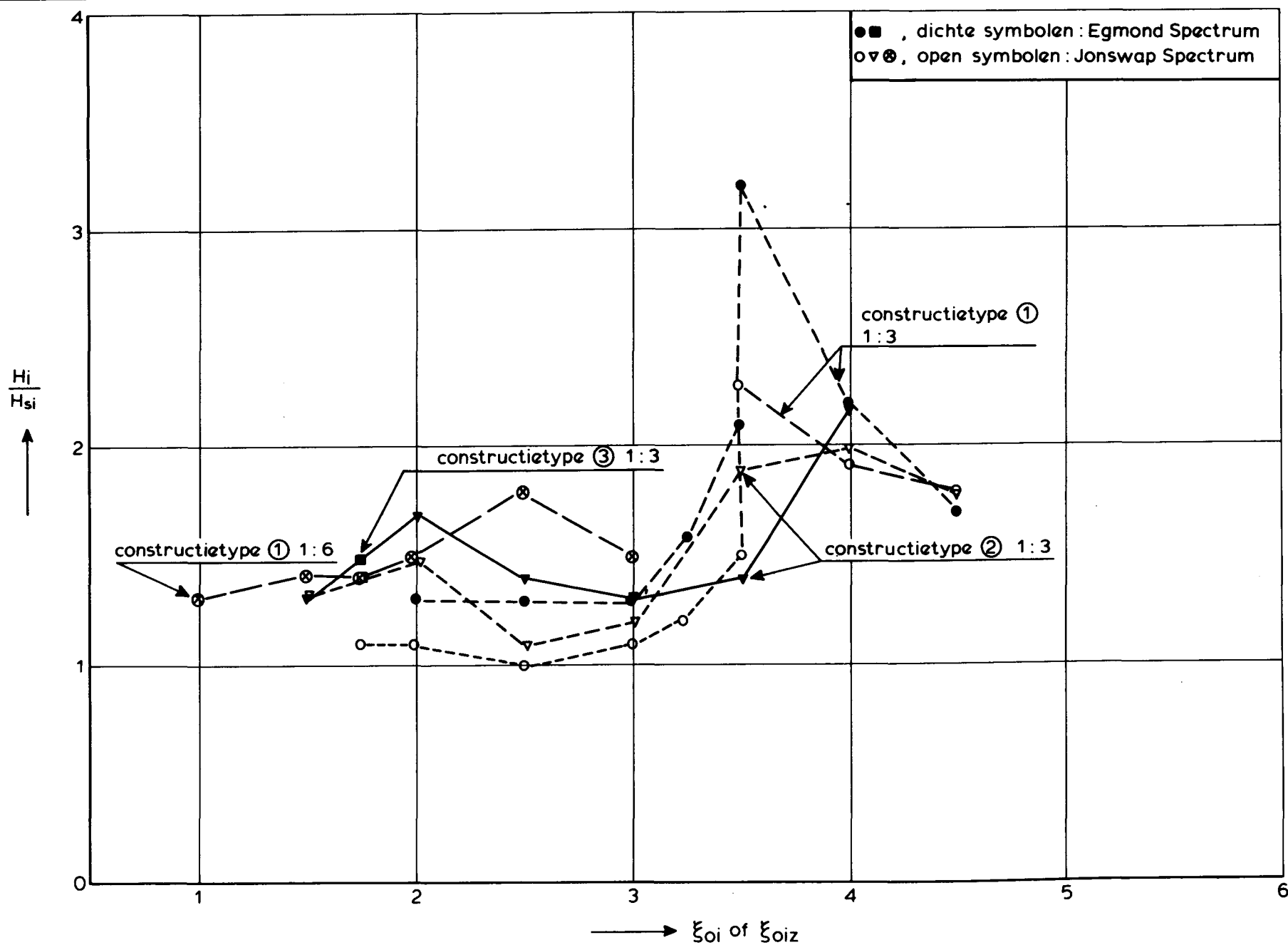


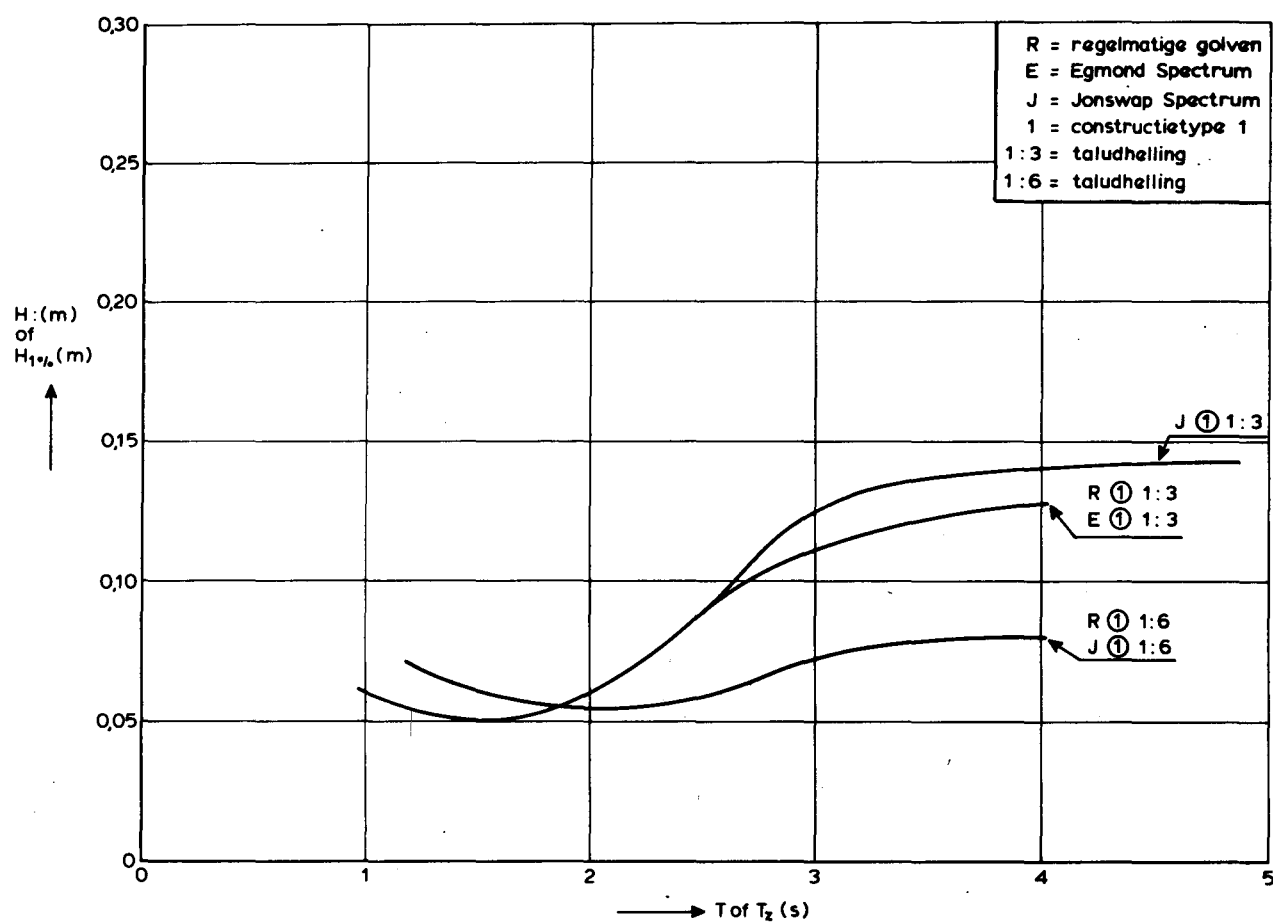
VERHOUDING H_i/H_{si} VERSUS ξ_{oi} OF ξ_{oiz} GEBASEERD
OP SCHADECRITERIA UIT FIG. 22 EN 23

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

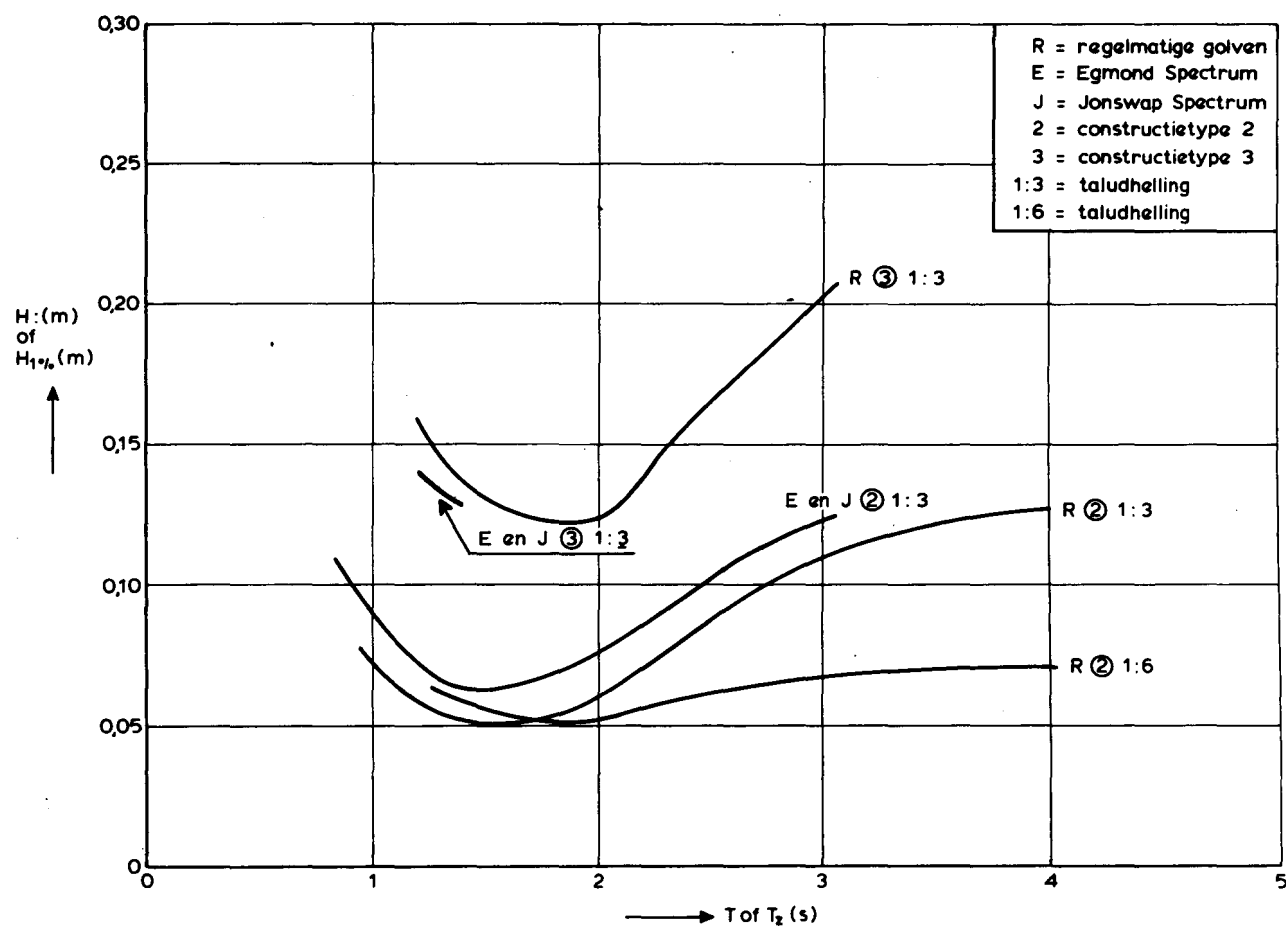
M 1881

FIG. 25

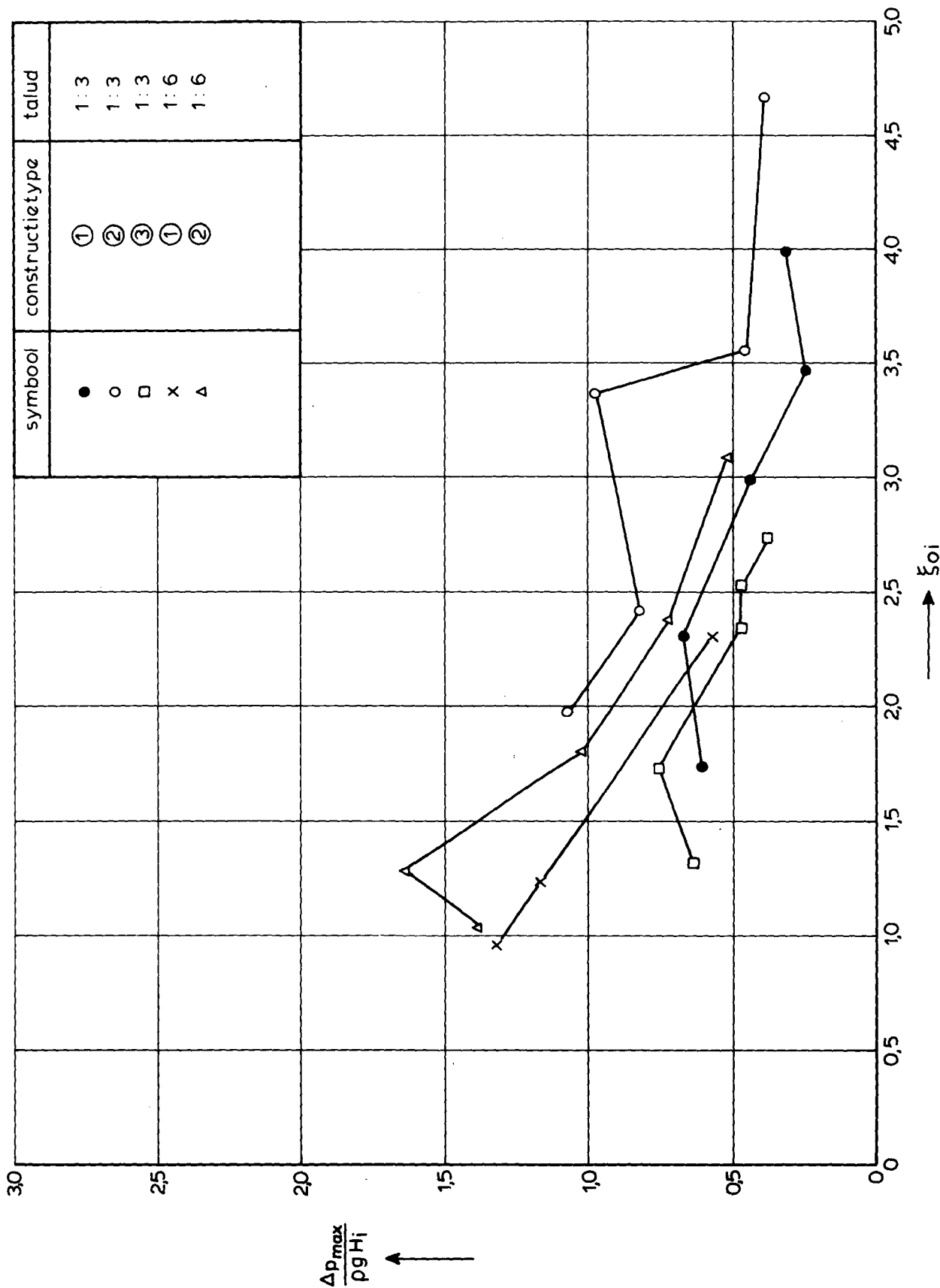




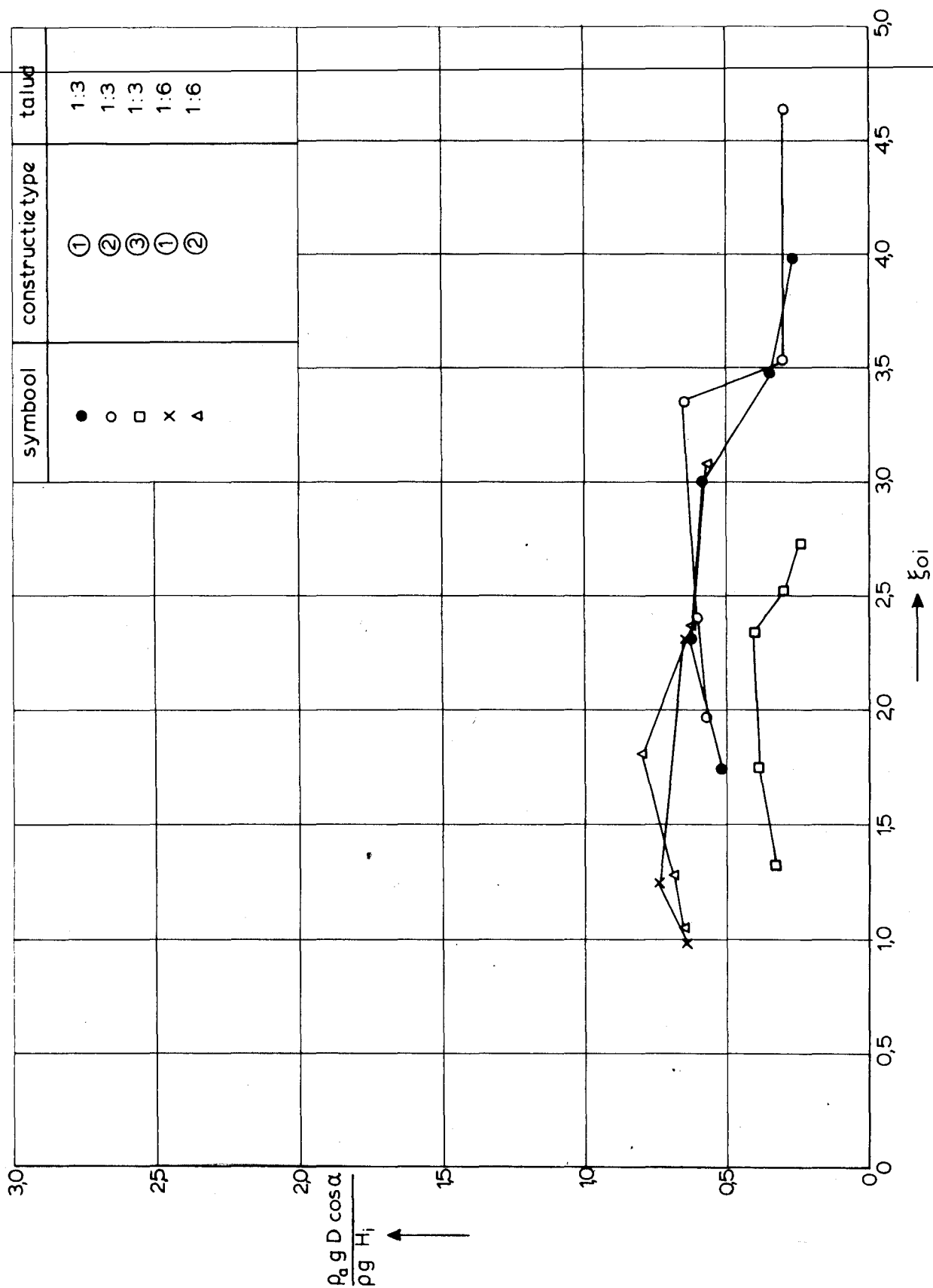
H_i - T EN H_{1%} - T_z SCHADECRITERIA VOOR
 CONSTRUCTIETYPE 1 OP TALUD 1:3 EN 1:6



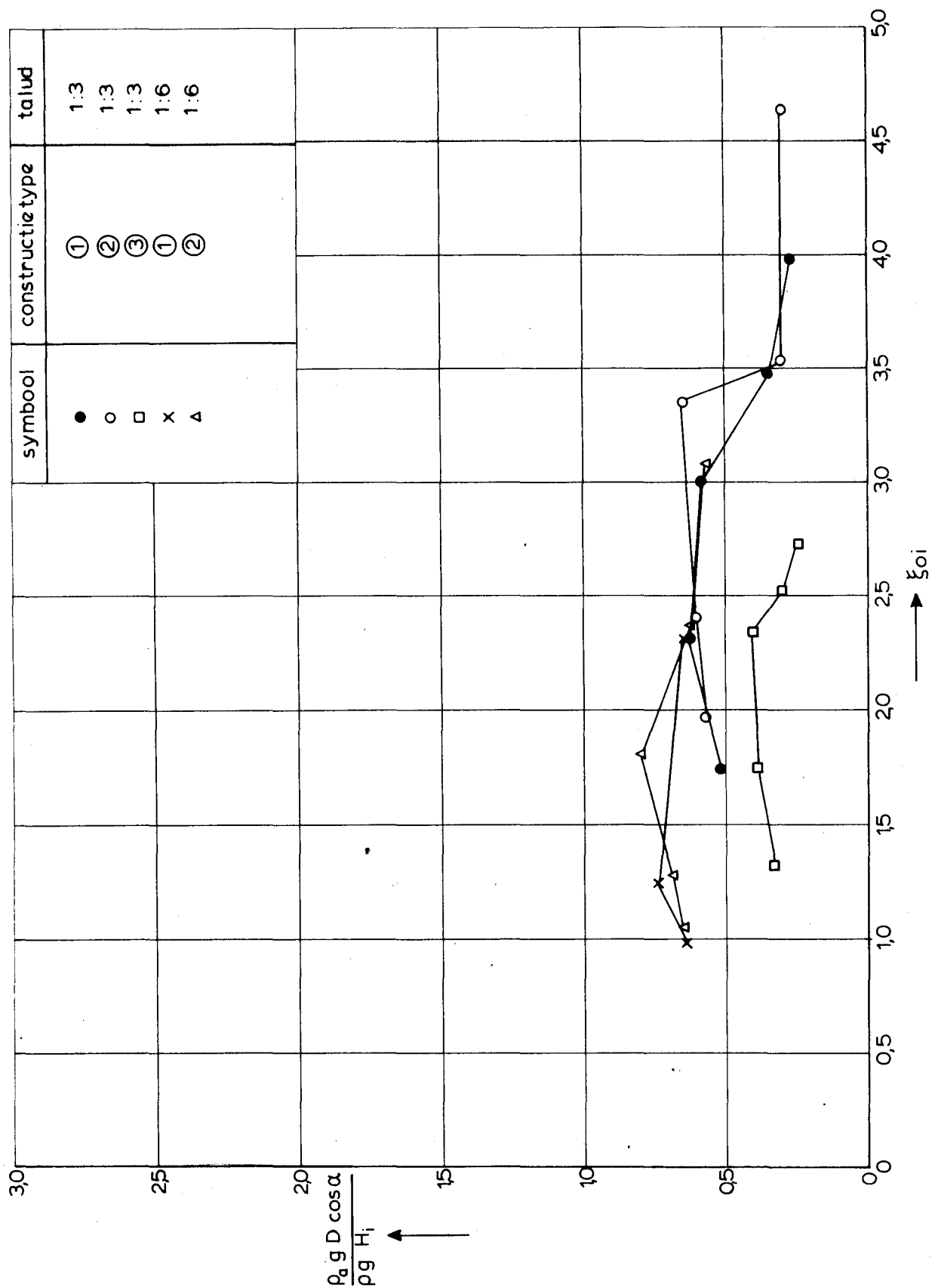
$H_i - T$ EN $H_{1\%} - T_z$ SCHADECRITERIA VOOR
CONSTRUCTIETYPEN 2 EN 3 OP TALUD 1:3 EN 1:6



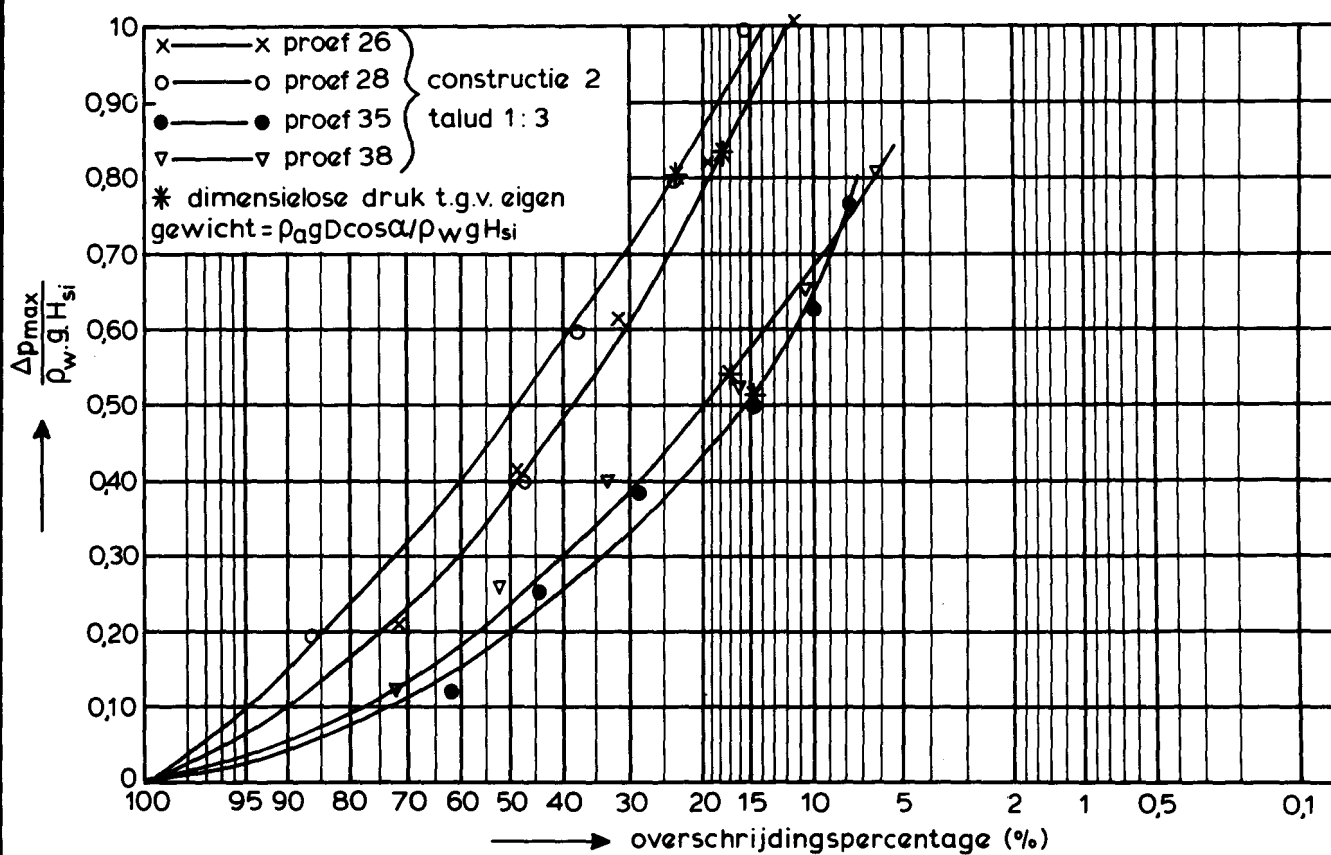
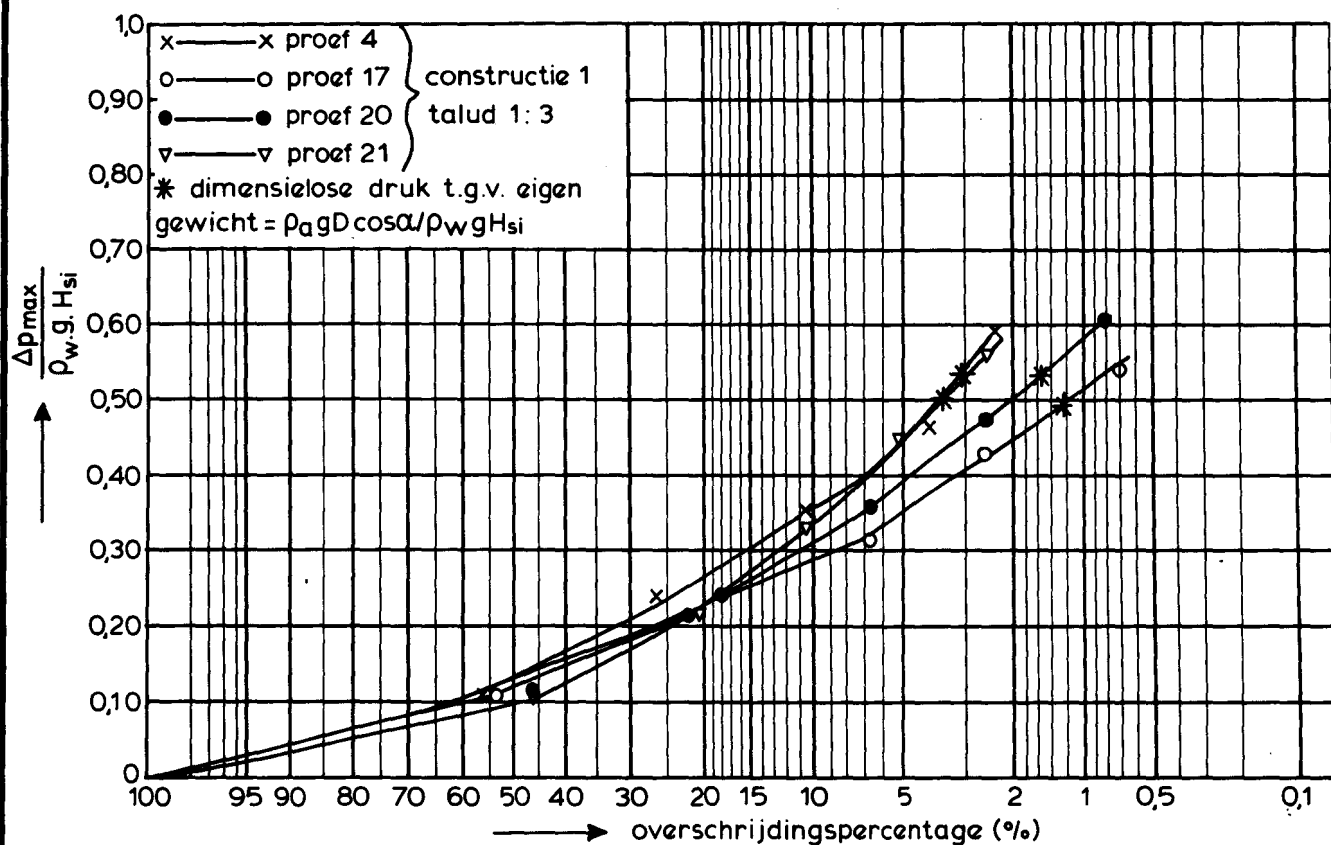
$\frac{\Delta p_{max}}{\rho g H_i}$ ALS FUNCTIE VAN ξ_{oi}



$\frac{\rho_a g D \cos \alpha}{\rho g H_i}$ ALS FUNCTIE VAN ξ

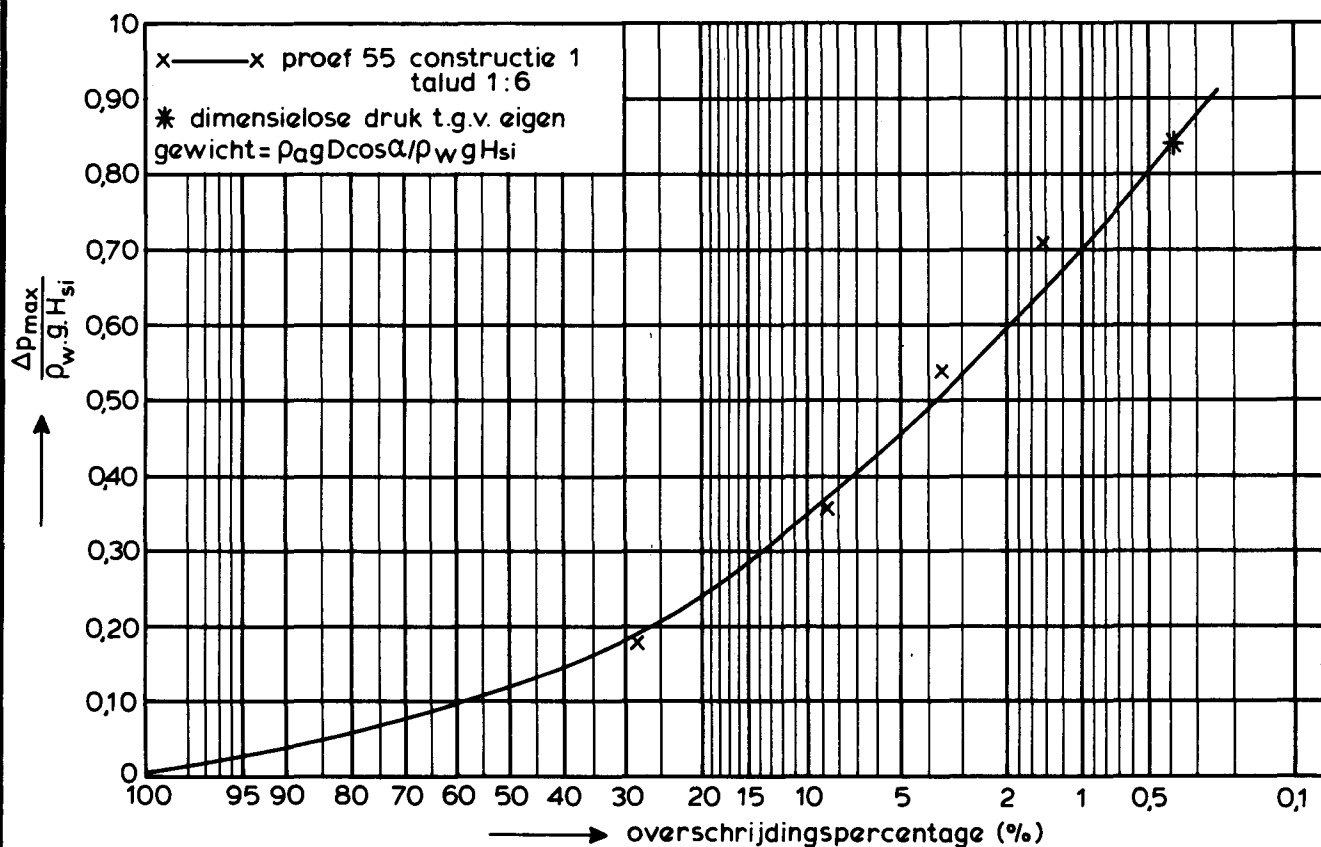
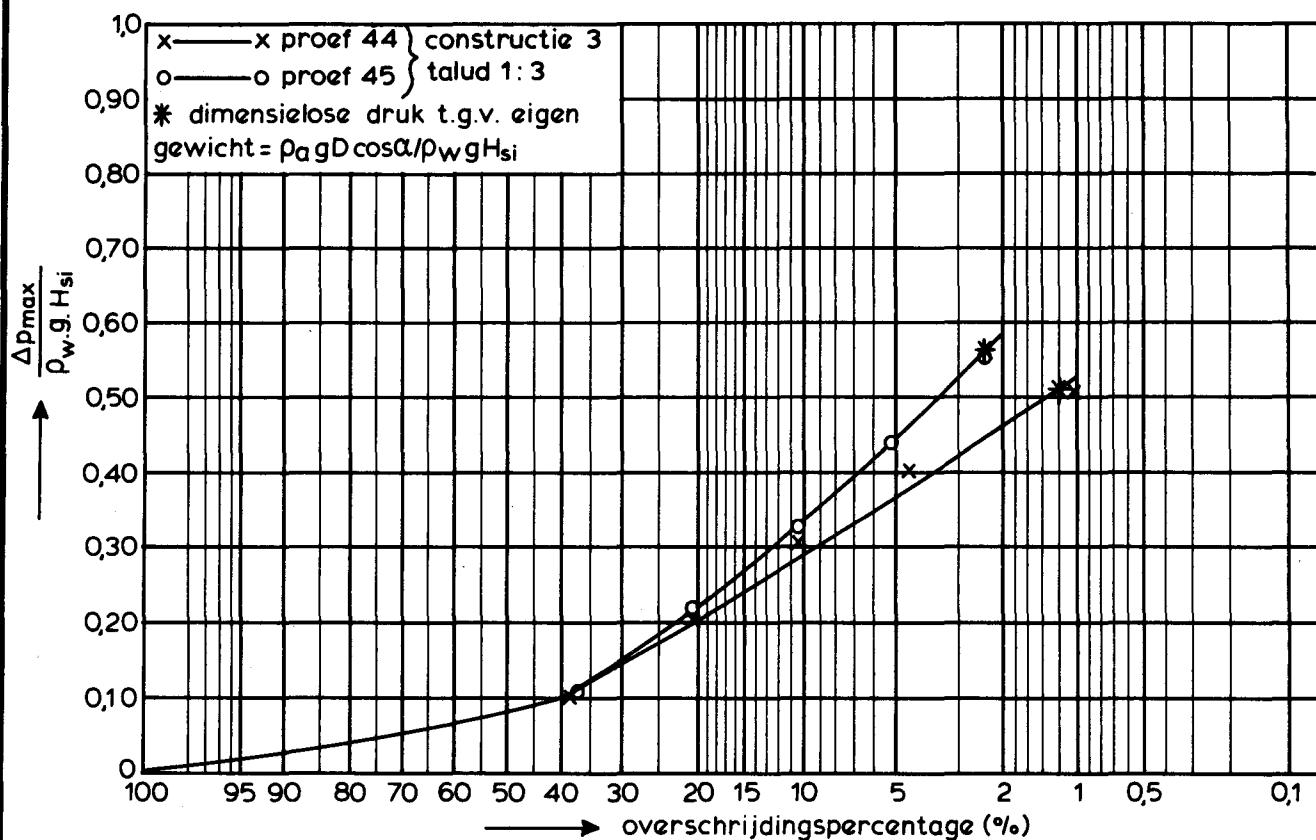


$\frac{\rho_a g D \cos \alpha}{\rho g H_i}$ ALS FUNCTIE VAN ξ



OVERSCHRJDINGSKROMMEN VOOR DE DIMENSIELOZE
MAXIMALE VERSCHILDRUK BEPAALD VOLGENS DE
EQUIVALENTIEMETHODE

CONSTRUCTIE 1, TALUD 1:3
CONSTRUCTIE 2, TALUD 1:3



OVERSCHRJDINGSKROMMEN VOOR DE DIMENSIELOZE
 MAXIMALE VERSCHILDRUK BEPAALD VOLGENS DE
 EQUIVALENTIEMETHODE

CONSTRUCTIE 3, TALUD 1:3
 CONSTRUCTIE 1, TALUD 1:6

APPENDIX 1

Bepaling doorlatendheid van steenzetting en filterlaag
bij Scheldegoot-proeven

Bepaling doorlatendheid van steenzetting en filterlaag
bij Scheldegoot-proeven

CO-258901

september 1983

Inhoud:

1. Inleiding
2. Meetprincipe
3. Praktische uitvoering
4. Analyse meetresultaten
5. Commentaar bij de gevonden waarden van λ , k en k'
6. Conclusies

1. Inleiding

Uit voorafgaand onderzoek in het kader van het fundamenteel onderzoek naar de stabiliteit van steenzettingen [1, 2 en 3] is gebleken dat de leklengte (λ) van grote invloed is op de stabiliteit van een oeverbeschermingsconstructie tegen golfaanval.

Deze leklengte is als volgt gedefinieerd:

$$\lambda = \sin \alpha / k b d / k' \quad [1]$$

met:

α = de hoek van het talud met de horizontaal

k = de doorlatendheid van een filterlaag onder de zetting

k' = de doorlatendheid van de zetting

b = de dikte van de filterlaag

d = de dikte van de zetting.

Voor interpretatie van modelonderzoek is het van belang de waarde van λ te weten. Afzonderlijk bepalen van de in formule 1 genoemde parameters stuit op bezwaren, omdat bij deze bepaling, zeker bij kleinschalig modelonderzoek, grote onnauwkeurigheden te verwachten zijn.

Ook wordt de in [4] behandelde invloed van de aanstroomweerstand dan niet meegemeten.

In deze notitie wordt aangegeven hoe λ rechtstreeks in een kleinschalig model gemeten kan worden, zodat een veel betrouwbaarder meting mogelijk is. Deze bepaling is uitgevoerd in de Scheldegoot, voor verschillende configuraties. De resultaten hiervan zijn ook opgenomen in deze notitie.

Deze notitie is opgesteld door Ir. A. Bezuijen van het Laboratorium voor Grondmechanica.

2. Meetprincipe

De meting wordt uitgevoerd door een konstant potentiaalverschil te creëren tussen de bovenzijde van de filterlaag en de voorzijde van het talud (zie fig. 1).

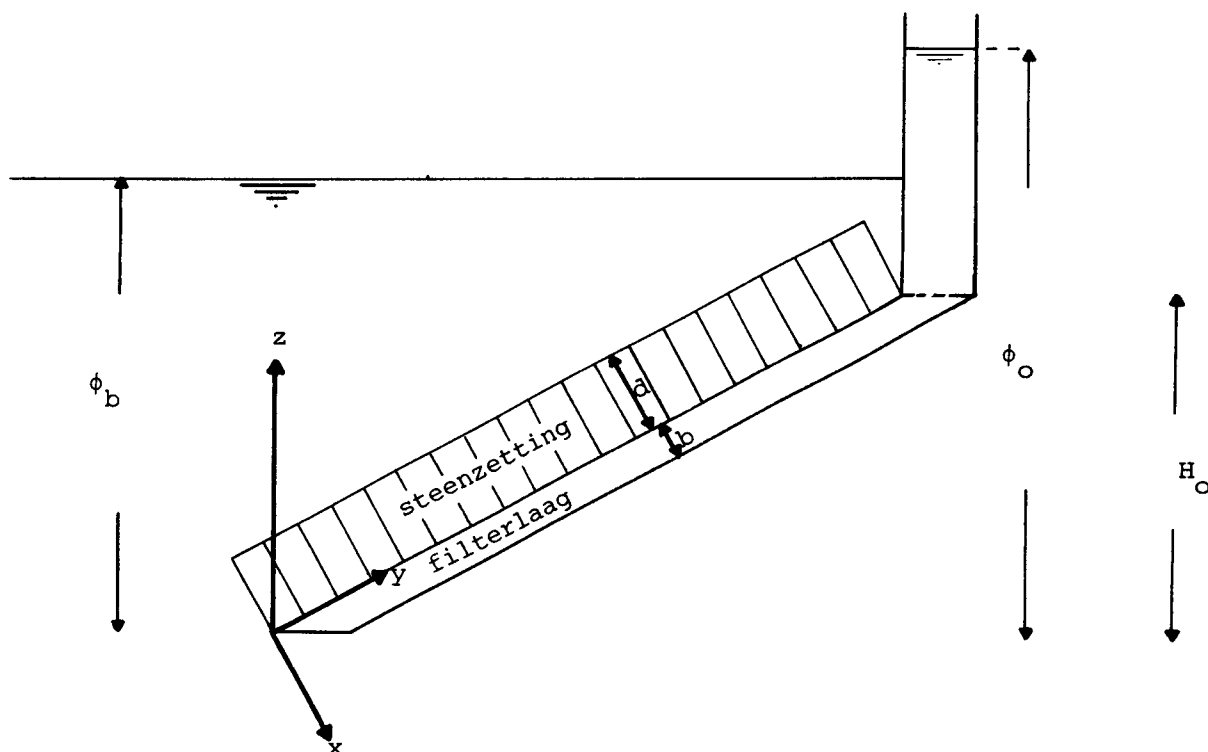


fig. 1: Principeschets voor de meting van λ in de Scheldegoet.

Uit de nu volgende berekening zal duidelijk worden hoe het potentiaalverloop in de filterlaag voor deze situatie een maat is voor λ . Omdat evenals in [1] ook nu de stroming in de filterlaag hoofdzakelijk langs het talud gericht is, introduceren we ook nu de gemiddelde stijghoogte $\bar{\phi}$,

$$\bar{\phi} = \frac{1}{b} \int_0^b \phi \, dx \quad [2]$$

Met de aanname dat de potentiaal op het talud konstant is, wordt de stroming gegeven door de eveneens in [1] gegeven differentiaalvergelijking:

$$\frac{d^2 \bar{\phi}}{dz^2} = \frac{\bar{\phi} - \bar{\phi}_b}{\lambda^2} \quad [3]$$

waarin:

$\bar{\phi}_b$ = de potentiaal (of stijghoogte) op het talud

z = de afstand boven de onderkant van de filterkonstruktie.

De oplossing van deze differentiaalvergelijking wordt gegeven door:

$$\bar{\phi} = A \exp\left(\frac{z}{\lambda}\right) + B \exp\left(-\frac{z}{\lambda}\right) + \bar{\phi}_b \quad [4]$$

Hierin zijn A en B constanten, die bepaald moeten worden met de randvoorwaarden.

Voor $z = 0$ geldt: $\frac{d\bar{\phi}}{dz} = 0$. Hieruit volgt:

$$A = B. \quad [5]$$

Voor $z = H_o$ geldt:

$$\bar{\phi}_o = A \left[\exp\left(\frac{H_o}{\lambda}\right) + \exp\left(-\frac{H_o}{\lambda}\right) \right] + \bar{\phi}_b \quad [6]$$

Uit [5] en [6] volgt:

$$A = B = \frac{\bar{\phi}_o - \bar{\phi}_b}{2 \cosh\left(\frac{H_o}{\lambda}\right)} \quad [7]$$

Invullen in [4] geeft:

$$\bar{\phi} = (\bar{\phi}_o - \bar{\phi}_b) \frac{\cosh\left(\frac{z}{\lambda}\right)}{\cosh\left(\frac{H_o}{\lambda}\right)} + \bar{\phi}_b \quad [8]$$

Als ϕ gemeten is voor verschillende waarden van z is met deze formule λ te bepalen. Voor z en $H \gg \lambda$ is [7] te schrijven als:

$$\bar{\phi} = (\phi_o - \phi_b) \frac{\exp\left(\frac{z}{\lambda}\right)}{\exp\left(\frac{o}{\lambda}\right)} + \phi_b \quad [9]$$

Voor dit geval is λ expliciet te schrijven als functie van de overige parameters. Omschrijven van [8] geeft:

$$\lambda = \frac{z - H_o}{\ln \frac{\bar{\phi} - \phi_b}{\phi_o - \phi_b}} \quad [10]$$

Als ook het totale debiet door de zetting bekend is, kunnen ook de afzonderlijke doorlatendheden van de zetting en de filterlaag berekend worden. Uit de continuïteitsvoorwaarde voor het debiet uit de steenzetting volgt:

$$q = -k' \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_{o^-} = -k \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_{o^+} \quad [11]$$

Hierin is o^- juist buiten de filterlaag en o^+ juist in de filterlaag. De continuïteitsvoorwaarde in de filterlaag geeft:

$$\frac{1}{b} \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_{o^+} = \sin 2\alpha \frac{d^2 \phi}{dz^2} \quad [12]$$

Combinatie van [11] en [12] geeft:

$$q = -k \sin 2\alpha \frac{d^2 \phi}{dz^2} \quad [13]$$

$\frac{d^2\phi}{dz^2}$ is te bepalen door 2 maal differentiëren van formule [8].

Hieruit volgt:

$$\frac{d^2\phi}{dz^2} = \frac{\phi_o - \phi_b}{\lambda^2} \cdot \frac{\cosh(\frac{z}{\lambda})}{\cosh(\frac{H}{\lambda})} \quad [14]$$

Dus geldt voor het debiet ter plaatse z:

$$q = -k \cdot b \cdot \sin 2\alpha \frac{\phi_o - \phi_t}{\lambda^2} \cdot \frac{\cosh(\frac{z}{\lambda})}{\cosh(\frac{H}{\lambda})} \quad [15]$$

Het totale debiet door de zetting wordt gegeven door de integraal van [15] over het hele talud:

$$Q_{tot} = \int_0^{H_o} q \, dz$$

$$Q_{tot} = -k \cdot b \cdot \sin 2\alpha \frac{\phi_o - \phi_b}{\lambda} \tanh\left(\frac{H}{\lambda}\right) \quad [16]$$

Dit is de hoeveelheid water die uit de zetting stroomt. Deze moet gelijk zijn aan de hoeveelheid water die vanuit het reservoir in het filter stroomt. Met q' het specifiek debiet in het filter bij het reservoir, moet dus gelden:

$$Q_{tot} = q' \cdot b$$

Dus geldt voor k:

$$k = \frac{q'}{\phi_o - \phi_b} \frac{\lambda}{\sin^2 \alpha} \coth\left(\frac{H_o}{\lambda}\right) \quad [17]$$

Als nu k, b, d en λ bekend zijn kan met formule [1] ook k' berekend worden. Voor de voorwaarden z en $H_o \gg \lambda$ kan ook deze formule vereenvoudigd worden. Er geldt dan $\coth \alpha \approx 1$.

Dus is 17 dan te schrijven als:

$$k = \frac{q'}{\phi_o - \phi_b} \frac{\lambda}{\sin^2 \alpha} \quad [18]$$

3. Praktische uitvoering

Voor elke taludhelling die in de Scheldegoot is beproefd en bij elke verandering van de spleetgrootte of de constructie van het filter werd, vooraf aan de proevenserie, eerst de lek lengte bepaald. Daartoe werd in het talud een konstruktie aangebracht als aangegeven in fig. 2.

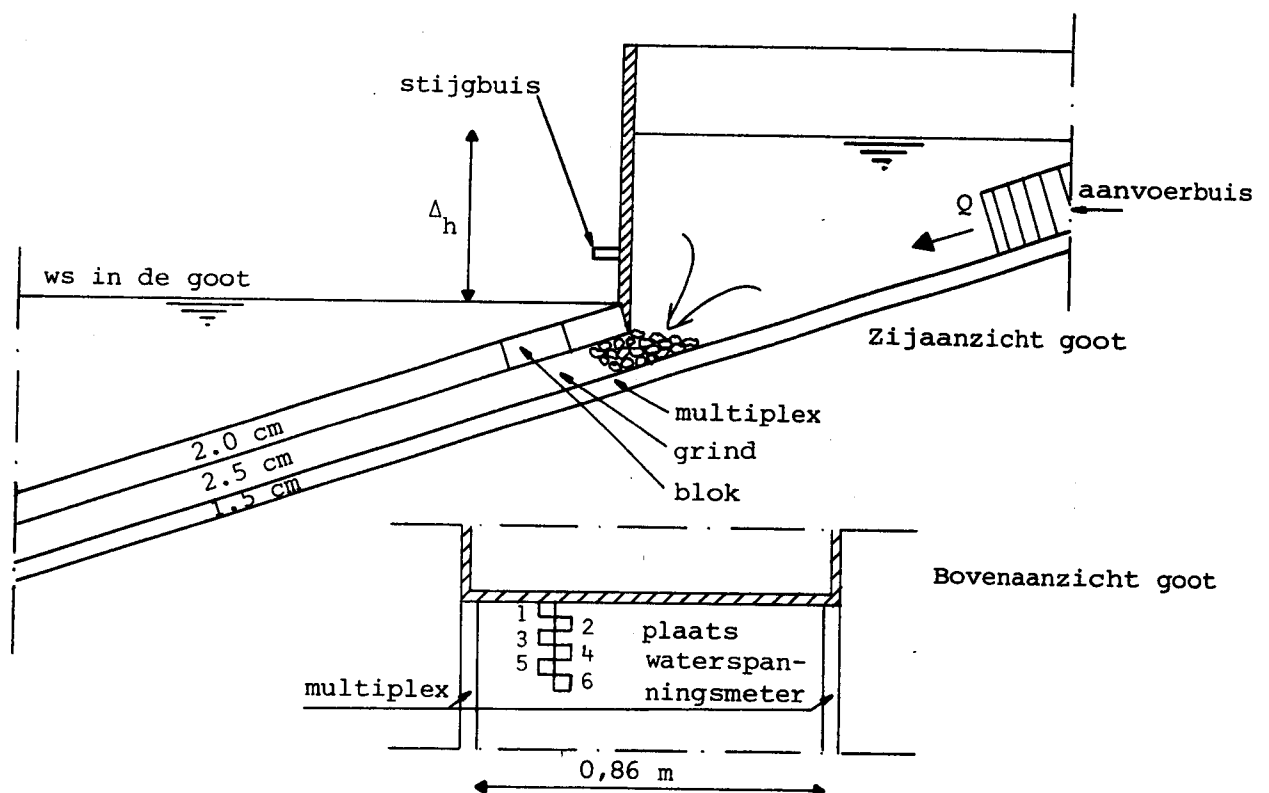


Fig. 2: Praktische uitvoering van meting ter bepaling van de lek lengte

De reeds aangebrachte waterspanningsmeters voor de bepaling van de waterspanningen in de filterlaag tijdens golfaanval zijn ook gebruikt voor de bepaling van het drukverloop in de filterlaag gedurende deze meting.

Voor deze meting is de waterstand in de Scheldegoot zo ver verhoogd, dat de in fig. 2 getekende konstruktie zich juist onder water bevindt.

Deze waterstand is gedurende de meting niet gevarieerd. Met behulp van een pomp wordt water rondgepompt vanuit de Scheldegoot in de bak boven de filterconstructie, zodat een hoogteverschil Δh gecreëerd wordt. De waterstand in deze bak is gemeten met een stijgbuis. De rondpompsnelheid is gemeten met een elektrische debietmeter. De resultaten van de metingen zijn gegeven in de tabellen 1 t/m 5. De hoogte van de waterspanningsmeters voor de verschillende taludhellingen is gegeven in tabel 6.

waterspannings- meter no.	taludhelling	
	1 : 3	1 : 6
1	0,65	0,34
2	1,95	1,01
3	3,24	1,69
4	4,54	2,36
5	5,83	3,03
6	7,13	3,71

Tabel 6: Hoogteverschil (in cm) tussen het midden van de waterspanningsmeters en de hoogte van de onderkant van de zetting bij het reservoir.

waterstand onder (cm)	waterstand boven (cm)	gemiddeld boven (cm)	Δh (cm)	Q (l/s)	q (l/s/m)	$W_{sm} (* 100 \text{ Pa})$					
						1	2	3	4	5	6
31.36	42.32	42.308	10.948	2.000	2.392	0.6	0.05	0.05	-0.05	0.05	
	42.37										
	42.36										
	42.24										
	42.25										
31.36	49.06	49.052	12.692	2.658	3.181	1.5	0.12	-0.12	-0.28	-0.08	
	49.05										
	49.05										
	49.04										
	49.06										
31.36	51.30	51.314	19.954	2.858	3.4182	1.8	0.18	-0.25	-0.32	-0.12	
	51.32										
	51.31										
	51.33										
	51.31										

Tabel 1: Resultaten meting 1
Talud 1:3 grofgrind openzetting.

waterstand onder (cm)	waterstand boven (cm)	gemiddeld boven (cm)	Δh (cm)	Q (l/s)	q (l/s/m)	$W_{sm} \quad (* 100 \text{ Pa})$					
						1	2	3	4	5	6
0.82	11.20	11.23	10.41	2.010	2.32	1.18	-0.11	+0.02	0.00	-0.23	-0.10
	11.22										
	11.22										
	11.25										
	11.24										
0.82	21.35	21.35	20.53	2.994	3.45	2.94	-0.15	+0.15	-0.30	-0.10	-0.30
	21.33										
	21.33										
	21.36										
	21.38										
0.82	32.00	32.04	31.22	4.030	4.65	5.89	0.12	0.00	-0.69	-0.59	-0.69
	32.06										
	32.03										
	32.12										
	32.03										
0.82	35.90	35.90	35.08	4.350	5.02	7.36	0.29	0.18	-0.78	-0.78	-0.83
	35.90										
	35.90										
	35.89										
	35.85										

Tabel 2: Resultaten meting 2
Talud 1:3 grofgrind
aluminium blokken.

waterstand onder (cm)	waterstand boven (cm)	gemiddeld boven (cm)	Δh (cm)	Q (l/s)	q (l/s/m)	Wsm (* 100 Pa)					
						1	2	3	4	5	6
11.57	30.45	30.47	18.9	1.026	1.19		1.32	0.29	-0.15	-0.29	0.12
	30.45										
	30.47										
	30.50										
	30.48										
11.57	35.58	35.57	24.0	1.186	1.38		1.26	0.20	-0.20	-0.39	0
	35.59										
	35.57										
	35.57										
	35.57										
11.57	37.96	37.98	26.41	1.266	1.47		1.35	0.16	-0.26	-0.49	-0.12
	37.97										
	37.98										
	38.00										
	38.00										
11.57	41.30	41.31	29.74	1.366	1.59		1.39	0.10	-0.32	-0.40	-0.24
	41.32										
	41.31										
	41.32										
	41.32										

Tabel 3: Resultaten meting 3
Talud 1:3 fijn grind
gesloten zetting

waterstand onder (cm)	waterstand boven (cm)	gemiddeld boven (cm)	Δh (cm)	Q (l/s)	q (l/s/m)	Wsm (* 100 Pa)					
						1	2	3	4	5	6
6.49	12.57	12.60	6.11	0.981	1.14	1.54	0.51	0	-0.06	-0.47	-0.18
	12.56					1.52	0.49				
	12.62										
	12.62										
	12.62										
6.19	23.44	23.43	16.94	1.775	2.06	4.67	1.48	0.50	0.16	-0.08	-0.29
	23.43					4.51	1.32				
	23.44										
	23.42										
	23.43										
6.49	36.00	36.00	29.51	2.445	2.84	9.30	3.02	0.62	0.13	-0.13	-0.27
	36.00					8.82	2.64				
	36.00										
	36.05										
	36.00										
6.49	39.42	39.39	32.90	2.801	3.26	14.31	4.50	2.05	0.38	-0.50	-0.25
	39.44					13.72	3.91				
	39.37										
	39.37										
	39.36										

Tabel 4: Resultaten meting 4
Talud 1:6 fijn grind
gesloten zetting

waterstand onder (cm)	waterstand boven (cm)	gemiddeld boven (cm)	Δh (cm)	Q (l/s)	q (l/s/m)	Wsm (* 100 Pa)					
						1	2	3	4	5	6
0.55	7.66	7.75	7.20	2.245	2.61	1.77	0.93	0.15	-0.17	-0.26	-0.15
	7.78										
	7.72										
	7.77										
	7.75										
0.55	16.00	15.96	15.41	3.245	3.77	3.73	1.16	-0.34	-0.42	-0.78	-0.59
	15.92										
	15.97										
	15.90										
	15.98										
0.55	23.80	23.81	23.36	3.885	4.52	5.00	1.26	-0.54	-0.62	-0.20	-0.15
	23.77										
	23.81										
	23.81										
	23.83										
0.55	29.59	29.59	29.04	4.385	5.10	6.13	1.41	-0.54	-0.98	-1.18	-1.47
	29.60										
	29.60										
	29.58										
	29.59										
0.55	35.68	35.67	35.12	4.795	5.58	6.87	1.47	-0.67	-0.83	-1.72	-1.43
	35.68										
	35.70										
	35.59										
	35.65										

Tabel 5: Resultaten meting 5
Talud 1:6 grof grind
open zetting

4. Analyse meetresultaten

Uit de in tabel 1 gepresenteerde resultaten blijkt dat de druk in de filterlaag snel afneemt. Waterspanningsmeter 1 geeft in de meeste gevallen nog een kleine positieve druk; bij waterspanningsmeter 2 is de gemeten druk meestal al verwaarloosbaar en de gemeten druk bij de volgende waterspanningsmeters is vaak zelfs negatief.

Dit negatief worden van de waterspanningen vereist een verklaring. De waterspanning is namelijk gemeten t.o.v. de waterspanning bij stil water en volgens de in hoofdstuk 2 gepresenteerde oplossing van de differentiaalvergelijking [3] zijn geen negatieve waterpassingen mogelijk. Voor het toch negatief worden van de waterspanningen zijn twee redenen:

a. waterstandverlaging in de Scheldegoot tijdens de meting.

Gedurende de meting wordt water uit de Scheldegoot in het reservoir boven de filterlaag gepompt. Hierdoor is de waterstand in de goot gedurende de meting iets lager dan tijdens de nulmeting. Deze verlaging is afhankelijk van de hoeveelheid water die in het reservoir boven de filterlaag staat. Deze wordt bepaald door de taludhelling en het stijghoogteverschil tussen het water in het reservoir en in de goot.

b. golfvorming in de Scheldegoot.

Als de hoeveelheid water die door de spleten van de top laag stroomt aanzienlijk is, zal de waterspiegel in de goot niet horizontaal blijven lopen, maar zal er in de stationaire situatie een staande golf in de goot aanwezig zijn.

Dat betekent dat er plaatsen zijn waar de waterstand lager is dan de stilwaterstand in de goot. Deze golfvorming is duidelijk waarneembaar aan de gemeten waterspanningen. De waterspanning is niet monotoon dalend, maar vertoont fluctuaties. Ook blijkt dat als het debiet groter wordt, ook de fluctuaties groter worden (vergelijk b.v. voor talud 1 : 6 de waarden voor grof en voor fijn grind).

De metingen zijn voor de waterstandsverlaging in de goot t.g.v. van rondpompen eenvoudig te corrigeren. Voor golfvorming is echter geen correctie mogelijk, omdat de golflengte onbekend is, evenals de golfhoogte, daarbij geldt de in hoofdstuk 2 gepresenteerde oplossing niet voor deze randvoorwaarden.

Daarom is bij de berekening van de lek lengte niet gecorrigeerd voor waterstandsvariatiën t.g.v. golfvorming, maar wel voor de waterspiegeldaling.

Als de waterspiegeldaling in de goot evenredig is met de hoeveelheid water die zich in het reservoir boven de filterlaag bevindt, zal deze daling evenredig zijn met het kwadraat van de stijghoogte, omdat de dwarsdoorsnede van het reservoir de vorm van een driehoek heeft. Bij één proef met een talud 1 : 6 is de spiegeldaling gemeten en bleek bovengenoemde kwadratische relatie. Met behulp van deze meetpunten en die relatie kon de spiegeldaling voor elk stijghoogteverschil gereconstrueerd worden. Dit is aangegeven in fig. 3.

Voor een talud 1 : 3 is de spiegeldaling ook te berekenen. Bij gelijke waterstand in het reservoir is het watervolume in het reservoir nu half zo groot. De spiegeldaling is dus 2x zo klein. Ook deze lijn is aangegeven in fig. 3. Met deze gegevens zijn de resultaten van tabel 1 t/m 5 bewerkt en met de formules [10], [18] en [1] zijn de lek lengte λ , k en k' berekend.

Dat de benaderende formules [10] en [18] gebruikt kunnen worden, blijkt uit de snelle afname van de druk in het filter.

Uit formule [10] blijkt dat λ met meerdere combinaties van z en $\bar{\phi}$ te berekenen is. In veel gevallen gaf alleen de waterspanningsmeter die het dichtst bij het reservoir zat een significante waarde, zodat voor de bepaling van λ alleen dat resultaat gebruikt kan worden. Als meerdere waterspanningsmeters een significante waarde aangaven, is met al die resultaten λ berekend. De resultaten van die berekeningen zijn weergegeven in tabel 7.

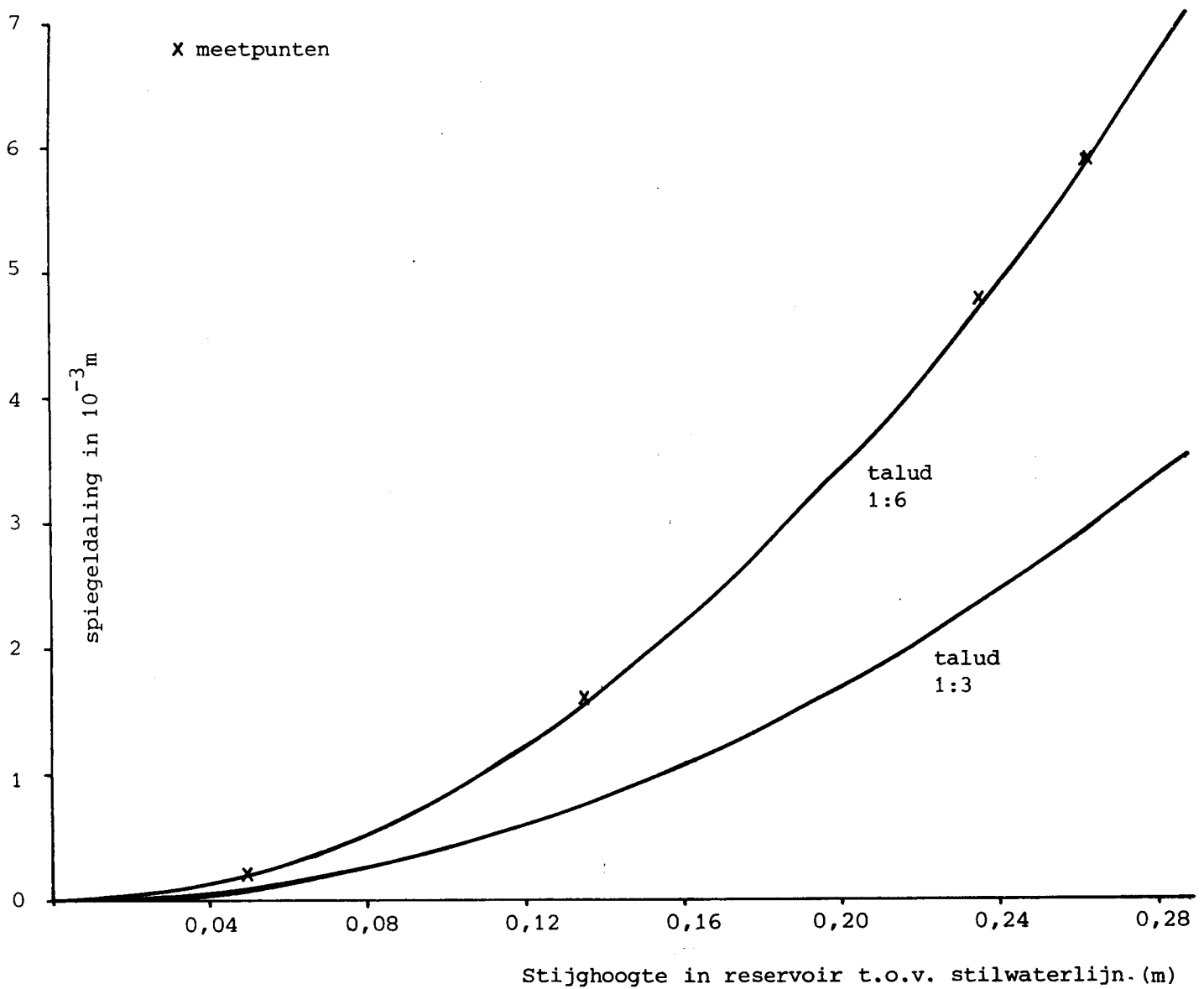


Fig. 3: Waterstandsddaling in goot t.g.v. wegpompen water naar reservoir

Tabel 7: Resultaten lek lengte-berekening

proef no.	Δ_h ro m	Δ_h gecorr. m	Q $10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$	q^1 m/s	W_{sm} 1 PA	ϕ_1 gecorr. m	W_{sm} 2 PA	ϕ_2 gecorr. m	λ_1 m	k_1 m/s	k_1^1 m/s	λ_2 m	k_2 m/s	k_2^1 m/s
1	0,1095	0,1098	2,000	0,0931	0,63	0,0064			0,0023	0,019	0,19			
	0,1769	0,1777	2,658	0,1235	1,58	0,0161			0,0027	0,019	0,13			
	0,1954	0,2016	2,858	0,1328	1,91	0,0194			0,0028	0,018	0,12			
2	0,1041	0,1044	2,010	0,0927	1,18	0,0123			0,0030	0,027	0,15			
	0,2053	0,2059	2,994	0,1381	2,94	0,0306			0,0034	0,023	0,10			
	0,3149	0,3149	4,030	0,1859	5,89	0,0628			0,0040	0,024	0,073			
	0,3508	0,3542	4,350	0,2007	7,36	0,0785			0,0043	0,024	0,066			
3	0,189	0,1899	1,026	0,0477			1,32	0,0143				0,0075	0,0019	0,017
	0,240	0,2416	1,186	0,0551			1,26	0,0145				0,0069	0,0016	0,017
	0,264	0,2660	1,266	0,0588			1,35	0,0157				0,0069	0,0015	0,016
	0,2974	0,2998	1,366	0,0635			1,39	0,0166				0,0067	0,0014	0,016
4	0,0611	0,0613	0,981	0,0456	1,54	0,0159	0,51	0,0056	0,0025	0,069	0,15	0,0042	0,12	0,09
	0,1694	0,1610	1,775	0,0825	4,67	0,0485	1,48	0,0177	0,0028	0,054	0,09	0,0046	0,088	0,06
	0,2951	0,2999	2,445	0,1136	9,30	0,0996	3,02	0,0356	0,0031	0,042	0,06	0,0047	0,066	0,40
	0,3290	0,3349	2,801	0,1301	14,31	0,1519	4,50	0,0518	0,0043	0,062	0,045	0,0054	0,078	0,36
5	0,0720	0,0723	2,245	0,1043	1,77	0,0183	0,93	0,0093	0,0025	0,13	0,29	0,0049	0,26	0,165
	0,1541	0,1545	3,245	0,1508	3,73	0,0393	1,16	0,0131	0,0025	0,089	0,20	0,0041	0,15	0,12
	0,2336	0,2366	3,885	0,1805	5,00	0,0540	1,26	0,0132	0,0023	0,065	0,17	0,0035	0,099	0,11
	0,2904	0,2950	4,385	0,2037	6,13	0,0671	1,41	0,0162	0,0023	0,059	0,15	0,0035	0,089	0,099
	0,3512	0,3579	4,795	0,2228	6,87	0,0768	1,47	0,0217	0,0022	0,051	0,14	0,0036	0,083	0,086

5. Commentaar bij de gevonden waarden van λ , k en k'

Uit de resultaten van tabel 3 blijkt, dat de gevonden lek lengten kleine waarden hebben. De lek lengte blijkt in alle gevallen kleiner te zijn dan het hoogteverschil over één steen ($L \sin \alpha$, met L de lengte van de blokken en α de taludhelling).

Dit betekent dat binnen een steenafstand een plaatselijk gecreëerde overdruk, in dit geval m.b.v. het reservoir, anders door b.v. golfaanval, met meer dan een factor e (e is het grondtal van de natuurlijke logaritmie = 2,781) afgenomen is. Over 2 stenen is de druk al een factor $e^2 = 7,4$ verminderd en over 3 stenen is de overdruk nog slechts $1/20$ van de oorspronkelijke druk.

Door deze snelle drukafname is het moeilijk een nauwkeurige meting te doen. Als λ bepaald wordt m.b.v. de eerste waterspanningsmeter, zal het resultaat sterk afhangen van de precieze plaats van die meter. Als de bepaling van de positie 1 mm fout is, zal de fout in de gevonden lek lengte al erg groot zijn. Wordt λ daarentegen bepaald met één van de andere waterspanningsmeters, dan is de gemeten waterspanning al zo klein geworden, dat kleine afwijkingen, b.v. door golfvorming, het resultaat al sterk beïnvloeden.

Bij vergelijking van de gevonden waarden voor k en k' in één proef, maar met verschillende waterstanden in het reservoir blijkt dat als het stijghoogteverschil tussen het reservoir en de goot groter wordt de doorlatendheid afneemt. Het sterkst is deze afname bij een grote doorlatendheid. Hieruit blijkt dat ook bij dit kleinschalige onderzoek de stroming in de filterlaag en door de spleten niet laminair, maar turbulent of semi-turbulent is.

De grote verschillen in de gevonden doorlatendheden voor grof grind bij talud 1 : 3 en 1 : 6 duiden ook op minder nauwkeurige meetresultaten voor deze kleine waarden van λ . Ook zal voor deze kleine waarden de overgang reservoir - filterlaag grote invloed hebben op het uiteindelijke resultaat.

Voor talud 1 : 6 blijkt het verschil in doorlatendheid bij open of dichte blokken slechts een faktor 2 te zijn, ruwweg vergelijkbaar met het doorlatendheidsverschil tussen het grove en fijne grind.

Waarschijnlijk wordt in beide gevallen de doorlatendheid van de toplaag bepaald door de toestroomweerstand van het water naar de spleten. Voor talud 1 : 3 is deze vergelijking niet te maken, omdat voor fijn grind de waterspanning bij de eerste steen niet beschikbaar is. Voor gebruik in een rekenmodel lijkt die waarde van λ , k en k' die bepaald is met de waterspanningsmeter die het dichtst bij het reservoir zat (wsm 1) en waarbij de waarde van wsm 1 juist aanleiding zou geven tot instabiliteit, het meest betrouwbaar.

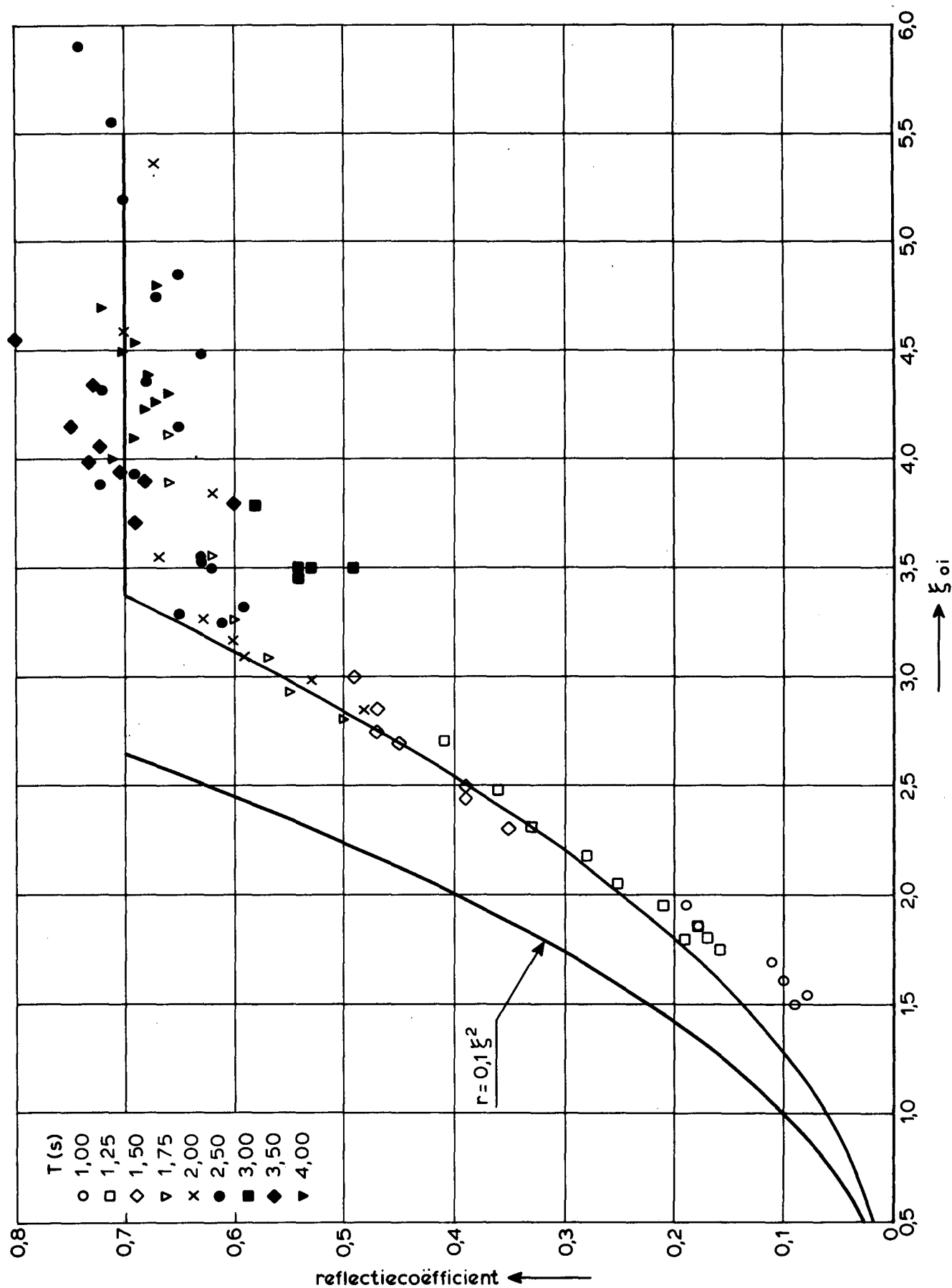
6. Conclusies

Bij het uitgevoerde kleinschalige onderzoek was de lek lengte klein. Ook relatief veel kleiner dan bij het Oesterdam-model in de Deltagoot met blokken op filter. Voor de verschillende constructies zijn de verschillen in lek lengte gering. Te verwachten is dan ook dat voor de verschillende constructies het schadepatroon en de schadegolfhoogte vergelijkbaar zijn. De constructie met open toplaag en grof grind zal voor golven met grote golfperiode mogelijk iets stabielere zijn, omdat niet uitgesloten is dat voor een dergelijke open constructie de freatische lijn in de filterlaag de waterbeweging buiten in belangrijke mate volgt.

De gevolgde procedure ter bepaling van de lek lengte zal nauwkeuriger resultaten geven bij grotere lek lengten.

De resultaten geven aanleiding om te veronderstellen dat de gevonden lek lengten ook bepaald zijn door toestemingsweerstand door de filterlaag naar de spleten. De op deze wijze bepaalde λ zal, hoewel onnauwkeurig, toch betrouwbaarder informatie geven over het gedrag van de zetting onder golfaanval dan het afzonderlijk bepalen van de doorlatendheid van de toplaag en filterlaag.

Gemeten reflectiecoëfficiënten



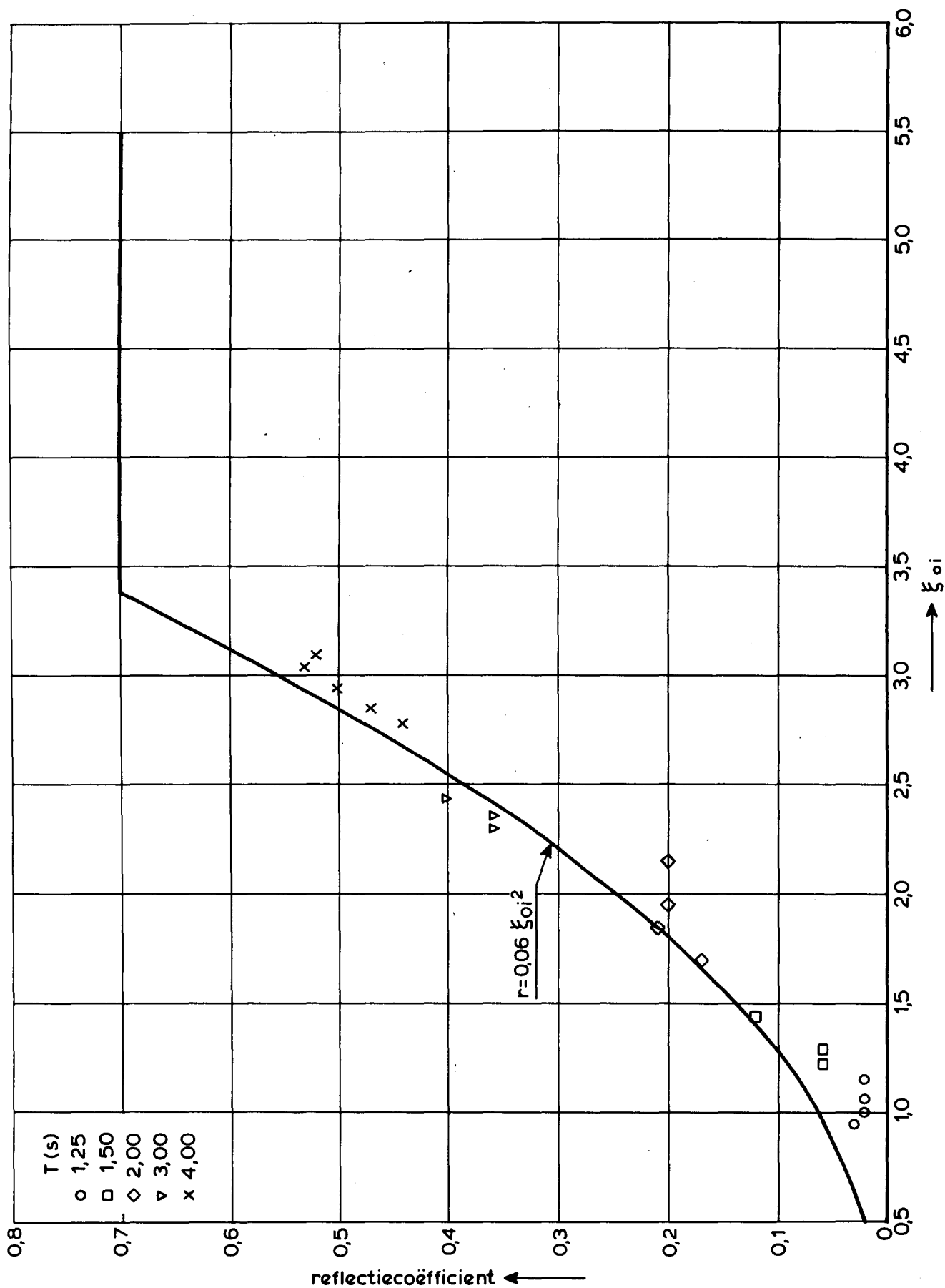
REFLECTIECOEFFICIENTEN BIJ
KONSTRUKTIETYPE 1 TALUD 1:3

REGELMATIGE GOLVEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. A.2-1



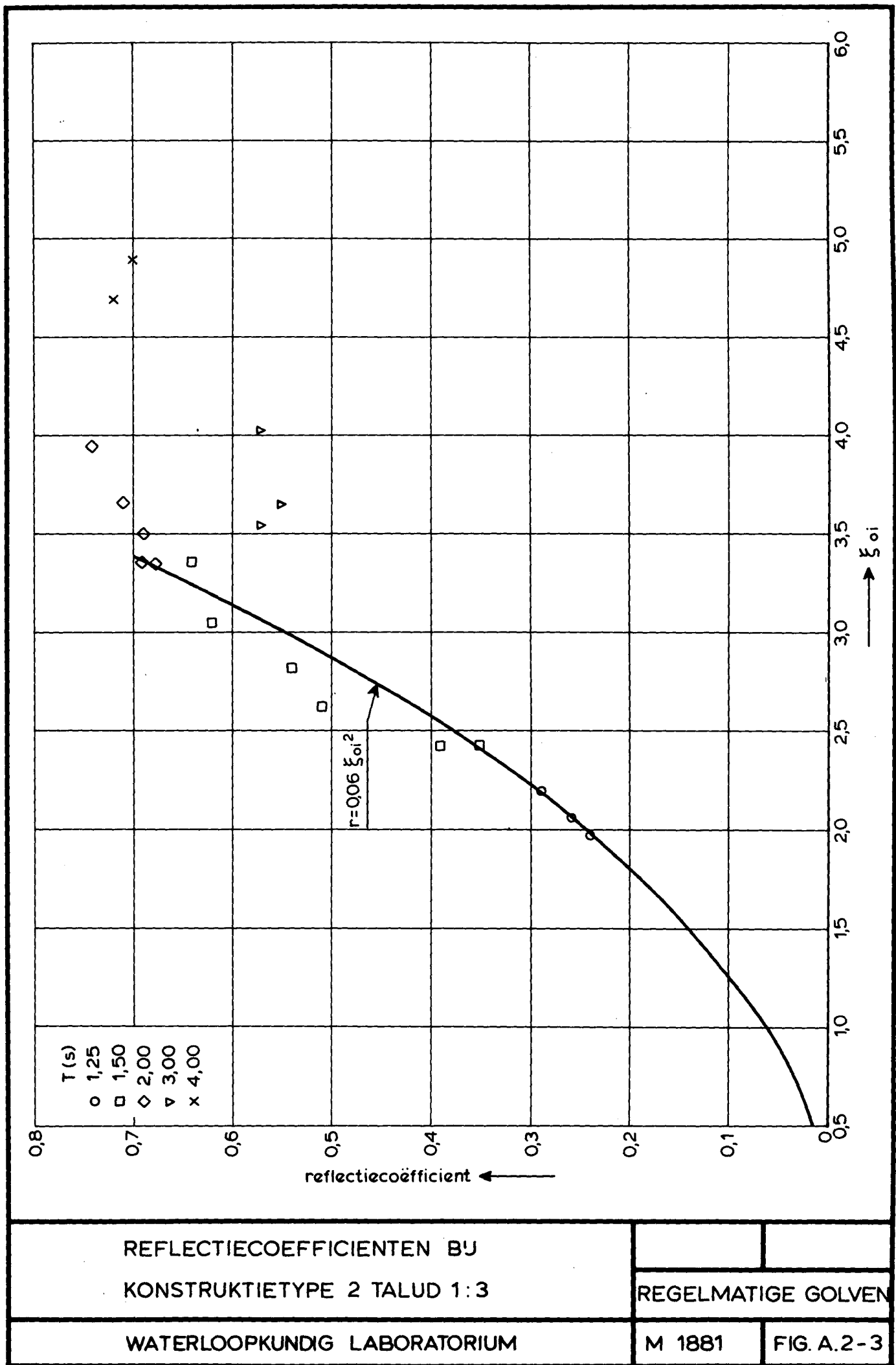
REFLECTIECOEFFICIENTEN BIJ
KONSTRUKTIETYPE 1 TALUD 1:6

REGELMATIGE GOLVEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. A.2-2



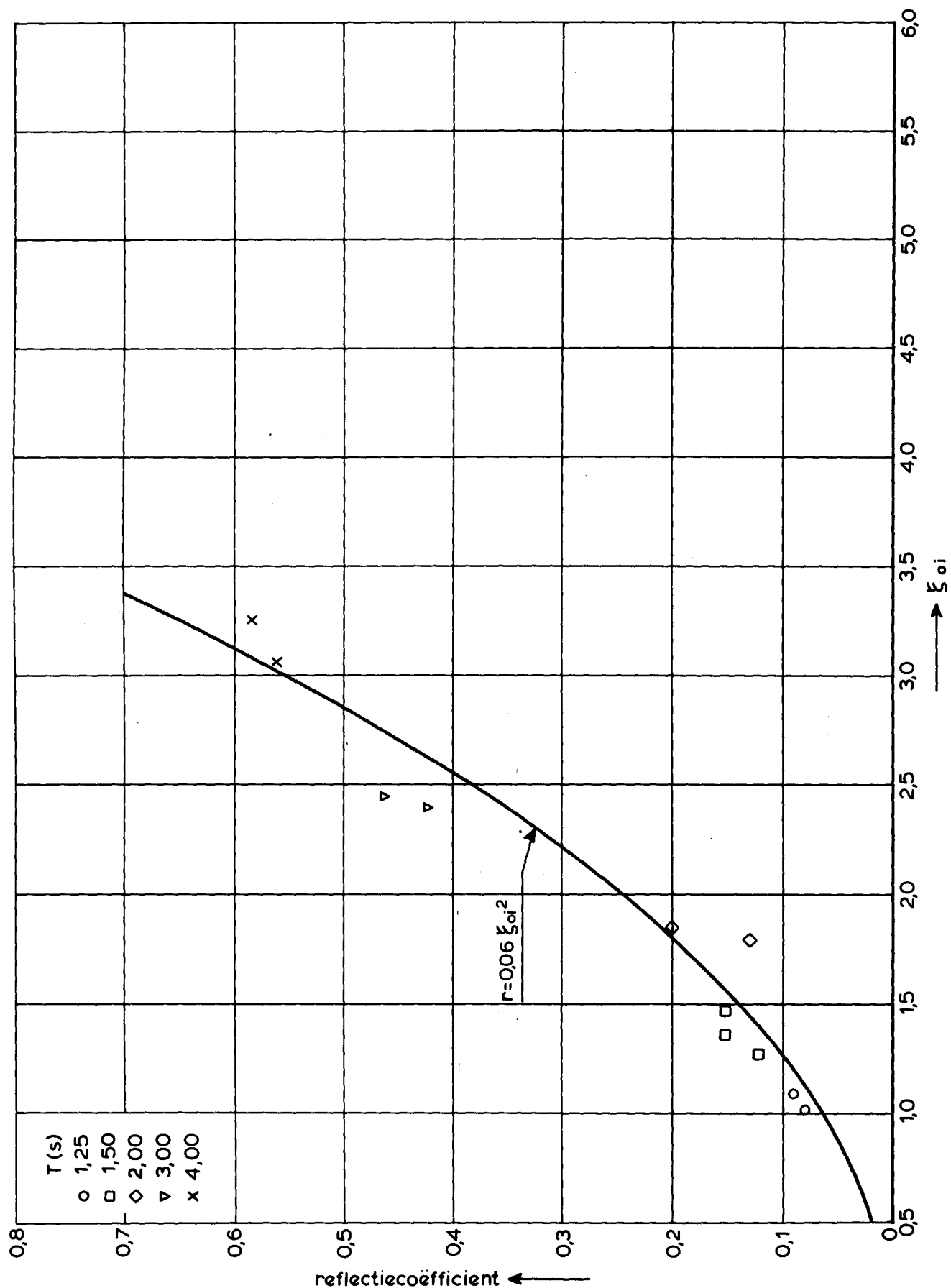
REFLECTIECOEFFICIENTEN BIJ
KONSTRUKTIETYPE 2 TALUD 1:3

REGELMATIGE GOLVEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. A.2-3



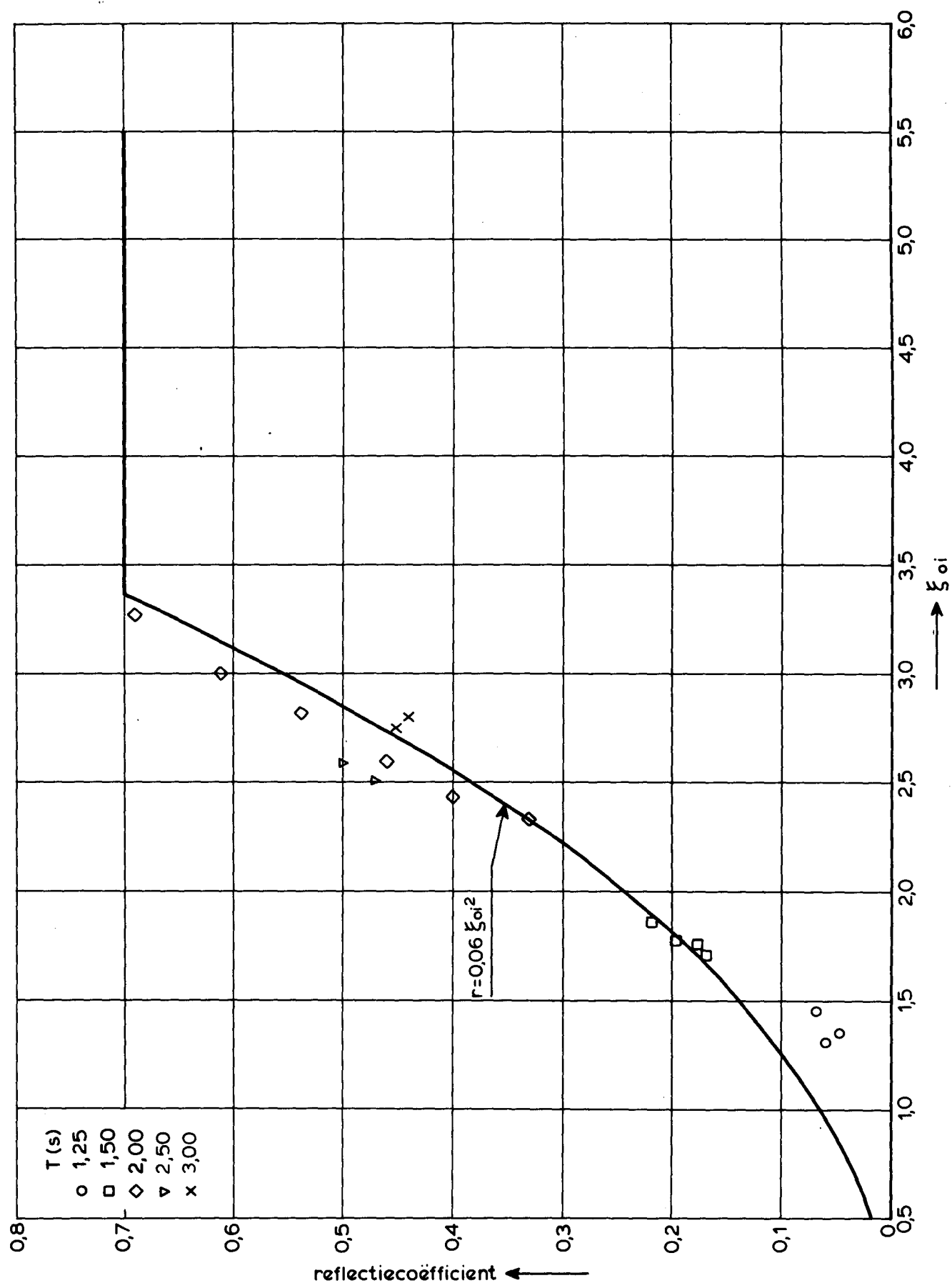
REFLECTIECOEFFICIENTEN BIJ
KONSTRUKTIETYPE 2 TALUD 1:6

REGELMATIGE GOLVEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. A.2-4



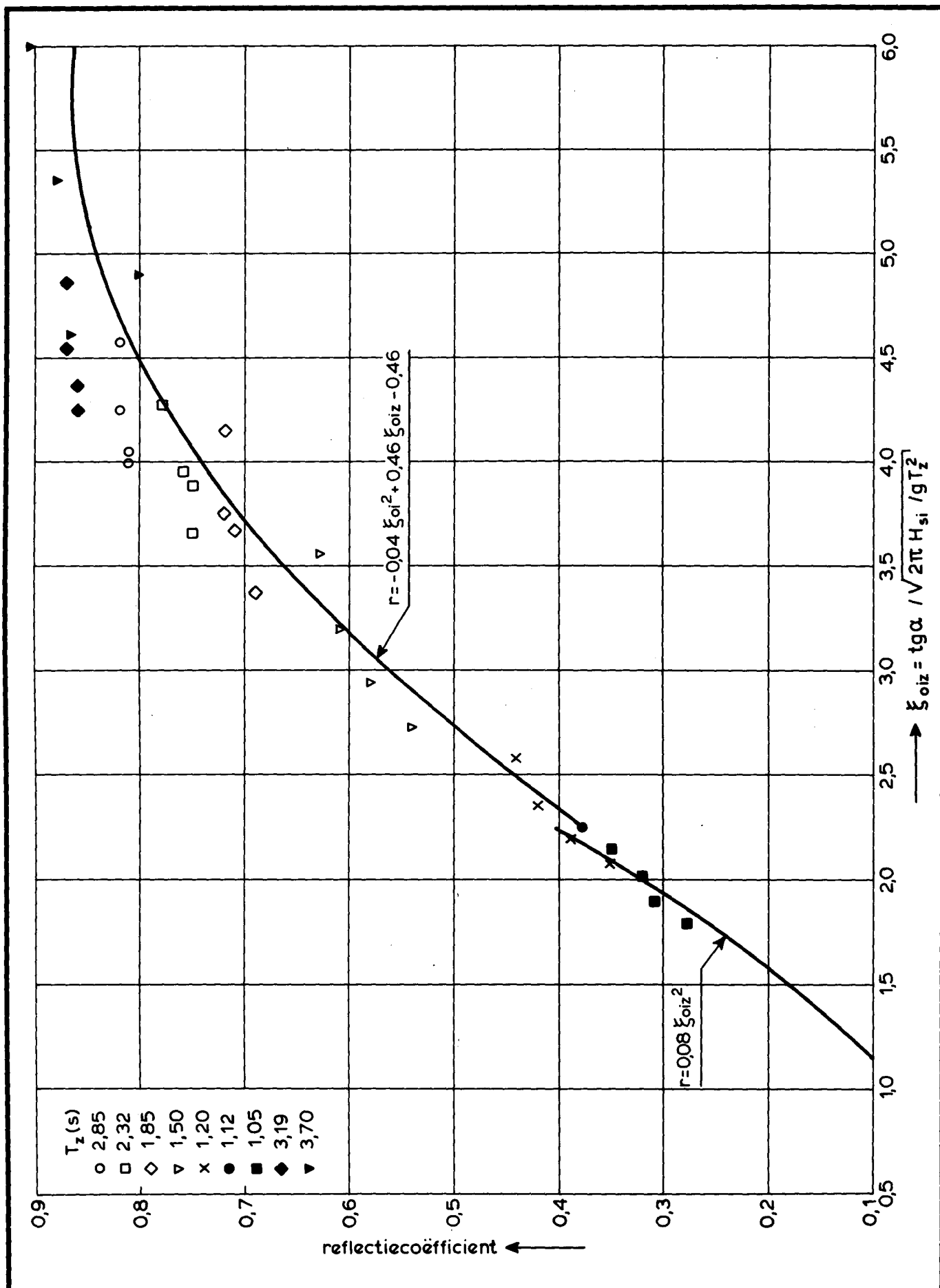
REFLECTIECOEFFICIENTEN. BIJ
 KONSTRUKTIETYPE 3 TALUD 1:3

REGELMATIGE GOLVEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. A.2-5



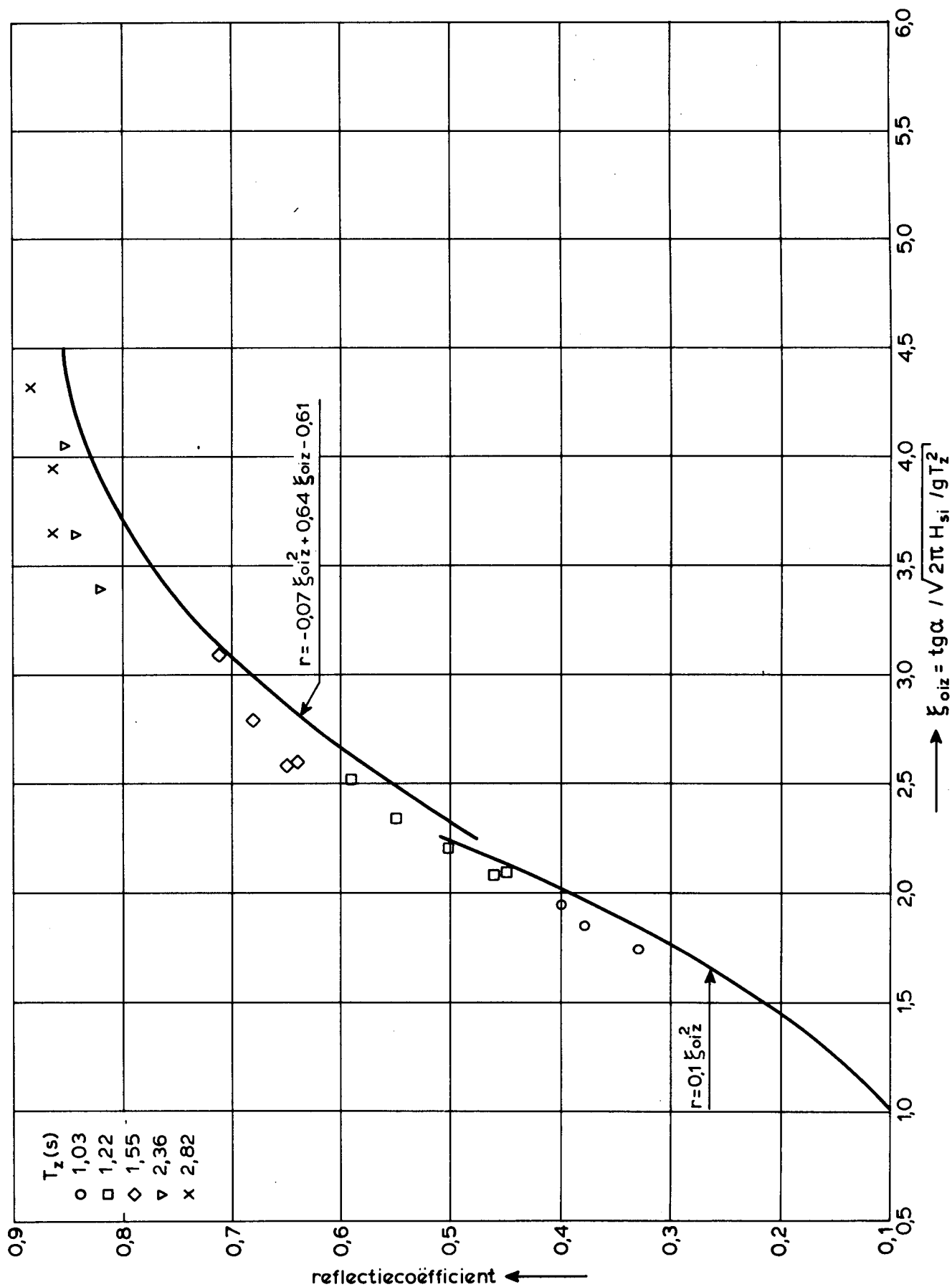
REFLECTIECOEFFICIENTEN BIJ
KONSTRUKTIETYPE 1 TALUD 1:3

EGMOND SPECTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. A.2-6



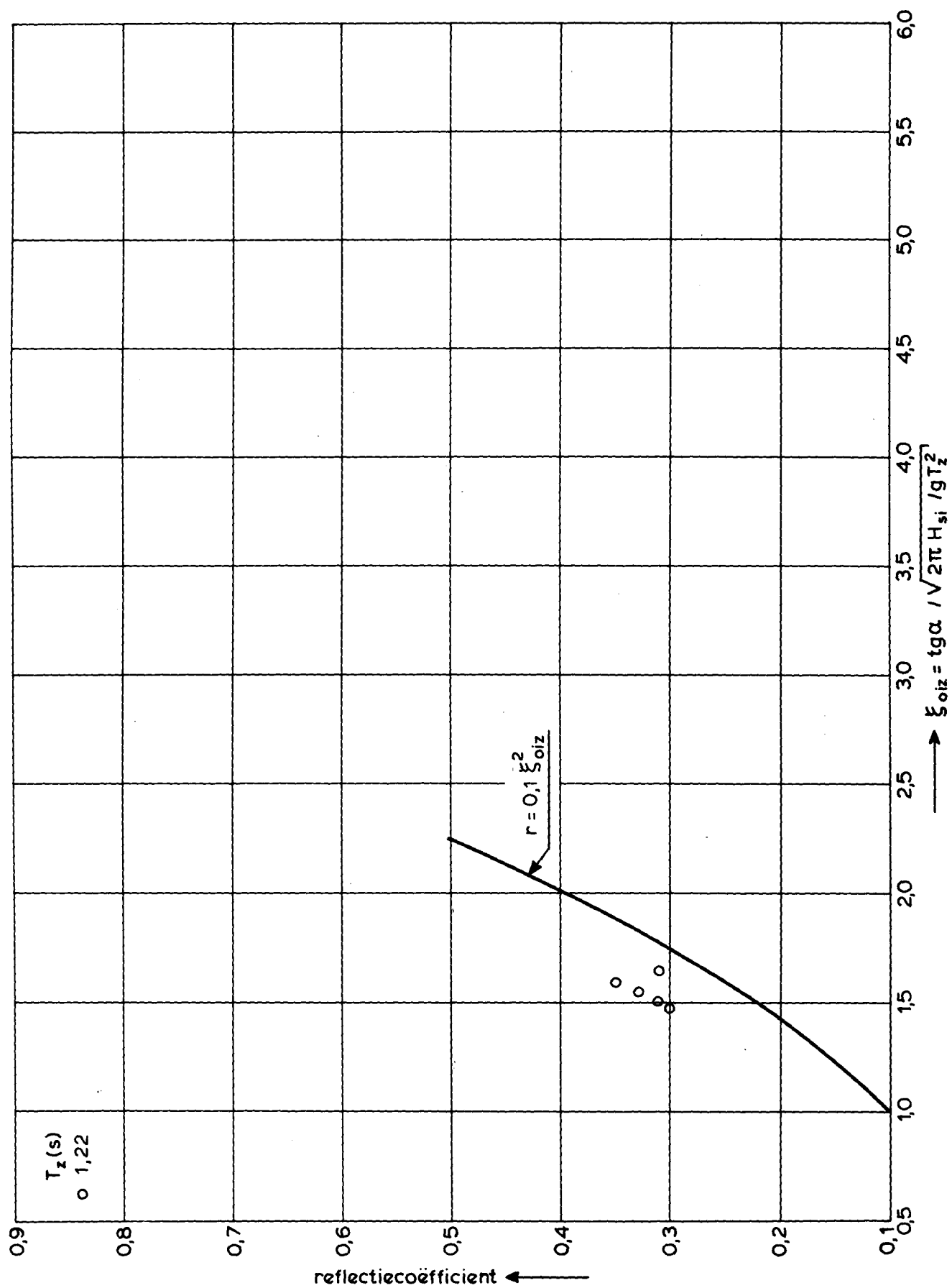
REFLECTIECOEFFICIENTEN BIJ
KONSTRUKTIETYP 2 TALUD 1:3

EGMOND SPECTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG.A.2-7



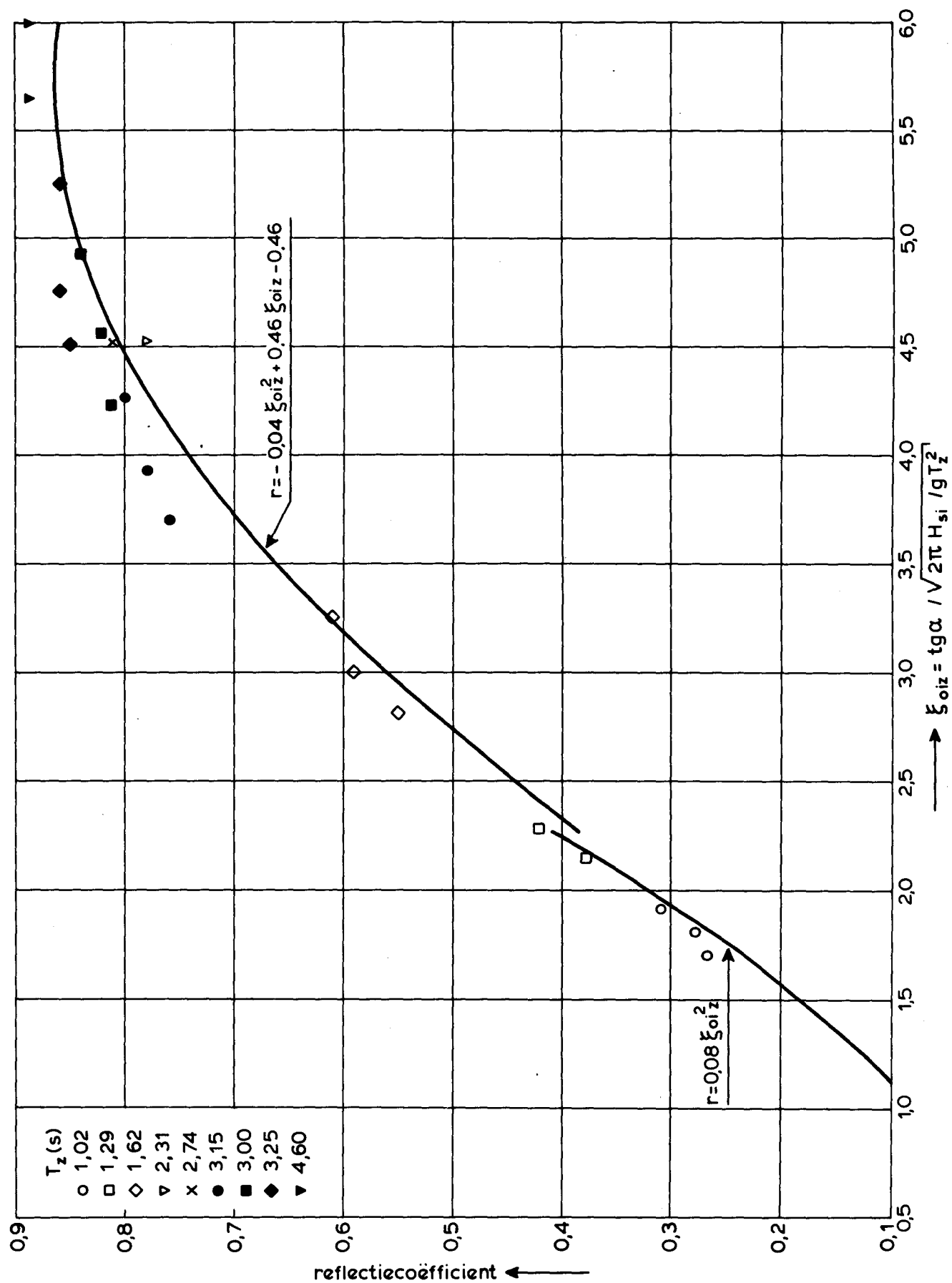
REFLECTIECOEFFICIENTEN BIJ
KONSTRUKTIETYPE 3 TALUD 1:3

EGMOND SPECTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG.A.2-8



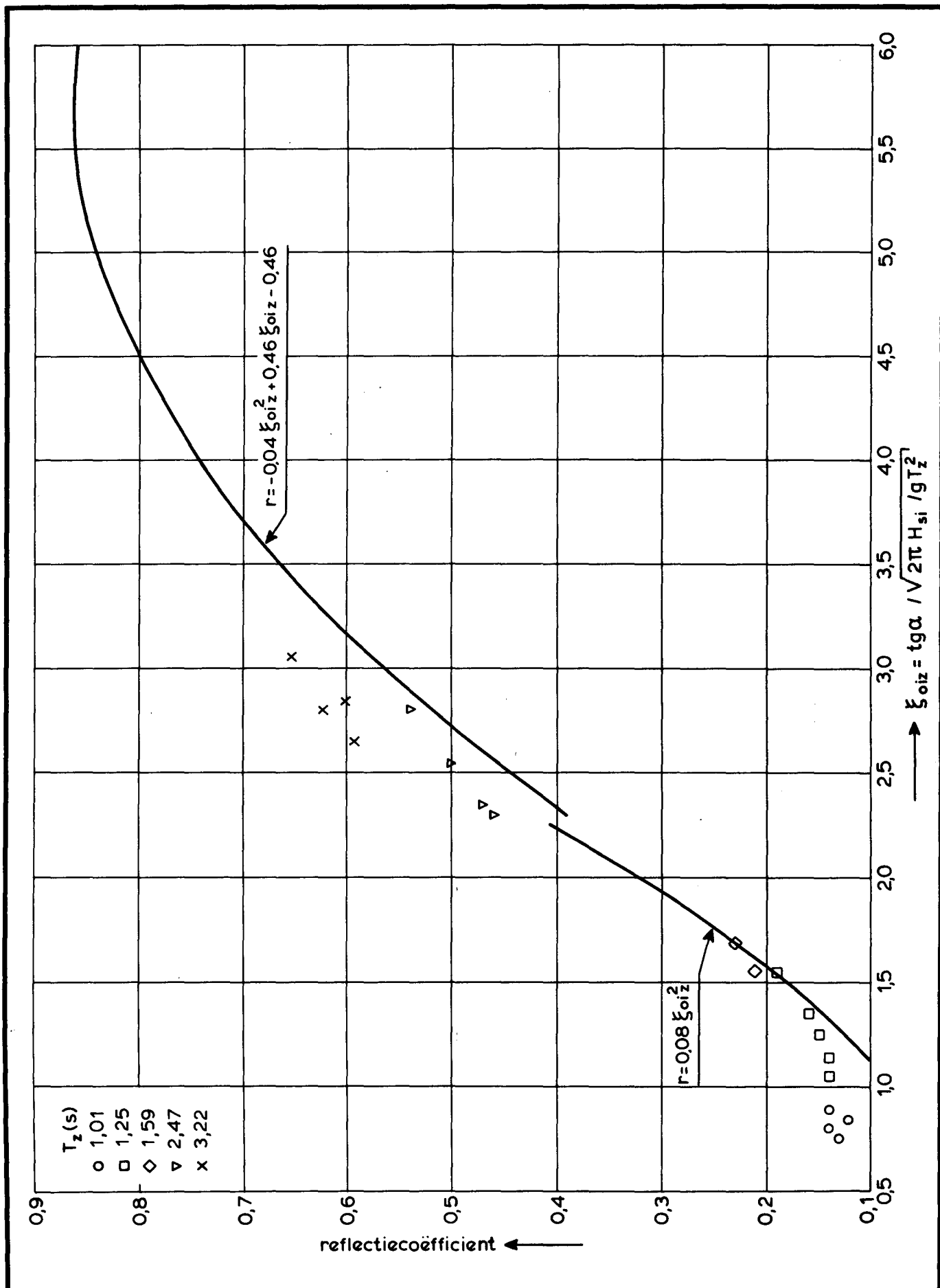
REFLECTIECOEFFICIENTEN BIJ
KONSTRUKTIETYP 1 TALUD 1:3

JONSWAP SPECTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. A.2-9



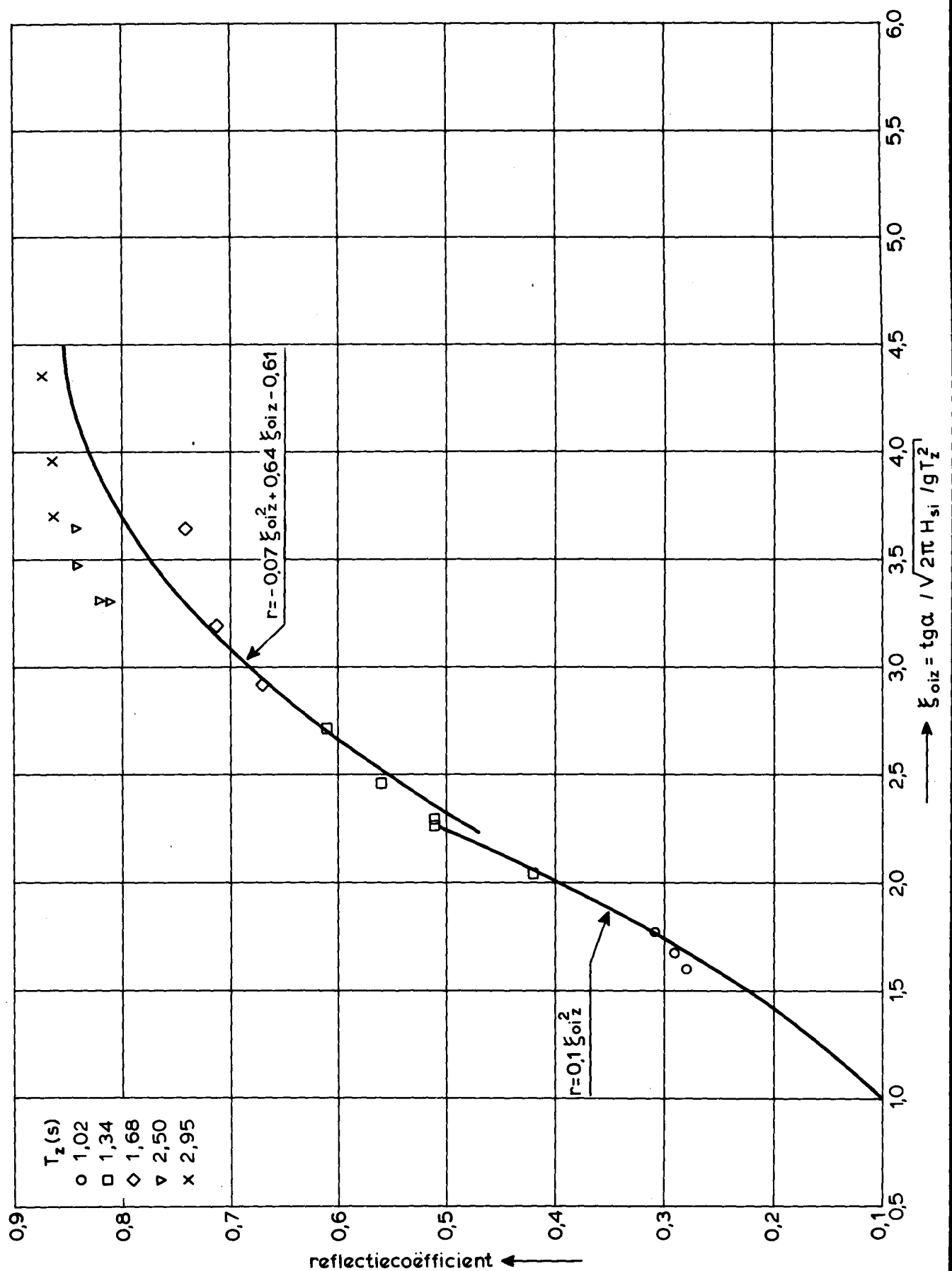
REFLECTIECOEFFICIENTEN BIJ
KONSTRUKTIETYPE 1 TALUD 1:6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

JONSWAP SPECTRUM

M 1881

FIG.A.2-10



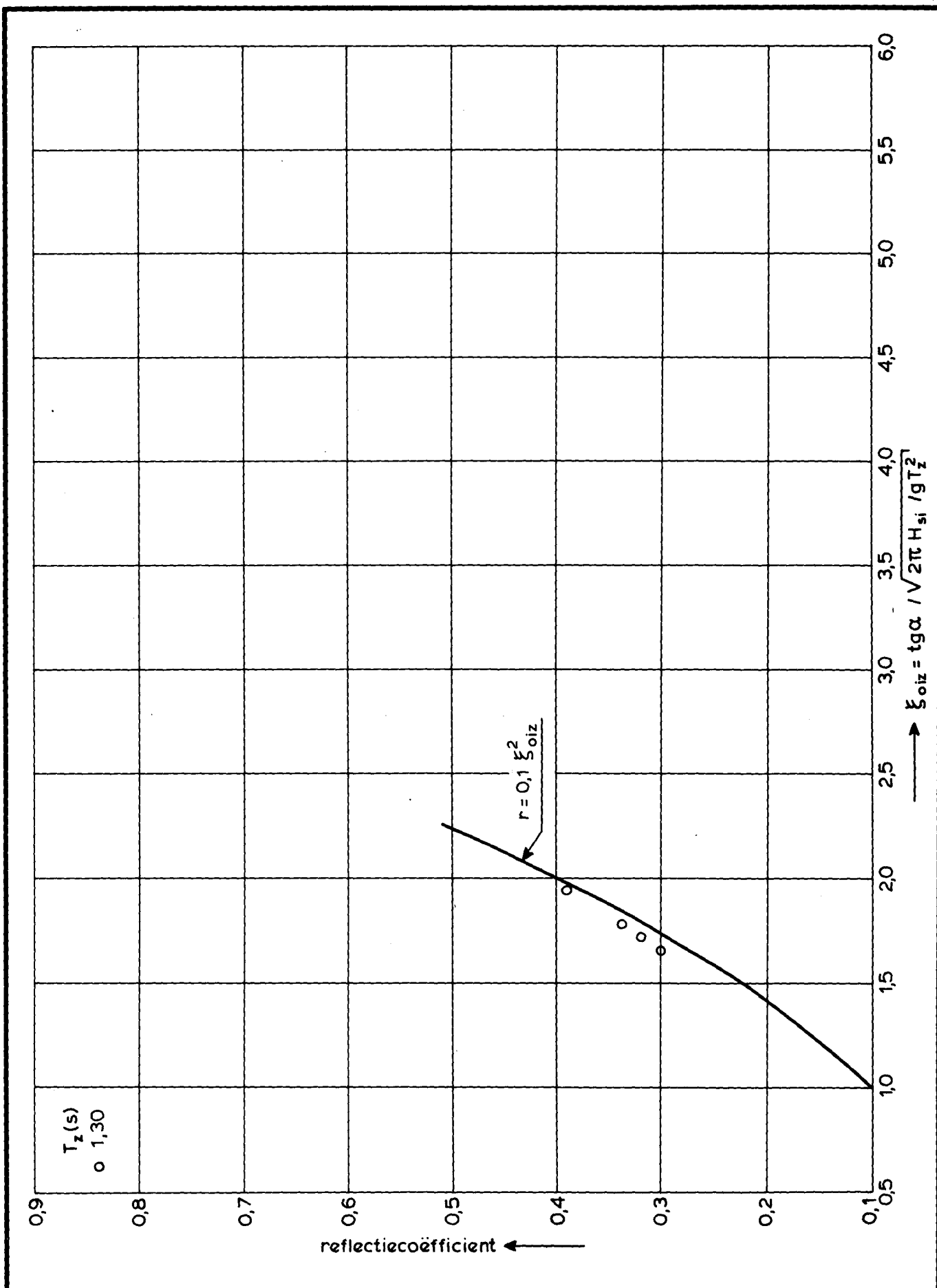
REFLECTIECOEFFICIENTEN BIJ
KONSTRUKTIETYPE 2 TALUD 1:3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

JONSWAP SPECTRUM

M 1881

FIG.A.2-11



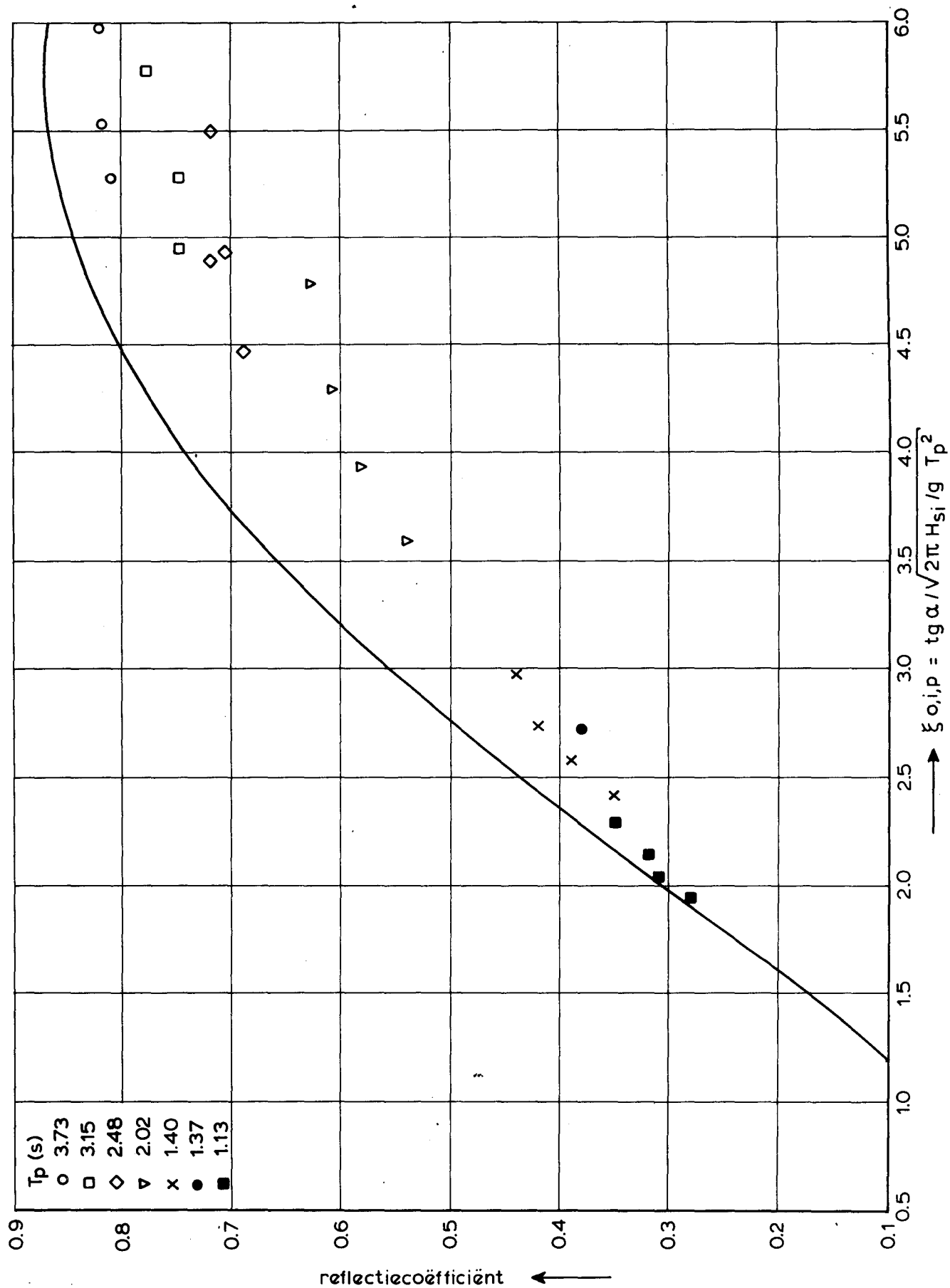
REFLECTIECOEFFICIENTEN BIJ
KONSTRUKTIETYP 3 TALUD 1:3

JONSWAP SPECTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG.A.2-12



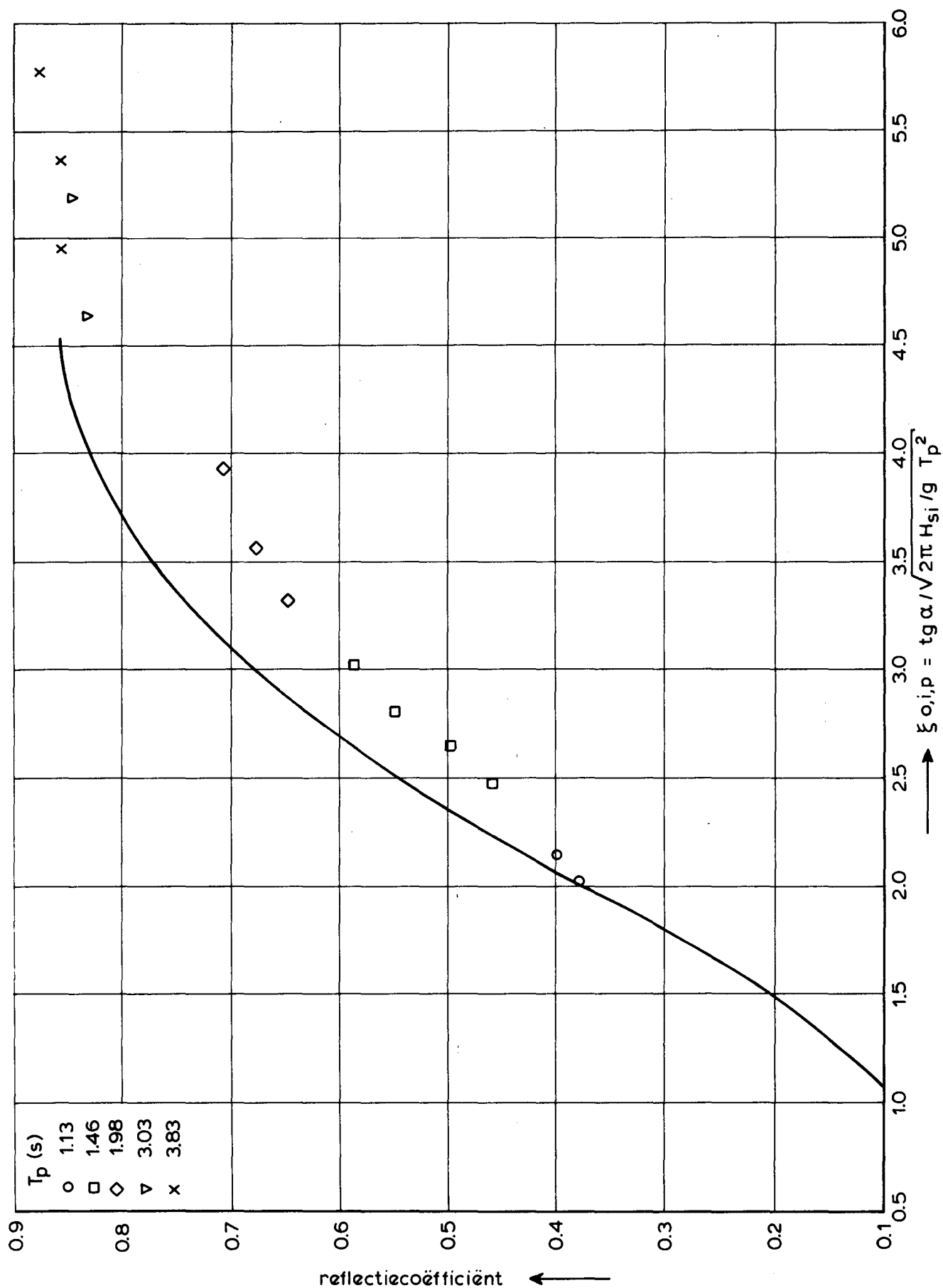
REFLECTIECOEFFICIENTEN BIJ
CONSTRUCTIETYPE 1 TALUD 1:3

EGMOND SPECTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. A2-13



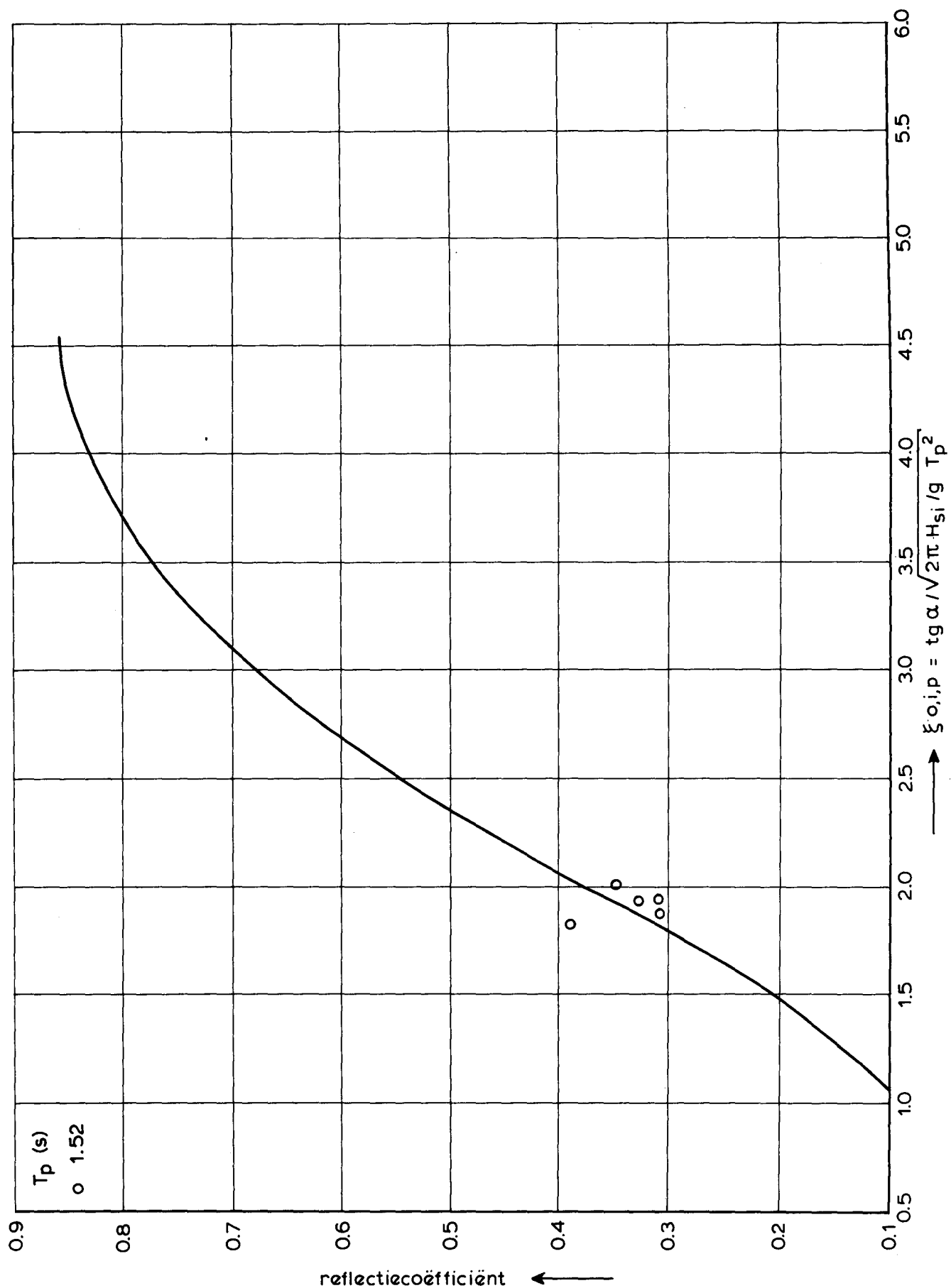
REFLECTIECOEFFICIENTEN BIJ
CONSTRUCTIETYPE 2 TALUD 1:3

EGMOND SPECTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. A2-14



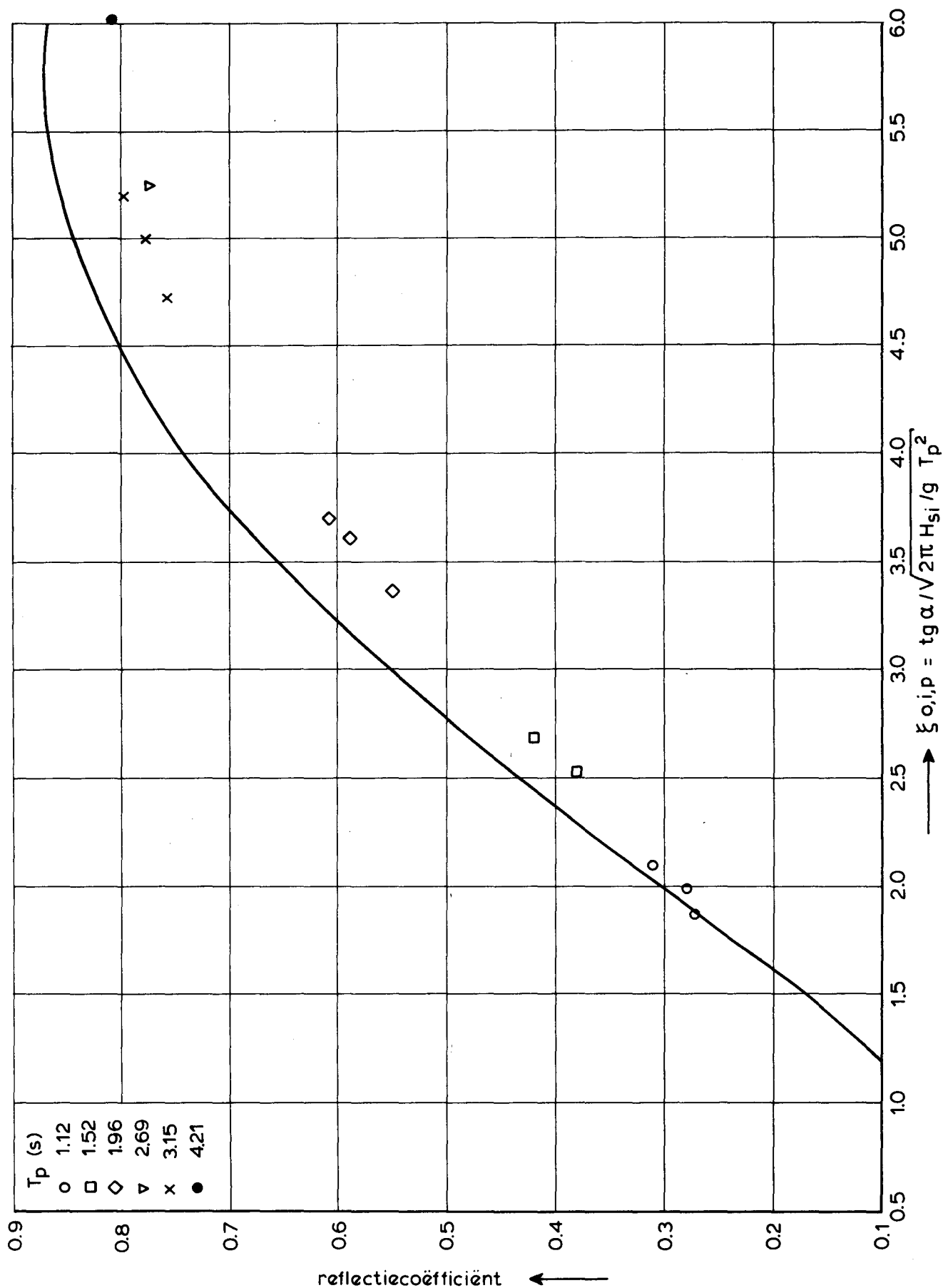
REFLECTIECOEFFICIENTEN BIJ
CONSTRUCTIETYPE 3 TALUD 1:3

EGMOND SPECTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. A2-15



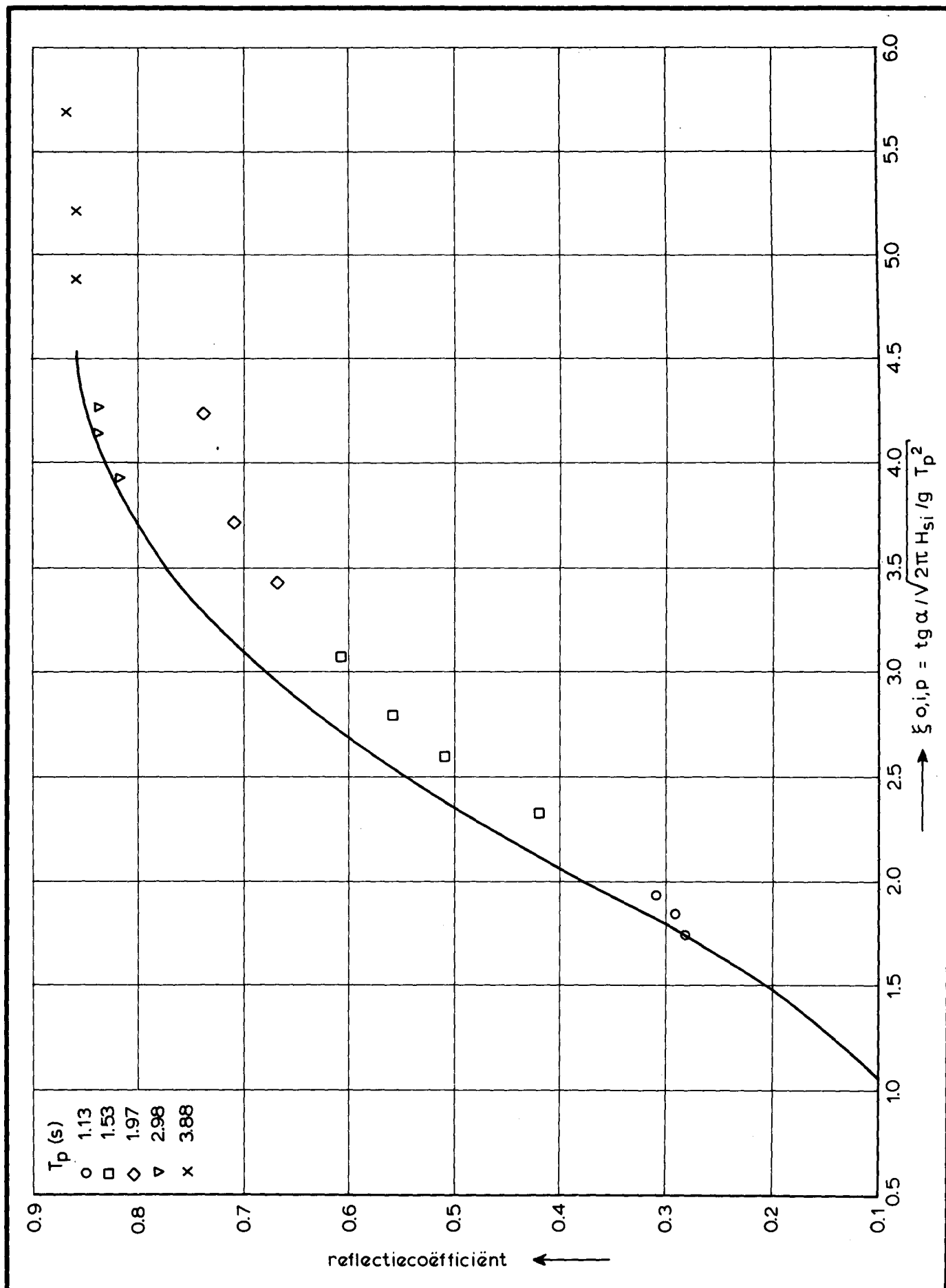
REFLECTIECOEFFICIENTEN BIJ
CONSTRUCTIETYPE 1 TALUD 1:3

JONSWAP SPECTRUM

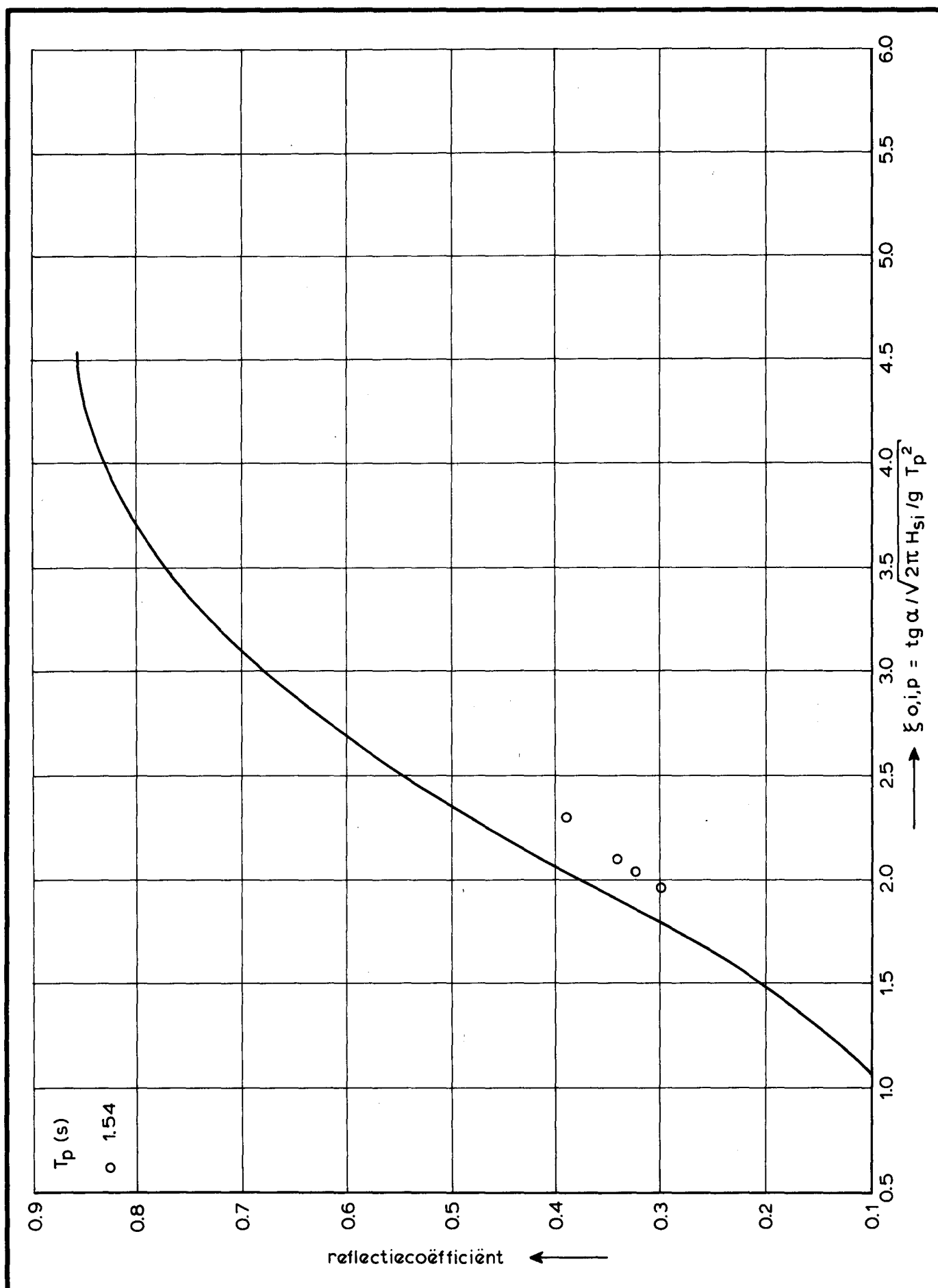
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. A2-16



REFLECTIECOEFFICIENTEN BIJ			
CONSTRUCTIETYPE 2		JONSWAP SPECTRUM	
TALUD 1:3			
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM		M 1881	FIG. A2-17



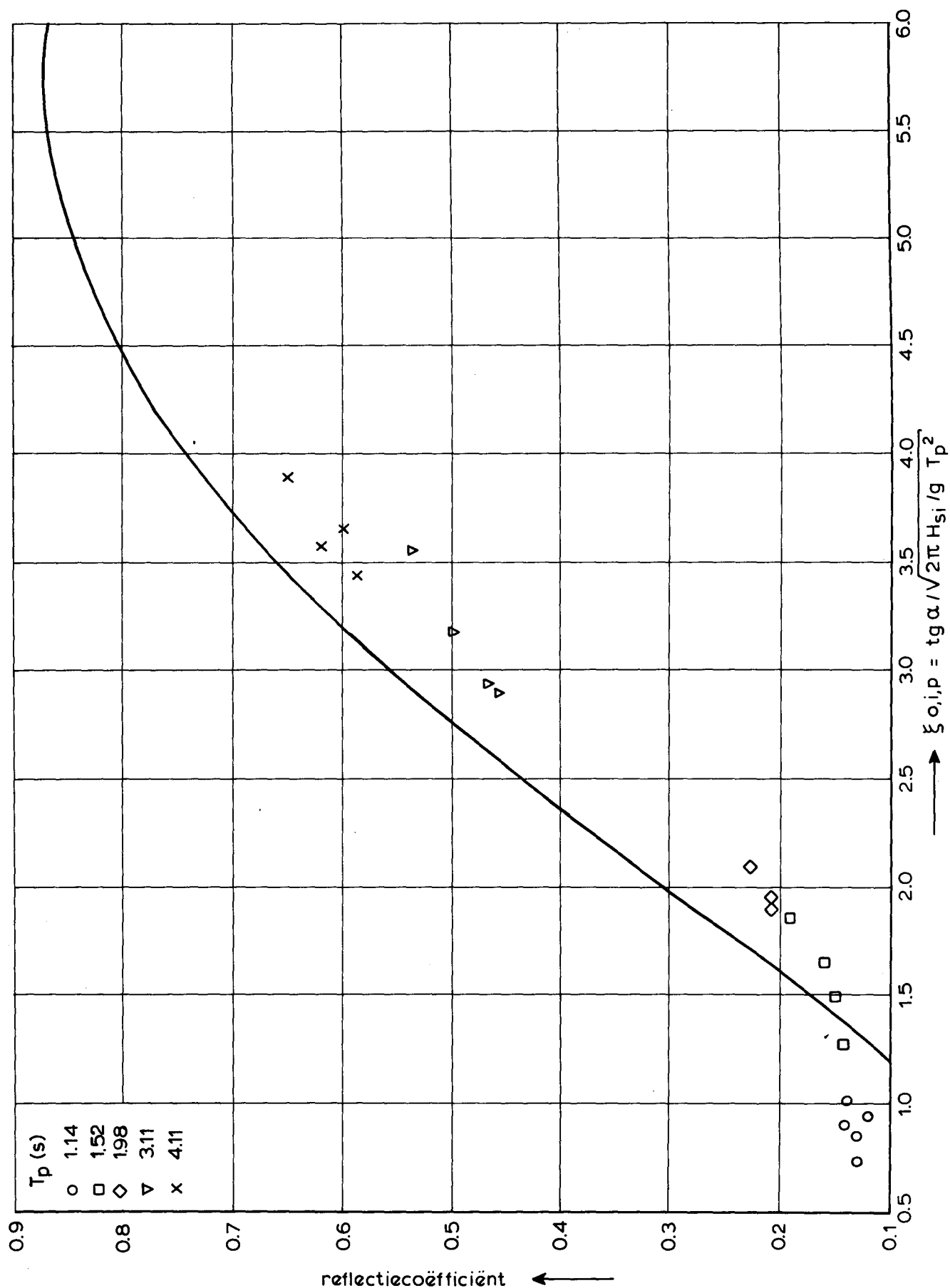
REFLECTIECOEFFICIENTEN BIJ
CONSTRUCTIETYPE 3 TALUD 1:3

JONSWAP SPECTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. A2-18



REFLECTIECOEFFICIENTEN BIJ
CONSTRUCTIETYPE 1 TALUD 1:6

JONSWAP SPECTRUM

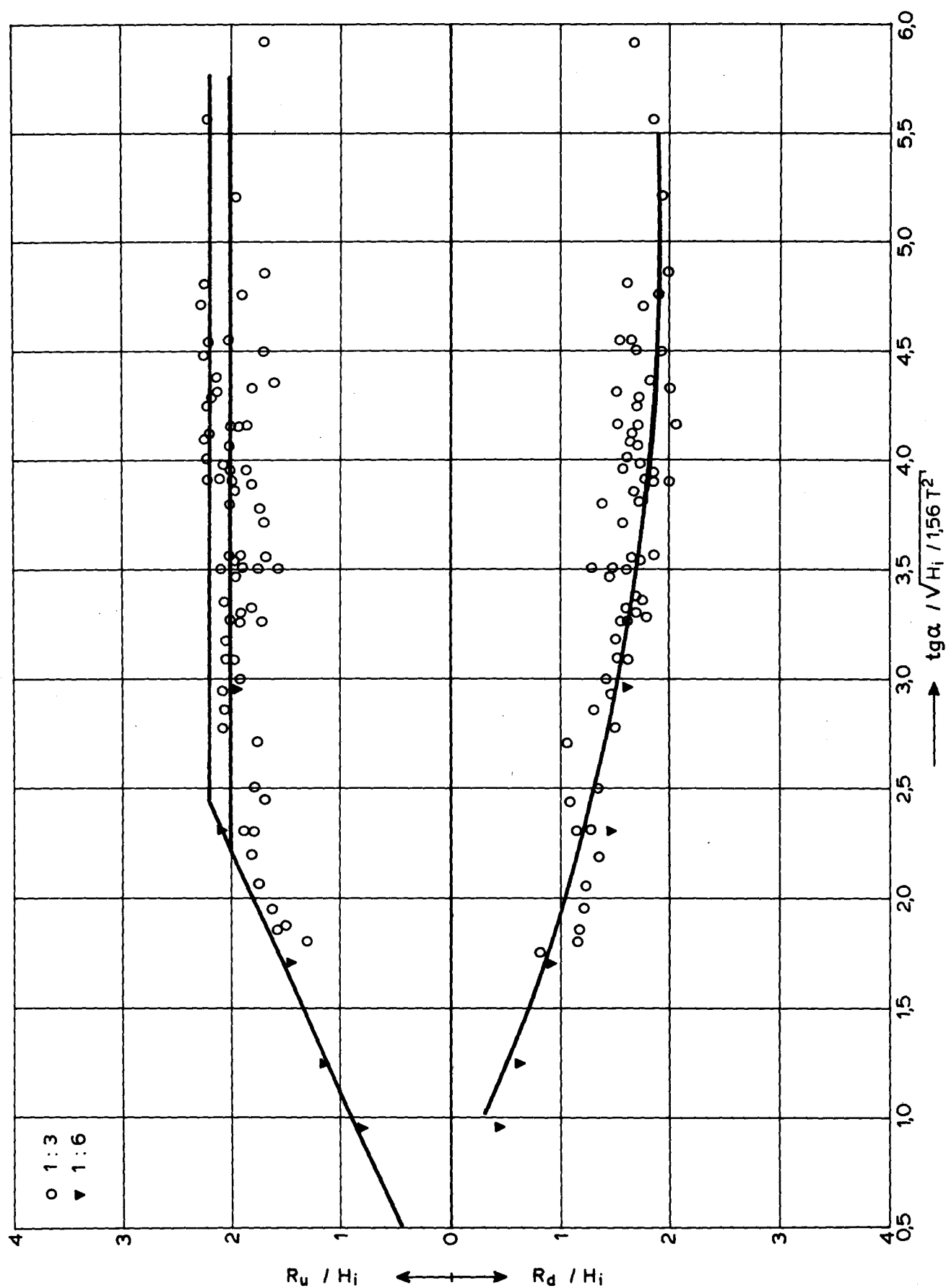
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. A2-19

APPENDIX 3

Gemeten golfoploop en golfterugloop

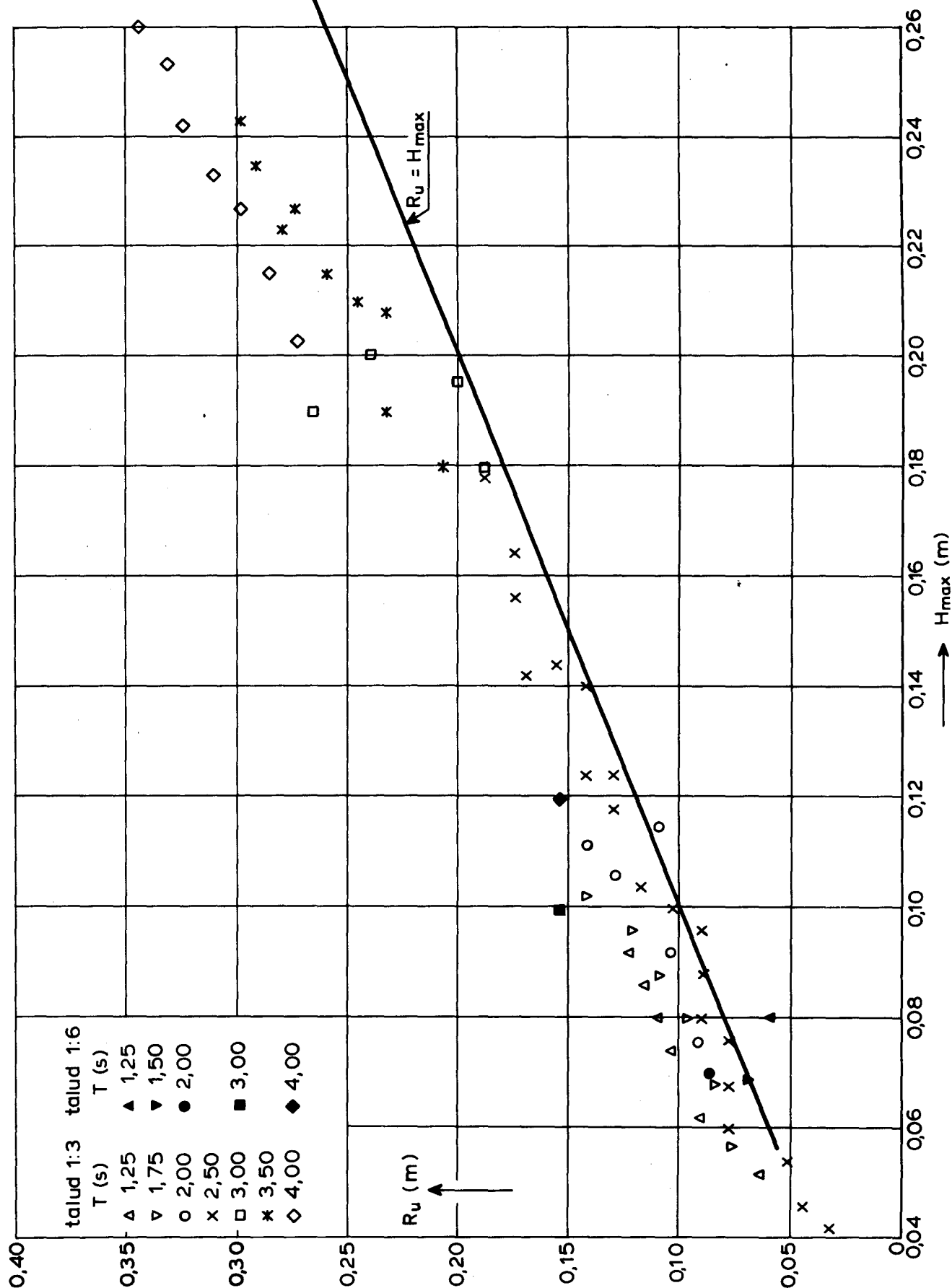


GOLFOPLOOP EN GOLFTERUGLOOP BIJ
 REGELMATIGE GOLVEN TALUD 1:3/1:6
 BLOKAFMETINGEN 0,037 × 0,037 × 0,020 m³
 SPLEETBREEDTE 0,004 m

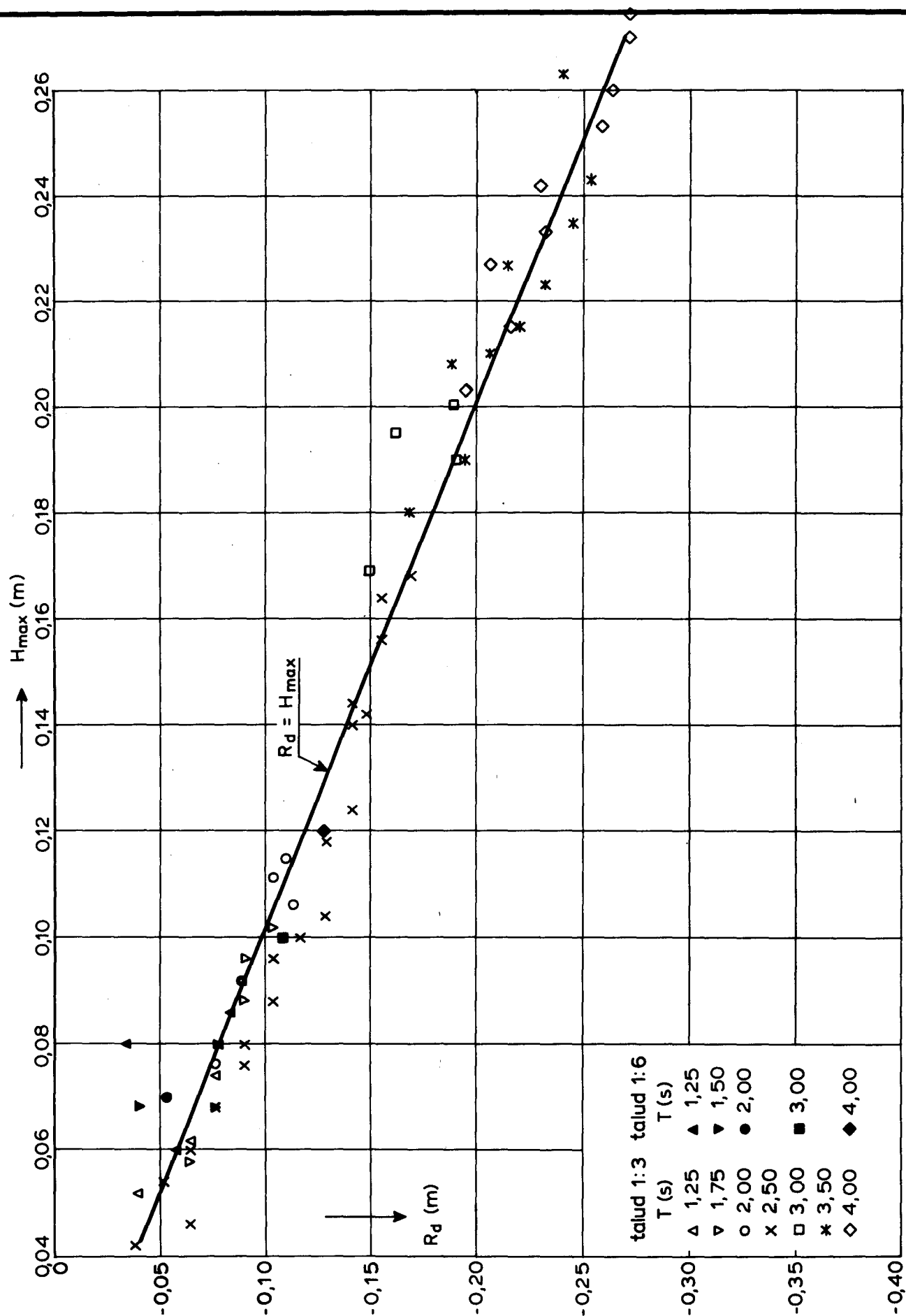
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG.A.3-1



GOLFOPLOOP BIJ REGELMATIGE GOLVEN
 BLOKAFMETINGEN 0,037 * 0,037 * 0,020 m³
 TALUD 1:3/1:6 SPLEETBREEDTE 0,004 m

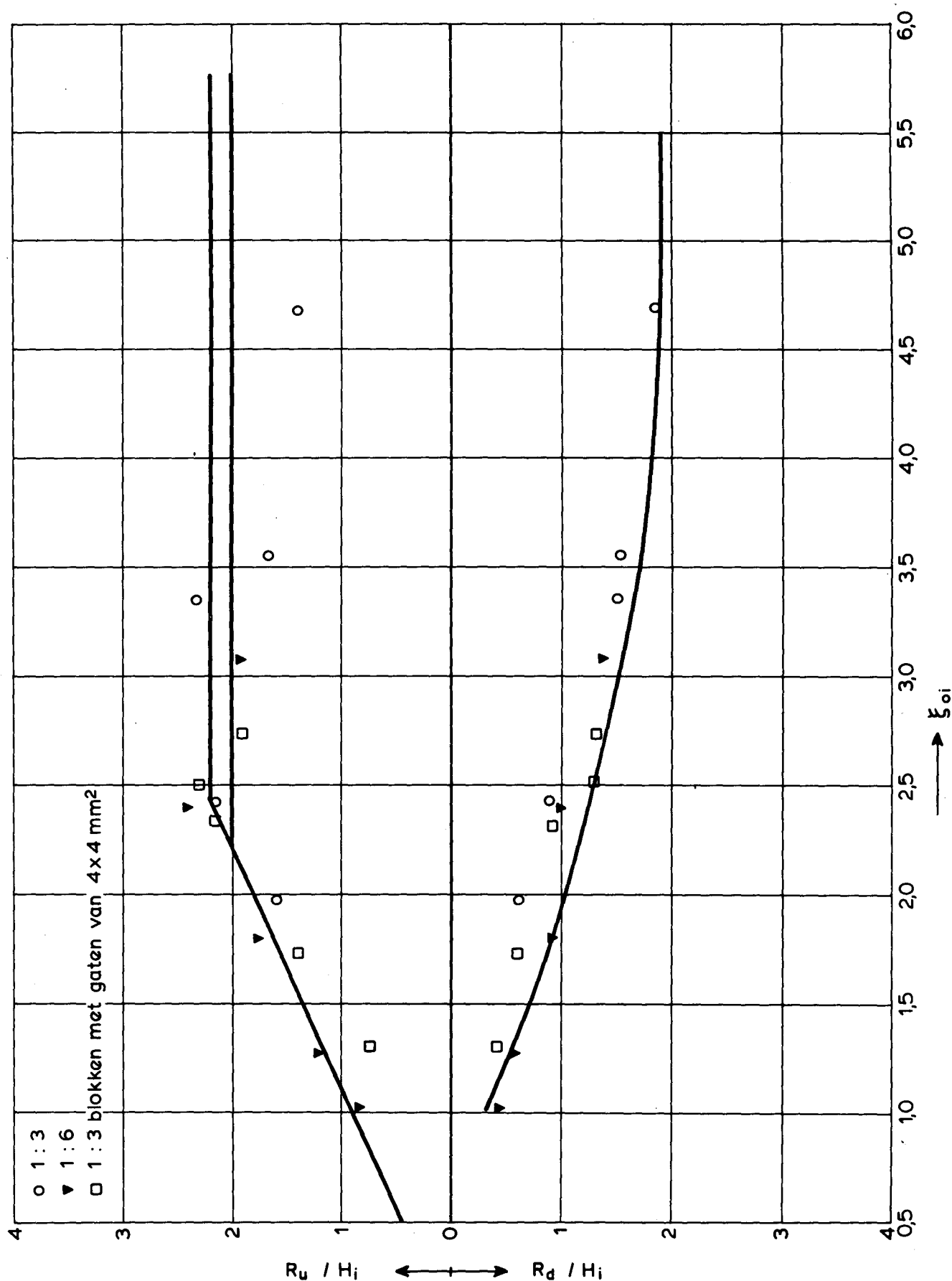


GOLFTERUGLOOP BIJ REGELMATIGE GOLVEN
 BLOKAFMETINGEN 0,037 × 0,037 × 0,020 m²
 TALUD 1:3/1:6 SPLEETBREEDTE 0,004 m

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. A.3-3

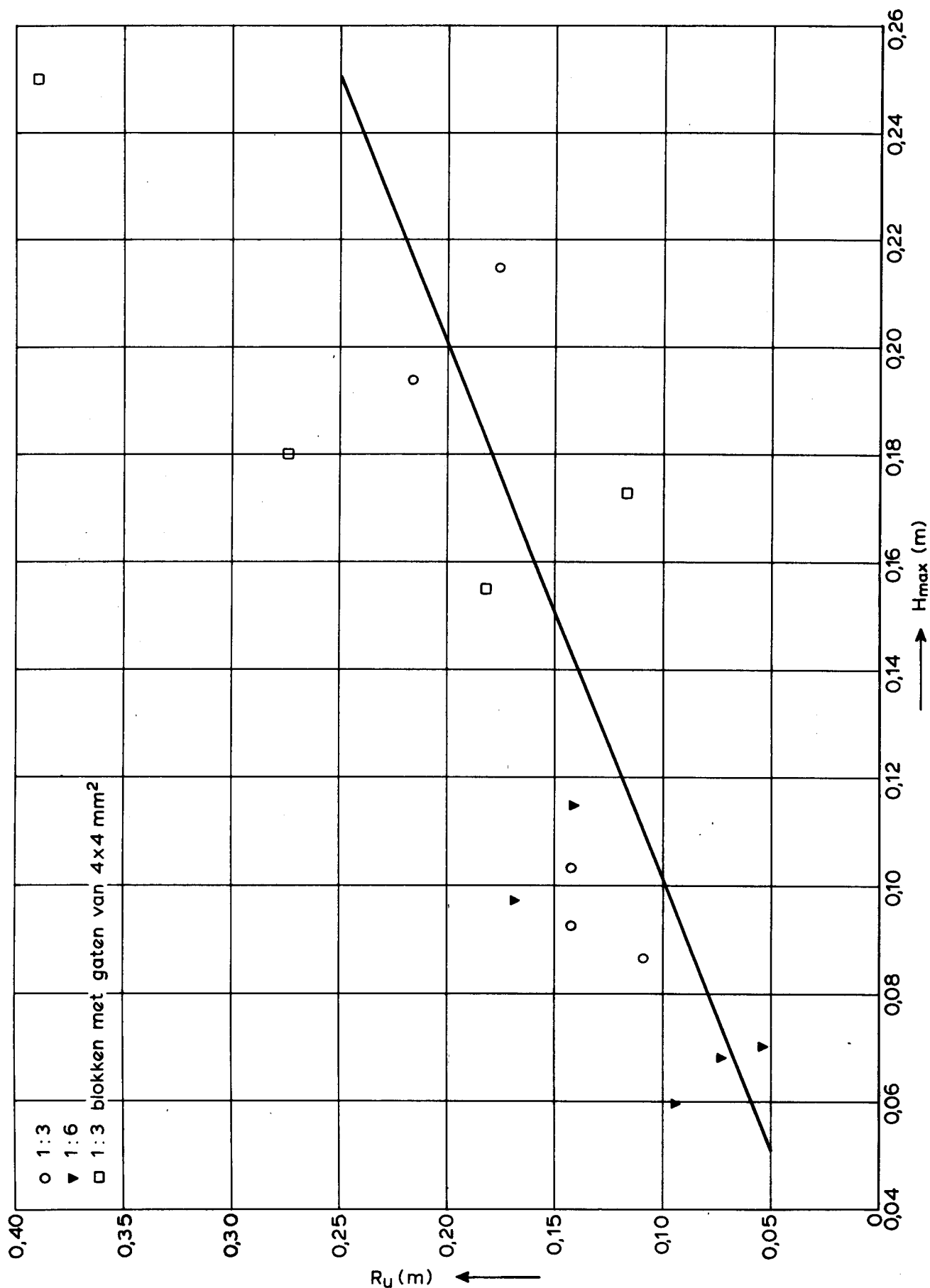


GOLFOPLOOP EN GOLFTERUGLOOP BIJ
 REGELMATIGE GOLVEN TALUD 1:3/1:6
 BLOKAFMETINGEN 0,040 x 0,040 x 0,020 m³

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. A.3-4

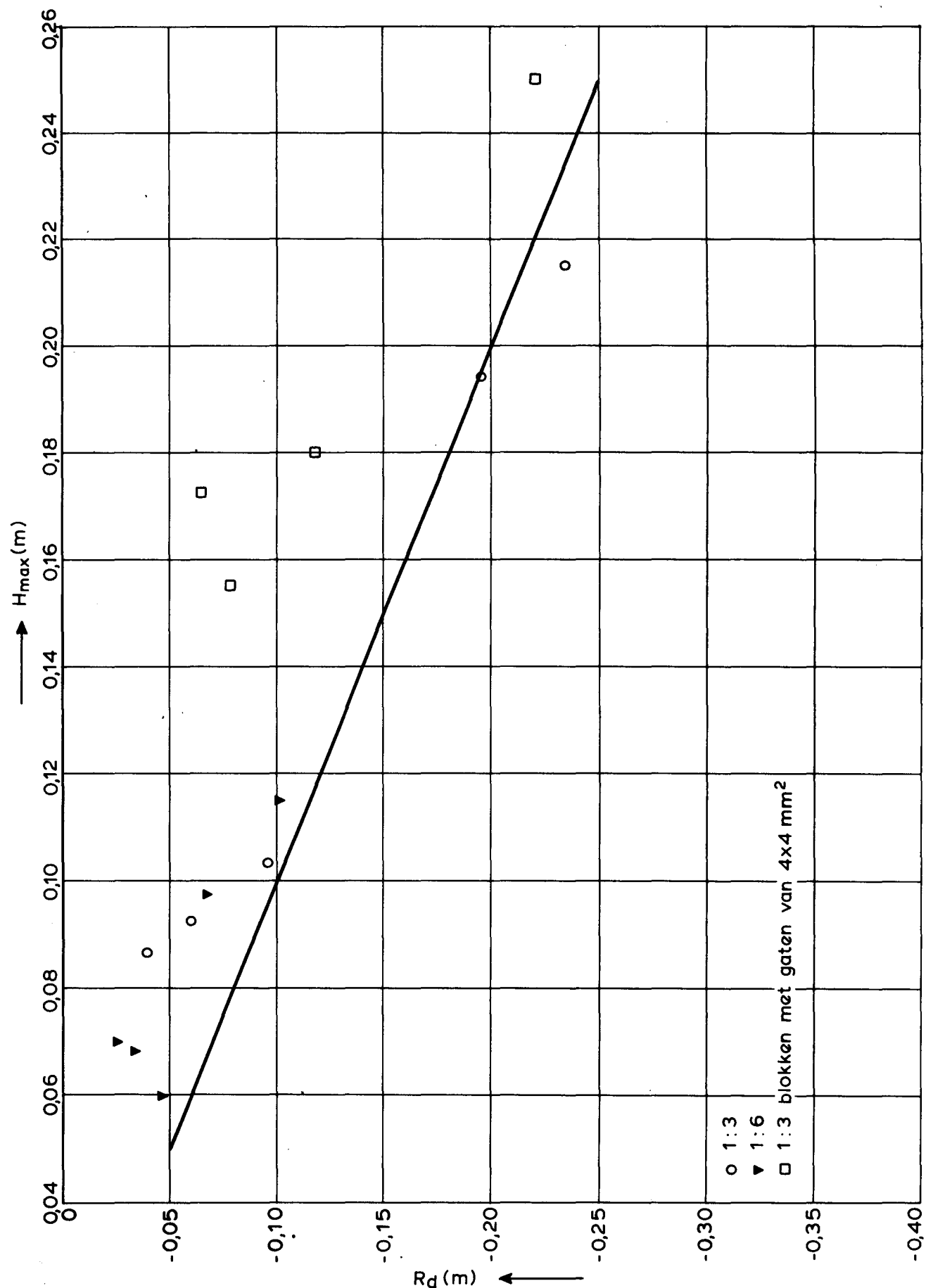


GOLFOPLOOP BIJ REGELMATIGE GOLVEN
 BLOKAFMETINGEN 0,040 × 0,040 × 0,020 m³
 TALUD 1:3/1:6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. A.3-5

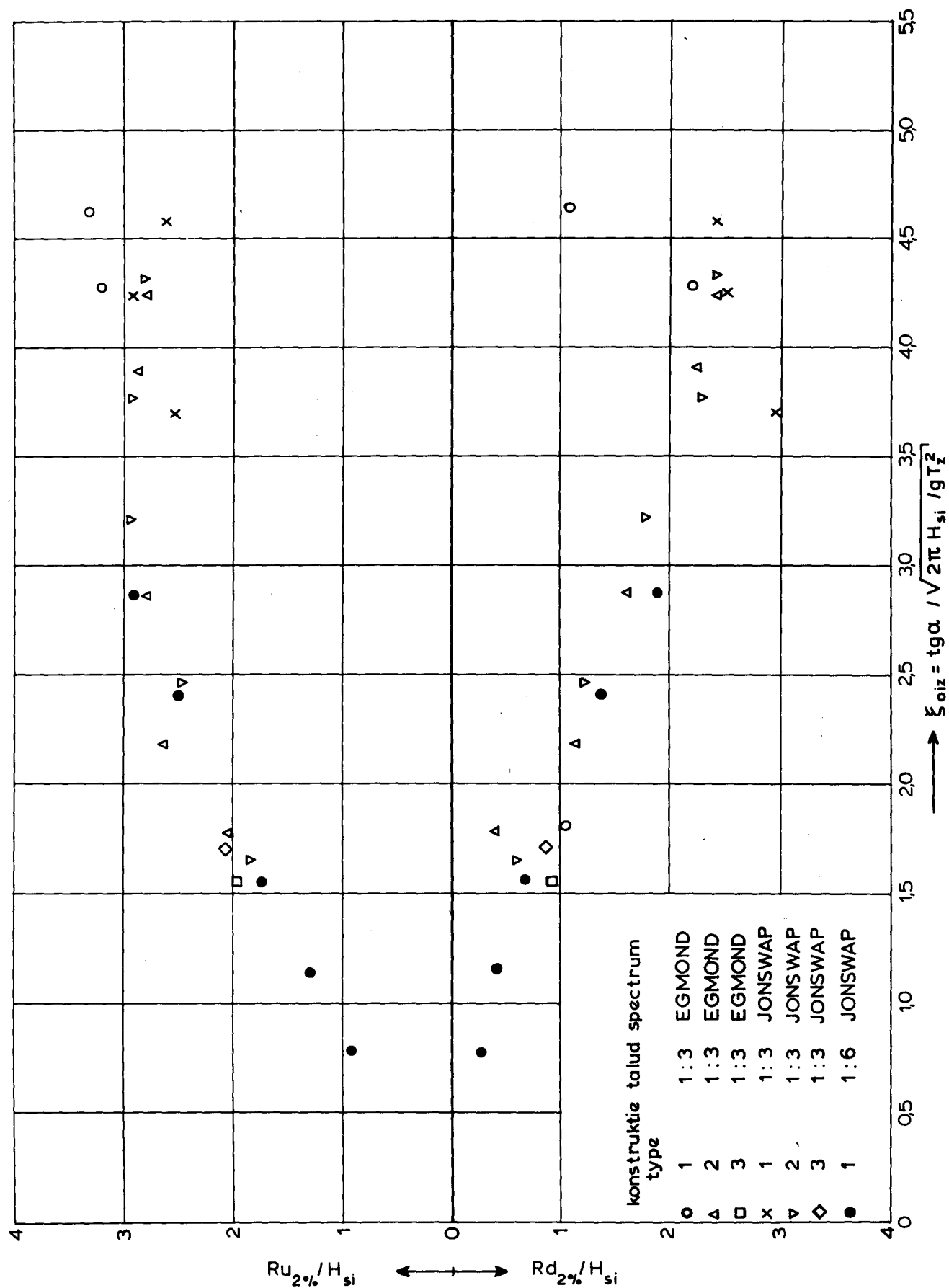


GOLFTERUGLOOP BIJ REGELMATIGE GOLVEN
 BLOKAFMETINGEN 0,040 × 0,040 × 0,020 m³.
 TALUD 1:3/1:6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. A.3-6



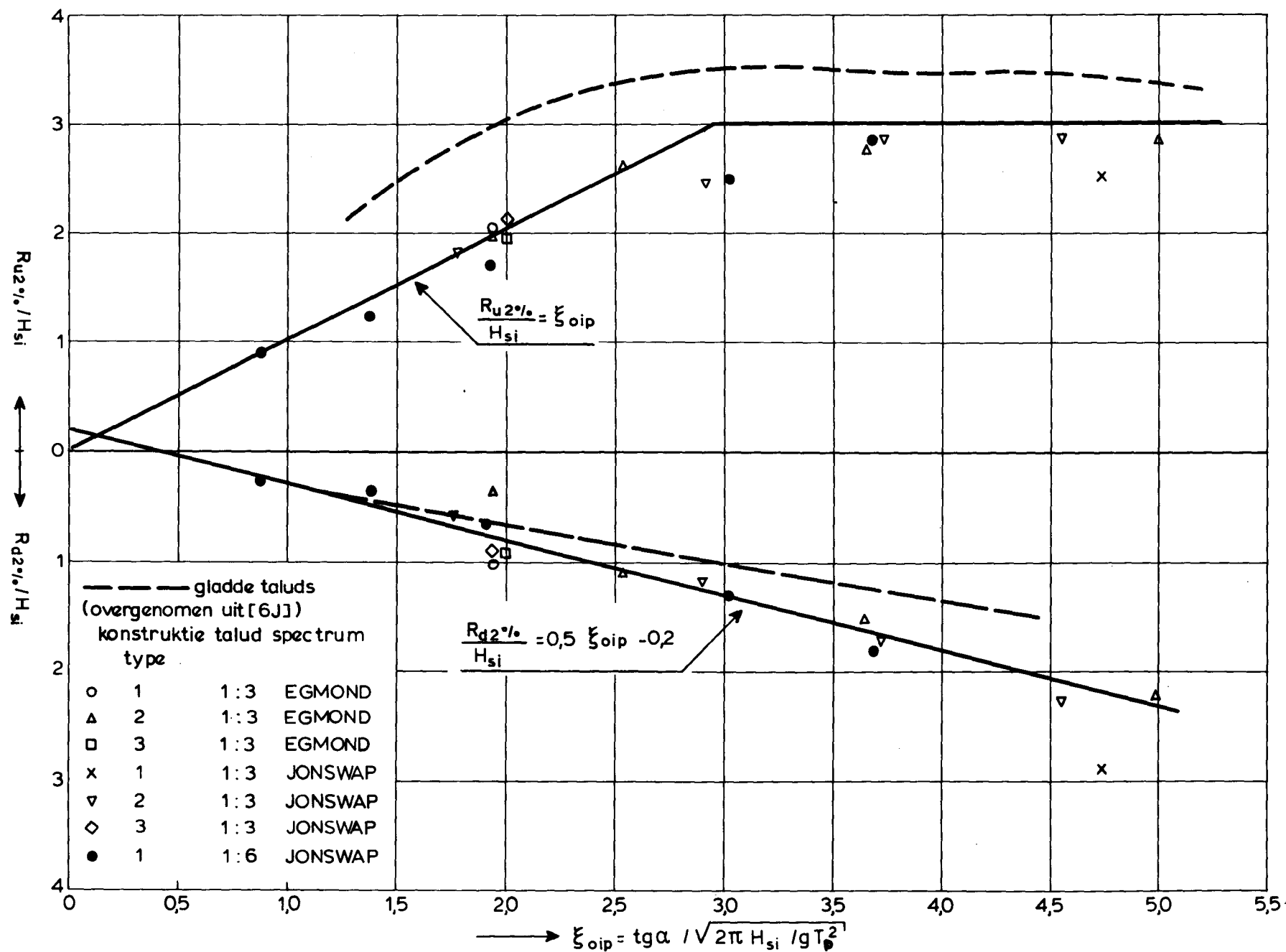
GOLFOPLOOP EN GOLFTERUGLOOP BIJ
ONREGELMATIGE GOLVEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

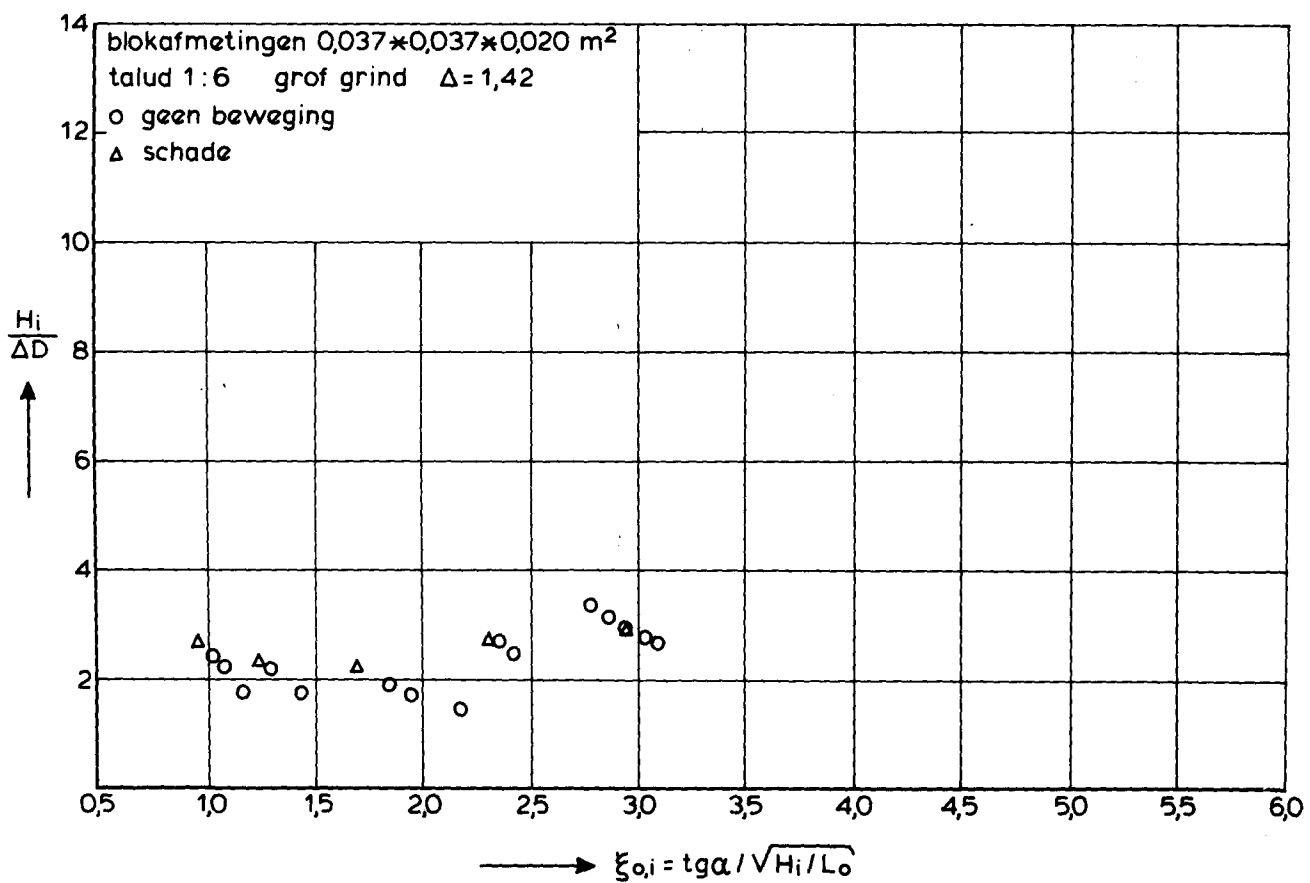
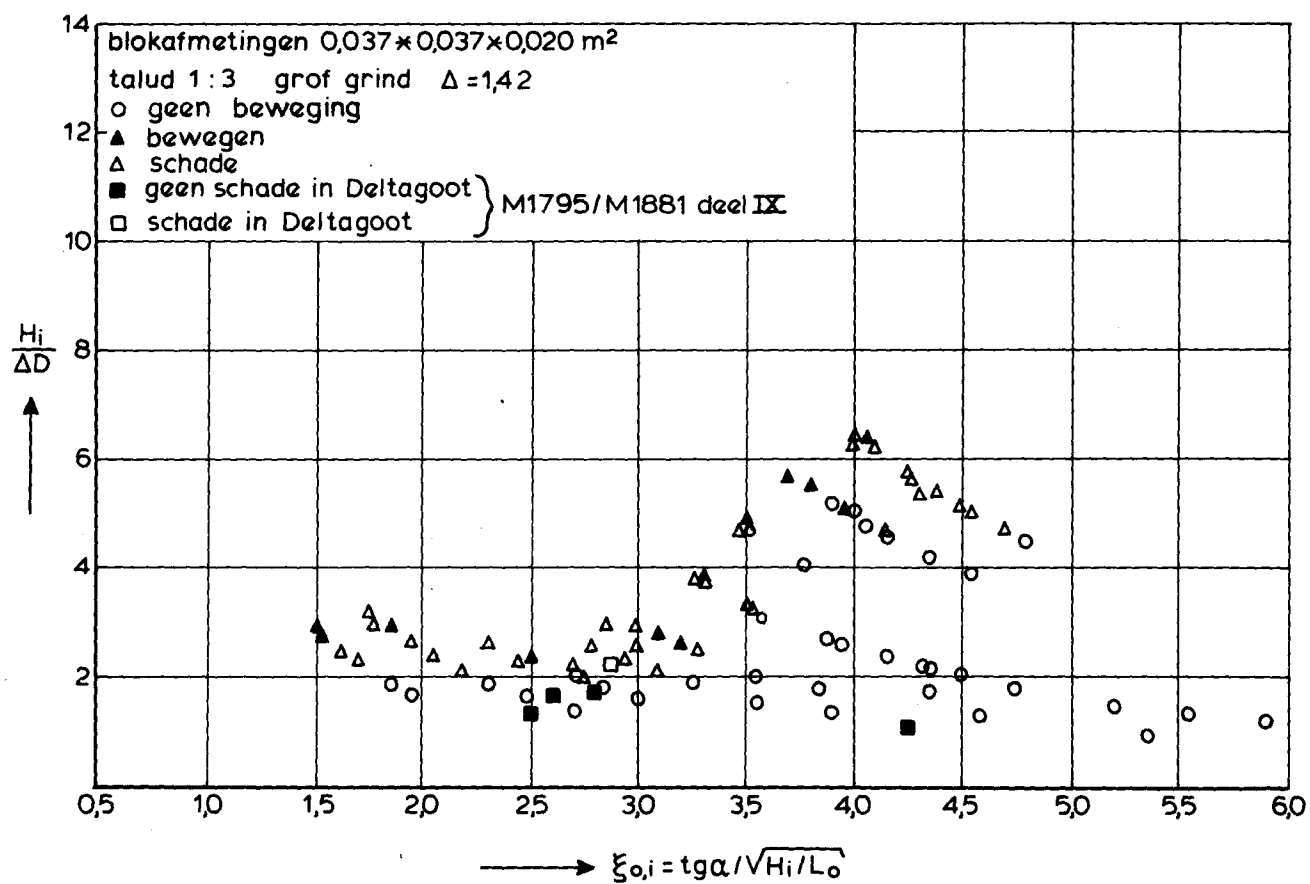
FIG.A3-7

GOLFLOOP EN GOLFTERUGLOOP BIJ
ONREGELMATIGE GOLVEN



APPENDIX 4

$$\frac{H}{\Delta D} - \xi \text{ punten}$$



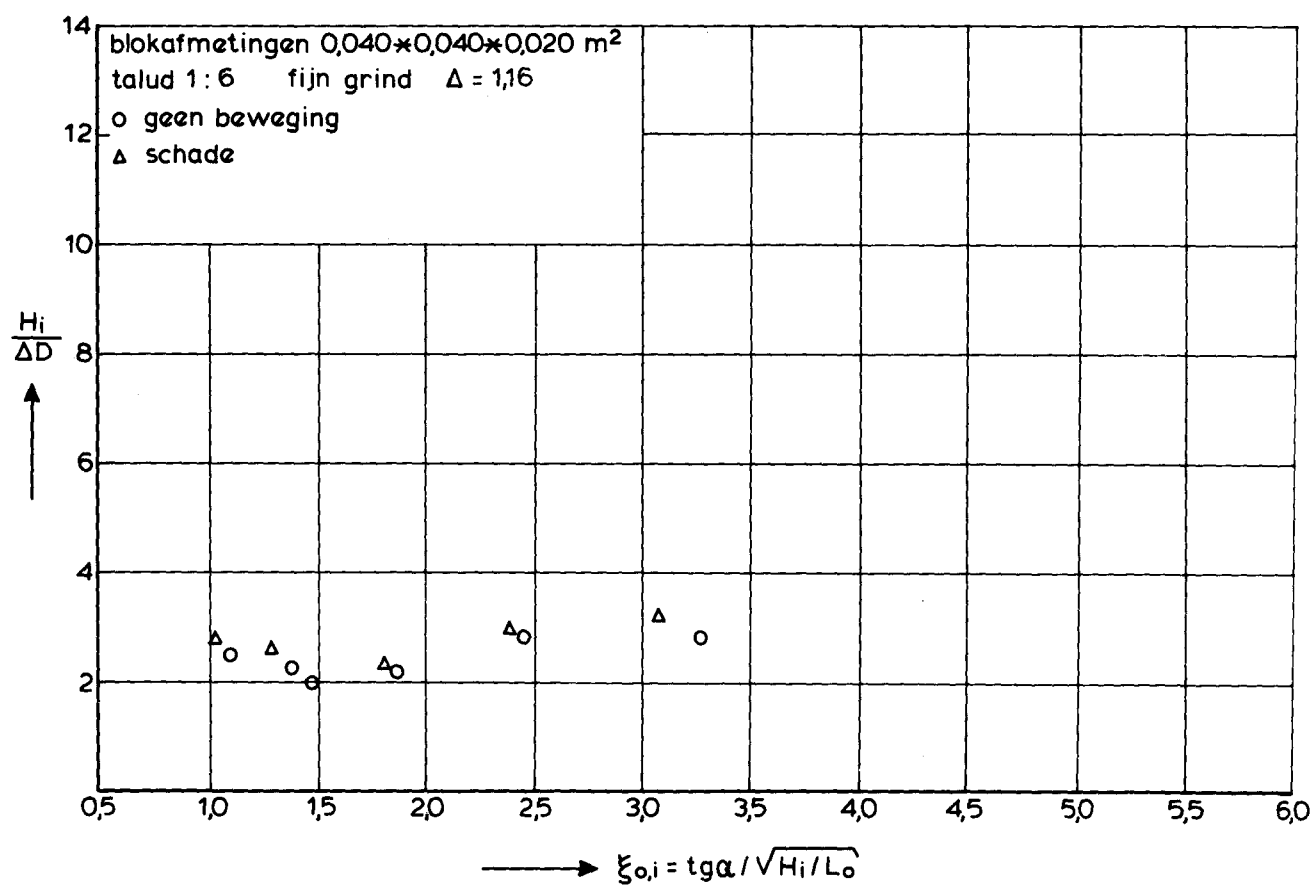
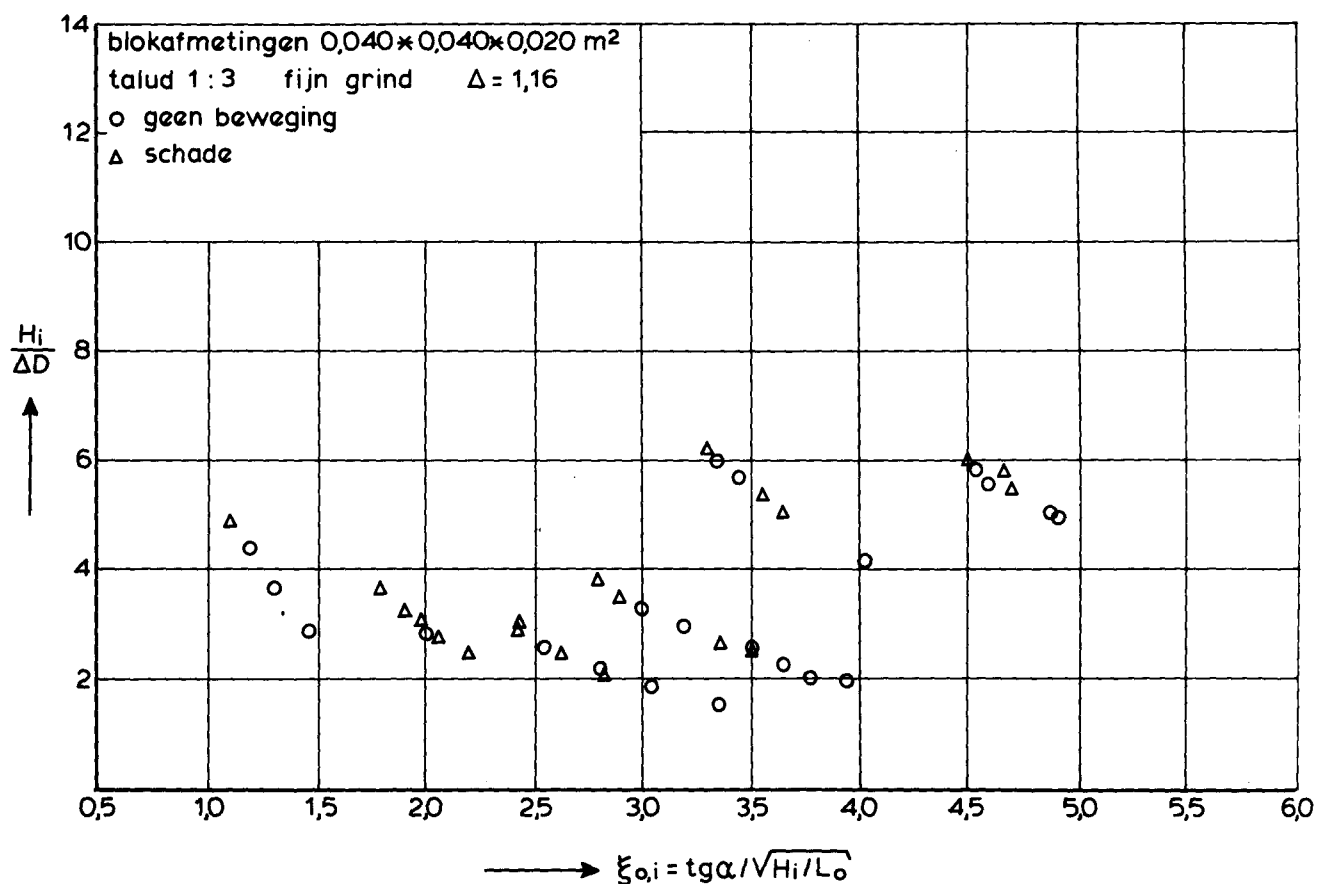
$\frac{H}{\Delta D} - \xi$ PUNTEN VOOR CONSTRUCTIETYPE 1
 OP TALUD 1:3 EN 1:6

REGELMATIGE GOLVEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG.A.4-1



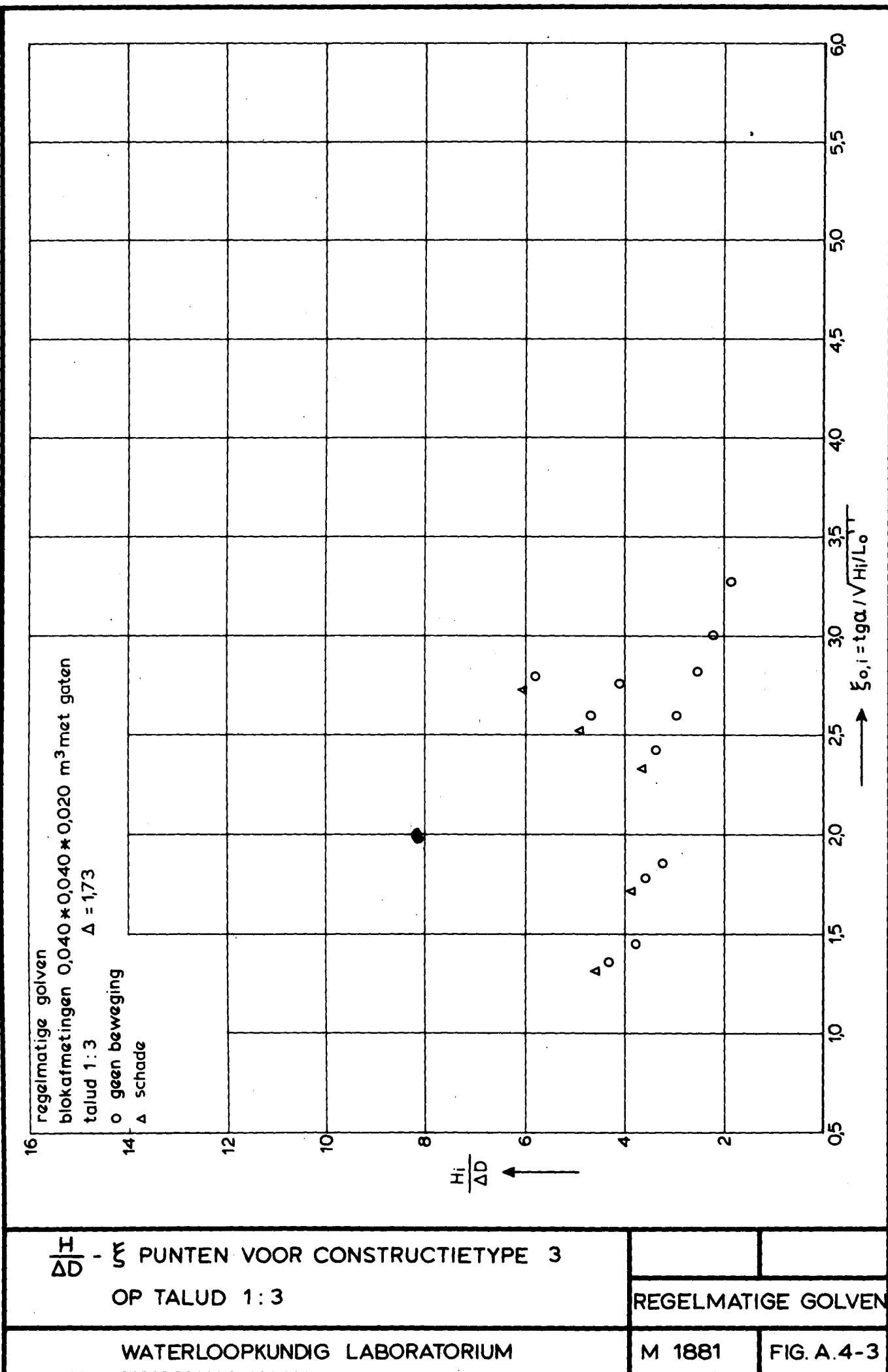
$\frac{H}{\Delta D} - \xi$ PUNTEN VOOR CONSTRUCTIETYPE 2
OP TALUD 1:3 EN 1:6

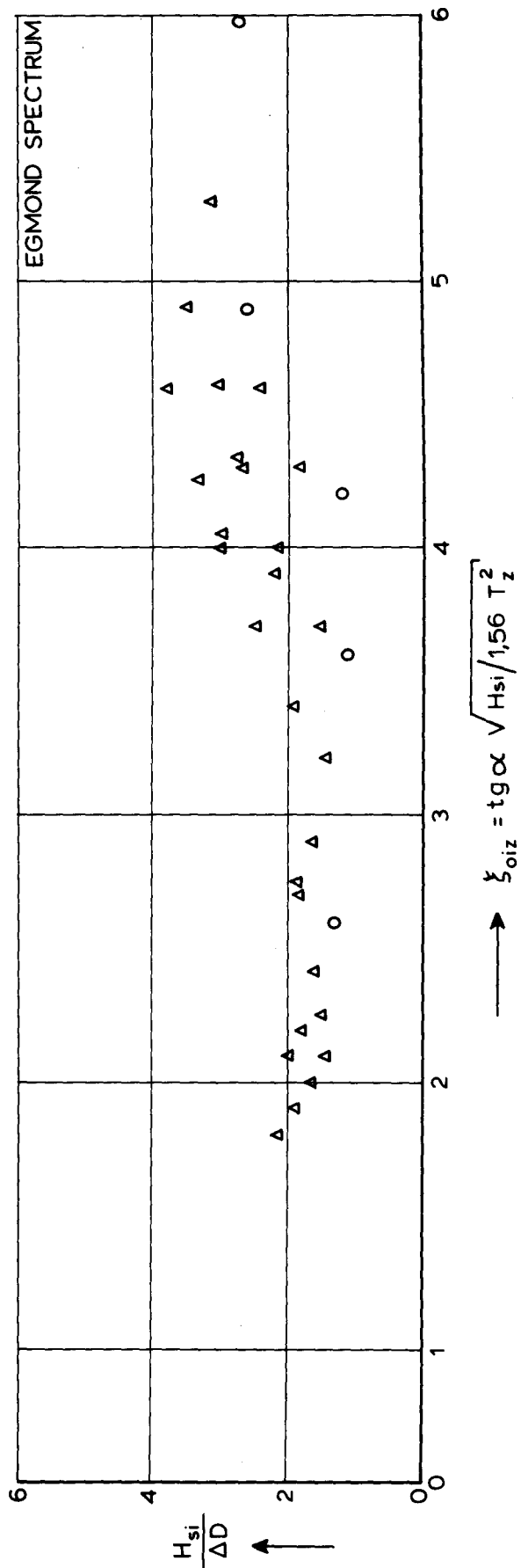
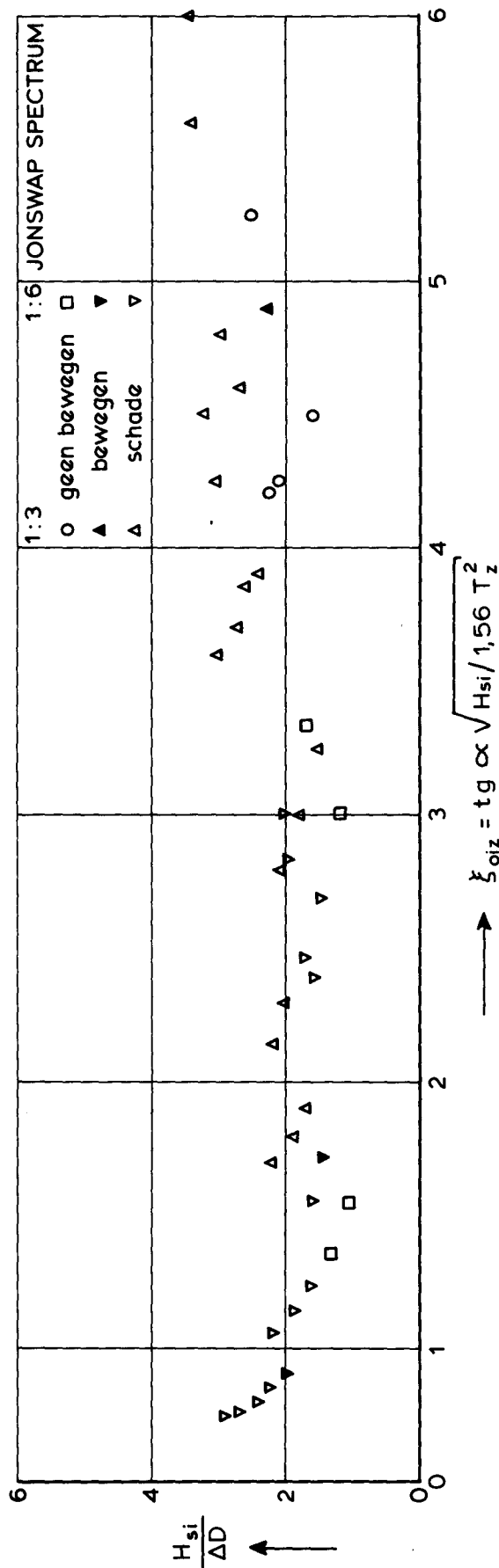
REGELMATIGE GOLVEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

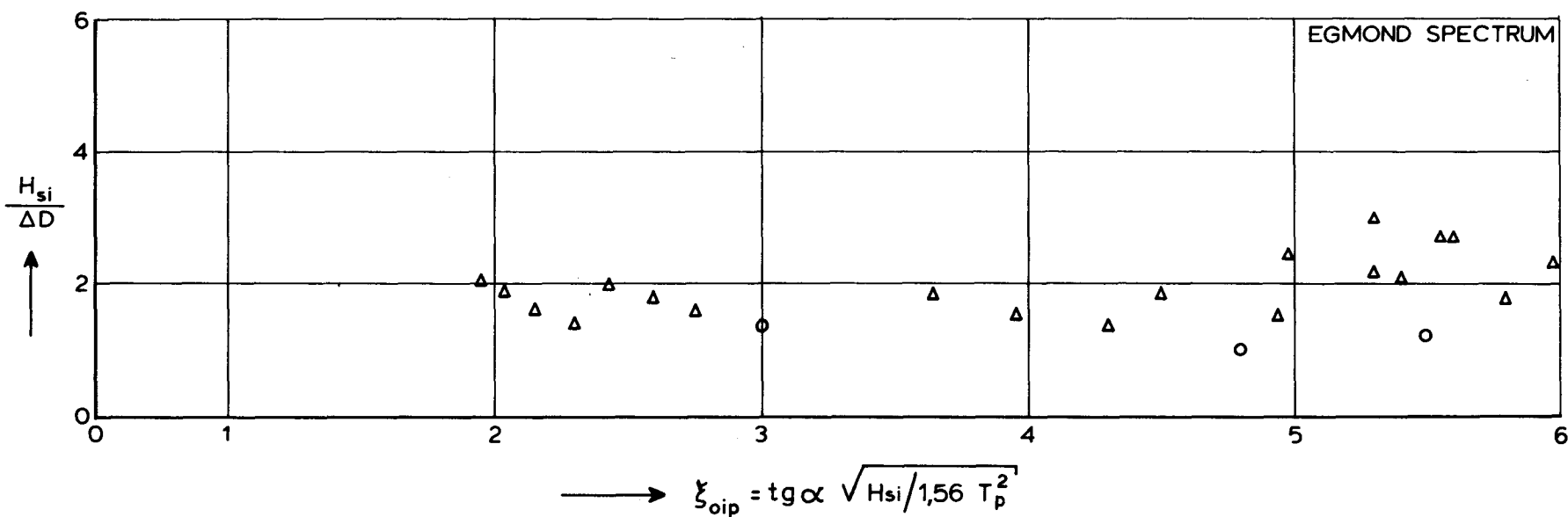
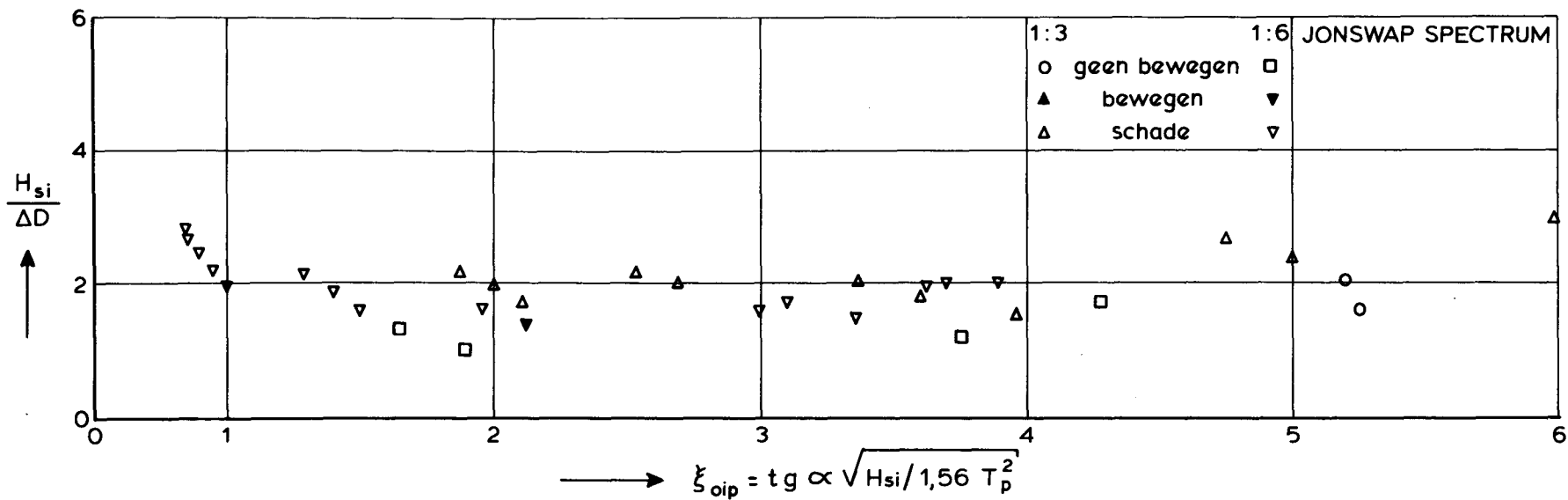
FIG.A.4-2

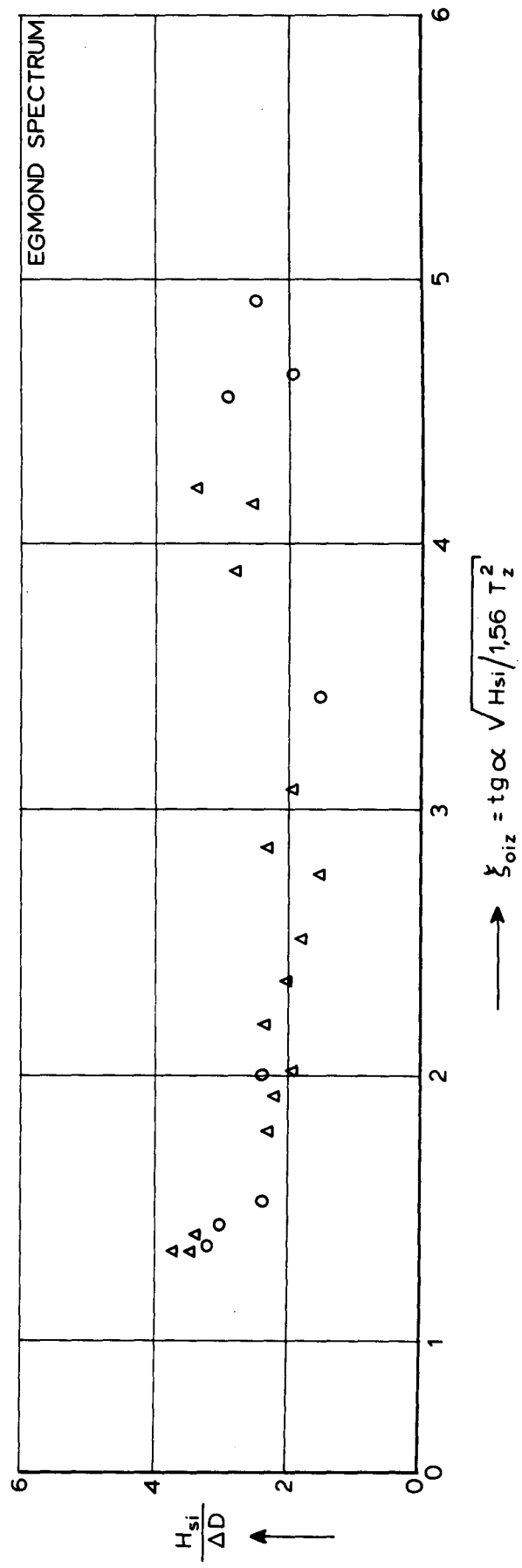
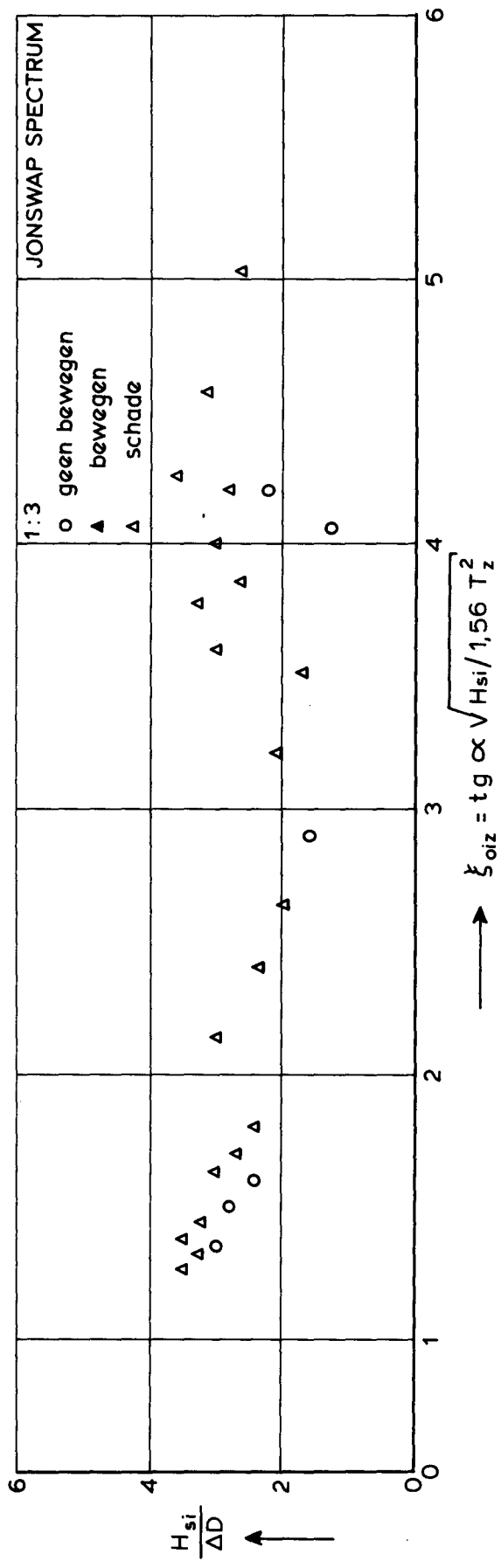




$H_{si} / \Delta D$ VERSUS ζ_{oiz} VOOR CONSTRUCTIETYPE 1
 OP TALUD 1:3 EN 1:6

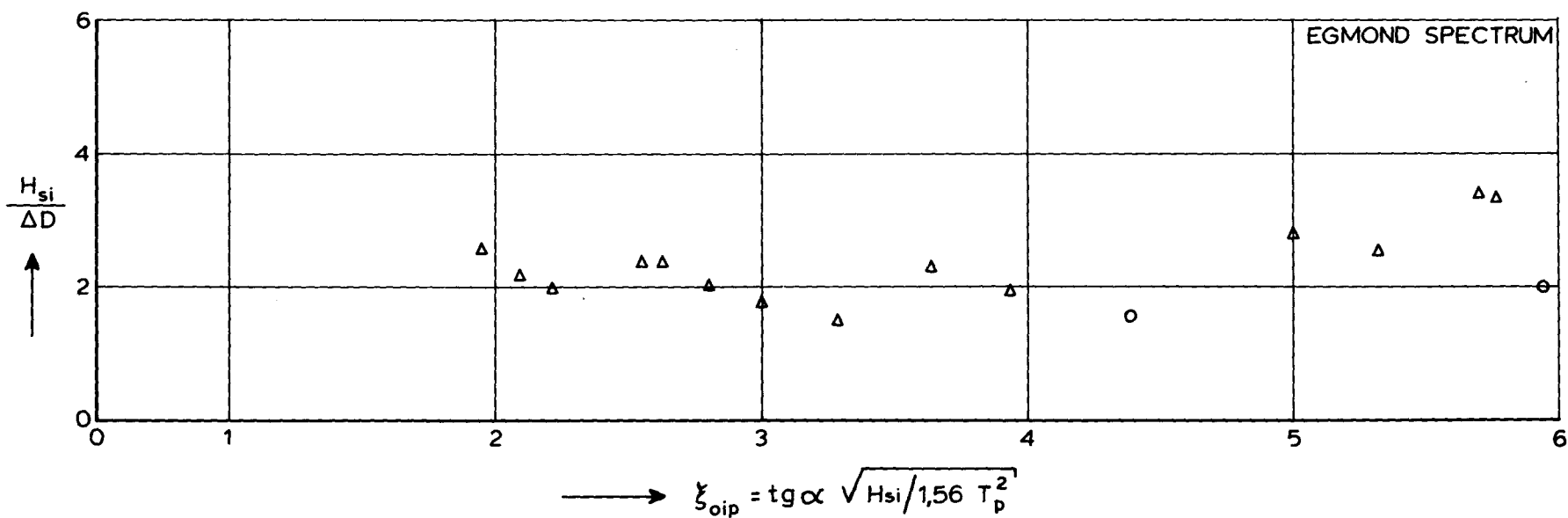
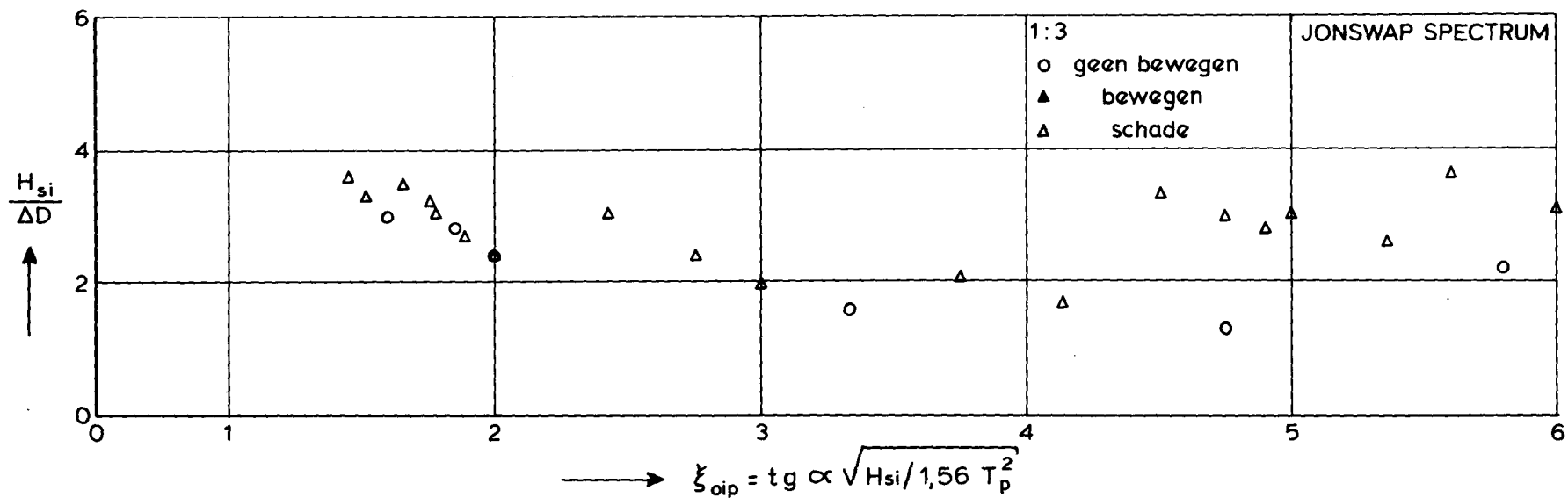
$H_{si} / \Delta D$ VERSUS ξ_{oip} VOOR CONSTRUCTIETYPE 1
OP TALUD 1:3 EN 1:6

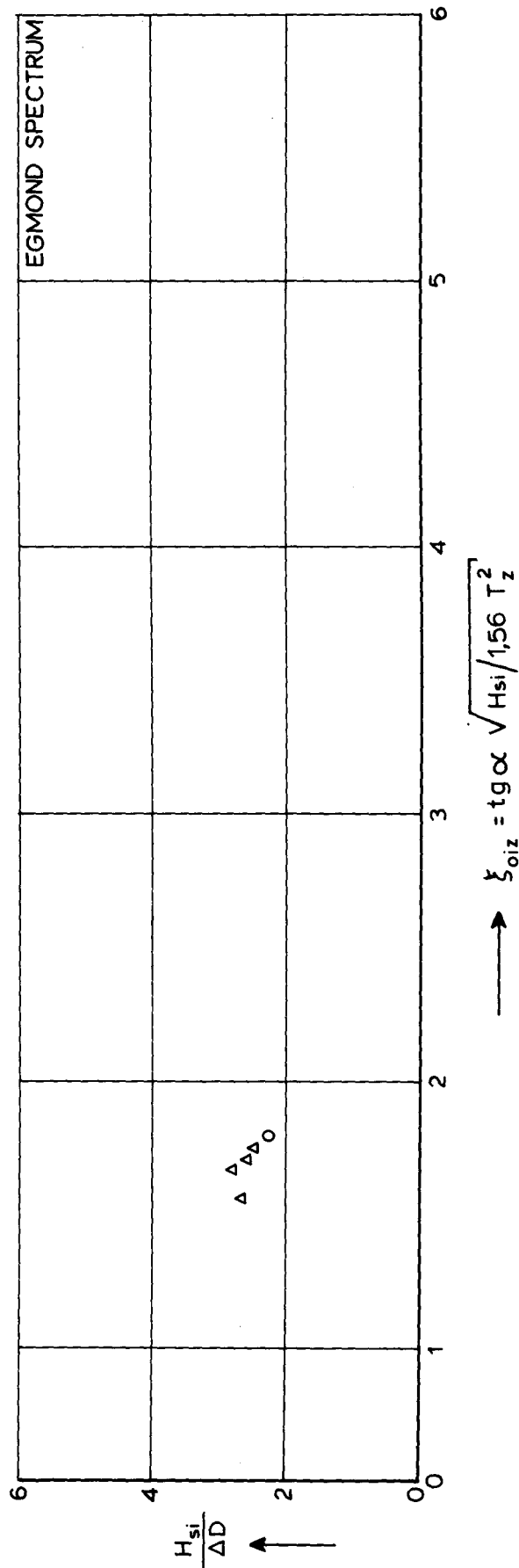
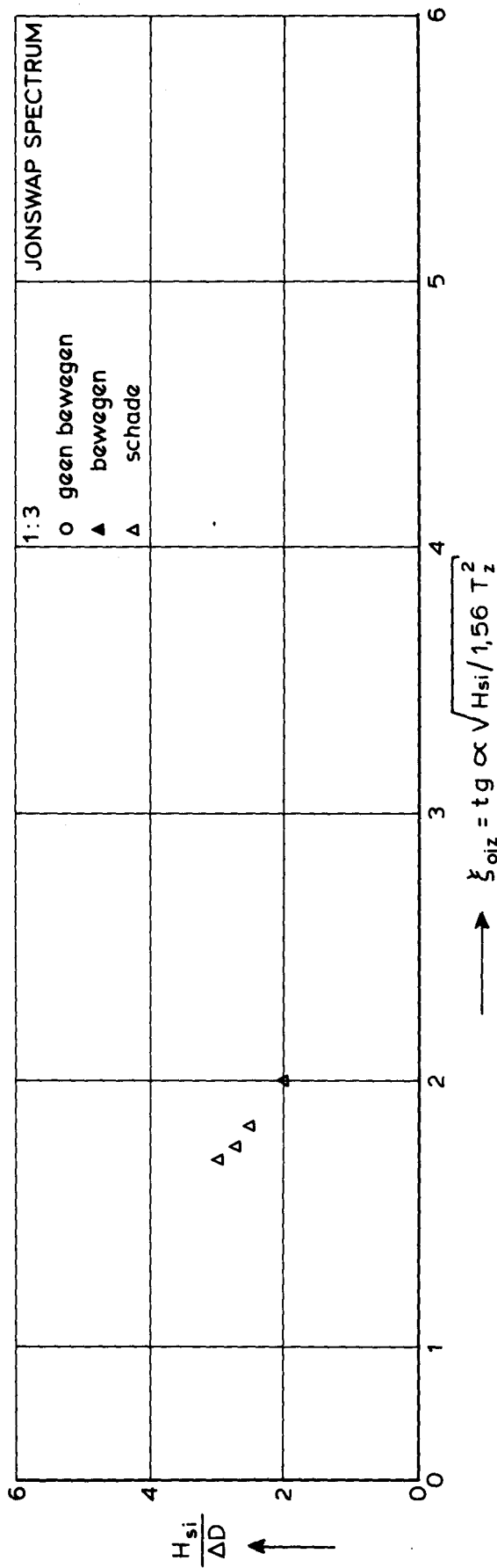




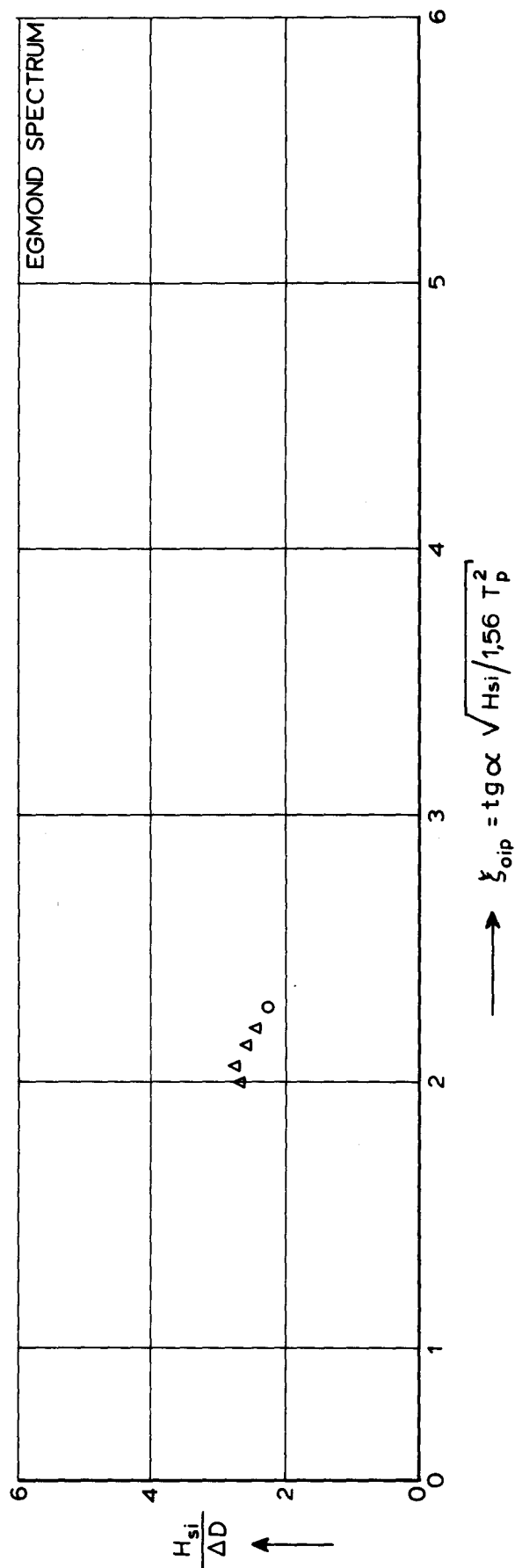
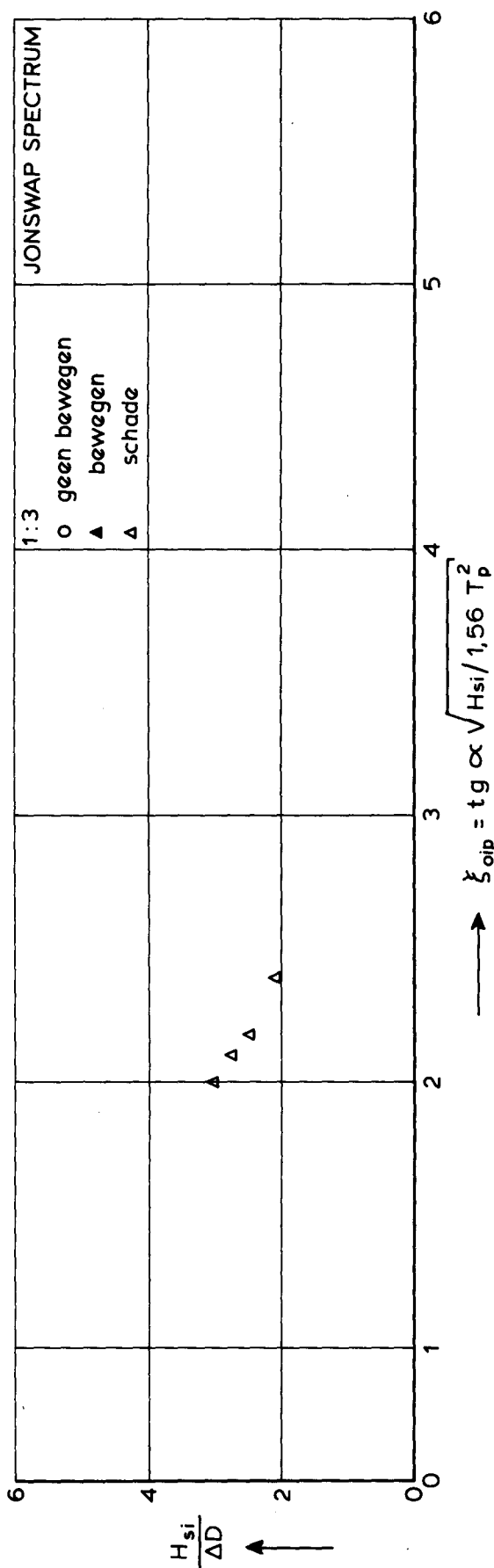
$H_{si} / \Delta D$ VERSUS ξ_{oiz} VOOR CONSTRUCTIETYPE 2
 OP TALUD 1:3

$H_{si} / \Delta D$ VERSUS ξ_{oip} VOOR CONSTRUCTIETYPE 2
OP TALUD 1:3





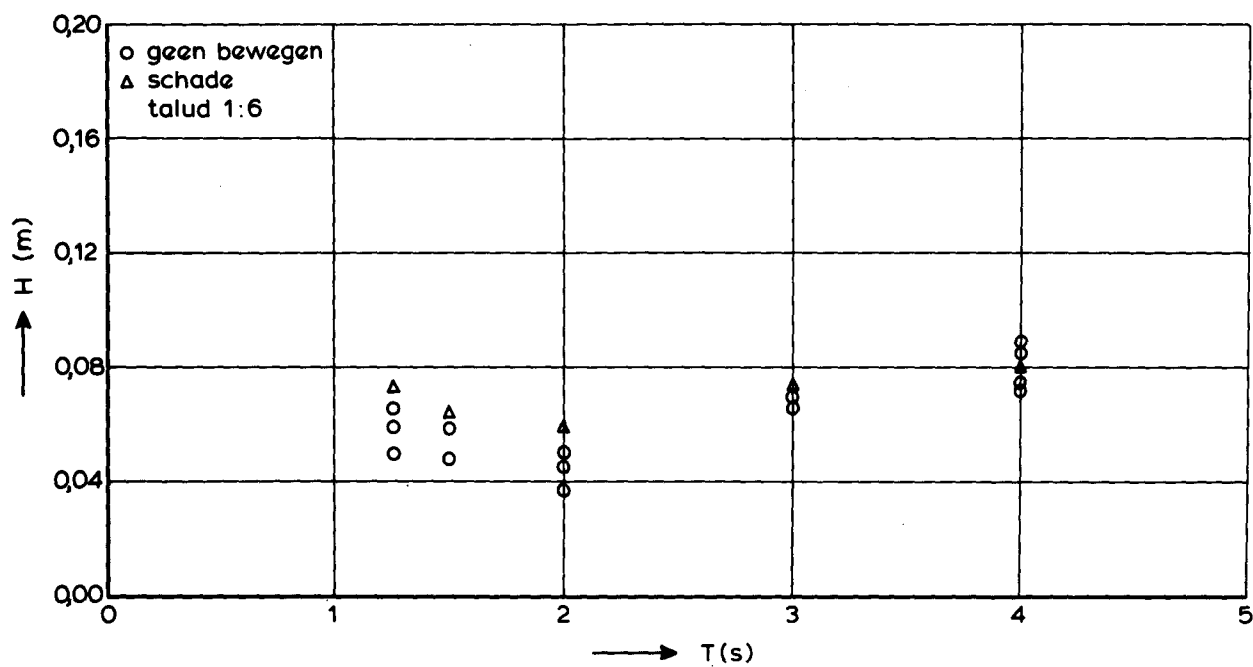
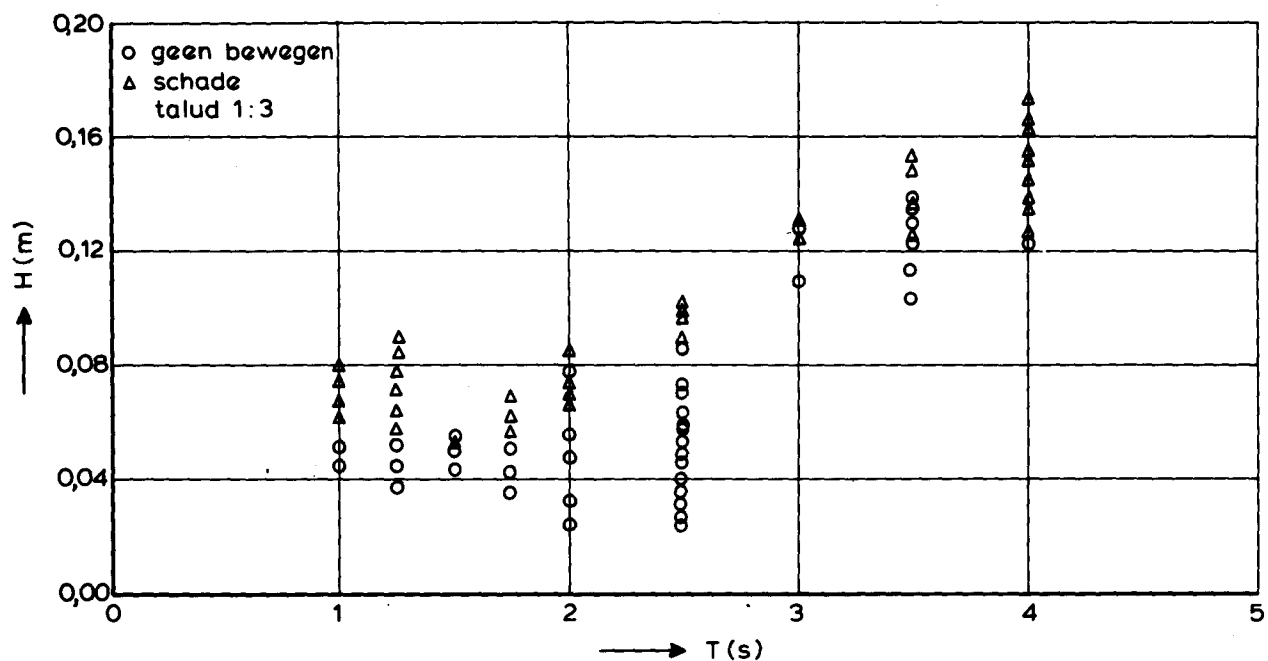
$H_{si} / \Delta D$ VERSUS ξ_{oiz} VOOR CONSTRUCTIETYPE 3
OP TALUD 1:3



$H_{si} / \Delta D$ VERSUS ξ_{oip} VOOR CONSTRUCTIETYPE 3
OP TALUD 1:3

APPENDIX 5

H_i -T en $H_{1\%}$ - T_z schadecriteria



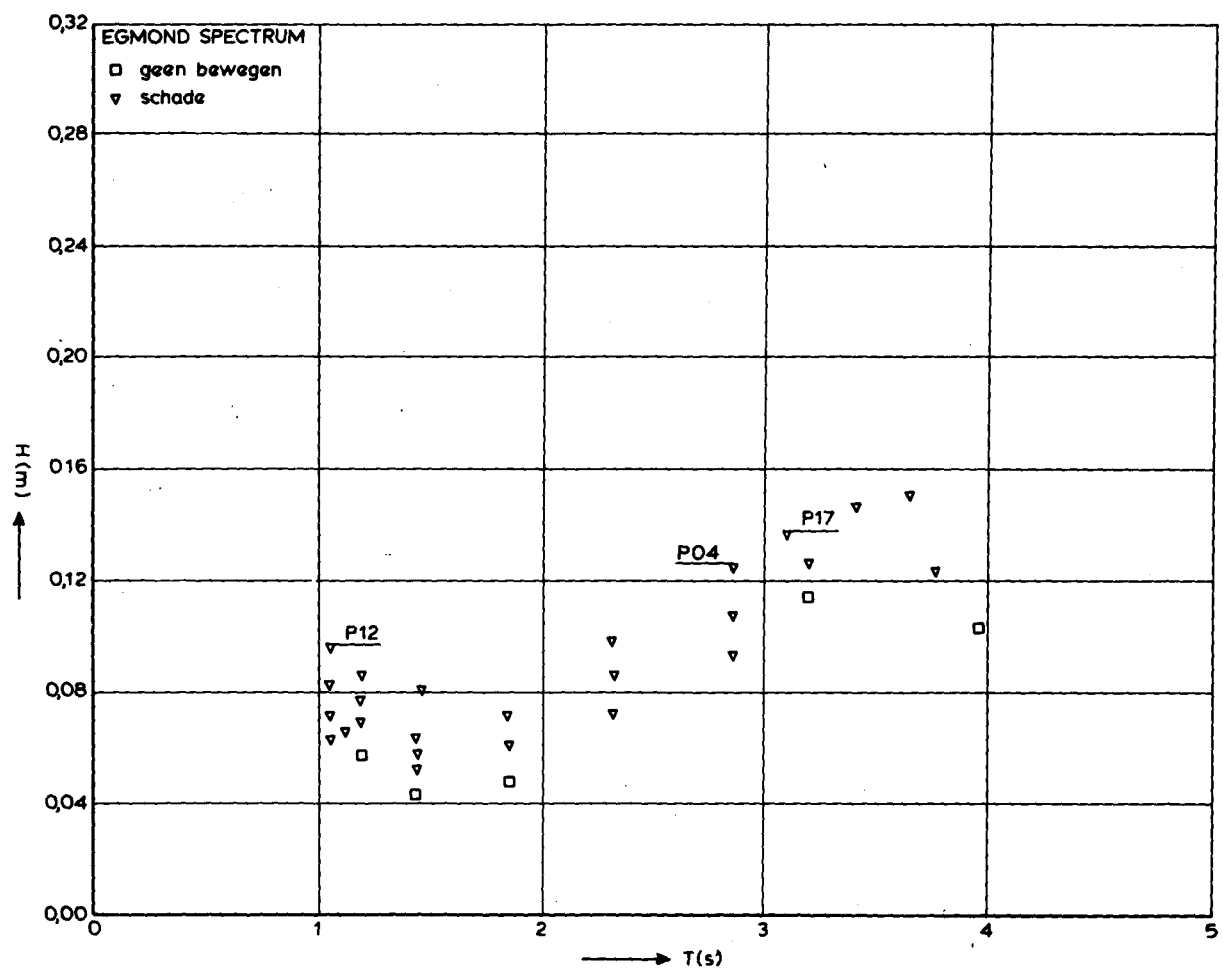
H - T SCHADECRITERIUM VOOR CONSTRUCTIETYPE 1
OP TALUD 1:3 EN 1:6

REGELMATIGE GOLVEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. A.5-1



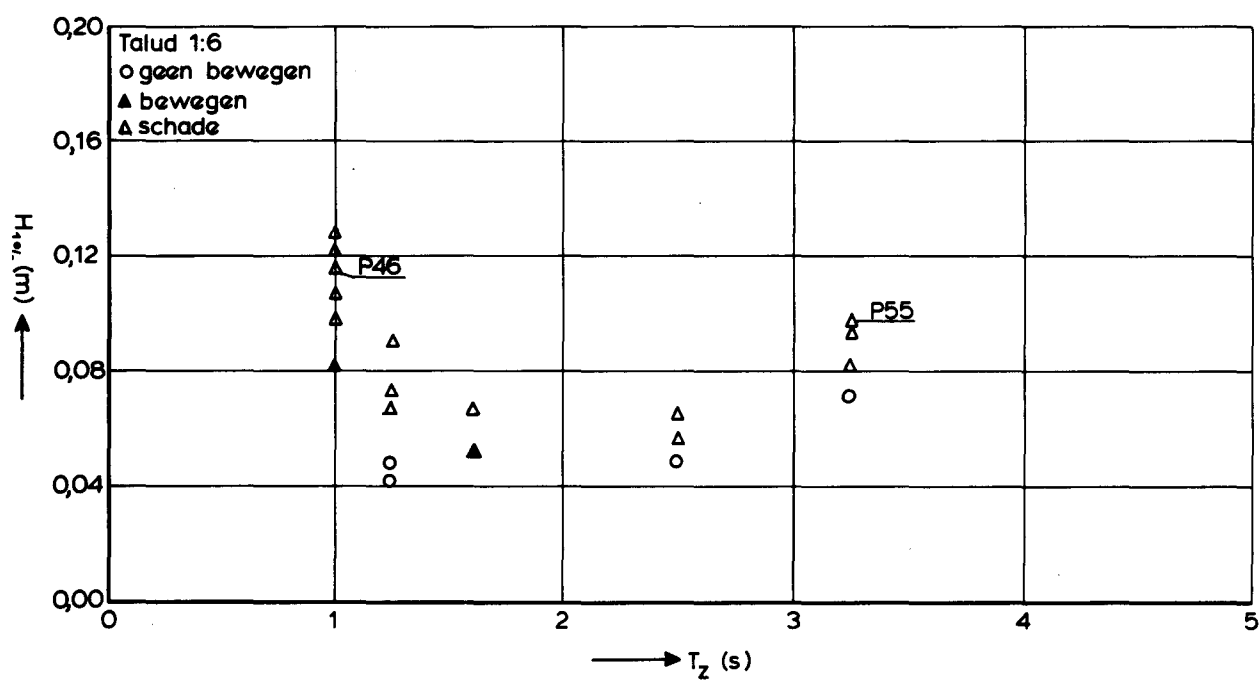
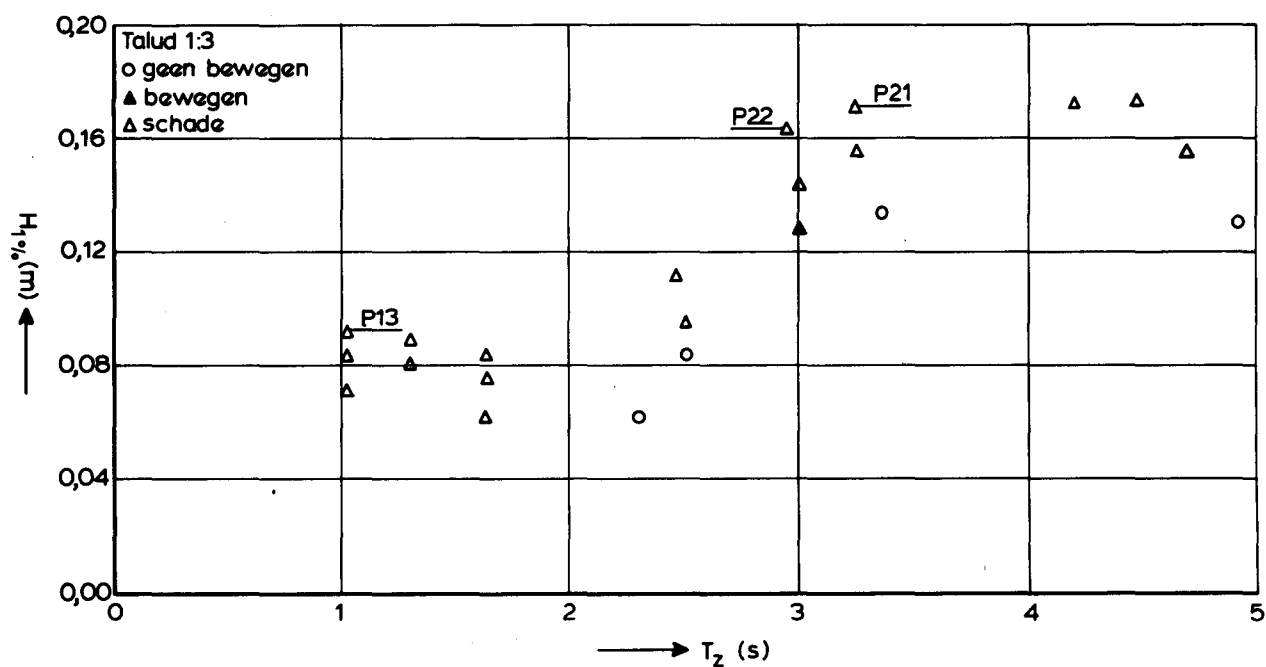
H - T SCHADECRITERIUM VOOR CONSTRUCTIETYPE 1
OP TALUD 1:3

EGMOND SPECTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. A.5-2



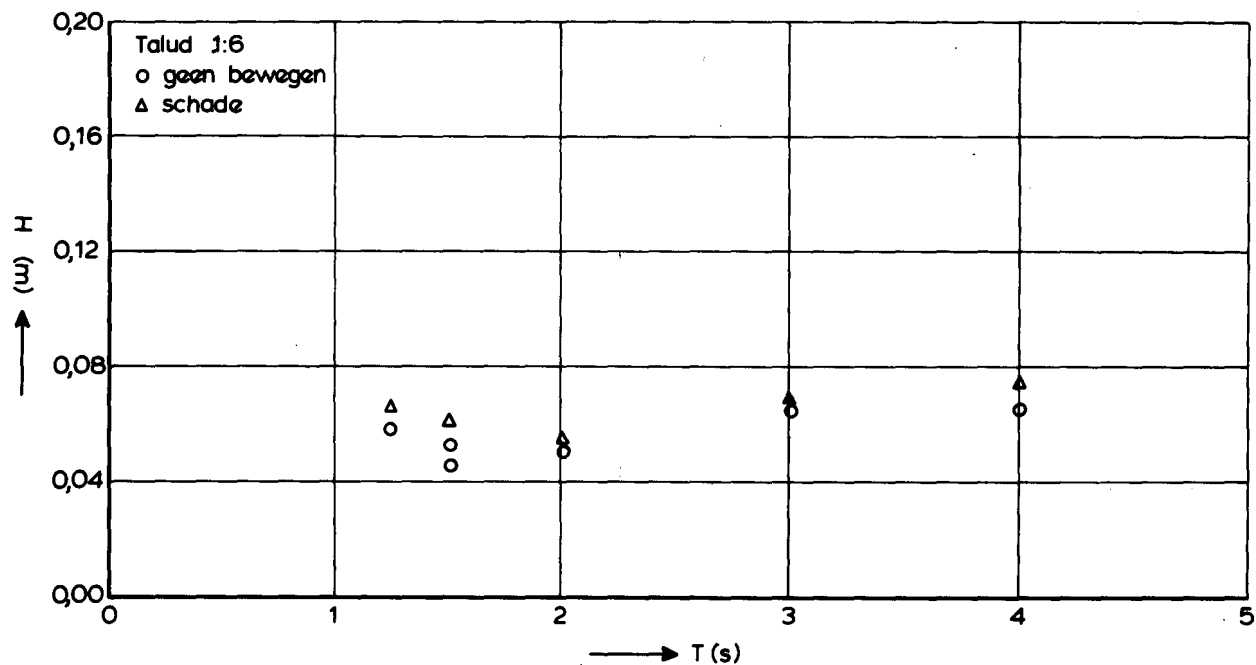
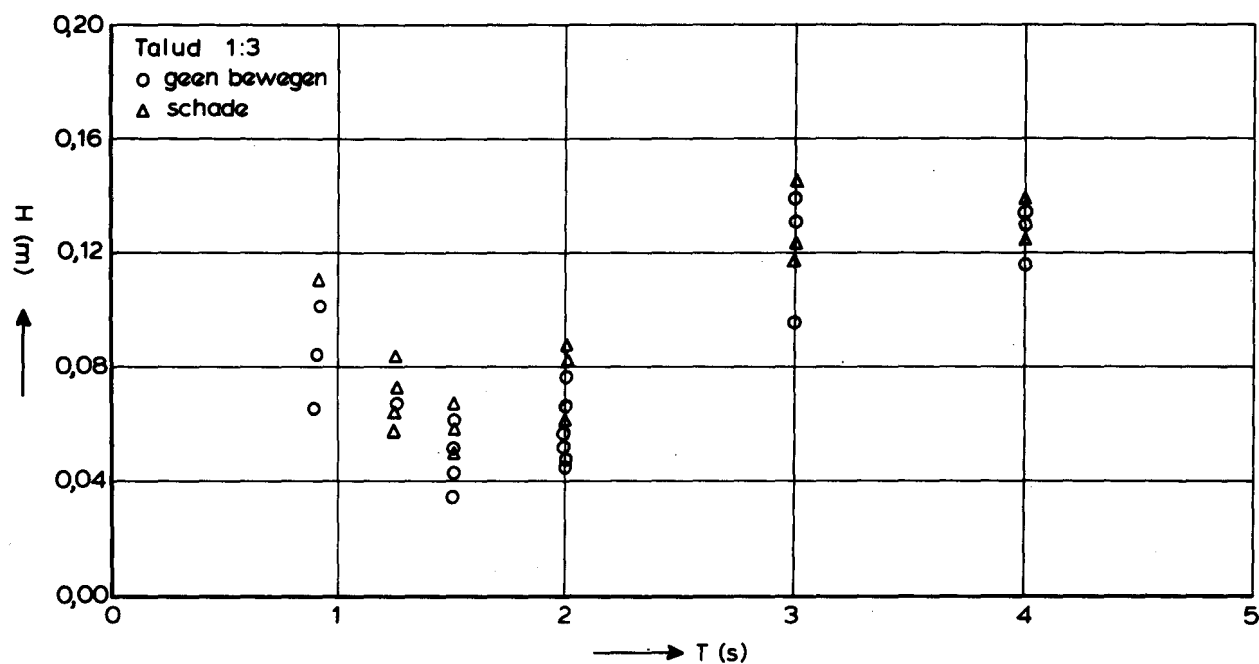
$H_{1\%}-T_z$ SCHADECRITERIUM VOOR CONSTRUCTIETYPE 1
 OP TALUD 1:3 EN 1:6

JONSWAP SPECTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. A.5-3



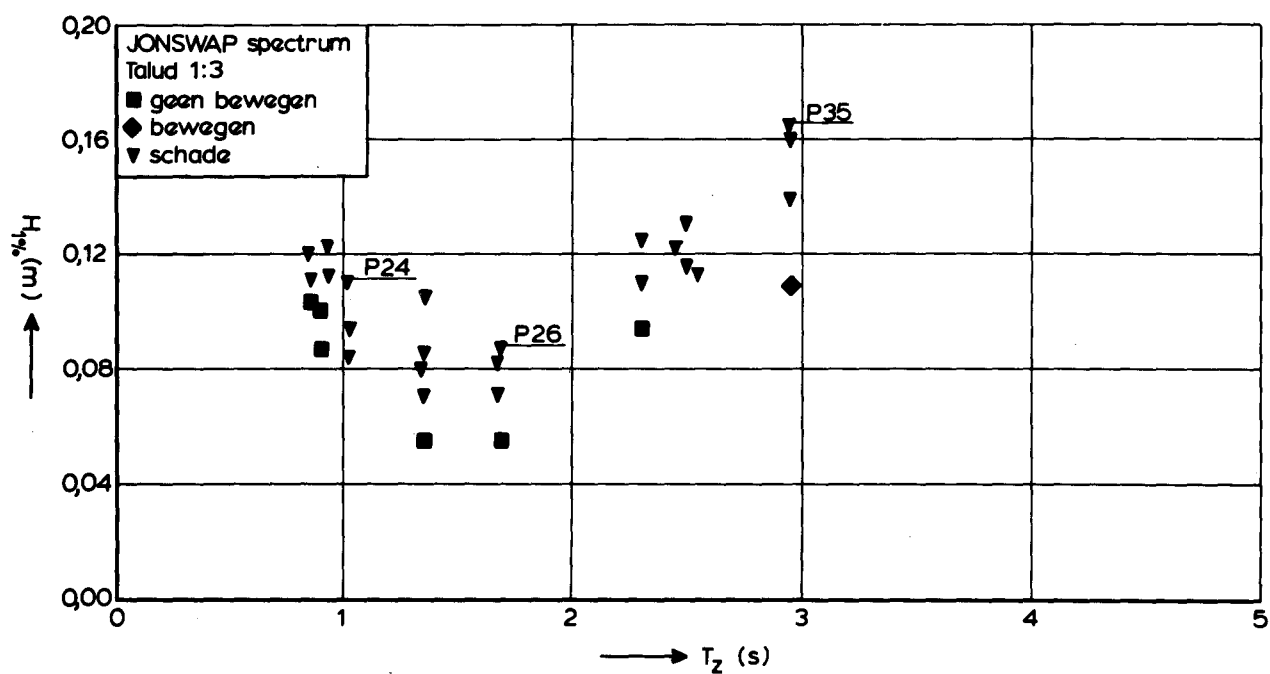
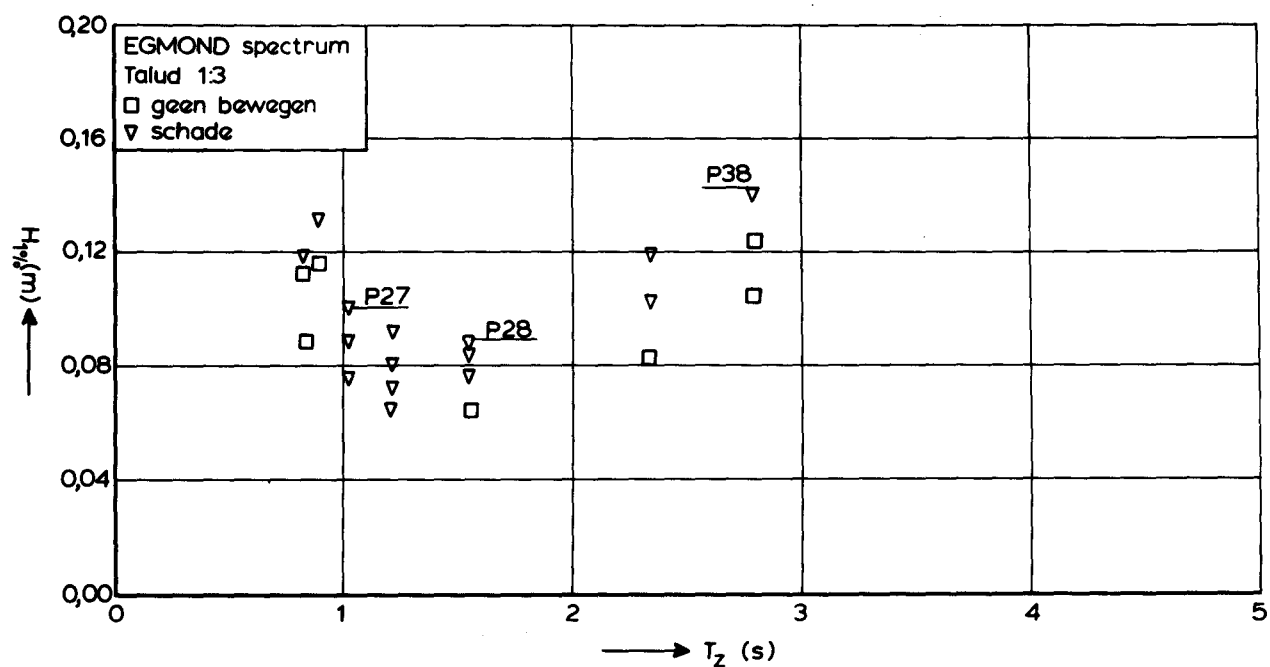
H-T SCHADECRITERIUM VOOR CONSTRUCTIETYPE 2
 OP TALUD 1:3 EN 1:6

REGELMATIGE GOLVEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. A.5-4



$H_{1\%}-T_z$ SCHADECRITERIUM VOOR CONSTRUCTIETYPE 2
OP TALUD 1:3

ONREGELMATIGE GOLVEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

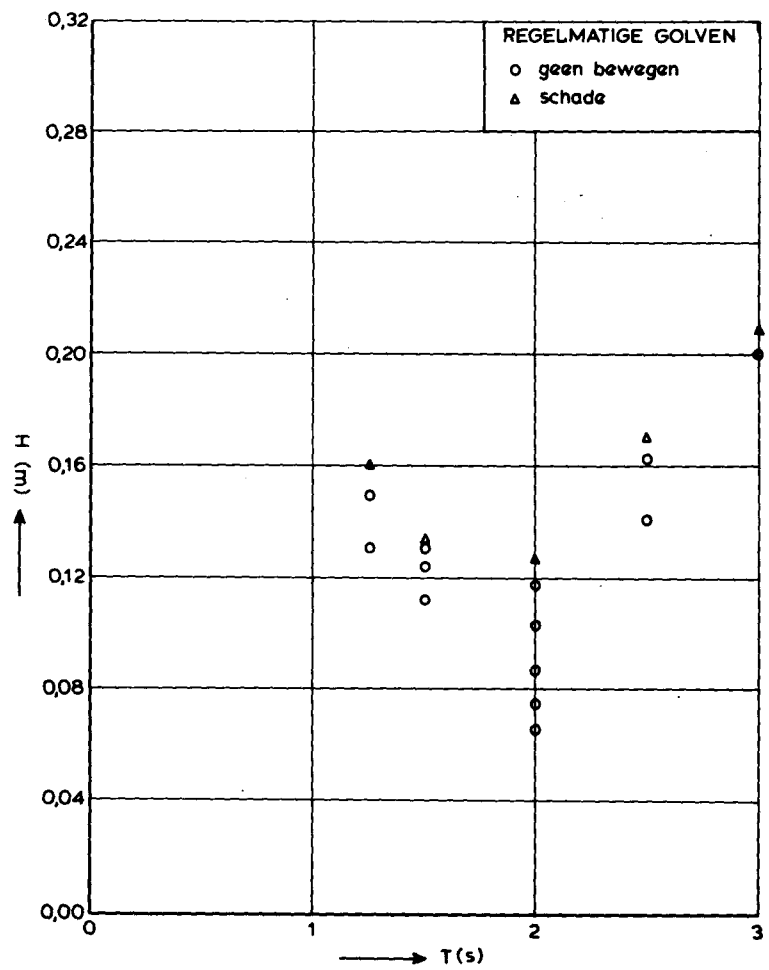
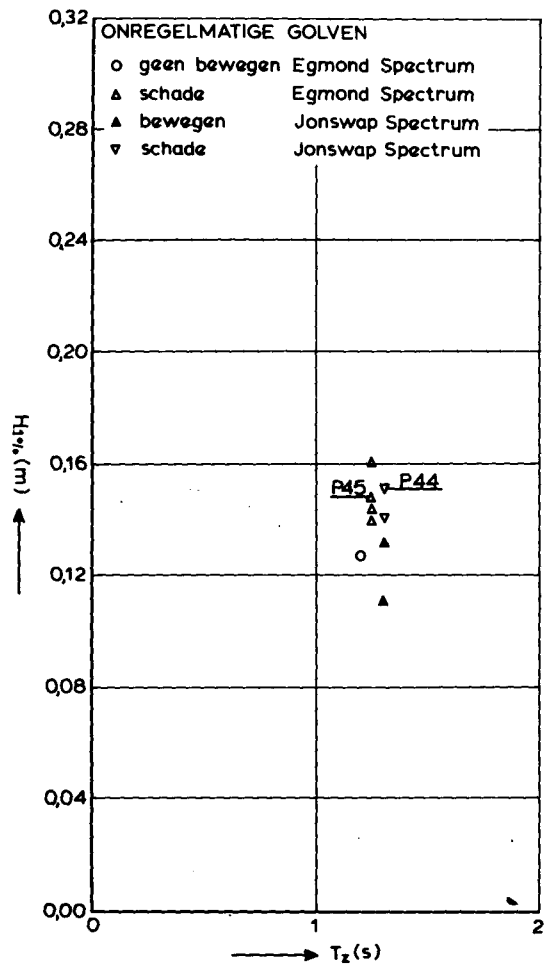
FIG. A.5-5

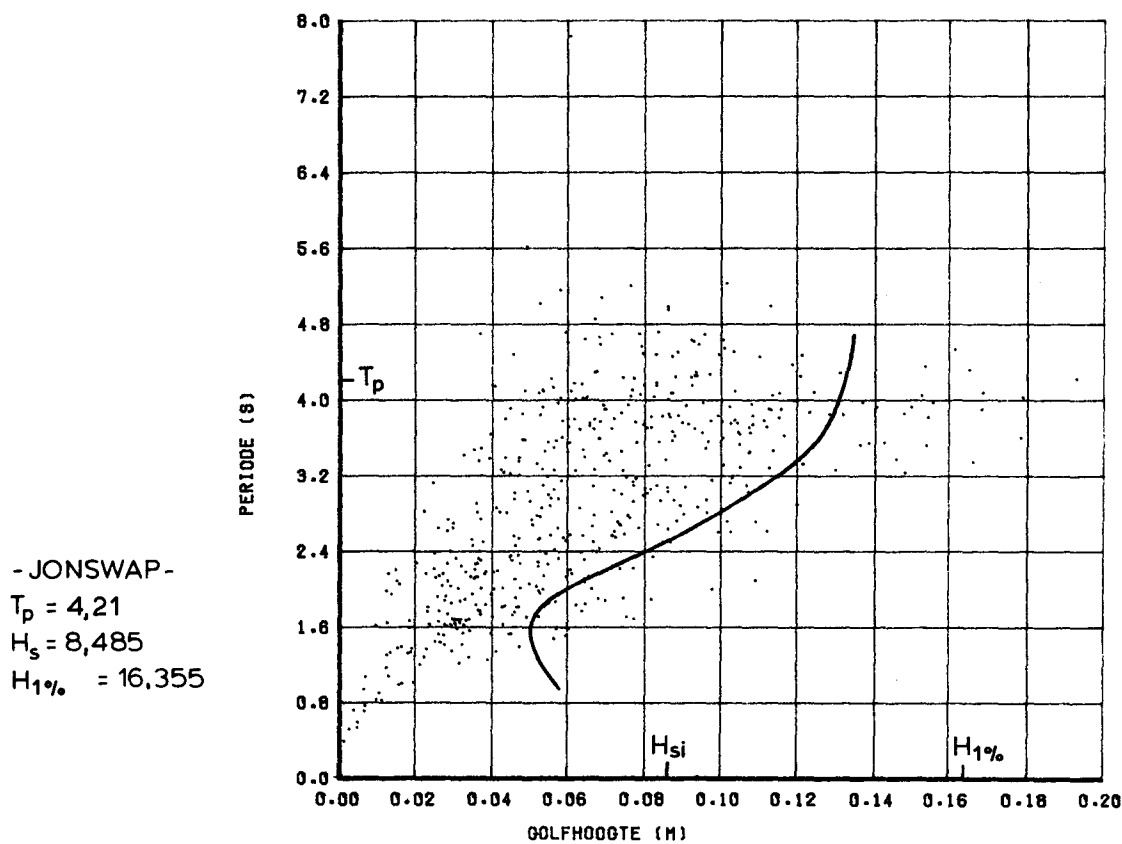
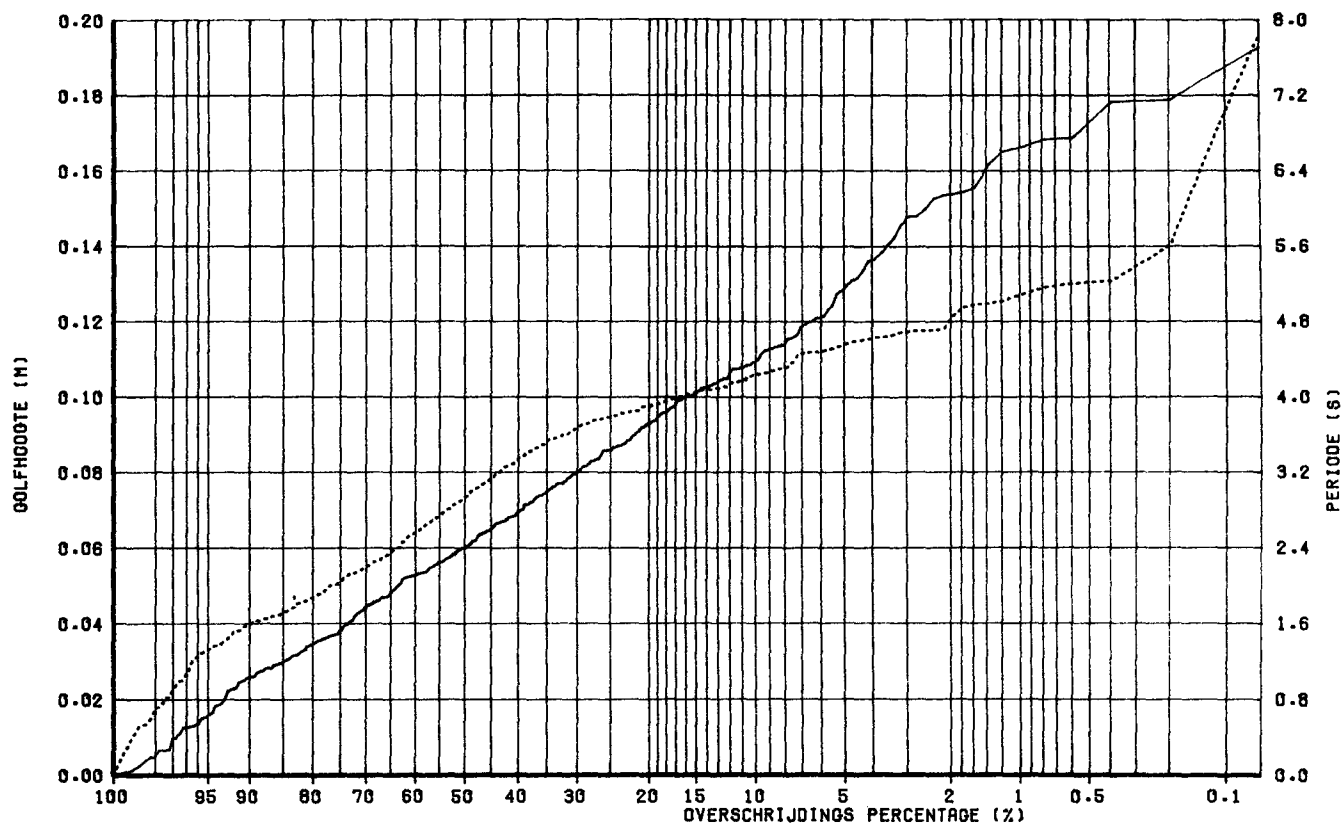
H - T EN H¹% - T₂ SCHADECRITERIUM VOOR

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

N 1881

FIG. A.5-6





————— GOLFHOOGTE (M)
 PERIODE (S)

GOLFHOOGTE- EN GOLFPERIODEVERDELING
 GOLFHOOGTE GOLFPERIODE DIAGRAM

P 020

cotg $\alpha=3$ constructie 1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. A.5-7

Taludbekleding van gezette steen

Analyse van schademechanismen met behulp van de
drukregistraties

Sectie 2 van verslag kleinschalig modelonderzoek

M 1795/M 1881 deel XIV

februari 1985

INHOUD SECTIE 2

	blz.
1. <u>Inleiding</u>	1
2. <u>Schademechanismen</u>	3
3. <u>Analyse filmproeven</u>	5
Analyse proef 4B.....	5
Analyse proef 2C.....	7
Analyse proef 2D.....	8
Analyse proef 3E.....	9
Analyse proef 5F.....	10
Analyse proef P004.....	11
Analyse proef P007.....	12
Analyse proef P008.....	13
Analyse proef P009.....	14
Analyse proef P017.....	15
Analyse proef P019.....	17
Analyse proef P013.....	18
Analyse proef P014.....	19
Analyse proef P015.....	20
Analyse proef P016.....	21
Analyse proef P020.....	22
Analyse proef P021.....	24
Analyse proef P022.....	25
Analyse proef P030.....	26
Analyse proef P031.....	28
Analyse proef P032.....	29
Analyse proef P033.....	30
Analyse proef P034.....	31
Analyse proef P040.....	32
Analyse proef P041.....	34
Analyse proef P042.....	35
Analyse proef P043.....	36
Analyse proef P056.....	37
Analyse proef P057.....	39
Analyse proef P058.....	40

INHOUD SECTIE 2 (vervolg)

Analyse proef P059.....	41
Analyse proef P060.....	43
4. <u>Samenvatting</u>	45

TABELLEN

FIGUREN

TABELLEN

- 1 Schade zoeken: regelmatige golven
- 2 Schade zoeken: Egmond-spectrum
- 3 Schade zoeken: Jonswap-spectrum
- 4 Overzicht uitwerking van de filmproeven
- 5 Overzicht posities drukopnemers in de filmproeven
- 6 Overzicht constructietypen
- 7 Overzicht opgetreden schademechanismen

FIGUREN

- 1 - 32 Drukverdelingen langs talud
- 33 - 88 Druk- en waterstandsverloop rondom schadetijdstip
- 89 Schematische voorstelling van schademechanismen bij "plunging" brekertype
- 90 Schematische voorstelling van schademechanisme bij niet brekende golven of bij "collapsing" brekertype
- 91 Opgetreden schademechanismen als funktie van de ξ -waarden

1. Inleiding

In deze bijlage bij het verslag kleinschalig onderzoek taludbekledingen M 1795/M 1881 deel XIV WL - Co 258901 LGM, mei 1984, wordt een beschrijving gegeven van de waargenomen, gefilmde en gemeten verschijnselen bij een aantal proeven die in het kader van dit onderzoek zijn uitgewerkt in de vorm van plots van drukverdelingen langs het talud gedurende een periode van 0,56 s. Deze periode is uitgekozen uit beschikbaar filmmateriaal en wel zodanig dat in de meeste gevallen een schadeoptreden in dit tijdsinterval voorkwam. Rond dit schadetijdstip zijn ook drukregistraties beschikbaar gedurende 15 s in een aantal punten in het talud. Bij de analyse wordt steeds, tenzij anders vermeld, de tijdschaal van de foto's en drukverdelingen langs het talud gehanteerd.

Een overzicht van alle proeven wordt gegeven in de tabellen 1, 2 en 3 welke zijn overgenomen uit het verslag. In tabel 4 zijn alle filmproeven samengevat. In deze tabel is aangegeven welke proeven zijn uitgewerkt tot plots van drukverlopen en fotoseries van een schademoment. De figuurnummers van deze plots zijn in de tabel opgenomen. De aangegeven proeven zijn in het hiernavolgende geanalyseerd. Tabel 5 toont een overzicht van de plaatsen van de drukopnemers tijdens de filmproeven (zie ook Tabel 6 van het verslag). De karakteristieken van de verschillende constructietypen zijn samengevat in tabel 6.

De drukverdelingen langs het talud en de bijbehorende fotoseries worden gegeven in de figuren 1 tot en met 32. Deze figuren zijn afzonderlijk gebundeld en dienen bij het lezen van deze bijlage te worden geraadpleegd. In deze figuren is aangegeven de druk op het talud, de druk onder het talud en de verschildruk, d.i. de opwaartse druk onder het talud minus de neerwaartse druk op het talud. Een positief verschil (resultante opwaarts) is naar beneden uitgezet en kan worden vergeleken met de neerwaartse druk t.g.v. het eigen gewicht van de bekleding die ook in de betreffende figuur is aangegeven. Op deze manier kan direct worden geconstateerd of er sprake is van instabiliteit nl. als de lijn van de verschildruk onder de lijn van het eigen gewicht ligt. Als hulpmiddel bij de bepaling van de rijnummers in de drukverdelingen langs het talud zijn losse transparante figuren bijgevoegd in band B met de figuren 1 t/m 32.

De drukverlopen gedurende 15 s rondom het schadetijdstip zijn aangegeven in de figuren 33 tot en met 88. Deze plots geven de drukverlopen op 3 plaatsen boven en onder het talud. Tevens zijn aangegeven het golfsignaal aan de teen van het talud en de golfoploop. Deze figuren worden waar nodig in de analyse betrokken.

Analyse van de belasting op een steenzetting leidt tot een aantal mogelijke bezwijkmechanismen. Bij de analyse van de proeven is getracht vast te stellen of één of meerdere van deze bezwijkmechanismen herkenbaar zijn. Dit wordt gedaan aan de hand van drukverdelingen langs het talud gedurende het tijdstip van schade. Niet in alle gevallen leidt deze analyse tot éénduidige bepaling van de aard van het bezwijkproces en wel om de volgende redenen:

1. tegelijkertijd optreden van verschillende bezwijkmechanismen
2. zeer korte duur van optreden van enkele bezwijkmechanismen
3. drukverlopen zijn gemeten in 'slechts' enkele rijen en niet in ieder blok in de schadezone.
4. drukverdelingen zijn uitgewerkt over een periode van 0.56 s wat in de regel veel korter is dan de periode van de aanvallende golf.
5. druk is gemeten in het midden van de blokken; het is mogelijk dat er een draaiend moment werkt op een blok t.g.v. een bepaalde drukverdeling onder het blok, waardoor het uit de bekleding wordt gedraaid terwijl de gemeten verschildruk kleiner is dan het eigen gewicht.
6. onjuiste, registraties t.g.v. nulinstellingsfouten, verlopen van de nulwaarde, defecten aan de opnemers etc.

In het hiernavolgende wordt eerst een overzicht gegeven van de onderscheiden schademechanismen (Hoofdstuk 2). Dit gedeelte is als hoofdstuk 5.5 ook in het hoofdrapport opgenomen. Vervolgens worden de verschillende proeven geanalyseerd (Hoofdstuk 3). Tenslotte wordt een samenvatting van deze analyse gegeven in Hoofdstuk 4.

2. Schademechanismen

Wanneer de golfoploop zijn maximum waarde heeft bereikt, begint het water op het talud terug te stromen ten gevolge van de zwaartekracht. In deze fase stroomt water door de spleten tussen de blokken in het filter, waardoor het waterstandsniveau in de filterlaag kan toenemen. Dit toenemen is onder andere afhankelijk van de doorlatendheid van de bekleding k' en van de filterlaag k . Tijdens het terugstromen van water langs het talud neemt de druk op het talud af. Dit terugstromende water kan sleepkrachten, traagheidskrachten en liftkrachten op de blokken uitoefenen (mechanisme a, figuur 89). Afhankelijk van k' , k en de geometrie kan het water in het filter niet onmiddellijk het op het talud terugstromende water volgen, waardoor drukken tegen de onderzijde van de blokken groter zijn dan de drukken tegen de bovenzijde. Deze overdrukken kunnen een blok uit de bekleding drukken (mechanisme b1, figuur 89). In het algemeen is de golfoploop groter dan de golfterugloop. Daardoor vindt instroming van water in het filter tijdens golfoploop over een groter oppervlak plaats dan uitstroming van water uit het filter tijdens golfterugloop. Dit kan resulteren in een geleidelijke toename van het gemiddelde waterniveau in de filterlaag totdat een evenwichtssituatie is bereikt (mechanisme b2, figuur 89).

Doordat de volgende golf het talud nadert en oploopt, nemen de drukken onder deze golf op het talud toe. In veel gevallen, met name bij 'plunging breakers', is het front van de aankomende golf erg steil. Daardoor ontstaat op het talud een grote drukgradiënt. De hoge drukken op het talud planten zich voort onder de bekleding voor of ook onder de teen van het front van de aankomende golf. De druk op het talud is voor het front en ook onder de teen van het front laag. Dit resulteert in verschildrukken die het blok uit de bekleding willen drukken (mechanisme c, figuur 89).

Tijdens de fase waarin de volgende golf aankomt, kunnen er grote veranderingen in het snelheidsveld ontstaan, doordat de aankomende golf en het teruglopende water van de voorafgaande golf elkaar ontmoeten (mechanisme d, figuur 89). Afhankelijk van de waarde van $\xi = \tan \alpha / \sqrt{H/L_0}$ zullen golf breken. Een 'plunging breaker' kan een golfklap op de bekleding veroorzaken. Hierdoor nemen de drukken op het talud snel toe en weer af in een periode van orde grootte 0,1 s. Deze drukken op het talud kunnen zich voortplanten onder de taludbekleding (mechanisme e, figuur 89).

Na dit verschijnsel met een korte duur valt de tong van de 'plunging breaker' op het talud, waardoor hoge drukken op het talud ontstaan. Juist boven de plaats waar deze golftong neervalt is de druk op het talud laag. Ook beneden de plaats waar de golftong neervalt is de druk op het talud relatief laag, door de luchtinsluiting in de 'plunging breaker'. De grote drukgradiënten op het talud kunnen resulteren in drukverschillen op en onder de bekleding die een blok uit de bekleding kunnen drukken (mechanisme f, figuur 89). In principe is dit mechanisme vergelijkbaar met mechanisme c. Wanneer de golftong van een 'plunging breaker' op het talud valt, wordt een hoeveelheid lucht ingesloten. Onder deze luchtinsluiting zijn sterke drukverlagingen waargenomen met een duur in de orde van 0,1 s. (Zelfs negatief vergeleken met atmosferische druk). Dit verschijnsel wordt verklaard als het gevolg van trillingen van de ingesloten luchtcylinder. Dit verschijnsel kan niet optreden als de luchtcylinder niet volledig opgesloten wordt, zoals in de werkelijkheid het geval is.

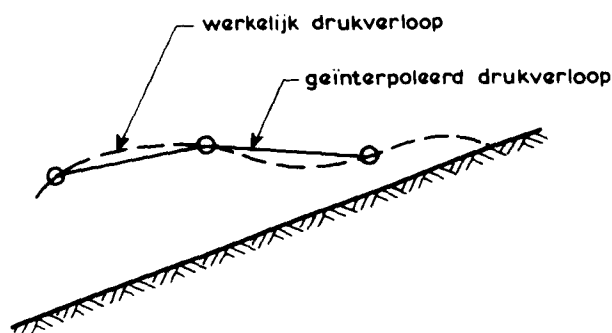
Afgezien van deze snelle trillingen van de luchtcylinder is de druk op het talud onder de luchtcylinder relatief laag. Deze relatief lage druk op het talud veroorzaakt verschildrukken die een blok eruit kunnen drukken (mechanisme g, figuur 89). Belangrijk hierbij is ook dat de druk iets hoger op het talud op dit moment juist erg hoog is, zoals beschreven bij mechanisme f. Nadat de golf gebroken is, loopt de golf het talud op. Gedurende deze fase nemen de drukken op het talud toe. Deze oplopende golf kan sleep-, traagheids- en liftkrachten op de blokken uitoefenen (mechanisme h, figuur 19). Bovengenoemde mechanismen treden in het algemeen niet geïsoleerd op. In veel gevallen zal schade juist ontstaan door een combinatie van mechanismen. Indien er een "collapsing" brekertype optreedt of de golf in het geheel niet breekt, kunnen een aantal mechanismen die in de figuur 89 zijn genoemd niet optreden, zie figuur 90.

3. Analyse filmproeven

Analyse proef 4B

Constructietype	: 1
Taludhelling	: 1/3
Belasting	: regelmatige golven
$\xi_{0,i}$: 1,74
brekertype	: plunging
Blok half uit talud gelicht in rij:	26
Schade waargenomen in rij	: 26, 31
Schade fotoserie in rij	: 31
Drukverdeling figuur	: 1
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 33
Drukopnemers	: rij 29 (opnemers 21-11)
	: rij 31 (opnemers 22-12)
	: rij 33 (opnemers 23-13)

De foto's van proef 4B beginnen op $t = 0$ met het naderen van een golf. De verschildrukken zijn niet groter dan de druk ten gevolge van het eigen gewicht. De verticale afstand tussen een drukopnemer aan de bovenzijde en aan de onderzijde van een blok bedraagt 19 mm, zodat in een statische situatie de verschildruk $0,19 \text{ kN/m}^2$ bedraagt. Dit is ongeveer de gemeten verschildruk in de rijen 25 tot 29. Bij lager gelegen rijen is de verschildruk groter. Dit is een gevolg van de naderende golf waarvan de drukken zich onder de bekleding door al naar boven toe voortplanten (mechanismen c). De verschildruk in rij 25 is groter dan $0,19 \text{ kN/m}^2$. Dit is een gevolg van het water in het filter (mechanisme b). Ten gevolge van de grote doorlatendheden van filter en zetting werkt mechanisme b slechts over een beperkt gebied. Deze beschrijving voor $t = 0$ is ook van toepassing op volgende tijdstippen tot $t = 0,20 \text{ s}$. Voor $t = 0,20 \text{ s}$ lijkt het golffront op de foto steiler dan volgens de drukken op de blokken. Dit verschil wordt veroorzaakt doordat de drukken op discrete punten zijn gemeten en daartussen lineair is geïnterpoleerd. In onderstaande schets wordt het resulterende verschil tussen werkelijke en geregistreerde drukken getoond. (De horizontale lijn op de foto's ligt $0,10 \text{ m}$ onder stilwaterniveau dat voor alle proeven op $0,80 \text{ m}$ boven de gootbodemplag. De horizontale lijn op de foto's snijdt het talud bij rij 34).



Het verschil tussen de werkelijke en geïnterpoleerde drukken treedt ook op in de verschildrukken. Voor $t = 0,28$ is de verschildruk tussen rij 29 en 31 na de interpolatie vrijwel constant. Het is echter aannemelijk dat de verschildruk bij rij 30 groter is dan de druk van het eigen gewicht, zodat hier sprake is van potentiële instabiliteit. Dit wordt veroorzaakt door mechanisme c, het voorlopen van de drukken voor het steile golffront uit. Aan de piek in het verloop van de bovendruk op $t = 0,32$ kan worden gezien dat op dat moment de neerduikende golftong de bekleding treft. Iets lager dan dit punt is de druk op het talud relatief laag ten gevolge van luchtinsluiting. Daardoor is de verschildruk in rij 31 relatief hoog (mechanisme g), echter niet groter dan het eigen gewicht. De druk op het talud in rij 29 is relatief hoog op dit moment (mechanisme e of f). Op de foto bij $t = 0,40$ is te zien dat in rij 31 een blok iets uit het talud is gelicht. De verschildruk op $t = 0,36$ is in rij 31 niet groter dan de druk t.g.v. het eigen gewicht. Indien echter rekening wordt gehouden met interpolatie tussen rij 29 en 31 kan worden aangenomen dat de verschildruk aan de bovenzijde van rij 31 groter was dan de druk ten gevolge van het eigen gewicht zodat het blok "achterover" kantelt zoals de foto's voor $t > 0,40$ laten zien. Het zou dus mechanisme c zijn geweest dat de schade heeft veroorzaakt. Het is op de foto's niet te zien of het blok op rij 31 ook al op $t = 0,28$ uit het talud werd gelicht al lijkt dit wel waarschijnlijk gezien de verschildruk op $t = 0,28$.

Uit de verschildrukken blijkt dat voor $t = 0,36$ mechanismen e en f ook voor een hoge verschildruk zorgen in rij 28. Het eigen gewicht van de bekleding wordt hier net niet gehaald. Op het tijdstip $t = 0,40$ ligt deze piek bij rij 27. Rekening houdend met de toegepaste interpolatie zou kunnen worden aangenomen dat voor $t = 0,40$ rij 26 en rij 27 instabiel zijn. Dit komt overeen met de waarnemingen in proef 2B en 3B waarin schade optrad in rij 27 en proef 4B waarin schade optrad in rij 26, naast de beschreven schade in rij 31 die optrad in de beschouwde periode van 0,56 s. Mechanisme f is niet een gevolg van de kortdurende golfklap zoals mechanisme e (zie figuur 88). Het is echter in het algemeen niet goed mogelijk om onderscheid tussen beide mechanismen aan

te geven. Mechanisme e treedt het eerst op en daarna mechanisme f. Voor $t = 0,40$ is echter wel duidelijk aan te geven dat daar mechanisme f de relatief hoge druk op het talud veroorzaakt en daardoor een piek in de verschildrukken.

Mechanismen e, f en g hebben een rol gespeeld bij het optreden van pieken in de verschildruk rond het schadetijdstip, waarbij het eigen gewicht niet werd overschreden (rij 31 en 28).

Analyse proef 2C

Constructietype	: 1
Taludhelling	: $1/3$
Belasting	: regelmatige golven
$\xi_{0,i}$: 2,30
brekertype	: plunging
Blok half uit talud gelicht in rij:	27
Schade waargenomen in rij	: 30, 31, 32
Schade fotoserie in rij	: 30
Drukverdeling figuur	: 2
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 34
Drukopnemers	: rij 29 (opnemers 21-11)
	: rij 35 (opnemers 22-12)
	: rij 37 (opnemers 23-13)

De foto's beginnen met het naderen van een golf. Uit de drukken kan worden afgeleid dat op $t = 0,08$ mogelijkwerijs reeds een instabiele situatie bestond in de rijen 33-35 (interpolatie). Dit is vlak voor het golffront en hier is sprake van mechanisme c. Op $t = 0,20$ is de verschildruk in deze zone verminderd maar is er sprake van een maximum in rij 31, dat bijna het eigen gewicht van de bekleding bereikt. Op dit moment is op de foto te zien dat een blok uit de bekleding wordt gedrukt, nog voordat de golftong het talud heeft geraakt. Hier werkt mechanisme c. Op $t = 0,24$ komt de golftong neer op rij 31. Daardoor neemt de verschildruk juist boven dit punt toe (rij 29). Voor $t = 0,32$ is een scherpe piek te zien in de verschildruk ter plaatse van rij 28. Op dit tijdstip is de druk op het talud ter plaatse van rij 28 afgenomen. De kortdurende piek in de verschildruk op $t = 0,32$ is te beschouwen als mechanisme e. Vanaf $t = 0,36$ treden geen kritieke verschildrukken meer op.

Conclusie uit deze analyse is dat schade is opgetreden in rij 30-32 ten gevolge van mechanisme c en in rij 27 (blok half eruit) ten gevolge van mechanisme e.

Analyse van proef 2D

Constructietype	: 1
Taludhelling	: 1/3
Belasting	: regelmatige golven
$\xi_{0,i}$: 3,0
brekertype	: surging
Blok half uit talud gelicht in rij:	27, 28, 29, 32, 33
Schade waargenomen in rij	: 28-34
Schade fotoserie in rij	: 28 (twijfel)
Drukverdeling figuur	: 3
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 35
Drukopnemers	: rij 27 (opnemers 19-9)
	: rij 28 (opnemers 20-10)
	: rij 29 (opnemers 21-11)

Op $t = 0$ is de verschildruk in rij 33 vrijwel gelijk aan de druk van het eigen gewicht. Rekening houdend met interpolatie-onnauwkeurigheden tussen rij 33 en rij 35 zou de verschildruk in rij 34 hoger kunnen zijn dan de druk van het eigen gewicht. Dit geldt ook voor $t = 0,04$ en $t = 0,08$. Op de foto's is niet te zien of er op deze tijdstippen al een blok uit het talud is gedrukt, maar dat is waarschijnlijk wel het geval. Op $t = 0,12$ is wel duidelijk de schade in rij 33 waarneembaar. Deze schade is veroorzaakt door de hoge verschildruk op de voorafgaande tijdstippen. Deze hoge verschildrukken zijn een gevolg van mechanisme c, het voorlopen van de drukken onder de steenzetting. Als een blok iets omhoog is gekanteld kan ook mechanisme h ten gevolge van het langs het talud oplopende water een rol spelen. Dit is te zien op de foto's voor $t = 0,20 - 0,36$. In dit tijdsinterval zijn de verschildrukken lager dan de druk van het eigen gewicht.

Ten gevolge van het oplopende water (mechanisme h) wordt een blok uit het talud gekanteld.

Conclusie is dat schade is opgetreden t.g.v. mechanisme c. Indien een blok door dit mechanisme gedeeltelijk uit het talud is gelicht, treedt mechanisme h op waardoor het blok verder uit het talud kantelt.

Analyse proef 3E

Constructietype	: 1
Taludhelling	: 1/3
Belasting	: regelmatige golven
$\xi_{o,i}$: 3,5
brekertype	: surging
Blok half uit talud gelicht in rij:	43
Schade waargenomen in rij	: 31, 33, 38, 40
Schade fotoserie	: 31
Drukverdeling figuur	: 4
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 36
Drukopnemers	: rij 29 (opnemers 18-8)
	: rij 31 (opnemers 19-9)
	: rij 32 (opnemers 20-10)

Uit de figuren met de verschildrukken valt af te leiden dat tijdens het teruglopen van de golf geen kritieke situatie optrad. Op de foto's voor $t = 0,16$ is echter te zien dat het terugstromende water werd gehinderd. Op de foto's voor $t = 0,32$ en $0,36$ is te zien dat dit veroorzaakt werd door een blok dat uit het talud stak in rij 40. Op $t = 0,12$ werd het teruglopende water niet gehinderd. Blijkbaar is tussen $t = 0,12$ en $t = 0,16$ een blok uit het talud gelicht ten gevolge van het terugstromende water, hetgeen wijst op mechanisme a.

Bij het naderen van de volgende golf trad op $t = 0,36$ een hoge verschildruk op bij rij 39, ten gevolge van mechanisme c. Bij het oplopen van de golf loopt ook de piek in de verschildruk naar een hoger gelegen rij en bevindt zich op $t = 0,44$ in rij 37. Het eigen gewicht van de bekleding wordt waarschijnlijk niet overschreden. Voor het optreden van mechanisme c moet het front van de aankomende golf voldoende steil zijn. Daardoor treedt dit mechanisme bij grotere T - of L -waarden pas op als ook H groter is (T = golfperiode, L = golflengte, H = golfhoogte). De in rij 31 waargenomen schade (gedurende de fotoreeks) is in het geheel niet uit de verlopen van de verschildrukken af te leiden. Op de foto's is deze schade ook niet waarneembaar en mogelijk is er sprake van een fout in de betreffende waarnemingsstaten. In de loop van de proef (niet gedurende de fotoreeks) is er schade geconstateerd in de rijen 31, 33, 38 en 40, dus onder meer in de zone waar mechanisme c gedurende de fotoserie heeft gewerkt (zie boven). Aangenomen mag worden dat dit mechanisme hier de oorzaak is geweest van de schade hoewel gedurende de fotoreeks het eigen gewicht van de bekleding niet werd overschreden.

Conclusie is dat schade is opgetreden ten gevolge van het terugstromende water, mechanisme a, waarbij het betreffende blok mogelijk iets eerder door mechanisme b, de vertraagde reactie van de druk onder het talud op de snel afnemende dikte van de terugstromende waterfilm, enigszins is opgetild. Mechanisme c heeft een duidelijk maximum in de verschildruk veroorzaakt. Uit de waargenomen schade (in de loop van de proef) wordt geconcludeerd dat dit mechanisme inderdaad van belang is geweest.

Analyse proef 5F

Constructietype	: 1
Taludhelling	: 1/3
Belasting	: regelmatige golven
$\xi_{0,1}$: 4,0
brekertype	:
Blok half uit talud gelicht in rij:	27, 28, 35, 39, 47
Schade waargenomen in rij	: 25, 26, 32, 36, 39-48
Schade fotoserie in rij	: 25
Drukverdeling figuur	: 5
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 37
Drukopnemers	: rij 35 (opnemers 21-11)
	: rij 41 (opnemers 22-12)
	: rij 47 (opnemers 23-13)

In deze proef trad schade op over een groot gebied zoals hierboven is aangegeven. De donkere lijn op de foto's komt overeen met de stilwaterlijn op 0,80 m hoogte boven de gootbodem.

Het verloop van de verschildruk over het talud lijkt vrij grillig en opmerkelijk constant in het tijdsinterval dat op de foto's wordt getoond (0,36 s). Het zij opgemerkt dat de drukverlopen boven en onder de bekleding zijn uitgezet op een ruim driemaal grotere schaal dan die bij de voorgaande proeven. De grilligheid van de verschildrukken vindt zijn oorzaak in het om de nulwaarde heen slingeren van het drukverloop zowel boven als onder de bekleding. Dit vindt plaats vlak voor de golf, voor of enigszins in het oplopende gedeelte. Deze waterfilm is (kennelijk) dun en het slingerende verloop rond de nullijn kan worden veroorzaakt door turbulenties en luchtinsluitingen t.g.v. de ruwheid van de bekleding. Gedurende het gehele getoonde tijdsinterval is de

verschildruk aan de linkerzijde van het getoonde taludgedeelte groter dan het eigen gewicht. Dit maximum bevindt zich in rij 52 en werd mogelijkerwijs veroorzaakt door mechanisme b. Bij latere proeven komt dit duidelijker naar voren. Op de foto's is een opgewipt blok te zien ongeveer in rij 36. Het is niet duidelijk welk mechanisme hier van toepassing is geweest omdat dit blok reeds voor $t = 0$ is opgelicht. Verdere schade aan de bekleding wordt niet op de foto's waargenomen, dus ook niet in rij 25 waar volgens de waarnemingen schade optrad gedurende de fotoserie. Bij de juistheid van dit rijnummer moet dan ook een vraagteken worden gezet.

Conclusie is dus dat voor proef P5F niet een bepalend bezwijkmechanisme aan de hand van de foto's en drukverlopen kan worden vastgesteld. In rij 52 trad een toestand van constante instabiliteit op, echter zonder dat er schade is waargenomen.

Analyse Proef P004

Constructietype	: 1
Taludhelling	: 1/3
Belasting	: onregelmatige golven; Egmond-spectrum
$\xi_{0,i}$: 5.31
Brekertype	: surging
Blok half uit talud gelicht in rij:	37, 38
Schade waargenomen in rij	: 33, 34, 39
Schade foto's in rij	: 33
Drukverdeling in figuur	: 6
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 38
Drukopnemers	: rij 29 (opnemers 20-10)
	: rij 35 (opnemers 21-11)
	: rij 41 (opnemers 22-12)

Gedurende de periode van 0.56 s waarover de drukverdelingen zijn getoond, bevond zich een vast maximum in de verschildruk in rij 53, ter grootte van ongeveer het eigen gewicht van de bekleding. De waterstand (althans bovendruk) in dit punt bleek ook min of meer constant in deze periode en er zou sprake kunnen zijn van een soort knoop in een staande golf, die gaat optreden bij hogere ξ -waarden. Mogelijk ontstaat een dergelijk maximum door de werking van mechanisme b. De golfoploop veroorzaakt een toename van de druk onder de

bekleding onder het oplopende gedeelte van de golf. De waterspiegel vlak achter de oplopende tong zakt iets, echter deze bovendrukverlaging wordt niet gevolgd door een onderdrukverlaging omdat deze vertraagd reageert. Deze vertraagde reactie is een gevolg van het feit dat het golfoplooppunt verder boven SWL ligt dan het golfteruglooppunt daaronder en de gemiddelde onderdruk daardoor de neiging heeft iets groter te zijn dan de waarde die bij SWL hoort. Er ontwikkelt zich een tweede maximum in rij 35 dat op $t = 0.28$ en later het eigen gewicht overschrijdt. Dit maximum bevindt zich vlak voor de aankomende golf en wordt toegeschreven aan mechanisme c. Op $t = 0.44$ is dit maximum, bij het passeren van de golf, weer verdwenen. Schade is voor het eerst zichtbaar op $t = 0.48$ (in rij 33) en wordt veroorzaakt door mechanisme c.

De conclusie luidt dat er schade is opgetreden in rij 33 t.g.v. mechanisme c. Er bevond zich een min of meer constante piek in de verschildruk t.p.v. rij 53, welke iets kleiner was dan het eigen gewicht. Dit maximum, waarschijnlijk veroorzaakt door mechanisme b, heeft geen schade veroorzaakt.

Analyse proef P007

Constructietype	: 1
Taludhelling	: 1/3
Belasting	: onregelmatige golven; Egmond-spectrum
$\xi_{0,i}$: 3,96
Brekertype	: plunging/surgling (slecht waarneembaar)
Blok half uit talud gelicht in rij	: 29, 36
Schade waargenomen in rij	: 38, 39
Schade foto's in rij	: 39
Drukverdeling figuur	: 7
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 39
Drukopnemers	: rij 35 (Opnemers 21-11)
	: rij 41 (Opnemers 22-12)
	: rij 47 (Opnemers 23-13)

Gedurende de gehele beschouwde periode bevindt zich een maximum in de verschildruk in rij 53, dat vrijwel even groot is als het eigen gewicht. De waterstand is hier min of meer constant. Schade is hier niet opgetreden.

Van $t = 0$ tot $t = 0,32$ is er nog vrijwel geen golf te zien op de foto's.

Hierna is de teen van een aankomende golf te zien en op $t = 0,44$ kan worden waargenomen dat er een blok uit de bekleding begint te draaien. Op $t = 0,40$ is de verschildruk in rij 35 even groot als het eigen gewicht en is er even sprake van een instabiele situatie. Dit maximum treedt op vlak voor de aankomende golf en het is aannemelijk te veronderstellen dat mechanisme c hier werkzaam is.

Op $t = 0,48$ is dit maximum niet meer waarneembaar. De laatste twee foto's tonen het blok dat gedeeltelijk uit zijn plaat is getild. Dit is in rij 39 waar volgens de waarnemingen schade is opgetreden gedurende deze fotoserie.

Samenvattend is er dus sprake van een constante piek in de verschildruk t.p.v. rij 53, ter grootte van ongeveer het eigen gewicht van de bekleding. Hier is echter geen schade opgetreden. Mechanisme c is verantwoordelijk voor een kortdurende instabiliteit in rij 35; ook hier trad geen schade op. Over het mechanisme achter de schade in rij 39 kan geen uitspraak worden gedaan.

Analyse proef P008

Constructietype	: 1
Taludhelling	: 1/3
Belasting	: onregelmatige golven; Egmond-spectrum
$\xi_{0,i}$: 2,73
Brekertype	: surging
Blok half uit talud gelicht in rij:	27, 28, 31
Schade waargenomen in rij	: 29
Schade foto's in rij	: 29
Drukverdeling figuur	: 8
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 40
Drukopnemers	: rij 28 (opnemers 20-10)
	: rij 29 (opnemers 21-11)
	: rij 31 (opnemers 22-12)

De fotoserie begint met een naderende golf die op $t = 0,08$ zijn stabiliteit verliest. Op $t = 0$ is er een piek in de verschildruk in rij 33, net onder het eigen gewicht van de bekleding. Dit maximum bevindt zich vlak voor het naderende golf front en wordt waarschijnlijk veroorzaakt door mechanisme c. De verschildruk neemt even later af in rij 33 en er verschijnt een nieuw maximum in rij 31 dat op $t = 0,20$ het eigen gewicht evenaart. Mogelijk wordt in de

buurt van dit punt het eigen gewicht overschreden door de verschildruk. Nog steeds is hier sprake van mechanisme c. Vervolgens wordt het golffront flauwer.

Op $t = 0.28$ s vertoont de bovendruk een slingerend verloop t.g.v. luchtinsluiting en oscillaties van de surgende golf. Dit veroorzaakt een maximum in de verschildruk t.p.v. rij 29 ter grootte van het eigen gewicht van de bekleding. Waarschijnlijk is hier sprake van mechanisme g. Op dit moment is op de foto te zien dat enige blokken uit de bekleding worden gedraaid. Waarschijnlijk veroorzaakt een combinatie van mechanisme e en g deze beweging.

De verschildruk neemt hierna af en er ontstaat geen instabiele situatie meer. Op $t = 0.40$ en later is duidelijk te zien dat een groot aantal blokken worden opgelicht. Eén blok wordt volledig uit zijn plaats verwijderd, waarbij uiteraard mechanisme h een belangrijke rol speelt. Deze schade vindt plaats in rij 29.

Samenvattend wordt gesteld dat mechanisme c soms in combinatie met mechanisme g verantwoordelijk is voor het van hun plaats lichten (draaien) van de blokken. Schade trad op in rij 29, waarbij mechanisme h het blok van zijn plaats beweegt.

Analyse proef P009

Constructietype	: 1
Taludhelling	: 1/3
Belasting	: onregelmatige golven; Egmond-spectrum
$\xi_{o,i,p}$: 2,43
Brekertype	: plunging
Blok half uit talud gelicht in rij:	26, 27, 31
Schade waargenomen in rij	: 27, 31
Schade fotoserie	: 31
Drukverdeling figuur	: 9
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 41
Drukopnemers	: rij 29 (opnemers 11-21)
	: rij 31 (opnemers 12-22)
	: rij 33 (opnemers 13-23)

De fotoserie begint met het naderen van een golf. Het verschildrukverloop

langs het talud is vrij vlak en geeft ongeveer de opwaartse druk van de bekleding aan. Op $t = 0.08$ is er duidelijk sprake van een maximum in het verschildrukverloop in rij 33. Dit is vlak voor het aankomende en steiler wordende golffront en hier is sprake van mechanisme c. De verschildruk bereikt net niet de waarde van het eigen gewicht van de bekleding. Na iets af te nemen van $t = 0.12$ tot $t = 0.24$ wordt de verschildruk weer groter en doorsnijdt de eigen-gewichtlijn op $t = 0.32$ ter plaatse van rij 31, vlak voor het neerkomen van de brekende golf op $t = 0.36$. Dit moment kan worden afgeleid uit de piek in het verloop van de druk op de bekleding op $t = 0.36$ t.p.v. rij 29, welke in feite de registratie is van de impuls op de bekleding t.g.v. de neerkomende straal. Dit maximum in de bovendruk veroorzaakt de sterke afname van de verschildruk juist boven het reeds aanwezige maximum in rij 31. Kort na het neerkomen van de breker worden een aantal blokken uit de bekleding gedraaid wat enigszins kan worden gezien op de foto van $t = 0.44$ s en veel duidelijker op latere tijdstippen. Dit is in rij 31 en correspondeert dus met de plaats van de maximale verschildruk t.g.v. mechanisme c.

De maximale verschildruk in rij 31 kan ook worden afgelezen in het druk- en waterstandsverloop rondom het schadetijstip (figuur 41). Drukopnemers 22 en 12 zijn geplaatst in rij 31. Op het moment van de maximale verschildruk op ongeveer $t = 77$ is een snelle oscillatie van de bovendruk waar te nemen die niet wordt gevolgd door de onderdruk. Deze snelle oscillatie kan worden veroorzaakt door luchtinsluiting in de plungende breker in welk geval dus ook mechanisme g zou meespelen in het optredende maximum van de verschildruk.

Als conclusie kan mechanisme c verantwoordelijk worden gesteld voor de in rij 31 opgetreden schade. Echter ook mechanisme g heeft een rol gespeeld in de grootte van de opgetreden verschildruk in rij 31.

Analyse Proef P017

Constructietype	: 1
Taludhelling	: 1/3
Belasting	: onregelmatige golven; Egmond-spectrum
$\xi_{0,i,p}$: 4,24
Brekertype	:
Blok half uit talud gelicht in rij:	27
Schade waargenomen in rij	: 32, 33, 34, 39, 40, 42, 44, 45

Schade foto's in rij	: 32
Drukverdeling figuur	: 10
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 49
Drukopnemers	: rij 35 (opnemers 21-11)
	: rij 41 (opnemers 22-12)
	: rij 47 (opnemers 23-13)

Van deze proef zijn helaas geen foto's beschikbaar. De drukverdelingen laten een min of meer constant maximum in de verschildruk zien in rij 53. Dit maximum is minstens gelijk en meestal iets groter dan het eigen gewicht van de bekleding hetgeen een situatie van voortdurende instabiliteit inhoudt.

Mogelijk is hier mechanisme b werkzaam zoals al eerder is waargenomen. De bovendruk in dit punt neemt in de beschouwde periode van 0.56 af met ongeveer 0.38 kN/m^2 hetgeen correspondeert met een waterstandsverlaging van bijna 4 cm. Toch is op deze plaats geen schade opgetreden.

Langs het overige gedeelte van het talud blijft de verschildruk ruim onder het eigen gewicht van de bekleding en de in rij 32 (in de beschouwde periode) opgetreden schade valt niet af te leiden uit de geregistreeerde verschildrukken. De drukverlopen rondom het schadetijdstip in de rijen 35, 41 en 47 tonen ook geen momenten van instabiliteit. Verder treedt gedurende de beschouwde 0,56 s een naar boven gerichte piek op in de verschildruk in rij 29, hetgeen dus een extra neerwaartse druk inhoudt. Het talud is hier echter 'droog' gedurende de beschouwde periode en uit de drukverdelingen boven en onder de bekleding kan worden afgeleid dat de betreffende piek in rij 29 resulteert uit een ongeveer contante waarde van de bovendruk ter grootte van ongeveer 0.3 kN/m^2 en een waarde van 0 van de onderdruk. Gezien de waarde van de omliggende punten in het droge talud zou er sprake van een onjuiste nulinstelling kunnen zijn.

Samenvattend is er sprake van een constante instabiele situatie in rij 53, waar echter geen schade optreedt. De schade in rij 32, die is waargenomen gedurende de fotoserie kan niet worden verklaard uit de drukverdelingen langs het talud. Uit de drukverlopen in de rijen 35, 41 en 47 blijkt dat ook hier geen instabiliteit is opgetreden in de periode van 15 s rond het schadetijdstip.

Analyse proef P019

Constructietype	: 1
Taludhelling	: 1/3
Belasting	: onregelmatige golven; Egmond-spectrum
$\xi_{o,i,p}$: 9,47
Brekertype	: Collapsing
Blok half uit talud gelicht in rij:	27, 36, 38, 39
Schade waargenomen in rij	: 26-44
Schade fotoserie in rij	: 26 (twijfel)
Drukverdeling figuur	: 11
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 43
Drukopnemers	: rij 35 (opnemers 11-21)
	: rij 41 (opnemers 12-22)
	: rij 47 (opnemers 13-23)

De eerste foto ($t = 0$) toont een vrijwel droog talud, aan de linkerzijde is de teen van de aankomende golf te zien. Het verschildrukverloop laat een maximum zien in rij 51 dat de waarde van het eigen gewicht van de bekleding net doorsnijdt. Dit maximum houdt hier stand gedurende de beschouwde 0,56 s. De bovendruk is op deze plaats ook vrijwel constant. Hoewel de periode van 0,56 s slechts een klein gedeelte van de periode is van de golven rondom het schadetijdstip welke ongeveer 2,5 à 3 s bedraagt, kan worden aangenomen dat de waargenomen constante bovendruk rondom rij 51 wijst op een knoop in een soort staande golf. Ook figuur 43 laat zien dat op enkele plaatsen in de registratie van 2 van de drie rijen (rij 41 en 47) de bovendruk en onderdruk (en dus ook de verschildruk) secondenlang constant zijn. Het constante maximum in de verschildruk, ter grootte van ongeveer het eigen gewicht van de bekleding, wordt veroorzaakt door een op dit punt enigszins geknikt verloop van de druk onder de bekleding. Ook hier zou het vertraagd volgen van de druk onder de bekleding, dus mechanisme b, weer een verklaring kunnen zijn. Opmerkelijk is dat ondanks de uitgebreide schade, zoals ook op de foto's te zien is, de verschildruk verder niet noemenswaardig groot wordt en, behalve in rij 51, royaal onder het eigen gewicht van de bekleding blijft. Het begin van schade kan worden waargenomen op $t = 0,12$ of $t = 0,16$, dus vlak onder de teen van de aankomende golf. Deze schade wordt, zoals gezegd, omvangrijk, en de draaiingsrichting van de opgetilde blokken wijst op mechanisme c. Mogelijk speelt de liftkracht ten gevolge van de hoge watersnelheden een belangrijke rol in de opgetreden schade.

Concluderend is het merkwaardig te noemen dat omvangrijke schade optreedt in de beschouwde periode van 0,56 s terwijl, behalve in een vast punt buiten de schadezone (rij 51), de verschildruk overal ruim onder het eigen gewicht van de bekleding blijft.

Analyse Proef P013

Constructietype	: 1
Taludhelling	: 1/3
Belasting	: onregelmatige golven; Jonswap-spectrum
$\xi_{o,i,p}$: 1.87
Brekertype	: plunging
Blok half uit talud gelicht in rij:	25, 26, 27
Schade waargenomen in rij	: 30, 31
Schade foto's in rij	: 31
Drukverdeling figuur	: 12
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 45
Drukopnemers	: rij 29 (opnemers 21-11)
	: rij 31 (opnemers 22-12)
	: rij 33 (opnemers 23-13)

Op ongeveer $t = 0,08$ begint de verschildruk toe te nemen in rij 29, vlak voor de aankomende golf. Dit wordt toegeschreven aan mechanisme c. Op $t = 0,24$ heeft de verschildruk het eigen gewicht van de bekleding bereikt en overschreden in de rijen 29, 30, 31 en 32 (denk aan interpolatie drukverdeling). Op dit moment bevindt zich de teen van de aankomende golf reeds op deze rijen. Even later is het maximum weer piekvormig (rij 31), neemt af in grootte en is bijna verdwenen op $t = 0,36$. Aan de drukpiek op de bekleding op $t = 0,40$ is te zien dat op dat moment de straal van de brekende golf het talud treft. Dit gaat gepaard met een minimum in de verschildruk. Schade is op de foto's niet of nauwelijks waarneembaar; mogelijk is te zien dat op $t = 0,48$, $0,52$ en $0,56$ enige blokken in rij 31 enigszins zijn gedraaid. Dit is dan veroorzaakt door de hierboven beschreven maxima t.g.v. mechanisme c.

Samenvattend is de waargenomen schade in rij 31 veroorzaakt door mechanisme c. Deze schade is op de foto's moeilijk waarneembaar.

Analyse proef P014

Constructietype	: 1
Taludhelling	: 1/3
Belasting	: onregelmatige golven; Jonswap-spectrum
$\xi_{0,i,p}$: 2,53
Brekertype	: plunging
Blok half uit talud gelicht in rij:	27
Schade waargenomen in rij	: 28, 29, 30, 31
Schade fotoserie in rij	: 31
Drukverdeling figuur	: 13
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 46
Drukopnemers	: rij 29 (opnemers 11-21)
	: rij 31 (opnemers 12-22)
	: rij 33 (opnemers 13-23)

De fotoserie begint met het naderen van een golf welke zijn stabiliteit begint te verliezen op $t = 0,16$, breekt en neerkomt op het talud op $t = 0,32$. Dit kan weer worden waargenomen aan de hand van het drukverloop op het talud dat een piek vertoont op $t = 0,32$. Op $t = 0,28$ is de verschildruk in de rijen 31, 30 en 29 sterk toegenomen en overschrijdt het eigen gewicht van de bekleding. Deze toename is een gevolg van sterke toename van de druk onder de bekleding (zie het verschil van deze druk in rij 31 en 29 tussen $t = 0,24$ en $t = 0,28$). Dit maximum in de verschildruk is een gevolg van het voorlopen van de druk onder de bekleding van de naderende brekende golf (mechanisme c). Op de foto is nog geen schade te constateren door het onduidelijke beeld. Op $t = 0,44$ is te zien dat een blok (dit is rij 31) enigszins is opgetild, hetgeen duidelijker zichtbaar is op de foto van $t = 0,56$. Op dit moment zijn, zoals de foto laat zien, 2 blokken in deze rij uit de bekleding gedraaid. Redelijkerwijs kan worden aangenomen dat het maximum in de verschildruk op $t = 0,28$ in de rijen 29 tot en met 31 aanleiding is geweest voor de geconstateerde schade. De impact op de bekleding ten gevolge van de neerkomende golf veroorzaakt op $t = 0,36$ een plotselinge teruggang in de verschildruk in rij 29 en 30, terwijl in rij 28 een kleine piek zichtbaar wordt die het eigen gewicht niet overschrijdt (mechanisme e). Op $t = 0,36$ is dit minimum en maximum in de verschildruk opgeschoven naar rij 28 en 27, terwijl zich in rij 29 een nieuw maximum ontwikkelt. Ook dit maximum wordt toegeschreven aan mechanisme e en, na de kortdurende impact op de bovenbekleding, f, het voorlopen van de druk

ten gevolge van de massa van de gebroken golf. De piek in de verschildruk in rij 29 bereikt op $t = 0,44$ zijn maximum, ongeveer gelijk aan het eigen gewicht van de bekleding. Daarna nemen de verschildrukken weer af. Het is illustratief de druk- en waterstandsverlopen te beschouwen rondom het schadetijdstip (zie figuur 46). Zoals uit de voorgaande beschrijving blijkt is er een dubbele piek waargenomen in rij 29. Dit is ongeveer 106,8 s in het drukverloop van rij 29 in figuur 46. Op ongeveer hetzelfde moment is er een enkele piek te zien in het drukverloop van rij 31, die, evenals de eerste van de twee in rij 29, het eigen gewicht overschrijdt. De registraties laten zien dat alle kritieke momenten vlak voor (enige honderdsten van seconden) of tijdens het breken optreden.

Concluderend wordt opgemerkt dat mechanisme c schade heeft veroorzaakt in rij 31, op het moment van breken. Mechanismen e en f veroorzaken het optreden van maxima in de verschildruk na de werking van mechanisme c. In tegenstelling tot het eerste maximum ten gevolge van mechanisme c, overschreden deze maxima het eigen gewicht niet.

Analyse proef P015

Constructietype	: 1
Taludhelling	: 1/3
Belasting	: onregelmatige golven; Jonswap-spectrum
$\xi_{0,i,p}$: 3,37
Brekertype	: plunging/surging
Blok half uit talud gelicht in rij:	27, 28, 29, 30
Schade waargenomen in rij	: 30, 31, 32, 35
Schade foto's in rij	: 31
Drukverdeling figuur	: 14
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 47
Drukopnemers	: rij 29 (opnemers 21-11)
	: rij 31 (opnemers 22-12)
	: rij 33 (opnemers 23-13)

De fotoserie begint met het naderen van een golf op een vrijwel droog talud. De verschildruk is overal kleiner dan het eigen gewicht van de bekleding. Op $t = 0,16$ bestaat er een instabiele situatie in rij 33, vlak voor de aankomende golf. Hier is sprake van mechanisme c. Op $t = 0,20$ en $t = 0,24$ bestaat er geen

maximum meer. Op $t = 0,28$ treedt er een piek op in de verschildruk, nu t.p.v. rij 31, die het eigen gewicht van de bekleding overschrijdt. Dit maximum treedt weer op vlak voor de aankomende golf en ook hier is mechanisme c werkzaam. Op dit moment treedt waarschijnlijk de schade op die in rij 31 is waargenomen tijdens de beschouwde periode van 0,56 s.

Op $t = 0,40$ is er weer een maximum in de verschildruk in rij 29, nu het eigen gewicht net niet overschrijdend. Dit maximum ligt niet meer vlak voor de aankomende golf en mechanisme c lijkt hier dan ook niet van toepassing te zijn. Mogelijk is hier mechanisme e werkzaam omdat vlak naast rij 29, namelijk in rij 28, een kleine piek optreedt in de bovendruk door het plungen/surgen van de golf. Op de foto bij $t = 0,48$ is de schade (rij 31) waarneembaar. Het uitdraaien van het blok geschiedt door mechanisme h.

Samenvattend is het mechanisme c dat schade heeft veroorzaakt in rij 31. Mechanisme h draait het blok omhoog uit de bekleding.

Analyse proef P016

Constructietype	: 1
Taludhelling	: 1/3
Belasting	: onregelmatige golven; Jonswap-spectrum
$\xi_{0,i,p}$: 4,74
Brekertype	: surging
Blok half uit talud gelicht in rij:	25, 31, 34
Schade waargenomen in rij	: 31 tot en met 41
Schade foto's in rij	: 31
Drukverdeling figuur	: 15
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 48
Drukopnemers	: rij 29 (opnemers 20-10)
	: rij 35 (opnemers 21-11)
	: rij 41 (opnemers 22-12)

De fotoserie begint met het naderen van een golf op een droog talud. Op $t = 0,12$ en verder is het surgen van de golf duidelijk te zien. De verschildrukverdelingen laten zien dat nergens in de beschouwde periode het eigen gewicht van de bekleding wordt bereikt. Wel is er een constante piek waarneembaar in rij 53, echter nog ruim onder het eigen gewicht. De waterstand is hier min of

meer constant gedurende de beschouwde periode en hier zou mechanisme b weer de oorzaak van het waargenomen maximum kunnen zijn.

De fotoserie toont duidelijk de uitgebreide schade die ontstaat tijdens deze proef. Het eerste draaien van een blok is waarneembaar op $t = 0,24$. Daarna neemt de schade toe en op $t = 0,52$ staat een van de blokken recht overeind op het talud.

Zoals gezegd wordt nergens het eigen gewicht van de bekleding overschreden door de verschilruk. Dit geldt ook voor de druk- en waterstandsverlopen in figuur 48; in de rijen 35 en 41 is de verschildruk tamelijk constant in de tijd en treden er geen korte pieken op die het eigen gewicht overschrijden. In rij 29 vertoont de verschildruk een min of meer periodiek verloop met zelfs negatieve waarden (boven nullijn). Hier wordt het eigen gewicht slechts eenmaal bereikt. Kortom de waargenomen schade kan niet worden verklaard uit de drukverdelingen langs het talud en de drukverlopen in de tijd op drie plaatsen van het talud. Verder is opmerkelijk dat ruim boven de waterspiegel (rij 17) de verschildruk een negatief maximum vertoont gedurende de gehele beschouwde periode. Dit lijkt onwaarschijnlijk en zou kunnen zijn veroorzaakt door fouten in de nulinstelling van betreffende waterspanningsmeters. Hetzelfde, zij het in mindere mate, wordt waargenomen in rij 29.

Samenvattend wordt gesteld dat de drukverdelingen langs het talud en de drukverlopen in de tijd op drie plaatsen langs het talud de aanzienlijke schade die is waargenomen niet verklaren.

Analyse proef P020

Constructietype	: 1
Taludhelling	: 1/3
Belasting	: onregelmatige golven; Jonswap-spectrum
$\xi_{0,i,p}$: 6,02
Brekertype	: plunging
Blok half uit talud gelicht in rij	: 47
Schade waargenomen in rij	: 39, 48
Schade fotoserie in rij	: 39
Drukverdeling figuur	: 16
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 49
Drukopnemers	: rij 35 (opnemers 11-21)

- : rij 41 (opnemers 12-22)
- : rij 47 (opnemers 13-23)

Bij de toegepaste ξ -waarde is er weer sprake van een staande golf effect waardoor de verschildruk over het talud een tamelijk constant beeld vertoont. In figuur 49 is te zien dat de boven- en onderdruk een parallel verloop hebben en dat er alleen bij grote versnellingen in deze verlopen pieken in de verschildruk optreden. Het staande golf effect is het duidelijkst te zien t.p.v. rij 46 dat een vrij constant verloop van boven- en onderdruk laat zien, kennelijk de plaats van een knoop.

De fotoserie begint met het naderen van de 'surgende' golf. Er is een maximum in de verschildruk aanwezig in rij 53, dat het eigen gewicht van de bekleding net overschrijdt. Dit maximum is plaatsvast (op $t = 0,56$ is het nog aanwezig) zoals al vaker is waargenomen bij golven met hogere ξ -waarden (ook hier is op deze plaats een knik in de verdeling van de druk onder het talud waar te nemen). Rij 53 ligt ca. 35 cm onder stilwaterniveau. Bij analyse van voorgaande proeven is verondersteld dat mechanisme b de oorzaak is van een dergelijk maximum.

Het minimum in de verschildruk in rij 29 (omhooggerichte piek nabij de waterlijn) wordt veroorzaakt door een hele kleine positieve waarde van de bovendruk en een hele kleine negatieve waarde van de druk onder de bekleding. Mogelijke nulinstellingsfouten van de betreffende opnemer zijn de oorzaak van deze piek die wat vreemd is omdat gedurende de eerst 0,48 s rij 28 droog was, het water op $t = 0,52$ rij 28 bereikt en vervolgens de piek verdwijnt.

Op $t = 0,24$ s is in rij 41 een derde maximum in de verschildruk ontstaan. Dit maximum, vlak voor de teen van de aankomende golf, is van zeer korte duur. Op $t = 0,40$ treedt weer een kortdurend maximum op, nu in rij 35, ook weer vlak voor de golf. Waarschijnlijk zijn deze maxima een gevolg van mechanisme c al wijst de korte duur van de maxima daar niet op. Mogelijk is het vrij flauwe verloop van de bovendruk ter plaatse van de teen van de aankomende golf de oorzaak van het niet echt doorzetten van mechanisme c. Op $t = 0,36$ is te zien dat een blok omhoog komt. In het resterende gedeelte van de fotoserie is te zien hoe de schade zich hier ontwikkelt. Dit is in rij 39, dus in de zone waar de kortdurende maxima ten gevolge van mechanisme c zijn gemeten.

Concluderend is het mechanisme c dat de schade in rij 39 heeft veroorzaakt.

Wederom is een vrij constant maximum in de verschildruk waargenomen in rij 53, dit is ongeveer ter plaatse van de knoop van de aankomende golf. Mechanisme b wordt aangemerkt als oorzaak van dit maximum. Ter plaatse van dit maximum is geen schade opgetreden.

Analyse proef P021

Constructietype	: 1
Taludhelling	: 1/3
Belasting	: onregelmatige golven; Jonswap-spectrum
$\xi_{o,i,p}$: 7,1
Brekertype	: collapsing
Blok half uit talud gelicht in rij:	38, 43, 44
Schade waargenomen in rij	: 37, 39, 40, 41, 44
Schade foto's in rij	: 40
Drukverdeling figuur	: 17
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 50
Drukopnemers	: rij 35 (opnemers 21-11)
	: rij 41 (opnemers 22-12)
	: rij 47 (opnemers 23-13)

De foto's tonen het vrijwel volledige schadeproces in rij 40. Het resultaat is dat een blok na volledig uit zijn plaats te zijn gelicht enigszins hoger op het talud terecht is gekomen. Op $t = 0,16$ is voor het eerst te zien dat dit blok uit zijn plaats is gedraaid. Op dit moment is de verschildruk t.p.v. rij 41 iets toegenomen en bereikt op $t = 0,20$ de waarde van het eigen gewicht van de blokken, waardoor er sprake is van instabiliteit. Dit maximum is van korte duur want op $t = 0,24$ is het weer verdwenen. Waarschijnlijk is het mechanisme geweest dat de schade in rij 40 heeft veroorzaakt. Na het waargenomen maximum treedt in de beschouwde periode niet weer een moment van instabiliteit op. In figuur 50 waar de druk- en waterstandsverlopen rond het schadetijdstip zijn weergegeven, is het korte maximum in rij 41 te zien (op ongeveer $t = 330$ s). In het verdere verloop (ca. 10 s na dit maximum) wordt het eigen gewicht van de bekleding niet meer bereikt. Nadat het blok enigszins uit de bekleding is gedrukt wordt het verder gedraaid en verplaatst door mechanisme h. Verder bevindt zich gedurende de gehele beschouwde periode van 0.56 s een maximum in de verschildruk ter plaatse van rij 53. Dit maximum is ongeveer even groot als het eigen gewicht en veroorzaakt een situatie van instabiliteit op deze plaats. Kennelijk is de diepte hier zodanig groot dat dit niet tot

schade heeft geleid. Opgemerkt zij dat de waterstand boven rij 53 ongeveer constant is geweest gedurende de beschouwde periode hetgeen het drukverloop in rij 47 (figuur 50) al enigszins aangeeft. Mechanisme b is waarschijnlijk de oorzaak van dit constante maximum zoals bij eerdere proefanalyses al is besproken.

Samengevat is er in de beschouwde periode van 0,56 s t.g.v. een kortdurende piek in de verschildruk t.p.v. rij 41 (gemeten) schade opgetreden in rij 40. Hierbij heeft waarschijnlijk mechanisme e het blok gedraaid en heeft mechanisme h het blok volledig verwijderd van zijn plaats in het talud. Gedurende de beschouwde periode is er een situatie van constante instabiliteit geweest t.p.v. rij 53. Hier is echter geen schade opgetreden.

Analyse proef P022

Constructietype	: 1
Taludhelling	: 1/3
Belasting	: onregelmatige golven; Jonswap-spectrum
$\xi_{0,i,p}$: 9,96
Brekertype	: surging
Blok half uit talud gelicht in rij:	-
Schade waargenomen in rij	: 38, 39, 41
Schade foto's in rij	: 39
Drukverdeling figuur	: 18
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 51
Drukopnemers	: rij 35 (opnemers 21-11)
	: rij 41 (opnemers 22-12)
	: rij 47 (opnemers 23-13)

De fotoserie begint met het naderen van een golf. Op het tijdstip van de laatste foto's is het breekproces van de golf nog in volle gang en er is geen schade waarneembaar ten gevolge van het opspattende water. Door de grote periode van de golf (piekperiode $T_p = 7,45$ s) wordt er slechts een klein gedeelte van het breken getoond. Ter plaatse van rij 53 bevindt zich weer een maximum in de verschildruk ter grootte van ongeveer het eigen gewicht van de bekleding. Zoals verwacht mag worden is dit maximum weer plaatsvast (gedurende de getoonde registratieduur) en ook bij deze proef treedt hier geen schade op. Mechanisme b is waarschijnlijk weer de oorzaak van dit maximum. Van $t = 0$ tot $t = 0,40$ is de waterstand boven rij 53 min of meer constant, daarna neemt deze

duidelijk of met ca. 15 mm in de figuur hetgeen correspondeert met ongeveer 5 cm in het model.

Gedurende de beschouwde periode blijft de verschildruk op de overige plaatsen langs het talud ruim onder het eigen gewicht van de bekleding met uitzondering van $t = 0.56$ waar de verschildruk in rij 41 even groot is als het eigen gewicht. In figuur 51 is te zien dat dit een eenmalig maximum is in het overigens vrij constante verloop in de tijd van de verschildruk in rij 41, welke ruim onder het eigen gewicht van de bekleding ligt. (Dat dit maximum hetzelfde is als het maximum op $t = 0,56$ van de fotoserie kan worden gecontroleerd aan de hand van het waterstandsverloop t.p.v. rij 41 gedurende de seconde, voorafgaande aan het waargenomen maximum. Uit zowel de drukverdelingsfiguren (figuur 18) als de druk- en waterstandsverloopfiguur (figuur 51) blijkt dat in deze seconde de waterstand met 7.5 à 8 cm daalt. Er mag dus worden aangenomen dat het dezelfde maxima betreft).

Kennelijk is dit eenmalige maximum in rij 41 in staat geweest schade te veroorzaken volgens de waarnemingen in rij 39. De korte duur van het maximum en de locatie ervan, nl. aan de voorzijde onder de surgende golf, wijzen op mechanisme e. Met zekerheid is dit echter niet vast te stellen.

Concluderend is hier weer sprake van een plaatsvast en constant maximum in de verschildruk ter plaatse van rij 53. Dit maximum is ongeveer even groot als het eigen gewicht van de bekleding. Verder treedt er een kortdurend maximum op t.p.v. rij 41, waardoor schade optreedt (volgens waarneming in rij 39).

Waarschijnlijk is hier sprake van mechanisme e.

Analyse proef P030

Constructietype	: 2
Taludhelling	: 1/3
Belasting	: regelmatig golven
$\xi_{0,i}$: 1,97
Brekertype	: surging
Blok half uit talud gelicht in rij:	-
Schade waargenomen in rij	: 30, 31
Schade fotoserie	: 31
Drukverdeling figuur	: 19
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 52

Drukopnemers : rij 29 (opnemers 14-5)
: rij 31 (opnemers 15-6)
: rij 33 (opnemers 16-7)

Op $t = 0$ is een blok reeds gedeeltelijk opgelicht, hetgeen duidelijk op de foto is te zien. De verschildruk geeft aan dat ter plaatse van rij 23 de situatie bijna kritiek is. (Dit correspondeert met de plaats van het opgetilde blok). Deze grote verschildruk wordt veroorzaakt door mechanisme b, het vertraagd reageren van de waterstand onder de bekleding op de relatief snel variërende golfbeweging op de bekleding. Het terugstromende water oefent druk uit op de zijkant van dit blok (mechanisme a). Op $t = 0,08$ is, zij het moeilijk, te zien dat wat verder achter in de rij van het uitgelichte blok twee andere blokken enigszins zijn omhooggekomen. In rij 33 is op $t = 0$ een lichte toename van de verschildruk waar te nemen ten gevolge van mechanisme c, het zich onder de taludbekleding voortplanten van de druk ten gevolge van de massa van de naderende golf.

Op $t = 0,24$ is het maximum van deze toename op rij 31 à 32 terwijl de grootte ervan toeneemt naarmate het moment van breken dichterbij komt. Op $t = 0,32$ is de verschildruk gelijk aan het gewicht van de bekleding die daarmee instabiel is geworden. De golf begint te breken op $t = 0,24$ en "plunget" op $t = 0,40$. Hier verloopt de druk op de bekleding het steilst, op latere tijdstippen wordt dit verloop weer flauwer. Vanaf de foto op $t = 0,20$ is duidelijk te zien dat in de rij van het eerst waargenomen uitgetilde blok (rij 31) een tweede blok wordt uitgelicht. Dit blok draait er linksom uit terwijl de rechterzijde van het eerstgenoemde blok ten gevolge van mechanisme a iets verder uit de bekleding ligt dan de linkerzijde. Op $t = 0,44$ en later is te zien dat de piek in de verschildruk naar rechts loopt, voor de golf uit. Het door mechanisme c eruit gedraaide blok draait wat verder door naar de schuine stand op $t = 0,56$. Hier speelt mechanisme h, de stuwdruk ten gevolge van het oplopende water. Tenslotte is op $t = 0,44 - 0,56$ te zien dat een derde blok enigszins uit de bekleding is omhooggekomen, op één blok afstand en in de rij van het uitgedraaide blok.

Samengevat is er sprake van schade aan de bekleding in één rij waarbij mechanisme c waarschijnlijk de hoofdrol heeft gespeeld. Daardoor werd het effectieve gewicht van de blokken min of meer nul. Of en hoe het blok uit de zetting komt hangt af van de mate waarin mechanisme a, h en b optreden.

Analyse proef P031

Constructietype	: 2
Taludhelling	: 1/3
Belasting	: regelmatige golven
$\xi_{0,i}$: 2,42
Brekertype	: plunging
Blok half uit talud gelicht in rij:	
Schade waargenomen in rij	: 29, 30, 31, 32
Schade fotoserie in rij	: 30
Drukverdeling figuur	: 20
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 53
Drukopnemers	: rij 29 (opnemers 14-5)
	: rij 31 (opnemers 15-6)
	: rij 33 (opnemers 16-7)

De verschildruk op $t = 0$ verloopt tamelijk geleidelijk met een maximum in rij 32 en 33 vlak voor de aankomende golf (mechanisme c). Op dit tijdstip is op de foto te zien dat één blok (rij 30) enigszins uit de bekleding steekt. Het maximum in het verschildrukverloop wordt groter en op $t = 0,20$ mag worden aangenomen dat dit minimaal even groot is geworden als het gewicht van de bekleding. Zoals bij de voorgaande proeven neemt het drukverschil toe wat verder van de aankomende golf af, (in opwaartse richting) hetgeen wordt veroorzaakt door het vertraagd uittredende water onder de bekleding (mechanisme b). Hier is een maximum te zien in rij 27 terwijl aan het rechter uiteinde van de registratie (rij 23) de verschildruk weer toeneemt. Het begin van breken ligt ongeveer op $t = 0,08$ en de golf "plungt" op $t = 0,28$. Het concave verloop van de druk op de bekleding gaat hier over in een meer convex verloop. Het maximum in het verloop van de verschildruk vlak voor de golf schuift met de golf mee naar rechts (rij 31 op $t = 0,24$, $t = 0,28$) en heeft het eigen gewicht niet overschreden op $t = 0,32$. Mechanisme e of f draagt bij aan het maximum op dit tijdstip. De afzonderlijke invloed van deze mechanismen kan niet worden onderscheiden aan de hand van de beschikbare registraties omdat deze min of meer gelijktijdig optraden. Op $t = 0,36$ is de verschildruk hier wat afgenomen waarna op $t = 0,40$ het eigen gewicht weer wordt overschreden (de grafiek toont het lineair geïnterpoleerde verloop over rij 30 en 31, in werkelijkheid is de verschildruk waarschijnlijk groter dan het eigen gewicht). Na deze piek laat de rest van de tijdsregistratie zien dat het eigen gewicht van de bekleding niet weer wordt overschreden. Het kortdurende overschrijden van het eigen

gewicht op $t = 0,32$ wordt mogelijkerwijs veroorzaakt door mechanisme e, een kortdurende liftkracht ten gevolge van het neerkomen van de brekende golf en het hiermee gepaard gaande voortplanten van de impuls onder de bekleding. Qua schade is er niets te zien op en kort na dit tijdstip. Op de laatste 2 à 3 foto's blijkt dat er behalve de reeds op $t = 0$ gesignaleerde beweging van een blok nog een blok enigszins is opgetild.

Samenvattend zijn er pieken in het verloop van het drukverschil waargenomen ten gevolge van mechanismen c, b en e. Afgezien van een paar enigszins opgelichte blokken is er op de foto's geen schade waarneembaar.

Analyse proef P032

Constructietype	: 2
Taludhelling	: $1/3$
Belasting	: regelmatige golven
$\xi_{0,i}$: 3,36
Brekertype	: collapsing/surgings
Blok hlaaf uit talud gelicht in rij:	-
Schade waargenomen in rij	: 32, 33, 34
Schade fotoserie in rij	: 33
Drukverdeling figuur	: 21
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 54
Drukopnemers	: rij 31 (opnemers 15-6)
	: rij 33 (opnemers 16-7)
	: rij 35 (opnemers 17-8)

Op $t = 0$ is er reeds een blok voor een groot gedeelte uit de bekleding gelicht. Op dit en de volgende tijdstippen tot $t = 0,24$ bereikt de verschil-druk nog niet de waarde van het eigen gewicht van de bekleding. Er is weer sprake van een flauw maximum in de verschil-druk, vlak voor de aankomende golf en een wat scherpere piek hoger op de helling, ter plaatse van de teen van het oplooptgedeelte van de golf. Het eerstgenoemde flauwe maximum wordt weer veroorzaakt door mechanisme c, terwijl de scherpere piek en het iets toegenomen drukverschil "landwaarts" daarvan wordt toegeschreven aan mechanisme b.

Op $t = 0,24$ bereikt de verschil-druk het gewicht van de bekleding en overschrijdt dit op $t = 0,28$. Dit is allemaal nog vlak voor de aankomende golf

(mechanisme c). Daarna neemt het maximum weer af totdat een vrij constante verschildruk is bereikt, behoudens het piekje in rij 27. Boven dit piekje neemt de verschildruk af tot een kleine waarde, welke ongeveer overeenkomt met het ondergedompelde gewicht van de bekleding.

Op $t = 0,56$ is te zien dat het blok dat op $t = 0$ reeds enigszins omhoog was gekomen, volledig uit zijn plaats is getild en vlak hierboven overeind staat.

Mechanisme h, de kracht ten gevolge van het langs het talud omhoogstromende water, is hier verantwoordelijk voor geweest.

Verder is te zien dat naast het overeind staande blok een ander blok gedeeltelijk uit de bekleding is gelicht. De foto's geven geen duidelijkheid omtrent het tijdstip dat dit blok omhoog werd gedrukt. Verondersteld zou kunnen worden dat dit, voor een gedeelte althans, plaatsvond ten gevolge van mechanisme c op $t = 0,28$. Mechanismen e en f spelen hierbij minder een rol vanwege het "collapsing/surging" karakter van de brekende golf.

Samenvattend kan worden gesteld dat mechanismen c en h de hoofdrol hebben gespeeld in het ontstaan van de schade zoals die wordt waargenomen op de foto van $t = 0,56$.

Analyse proef P033

Constructieproef	: 2
Taludhelling	: $1/3$
Belasting	: regelmatige golven
$\xi_{0,i}$: 3,55
Brekertype	: collapsing
Blok half uit talud gelicht in rij:	-
Schade waargenomen in rij	: 39, 40, 41
Schade fotoserie in rij	: 41
Drukverdeling figuur	: 22
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 55
Drukopnemers	: rij 35 (opnemers 14-5)
	: rij 41 (opnemers 15-6)
	: rij 47 (opnemers 16-7)

Globaal gezien vertoont het verloop van de verschildruk hetzelfde beeld als bij de voorgaande proeven: een flauw verlopend maximum en wat hoger op het talud een scherpere piek, weer toegeschreven aan respectievelijk mechanisme c

en b. Het flauwere maximum bereikt na een wat slingerend verloop het gewicht van de bekleding en overschrijdt dit enigszins op $t = 0,20$, in rij 41. Op de foto's is te zien dat op $t = 0,23$ een blok enigszins is opgetild. De geconstateerde situatie van instabiliteit trad op op $t = 0,20$ en aangenomen mag worden dat deze situatie verantwoordelijk is voor het opgetild worden van dit blok (mechanisme c). Er is geen sprake van een duidelijk breken van de golf, het beeld is als dat van een staande golf. De kracht ten gevolge van het langs het talud omhoogstromende water draait het blok verder uit de zetting (mechanisme h) en drukt het blok over een afstand van ca. 1 bloklengthe omhoog. Op de foto op $t = 0,56$ bevindt dit blok zich in zwevende positie.

Concluderend is hier weer sprake van een combinatie van bezwijkmechanismen. Eerst wordt een blok omhooggelicht ten gevolge van mechanisme c waarna mechanisme h het blok in z'n geheel uit de bekleding tilt en transporteert.

Analyse proef P034

Constructietype	: 2
Taludhelling	: $1/3$
Belasting	: regelmatige golven
$\xi_{0,i}$: 4,69
Brekertype	: surging
Blok half uit talud gelicht in rij:	-
Schade waargenomen in rij	: 44
Schade fotoserie in rij	: 44
Drukverdeling figuur	: 23
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 56
Drukopnemers	: rij 35 (opnemers 14-5)
	: rij 41 (opnemers 15-6)
	: rij 47 (opnemers 16-7)

Op $t = 0$ heeft de verschildruk een duidelijk maximum in rij 52. Op de foto is te zien dat vlak voor de golf 2 blokken gedeeltelijk uit het talud zijn gelicht. Het is op grond van de foto's en drukverlopen niet vast te stellen welke mechanisme hier verantwoordelijk voor is geweest. De draaiingsrichting van de blokken wijst op mechanisme c. Gedurende de gehele registratie van 0,56 s blijft het maximum in de verschildruk min of meer gefixeerd op dezelfde positie, dit is ter plaatse van rij 52. Als de "surging" golf wordt opgevat

als een staande golf, kan worden vastgesteld dat dit maximum zich onder de knoop bevindt: de druk aan de bovenzijde van de bekleding en dus de waterstand is hier ongeveer constant. Het lijkt dus waarschijnlijk dat mechanisme b hier weer van toepassing is. Het maximum in rij 52 benadert vrij dicht het eigen gewicht van de bekleding en veroorzaakt een constante situatie van potentiële instabiliteit.

Afgezien van enkele snelle fluctuaties is de verschildruk in rij 47, welke het dichtst bij het waargenomen maximum ligt, tamelijk constant (zie figuur 56). Overigens verlopen de drukken zoals bij alle tot nu toe besproken proeven onder en boven de bekleding vrijwel parallel hetgeen wijst op een relatief open bekleding. Verder zijn de verschildrukken tamelijk constant in de genoemde rijen (35, 41 en 47).

Op $t = 0,12$ treedt momentaan een tweede (kleinere) piek op in rij 41, echter het eigen gewicht van de bekleding wordt niet bereikt. Luchtinsluiting zou hier de oorzaak van kunnen zijn (mechanisme g). Aan de bellenbanen ten gevolge van de stroom over en langs de uitstekende blokken is de werking van mechanisme h duidelijk te zien ($t = 0,20 - 0,36$) maar de liftkrachten leiden in dit geval niet tot geheel wegdrukken van de blokken uit de bekleding. Het resultaat lijkt te zijn dat het achterste blok uiteindelijk ($t = 0,56$) wat verder uit de bekleding is gedraaid dan op $t = 0$.

Samenvattend wordt het volgende opgemerkt. De verschildrukverlopen rondom het schadetijdstip zijn tamelijk constant, snelle drukfluctuaties treden op op momenten van minimale waterstand. Deze fluctuaties bereiken soms het eigen gewicht van de steen (figuur 56). In de periode van 0,56 s waarvoor de foto's en drukverdelingen over het talud worden getoond wordt het eigen gewicht van de steen niet bereikt. In rij 52 trad een constant maximum op in de verschildruk t.g.v. mechanisme b.

Analyse proef P040

Constructietype	: 3
Taludhelling	: $1/3$
Belasting	: regelmatige golven
$\xi_{0,i}$: 2,52
Brekertype	: plunging
Blok half uit talud gelicht in rij:	-

Schade waargenomen in rij	: 33, 39, 40
Schade fotoserie	: 33
Drukverdeling figuur	: 24
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 68
Drukopnemers	: rij 29 (opnemers 13-4)
	: rij 35 (opnemers 14-5)
	: rij 41 (opnemers 15-6)

De fotoserie toont de periode van 0,56 s vlak voor "plungen". De verschildruk vertoont een maximum ter plaatse van rij 49 à 50. Door interpolatie tussen de opnemers in rij 47 en 53 verloopt de verschildruk vrij vlak in de figuur, in werkelijkheid kan het eigen gewicht worden overschreden ter plaatse van bovengenoemd maximum. In figuur 68 kan worden gezien dat piekvormige oscillaties in de verschildruk optreden op het moment dat drukafname omkeert in druktoename. Dus ondanks de vrij open bekleding veroorzaken de snelle toenames in de bovendruk toch pieken in het verschildrukverloop. Deze pieken duren enige tienden van seconden en worden groter in benedenwaartse richting. Deze oscillaties worden waarschijnlijk veroorzaakt door het breken van de golf (mechanismen e, f en g). Het bij het begin van de fotoserie aanwezige maximum is reeds na 0,2 s afgenomen tot een veel minder geprononceerd maximum. Echter aan de foto's is te zien dat hier (bijv. rij 49 à 50) geen schade is opgetreden.

Vanaf rij 17 in opwaartse richting neemt de verschildruk plotseling sterk toe. De discontinuïteit in het bovendrukverloop is hier debet aan. De knik in het bovendrukverloop bevindt zich in rij 17 waar de tweede drukopnemer was geplaatst. Een onjuiste nulinstelling van de opnemer in rij 11, welke negatieve drukken zou hebben gemeten, is waarschijnlijk de oorzaak van het geknikte verloop.

In het begin van de fotoserie is te zien dat er een blok enigszins uit de bekleding steekt. Aan het einde van de fotoserie is dit blok ten gevolge van liftkrachten en stroomdrukkrachten gedurende de terugloop (mecahnisme a) geheel uit de bekleding getild. Dit is waarschijnlijk de geregistreerde schade in rij 33.

Concluderend wordt gesteld dat de waargenomen schade hoger langs het talud is opgetreden dan het gemeten maximum in de verschildruk. Dit maximum heeft het eigen gewicht overschreden en wordt toegeschreven aan mechanismen e en f.

Mechanisme g is waarneembaar in drukoscillaties rond het tijdstip van breken. Ook bij deze drukoscillaties op verschillende hoger gelegen plaatsen (rij 29, 35 en 41) wordt het eigen gewicht regelmatig overschreden door de opwaartse druk.

Analyse proef P041

Constructietype	: 3
Taludhelling	: 1/3
Belasting	: regelmatige golven
$\xi_{0,1}$: 2,33
Brekertype	: plunging
Blok half uit talud gelicht in rij:	-
Schade waargenomen in rij	: 33, 34
Schade fotoserie in rij	: 34
Drukverdeling figuur	: 25
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 69
Drukopnemers	: rij 33 (opnemers 16-7)
	: rij 35 (opnemers 17-8)
	: rij 37 (opnemers 18-9)

De verdeling van de bovendruk laat gedurende de eerste 0,4 s een negatieve waarde zien in rij 23 hetgeen tot een voortdurende instabiele situatie leidt in dit punt. Er is hier echter geen schade opgetreden en het lijkt waarschijnlijk dat hier sprake is van een foutieve nulpuntsinstelling van de betreffende drukopnemer. De verdeling van de bovendruk is overigens onregelmatig gedurende de eerste opnames waar er sprake is van golfterugloop voor de naderende golf. Opgemerkt zij dat de vertikale schaal van de drukken boven en onder het talud ongeveer 3 x groter is dan bij de vorige proef, zodat knikken in de drukverdelingen veel geprononceerder worden weergegeven.

De naderende golf is waarneembaar in de drukverdelingen op $t = 0,16$. Daarvoor is de verschildruk reeds vrij hoog in de rijen 33 en daaronder. Waarschijnlijk (interpolatie) is er op $t = 0,12$ een instabiele situatie in rij 34. Op $t = 0,20$ is er een piek in de verschildruk in rij 33 die het eigen gewicht iets overschrijdt. Dit is nog steeds vlak voor de aankomende golf en bovengenoemde maxima worden dan ook toegeschreven aan mechanisme c. Na dit tijdstip blijft er een maximum in rij 33 bestaan, ongeveer ter grootte van het eigen gewicht. Dit maximum is niet constant qua grootte maar varieëert enigszins en het is

mogelijk dat luchtinsluiting in de gebroken golf die gedurende deze fase passeert een rol speelt (mechanisme g). Hoewel schade op de foto's niet duidelijk waarneembaar is kan worden verondersteld dat gedurende het maximum in rij 34 op $t = 0,12$ s hier de schade is opgetreden.

Samenvattend kan dan ook worden gesteld dat gedurende de fotoserie mechanisme c de schade in rij 34 heeft veroorzaakt.

Analyse proef P042

Constructietype	: 3
Taludhelling	: $1/3$
Belasting	: regelmatige golven
$\xi_{0,i}$: 1,72
Brekertype	: plunging
Blok half uit talud gelicht in rij:	-
Schade waargenomen in rij	: 33
Schade fotoserie in rij	: 33
Drukverdeling figuur	: 26
Druk- en waterstrandsverlopen	: 70
Drukopnemers	: rij 31 (opnemers 15-6)
	: rij 33 (opnemers 16-7)
	: rij 35 (opnemers 17-8)

De fotoserie toont het "plungen" van de golf. Gedurende ongeveer de eerste 0,36 s is er een vrij grote piek in de verschildruk ter plaatse van rij 29. Deze piek was al aanwezig bij het begin van de registratie. Verder tonen de eerst vijf registraties, dat is van $t = 0$ tot $t = 0,2$, een bovendruk 0 in rij 33. Dit wordt bevestigd door het bovendrukverloop in de tijd op deze plaats (figuur 70; drukopnemer 16 in rij 33). Vlak voor de vrijwel momentane toename van de bovendruk naar de piekwaarden, dus vlak voor het aankomende golf front, is de bovendruk gedurende enige tienden van seconden gelijk aan nul. Iets hoger langs het talud (rij 29) heeft de druk onder het talud een scherpe piek die het bovengenoemde maximum in de verschildruk veroorzaakt. Deze piek blijft bestaan totdat de golf "plungt" waarna er drukopbouw plaatsvindt boven en onder de bekleding ten gevolge van het aangevoerde water (vanaf $t = 0,20$). Het maximum in de verschildruk wordt veroorzaakt door mechanisme c, het voorlopen van de druk onder de bekleding vlak voor de aankomende golf. Op $t =$

0,44 is de verschildruk weer gelijk geworden aan het gewicht van de bekleding. Op het moment dat de brekende golf op het talud belandt neemt de bovendruk lokaal sterk toe ten gevolge van de impuls op de bekleding. Dit is gemeten in rij 31. Dit veroorzaakt een piekwaarde (omhooggericht op de tekening, in werkelijkheid naar beneden gericht) in de verschildruk, vlak onder het reeds bestaande maximum in rij 29. Het is uit de figuren niet af te leiden in hoeverre deze impulskracht op de bekleding zich naar beneden voortplant en bijdraagt aan dit bestaande maximum van de druk onder de bekleding.

Schade is opgetreden in rij 33. Op deze plaats bestond er bij het begin van de beschouwde periode ($t = 0$) een toestand van potentiële instabiliteit, veroorzaakt door een bovendruk van 0, zoals reeds opgemerkt, en een aanwezige druk onder de bekleding. Hier is dus in feite mechanisme b werkzaam. De verschildruk in rij 33 neemt af om op $t = 0,28$ weer toe te nemen, op het moment van plungen. Voortplanting van de druk ten gevolge van de neerkomende straal in opwaartse richting onder de bekleding kon niet worden vastgesteld ten gevolge van het reeds aanwezige maximum in rij 29. Echter de momentane piek in de verschildruk van $t = 0,28$ tot $t = 0,44$ met een maximum op $t = 0,32$ ter plaatse van rij 33 wijst erop dat dit mechanisme (e en f) wel degelijk aanwezig is en in dit geval naar beneden toe werkt vanwege de aanwezige hoge druk in rij 29. Op $t = 0,32$ is er op de foto's voor het eerst te constateren dat er een blok beweegt en op $t = 0,40$ is er duidelijk sprake van schade. Volgens de proefwaarnemingen is dit in rij 33, dus kennelijk veroorzaakt door mechanismen e en f.

Geconcludeerd wordt dat ondanks de "langdurige" en grote opwaartse druk in rij 29 hier geen schade is opgetreden. Dit maximum in de verschildruk is veroorzaakt door mechanisme c. Mechanisme b zorgde voor potentiële instabiliteit in rij 33. Daarna veroorzaakten mechanismen e en f een kortdurende piek in het verschildrukverloop in deze rij waardoor er schade optrad.

Analyse proef P043

Constructietype	: 3
Taludhelling	: 1/3
Belasting	: regelmatige golven
$\xi_{0,i}$: 1,31
Brekertype	: plunging
Blok half uit talud gelicht in rij:	-

Schade waargenomen in rij	: 32
Schade fotoserie in rij	: 32
Drukverdeling figuur	: 27
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 71
Drukopnemers	: rij 31 (opnemers 15-6)
	: rij 33 (opnemers 16-7)
	: rij 35 (opnemers 17-8)

De eerste figuren van de verdeling van de verschildruk laten een maximum zien in rij 33. Dit is vlak voor de aankomende golf, terwijl nog een tamelijk dikke waterlaag langs het talud naar beneden stroomt. Het maximum bereikt het eigen gewicht van de bekleding op $t = 0,04$ en neemt weer wat af op de tijdstippen daarna. Op $t = 0,24$ is dit maximum weer toegenomen en overschrijdt op $t = 0,40$ in ruime mate het eigen gewicht van de bekleding. Het maximum ligt vlak voor de aankomende golf en waarschijnlijk is mechanisme c de oorzaak ervan. De in rij 32 waargenomen schade is voor het eerst te zien op de foto van $t = 0,44$ en wat duidelijker, op $t = 0,48$. De impact van de brekende golf op het talud is te zien aan de grote piek in de bovendruk op $t = 0,44$ en verder.

Dientengevolge vertoont de verschildruk hier ook een scherpe piek (opwaarts getekend, dus neerwaarts gericht). Waarschijnlijk zijn hier de mechanismen e (in eerste instantie) en f werkzaam, hetgeen te zien is aan de kleine verhoging in de verschildruk vlak boven de scherpe piek. Latere pieken ($t = 0,52$ en $t = 0,56$) in de verschildruk worden waarschijnlijk veroorzaakt door luchtinsluiting in de gebroken golf (mechanisme g). Concluderend is er dus in rij 32 schade opgetreden t.g.v. mechanisme c. Bij pieken in de verdelingen van de verschildruk hebben de mechanismen e, f en g een rol gespeeld (rij 27, 28, 29).

Analyse proef P056

Constructietype	: 2
Taludhelling	: 1/6
Belasting	: regelmatige golven
$\xi_{0,1}$: 1,02
Brekertype	: plunging
Blok half uit talud gelicht in rij	: 10
Schade waargenomen in rij	: 10
Schade fotoserie in rij	: 10

Drukverdeling figuur	: 28
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 84
Drukopnemers	: rij 9 (opnemers 14-4)
	: rij 11 (opnemers 15-5)
	: rij 13 (opnemers 16-6)

De fotoserie begint met het naderen van de golf terwijl er zich een maximum in de verschildruk heeft opgebouwd ter plaatse van rij 9. Dit is vrij ver (orde 10 cm) voor de naderende golf en het wordt niet waarschijnlijk geacht dat mechanisme c verantwoordelijk is voor dit maximum, ook al omdat de aankomende golf op $t = 0$ qua helling nog vrij flauw is. De golf wordt steiler op de volgende momenten waarbij het maximum van de verschildruk groter wordt en zich wat verplaatst in de richting van de aankomende golf. Vlak voor plungen, op $t = 0,24$, heeft ook de verschildruk in rij 11, en dit is vlak voor het aankomende golffront, de waarde van het maximum in rij 9 aangenomen. Mogelijk werd het maximum in rij 9 dat al ruim voor de aankomst van de golf aanwezig was, veroorzaakt door mechanisme b. Het verbreden van dit maximum in de richting van de aankomende golf wordt waarschijnlijk veroorzaakt door mechanisme c. Het plungen treedt op op $t = 0,28$, hetgeen wordt geconstateerd aan de piek in het verloop van de druk op de bekleding. Door deze piek verdwijnt het oorspronkelijke maximum van de verschildruk in rij 9. Even later is ook het maximum in rij 11 verdwenen en op de tijdstippen $t = 0,32$ en $t = 0,36$ is de verschildruk overal kleiner dan het eigen gewicht van de bekleding. Op de foto van $t = 0,36$ kan worden waargenomen dat er een blok uit de bekleding is gedraaid. Dit is in rij 10 en kennelijk veroorzaakt door de instabiele situatie in de rijen 9, 10 en 11 op enkele van de voorgaande tijdstippen. Op $t = 0,40$ is er weer een duidelijk maximum in de verschildruk, nu achter de tong van de brekende golf, in rij 9. Dit maximum houdt bijna 0,1 s aan. Uit beschouwing van de bovendruk blijkt dat dit maximum wordt veroorzaakt door omkeren van het 'overblijfsel' van het maximum ten gevolge van de impuls van de brekende golf in een minimum dat over enige plotjes (bijna 0,1 s) doorzet. Luchtinsluiting is hier de oorzaak van en het maximum in de verschildruk wordt toegeschreven aan mechanisme g. Na $t = 0,48$ verdwijnt dit maximum weer. Op dit tijdstip is de uitloper van de brekende golf ook de rij waarin schade is opgetreden, gepasseerd (rij 10) en op $t = 0,56$ kan duidelijk het opgetilde blok worden waargenomen.

Concluderend zijn er een aantal bezwijkmechanismen werkzaam geweest.

Mechanisme c, waarschijnlijk door mechanisme b, is de oorzaak van de schade in rij 10.

Analyse proef P057

Constructietype	: 2
Taludbekleding	: 1/6
Belasting	: regelmatige golven
$\xi_{0,i}$: 1,27
Brekertype	: plunging
Blok half uit talud gelicht in rij:	-
Schade waargenomen in rij	: 11
Schade fotoserie in rij 11	: 11
Drukverdeling figuur	: 29
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 84
Drukopnemers	: rij 9 (opnemers 14-4)
	: rij 11 (opnemers 15-5)
	: rij 13 (opnemers 16-6)

De verschildruk blijft gedurende het eerste gedeelte van de registratie onder het eigen gewicht van de bekleding. Van $t = 0$ tot $t = 0,20$ heeft de verschildruk een redelijk constante waarde in de rijen 8 tot en met 14. De resulterende neerwaartse druk is iets kleiner dan het eigen gewicht onder water ($= 0,23 \text{ kN/m}^2$) hetgeen wordt veroorzaakt door mechanisme b. De fotoserie begint met een aankomende golf die breekt vanaf $t = 0,16$. De straal treft het talud op ongeveer $t = 0,21$ à $t = 0,28$ zonder echt een duidelijk maximum in de bovendruk te veroorzaken. Op $t = 0,28$ is er sprake van een duidelijk maximum in de verschildruk in rij 11, zij het nog niet groter dan het eigen gewicht. Op $t = 0,32$ is dit maximum opgeschoven naar rij 9. Dit maximum wordt waarschijnlijk veroorzaakt door mechanisme c. De indruk bestaat dat op dit tijdstip een blok uit de bekleding is gedraaid. Op $t = 0,36$ wordt een sterke piek in de verschildruk geregistreerd welke het eigen gewicht van de bekleding in ruime mate overschrijdt. Dit vindt plaats in rij 11, waar ook de schade is opgetreden. Het maximum wordt veroorzaakt door een plotseling minimum in de bovendruk, een gevolg van luchtinsluiting (mechanisme g). Dit mechanisme draagt dus duidelijk bij aan de schade in rij 11, die waarschijnlijk t.g.v. mechanisme c ontstond.

Samenvattend is de schade in rij 11 in eerste instantie ontstaan door mechanisme c. Mechanisme g heeft duidelijk bijgedragen tot de schade op deze plaats.

Analyse Proef P058

Constructietype	: 2
Taludhelling	: 1/6
Belasting	: regelmatige golven
$\xi_{o,i}$: 1,8
Brekertype	: plunging
Blok half uit talud gelicht in rij:	-
Schade waargenomen in rij	: 12, 13
Schade foto's in rij	: 13
Drukverdeling figuur	: 30
Druk- en waterstandsverlopen	: 86
Drukopnemers	: rij 11 (opnemers 15-5)
	: rij 13 (opnemers 16-6)
	: rij 15 (opnemers 17-7)

Op $t = 0,40$ overschrijdt de verschildruk het eigen gewicht in de rijen 9-13. Op $t = 0,20$ is het eigen gewicht reeds bereikt in rij 9, ruim voor de aankomende golf. Op $t = 0,04$ s was reeds een maximum in de verschildruk aanwezig. Mechanisme b is waarschijnlijk de oorzaak van deze drukopbouw. Ook vlak voor de golf vindt drukopbouw plaats ten gevolge van mechanisme c, resulterend in een met mechanisme b gecombineerd maximum in de rijen 9-13 op $t = 0,40$. Schade treedt op in rij 13, duidelijk te zien op de foto's vanaf $t = 0,48$. Mechanisme c is gezien deze plaats verantwoordelijk voor de schade. De draaiingsrichting van de opgetilde blokken versterkt deze indruk.

De verdeling van de verschildruk op $t = 0$ is vrij constant in de zone tussen rij 17 en rij 9 met een licht maximum in rij 9. De teen van de aankomende golf bevindt zich aan het begin van deze zone. De verhoogde verschildruk in het genoemde gebied wordt waarschijnlijk veroorzaakt door mechanisme b. Op $t = 0,20$ heeft het maximum het eigen gewicht van de bekleding bereikt en is de situatie in rij 9 instabiel. Hier zou nog steeds sprake moeten zijn van mechanisme b; het golffront dat duidelijk steiler aan het worden is, is nog tamelijk ver verwijderd van deze plaats. Op $t = 0,36$ is er een instabiele situatie in de rijen 11, 10 en 9, nu vlak voor de aankomende golf. Mechanisme

c draagt hierbij tot de vorming van deze maxima en waarschijnlijk (interpolatie) is op dit moment in rij 10 het eigen gewicht al overschreden. Op $t = 0,32$ s is te zien dat twee blokken uit de bekleding zijn gedraaid in rij 13. De draaiingsrichting duidt op mechanisme c. Op $t = 0,40$ wordt het eigen gewicht over een groot gebied overschreden (rij 13-9). Het voortplanten van de druk ten gevolge van de neerkomende golfstraal onder de bekleding (mechanisme e en f) draagt mogelijk bij tot dit uitgebreide maximum in de verschildruk. Op $t = 0,48$ s is te zien dat een blok in rij 13 van zijn plaats is gedraaid in een richting die tegengesteld is aan de draaiingsrichting van de blokken die op $t = 0,32$ waren gedraaid in rij 13. Dit wijst ook op het optreden van mechanisme e en f. Op $t = 0,44$ is het maximum weer wat afgenomen (zeker mechanisme e is altijd van zeer korte duur), de toestand in rij 9 en 10 is echter nog instabiel. Op de latere tijdstippen neemt de verschildruk nog verder af tot ruim onder het eigen gewicht van de bekleding.

Samenvattend is er sprake van een gecombineerd optreden van de mechanismen b, c, e en f die de schade veroorzaken in rij 13. Mechanisme b was duidelijk aanwezig aan het begin van de beschouwde periode, c trad op met het naderen van de golf en e en f traden op tijdens en na het neerkomen van de golf op het talud.

Analyse proef P059

Constructietype	: 2
Taludhelling	: 1/6
Belasting	: regelmatige golven
$\xi_{o,i}$: 2,38
Brekertype	: plunging
Blok half uit talud gelicht in rij:	-
Schade waargenomen in rij	: 16,18,19
Schade foto's in rij	: 19
Drukverdeling figuur	: 31
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 87
Drukopnemers	: rij 18 (opnemers 15-5)
	: rij 21 (opnemers 16-6)
	: rij 24 (opnemers 17-7)

Op $t = 0$ bevindt zich een maximum in de verschildruk in rij 15. Dit maximum ligt voor de teen van de aankomende golf. Naarmate de golf steiler wordt verbreedt dit maximum zich. Op $t = 0,20$ beslaat het de rijen 15 tot en met 18. Waarschijnlijk overschrijdt in deze zone de verschildruk het eigen gewicht van de steenzetting. Dit is in de plot die de verschildruk aangeeft niet te zien omdat rechtlijnig wordt geïnterpoleerd tussen de waarden die de afzonderlijke drukopnemers aangeven. Mechanisme c is verantwoordelijk voor deze hoge verschildrukken en de daaruit voortvloeiende instabiliteit in de bovengenoemde zone. Op de foto van $t = 0,24$ s kan worden gezien dat er in rij 19 (of 18, dit is moeilijk te zien) een blok uit de bekleding wordt gedrukt. De brekende golf raakt het talud ongeveer op $t = 0,28$ à $t = 0,32$. De verhoogde druk op het talud is te zien aan de opwaartse pieken in de verschildruk op deze tijdstippen. Op deze tijdstippen bestaat er nog steeds een duidelijk maximum in de verschildruk in rij 15. Op $t = 0,36$ is te zien dat er op een andere plaats dan te voren is waargenomen een blok omhoog is gedrukt in rij 17. Ook hier is mechanisme c de oorzaak van geweest. Op $t = 0,44$ en daarna wat duidelijker kan op de foto's de schade in rij 18 of 19 worden waargenomen die op $t = 0,24$ reeds was te zien. Deze schade is in eerste instantie waarschijnlijk ontstaan ten gevolge van mechanisme c. Aan de drukverlopen rond het schadetijdstip (figuur 87) is te zien dat in rij 18 bij elke golf een instabiele situatie optreedt, vlak voor het moment van breken. Het blok wordt verder uit het talud gedraaid ten gevolge van mechanisme h. Op $t = 0,40$ en $t = 0,44$ bestaat er nog een maximum in de verschildruk in rij 15, daarna neemt de verschildruk hier af. Opgemerkt zij dat de schade tijdens deze fotoserie volgens de waarnemingsformulieren optrad in rij 19. De verschildruk heeft in deze rij het eigen gewicht van het blok niet overschreden gedurende de fotoserie. Op de eerste foto's is duidelijk te zien dat er nog geen schade is opgetreden in of bij rij 19. (Het onderscheid tussen rij 18 en rij 19 is op de foto's moeilijk te zien). Afgaande op de gemeten verschildrukken zou de schade dus hebben moeten optreden in rij 18.

Samenvattend heeft er op een aantal plaatsen in het talud beweging plaatsgevonden van de blokken ten gevolge van mechanisme c, dat over een aantal rijen de verschildruk deed toenemen tot boven het eigen gewicht van de bekleding. Volgens de waarnemingen is tijdens de fotoserie schade opgetreden in rij 19. Op grond van de drukverdelingen en foto's zou dit ook rij 18 kunnen zijn geweest.

Analyse proef P060

Constructietype	: 2
Taludhelling	: 1/6
Belasting	: regelmatige golven
$\xi_{0,i}$: 3,07
Brekertype	: surging
Blok half uit talud gelicht in rij:	-
Schade waargenomen in rij	: 21, 22, 23
Schade fotoserie in rij	: 23
Drukverdeling figuur	: 32
Druk- en waterstandsverlopen fig.	: 88
Drukopnemers	: rij 21 (opnemers 16-6)
	: rij 24 (opnemers 17-7)
	: rij 27 (opnemers 18-8)

Op de eerste foto is te zien dat een blok reeds uit de taludhelling is gedraaid. De rijnummering is op de foto te zien: het gedraaide blok bevindt zich in rij 23. Op $t = 0$ is de verschildruk in rij 23 ongeveer $0,27 \text{ kN/m}^2$ hetgeen iets groter is dan de opwaartse druk maar nog ruim onder het eigen gewicht van de bekleding ligt. In rij 15 bevindt zich een maximum in de verschildruk dat het eigen gewicht van de bekleding benadert. Er is hier echter nog geen sprake van instabiliteit. Het maximum bevindt zich tamelijk ver voor de aankomende golf, mogelijk is hier sprake van mechanisme b. De verschildruk in rij 24 loopt iets op en op $t = 0,20$ is er sprake van een maximum, dat ook weer net onder het eigen gewicht van de bekleding ligt. Dit is vlak voor de aankomende golf en waarschijnlijk is hier sprake van mechanisme c. In feite heeft de verschildruk in de zone tussen rij 15 en rij 24 een verhoogde waarde ten gevolge van mechanisme b en c. Deze situatie duurt voort en op $t = 0,32$ en later kan op grond van de verdeling van de verschildruk worden geconcludeerd dat in de rijen 16 en 17 de verschildruk mogelijk groter is dan het eigen gewicht van de bekleding. Dit is op $t = 0,48$ ook nog het geval. Daarna is er op $t = 0,56$ sprake van een piekvormig maximum ter grootte van het eigen gewicht van de bekleding in rij 21, ook weer vlak voor de naderende golf (mechanisme c).

Op de foto's is behalve het reeds op $t = 0$ gesignaleerde gedraaide blok in rij 23 geen schade waar te nemen hetgeen overeenkomt met de waarneming dat

gedurende de periode van de fotoserie slechts schade is opgetreden in rij 23. De positie van het gedraaide blok is op $t = 0,56$ dezelfde als op $t = 0$.

Samenvattend traden er ten gevolge van mechanisme b en c vergrote verschillen op in de zone tussen rij 15 en 24 waarbij mogelijk in de rijen 16 en 17 instabiliteiten zijn opgetreden. In rij 21 is gemeten dat de verschillendruk de waarde van het eigen gewicht bereikt op $t = 0,56$. Uit de foto's blijkt dat de waargenomen schade in rij 23 al had plaats gevonden op $t = 0$.

4. Samenvatting

In het hiernavolgende wordt getracht een samenvatting te geven van de 31 proeven die zijn geanalyseerd. Hiertoe is allereerst Tabel 7 opgesteld welke een overzicht geeft van de opgetreden schademechanismen, voor zover bekend, en de mechanismen die herkenbaar optraden zonder dat er schade is opgetreden.

Aan de hand van deze tabel kan allereerst worden opgemerkt dat mechanisme c verreweg in de meeste gevallen de oorzaak van de schade is. In de proeven met lagere ξ -waarden (ongeveer 7) dragen in een aantal gevallen ook de mechanismen e, f en g bij tot de schade. Dit blijkt duidelijk uit het diagram in figuur 91 waar de proeven zijn uitgezet tegen hun ξ -waarden en de opgetreden schademechanismen. Dit zijn mechanismen die vooral optreden bij 'plunging' brekers waarbij een grote impuls op de taludbekleding wordt uitgeoefend. In het algemeen is hier sprake van snelle verschijnselen.

Onderscheid tussen mechanisme e en f is vrijwel niet te maken op grond van de metingen en lijkt ook niet zo relevant. Mechanisme d is niet herkenbaar; fysisch gezien is het aannemelijk dat dit mechanisme samen met e en f optreedt.

Mechanisme b heeft een aantal malen tot schade geleid; dit gebeurde altijd in samenwerking met andere mechanismen. Mechanisme h (en a, dat soms ook is waargenomen) treedt juist op bij wat grotere ξ -waarden (3 à 4 en groter), waarbij de watersnelheden langs het talud groot zijn. Dit mechanisme werkt veelal nadat een blok door een ander mechanisme (c) enigszins is opgetild.

Het optreden van andere mechanismen dan c is niet frequent en systematisch genoeg om daar meer specifieke conclusies aan te kunnen verbinden. De indruk bestaat dat de hierboven gegeven beschrijving de belangrijkheid van de onderscheiden mechanismen voldoende aangeeft.

Een aantal malen kon met behulp van het beschikbare materiaal niet worden afgeleid wat de werkelijke schademechanismen zijn geweest. Een belangrijke handicap hierbij vormde de korte duur van de fotoseries (0,56 s), het ontbreken van een duidelijk rijnummering op de foto's en de kwaliteit van de opnamen (in een aantal gevallen). Het blijkt moeilijk aan de hand van foto's vast te

stellen wanneer en waar er precies schade optreedt. Ten aanzien hiervan zouden de waarnemingsmethoden verbeterd moeten worden zodat het moment van bewegen en schade en de plaats daarvan duidelijk kan worden vastgelegd. Verder zou in elke rij van het talud een set drukopnemers moeten worden geplaatst om een meer volledig beeld van de drukopbouw te krijgen en een diepgaandere analyse mogelijk te maken.

Echter, zoals gezegd, de algemene trend, en dat is het dominante optreden van mechanisme c, blijkt duidelijk uit de analyse van het beschikbare materiaal.

Apart dient te worden vermeld dat bij een aantal proeven met grotere ξ -waarden een vrij constante piek (althans gedurende het 0,56 sec.-tijdsinterval van de fotoseries rondom het schadetijdstip) in de verschildruk is waargenomen ter plaatse van rij 52 à 53. Bij deze proeven waren ook drukopnemers in deze dieper gelegen rijen geplaatst. Dit constante maximum in de verschildruk (CMV) was in een aantal gevallen groter dan het eigen gewicht van de bekleding maar heeft nergens tot schade geleid. De plaats van het CMV was meestal ruim onder het diepste teruglooppunt van de golf en aan de hand van de drukverlopen langs het talud kan worden geconcludeerd dat gedurende de beschouwde periode van 0,56 s de waterstand boven het CMV meestal ongeveer constant was. Bij hogere ξ -waarden krijgt de golf bij het talud een staand karakter ('surging' of 'collapsing'-brekers) en het CMV ligt dan ongeveer ter plaatse van de eerste knoop vanaf het talud gerekend.

Zoals gezegd heeft het CMV in geen van de gevallen waarbij het CMV groter was dan het eigen gewicht tot schade geleid. De oorzaak hiervan kan zijn dat ondanks de resulterende opwaartse druk ter plaatse van de opnemers de resulterende kracht op het blok toch neerwaarts is door scheve drukverdelingen. Mogelijk heeft ook de wrijving een rol gespeeld, met name als gevolg van het initiële kantelen van het blok in zijn plaats waarbij de ribben contact maken met de aangrenzende blokken.

Het mechanisme dat tot een CMV leidt, is niet met zekerheid vast te stellen. Een voorzichtige verklaring is dat de druk onder het talud de neiging heeft gemiddeld gezien iets op te lopen omdat de oploop in het algemeen groter is dan de terugloop. Als nu de waterstand boven het talud in de hierboven genoemde knoop gedurende enige tijd wat lager is, mogelijk om de watermassa te leveren voor de oplopende tong, dan kan, doordat de druk onder het talud

vertraagd reageert op de waterstand boven het talud, de verschildruk tijdelijk opwaarts gericht zijn. Volgens dit principe is dus mechanisme b verantwoordelijk voor het optreden van een CMV.

De proeven zijn uitgevoerd, met ξ -waarden variërend van 1 tot 10. De onderstaande tabel laat zien dat de CMV's optraden bij de proeven met hogere ξ -waarden. Opgemerkt zij dat bij vrijwel alle andere proeven geen drukopnemers in de betreffende zone van rij 52 à 53 waren geplaatst zodat een degelijke vergelijking moeilijk is. Daarom is omzichtigheid geboden bij bovenstaande conclusie omtrent de werking van het CMV.

Proef	$\xi_{o,i,(p)}$	grootte CMV
P5F	4,0	> e.g.
P004	5,3	< e.g.
P007	5,4	= e.g.
P017	7,0	> e.g.
P019	9,5	> e.g.
P020	6,0	> e.g.
P021	7,1	> e.g.
P022	10,0	> e.g.
P034	4,7	< e.g.

In de derde kolom van deze tabel is de grootte van het vaste maximum aangegeven. Meestal was dit net iets groter dan de neerwaartse druk t.g.v. het eigen gewicht van het betreffende blok. Het feit dat er toch geen schade of beweging in deze dieper gelegen rijen is opgetreden vindt zoals gezegd mogelijk zijn verklaring in het feit dat de resulterende kracht op de blokken steeds omlaag gericht is geweest of dat de wrijvingskracht op de zijvlakken voldoende was om de resulterende opwaartse kracht te neutraliseren. Het verdient aanbeveling om, zodra tijdens de proeven een CMV optreedt (en dit wordt waargenomen), hier nadere metingen aan te doen, bijv. door het plaatsen van meerdere drukopnemers in en naast de rij waar de CMV wordt gemeten.

Tenslotte kan nog een opmerking worden gemaakt over de toegepaste constructie-typen. Uit de registraties van de drukverlopen rondom de schadetijdstippen (15

sec.-registraties) wordt geconcludeerd dat alle toegepaste constructies in feite open constructies zijn: de drukken onder en boven de taludbekleding verlopen vrijwel parallel, zonder faseverschuiving en met een verschil ter grootte van het eigen gewicht van het betreffende blok. Alleen op of vlak voor het moment van breken treden pieken in de verschildruk op, veroorzaakt door de schade mechanismen die dan optreden.

	proef	L _o (m)	H _i (cm)	H _{max} (cm)	ξ _{o1}	r (%)	T (s)	H _i ΔD	H _{max} ΔD	schade rijnr.	x (cm)	x H _i	Ru (cm)	Ru H _i	Ru H _{max}	Rd (cm)	Rd H _i	Rd H _{max}
Konstruktietype 1, talud 1:3	1	1,56	4,50	5,40	1,96	19	1,00	1,58	1,90	-								
	2	1,56	5,00	6,00	1,86	18	1,00	1,76	2,11	-								
	3	1,56	6,10	6,80	1,69	11	1,00	2,15	2,39	(+)	-0,95	-0,32						
	4	1,56	6,70	7,40	1,61	10	1,00	2,36	2,61	(+)	-1,30	-0,19						
	5	1,56	7,40	8,10	1,53	8	1,00	2,61	2,85	+	+0,65	+0,09						
	6	1,56	7,90	8,60	1,48	9	1,00	2,78	3,03	+	+0,65	+0,08						
	7	3,51	4,30	6,40	3,01	49	1,50	1,51	2,25	-								
	8	3,51	4,85	7,20	2,84	47	1,50	1,71	2,54	-								
	9	3,51	5,20	7,70	2,74	47	1,50	1,83	2,71	+	-4,54	-0,87						
	10	3,51	5,25	7,80	2,73	47	1,50	1,85	2,75	-								
	11	3,51	5,80	8,40	2,69	45	1,50	2,04	2,96	(+)	-5,19	-0,89						
	12	3,51	6,25	8,60	2,50	39	1,50	2,20	3,03	+	-5,19	-0,83						
	13	3,51	2,40	4,00	5,37	67	2,00	0,85	1,41	-								
	14	6,24	3,30	5,60	4,58	70	2,00	1,16	1,97	-								
	15	6,24	4,70	7,60	3,84	62	2,00	1,65	2,68	-			+9,08	+1,93	+1,19	-7,78	-1,66	-1,22
	16	6,24	5,50	9,20	3,55	67	2,00	1,94	3,24	-			+10,37	+1,89	+1,13	-9,08	-1,65	-0,99
	17	6,24	6,50	10,60	3,27	63	2,00	2,29	3,73	(+)	-0,65	-0,10	+12,97	+2,00	+1,22	-11,54	-1,78	-1,09
	18	6,24	6,90	11,10	3,17	60	2,00	2,43	3,91	+	-9,08	-1,32	+14,23	+2,06	+1,28	-10,37	-1,50	-0,93
	19	6,24	7,30	11,50	3,08	59	2,00	2,57	4,05	+	-9,72	-1,33	+14,93	+2,05	+1,30	-11,04	-1,51	-0,96
	20	9,75	2,40	4,20	6,72	81	2,50	0,85	1,48	-			+3,26	+1,36	+0,78	-13,89	-1,62	-0,93
	21	9,75	2,60	4,60	6,45	77	2,50	0,92	1,62	-			+4,55	+1,75	+0,99	-6,48	-2,49	-1,41
	22	9,75	3,10	5,40	5,91	74	2,50	1,09	1,90	-			+5,19	+1,67	+0,96	-5,19	-1,67	-0,96
	23	9,75	3,50	6,00	5,56	71	2,50	1,23	2,11	-			+7,78	+2,22	+1,30	-6,48	-1,85	-1,08
	24	9,75	4,00	6,80	5,20	70	2,50	1,41	2,39	-			+7,78	+1,95	+1,14	-7,78	-1,94	-1,14
	25	9,75	4,60	7,60	4,85	65	2,50	1,62	2,68	-			+7,78	+1,69	+1,02	-9,08	-1,97	-1,19
	26	9,75	4,80	8,00	4,75	67	2,50	1,69	2,82	-			+9,08	+1,89	+1,14	-9,08	-1,89	-1,14
	27	9,75	5,40	8,80	4,48	63	2,50	1,90	3,10	-			+9,08	+1,68	+1,03	-10,37	-1,92	-1,18
	28	9,75	5,70	9,60	4,36	68	2,50	2,01	3,38	-			+9,08	+1,59	+0,95	-10,37	-1,82	-1,08
	29	9,75	5,80	10,00	4,32	72	2,50	2,04	3,52	-			+10,37	+1,79	+1,04	-11,67	-2,01	-1,17
	30	9,75	6,30	10,40	4,15	65	2,50	2,22	3,66	-			+11,67	+1,85	+1,12	-12,97	-2,06	-1,25
	31	9,75	7,00	11,80	3,93	69	2,50	2,46	4,15	-			+12,97	+1,85	+1,10	-12,97	-1,85	-1,10
	32	9,75	7,20	12,40	3,88	72	2,50	2,54	4,37	-			+12,97	+1,80	+1,05	-14,26	-1,98	-1,15
	33	9,75	7,20	12,40	3,88	72	2,50	2,54	4,37	-			+14,26	+1,98	+1,15	-14,26	-1,98	-1,15
	34	9,75	8,60	14,00	3,55	63	2,50	3,03	4,93	-			+14,26	+1,66	+1,02	-14,26	-1,66	-1,02
	35	9,75	8,90	14,40	3,49	62	2,50	3,13	5,07	(+)	-14,93	-1,68	+15,56	+1,75	+1,08	-14,36	-1,60	-0,99
	36	9,75	8,70	14,20	3,53	63	2,50	3,06	5,00	(+)	-14,93	-1,72	+16,85	+1,94	+1,19	-14,89	-1,71	-1,03
	37	9,75	9,80	15,60	3,32	59	2,50	3,45	5,49	(+)	-15,56	-1,59	+17,52	+1,79	+1,12	-15,56	-1,59	-1,00
	38	9,75	10,20	16,40	3,26	61	2,50	3,59	5,77	(+)	-14,93	-1,46	+17,52	+1,72	+1,07	-15,56	-1,53	-0,95
	39	9,75	10,00	16,80	3,29	65	2,50	3,52	5,92	+	-11,04	-1,10	+18,82	+1,88	+1,12	-16,85	-1,69	-1,00
	40	14,04	10,90	16,90	3,78	58	3,00	3,84	5,95	-			+18,82	+1,73	+1,11	-14,93	-1,37	-0,88
	41	14,04	12,75	19,50	3,50	53	3,00	4,49	6,87	+			+20,08	+1,57	+1,03	-16,22	-1,27	-0,83
	42	14,04	12,80	20,00	3,49	54	3,00	4,51	7,04	+	-18,82	-1,47	+24,00	+1,88	+1,20	-18,82	-1,47	-0,94
	43	14,04	12,75	19,00	3,50	49	3,00	4,49	6,69	+	-20,08	-1,57	+26,56	+2,08	+1,40	-18,82	-1,49	-0,99

Tabel 1.1 Schade zoeken: regelmatige golven

	proof	L _o (m)	H _i (cm)	H _{max} (cm)	ξ _{oi}	r (%)	T (s)	H _i ΔD	H _{max} ΔD	schade	schade rijnr.	x (cm)	$\frac{x}{H_i}$	Ru (cm)	$\frac{Ru}{H_i}$	$\frac{Ru}{H_{max}}$	Rd (cm)	$\frac{Rd}{H_i}$	$\frac{Rd}{H_{max}}$
Konstruktietype 1, talud 1:3	44	19,11	10,30	18,00	4,54	35	3,50	3,63	6,34	-				+20,47	+2,01	+1,15	-16,85	-1,64	-0,93
	45	19,11	11,25	19,00	4,34	35	3,50	3,69	6,69	-				+23,34	+2,07	+1,23	-19,45	-1,73	-1,02
	46	19,11	12,30	21,00	4,15	35	3,50	4,33	7,39	-				+24,63	+2,00	+1,17	-20,74	-1,69	-0,99
	47	19,11	12,40	20,80	4,14	35	3,50	4,37	7,32	(+)		-16,22	-1,31	+23,34	+1,88	+1,12	-18,82	-1,52	-0,90
	48	19,11	12,90	21,50	4,06	35	3,50	4,54	7,57	-				+25,93	+2,01	+1,21	-22,04	-1,71	-1,03
	49	19,11	13,50	22,30	3,97	35	3,50	4,75	7,85	-				+27,89	+2,07	+1,25	-23,34	-1,73	-1,05
	50	19,11	13,60	22,70	3,95	35	3,50	4,79	7,99	+	55	-17,55	-1,29	+27,23	+2,00	+1,20	-21,41	-1,57	-0,94
	51	19,11	13,90	23,50	3,91	35	3,50	4,89	8,27	-				+29,19	+2,10	+1,24	-24,63	-1,77	-1,05
	52	19,11	14,80	24,30	3,79	35	3,50	5,21	8,56	+	54-57	-17,52	-1,18	+29,82	+2,01	+1,23	-25,30	-1,71	-1,04
	53	19,11	15,40	26,30	3,71	35	3,50	5,42	9,26	+	35-59	-18,82	-1,22	+25,93	+1,68	+0,99	-24,00	-1,56	-0,91
	54	24,96	12,10	20,30	4,79	40	4,00	4,26	7,15	-				+27,23	+2,25	+1,34	-19,45	-1,61	-0,96
	55	24,96	12,50	21,50	4,71	40	4,00	4,40	7,57	(+)				+28,52	+2,28	+1,33	-22,04	-1,76	-1,03
	56	24,96	13,50	22,70	4,53	40	4,00	4,75	7,99	(+)				+29,82	+2,21	+1,31	-20,74	-1,54	-0,91
	57	24,96	13,80	23,30	4,48	40	4,00	4,86	8,20	(+)				+31,12	+2,26	+1,34	-23,34	-1,69	-1,00
	58	24,96	14,50	24,20	4,37	40	4,00	5,11	8,52	(+)				+32,41	+2,14	+1,34	-23,06	-1,59	-0,95
	59	24,96	15,20	25,30	4,27	40	4,00	5,35	8,91	(+)				+33,08	+2,18	+1,31	-25,93	-1,71	-1,02
	60	24,96	15,50	26,00	4,23	40	4,00	5,46	9,15	(+)				+34,37	+2,21	+1,31	-26,56	-1,71	-1,02
	61	24,96	16,40	27,00	4,11	40	4,00	5,77	9,51	(+)	25-59	-22,71	-1,38	+35,67	+2,18	+1,32	-27,23	-1,66	-1,01
	62	24,96	16,60	27,50	4,09	40	4,00	5,85	9,68	+		-18,97	-1,14	+36,97	+2,23	+1,34	-27,23	-1,64	-0,99
	63	2,44	3,70	5,20	2,71	41	1,25	1,30	1,83	-				+6,48	+1,75	+1,25	-3,89	-1,05	-0,75
	64	2,44	4,40	6,00	2,48	36	1,25	1,55	2,11	-				+7,78	+1,77	+1,30	-5,85	-1,33	-0,98
	65	2,44	5,10	6,20	2,31	33	1,25	1,80	2,18	-				+9,06	+1,78	+1,46	-6,48	-1,27	-1,05
	66	2,44	5,70	7,40	2,18	28	1,25	2,01	2,61	(+)		-4,55	-0,80	+10,37	+1,82	+1,40	-7,78	-1,36	-1,05
	67	2,44	6,40	8,00	2,06	25	1,25	2,25	2,82	(+)		-3,26	-0,51	+11,04	+1,73	+1,38	-7,78	-1,22	-0,97
	68	2,44	7,10	8,60	1,95	21	1,25	2,50	3,03	(+)		-3,89	-0,56	+11,67	+1,64	+1,28	-8,44	-1,19	-0,98
	69	2,44	7,80	9,20	1,86	18	1,25	2,75	3,24	+	46	-5,85	-0,75	+12,33	+1,58	+1,34	-9,08	-1,16	-0,99
	70	4,78	3,50	5,80	3,90	66	1,75	1,23	2,04	-				+7,78	+2,22	+1,34	-6,48	-1,85	-1,12
	71	4,78	4,20	6,80	3,56	62	1,75	1,47	2,39	-				+8,44	+2,01	+1,24	-7,78	-1,85	-1,14
	72	4,78	5,00	8,00	3,26	60	1,75	1,76	2,82	-				+9,74	+1,95	+1,22	-7,78	-1,56	-0,97
	73	4,78	5,60	8,80	3,08	57	1,75	1,97	3,10	(+)		-6,48	-1,16	+11,04	+1,97	+1,25	-9,08	-1,62	-1,03
	74	4,78	6,20	9,60	2,93	55	1,75	2,18	3,38	(+)		-6,48	-1,05	+12,97	+2,09	+1,35	-9,08	-1,46	-0,95
	75	4,78	6,90	10,20	2,77	50	1,75	2,43	3,59	+	46-47	-6,48	-0,94	+14,26	+2,07	+1,40	-10,37	-1,50	-1,02
Konstruktietype 2, talud 1:3	76	2,44	5,63	7,25	2,19	29	1,25	2,43	3,14	(+)									
	77	2,44	6,42	8,08	2,06	26	1,25	2,77	3,48	(+)									
	78	3,51	3,50	5,75	3,34	64	1,50	1,51	2,48	-									
	79	3,51	4,21	6,83	3,04	62	1,50	1,81	2,94	-									
	80	3,51	4,92	7,58	2,82	54	1,50	2,12	3,27	(+)									
	81	3,51	5,67	8,58	2,62	51	1,50	2,44	3,70	(+)									
	82	3,51	6,67	9,16	2,42	35	1,50	2,88	3,95	(+)									
	83	6,24	4,46	7,75	3,94	74	2,00	1,92	3,34	-									
	84	6,24	5,18	8,88	3,66	71	2,00	2,23	3,85	-									
	85	6,24	5,67	9,58	3,50	69	2,00	2,44	4,13	(+)									
	86	6,24	6,17	10,33	3,35	68	2,00	2,66	4,45	+	32-34	-8,43	-1,37	-0,82					
	87	14,04	9,63	15,13	4,03	57	3,00	4,15	6,52	-									
	88	14,04	11,75	18,25	3,64	55	3,00	5,06	7,87	(+)									
	89	24,96	11,63	19,75	4,88	70	4,00	5,01	8,51	-									

Tabel 1.2 Schade zoeken: regelmatige golven

	proef	L _o (m)	H _i (cm)	H _{max} (cm)	ξ_{oi}	r (%)	T (s)	$\frac{H_i}{\Delta D}$	$\frac{H_{max}}{\Delta D}$	schade	schade rijnr.	x (cm)	$\frac{x}{H_i}$
Konstruktietype 2, talud 1:3	233	1,26	6,6	7,3	1,46	11	0,9	2,84	3,15	-			
	234	1,26	8,5	9,2	1,29	8	0,9	3,66	3,96	-			
	235	1,26	10,1	10,7	1,18	6	0,9	4,35	4,61	-			
	236	1,26	11,25	12,0	1,12	7	0,9	4,85	5,17	+	28	-1,94	-0,17
	237	2,44	6,7	8,8	2,01	30	1,25	2,89	3,79	-			
	238	2,44	7,4	9,4	1,91	26	1,25	3,19	4,05	+	29	-3,24	-0,44
	239	2,44	8,4	10,3	1,80	23	1,25	3,62	4,44	+	28-30	-3,24	-0,39
	240	3,51	4,9	8,0	2,82	62	1,50	2,11	3,45	-			
	241	3,51	6,0	8,9	2,55	50	1,50	2,59	3,84	-			
	242	3,51	6,6	9,5	2,43	45	1,50	2,84	4,09	+	29	-3,24	-0,49
	243	6,24	4,7	8,0	3,84	70	2,00	2,03	3,45	-			
	244	6,24	5,7	9,8	3,49	72	2,00	2,46	4,22	-			
	245	6,24	6,7	11,3	3,22	69	2,00	2,89	4,87	-			
	246	6,24	7,7	12,7	3,00	65	2,00	3,32	5,47	-			
	247	6,24	8,2	13,2	2,91	60	2,00	3,53	5,69	+	29-33	-8,43	-1,03
	248	6,24	8,75	13,9	2,81	59	2,00	3,77	5,99	+	29-35	-7,13	-0,81
	249	14,04	13,1	21,0	3,45	60	3,00	5,65	9,05	-			
	250	14,04	14,0	22,3	3,34	59	3,00	6,03	9,61	-			
	251	14,04	14,4	23,2	3,29	62	3,00	6,21	10,00	+	32	-7,13	-0,50
	252	24,96	11,5	19,0	4,91	65	4,00	4,96	8,19	-			
	253	24,96	13,0	21,5	4,62	65	4,00	5,60	9,27	-			
	254	24,96	13,4	22,25	4,55	63	4,00	5,78	9,59	-			
	255	24,96	13,75	23,0	4,49	67	4,00	5,93	9,91	+	41-42	-20,10	-1,46

Tabel 1.2 Vervolg schade zoeken regelmatige golven

	proef	L _o (m)	H _i (cm)	H _{max} (cm)	ξ_{oi}	r (%)	T (s)	$\frac{H_i}{\Delta D}$	H _{max}	schade
Konstruktietype 3, talud 1:3	90	14,04	20,00	29,00	2,79	44	3,00	5,79	8,40	-
	91	9,75	14,13	21,75	2,77	54	2,50	4,09	6,30	-
	92	9,75	16,25	24,25	2,58	50	2,50	4,70	7,02	-
	93	6,24	6,50	11,00	3,27	69	2,00	1,88	3,18	-
	94	6,24	7,63	12,25	3,01	61	2,00	2,21	3,55	-
	95	6,24	8,75	13,50	2,82	54	2,00	2,53	3,91	-
	96	6,24	10,25	15,00	2,60	46	2,00	2,97	4,34	-
	97	6,24	11,75	16,50	2,43	40	2,00	3,40	4,78	-
	98	3,51	11,25	13,75	1,86	22	1,50	3,26	3,98	-
	99	3,51	12,50	15,00	1,77	20	1,50	3,62	4,34	-
	100	3,51	13,13	15,50	1,72	18	1,50	3,80	4,49	-
	101	2,44	13,13	14,00	1,44	7	1,25	3,80	4,05	-
	102	2,44	15,00	15,75	1,34	5	1,25	4,34	4,56	-
Konstruktietype 1, talud 1:6	103	2,44	5,00	5,25	1,16	2	1,25	1,76	1,85	-
	104	2,44	5,95	6,20	1,07	2	1,25	2,10	2,18	-
	105	2,44	6,50	6,75	1,02	2	1,25	2,29	2,38	-
	106	3,51	4,75	5,33	1,43	12	1,50	1,67	1,88	-
	107	3,51	5,84	6,17	1,29	6	1,50	2,06	2,17	-
	108	6,24	3,75	4,50	2,15	20	2,00	1,32	1,58	-
	109	6,24	4,58	5,50	1,95	20	2,00	1,61	1,94	-
	110	6,24	5,08	6,17	1,85	21	2,00	1,79	2,17	-
	111	14,04	6,63	9,25	2,43	40	3,00	2,33	3,26	-
	112	14,04	7,00	9,50	2,36	36	3,00	2,47	3,35	-
	113	24,96	7,25	11,00	3,09	52	4,00	2,55	3,87	-
	114	24,96	7,50	11,50	3,04	53	4,00	2,64	4,05	-
	115	24,96	8,00	12,00	2,94	50	4,00	2,82	4,23	-
	116	24,96	8,00	12,00	2,94	50	4,00	2,82	4,23	-
	117	24,96	8,50	12,50	2,86	47	4,00	2,99	4,40	-
	118	24,96	9,00	13,00	2,78	44	4,00	3,17	4,58	-
Konstruktietype 2, talud 1:6	119	2,44	5,83	6,33	1,08	9	1,25	2,51	2,73	-
	120	3,51	4,50	5,17	1,47	15	1,50	1,94	2,23	-
	121	3,51	5,25	6,00	1,36	15	1,50	2,26	2,59	-
	122	6,24	5,00	6,00	1,86	20	2,00	2,16	2,59	-
	123	14,04	6,50	9,50	2,45	46	3,00	2,80	4,09	-
	124	24,96	6,50	10,25	3,27	58	4,00	2,80	4,42	-

Tabel 1.3 Schade zoeken: regelmatige golven

	proef	L _o (m)	H _i (cm)	H _{max} (cm)	ξ_{oi}	r (%)	T (s)	$\frac{H_i}{\Delta D}$	$\frac{H_{max}}{\Delta D}$	schade rijnr.	x (cm)	$\frac{x}{H_i}$	$\frac{x}{H_{max}}$	Ru (cm)	$\frac{Ru}{H_i}$	$\frac{Ru}{H_{max}}$	Rd (cm)	$\frac{Rd}{H_i}$	$\frac{Rd}{H_{max}}$
Konstruktietype 1, talud 1:3	P1B	2,44					1,25			+	31	-5,85							
	P2B	2,44	8,40	10,00	1,80	19	1,25	2,96	3,52	(+)		-0,65	-0,08	-0,07					
	P3B	2,44	8,40	9,80	1,80	17	1,25	2,96	3,45	(+)		-0,65	-0,08	-0,07	+11,00	+1,31	+1,12	-9,74	-1,16
	P4B	2,44	9,00	10,40	1,74	16	1,25	3,17	3,66	(+)		+0,65	+0,07	+0,06	+13,60	+1,51	+1,31	-7,15	-0,79
	P1C	3,51	6,60	9,20	2,43	39	1,50	2,11	3,24	(+)		-5,85	-0,89	-0,64	+11,04	+1,67	+1,20	-7,15	-1,08
	P2C	3,51	7,40	10,00	2,30	35	1,50	2,61	3,52	+	30-33	-5,85	-0,79	-0,59	+13,80	+1,84	+1,36	-8,44	-1,14
	P1D	6,24	8,50	12,60	2,86	48	2,00	2,99	4,44	+	27-34	-5,85	-0,69	-0,46	+17,52	+2,06	+1,39	-11,04	-1,30
	P2D	6,24	7,80	11,80	2,98	53	2,00	2,75	4,15	+	28-34	-5,85	-0,75	-0,50	+14,93	+1,91	+1,27	-11,04	-1,42
	P1E	14,04					3,00			+									
	P2E	14,04	13,00	20,00	3,46	54	3,00	4,58	7,04	+	31-40	-6,48	-0,50	-0,32	+25,30	+1,95	+1,27	-18,82	-1,45
	P3E	14,04	13,00	20,00	3,46	54	3,00	4,58	7,04	+	31-40	-8,44	-0,65	-0,32	+25,30	+1,95	+1,27	-18,82	-1,45
	P4E	14,04					3,00			+	40-45	-24,00			+20,81			-18,82	
	P1F	24,96					4,00			-									
	P2F	24,96	15,00	24,70	4,30	66	4,00	5,28	8,70	(+)		-26,59	-1,77	-1,08	+31,78	+2,12	+1,29	-22,71	-1,51
	P3F	24,96					4,00			(+)		-7,15			+36,30			-25,30	
	P4F	24,96	17,40	29,30	3,99	71	4,00	6,13	10,32	+	32-45	-24,00	-1,38	-0,82	+38,90	+2,24	+1,33	-27,86	-1,60
	P5F	24,96	17,40	29,30	3,99	71	4,00	6,13	10,32	+									
Konstruktietype 2, talud 1:3	P30	2,44	7,00	8,67	1,97	24	1,25	3,02	3,74	+	30-32	-5,83	-0,83	-0,67	+11,10	+1,59	+1,28	-4,03	-0,58
	P31	3,51	6,67	9,25	2,42	39	1,50	2,88	3,99	+	29-32	-4,54	-0,68	-0,49	+14,25	+2,14	+1,54	-5,90	-0,88
	P32	6,24	6,13	10,33	3,36	69	2,00	2,64	4,45	+	32-34	-8,43	-1,38	-0,82	+14,25	+2,32	+1,40	-9,18	-1,50
	P33	14,04	12,38	19,38	3,55	57	3,00	5,34	8,35	+	39-41	-18,80	-1,52	-0,97	+20,63	+1,67	+1,06	-18,96	-1,53
	P34	24,96	12,63	21,50	4,69	72	4,00	5,44	9,27	+	44	-22,69	-1,80	-1,06	+17,52	+1,39	+0,81	-23,24	-1,84

Tabel 1.4 Filmproeven: regelmatige golven

	proef	L _o (m)	H _i (cm)	H _{max} (cm)	ξ _{oi}	r (%)	T (s)	$\frac{H_i}{\Delta D}$	$\frac{H_{max}}{\Delta D}$	schade	schade rijnr.	x (cm)	$\frac{x}{H_i}$	$\frac{x}{H_{max}}$	Ru (cm)	$\frac{Ru}{H_i}$	$\frac{Ru}{H_{max}}$	Rd (cm)	$\frac{Rd}{H_i}$	$\frac{Rd}{H_{max}}$
Konstruktietype 3, talud 1:3	P39	14,04	21,00	30,50	2,73	45	3,00	6,08	8,83	+	43-46	-21,39	-1,02	-0,70	+36,53	+1,74	+1,20	-30,80	-1,47	-1,01
	P40	9,75	17,00	25,00	2,52	47	2,50	4,92	7,24	+	33-40	-8,43	-0,49	-0,34	+36,41	+2,14	+1,46	-21,99	-1,29	-0,88
	P41	6,24	12,75	17,00	2,33	33	2,00	3,69	4,92	+	33-34	-9,72	-0,76	-0,57	+20,66	+1,62	+1,22	-14,87	-1,17	-0,87
	P42	3,51	13,25	15,50	1,72	17	1,50	3,84	4,49	+	33	-8,43	-0,64	-0,54	+18,98	+1,43	+1,22	-8,03	-0,61	-0,52
	P43	2,44	15,88	17,25	1,31	6	1,25	4,60	4,99	+	32	-7,13	-0,45	-0,41	+17,41	+1,10	+1,01	-3,65	-0,23	-0,21
Konstruktietype 1, talud 1:6	P49	2,44	7,50	8,00	0,95	3	1,25	2,64	2,82	+	11	-3,71	-0,49	-0,46	+4,93	+0,66	+0,62	-1,46	-0,19	-0,18
	P50	3,51	6,42	6,83	1,23	6	1,50	2,26	2,40	+	11	-3,71	-0,58	-0,54	+5,77	+0,90	+0,84	-1,98	-0,31	-0,29
	P51	6,24	6,00	7,00	1,70	17	2,00	2,11	2,46	+	13	-5,06	-0,84	-0,72	+9,03	+1,51	+1,29	-2,85	-0,48	-0,41
	P52	14,04	7,38	10,00	2,30	36	3,00	2,60	3,52	+	20	-9,77	-1,32	-0,98	+14,82	+2,01	+1,48	-5,84	-0,79	-0,58
	P53	24,96	8,00	12,00	2,94	50	4,00	2,82	4,23	+	25	-13,14	-1,64	-1,12	+16,49	+2,06	+1,37	-10,42	-1,30	-0,87
Konstruktietype 2, talud 1:6	P56	2,44	6,50	7,00	1,02	8	1,25	2,80	3,02	+	10	-3,03	-0,47	-0,43	+12,33	+1,90	+1,76	-1,68	-0,26	-0,24
	P57	3,51	6,08	6,83	1,27	12	1,50	2,62	2,94	+	11	-3,71	-0,61	-0,54	+7,41	+1,22	+1,08	-1,96	-0,32	-0,29
	P58	6,24	5,33	6,00	1,80	13	2,00	2,30	2,59	+	12-13	-5,06	-0,95	-0,84	+9,87	+1,85	+1,65	-3,08	-0,58	-0,51
	P59	14,04	6,88	9,75	2,38	42	3,00	2,97	4,20	+	16-19	-9,10	-1,32	-0,93	+14,88	+2,16	+1,53	-6,65	-0,97	-0,68
	P60	24,96	7,38	11,50	3,07	56	4,00	3,18	4,96	+	21-23	-11,80	-1,60	-1,03	+14,05	+1,90	+1,22	-10,53	-1,43	-0,92

Tabel 1.5 Filmproeven: regelmatige golven

	proef	L _{op}	H _{sl}	H _{l%}	ε _{oip}	ε _{oiz}	r	T _p	T _z	$\frac{T_p}{T_z}$	$\frac{H_{sl}}{\Delta D}$	$\frac{H_{l\%}}{\Delta D}$	schade	schade rijnr.	plaats schade		
															x	$\frac{x}{H_{l\%}}$	$\frac{x}{H_{l\%}}$
Konstruktietype 1, talud 1:3	125	21,70	8,59	12,52	5,30	4,05	81	3,73	2,85	1,31	3,02	4,41	+	29-43	-21,42	-2,49	-1,71
	126	21,70	6,70	9,26	6,00	4,57	82	3,73	2,84	1,31	2,36	3,26	(+)		-7,15	-1,07	
	127	21,70	7,72	10,69	5,59	4,26	82	3,73	2,84	1,31	2,72	3,76	(+)		-3,26	-0,42	-0,30
	128	15,48	6,96	9,91	4,97	3,66	75	3,15	2,32	1,36	2,45	3,49	+	33-41	-9,74	-1,40	-0,98
	129	15,48	6,14	8,58	5,29	3,88	75	3,15	2,31	1,36	2,17	3,02	+	33-39	-8,44	-1,38	-1,98
	130	15,48	5,12	7,17	5,80	4,27	78	3,15	2,32	1,36	1,80	2,52	(+)		-12,33	-2,41	-1,72
	131	9,59	4,36	6,07	4,94	3,67	71	2,48	1,84	1,35	1,54	2,14	+	33	-8,44	-1,94	-1,39
	132	9,59	4,39	6,06	4,93	3,74	72	2,48	1,88	1,32	1,55	2,13					
	133	9,59	3,51	4,69	5,51	4,16	72	2,48	1,87	1,33	1,24	1,65	-				
	134	9,59	5,29	7,15	4,49	3,37	69	2,48	1,86	1,35	1,86	2,52	+	32-33	-8,44	-1,60	-1,18
	135	6,37	3,07	4,21	4,80	3,56	63	2,02	1,50	1,35	1,08	1,48	-				
	136	6,37	3,83	5,65	4,30	3,19	61	2,02	1,50	1,35	1,35	1,98	(+)		-3,26	-0,85	-0,58
	137	6,37	4,51	6,44	3,96	2,94	58	2,02	1,50	1,35	1,59	2,26	+	29-32	-3,26	-0,72	-0,51
	138	6,24	5,23	8,01	3,64	2,73	54	2,00	1,50	1,35	1,84	2,82	+	28-29	-3,26	-0,62	-0,41
	139	3,06	3,81	5,67	2,99	2,58	44	1,39	1,21	1,15	1,34	2,00	-				
	140	3,06	4,51	6,85	2,75	2,35	42	1,40	1,20	1,17	1,59	2,41	+	32	-7,15	-1,59	-1,04
	141	3,06	5,09	7,70	2,58	2,20	39	1,39	1,19	1,17	1,79	2,71	(+)		-5,85	-1,15	-0,76
	142	3,06	5,77	8,58	2,43	2,08	35	1,40	1,20	1,17	2,03	3,02	+	25-32	-0,65	-0,11	-0,08
	143	2,93	4,35	6,58	2,74	2,25	38	1,37	1,12	1,22	1,53	2,32	(+)		-0,65	-0,15	-0,10
	144	1,96	4,70	7,10	2,15	2,02	32	1,12	1,05	1,07	1,65	2,50	+	31	-5,85	-1,24	-0,82
	145	1,96	4,10	6,25	2,30	2,14	35	1,12	1,04	1,08	1,44	2,20	(+)		-1,95	-0,48	-0,31
	146	1,99	5,30	8,28	2,04	1,90	31	1,13	1,05	1,08	1,87	2,91	(+)				
	147	1,99	5,84	9,56	1,95	1,81	28	1,13	1,05	1,08	2,06	3,37	+	25-30	-4,55	-0,78	-0,48
	148	40,89	7,45	11,39	7,81	4,87	87	5,12	3,19	1,61	2,62	4,01	-				
	149	40,89	8,51	12,67	7,31	4,55	87	5,12	3,19	1,61	3,00	4,46	(+)	40	-17,52	-2,06	-1,38
	150	40,89	9,34	13,58	6,97	4,24	86	5,12	3,11	1,65	3,29	4,78	+	42-44	-20,11	-2,15	-1,48
	151	86,58	9,91	14,68	9,85	4,89	80	7,45	3,40	2,01	3,49	5,16	(+)	42-44	-20,11	-2,03	-1,37
	152	86,58	10,75	15,13	9,46	4,61	87	7,45	3,63	2,05	3,78	5,33	+	31-43	-5,85	-0,54	-0,39
	153	86,58	8,65	12,28	10,55	5,34	88	7,45	3,77	1,98	3,05	4,32	+	25-31	+1,96	+0,23	+0,16
	154	86,58	7,58	10,28	11,27	5,99	91	7,45	3,96	1,88	2,67	3,62	-				
	256	1,92	5,40	8,78	1,99	1,52	35	1,11	0,85	1,31	2,33	3,78	-				
	257	1,92	7,38	11,21	1,70	1,32	30	1,11	0,89	1,25	3,18	4,83	-				
	258	1,89	7,95	12,03	1,62	1,33	28	1,10	0,90	1,22	3,43	5,19	+	28-30	-4,54	-0,57	-0,38
	259	2,17	6,91	11,38	1,87	1,43	32	1,18	0,90	1,31	2,98	4,91	-				
	260	2,17	7,58	12,03	1,78	1,39	31	1,18	0,90	1,28	3,27	5,19	+	29-31	-3,24	-0,43	-0,38
	261	2,17	8,60	13,33	1,68	1,33	29	1,18	0,94	1,26	3,71	5,75	+	25-30	-4,54	-0,53	-0,34

Tabel 2.1 Schade zoeken: Egmond-spectrum

	proef	L _{op}	H _{si}	H _{1%}	$\xi_{oi p}$	$\xi_{oi z}$	r	T _p	T _z	$\frac{T_p}{T_z}$	$\frac{H_{si}}{\Delta D}$	$\frac{H_{1\%}}{\Delta D}$	schade	schade rijnr.	plaats schade		
															x	$\frac{x}{H_{1\%}}$	$\frac{x}{H_{1\%}}$
Konstruktietype 2, talud 1:3	155	1,99	4,51	7,65	2,22	2,02	40	1,13	1,03	1,10	1,95	3,30	(+)				
	156	1,99	5,08	8,85	2,09	1,92	38	1,13	1,04	1,09	2,19	3,81	+	31	-5,83	-1,15	-0,66
	157	3,32	5,38	9,26	2,62	2,19	46	1,46	1,22	1,20	2,32	3,99	+	32-30	-7,13	-1,33	-0,77
	158	3,32	4,69	8,05	2,81	2,35	50	1,46	1,22	1,20	2,02	3,47	+	31	-5,83	-1,24	-0,72
	159	3,32	4,11	7,24	3,00	2,84	55	1,46	1,22	1,20	1,77	3,12	+	32-31	-7,13	-1,73	-0,98
	160	3,32	3,43	6,44	3,28	2,74	59	1,46	1,22	1,20	1,48	2,78	(+)				
	161	6,12	4,41	7,65	3,93	3,07	68	1,98	1,55	1,28	1,90	3,30	+	33			
	162	6,12	5,17	8,45	3,63	2,84	65	1,98	1,54	1,29	2,23	3,64	+	38-31	-8,43	-1,63	-1,10
	163	6,12	3,55	6,44	4,38	3,42	71	1,98	1,55	1,28	1,53	2,78	-				
	164	14,32	4,50	8,26	5,95	4,63	85	3,03	2,36	1,28	1,94	3,56	-				
	165	14,32	5,63	10,34	5,32	4,14	84	3,03	2,36	1,28	2,43	4,46	+	40-36	-12,32	-2,19	-1,19
	166	22,88	7,82	14,08	5,70	4,20	86	3,83	2,82	1,36	3,37	6,07	+	42-33	-8,43	-1,08	-0,60
	167	22,88	5,70	10,36	6,68	4,92	88	3,83	2,85	1,34	2,46	4,47	-				
	168	22,88	6,66	12,42	6,18	4,55	86	3,83	2,82	1,36	2,87	5,35	-				
Konstruktietype 3, talud 1:6	169	2,95	9,46	16,02	2,06	1,66	39	1,52	1,23	1,24	2,75	4,64	+	33-32	-8,43	-0,89	-0,53
	170	2,95	8,86	14,38	2,13	1,71	31	1,52	1,22	1,25	2,58	4,16	+	33-32	-8,43	-0,95	-0,59
	171	2,95	8,38	13,96	2,19	1,75	33	1,52	1,22	1,25	2,44	4,04	+	33	-8,43	-1,01	-0,60
	172	2,95	7,68	12,73	2,28	1,80	35	1,52	1,20	1,27	2,24	3,69	-				

Tabel 2.2 Schade zoeken: Egmond-spectrum

	proef	L _{op}	H _{sl}	H _{1%}	ξ _{oip}	ξ _{oiz}	r	T _p	T _z	T _p T _z	H _{sl} ΔD	H _{1%} ΔD	j ₁	j ₂	schade rijnr.	plaats schade			golfoploop		golfterugloop			
																x	$\frac{x}{H_{sl}}$	$\frac{x}{H_{1\%}}$	R _{u2%}	$\frac{R_{u2\%}}{H_{sl}}$	R _{d2%}	$\frac{R_{d2\%}}{H_{sl}}$		
Konstruktietype 1, talud 1:3	P01	21,70	7,72	10,69	5,59	4,26	82	3,73	2,84	1,31	2,71	3,76			+	36	-12,33	-1,60	-1,15					
	P02	21,70	7,72	10,69	5,59	4,26	82	3,73	2,84	1,31	2,71	3,76			(+)		-9,74	-1,26	-0,91					
	P03	21,70	8,55	12,21	5,31	3,99	81	3,73	2,80	1,33	3,01	4,30			+	29-35	-11,04	-1,29	-0,90					
	P04	21,70	8,55	12,21	5,31	3,99	81	3,73	2,80	1,33	3,01	4,30	1,49	10,26	+	33-39	-8,44	-0,99	-0,69					
	P05	15,48	5,90	8,57	5,40	3,96	76	3,15	2,31	1,36	2,08	3,02			+	33	-8,44	-1,43	-0,98					
	P06	15,48	5,90	8,57	5,40	3,96	76	3,15	2,31	1,36	2,08	3,02			+	34	-9,74	-1,65	-1,14					
	P07	15,48	5,90	8,57	5,40	3,96	76	3,96	2,31	1,36	2,08	3,02	1,48	10,14	+	38-39	-16,22	-2,75	-1,89					
	P08	6,24	5,23	8,01	3,64	2,73	54	2,00	1,50	1,35	1,84	2,82	1,35	5,51	+	29	-3,29	-0,82	-0,41					
	P09	3,06	5,77	8,58	2,43	2,08	35	1,40	1,20	1,17	2,03	3,02	1,59	9,02	+	27-31	-5,85	-1,01	-0,68					
	P10	1,99	5,84	9,56	1,95	1,81	28	1,13	1,05	1,08	2,06	3,37	1,80	10,67	+	26-31	+0,65	+0,11	+0,07					
	P11	1,99	5,84	9,58	1,96	1,81	28	1,13	1,05	1,08	2,06	3,37			+	26	+0,65	+0,11	+0,07					
	P12	1,99	5,84	9,56	1,95	1,81	28	1,13	1,05	1,08	2,06	3,37	1,69	14,07	+	26-27	+0,65	+0,11	+0,07					
P17	40,89	9,34	13,58	6,97	4,24	86	5,12	3,11	1,65	3,29	4,78	1,26	8,18	+	32-45				+29,48	+3,16	-20,20	-2,16		
P19	86,58	10,75	15,13	9,47	4,61	87	7,45	3,63	2,05	3,79	5,33	1,28	8,88	+	26-44				+35,00	+3,26	-11,50	-1,07		
P23	1,99	5,84	9,56	1,95	1,81	28	1,13	1,05	1,08	2,06	3,37	1,64	11,68	+	27	herh.	P12		+11,48	+1,98	-6,00	-1,03		
Konstruktie 2, talud 1:3	P27	2,03	5,91	10,06	1,95	1,78	33	1,14	1,04	1,10	2,55	4,24	1,79	13,67	+	30-32	-5,83	-0,99	-0,58	+11,90	+2,01	-2,25	-0,38	
	P28	6,12	5,11	8,85	3,65	2,84	64	1,98	1,54	1,29	2,20	3,81	1,40	10,63	+	31-35	-8,43	-1,65	-0,95	+13,90	+2,72	-8,00	-1,57	
	P29	3,19	5,48	9,26	2,54	2,17	45	1,43	1,22	1,17	2,36	3,99	1,56	9,57	+	31-32	-5,83	-1,06	-0,63	+14,10	+2,57	-6,00	-1,09	
	P37	14,32	6,38	12,00	4,99	3,87	82	3,03	2,35	1,29	2,75	5,17	1,88	14,23	+	35-41	-14,91	-2,34	-1,24	+18,00	+2,82	-14,10	-2,21	
	P38	22,88	7,63	14,08	5,77	4,21	86	3,83	2,79	1,37	3,29	6,07	1,24	8,69	+	38-42	-18,80	-2,46	-1,34	+20,80	+2,73	-18,40	-2,41	
Konstruktie 3, talud 1:3	P45	3,23	9,15	14,78	1,98	1,55	31	1,44			2,65	4,28	1,70	10,28	+	33	-8,43	-0,92	-0,57	+17,80	+1,95	-8,10	-0,89	

Tabel 2.3 Filmproeven: Egmond-spectrum

	proef	L_{op}	H_{si}	$H_{1\%}$	ξ_{oip}	ξ_{oiz}	r	T_p	T_z	$\frac{T_p}{T_z}$	$\frac{H_{si}}{\Delta D}$	$\frac{H_{1\%}}{\Delta D}$	schade	schade rijnr.	plaats schade		
															x	$\frac{x}{H_i}$	$\frac{x}{H_{1\%}}$
Konstruktietype 1, talud 1:3	173	1,96	5,52	8,36	1,99	1,81	28	1,12	1,02	1,10	1,94	2,94	+	30	-4,55	-0,82	-0,54
	174	1,96	4,90	7,12	2,11	1,92	31	1,12	1,02	1,10	1,73	2,51	(+)		-0,65	-0,13	-0,09
	175	1,98	6,22	9,19	1,87	1,70	27	1,12	1,02	1,10	2,19	3,24	+	25-31	-5,85	-0,94	-0,64
	176	3,60	5,56	7,99	2,68	2,28	42	1,52	1,29	1,18	1,96	2,81	(+)		-4,55	-0,82	-0,57
	177	3,60	6,27	8,89	2,53	2,14	38	1,52	1,29	1,18	2,21	3,13	+	30-31	-5,85	-0,93	-0,66
	178	5,99	4,27	6,00	3,95	3,26	61	1,98	1,62	1,21	1,50	2,11	(+)		-5,85	-1,37	-0,98
	179	5,99	5,10	7,47	3,61	3,00	59	1,96	1,63	1,20	1,80	2,63	+	31	-5,85	-1,15	-0,78
	180	5,99	5,85	8,32	3,37	2,81	55	1,96	1,63	1,20	2,06	2,92	+	30-32	-5,85	11,00	-0,70
	181	11,29	4,53	6,19	5,26	4,52	78	2,69	2,31	1,16	1,60	2,18	-				
	182	15,48	6,87	9,46	5,00	3,92	78	3,15	2,47	1,28	2,42	3,33	+	39-42	-1,622	-2,36	-1,71
	184	14,49	5,96	8,32	5,20	4,26	80	3,10	2,50	1,24	2,10	2,93	-				
	185	15,48	7,64	11,08	4,74	3,69	76	3,15	2,45	1,29	2,69	3,90	+	25-43	-11,04	-1,45	-1,00
	186	27,65	8,48	16,35	6,02	4,23	81	4,21	2,96	1,42	2,99	5,76	+	34-40	-11,04	-1,30	-0,67
	187	27,65	6,52	12,68	6,86	4,92	84	4,21	3,02	1,39	2,30	4,46	(-)				
	188	27,65	7,55	14,31	6,38	4,55	82	4,21	3,00	1,40	2,66	5,04	+	39	-16,22	-2,15	-1,13
	189	40,89	9,02	17,15	7,10	4,51	85	5,12	3,25	1,57	3,18	6,04	+	39-45	-16,22	-1,80	-0,94
	190	40,89	8,13	15,50	7,48	4,76	86	5,12	3,26	1,57	2,86	5,46	+	36-48	-27,88	-3,43	-1,80
	191	40,89	7,13	13,40	7,98	5,25	86	5,12	3,37	1,52	2,51	4,72	-				
	192	86,58	7,90	13,05	11,03	7,29	92	7,45	4,92	1,51	2,78	4,60	-				
	193	86,58	9,70	17,17	9,98	6,03	89	7,45	4,51	1,65	3,42	6,05	+	36-48	-27,88	-2,87	-1,62
	194	86,58	8,88	15,53	10,41	6,55	90	7,45	4,69	1,59	3,13	5,47	+	37	-13,63	-1,53	-0,88
Konstruktietype 2, talud 1:3	195	1,96	5,48	8,35	1,99	1,81	31	1,12	1,02	1,10	2,37	3,60	(+)	27	-0,65	-0,12	-0,08
	196	1,99	6,23	9,54	1,88	1,70	29	1,13	1,02	1,11	2,70	4,11	+	30-31	-5,83	-0,94	-0,61
	197	1,99	6,96	11,14	1,78	1,63	28	1,13	1,03	1,10	3,02	4,80	+	30-31	-5,83	-0,84	-0,52
	198	3,65	6,86	10,74	2,43	2,13	42	1,53	1,34	1,14	2,97	4,63	+	27-32	-7,13	-1,04	-0,66
	199	3,65	5,39	8,75	2,74	2,40	51	1,53	1,34	1,14	2,33	3,77	+	28-31	-5,83	-1,08	-0,67
	200	3,65	4,49	7,16	3,01	2,63	56	1,53	1,34	1,14	1,95	3,09	+	31	-5,83	-1,30	-0,81
	201	3,65	3,67	5,57	3,33	2,91	61	1,53	1,34	1,13	1,59	2,40	-				
	202	6,05	4,78	8,35	3,75	3,20	67	1,97	1,68	1,17	2,07	3,60	+	30-33	-7,13	-1,49	-0,85
	203	6,05	3,95	7,16	4,13	3,52	71	1,97	1,68	1,17	1,71	3,09	+	32	-7,13	-1,81	-1,00
	204	6,05	2,97	5,57	4,76	4,06	74	1,97	1,68	1,17	1,29	2,40	-				
	205	13,85	6,41	11,53	4,90	4,19	84	2,98	2,55	1,17	2,78	4,97	(+)	32	-7,13	-1,11	-0,62
	206	13,85	6,88	11,67	4,73	3,97	84	2,98	2,50	1,19	2,98	5,03	(+)	41-42	-20,10	-2,92	-1,72
	207	13,85	7,63	13,28	4,49	3,77	82	2,98	2,50	1,19	3,31	5,72	+	32-44	-20,10	-2,63	-1,51
	208	23,48	8,31	16,19	5,60	4,23	86	3,88	2,93	1,32	3,60	6,98	+	34-43	-21,39	-2,57	-1,32
	209	23,48	6,03	11,21	6,58	5,04	87	3,88	2,97	1,31	2,61	3,84	(-)				
	210	23,48	7,22	14,12	6,01	4,57	86	3,88	2,95	1,32	3,13	6,09	+	41-43	-23,99	-3,32	1,70
	211	22,88	7,89	11,21	5,68	4,36		3,83	2,94	1,30	3,42	4,83					

Tabel 3.1 Schade zoeken: Jonswap-spectrum

	proef	L _{op}	H _{si}	H _{1%}	ξ _{oip}	ξ _{oiz}	r	T _p	T _z	$\frac{T_p}{T_z}$	$\frac{H_{si}}{\Delta D}$	$\frac{H_{1\%}}{\Delta D}$	schade	schade rijnr.	plaats schade		
															x	$\frac{x}{H_i}$	$\frac{x}{H_{1\%}}$
Konstruktietype 2, talud 1:3	262	1,59	6,98	10,40	1,59	1,35	28	1,01	0,86	1,17	3,01	4,48	-				
	263	1,59	7,70	11,37	1,52	1,32	25	1,01	0,88	1,15	3,32	4,90	+	30	-4,54	-0,59	-0,40
	264	1,59	8,29	12,19	1,46	1,27	26	1,01	0,88	1,15	3,57	5,25	+	29-30	-3,24	-0,39	-0,27
	265	2,03	5,60	8,78	2,01	1,60	34	1,14	0,91	1,25	2,41	3,78	-				
	266	2,03	6,48	10,08	1,86	1,50	31	1,14	0,92	1,24	2,79	4,34	-				
	267	2,03	7,36	11,37	1,75	1,43	29	1,14	0,93	1,23	3,17	4,90	+	29	-3,24	-0,44	-0,28
	268	2,03	8,14	12,51	1,66	1,37	26	1,14	0,94	1,21	3,51	5,39	+	28-30	-1,94	-0,24	-0,16
	269	15,68	5,19	9,59	5,79	4,20	89	3,17	2,30	1,38	2,23	4,13	-				
	270	15,68	6,10	11,21	5,34	3,84	88	3,17	2,28	1,39	2,63	4,83	+	38	-14,91	-2,44	-1,33
	271	15,68	6,91	12,68	5,02	3,61	87	3,17	2,28	1,39	2,98	5,47	+	31	-5,83	-0,84	-0,46

Tabel 3.1 Vervolg schade zoeken: Jonswap-spectrum

	proef	L _{op}	H _{si}	H _{1%}	ξ _{oip}	ξ _{oiz}	r	T _p	T _z	$\frac{T_p}{T_z}$	$\frac{H_{si}}{\Delta D}$	$\frac{H_{1\%}}{\Delta D}$	schade	schade rijnr.	plaats schade		
															x	$\frac{x}{H_i}$	$\frac{x}{H_{1\%}}$
Konstruktie 3, talud 1:3	212	3,70	7,28	11,08	2,38	2,01	39	1,54	1,30	1,18	2,12	3,21	(-)				
	213	3,70	8,71	13,15	2,17	1,83	34	1,54	1,30	1,18	2,54	3,81	(-)				
	214	3,70	10,18	15,20	2,01	1,70	30	1,54	1,30	1,18	2,96	4,40	(+)	32-34	-9,72	-0,95	-0,64
	215	3,70	9,42	13,98	2,09	1,76	32	1,54	1,30	1,18	2,74	4,05	(+)	33	-8,43	-0,89	-0,60
Konstruktietype 1, talud 1:6	216	2,03	5,50	8,20	1,01	0,90	14	1,14	1,00	1,14	1,95	2,89	(-)				
	217	2,03	6,84	10,67	0,91	0,81	14	1,14	1,01	1,13	2,43	3,76	(+)	13	-5,06	-0,73	-0,47
	218	2,03	6,16	9,84	0,96	0,85	12	1,14	1,01	1,13	2,19	3,46	(+)	13	-5,06	-0,81	-0,51
	219	2,03	7,53	12,31	0,86	0,77	13	1,14	1,01	1,13	2,67	4,33	(+)	12-14	-5,06	-0,67	-0,41
	220	2,03	8,04	12,71	0,84	0,74	13	1,14	1,02	1,13	2,86	4,48	+	9-15	-4,38	-0,54	-0,34
	221	3,60	6,00	9,02	1,29	1,06	14	1,52	1,25	1,22	2,14	3,18	(+)	12-16	-4,38	-0,73	-0,49
	222	3,60	4,48	6,56	1,49	1,23	15	1,52	1,26	1,21	1,59	2,31	(+)	11-14	-3,71	-0,83	-0,57
	223	3,60	2,84	4,10	1,88	1,54	19	1,52	1,26	1,21	1,02	1,44	-				
	224	3,60	3,67	4,92	1,65	1,36	16	1,52	1,25	1,22	1,31	1,73	-				
	225	6,12	3,77	5,32	2,12	1,70	23	1,98	1,59	1,25	1,36	1,87	(-)				
	226	6,12	4,49	6,56	1,95	1,56	21	1,98	1,58	1,25	1,62	2,31	(+)	12-14	-5,73	-1,28	-0,87
	227	15,09	2,95	4,94	3,77	3,01	54	3,11	2,46	1,26	1,18	1,74	-				
	228	15,09	4,40	6,56	3,09	2,46	47	3,11	2,49	1,25	1,71	2,31	+	16-20	-7,75	-1,76	-1,18
	229	15,09	3,71	5,74	3,36	2,68	50	3,11	2,48	1,25	1,46	2,02	+	18	-8,43	-2,27	-1,47
	230	26,35	4,02	6,98	4,27	3,33	65	4,11	3,22	1,28	1,69	2,46	-				
	231	26,35	4,87	8,20	3,88	3,03	62	4,11	3,22	1,28	2,02	2,89	+	21	-10,45	-2,15	-1,27
	232	26,35	5,59	9,84	3,62	2,83	60	4,11	3,21	1,28	1,94	3,46	+	4-25	-9,77	-1,75	-0,99

Tabel 3.2 Schade zoeken: Jonswap-spectrum

	proef	L _{op}	H _{si}	H _{1%}	ξ _{oip}	ξ _{oiz}	r	T _p	T _z	T _p T _z	H _{si} ΔD	H _{1%} ΔD	J ₁	J ₂	schade rijnr.	plaats schade			golfoploop		golfterugloop		
																x	$\frac{x}{H_{si}}$	$\frac{x}{H_{1\%}}$	R _{u2%}	$\frac{R_{u2\%}}{H_{si}}$	R _{d2%}	$\frac{R_{d2\%}}{H_{si}}$	
Konstruktietype 1, talud 1:3	P13	1,96	6,22	9,19	1,87	1,70	27	1,12	1,02	1,10	2,19	3,24	1,68	12,49	+	30-31	-5,85	-0,94	-0,64				
	P14	3,60	6,27	8,89	2,53	2,13	38	1,52	1,28	1,19	2,21	3,13	1,65	12,70	+	28-31	-5,85	-0,93	-0,66				
	P15	5,99	5,85	8,32	3,37	2,81	55	1,96	1,63	1,20	2,06	2,93	1,55	11,60	+	30-35	-5,85	-1,00	-0,70				
	P16	15,48	7,64	11,06	4,74	3,67	76	3,15	2,44	1,29	2,69	3,89	1,78	12,84	+	31-41				+19,10	+2,50	-22,08	-2,89
	P20	27,65	8,48	16,35	6,02	4,22	81	4,21	2,95	1,43	2,99	5,76	1,66	13,11	+	39-48				+24,00	+2,83	-21,00	-2,48
	P21	40,89	9,02	17,15	7,10	4,54	85	5,12	3,27	1,57	3,18	6,04	1,22	8,15	+	38-44				+22,80	+2,53	-21,30	-2,38
	P22	86,58	9,70	17,17	9,96	5,63	89	7,45	4,21	1,77	3,42	6,05	1,37	8,85	+	38-41				+30,00	+3,09	-18,20	-1,88
Konstruktietype 2, talud 1:3	P24	1,99	6,86	11,27	1,80	1,64	28	1,13	1,03	1,10	2,96	4,86	1,64	12,14	+	30-31	-5,83	-0,85	-0,52	+12,40	+1,81	-4,10	-0,60
	P25	3,65	5,07	8,05	2,83	2,44	51	1,53	1,32	1,16	2,19	3,47	1,81	13,42	+	31-32	-5,83	-1,15	-0,72	+12,40	+2,45	-6,05	-1,19
	P26	6,12	4,91	8,85	3,72	3,18	67	1,98	1,69	1,17	2,12	3,81	1,47	11,09	+	30-35	-9,72	-1,98	-1,10	+14,10	+2,87	-8,50	-1,73
	P35	22,88	8,04	16,62	5,62	4,30	86	3,83	2,93	1,31	3,47	7,16	1,28	8,05	+	35-40	-17,50	-2,17	-1,05	+22,20	+2,67	-19,50	-2,42
	P36	13,85	7,41	12,42	4,56	3,73	81	2,98	2,44	1,22	3,20	5,35	1,54	11,21	+	32-42	-11,02	-1,49	-0,89	+21,10	+2,85	-17,00	-2,29
Konstruktietype 3, talud 1:3	P44	3,70	10,13	15,22	2,01	1,70	30	1,54	1,30	1,18	2,93	4,41	1,72	12,91	+	32-33	-7,13	-0,70	-0,47	+20,40	+2,01	-8,70	-0,86
Konstruktietype 1, talud 1:6	P46	2,03	7,44	11,89	0,87	0,78	13	1,14	1,02	1,13	2,62	4,19	1,62	12,09	+	12-16	-4,38	-0,59	-0,37	+6,55	+0,88	-1,90	-0,26
	P47	3,60	5,29	7,38	1,38	1,14	14	1,52	1,26	1,21	1,86	2,60	1,59	11,63	+	15	-5,73	-1,08	-0,78	+6,50	+1,23	-2,00	-0,38
	P48	6,12	4,55	6,56	1,93	1,55	21	1,98	1,59	1,25	1,60	2,31	1,53	10,04	+	13-14	-5,73	-1,26	-0,87	+7,60	+1,67	-3,00	-0,66
	P54	15,09	4,53	6,57	3,04	2,41	46	3,11	2,46	1,26	1,60	2,31	1,67	12,75	+	17-19	-7,75	-1,71	-1,18	+11,10	+2,45	-6,10	-1,35
	P55	27,65	5,59	9,45	3,71	2,84	59	4,21	3,23	1,30	1,97	3,33	1,49	11,52	+	20-25	-9,77	-1,75	-1,03	+15,85	+2,84	-10,35	-1,85

Tabel 3.3 Filmproeven: Jonswap-spectrum

Constr. type	Taludhelling	Belastingtype		
		Regelmatig	Egmond spectrum	Jonswap spectrum
1	1:3	<ul style="list-style-type: none"> • <u>P4B</u> (1) • <u>P2C</u> (2) • <u>P2D</u> (3) + <u>P3E</u> (4) <u>P4F</u> o <u>P5F</u> (5) 	<ul style="list-style-type: none"> P001 P002 P003 o <u>P004(6)</u> <u>P005</u> P006 o <u>P007(7)</u> • <u>P008(8)</u> • <u>P009</u> (9) <u>P010</u> P011 P012 o <u>P017(10)</u> o <u>P019(11)</u> • <u>P023</u> 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>P013</u> (12) • <u>P014</u> (13) • <u>P015</u> (14) o <u>P016</u> (15) o <u>P020</u> (16) o <u>P021</u> (17) o <u>P022</u> (18)
2	1:3	<ul style="list-style-type: none"> ▽ <u>P030</u> (19) ▽ <u>P031</u> (20) ▽ <u>P032</u> (21) ▽ <u>P033</u> (22) ▽ <u>P034</u> (23) 	<ul style="list-style-type: none"> ▽ P027 ▽ P028 ▽ P029 ▽ P037 ▽ P038 	<ul style="list-style-type: none"> ▽ P024 ▽ P025 ▽ P026 ▽ P035 ▽ P036
3	1:3	<ul style="list-style-type: none"> ▽ P039 ▽ <u>P040</u> (24) ▽ <u>P041</u> (25) ▽ <u>P042</u> (26) ▽ <u>P043</u> (27) 	<ul style="list-style-type: none"> Δ P045 	<ul style="list-style-type: none"> Δ P044
1	1:6	<ul style="list-style-type: none"> Δ P049 Δ P050 Δ P051 x P052 x P053 		<ul style="list-style-type: none"> Δ P046 Δ P047 Δ P048 x P054 x P055
2	1:6	<ul style="list-style-type: none"> Δ <u>P056</u> (28) Δ <u>P057</u> (29) Δ <u>P058</u> (30) x <u>P059</u> (31) x <u>P060</u> (32) 		

- onderstreepte proeven zijn uitgewerkt
- •, o, x, etc. geven de proeven met overeenkomstige posities drukopnemers aan.
- () geeft de figuur aan met de drukverdelingen langs het talud
- constructietype 1: blokken 37 x 37 x 20 mm³, Δ = 1,36, op grof grind
- constructietype 2: blokken 40 x 40 x 20 mm³, Δ = 1,16, op fijn grind
- constructietype 3: blokken 40 x 40 x 20 mm³, Δ = 1,73, op grof grind

Tabel 4 Overzicht uitwerking van de filmproeven

regelmatige golven											
konstruktie/ talud	1			2		3		1		2	
	1:3			1:3		1:3		1:6		1:6	
proefnummer	4B,2C,2D	3E	5F	30,31,32	33,34	39,40	41,42,43	49,50,51	52,53	56,57,58	59,60
rijnummer											
1											
2											
3								11-1		11-1	
4											
5			16-6					12-2		12-2	
6								11-1			11-1
7								13-3		13-3	
8											
9								14-4	12-2	14-4	12-2
10											
11			17-7		10-1	10-1		15-5		15-5	
12								13-3			13-3
13								16-6		16-6	
14											
15								17-7	14-4	17-7	14-4
16											
17			18-8		11-2	11-2		18-8		18-8	
18								15-5			15-5
19								19-9		19-9	
20											
21	16-6								16-6		16-6
22											
23	17-7		19-9	10-1	12-3	12-3	10-1				
24								17-7			17-7
25	18-8	16-6		11-2			11-2				
26											
27	19-9	17-7		12-3			12-3		18-8		18-8
28	20-10			13-4			13-4				
29	21-11	18-8	20-10	14-5	13-4	13-4	14-5				
30								19-9			19-9
31	22-12	19-9		15-6			15-6				
32		20-10									
33	23-13	21-11		16-7			16-7				
34											
35	24-14	22-12	21-11	17-8	14-5	14-5	17-8				
36											
37	25-15	23-13		18-9			18-9				
38											
39		24-14									
40											
41		25-15	22-12		15-6	15-6					
42											
43											
44											
45											
46											
47			23-13		16-7	16-7					
48											
49											
50											
51											
52											
53			24-14		17-8	17-8					
54											
55											
56											
57											
58											
59											
60			25-15		18-9	18-9					

In deze tabel zijn de nummers van de drukopnemers aangegeven waarmee de druk op de steenzetting respectievelijk de druk onder de steenzetting werden gemeten.

Tabel 5 Overzicht posities drukopnemers in de filmproeven

onregelmatige golven														
Egmond		JONSWAP		Egmond		JONSWAP		gem. JONSWAP		JONSWAP		type spectrum		
1		1		2		2		3	3	1		konstruktie/		
1:3		1:3		1:3		1:3		1:3	1:3	1:6		talud		
4,7,17,19	8,9,23	13,14,15	16,20,21,22	27,28,29	37,38	24,25,26	35,36	45	44	46,47,48	54,55	proefnummer		
16-6			16-6							11-1	11-1	rijnummer		
										12-2		1		
										13-3		2		
										14-4		3		
17-7			17-7		10-1		10-1			15-5	12-2	4		
										16-6		5		
										17-7		6		
										18-8		7		
18-8			18-8		11-2		11-2			18-8	15-5	8		
										19-9		9		
												10		
												11		
19-9	16-6	16-6	19-9	10-1	12-3	10-1	12-3				16-6	12		
	17-7	17-7										13		
	18-8	18-8										14		
	19-9	19-9										15		
20-10	20-10	20-10	20-10		13-4	14-5	13-4	14-5	14-5		17-7	16		
	21-11	21-11										17		
												18		
												19		
21-11	22-12	22-12	21-11		14-5	17-8	14-5	17-8	17-8		18-8	20		
	23-13	23-13										21		
	24-14	24-14										22		
	25-15	25-15										23		
22-12			22-12		15-6		15-6				19-9	24		
														25
														26
														27
23-13			23-13		16-7		16-7				20-10	28		
														29
														30
														31
24-14			24-14		17-8		17-8				21-11	32		
														33
														34
														35
25-15			25-15		18-9		18-9				22-12	36		
														37
														38
														39
					15-6		15-6				23-13	40		
														41
														42
														43
					16-7		16-7				24-14	44		
														45
														46
														47
					17-8		17-8				25-15	48		
														49
														50
														51
					18-9		18-9					52		
														53
														54
														55
												56		
														57
														58
														59
												60		

In deze tabel zijn de nummers van de drukopnemers aangegeven waarmee de druk op de steenzetting respectievelijk de druk onder de steenzetting werden gemeten.

Tabel 5 (vervolg)

Overzicht	Constructietypen			
Type nr.	1	2	3	
Blokafmetingen	37x37x20	40x40x20	40x40x20	mm ³
Massadichtheid	2.424	2.160	2.726	kg/m ³
e.g.-component lood- recht op talud				
1:3	0,446	0,398	0,503	kN/m ²
1:6	0,463	0,414	0,523	kN/m ²
openheid talud	19	5	19	%
filterdikte	15	15	25	mm
grind	grof	fijn	grof	-

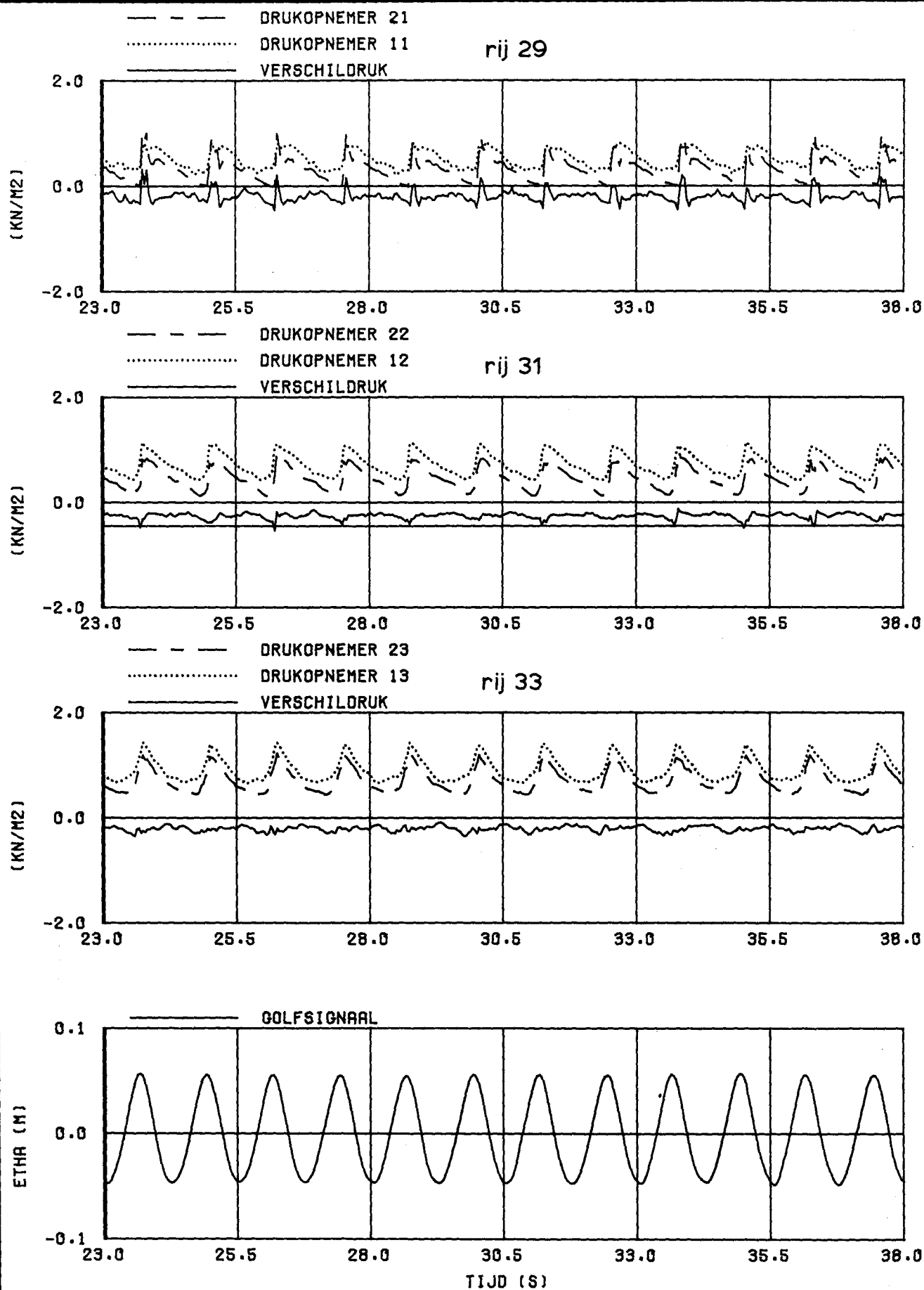
Tabel 6 Overzicht constructietypen

Proef	Constr. type	Taludhelling	Belasting	$\xi_{o,i(p)}$	Schade		Waargenomen mechanisme		Opmerkingen
					Plaats (rij)	Mechanisme	Plaats (rij)	Mechanisme	
P4B	1	1:3	regelm.	1.7	31	c	31,28	e, f, g	waargenomen schade in rij 31 niet uit verschildrukken af te leiden CMV in rij 53 (CMV = constant maximum in verschildruk) CMV in rij 53
P2C	1	1:3	regelm.	2.3	30-32	c			
P2D	1	1:3	regelm.	3.0	33	c	33	h	
P3E	1	1:3	regelm.	3.5	31	?	39-37	c	
P5F	1	1:3	regelm.	4.0	25?	?	52	b	CMV in rij 53 CMV in rij 53
P004	1	1:3	Egmond	5.3	33	c	53	b	
P007	1	1:3	Egmond	5.4	39	?	53,35	b,c (resp.)	
P008	1	1:3	Egmond	3.6	29	c,g,h			
P009	1	1:3	Egmond	2.4	31	c,g			CMV in rij 53 CMV in rij 51, omvangrijke schade niet uit verschildrukken te verklaren
P017	1	1:3	Egmond	7.0	32	?	53	b	
P019	1	1:3	Egmond	9.5	26 (twijfel)	?	51	b	
P013	1	1:3	Jonswap	1.9	31	c			
P014	1	1:3	Jonswap	2.5	31	c	31	e,f	CMV in rij 53 CMV in rij 53 CMV in rij 53
P015	1	1:3	Jonswap	3.4	31	c,h			
P016	1	1:3	Jonswap	4.7	31	?			
P020	1	1:3	Jonswap	6.0	39	c	53	b	
P021	1	1:3	Jonswap	7.1	40	c,h	53	b	CMV in rij 52
P022	1	1:3	Jonswap	10.0	39	e in 41	53	b	
P030	2	1:3	regelm.	2.0	31	c		b,a,h	
P031	2	1:3	regelm.	2.4	30	c,e in 31	27	b	
P032	2	1:3	regelm.	3.4	33	c,h			mogelijk schade in rij 18 i.p.v. 19
P033	2	1:3	regelm.	3.6	41	c,h			
P034	2	1:3	regelm.	4.7	44	c	41	g	
							44	h	
P040	3	1:3	regelm.	2.5	33	?	49 à 50	e,f,g	
							29,35,41	e,g	
P041	3	1:3	regelm.	2.3	34	c			
P042	3	1:3	regelm.	1.7	33	b,e,f	29	c	
P043	3	1:3	regelm.	1.3	32	c	27,28,29	e,f,g	
P056	2	1:6	regelm.	1.0	10	c,b			
P057	2	1:6	regelm.	1.3	11	c,g			
P058	2	1:6	regelm.	1.8	13	b,c,e,f			
P059	2	1:6	regelm.	2.4	19	c			
P060	2	1:6	regelm.	3.1	23	?	15-24	b,c	

Tabel 7 Overzicht opgetreden schademechanismen

DE FIGUREN 1 T/M 32 ZIJN AFGEWERKT OP
A 3-FORMAAT EN ZIJN OM DIE REDEN
OPGENOMEN IN BAND B VAN DIT VERSLAG

DRUKVERDELINGEN OP TALUD		
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 1881	FIG.1t/m32



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
RONDOM SCHADETIJDSTIP

P4B

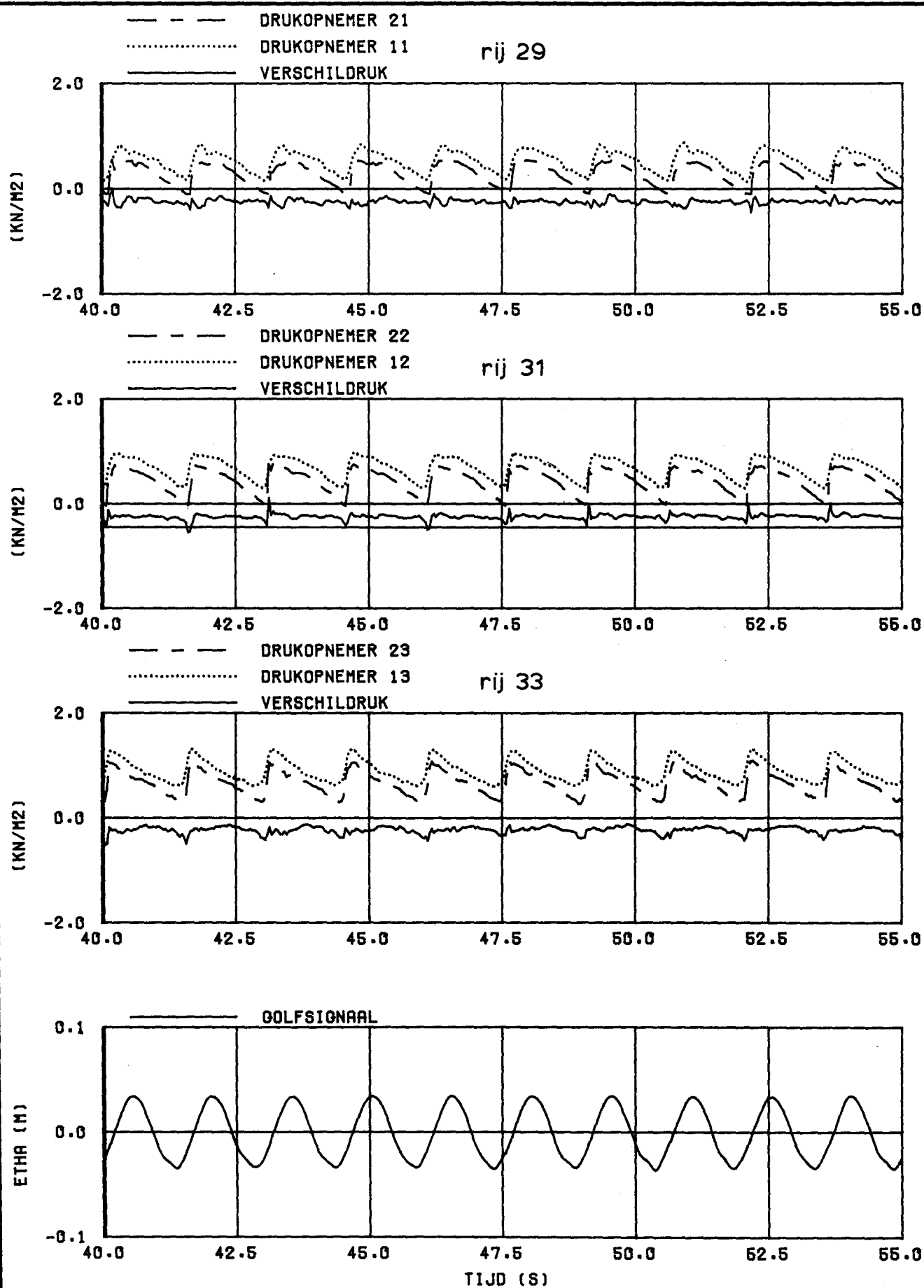
REGELMATIGE
GOLVEN

CONSTR. 1 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 33



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
RONDOM SCHADETIJDSTIP

P2C

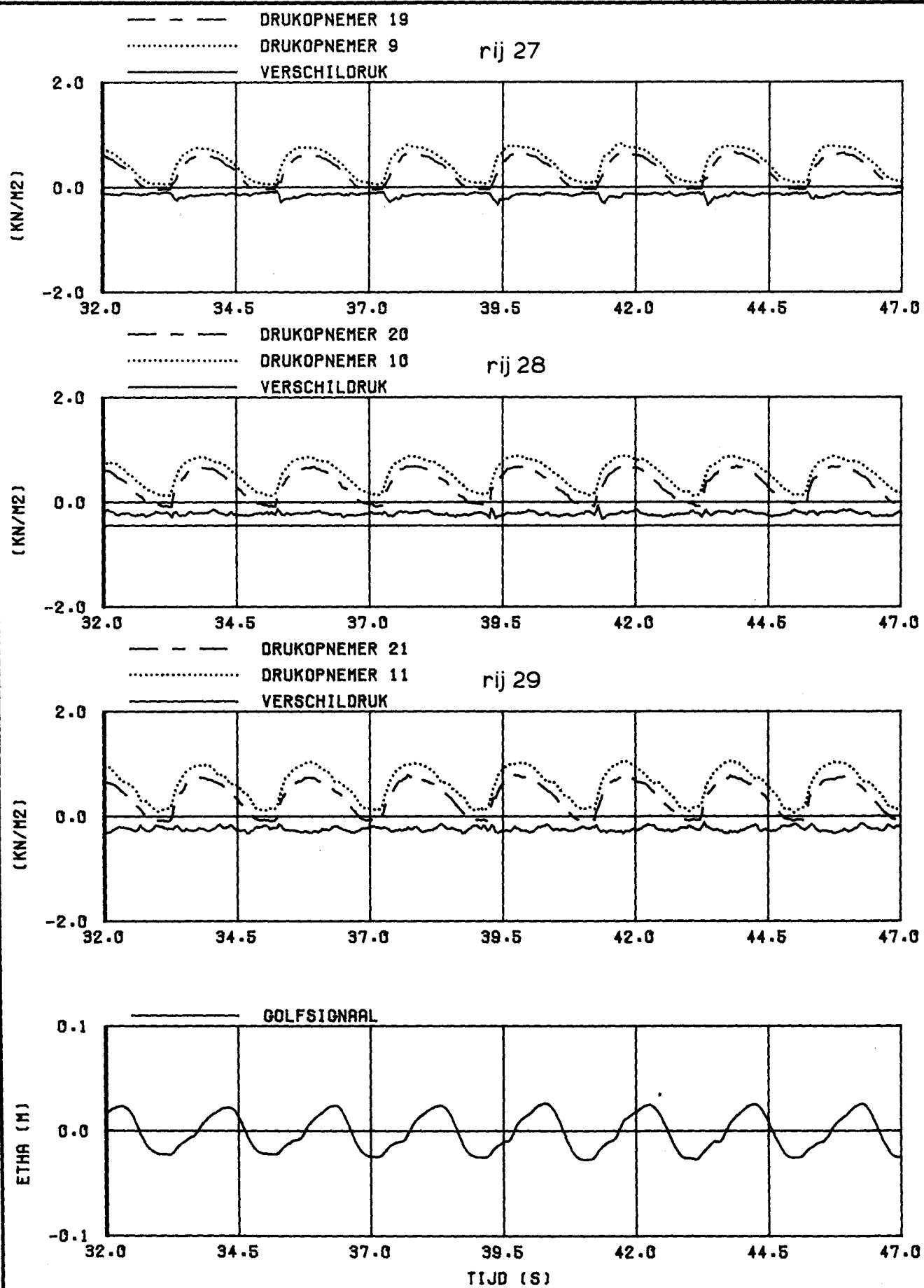
REGELMATIGE
GOLVEN

CONSTR. 1 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 34



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P2D

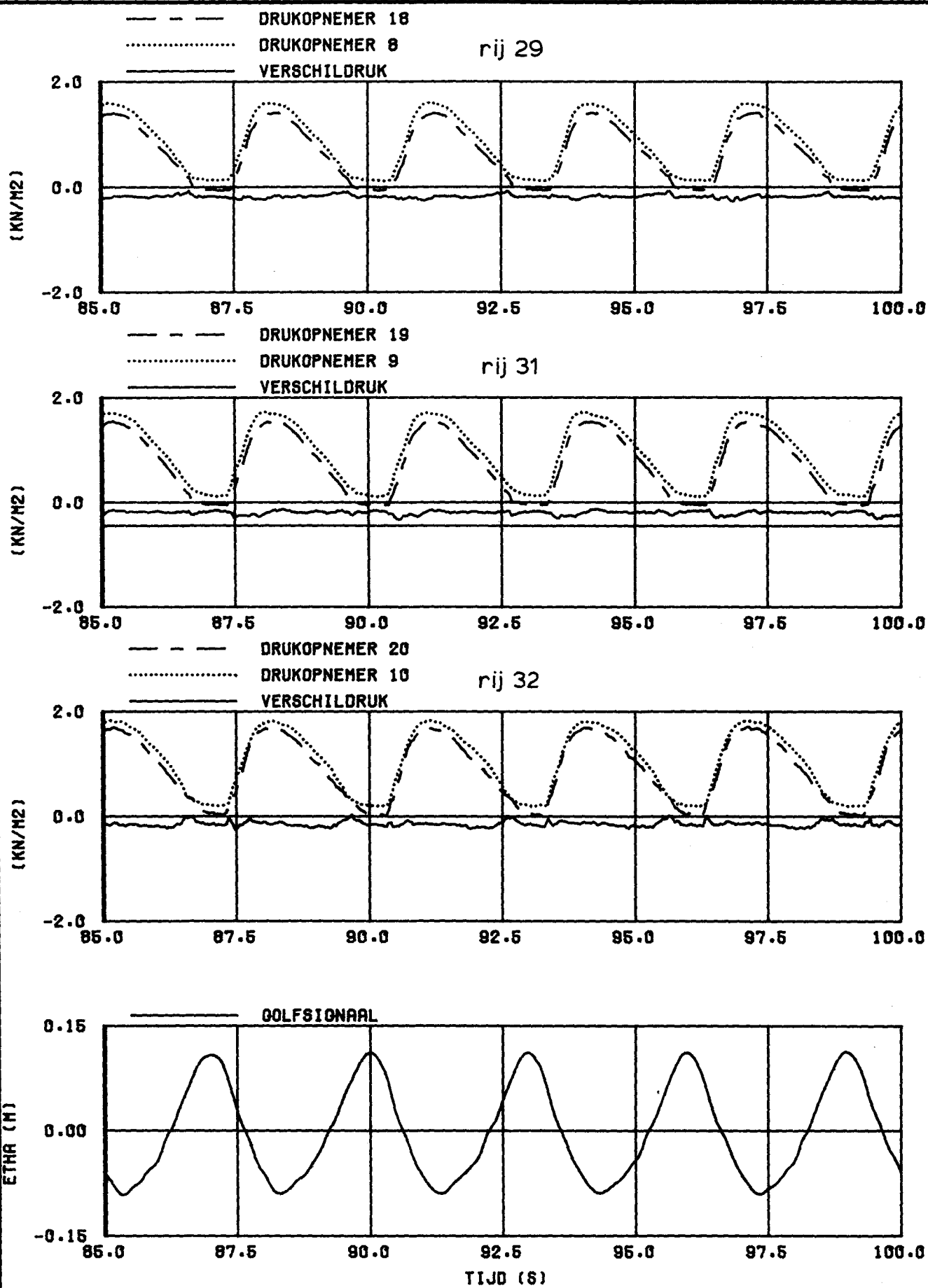
REGELMATIGE
 GOLVEN

CONSTR. 1 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 35



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
RONDOM SCHADETIJDSTIP

P3E

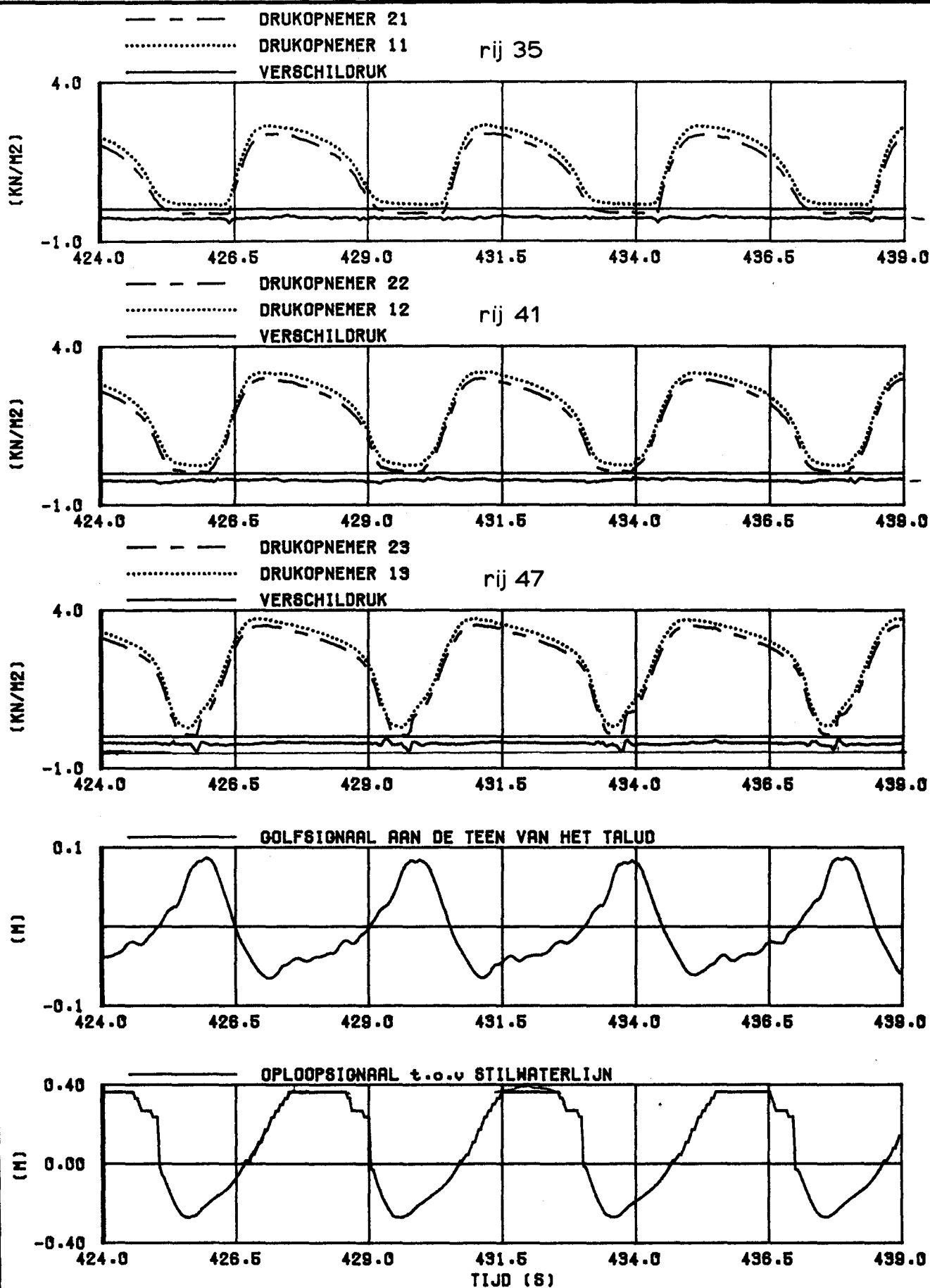
REGELMATIGE
GOLVEN

CONSTR. 1 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 36



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P5F

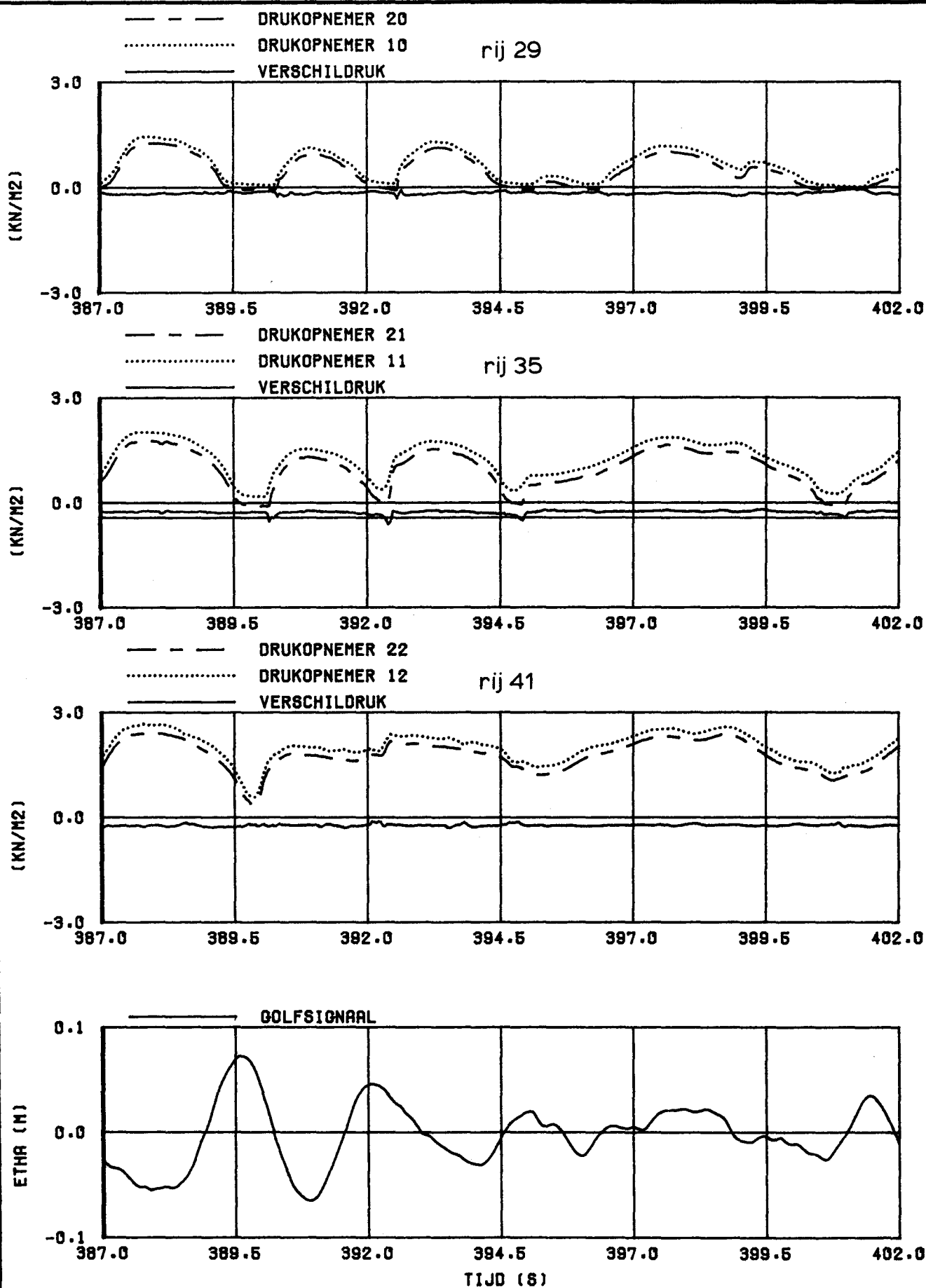
REGELMATIGE
 GOLVEN

CONSTR. 1 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 37



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P004

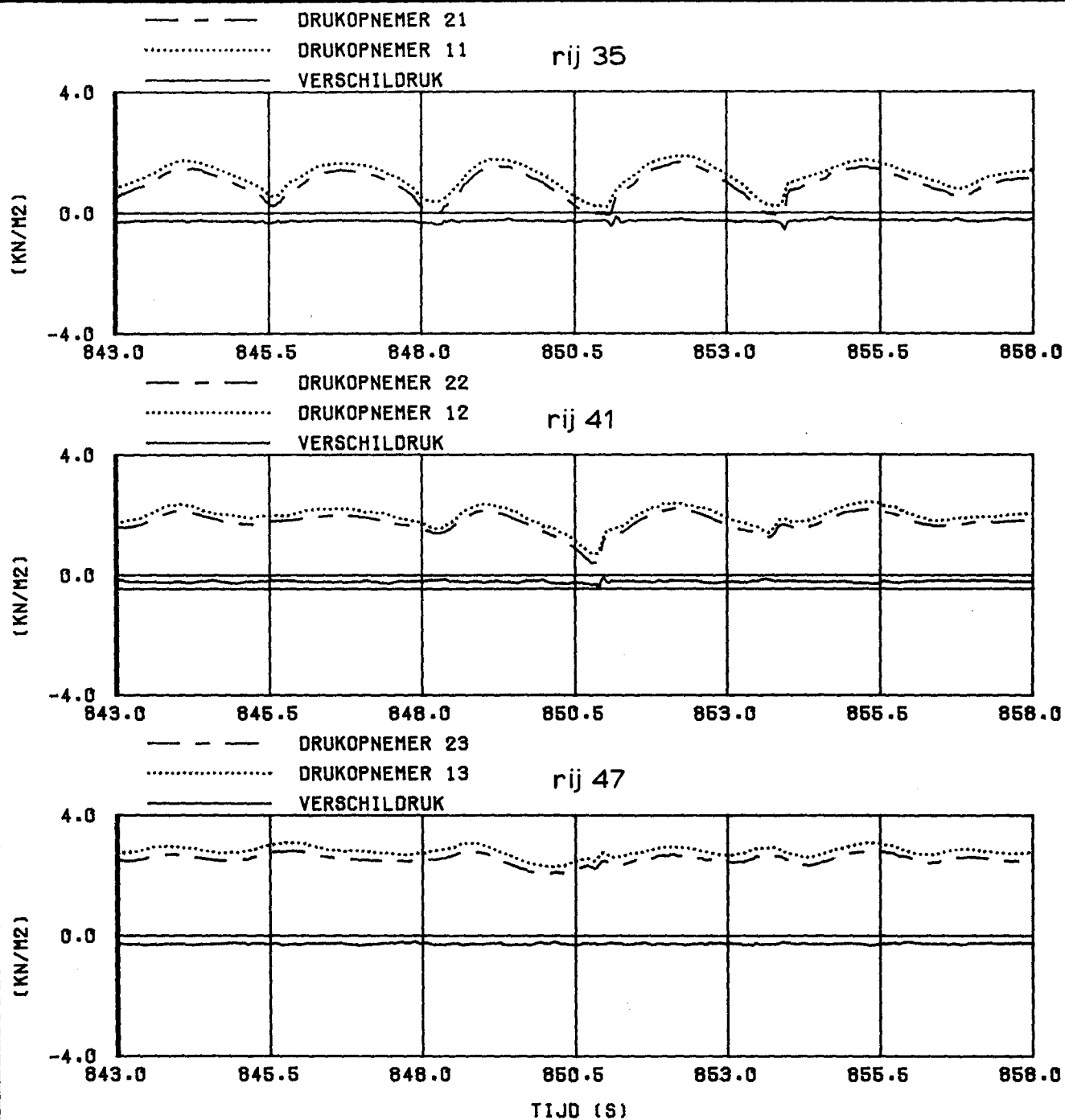
EGMOND

CONSTR. 1 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 38



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P007

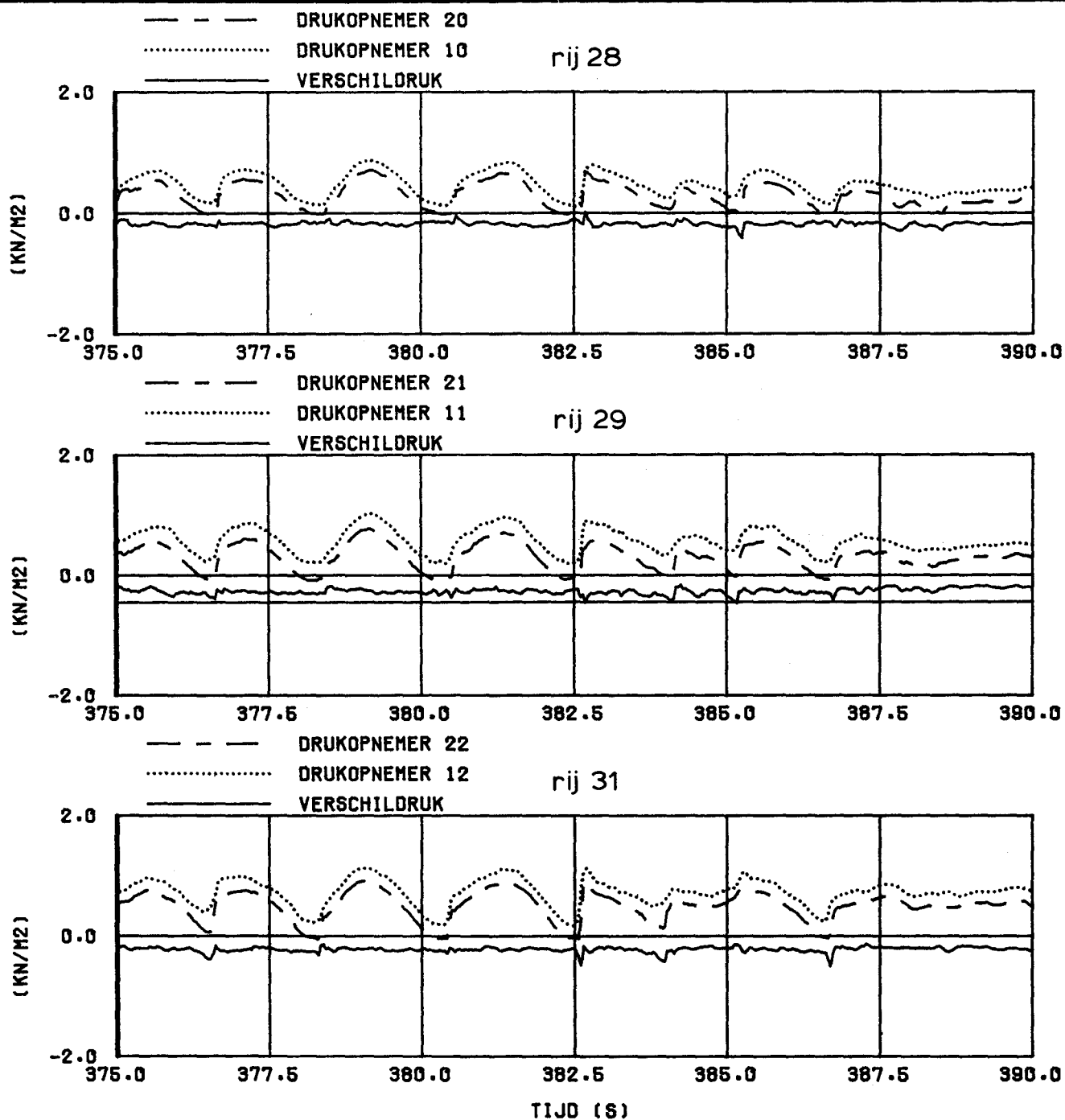
EGMOND

CONSTR. 1 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 39



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
RONDOM SCHADETIJDSTIP

P008

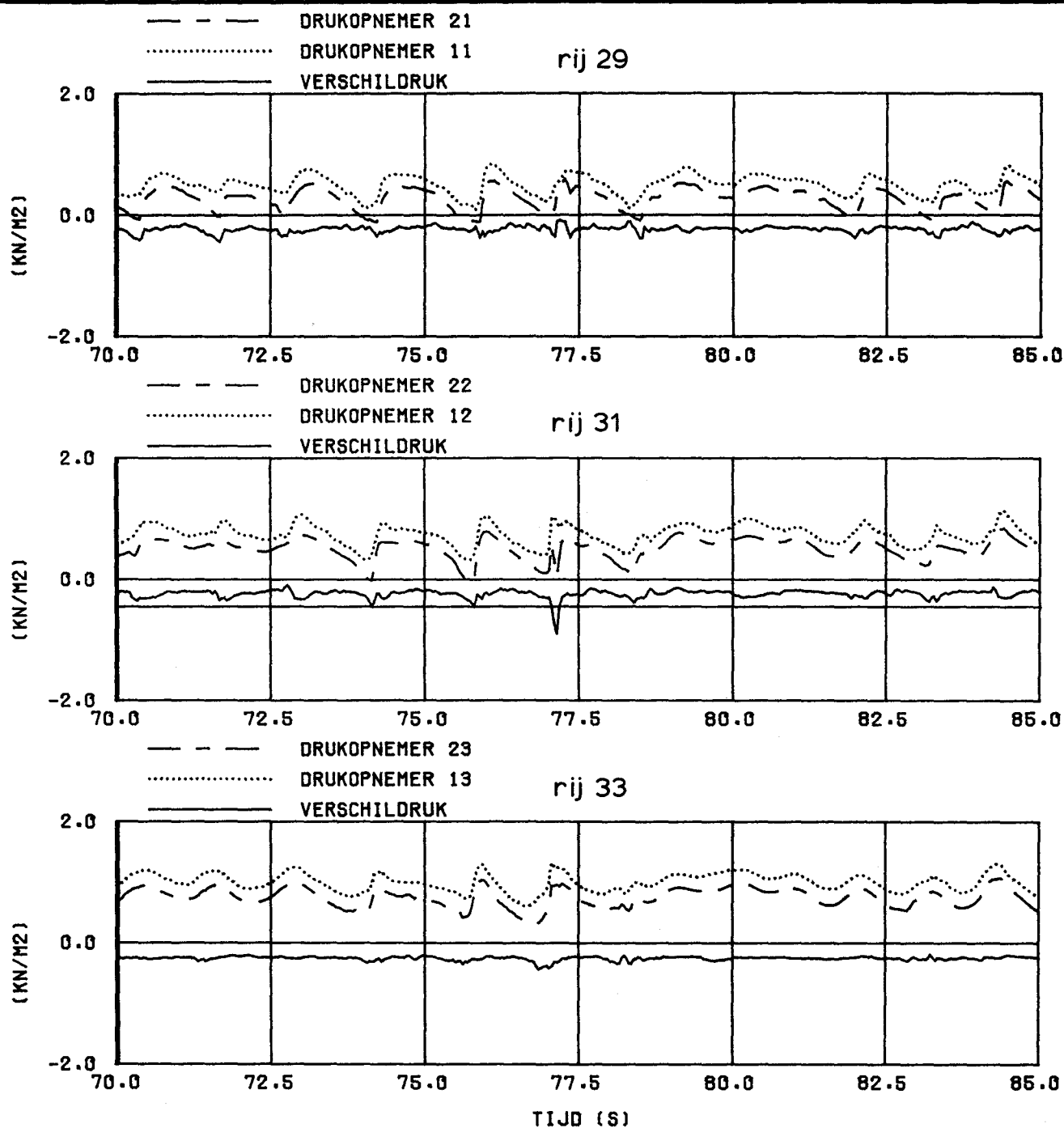
EGMOND

CONSTR. 1 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 40



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P009

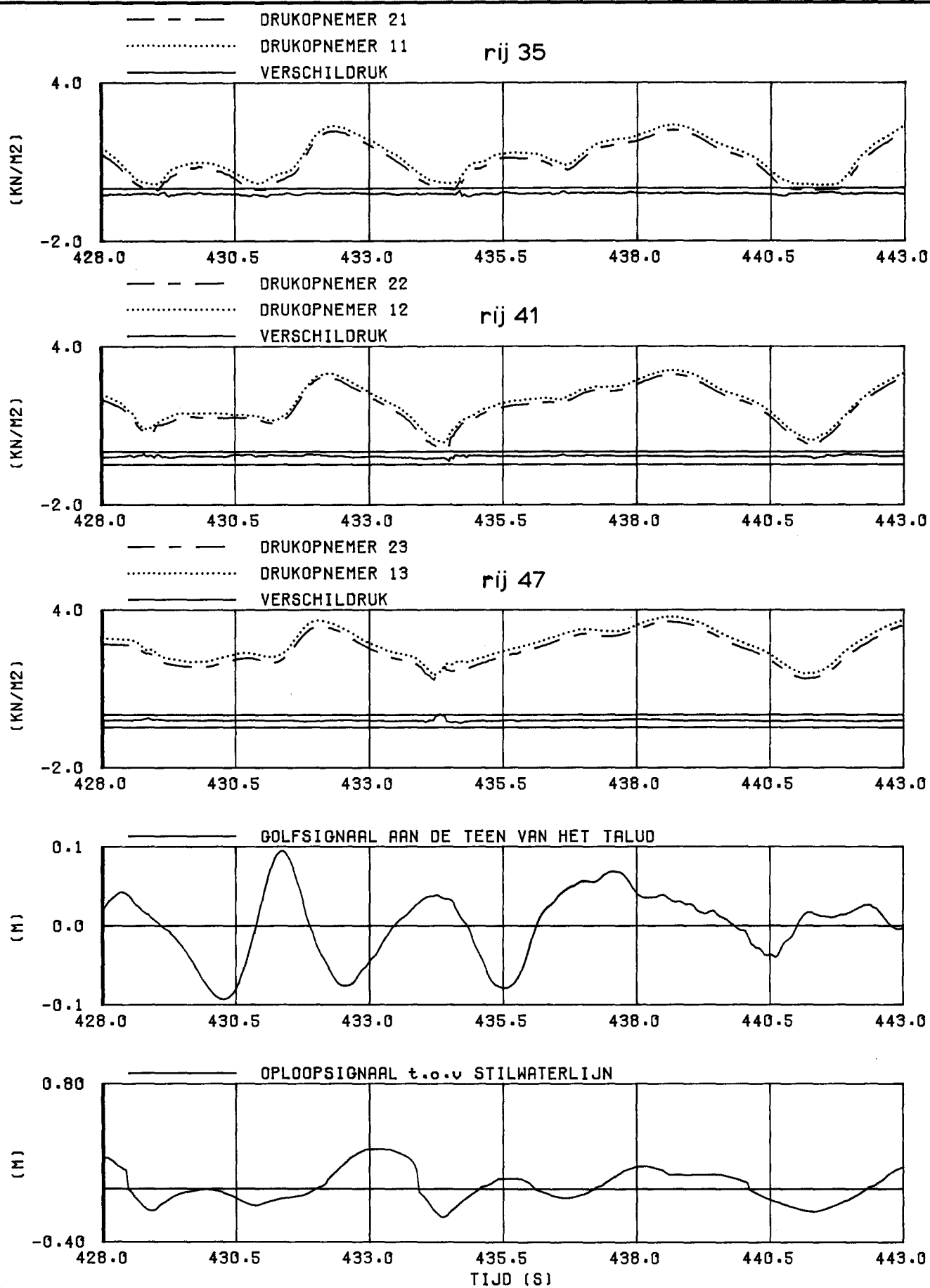
EGMOND

CONSTR. 1 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 41



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
RONDOM SCHADETIJDSTIP

P017

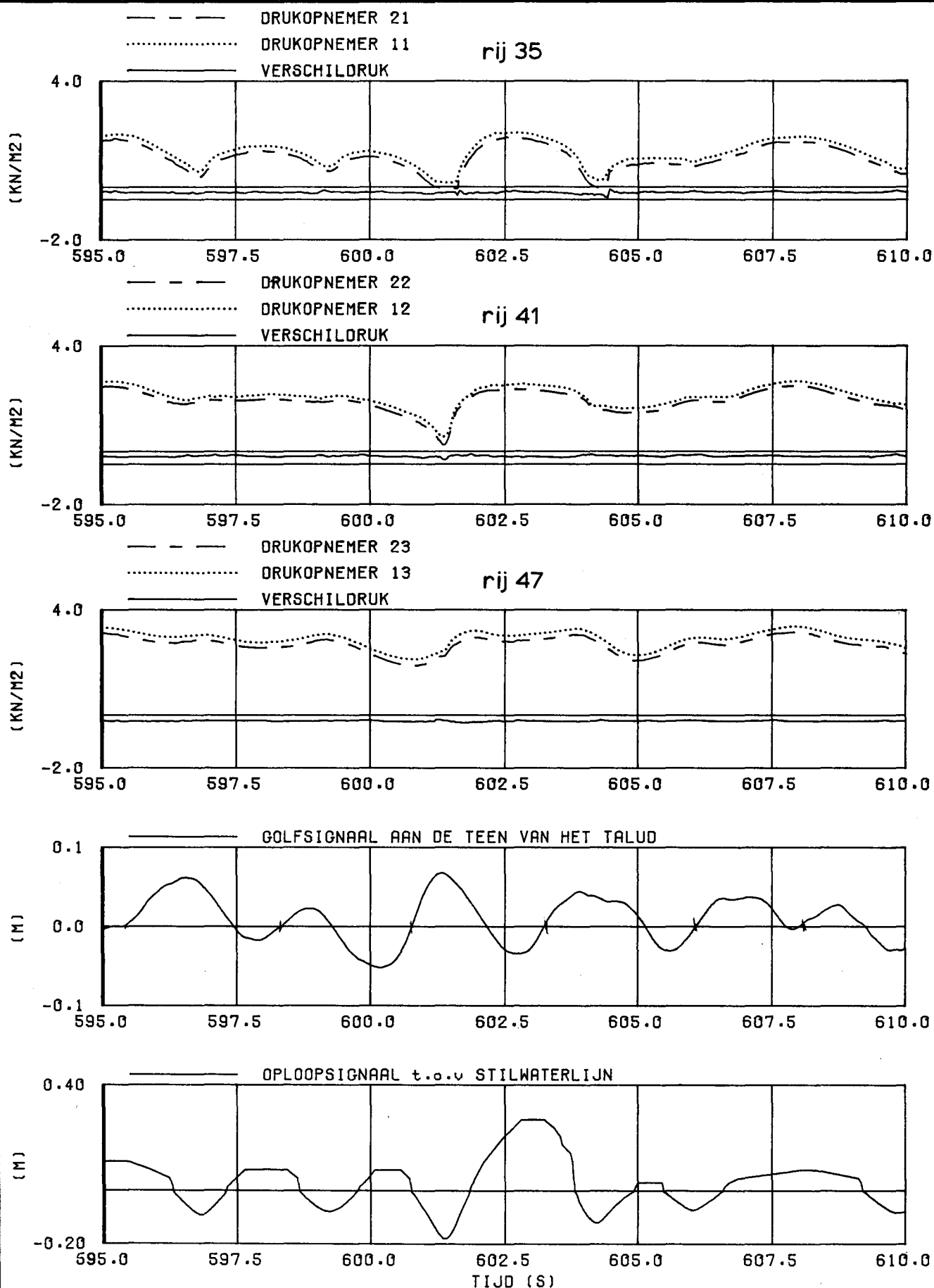
EGMOND

CONSTR. 1 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 42



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P019

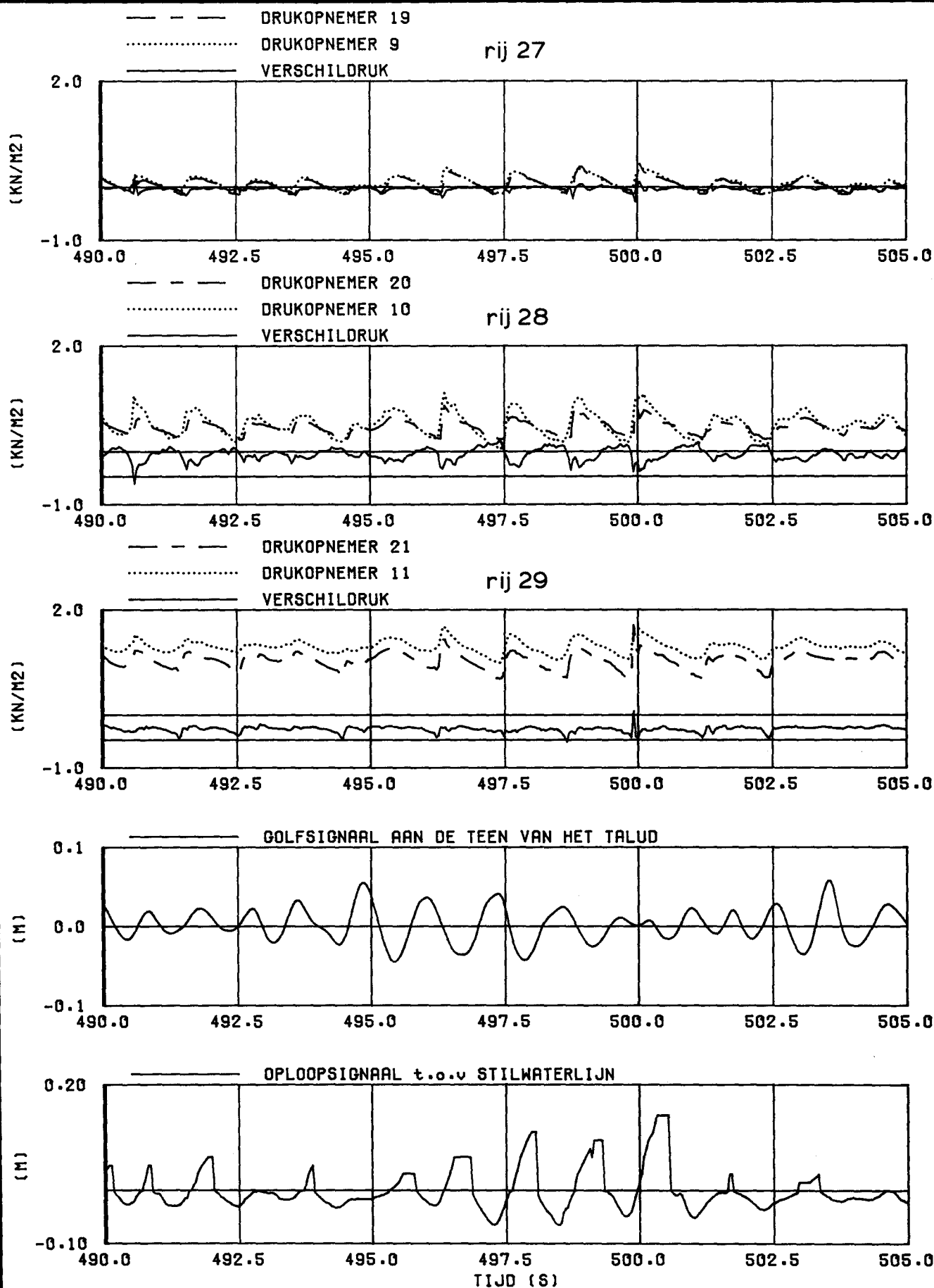
EGMOND

CONSTR. 1 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 43



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P023

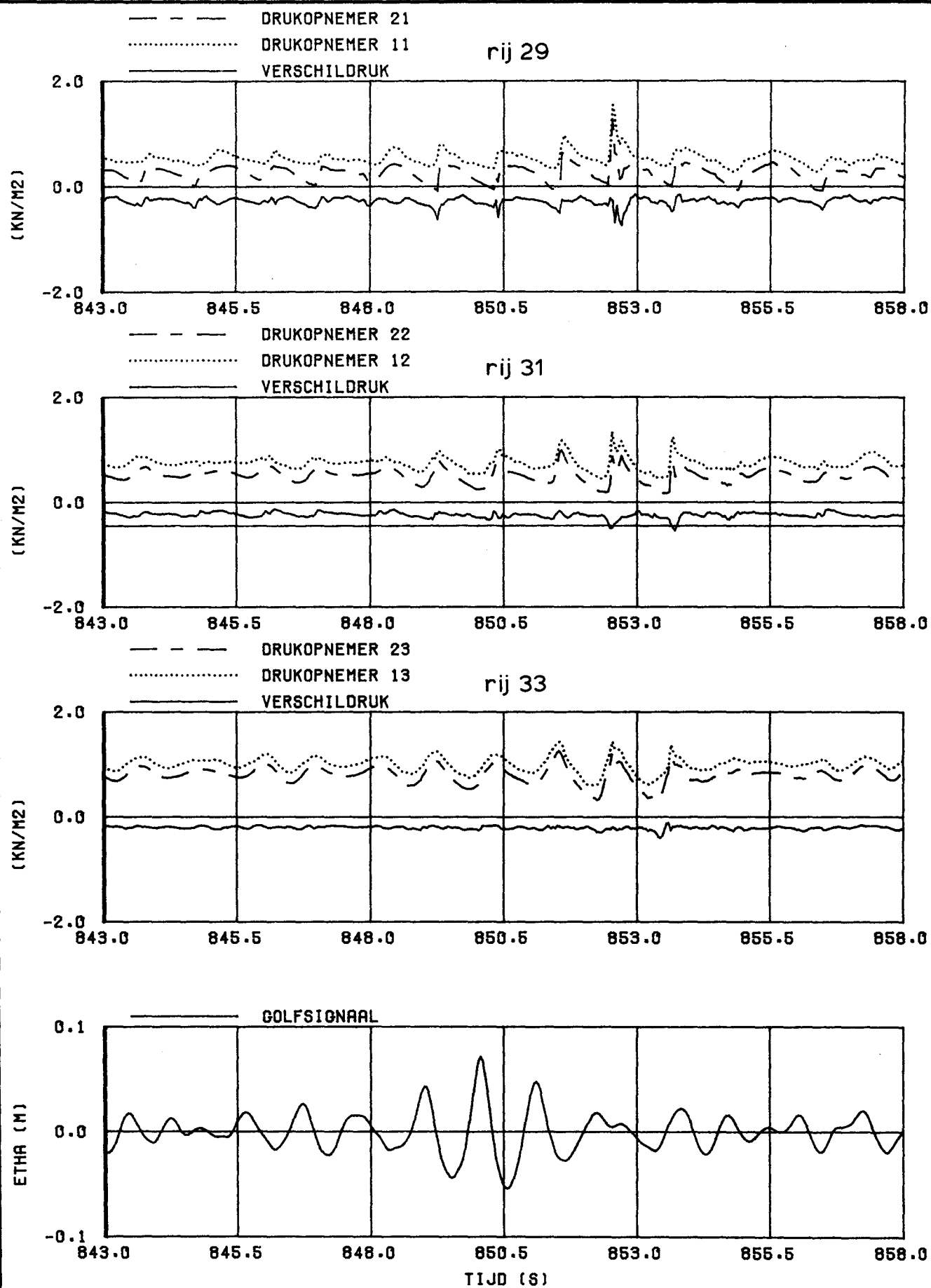
EGMOND

CONSTR. 1 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 44



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P013

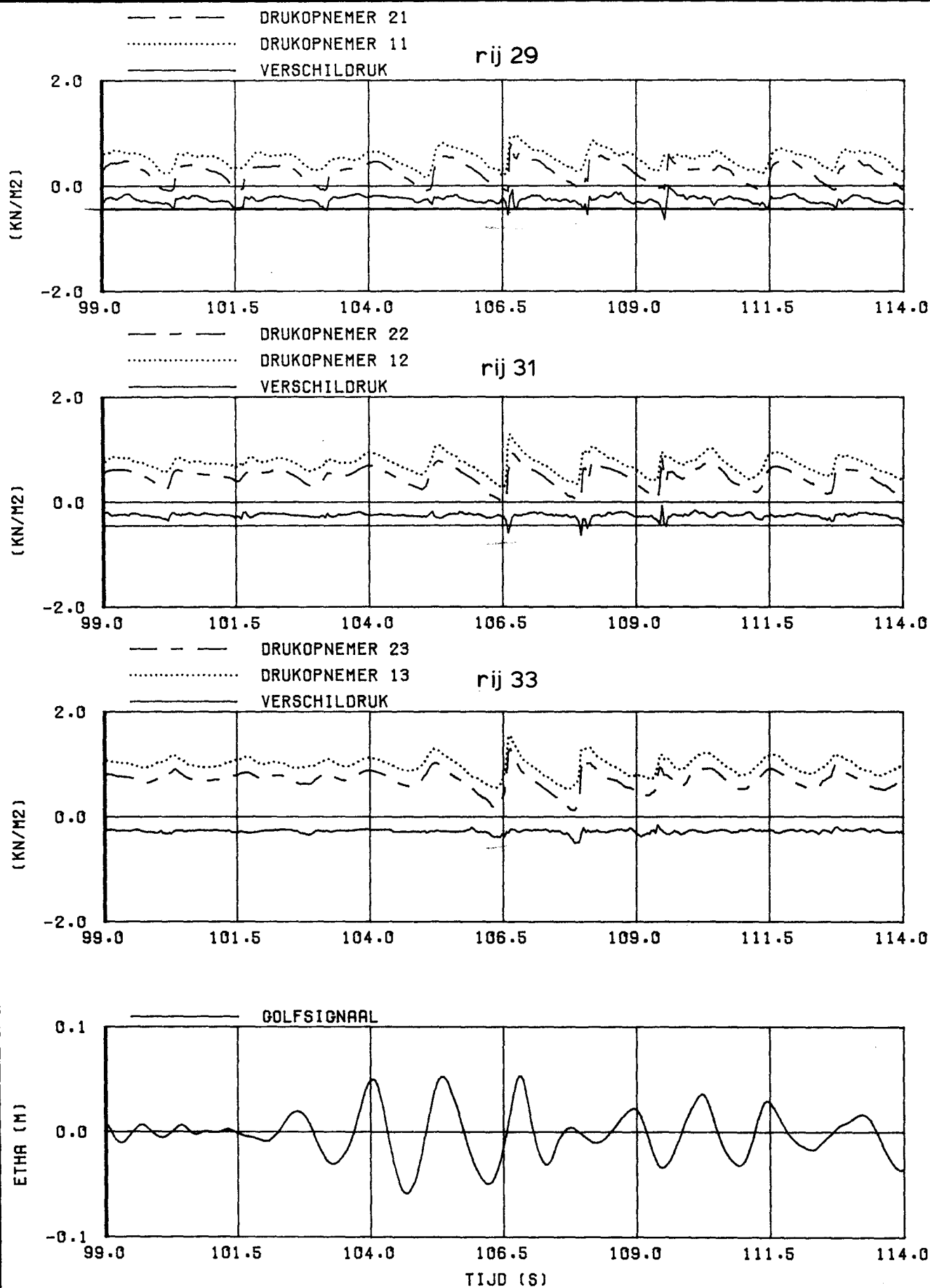
JONSWAP

CONSTR. 1 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 45



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
RONDOM SCHADETIJDSTIP

P014

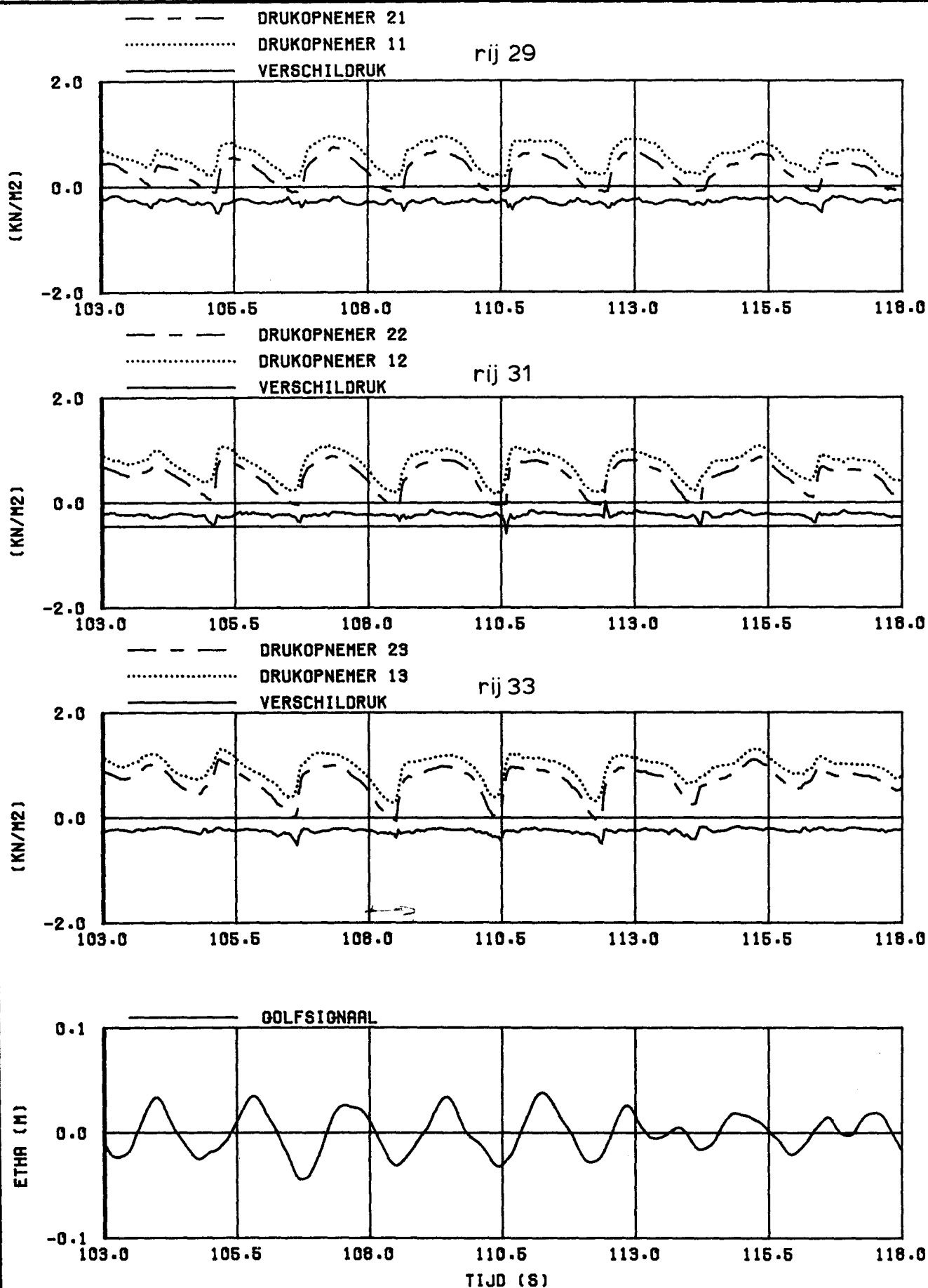
JONSWAP

CONSTR. 1 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 46



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
RONDOM SCHADETIJDSTIP

P015

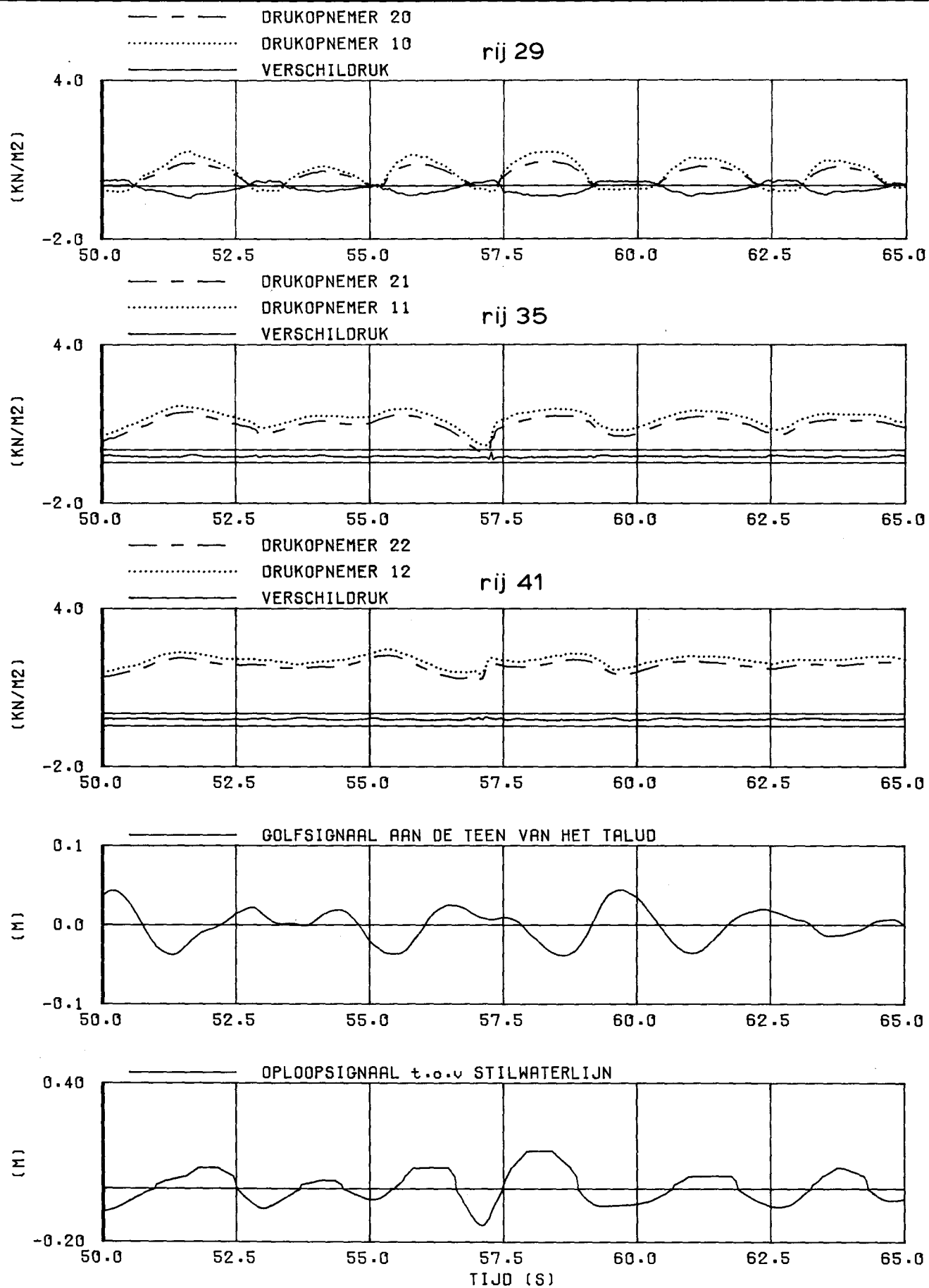
JONSWAP

CONSTR. 1 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 47



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
RONDOM SCHADETIJDSTIP

P016

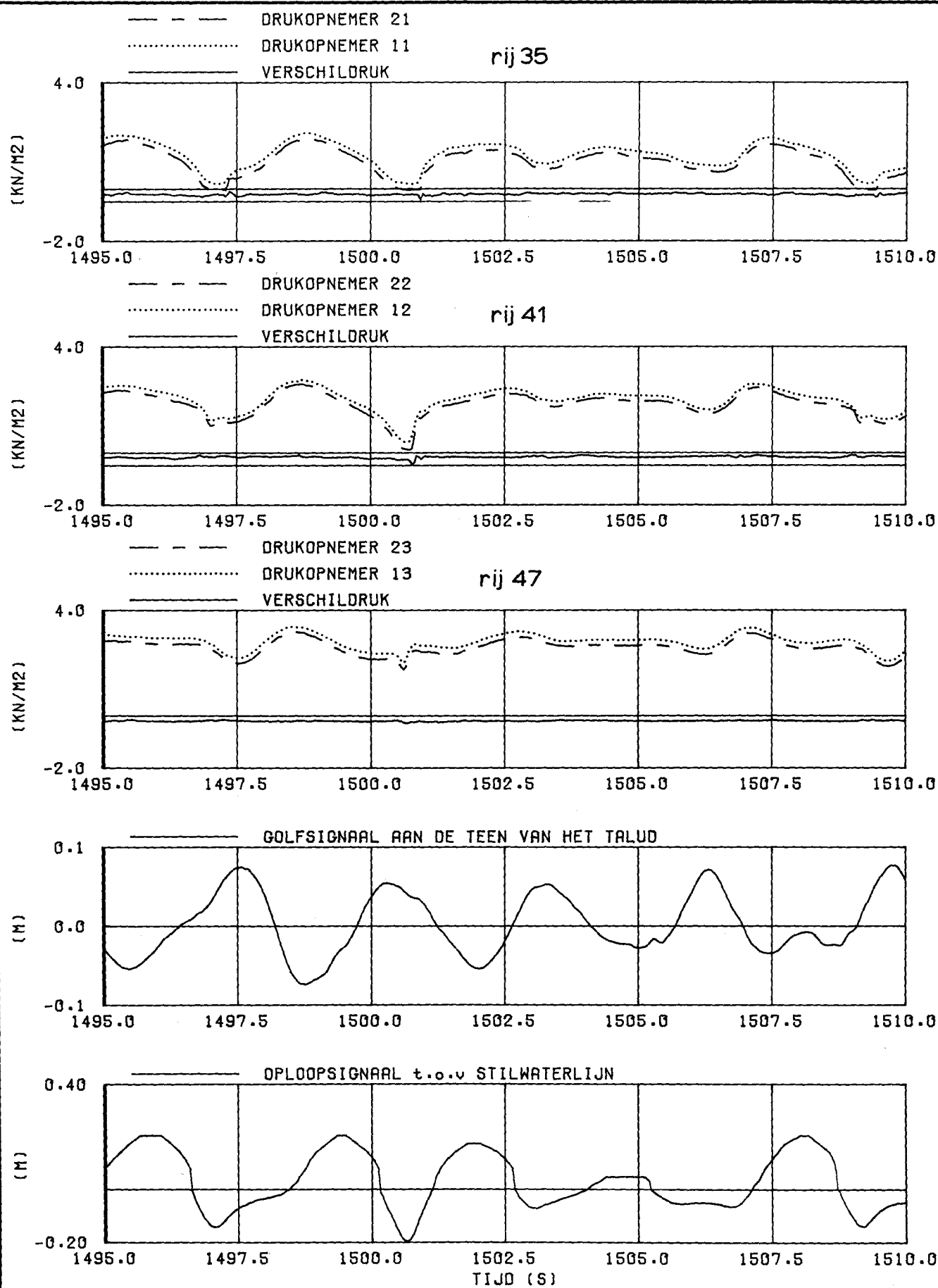
JONSWAP

CONSTR. 1 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 48



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDS TIP

P020

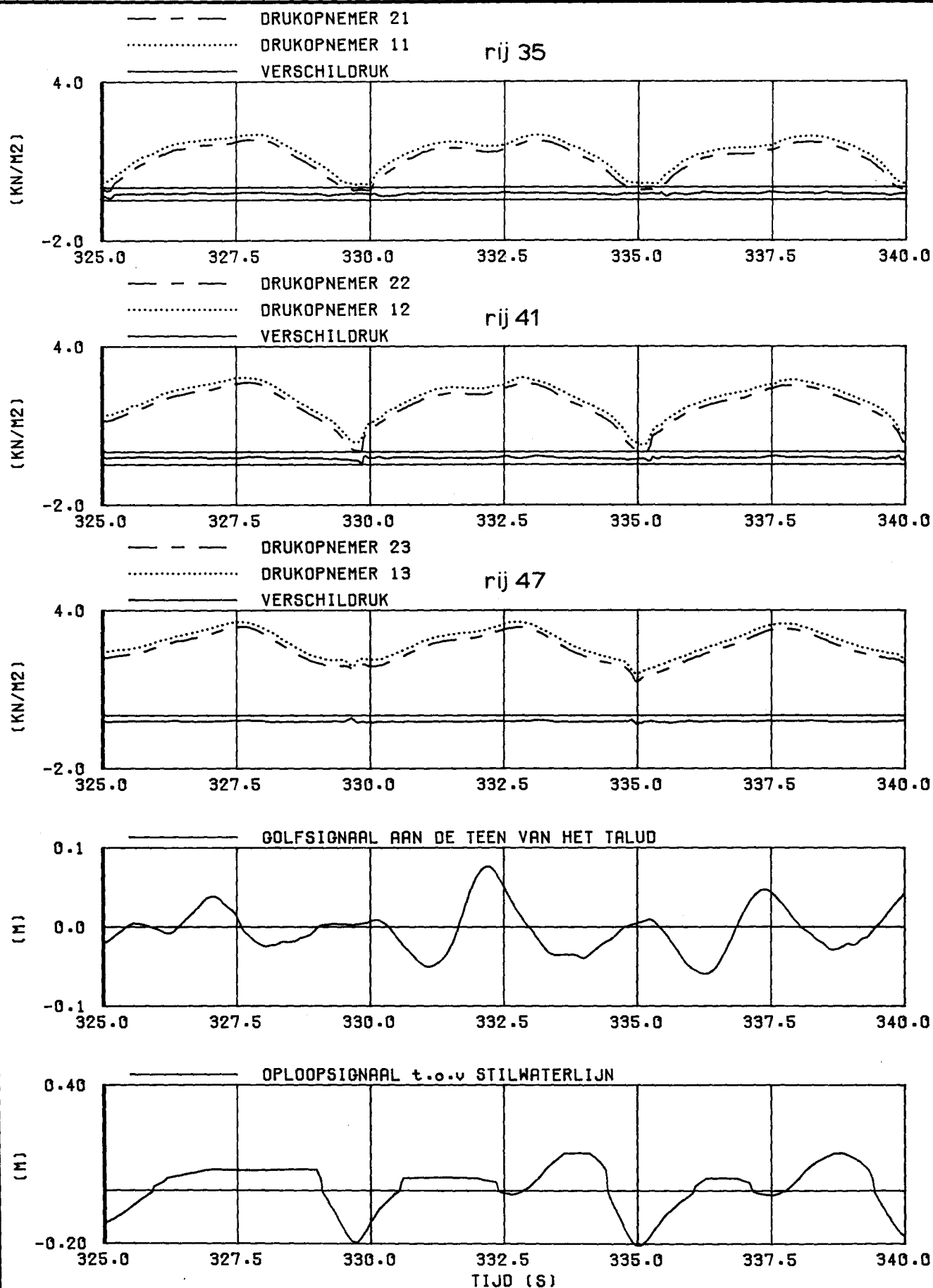
JONSWAP

CONSTR. 1 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 49



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P021

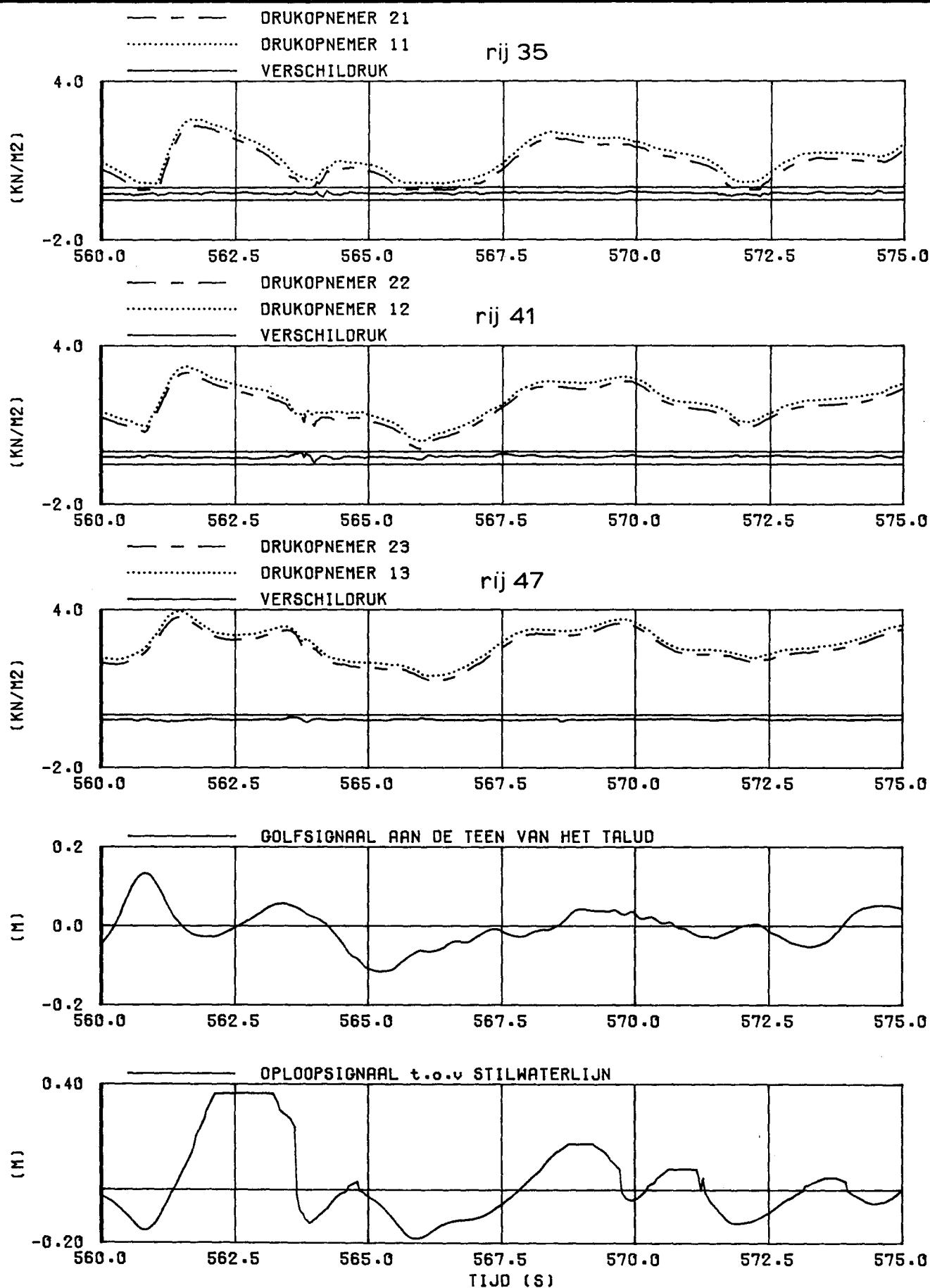
JONSWAP

CONSTR. 1 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG.50



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
RONDOM SCHADETIJDSTIP

P022

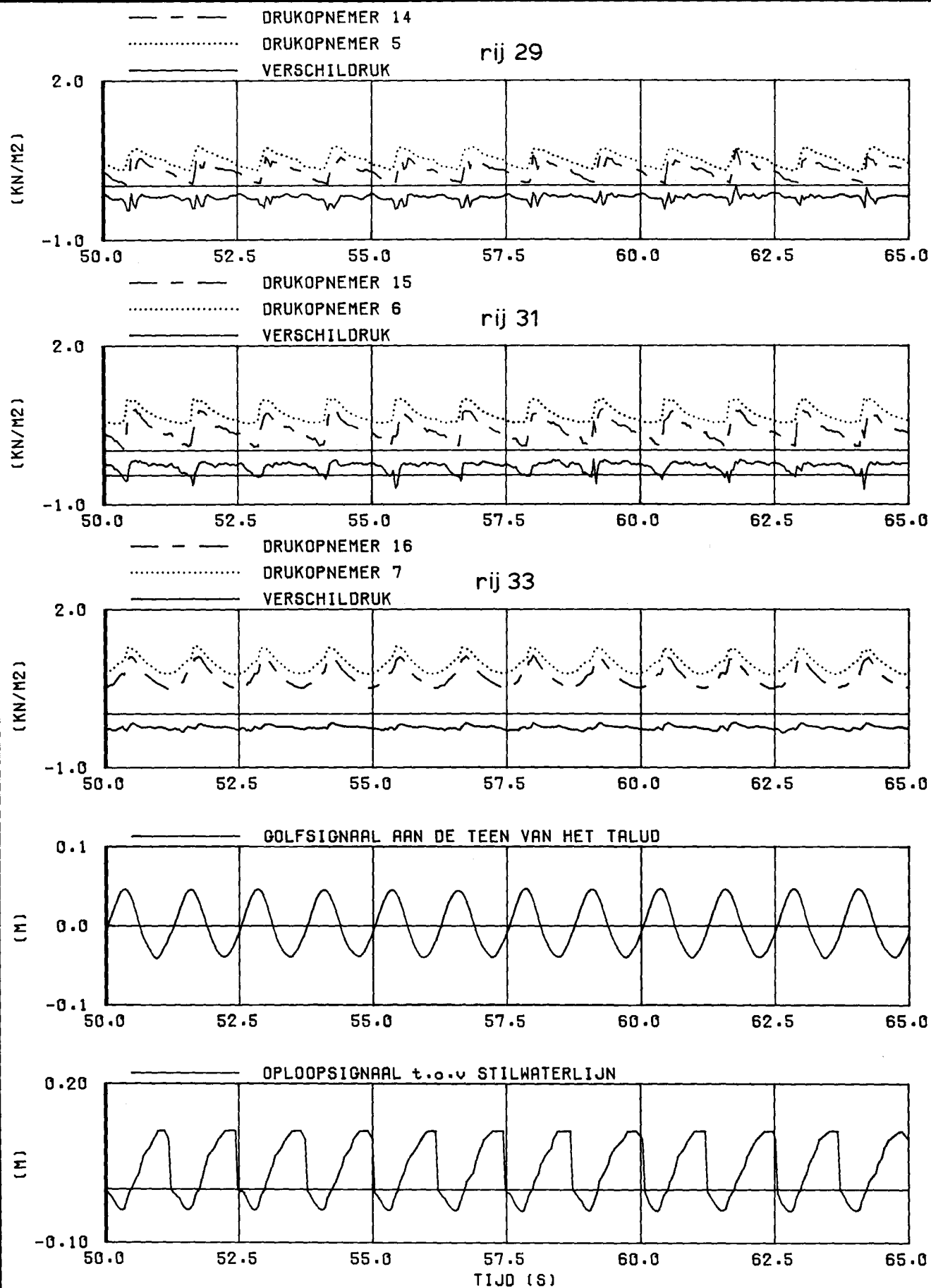
JONSWAP

CONSTR. 1 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 51



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P030

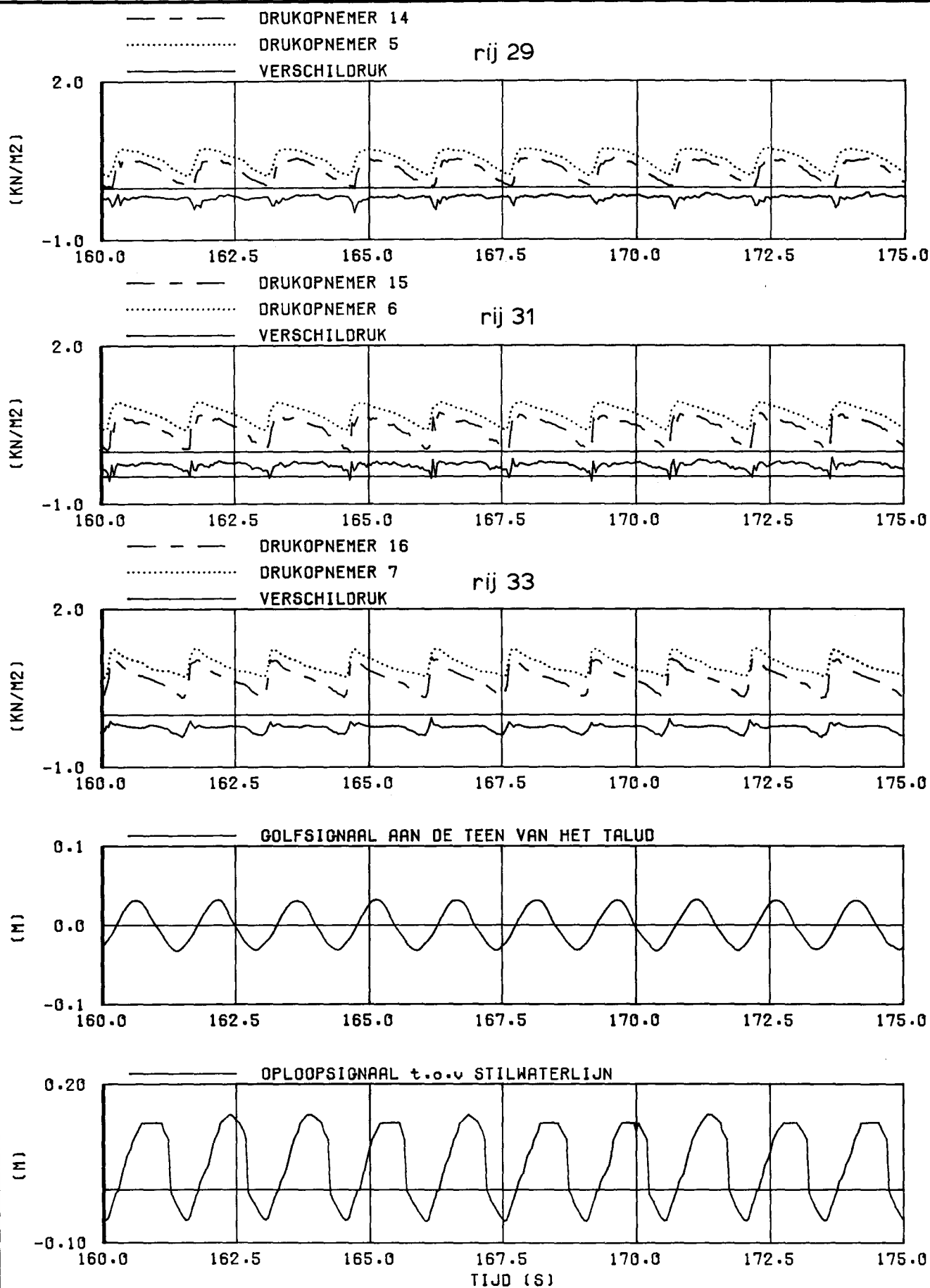
REGELMATIGE
 GOLVEN

CONSTR. 2 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 52



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDS TIP

P031

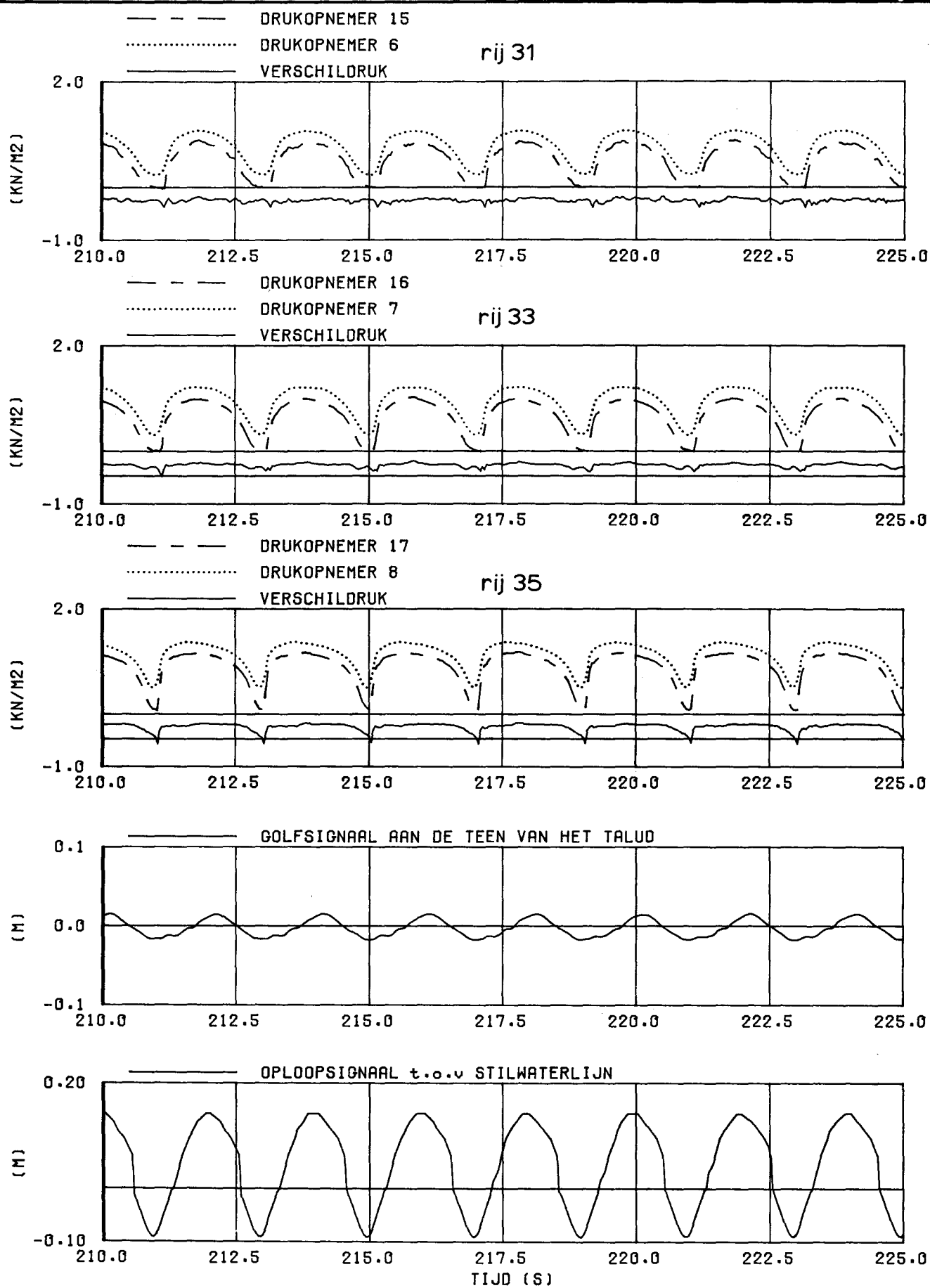
REGELMATIGE
 GOLVEN

CONSTR. 2 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 53



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
RONDOM SCHADETIJDSTIP

P032

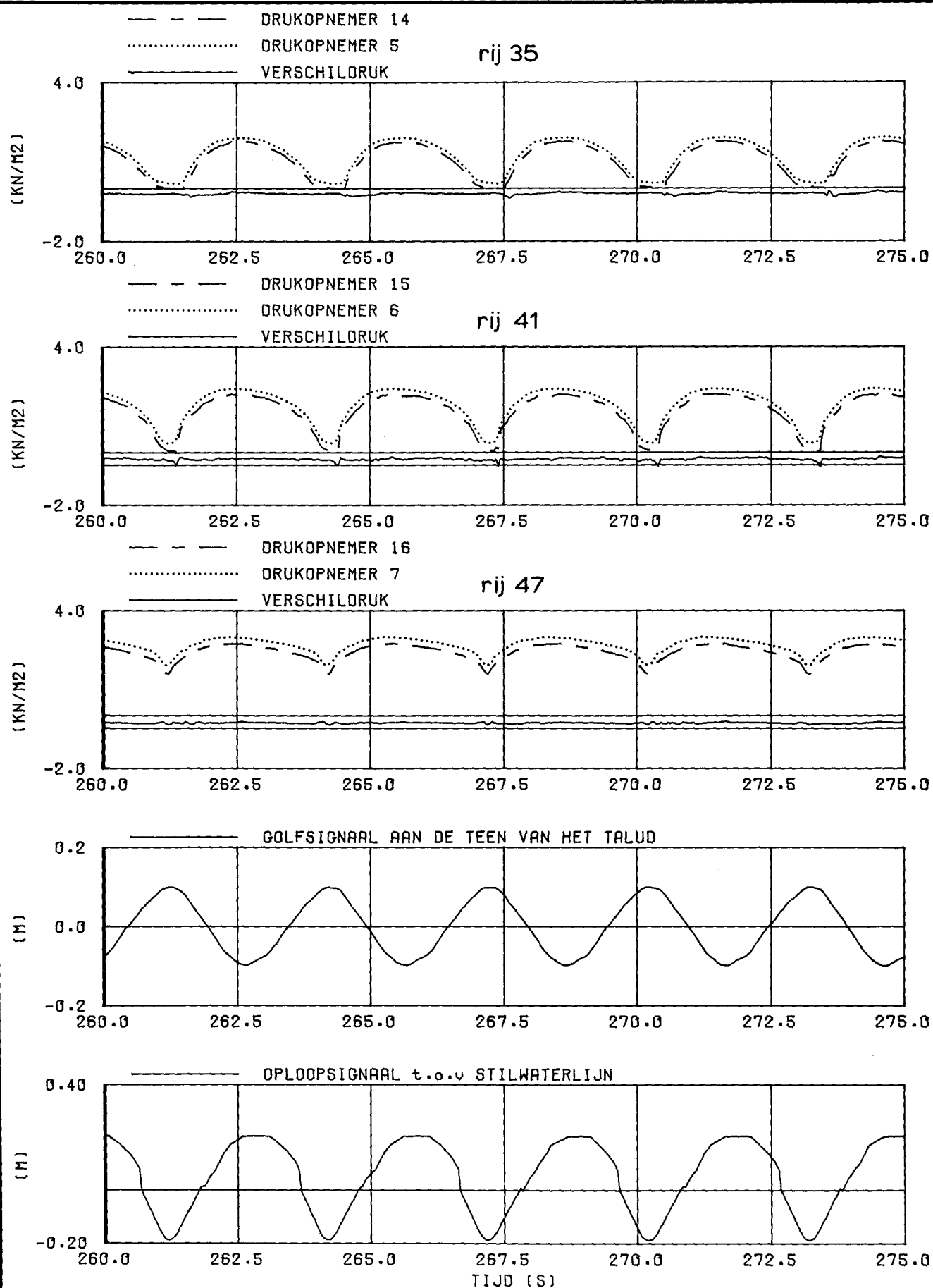
REGELMATIGE
GOLVEN

CONSTR. 2 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 54



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P033

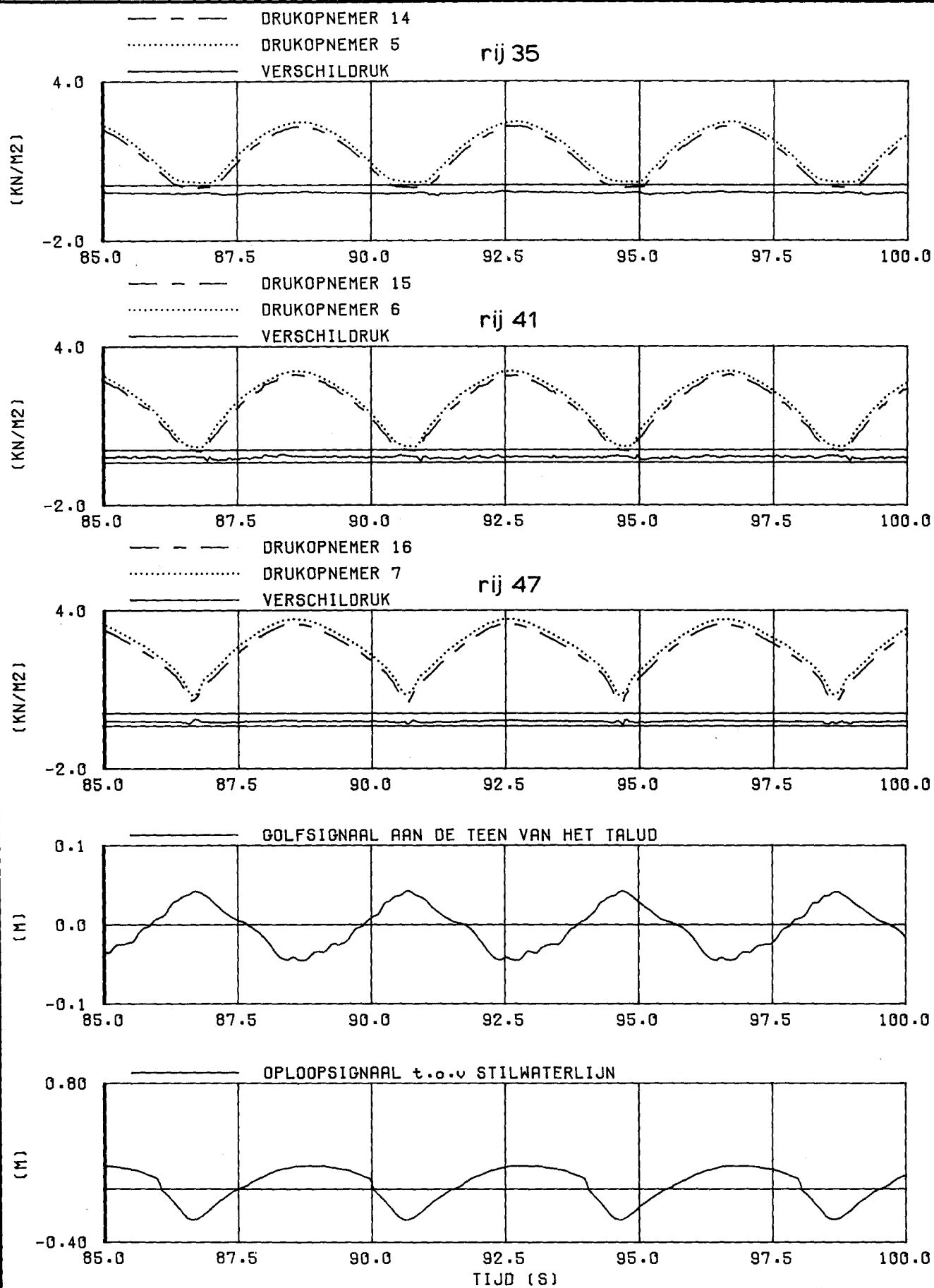
REGELMATIGE
 GOLVEN

CONSTR. 2 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 55



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P034

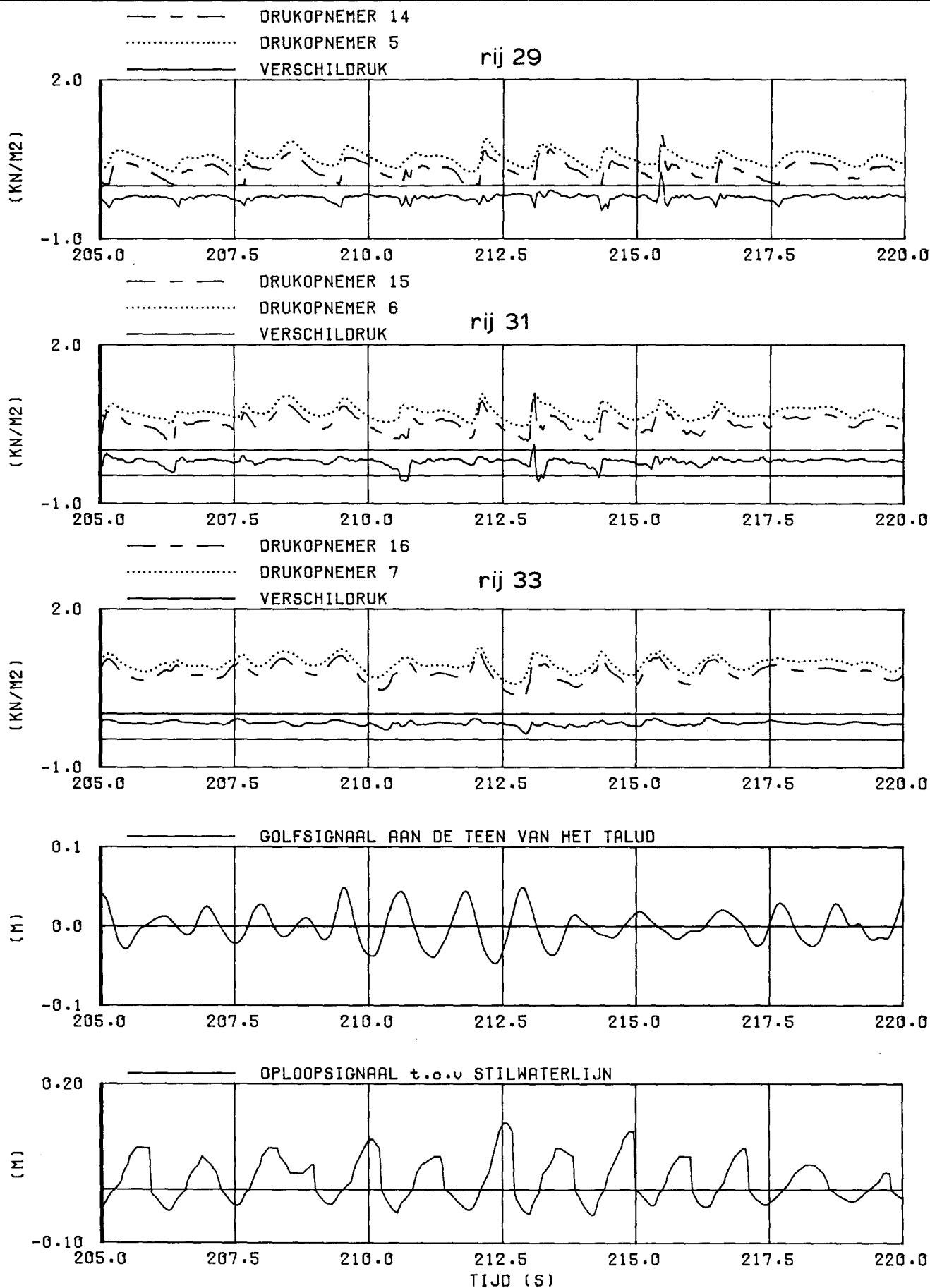
REGELMATIGE
 GOLVEN

CONSTR. 2 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 56



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P027

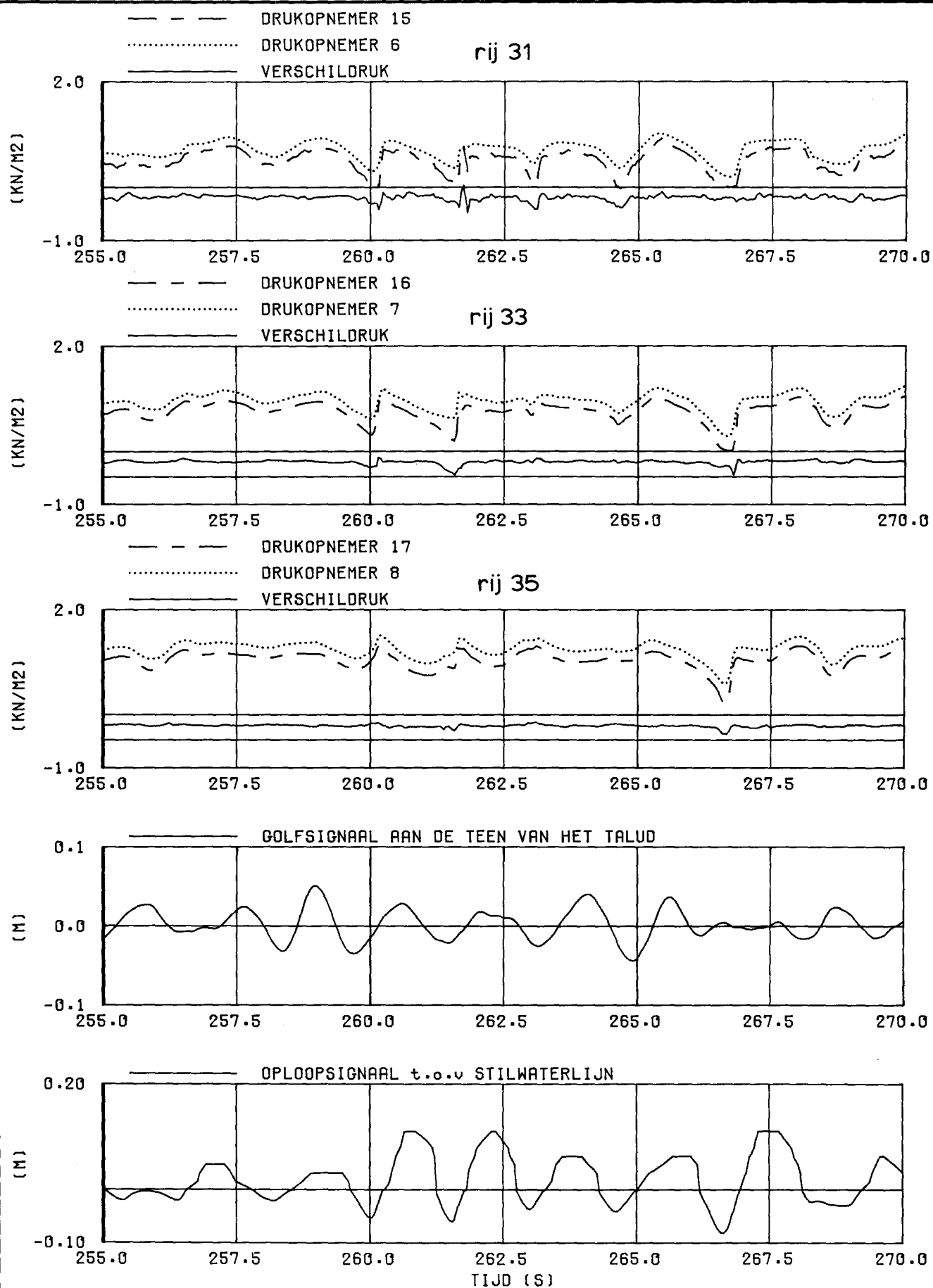
EGMOND

CONSTR. 2 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 57



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P028

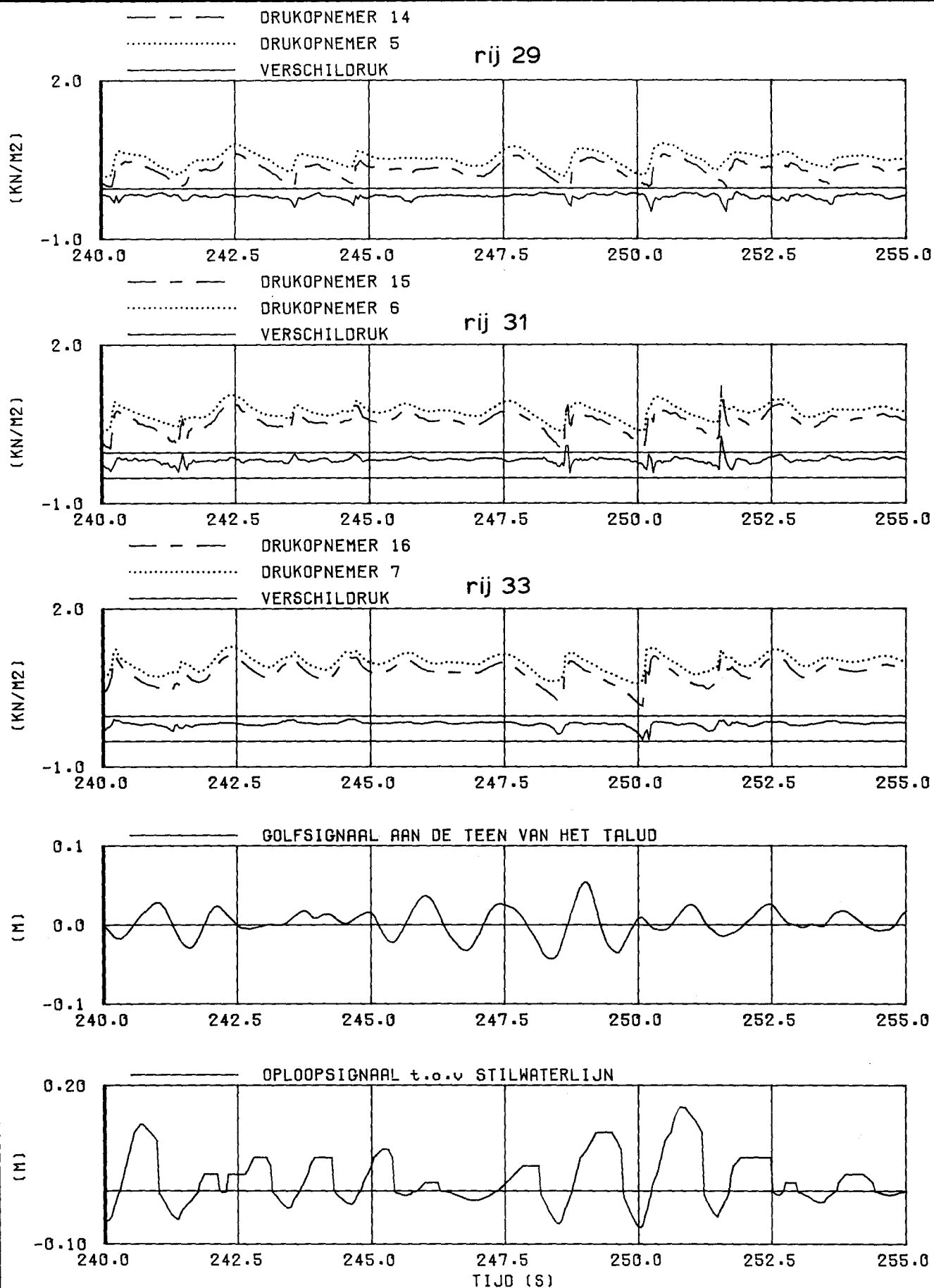
EGMOND

CONSTR. 2 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 58



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P029

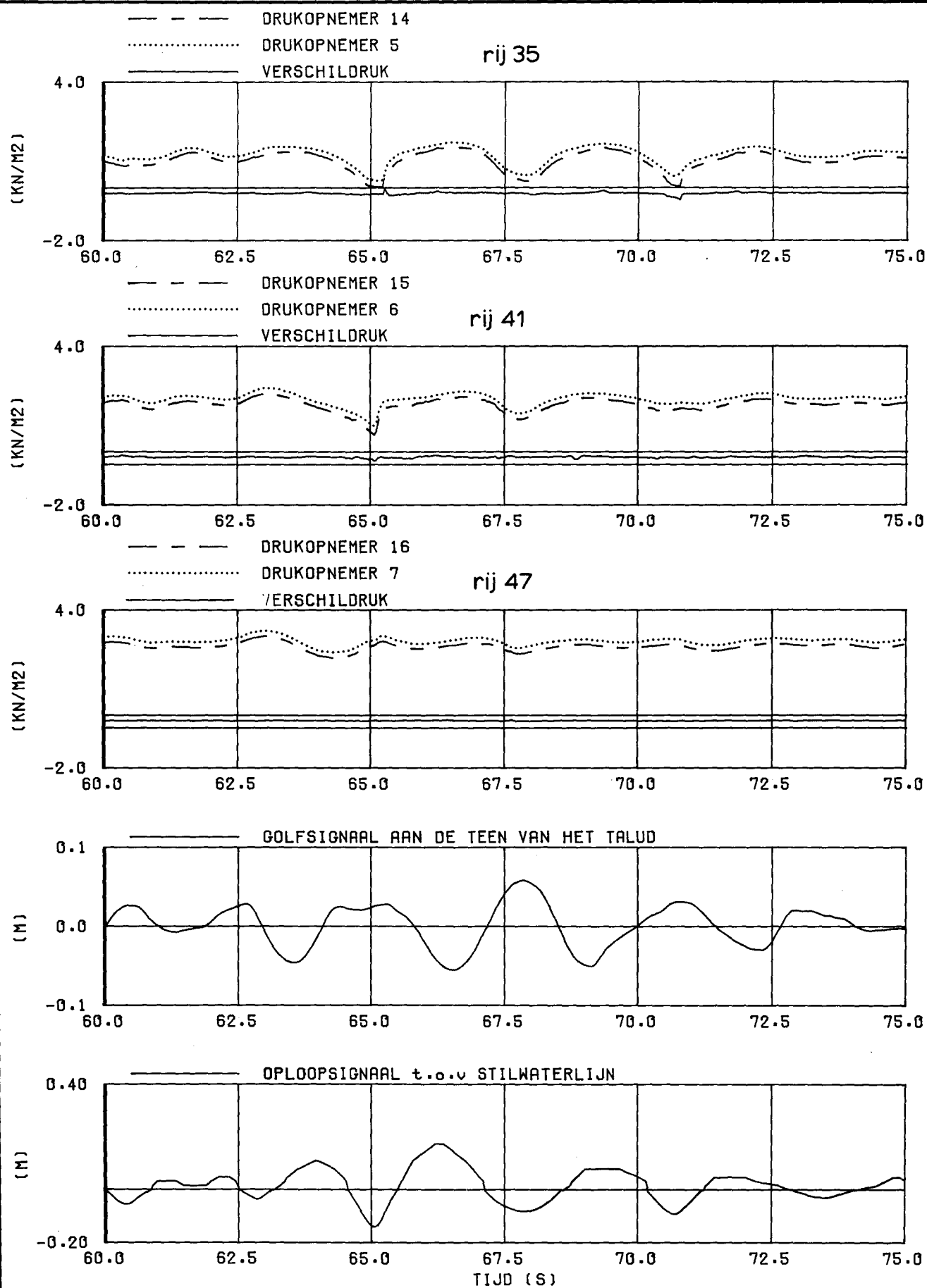
EGMOND

CONSTR. 2 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 59



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P037

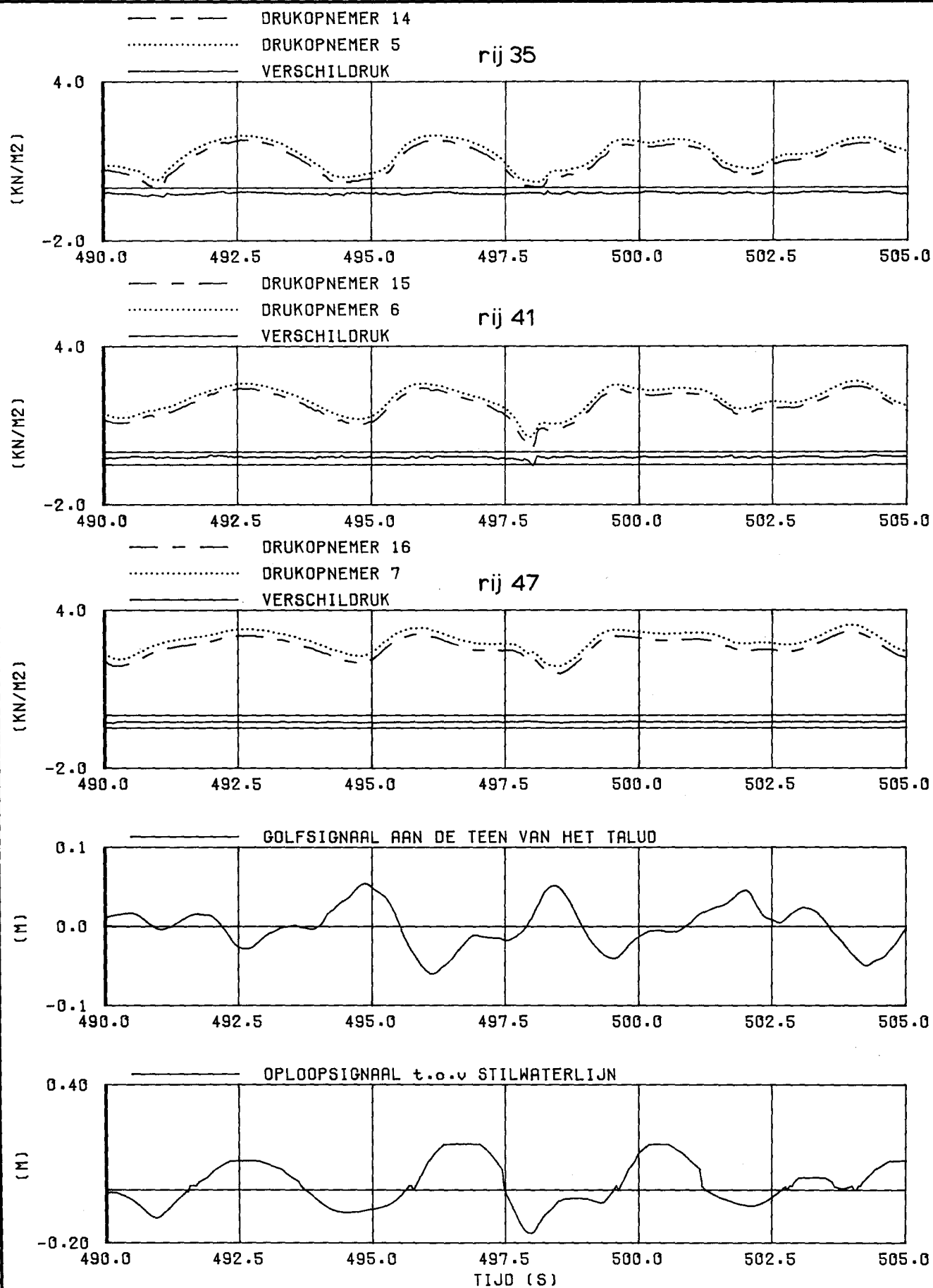
EGMOND

CONSTR. 2 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG.60



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P038

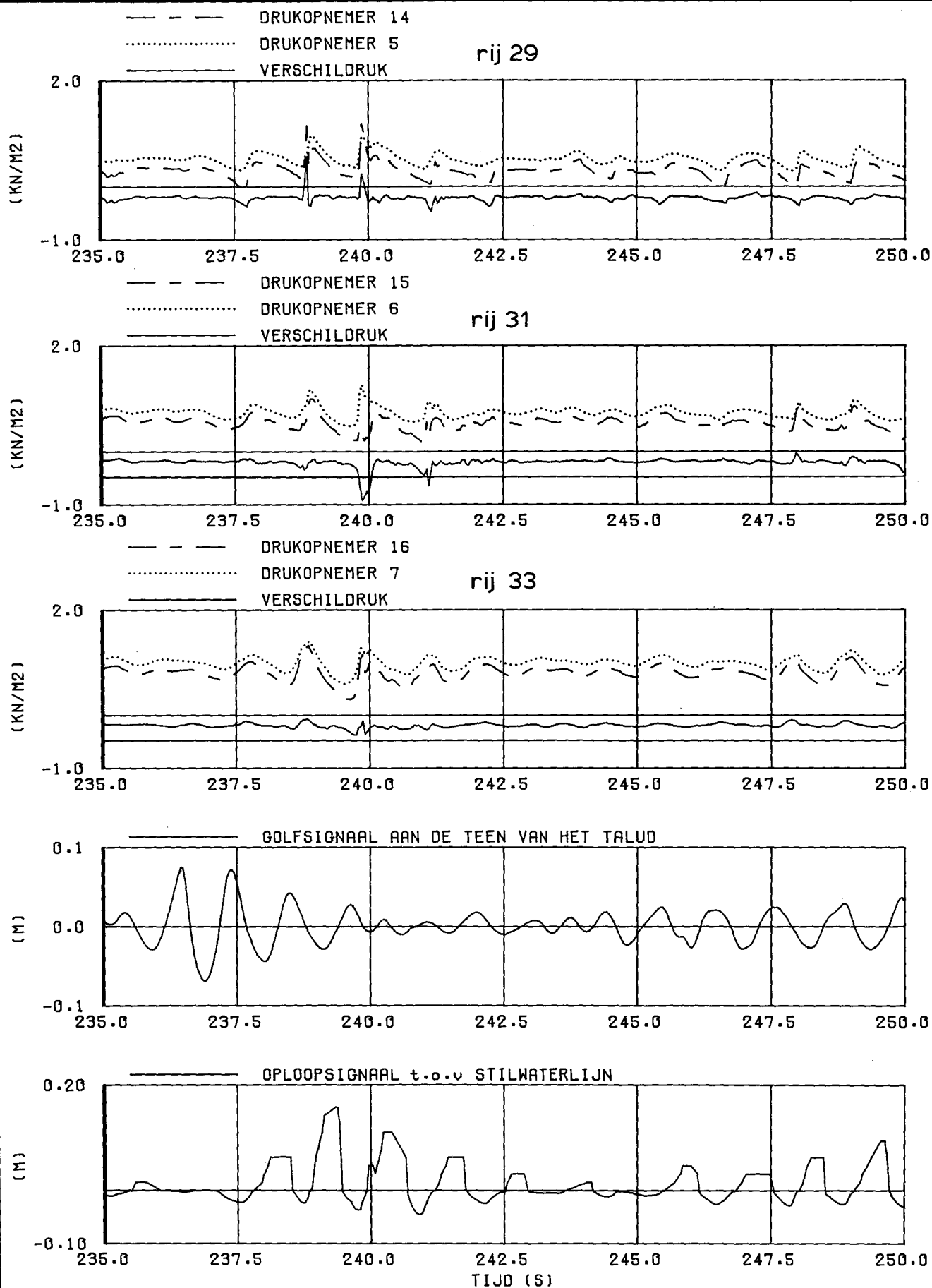
EGMOND

CONSTR. 2 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 61



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P024

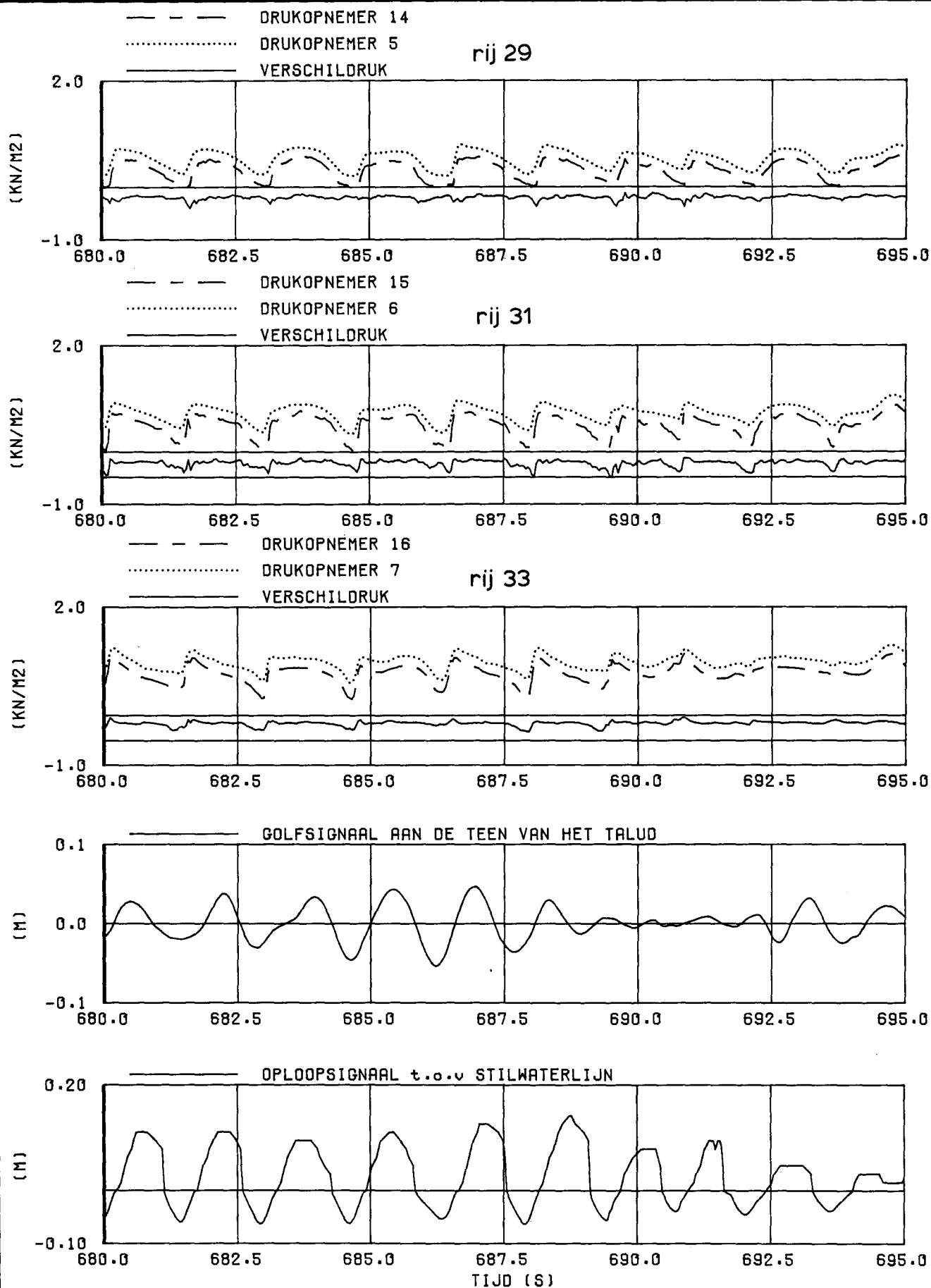
JONSWAP

CONSTR. 2 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 62



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P025

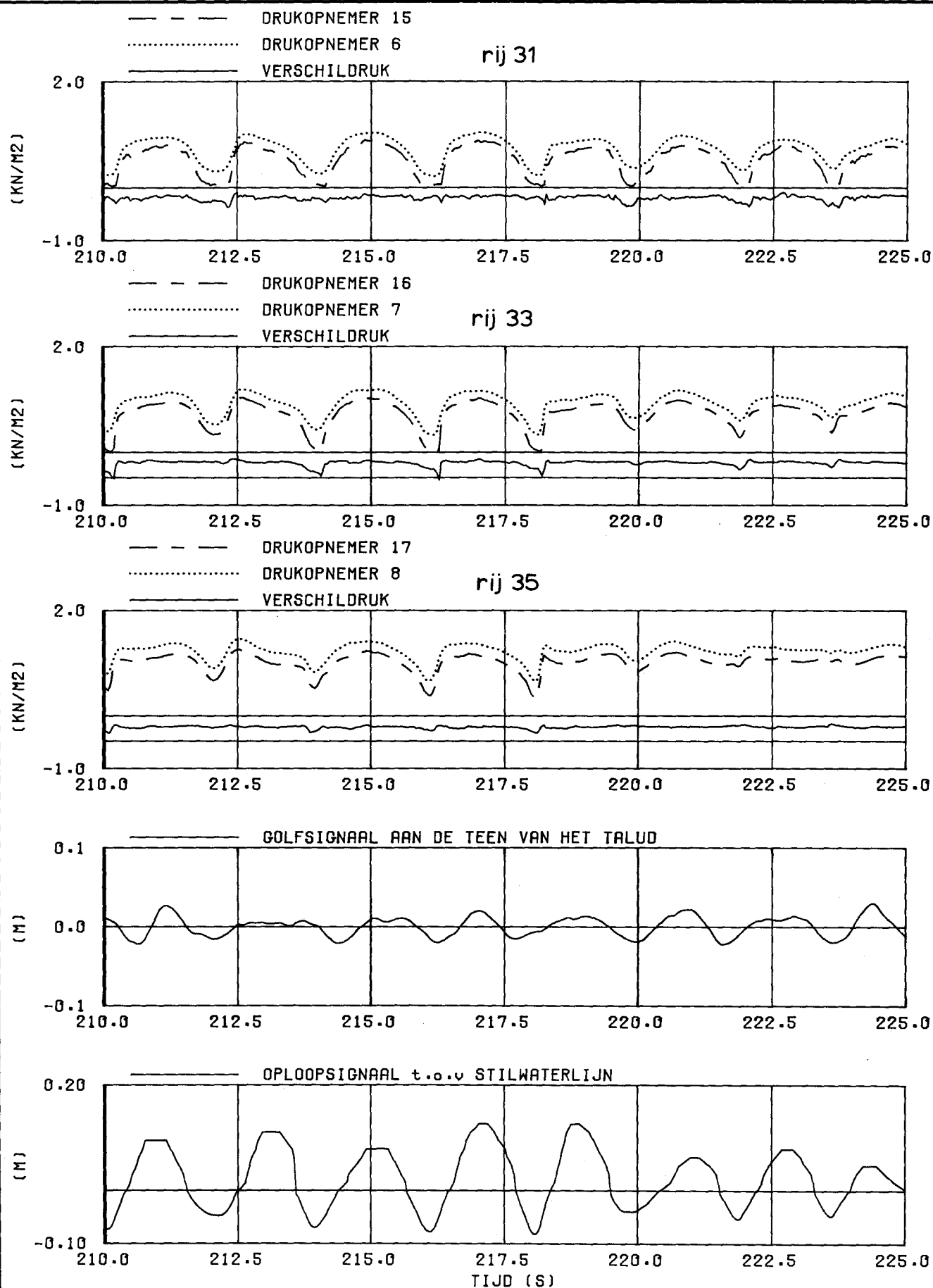
JONSWAP

CONSTR. 2 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 63



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
RONDOM SCHADETIJDSTIP

P026

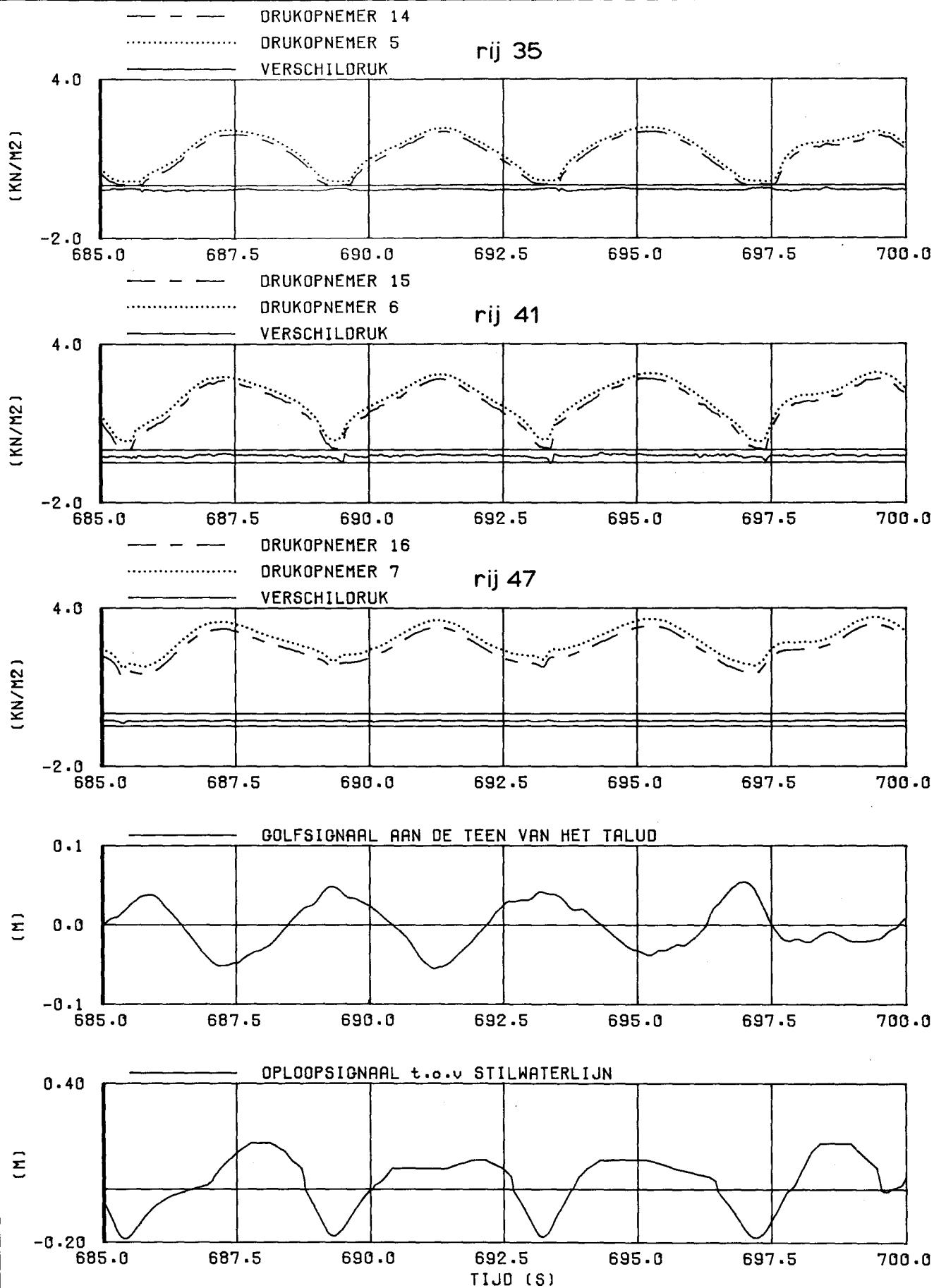
JONSWAP

CONSTR. 2 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 64



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P035

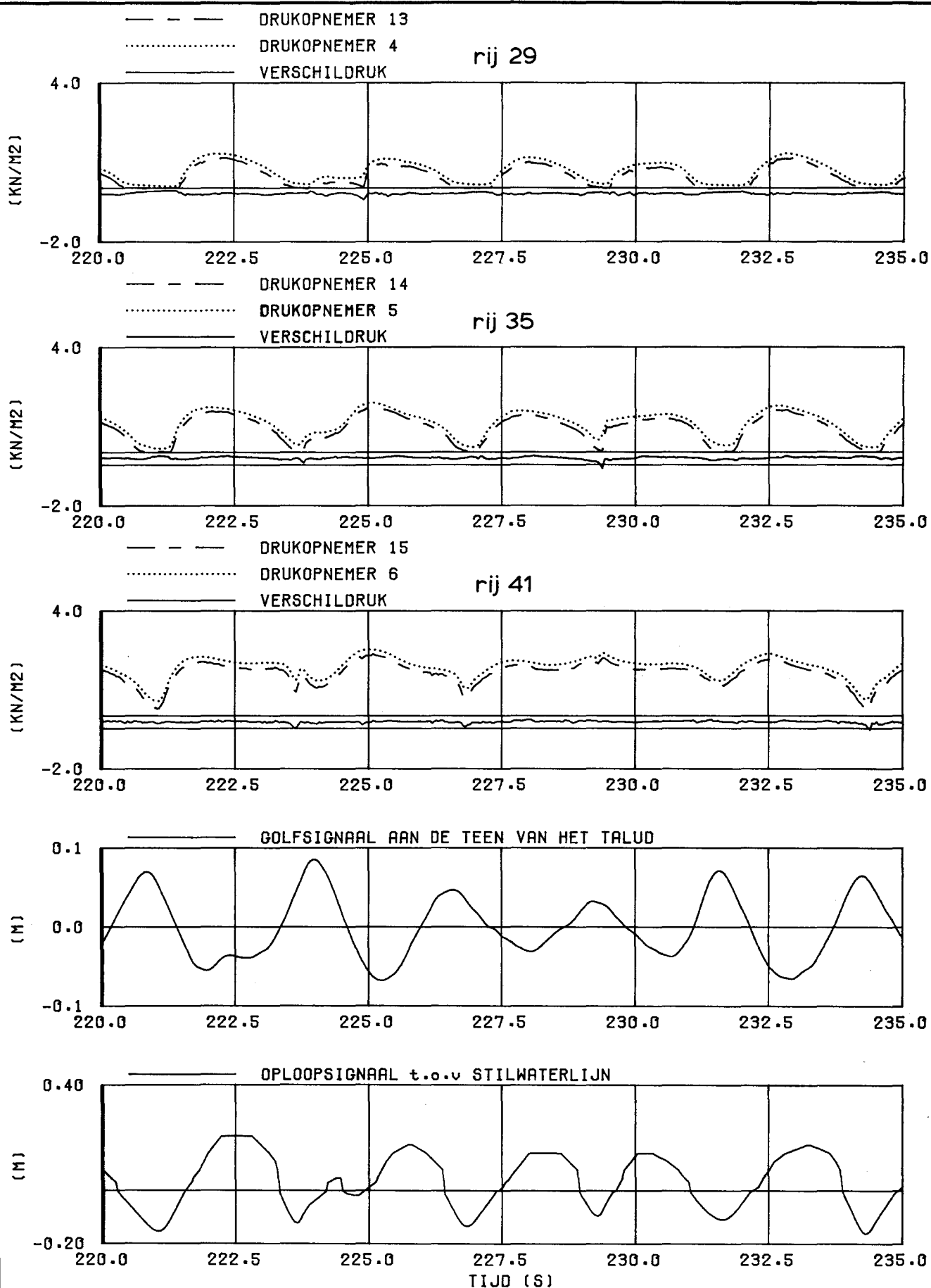
JONSWAP

CONSTR. 2 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 65



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P036

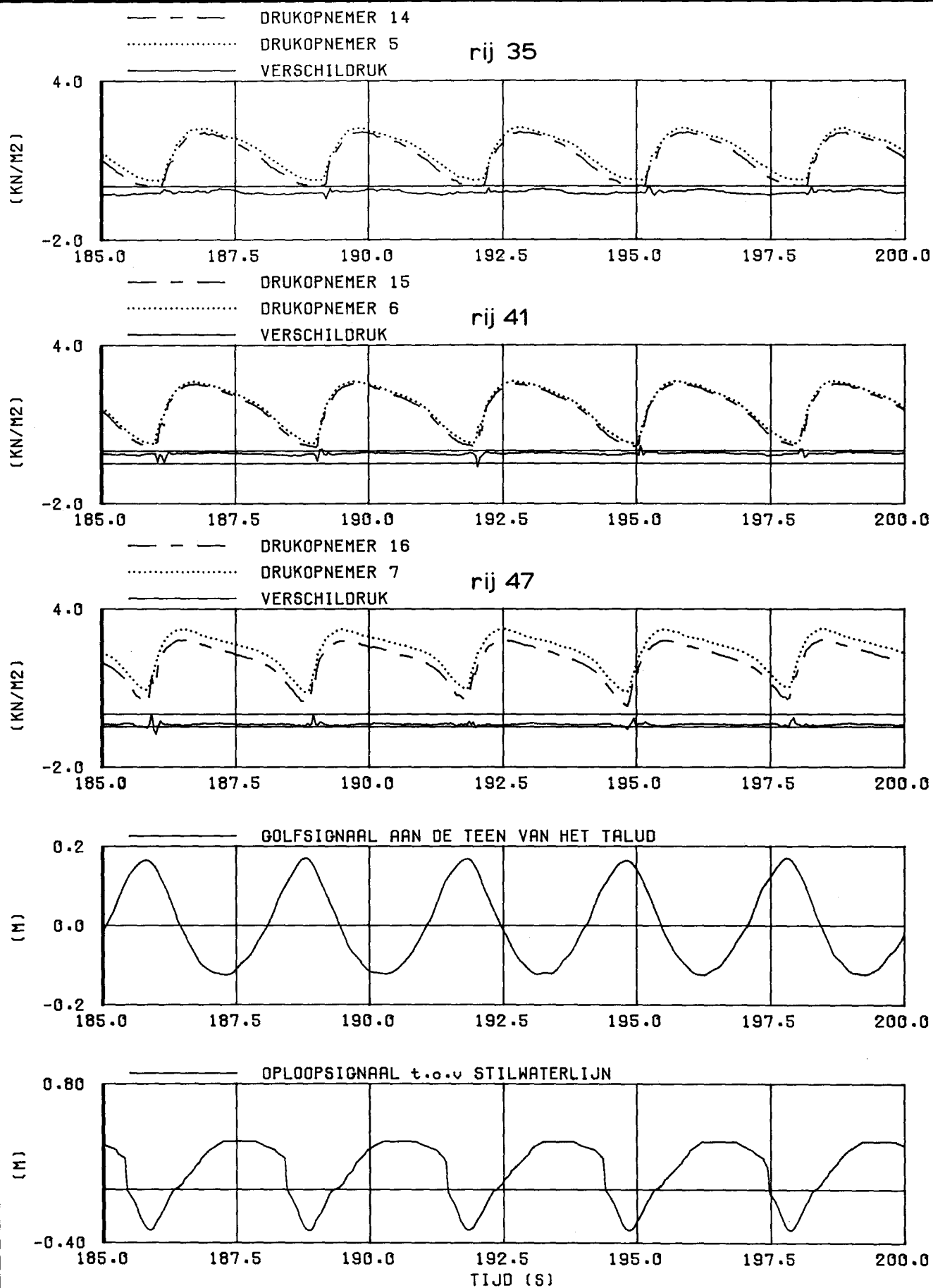
JONSWAP

CONSTR. 2 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 66



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
RONDOM SCHADETIJDSTIP

P039

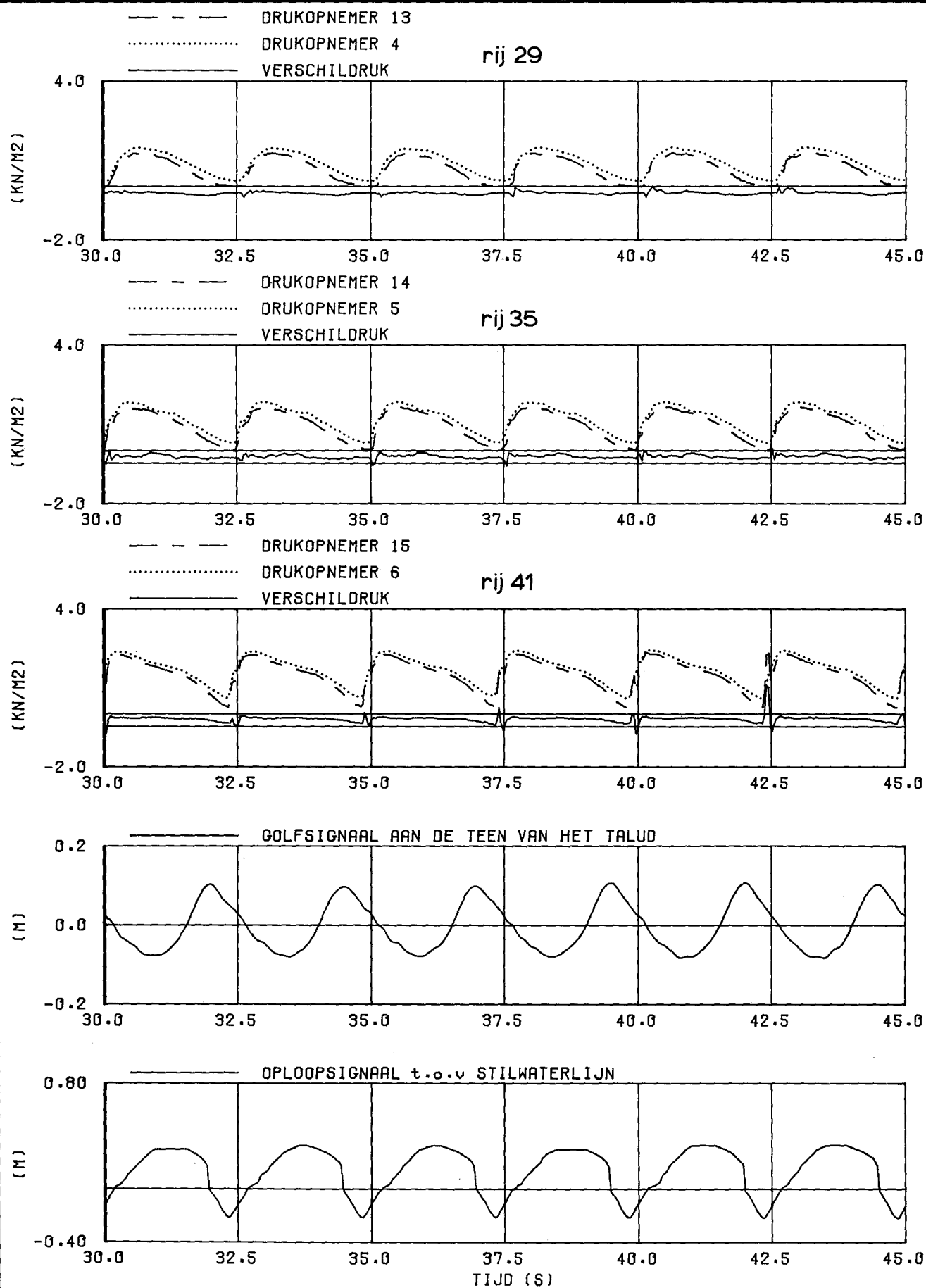
REGELMATIGE
GOLVEN

CONSTR. 3 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 67



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
RONDOM SCHADETIJDSTIP

P040

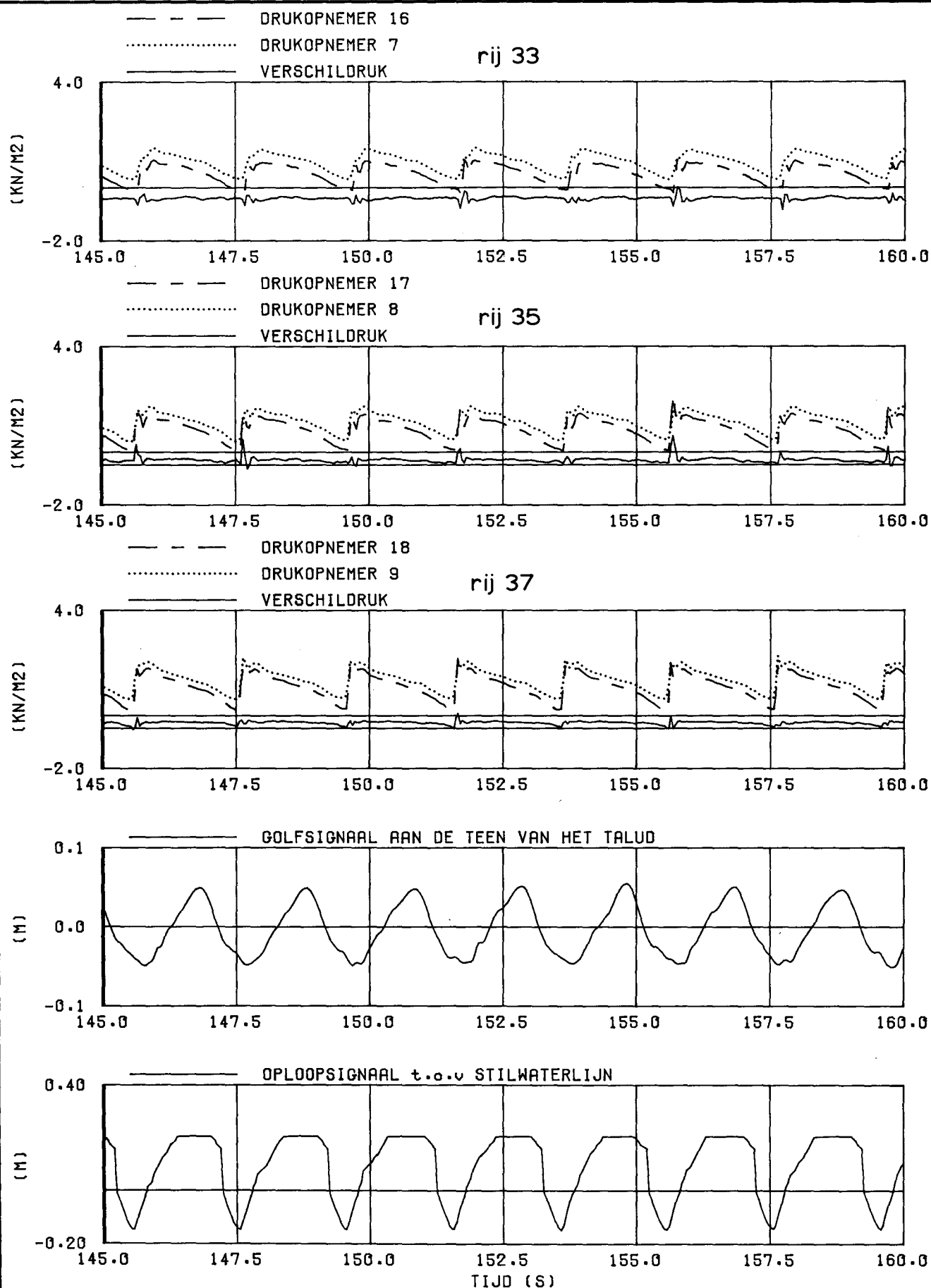
REGELMATIGE
GOLVEN

CONSTR. 3 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 68



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P041

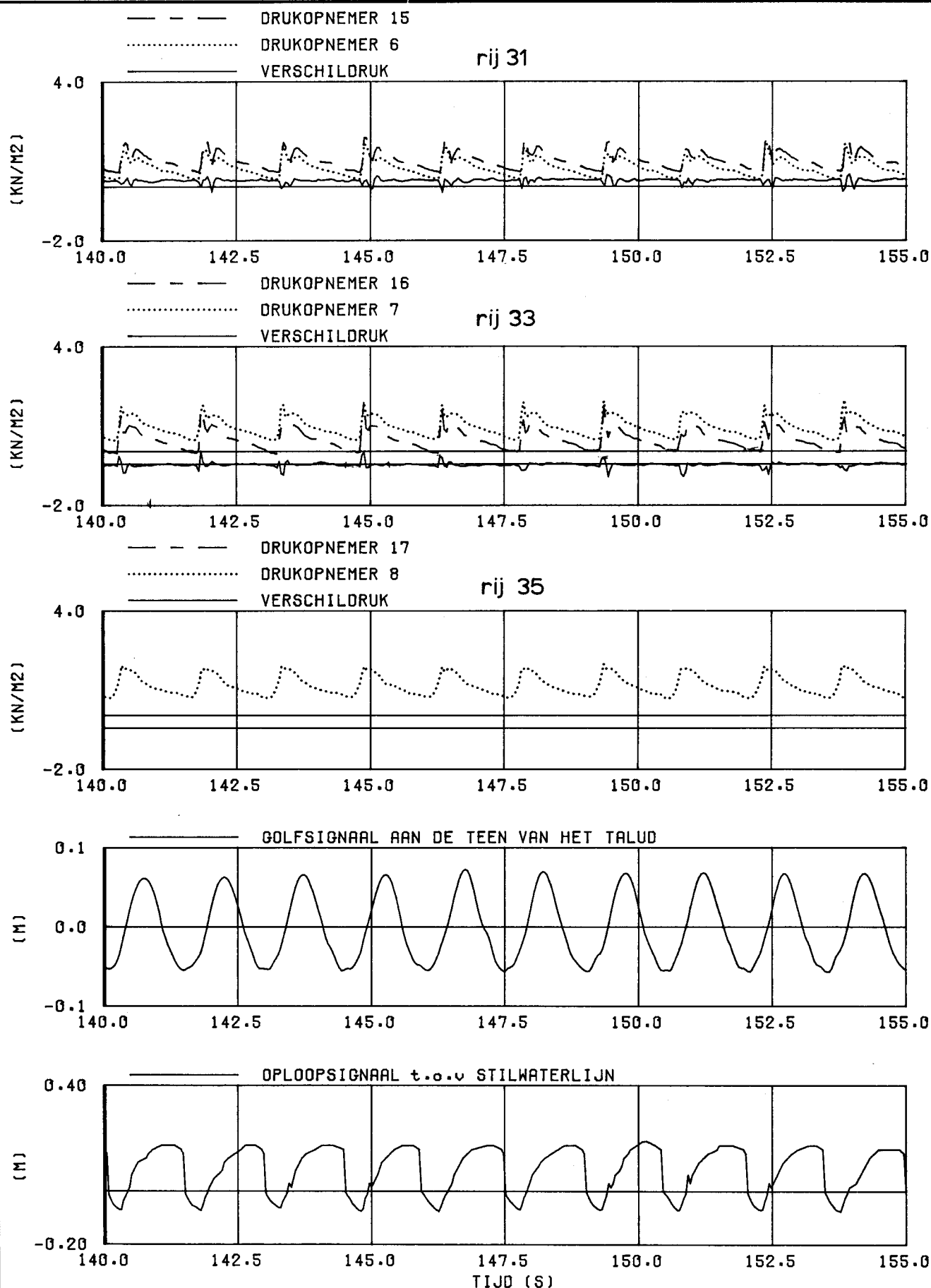
REGELMATIGE
 GOLVEN

CONSTR. 3 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 69



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P042

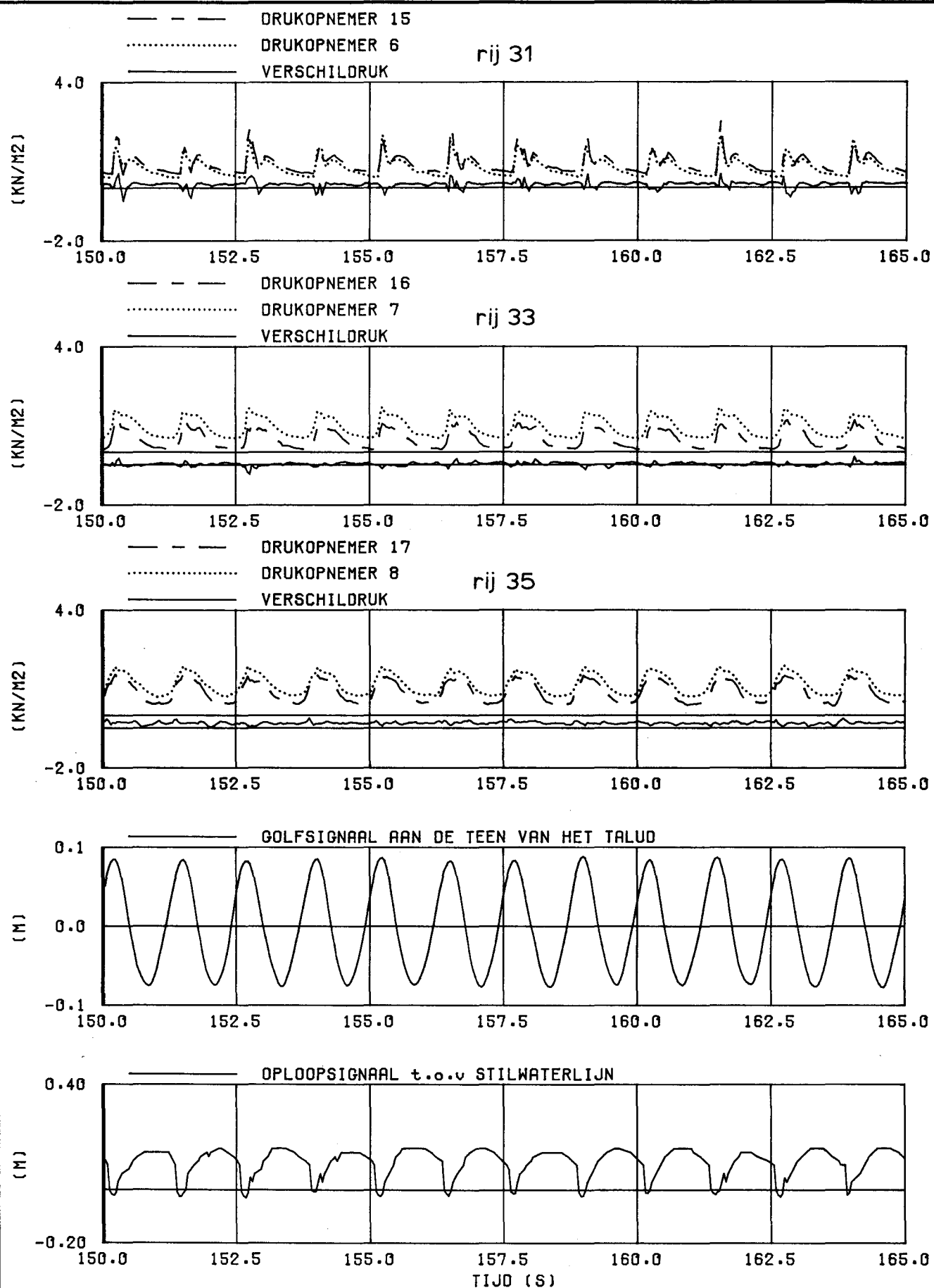
REGELMATIGE
 GOLVEN

CONSTR. 3 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 70



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P043

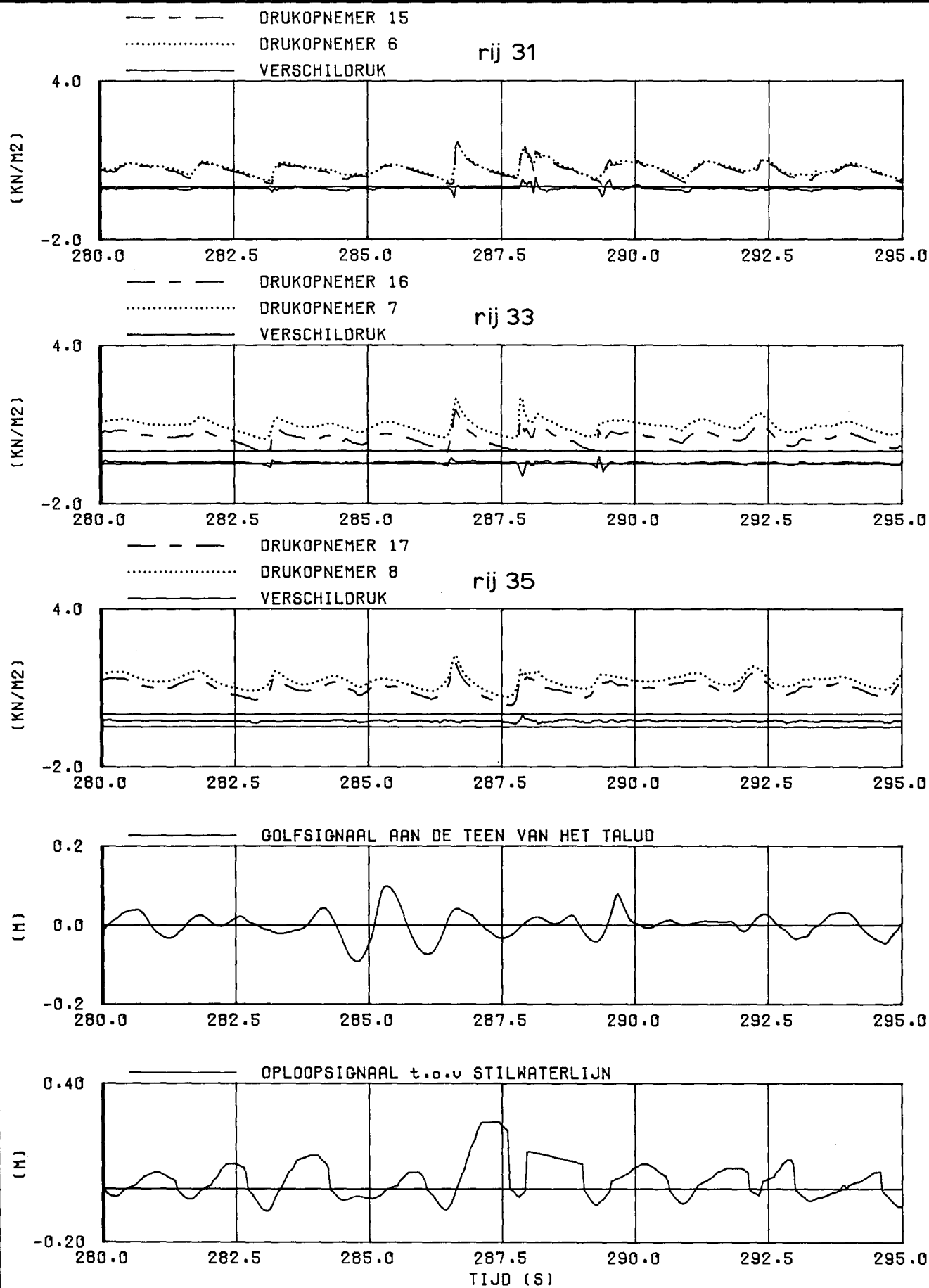
REGELMATIGE
 GOLVEN

CONSTR. 3 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG.71



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
RONDOM SCHADETIJDSTIP

P045

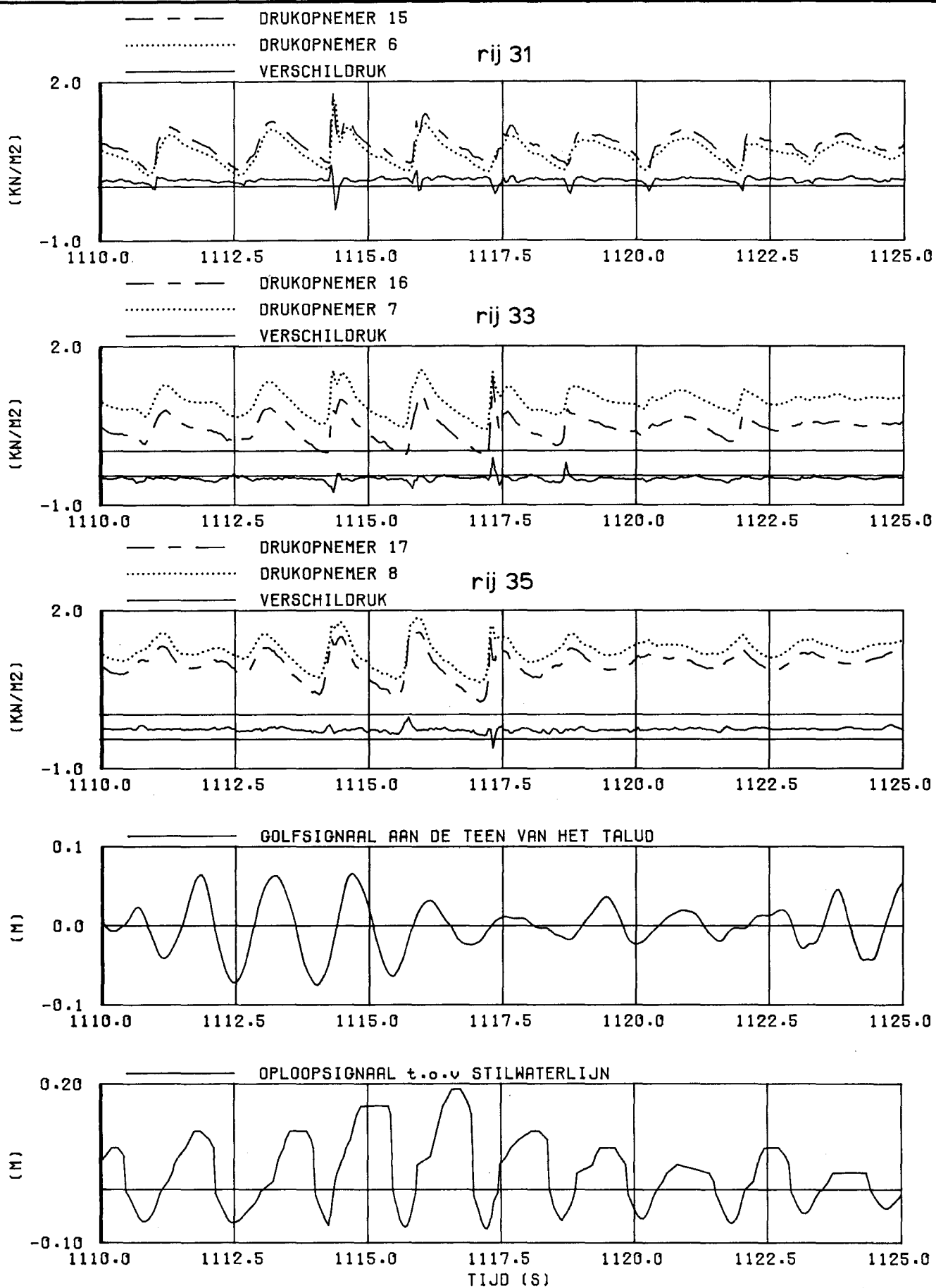
EGMOND

CONSTR. 3 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 72



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P044

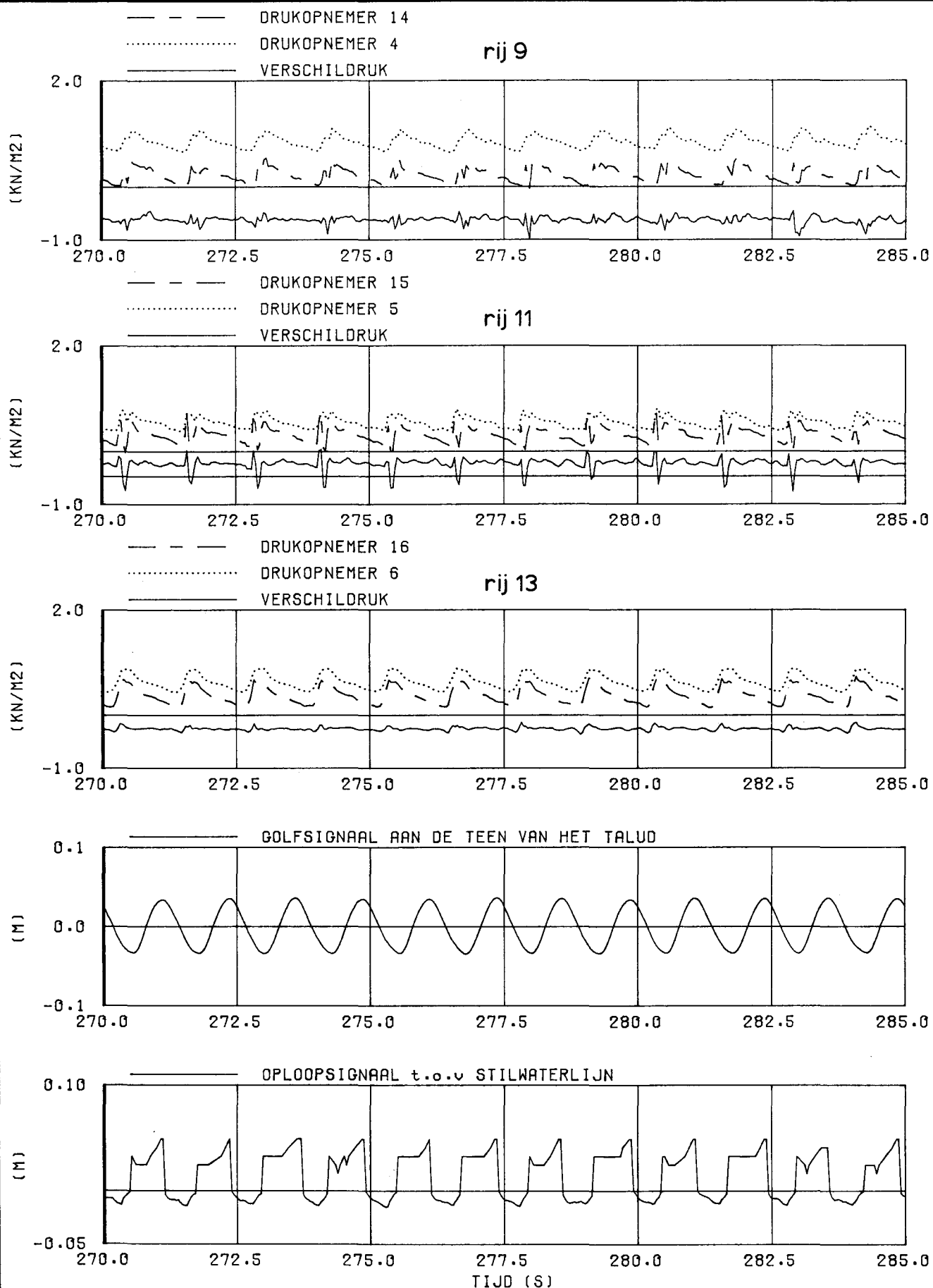
JONSWAP

CONSTR. 3 TALUD 1/3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 73



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P049

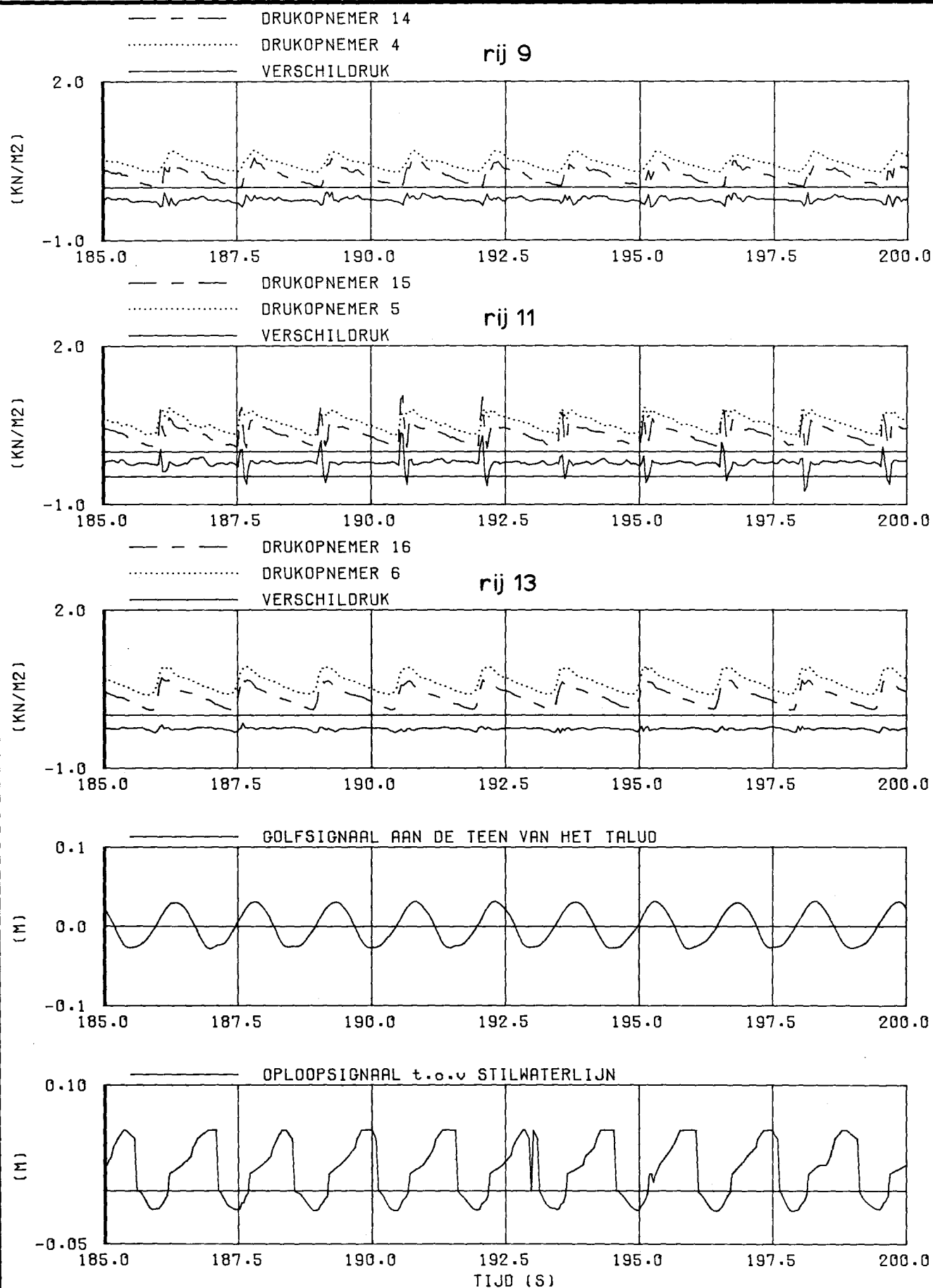
REGELMATIGE
 GOLVEN

CONSTR. 1 TALUD 1/6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 74



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P050

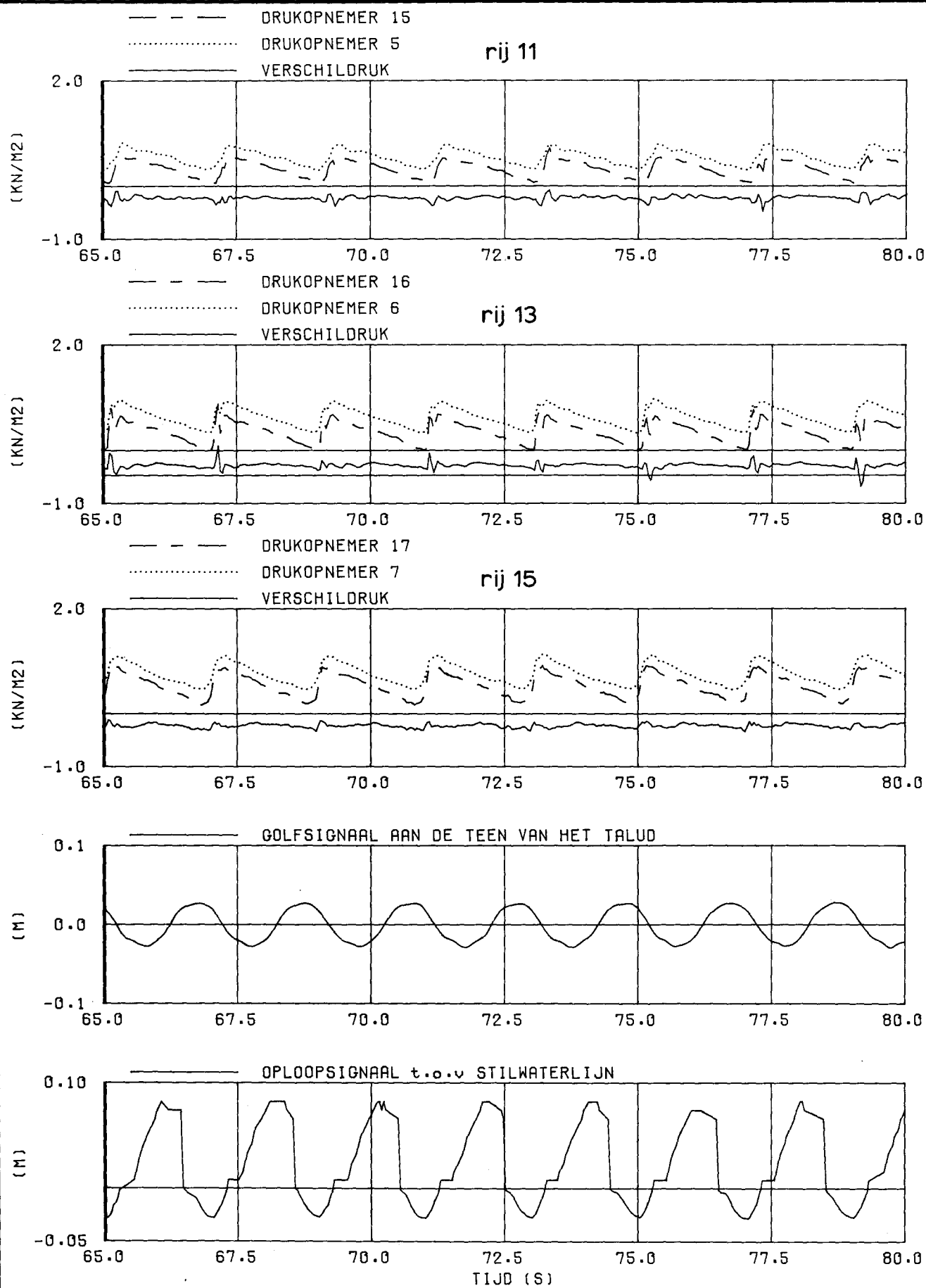
REGELMATIGE
 GOLVEN

CONSTR. 1 TALUD 1/6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 75



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P051

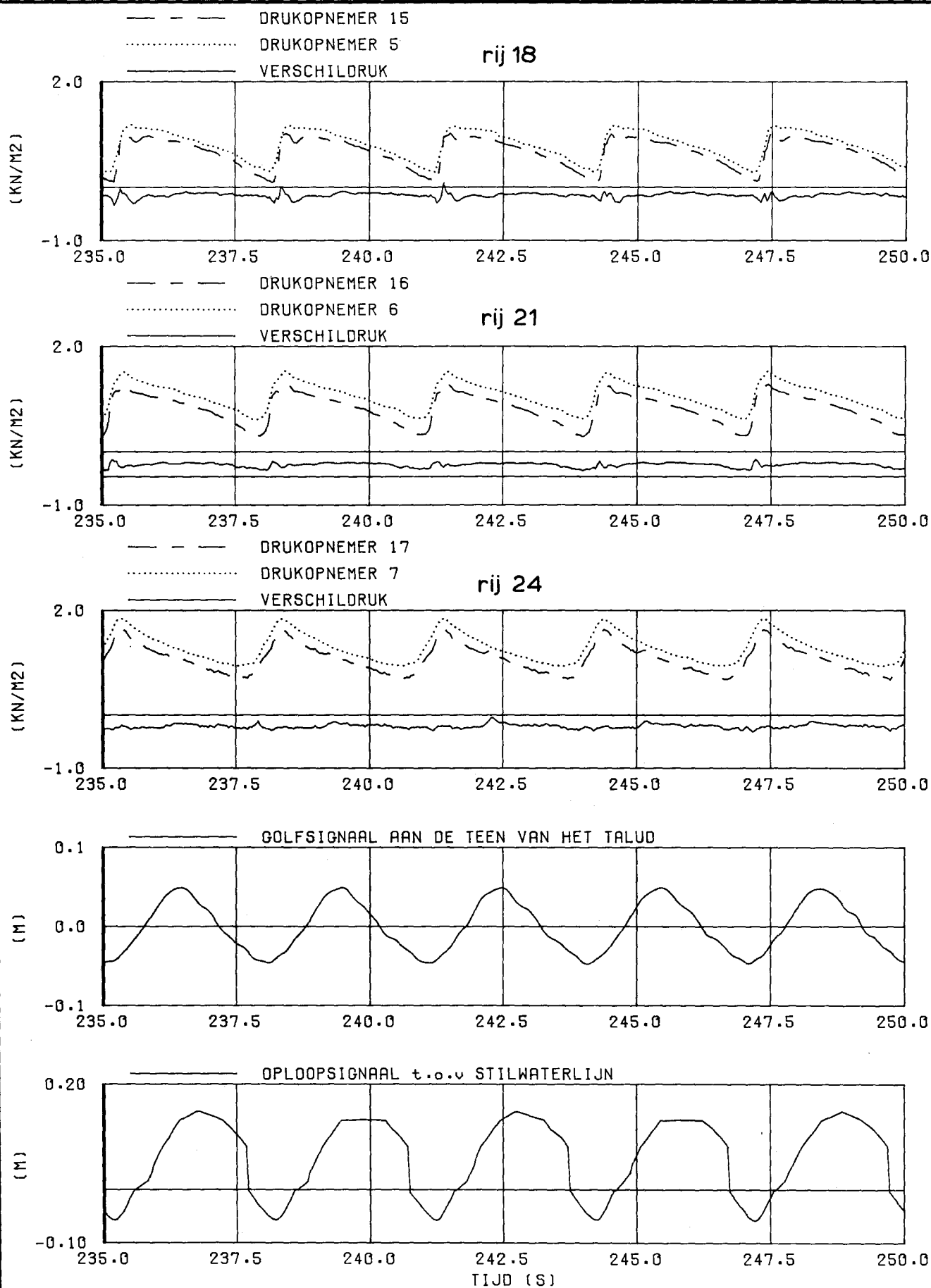
REGELMATIGE
 GOLVEN

CONSTR. 1 TALUD 1/6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 76



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
RONDOM SCHADETIJDS TIP

P052

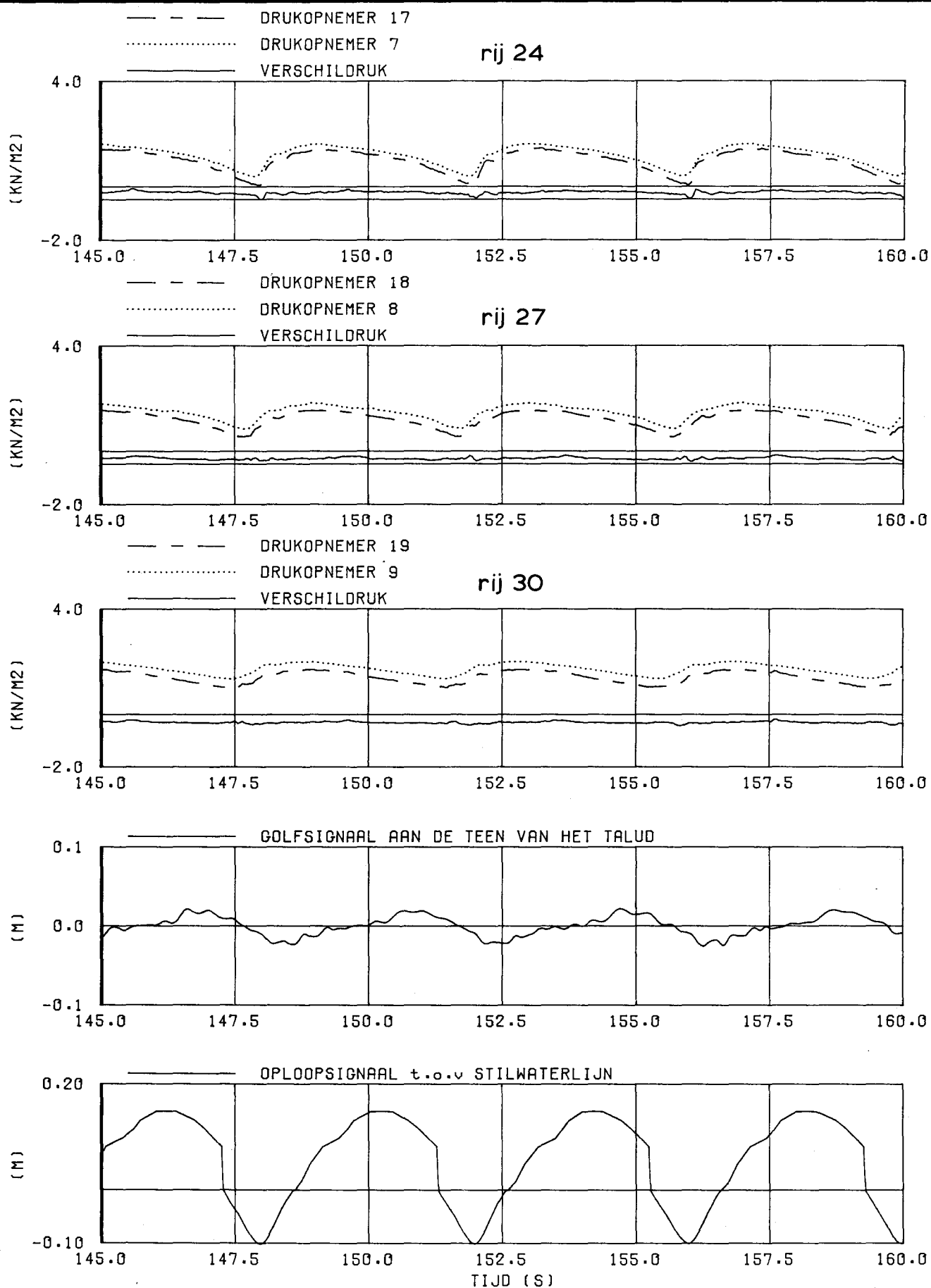
REGELMATIGE
GOLVEN

CONSTR. 1 TALUD 1/6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 77



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P053

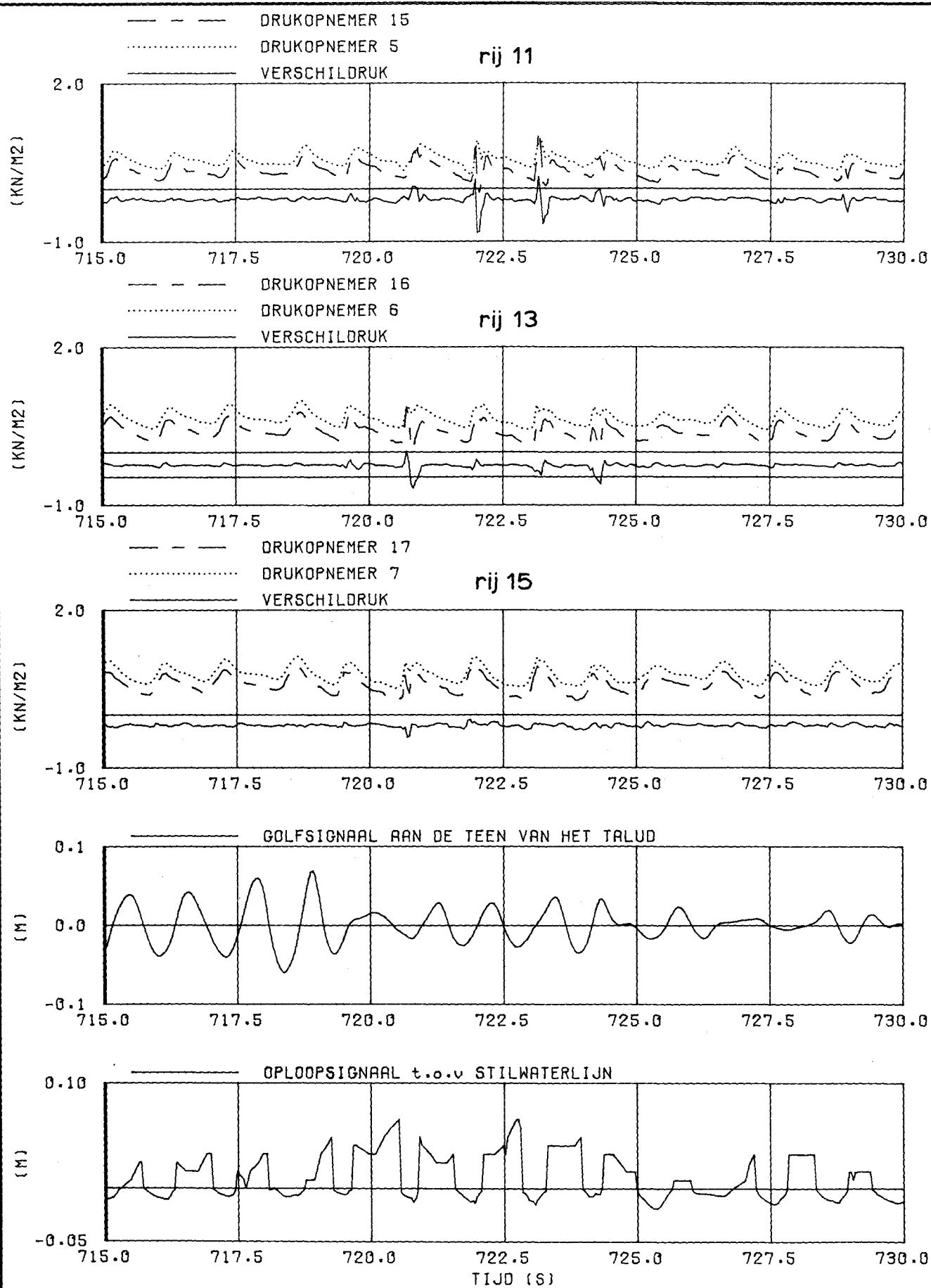
REGELMATIGE
 GOLVEN

CONSTR. 1 TALUD 1/6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 78



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P046

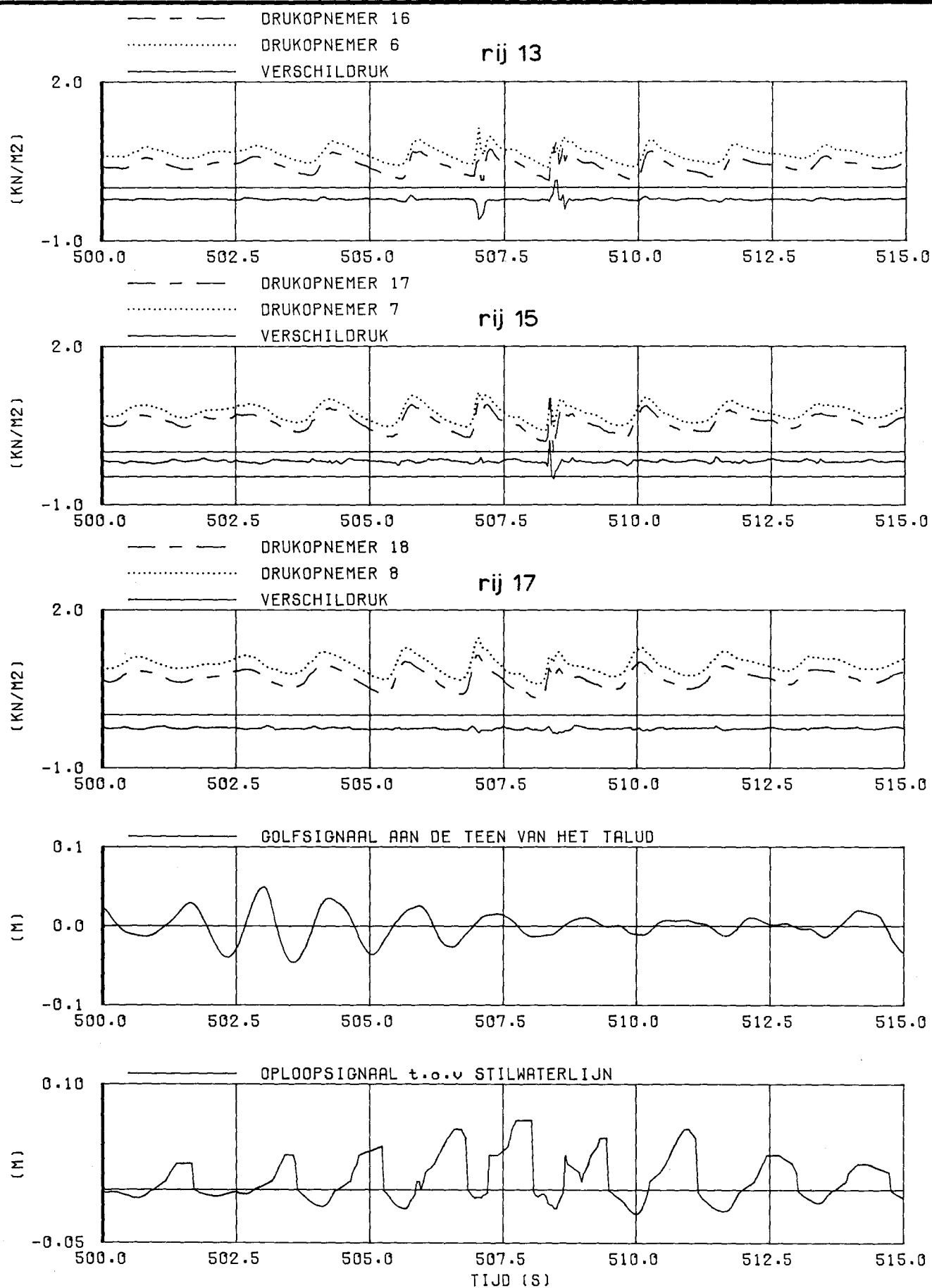
JONSWAP

CONSTR. 1 TALUD 1/6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 79



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
RONDOM SCHADETIJDSTIP

P047

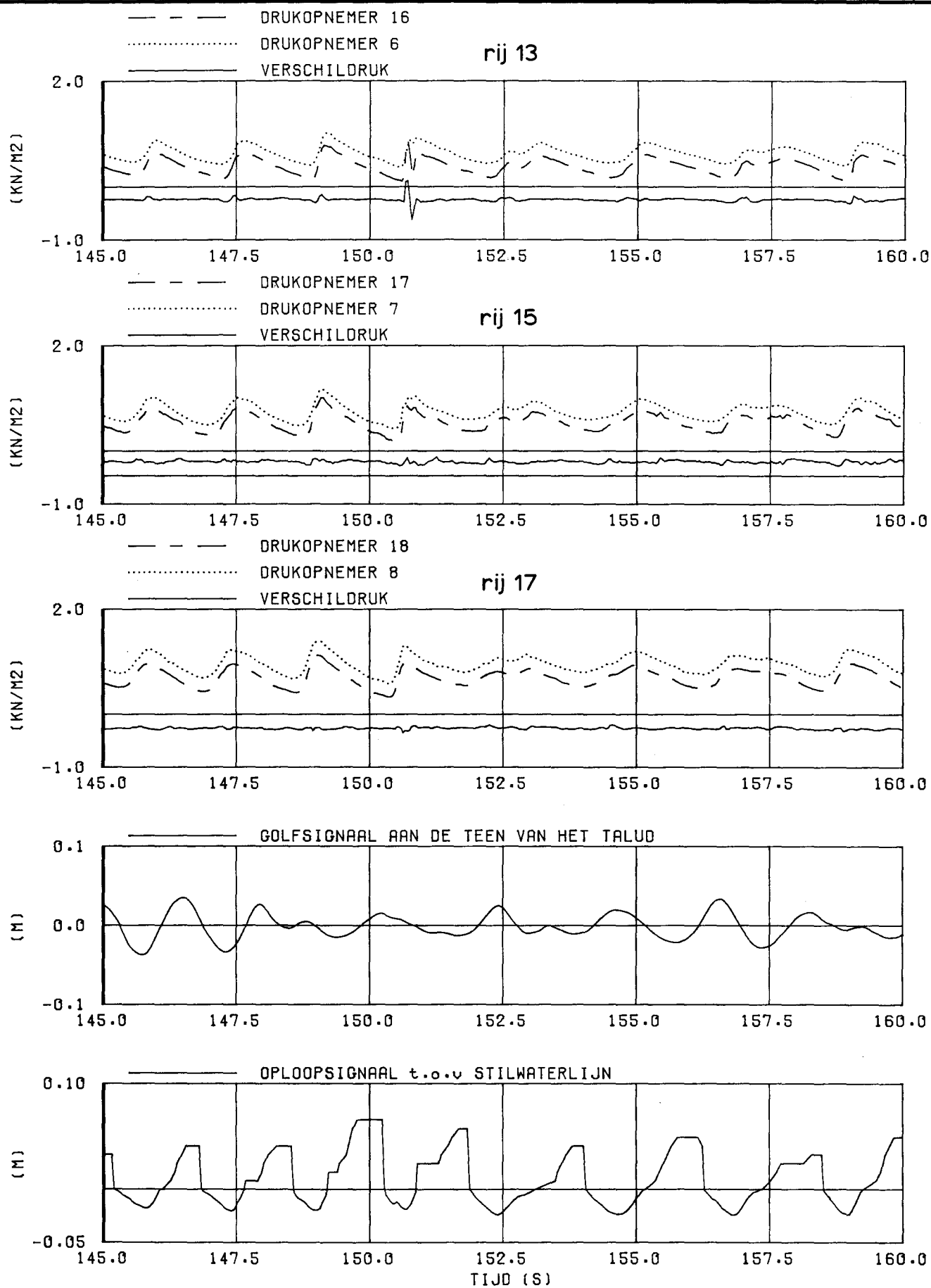
JONSWAP

CONSTR. 1 TALUD 1/6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 80



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
RONDOM SCHADETIJDSTIP

P048

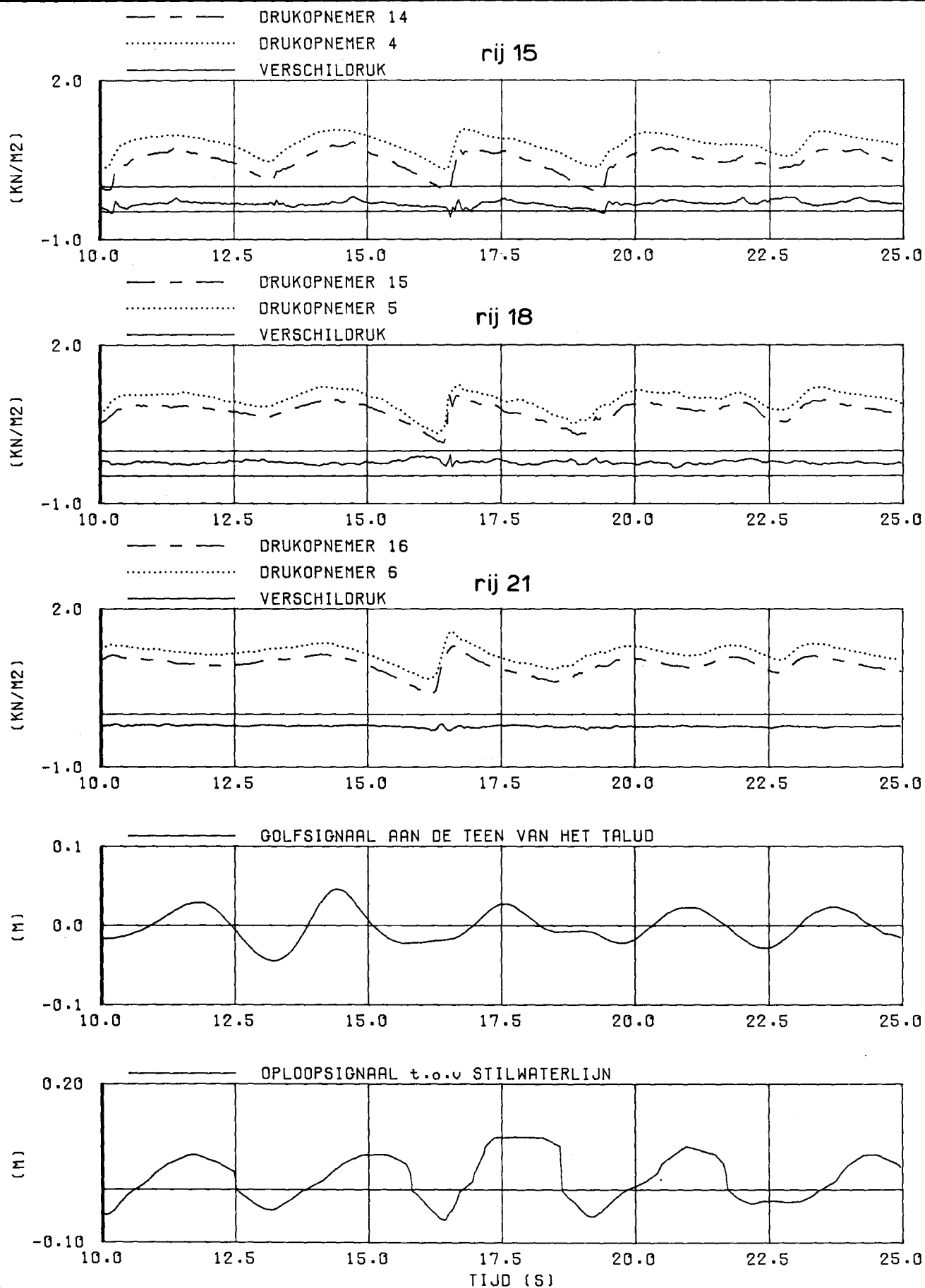
JONSWAP

CONSTR.1 TALUD 1/6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 81



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P054

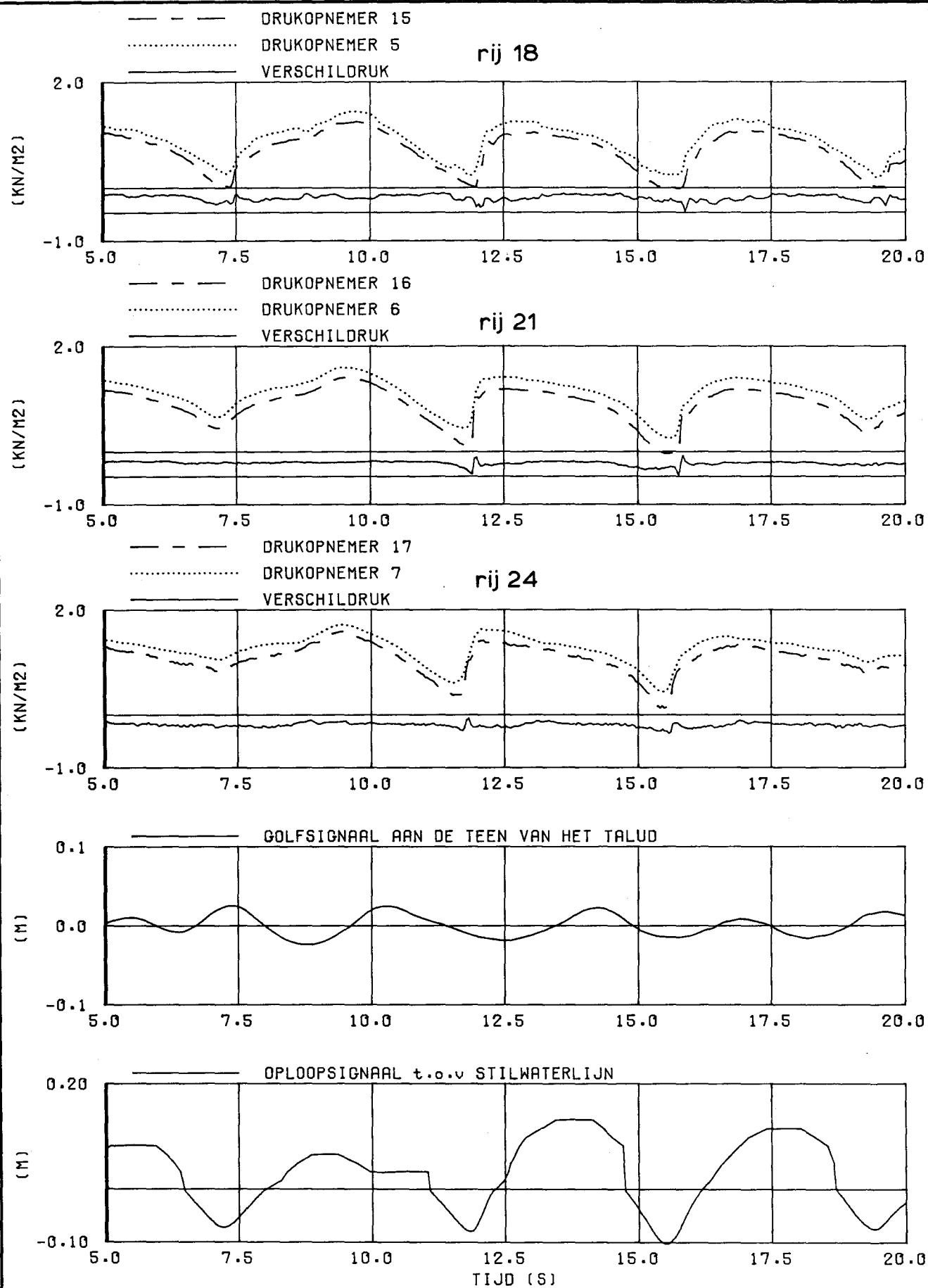
JONSWAP

CONSTR. 1 TALUD 1/6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 82



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
RONDOM SCHADETIJDSTIP

P055

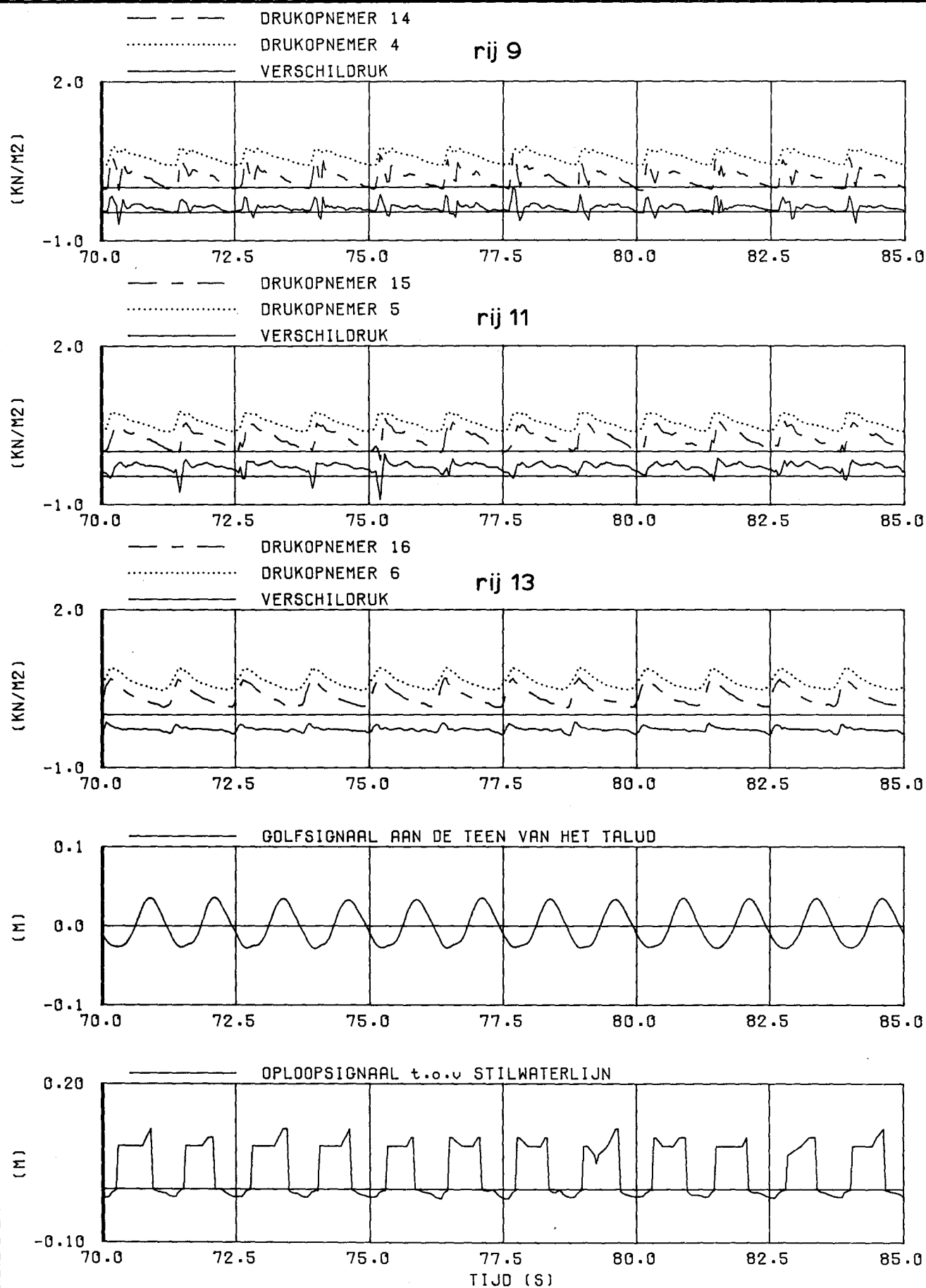
JONSWAP

CONSTR. 1 TALUD 1/6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 83



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P056

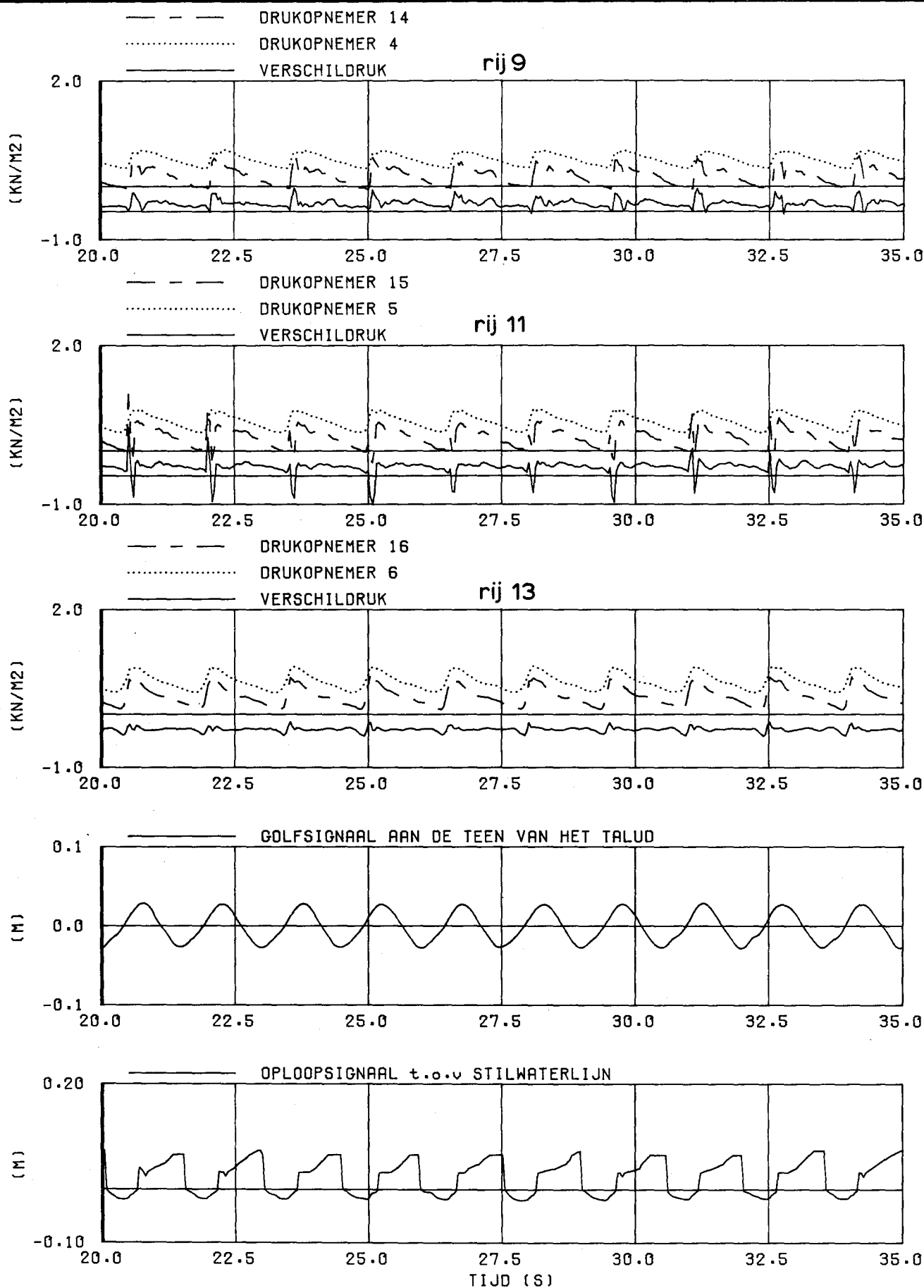
REGELMATIGE
 GOLVEN

CONSTR. 2 TALUD 1/6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 84



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
RONDOM SCHADETIJDSTIP

P057

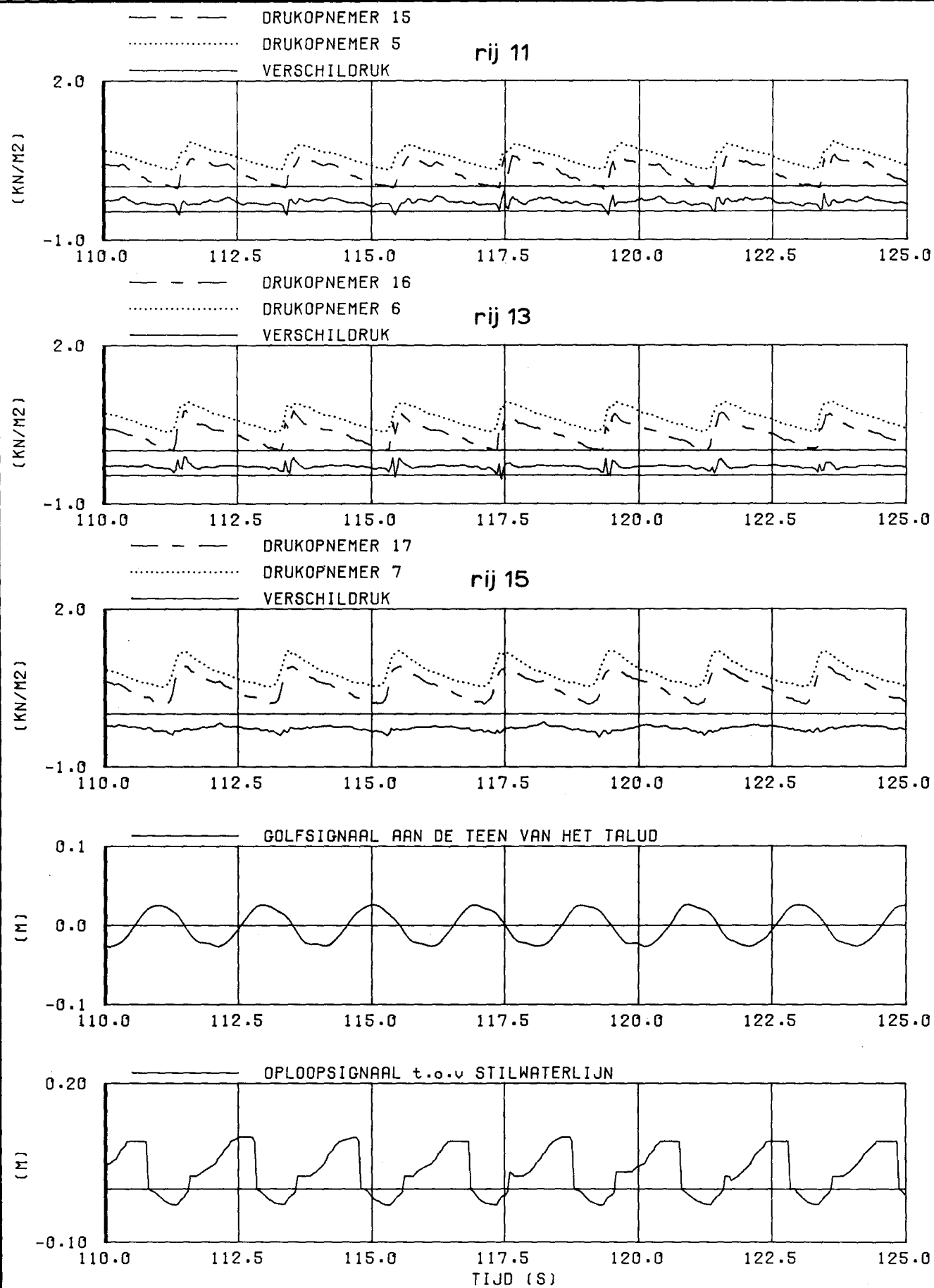
REGELMATIGE
GOLVEN

CONSTR.2 TALUD 1/6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 85



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P058

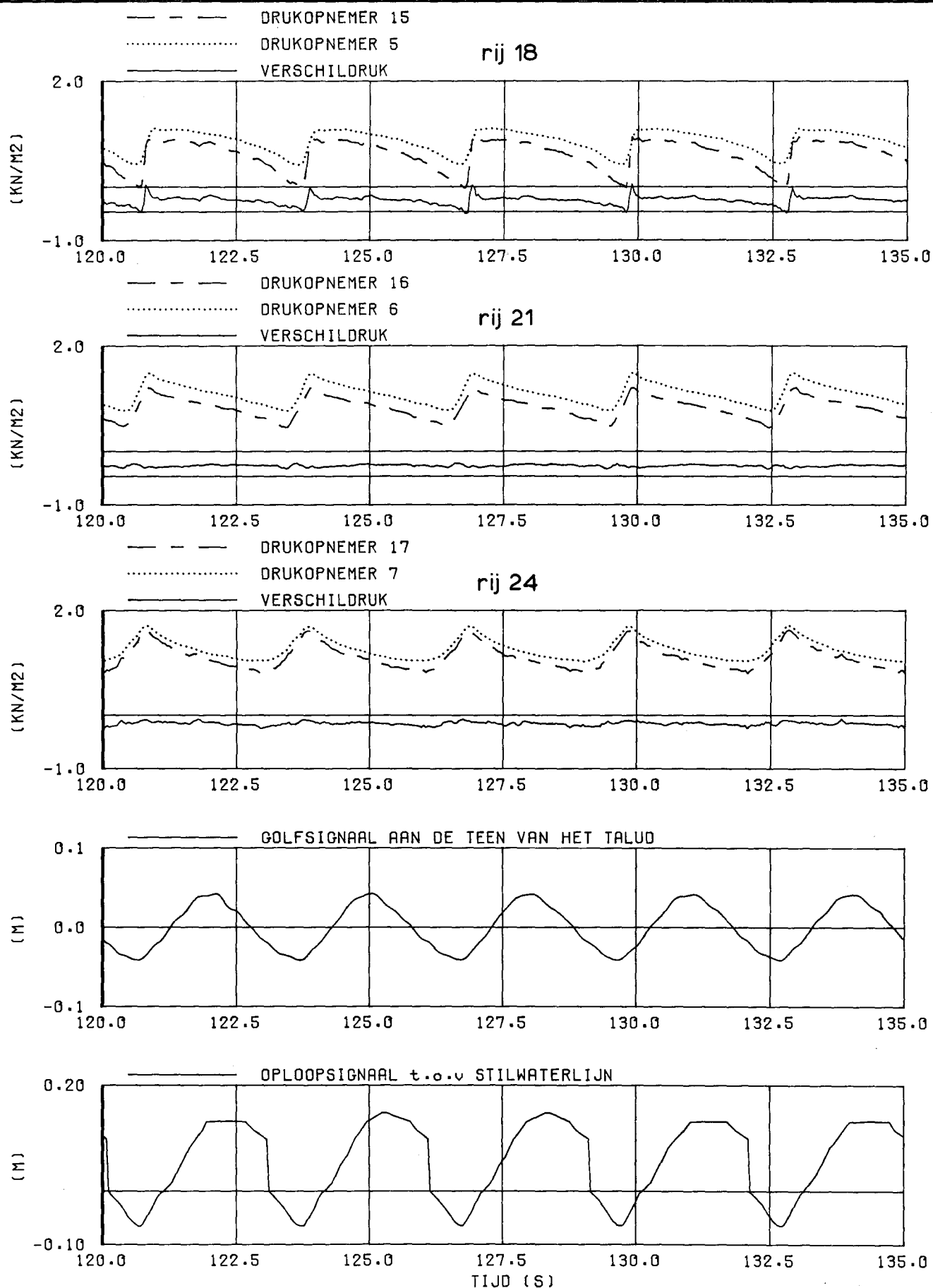
REGELMATIGE
 GOLVEN

CONSTR. 2 TALUD 1/6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 86



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
 RONDOM SCHADETIJDSTIP

P059

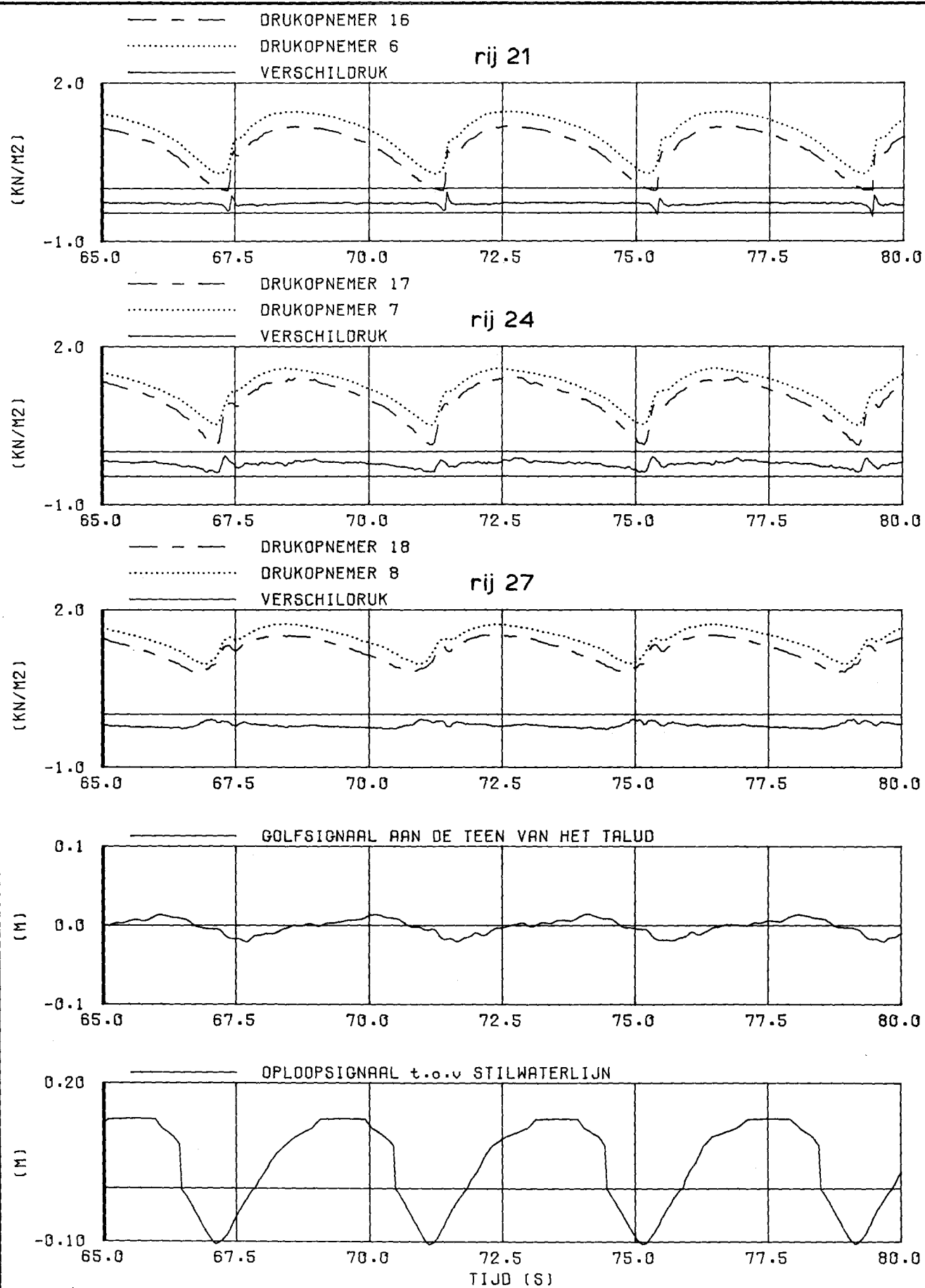
REGELMATIGE
 GOLVEN

CONSTR.2 TALUD 1/6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 87



DRUK EN WATERSTANDS VERLOOP
RONDOM SCHADETIJDSTIP

P060

REGELMATIGE
GOLVEN

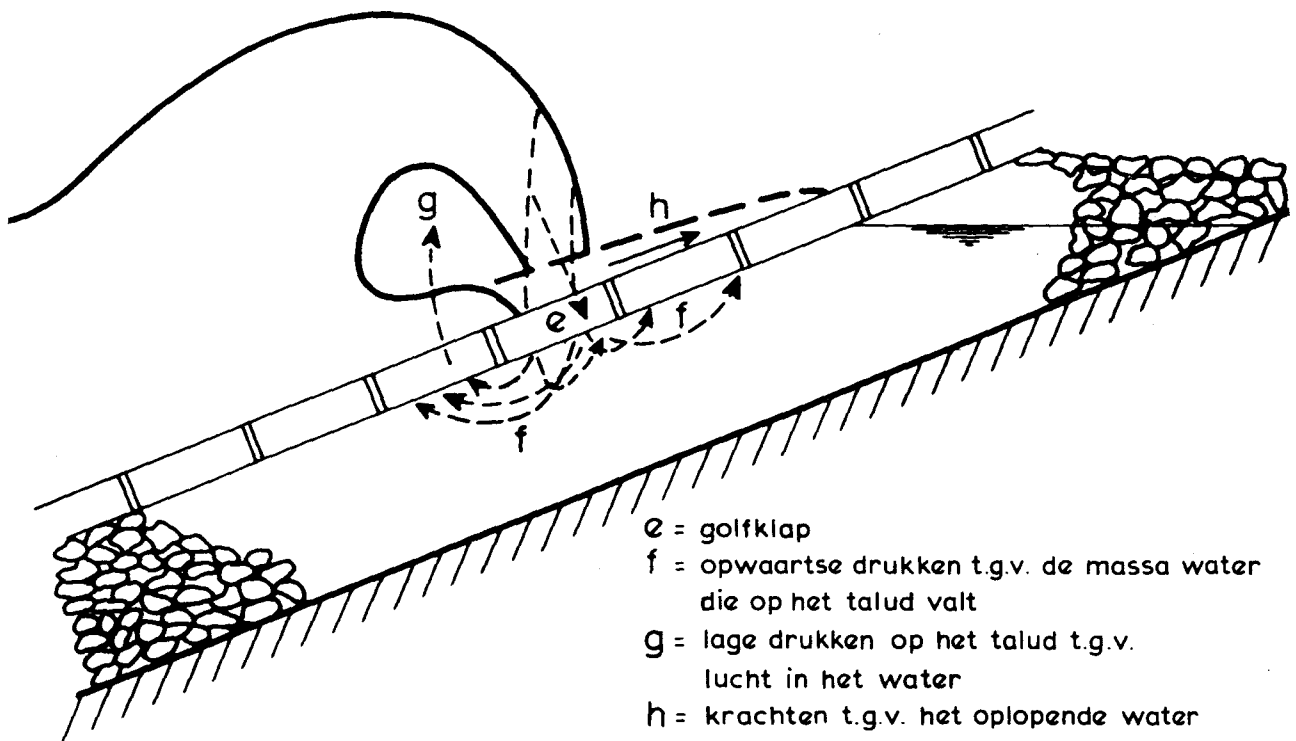
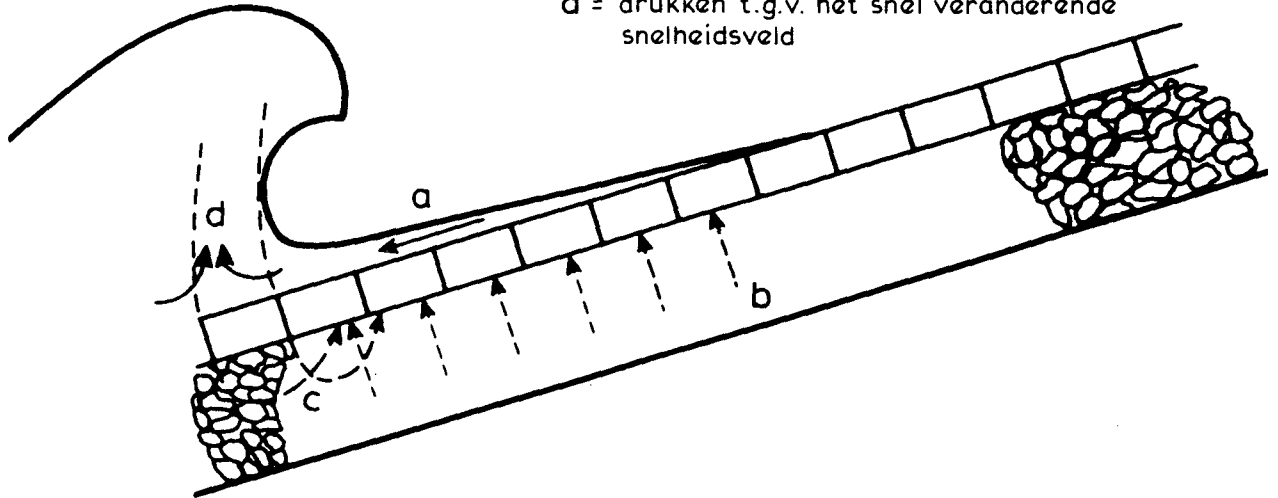
CONSTR.2 TALUD 1/6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 88

- a = krachten t.g.v. het teruglopende water
 b = opwaartse drukken t.g.v. het water in het filter
 c = opwaartse drukken t.g.v. het steile golffront
 d = drukken t.g.v. het snel veranderende snelheidsveld

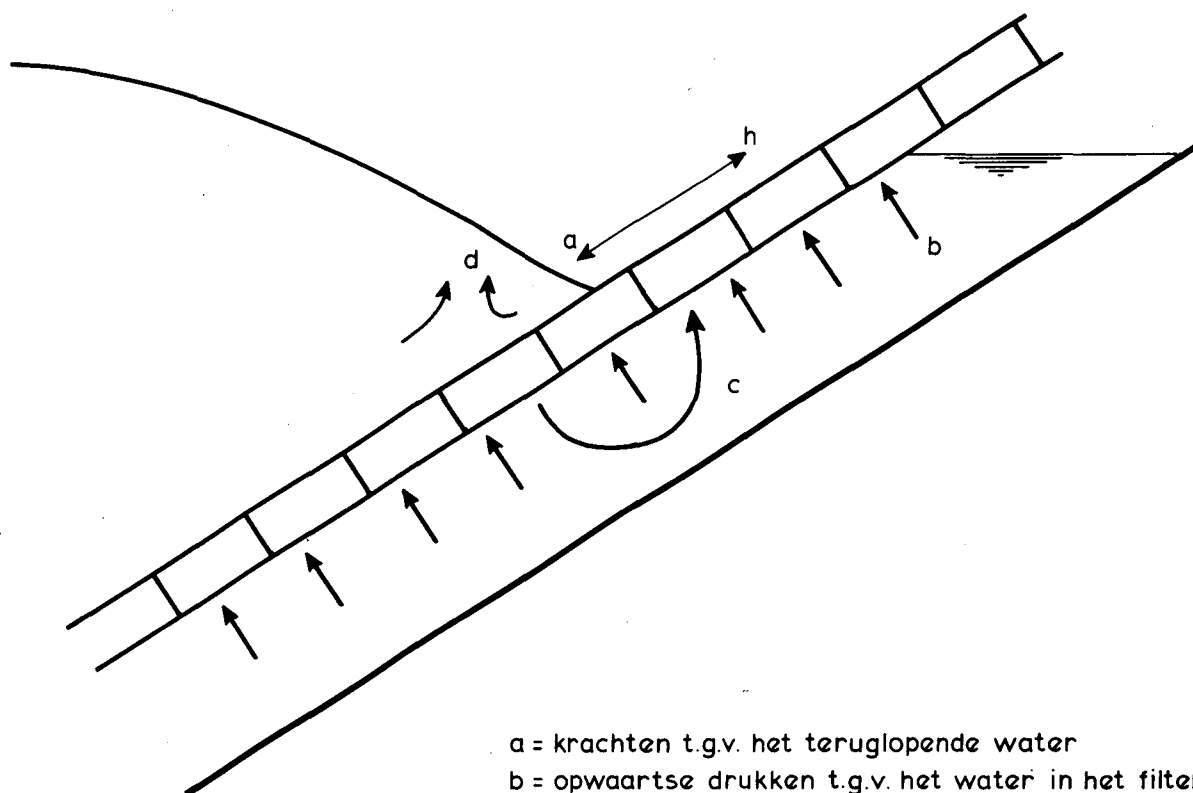


SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN
 SCHADEMECHANISMEN BIJ
 "PLUNGING" BREKERTYPE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

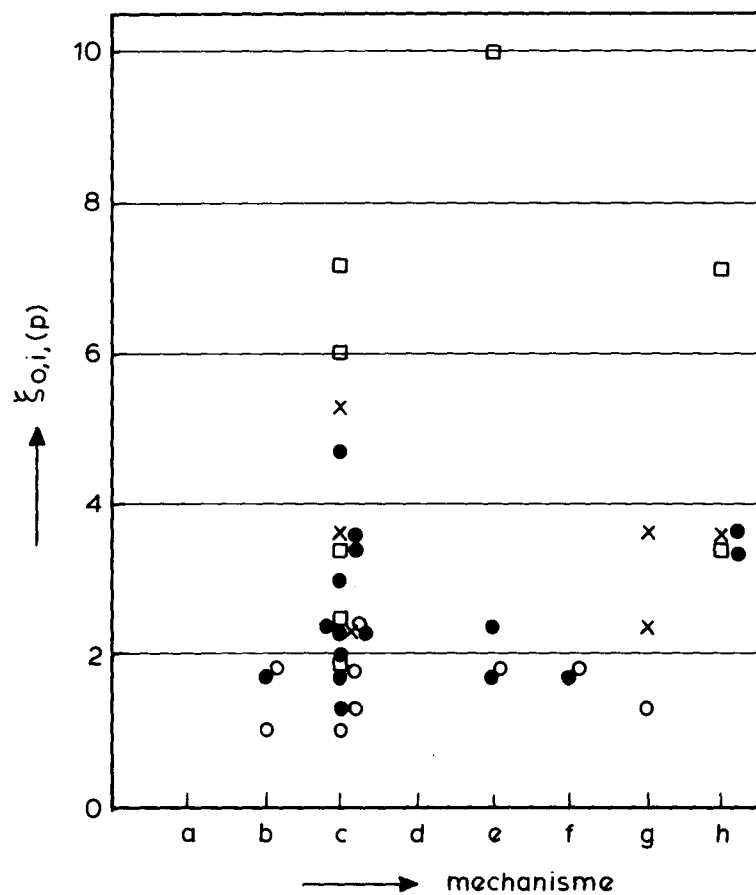
M 1881

FIG. 89



- a = krachten t.g.v. het teruglopende water
 b = opwaartse drukken t.g.v. het water in het filter
 c = opwaartse drukken t.g.v. het steile golffront
 d = drukken t.g.v. het snel veranderende snelheidsveld
 h = krachten t.g.v. het oplopende water

SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN
 SCHADEMECHANISMEN BIJ NIET BREKENDE GOLVEN
 OF BIJ "COLLAPSING" BREKERTYPE



OPGETREDEN SCHADEMECHANISMEN ALS
FUNCTIE VAN ξ -WAARDEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1881

FIG. 91

Taludbekleding van gezette steen

Vergelijking resultaten modelonderzoek met
numerieke berekeningsresultaten (LGM)

Sectie 3 van verslag kleinschalig modelonderzoek

M1795/M1881 deel XIV
CO-258901/118 - LGM
februari 1985

INHOUD SECTIE 3:

1. Inleiding
2. Verschildrukken op een steenzetting in relatie tot de lek lengte
3. De berekening van de doorlatendheden van zetting en filter.
4. Vergelijking van de resultaten van STEENZET met Scheldegootproeven.
5. Berekening van de lek lengte en vergelijking van de op verschillende wijze gevonden lek lengten.
6. De waarde van STEENZET voor het ontwerpen van steenzettingen.
7. Vergelijking van Scheldegootzettingen met prototypezettingen.
8. Verschillen in $H/\Delta D$ waarden bij verschillende lek lengten.
9. Conclusies.

FIGUREN

1. De gemeten golfdruk en de berekende en gemeten waterspanningen en verschildrukken voor PO 16
2. Als figuur 1 voor PO 32
3. Als figuur 2 voor PO 33
4. Als figuur 1 voor PO 39
5. Als figuur 1 voor PO 49
6. Als figuur 1 voor PO 53
7. Top-dal waterspannings amplitude tegen de leklengten voor PO 32
8. Als figuur 7 voor PO 33
9. Als figuur 7 voor PO 39
10. Als figuur 7 voor PO 49
11. Als figuur 7 voor PO 53

Symbolenlijst

H	= golfhoogte	m'
b	= filterlaagdikte	m'
d	= steenzettingdikte	m'
α	= taludhelling	-
λ	= leklengte	m'
k	= doorlatendheid van de filterlaag	m'/s
k'	= laminaire zettingdoorlatendheid	m'/s
i	= verhang	-
h	= hoogte van de freatische lijn	m'
d_{50}	= gemiddelde korreldiameter	mm'
k_a	= aanstroomweerstand in filters naar de zetting	m'/s
k_s	= spleetweerstand	m'/s
$k_{s,iu}$	= in een uittreeweerstand in spleet	m'/s
q	= het debiet per eenheid van oppervlakte	m'/s
g	= zwaartekracht	m'/s ²
β	= de opp. van de spleet per eenheid van opp. zetting -	
s	= spleetbreedte	m'
Re	= getal van Reynolds	
μ	= dynamische viscositeit	kg/m.s
ρ	= soortelijke massa van water	kg/m ³
$k_{s,t}$	= turbulente spleetweerstand	m/s
k_z	= turbulente zettingdoorlatendheid	m/s
L	= h.o.h. blokafstand	m'
P	= verschilddruk over de zetting	kN/m ²
n	= schaalfactor	

1. Inleiding.

Dit rapport is een onderdeel van het rapport kleinschalig onderzoek naar de stabiliteit van gezette steen op een filterlaag, M1795/M1881 deel XIV WL, CO-258901/118 - LGM.

Het rapport behandelt in par. 2 de relatie tussen de verschillendrukken over een steenzetting en de lek lengte.

In par. 3 wordt een theoretische berekening van de doorlatendheid van de zetting uitgevoerd.

Vervolgens wordt in par. 4 de resultaten van het numeriek rekenprogramma STEENZET (1) getoetst aan een zestal schadeproeven uit een proevenserie uitgevoerd op verschillende steenzettingen in de Scheldegoot van het Waterloopkundig Laboratorium in de Voorst.

Bij de vergelijking van de resultaten wordt bepaald of aan de hand van het programma STEENZET eenzelfde inzicht in het moment en de plaats van optreden van schade kan worden verkregen als bij de Scheldegootproeven.

Par. 5 vergelijkt de lek lengten, verkregen uit het gericht lek lengtenonderzoek, de Scheldegootproeven en theoretische berekening van de zettingdoorlatendheden.

De waarde van STEENZET bij het ontwerpen van steenzettingen wordt in par. 6 behandeld en tenslotte wordt in par. 7 het Scheldegootonderzoek vergeleken met Deltagoot- en prototypeonderzoeken.

In de appendix 1 van sectie 1 is het genoemde lek lengteonderzoek (2) opgenomen.

Het rapport is opgesteld door ir. A. Bezuijen en ir. H.J.v.d.Graaf van het Laboratorium voor Grondmechanica.

2. Verschildrukken op een steenzetting in relatie tot de lek lengte

Verschildrukken over een steenzetting worden veroorzaakt door het verschil in druk aan de bovenkant van een zetting en aan de onderkant van die zetting.

De drukken aan de bovenkant van de zetting worden bepaald door de waterbeweging op het talud. Het bepalen van deze waterdrukken is een hydraulisch probleem.

De waterdrukken aan de onderzijde van de zetting worden bepaald door de grondwaterstroming in het filter. Dit is een grondmechanisch probleem. De drukken aan de bovenzijde van het talud, veroorzaakt door de beweging van het buitenwater zijn een randvoorwaarde voor dit grondmechanische probleem.

De drukken aan de bovenzijde van het talud worden bepaald door de golfhoogte, golflengte en de helling van het talud. Tot nu toe is er geen relatie bekend tussen bovenstaande parameters en de drukverdeling op het talud en wordt deze drukverdeling bepaald door modelonderzoek. Voor meerdere taludhellingen, golfhoogten en golftlengten zijn metingen beschikbaar.

De waterdrukken onder het talud kunnen berekend worden door de stationaire stromingsvergelijking in de filterlaag op te lossen:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0 \quad (1)$$

Uitgaan van deze vergelijking betekent dat de stroming in de filterlaag laminair verondersteld wordt, geen elastische berging in de filterlaag wordt beschouwd en dat dynamische effecten veroorzaakt door golfklappen verwaarloosd worden. Voor een voldoende doorlatende filterlaag van beperkte afmetingen zal gelden dat de stroming in de filterlaag hoofdzakelijk langs de steenzetting gericht is en is voor (1) te schrijven:

$$\sin^2 \alpha \frac{d^2 \bar{\phi}}{dz^2} = \frac{1}{b} \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_0 + \quad (2)$$

Hierin is $\bar{\phi}$ de gemiddelde stijghoogte op een hoogte z en zijn de overige parameters gedefinieerd in onderstaande figuur.

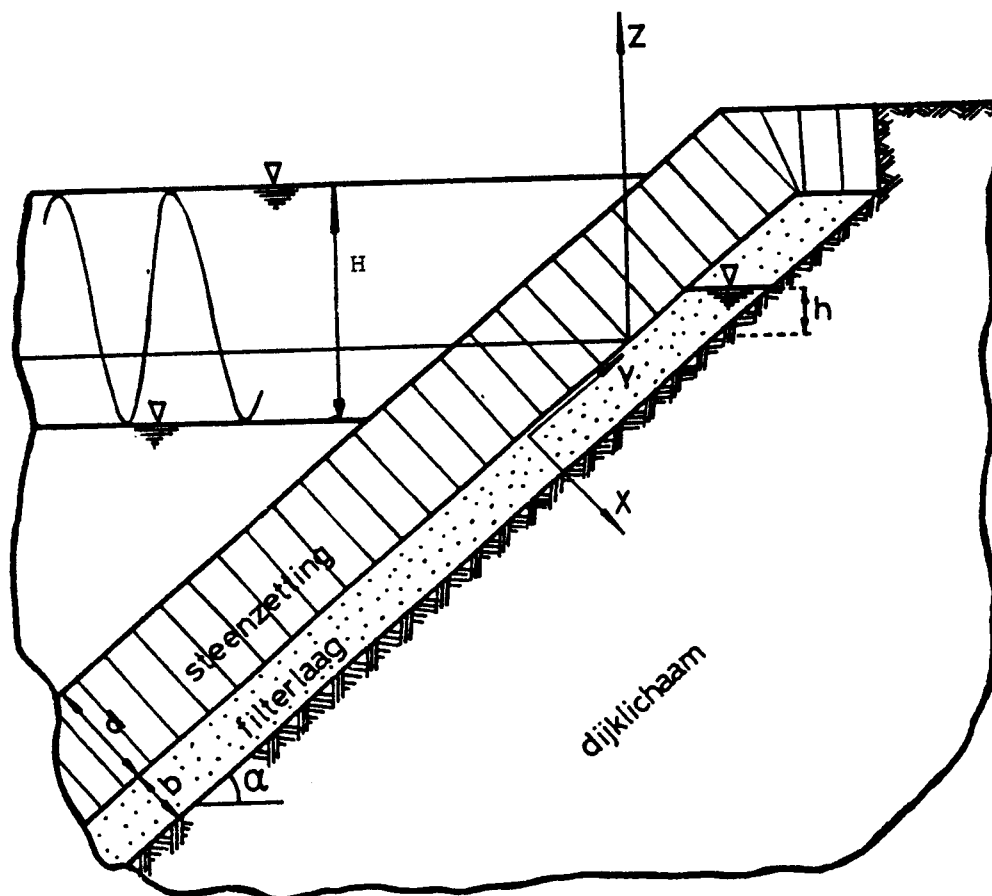


Fig. 2.1: Doorsnede over een steenzetting met golf

Vergelijking (2) is in het algemeen numeriek oplosbaar. Voor een speciaal geval met een eenvoudige hydraulische randvoorwaarde, een met de tijd sinus-vormig in hoogte variërende horizontale waterstand en een oneindig lang talud met één helling, bleek een analytische oplossing mogelijk [4].

Het resultaat van deze berekening is gegeven in de dimensieloze grafiek van figuur 2.2. Uit deze figuur blijkt dat zowel de verschildruk gedeeld door de golfhoogte, de ligging van de freatische lijn in het

filter gedeeld door de golfhoogte en het verhang in het filter langs het talud, daar waar de overdruk maximaal is, functies zijn van de parameter: H/λ met H , de golfhoogte en

$$\lambda = \sin \alpha \sqrt{\frac{k b d}{k'}} \quad (3)$$

waarin: k de doorlatendheid van de filterlaag
 k' de doorlatendheid van de steenzetting
 b de dikte van de filterlaag
 d de dikte van de zetting
 α de hoek van het talud met de horizontaal

Deze λ wordt ook wel de leklengte genoemd.

Uit figuur 2.2. blijkt duidelijk dat een kleinere waarde van de leklengte aanleiding geeft tot lagere overdrukken ondanks dat de freatische lijn in het filter hoger komt te liggen. De belasting van de filterlaag onder de top laag neemt echter toe, wat blijkt uit de hogere verhangen in de filterlaag.

Voor meer algemene hydraulische randvoorwaarden of voor het geval dat het talud verschillende hellingen bevat, is geen analytische oplossing bekend.

Voor deze gevallen is een numeriek rekenprogramma ontwikkeld. Met dit programma kunnen de overdrukken bij willekeurige hydraulische randvoorwaarden doorgerekend worden. De resultaten van dit programma (STEENZET) zullen in het vervolg vergeleken worden met de hiervoor besproken metingen. Ook hier blijkt het van belang de leklengte te kennen. In bovenstaande is de leklengte ingevoerd als resultaat van het oplossen van de stromingsvergelijking. Het belang van deze parameter voor de stabiliteit van steenzettingen kan echter ook duidelijk gemaakt worden door voor een eenvoudig geval aan te geven wat de fysische betekenis is van de leklengte parameter λ in een taludbeschermingsconstructie van gezette steen.

Dit kan gedaan worden met behulp van figuur 2.3.

LEGENDA :

CO-258901/177

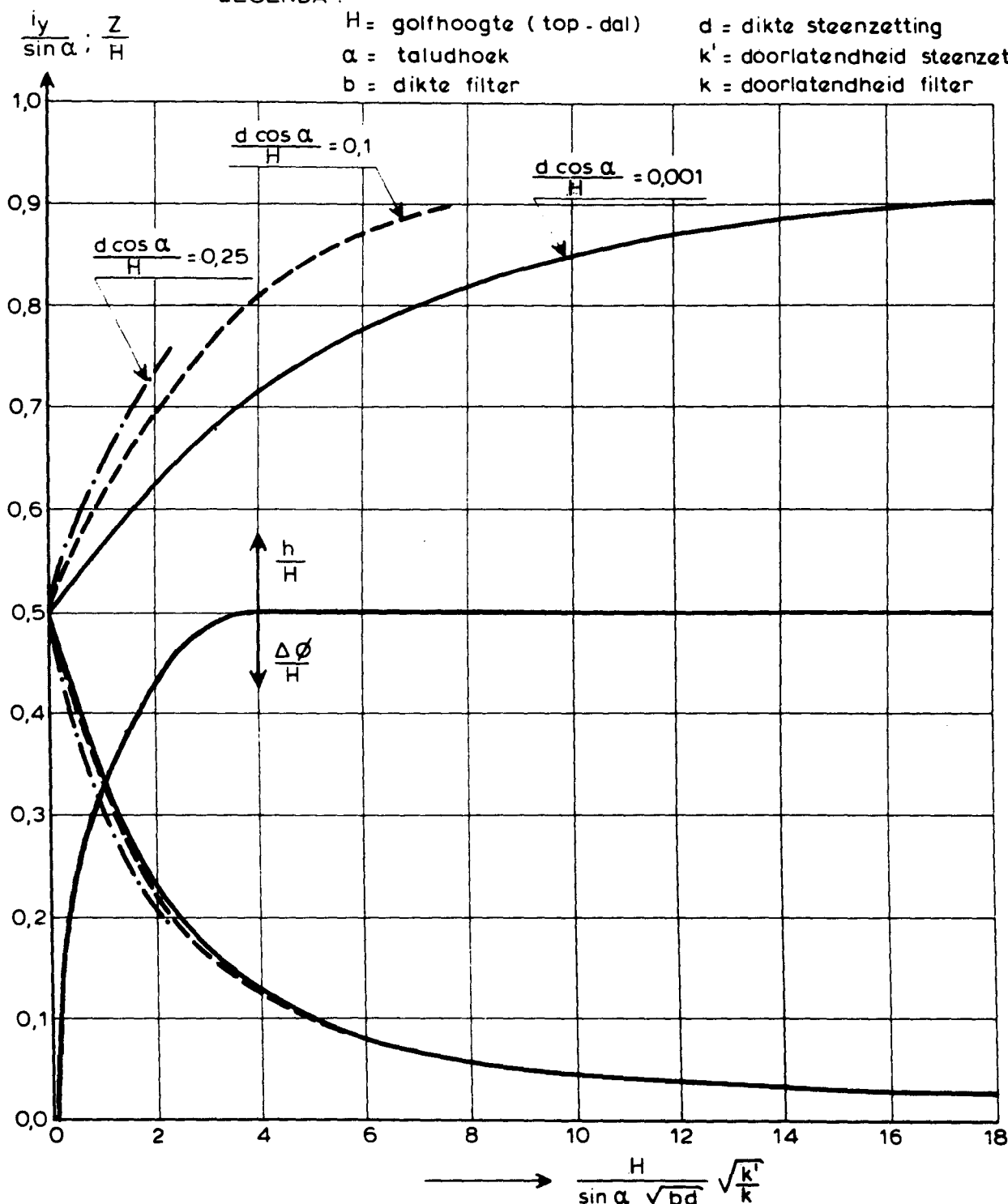
 H = golfhoogte (top - dal) α = taludhoek b = dikte filter d = dikte steenzetting k' = doorlatendheid steenzetting k = doorlatendheid filter

Fig. 2.2. De resultaten van de analytische oplossing (1):

De maximale verschilddruk gedeeld door de golfhoogte ($\frac{\Delta \phi}{H}$), de hoogte van de freatische lijn in het filter gedeeld door de golfhoogte ($\frac{h}{H}$) en het verhang in de filterlaag langs het talud gedeeld door $\sin \alpha$ ($i/\sin \alpha$) ter plaatse van de maximale verschilddruk als functie van de golfhoogte gedeeld door de leklengte (H/λ).

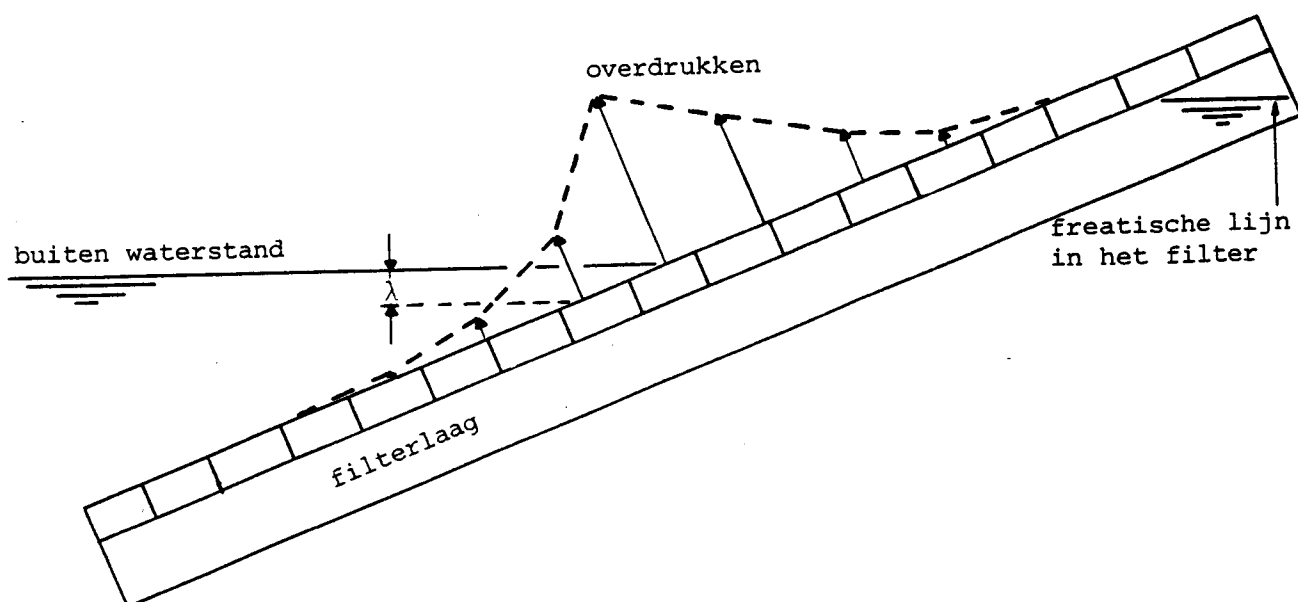


Fig. 2.3.: Verloop van verschildrukken over een steenzetting bij een gegeven horizontale buitenwaterstand, als de freatische lijn in het filter hoger is dan de buitenwaterstand.

In deze figuur is een taludbekleding weergegeven en het waterniveau in de filterlaag en daarbuiten. De buitenwaterstand is in dit geval horizontaal en de freatische lijn in het filter staat hoger dan de buitenwaterstand.

In deze situatie zal er een verschildruk over de stenen aanwezig zijn. Deze verschildruk is het grootst ter hoogte van de buitenwaterstand. Hoger op het talud en verder onder het buitenwaterniveau zal de verschildruk lager zijn. De afname van de druk hoger op het talud is afhankelijk van de ligging van de freatische lijn, de dikte van de blokken en de lek lengte en zal verderop beschouwd worden. Uit de oplossing van de stromingsvergelijking volgt echter dat, bij voldoende lang talud, de afname van de drukken onder het buitenwaterniveau alleen maar bepaald wordt door de lengteparameter λ .

In dit eenvoudige geval is de fysische betekenis van λ al heel eenvoudig. De lek lengte λ blijkt de karakteristieke lengte te zijn die aangeeft onder welke verticale afstand onder het buitenwaterniveau nog verschildrukken meetbaar zijn. Op λ lengte-eenheden onder het niveau van het buitenwater is de verschildruk nog $1/e = 0,37$ maal de verschildruk op het niveau van het buitenwater. Weer λ eenheden verder is die druk nog slechts $1/e^2 = 0,135$ maal de oorspronkelijke. Een kleine waarde voor λ wil dus zeggen dat de op het niveau van het buitenwater gemeten verschildrukken even onder dat niveau al niet meer te meten zijn.

Uit bovenstaande zal duidelijk zijn dat de lek lengte van belang is voor de drukverdeling in een filterlaag en hoe in een bepaald geval λ zelfs opgemeten kan worden uit de drukverdeling. Wat nog niet duidelijk is, is waarom een grote lek lengte aanleiding geeft tot een hogere verschildruk. De meest betrouwbare manier om dit in te zien, is om de berekening van de verschildruk uit (4) te volgen. Voor wie dit te tijdrovend vindt of zonder formules een idee wil krijgen waarom een grote waarde van λ grote verschildrukken geeft, het volgende:

Weer wordt de situatie van figuur 2.3. beschouwd, maar nu hoe de drukopbouw plaatsvindt in dat gedeelte van de filterlaag dat zich boven het niveau van het buitenwater bevindt. Het water dat zich juist onder de freatische lijn in het filter bevindt, heeft een hogere potentiaal dan het buitenwater.

Op niveaus tussen de freatische lijn in het filter en het buitenwater zal de druk in het filter dus hoger worden. Wanneer echter het hoogteverschil tussen de freatische lijn in het filter en het buitenwater veel groter is dan λ , zal de verschildruk op het niveau van het buitenwater niet hoger zijn dan van de orde λ meter waterkolom (uit (4) blijkt dat het precieze getal $0,5 \lambda$ is).

Dit, omdat - zoals is aangeduid in het bovenstaande - de druk in de filterlaag op een bepaalde plaats alleen maar beïnvloed wordt door drukken in die filterlaag in een gebied met een karakteristiek hoogteverschil van λ eenheden.

De hoge potentiaal van het water in de filterlaag vlak onder de freatische lijn geeft bij een kleine λ geen hoge verschildruk op het niveau van het buitenwater.

Het potentiaalverschil tussen de freatische lijn in het filter en het buitenwater zal bijna geheel gebruikt worden om in het tussengelegen gedeelte van het talud water door de filterlaag en uit de steenzetting te persen.

Pas als het hoogteverschil tussen het water in de filterlaag en het buitenwater kleiner is dan λ zal een belangrijk deel van het potentiaalverschil bijdragen tot een hogere verschildruk. Bij een grotere λ is de hoeveelheid water in de filterlaag, die een bijdrage geeft tot de maximale verschildruk op het niveau van de buitenwaterstand groter, en dit heeft dus tot gevolg dat ook de maximale verschildruk groter wordt.

In werkelijkheid zal de hydraulische randvoorwaarde zich zelden of nooit laten schematiseren tot een horizontaal waterniveau.

Uit de resultaten van modelonderzoek blijkt dat hoge drukken in de aankomende golf en lage drukken vlak achter de brekende golf van essentieel belang zijn om de schademechanismen voor een steenzetting te kunnen begrijpen. Toch blijkt ook in deze gevallen de lek lengte-parameter van belang voor het begrijpen van de schademechanismen.

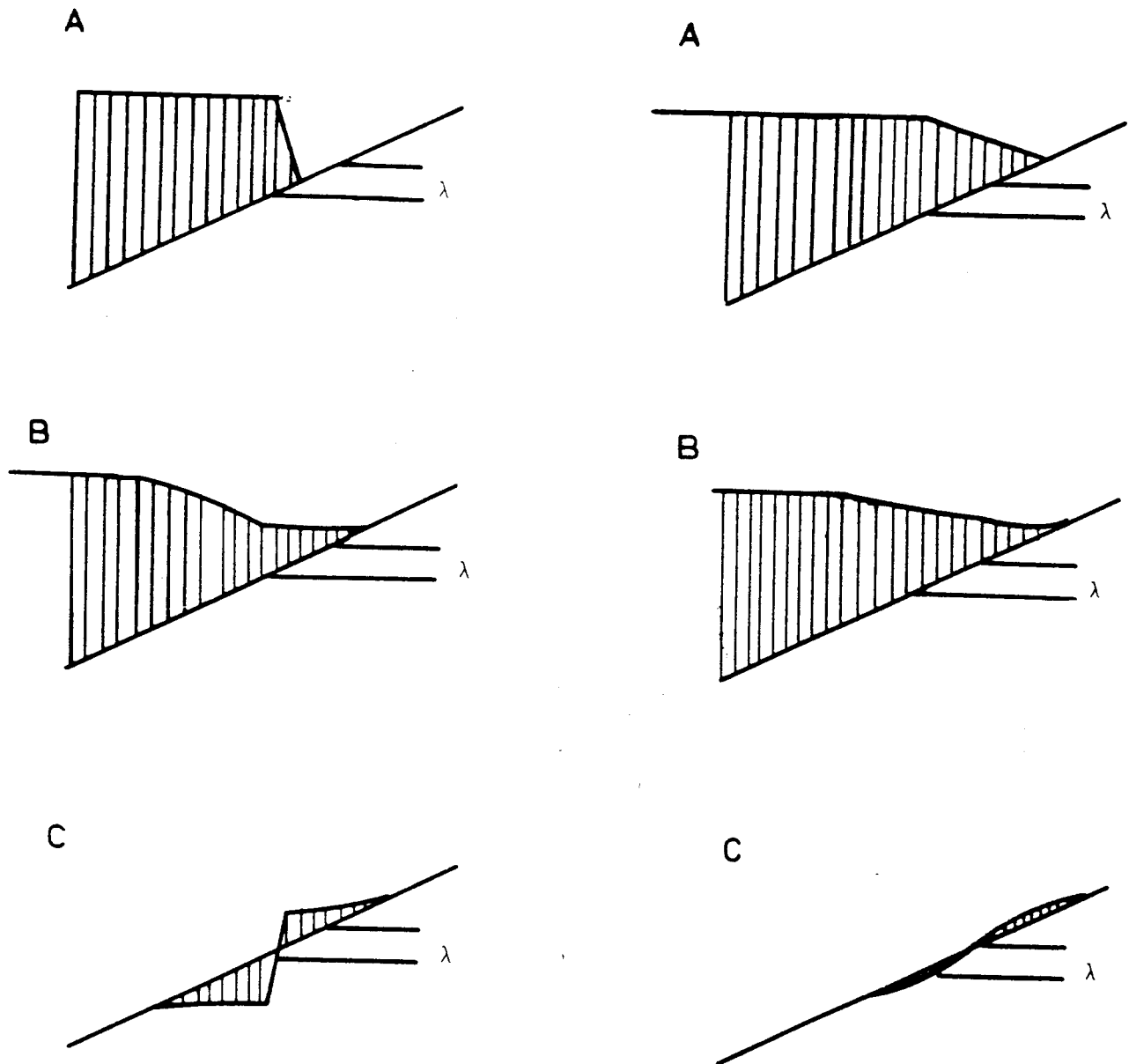
Uit voorgaande bleek namelijk dat de lek lengte beschouwd kan worden als de verticale afstand waarover de druk onder de zetting in de filterlaag zich aanpast aan de drukverdeling boven de filterlaag.

Zo zal, als een aankomende golf hoge drukken op het talud veroorzaakt, ook in de filterlaag op die plaatsen de druk hoog zijn. Voor de aankomende golf uit zullen de drukken op het talud juist laag zijn. Als nu de overgang hoge drukken naar lage drukken zich uitstrekt over een hoogteverschil dat veel kleiner is dan λ , zullen voor de golf uit de drukken in de filterlaag hoog blijven. En dus ook de verschildruk over de toplaag groot zijn. Is de overgang hoge druk op het talud naar lage druk op het talud echter heel geleidelijk en zich uitstrekkend over een afstand die veel groter is dan correspondeert met het hoogteverschil λ , dan zal de druk in de filterlaag de druk op de filterlaag volgen en zullen geen hoge overdrukken aanwezig zijn. Een en ander is geïllustreerd met figuur 2.4.

Eenzelfde redenering is ook te geven voor het geval dat achter een golfklap lage drukken op het talud voorkomen. Deze situatie is geschetst in figuur 2.5.

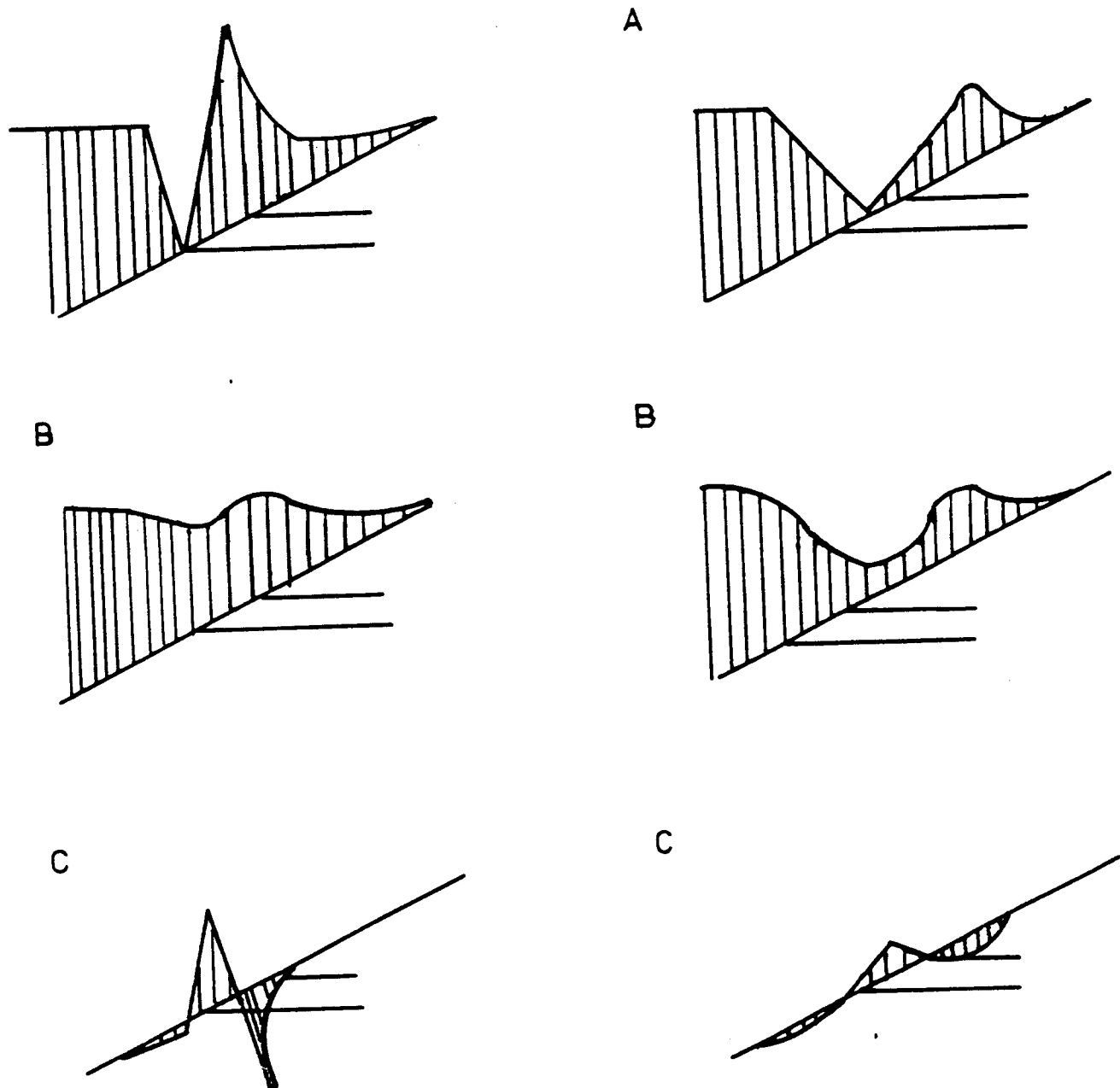
Uit deze laatste beschouwing volgt, dat voor werkelijke golven het in figuur 2.2. geïllustreerde verband: kleinere λ kleinere verschillen wel eens wat minder duidelijk kan zijn. Dit kan duidelijk gemaakt worden met het volgende voorbeeld:

Stel voor een bepaalde oeverbeschermings-constructie blijken de lage drukken achter een brekende golf het belangrijkste schademechanisme. Deze lage drukken strekken zich uit over een afstand die overeenkomt met een hoogteverschil van $1/10 \lambda$. Als nu de doorlatendheid voor de top laag een factor 4 vergroot wordt, wordt λ 2 maal zo klein, maar bovengenoemde afstand is dan nog steeds slechts $1/5 \lambda$. Uit figuur 2.5. volgt, dat dan de invloed van een grotere doorlatendheid van de top laag op de verschildrukken nihil zal zijn.



- A Golfdruk op talud bij aankomende golf (geschematiseerd)
 B Geschatte drukken in filterlaag
 C Resterende verschildrukken

Fig. 2.4. Invloed van de drukverdeling in een aankomende golf op de drukken over de toplaag. Een ten opzichte van λ steile golf geeft hoge verschildrukken



- A Golfdruk op het talud direkt na golfklap (geschematiseerd)
B Geschatte drukken in filterlaag
C Resulterende verschildrukken

Fig. 2.5. Invloed van de drukverdeling op het talud na de golfklap op de verschildrukken over de toplaag. Een ten opzichte van λ steile dip in de druk op het talud geeft hoge verschildrukken

3. De berekening van de doorlatendheid van de zetting en het filter

Uit het vorige hoofdstuk is gebleken, dat de doorlatendheid van de zetting en van het filter in belangrijke mate de grootte van de verschillendrukken over de zetting bepalen.

Indien het verschil tussen de waterdruk en de golfdruk groter is dan de druk, welke nodig is om een blok uit de zetting op te lichten, zal schade aan de zetting kunnen optreden.

De doorlatendheid van de zetting kan op de volgende wijze worden bepaald:

- a. Door middel van een proefopstelling, waarbij de blokkenzetting geplaatst wordt op een rooster. Het rooster ligt horizontaal. Over de blokken wordt een konstant verhang ingesteld en het benodigd debiet wordt opgemeten. De totale doorlatendheid van de zetting is hierdoor bekend. Een soortgelijke meetmethode is uitgevoerd in (3).
- b. Uit een lek lengte-onderzoek (2) (zie appendix). Met behulp van een proefopstelling worden vanuit de meting van de lek lengte rechtstreeks de doorlatendheden van de zetting en van het filter verkregen.
- c. Met vergelijkingen uit de vloeistofmechanica kunnen stromingen door spleten en gaten berekend worden. Elk onderdeel van de stroming, zoals in- en uittreeweerstand, spleetweerstand en aanstroomweerstand kan afzonderlijk berekend worden.
Is de spleetdoorlatendheid bekend dan kan de doorlatendheid van de zetting hieruit berekend worden.

Uit deze mogelijkheden is voor de STEENZET-berekeningen in eerste instantie gekozen voor c. De reden hiervoor is, dat de lek lengten, zoals deze zijn bepaald in het lek lengte-onderzoek, zeer klein bleken en daarom aan de nauwkeurigheid getwijfeld werd.

Methode a is niet toegepast omdat gebleken is dat de doorlatendheid van de top laag ook sterk bepaald wordt door de ondergrond.

Aan de hand van de met methode c verkregen doorlatendheid van de zetting en na bepaling van de filterdoorlatendheid kan de lek lengte berekend worden. Een nadere beschouwing over de gemeten en berekende lek lengten wordt gedaan in paragraaf 4. Bovendien wordt met methode c inzicht verkregen in hoeverre de in- en uitstroomweerstand, spleetweerstand en aanstroomweerstand bijdragen in de totale weerstand van de spleten.

Gebleken is dat de resultaten redelijk overeenstemmen met metingen aan blokken, geplaatst op een rooster (zie (3)), echter is deze opzet van de bepaling van de doorlatendheid van de zetting algemener.

De doorlatendheden van de filtermaterialen grof en fijn grind zijn berekend met behulp van de gegevens uit het doorlatendheidsonderzoek (3).

In dit onderzoek is de doorlatendheid voor fijn grind gesteld op $2,66 \cdot 10^{-2}$ m/s.

Voor grof grind is een interpolatie tussen het fijn grind uit de Scheldegoot en het 8-25 grind uit de Deltagoot uitgevoerd. Hiertoe is lineair geïnterpoleerd over de d_{50} fractie (zie fig. 3.1.).

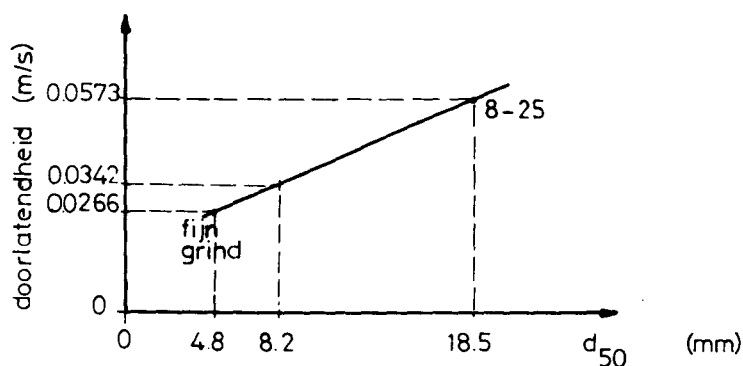


Fig. 3.1. Relatie tussen doorlatendheid en d_{50} fracties

Voor grof grind is de doorlatendheid gesteld op $3,5 \cdot 10^{-2}$ m/s.

3.1. Bepaling spleetdoorlatendheid:

Volstaan wordt met een korte behandeling van de in- en uittreeweerstand $k_{s,iu}$ en de spleetweerstand k_s . De aanstroomweerstand k_a kan bij het kleinschalig onderzoek buiten beschouwing gelaten worden. De doorlatendheden van de twee toegepaste grove filters zijn zo groot, dat geen verhang verondersteld wordt tussen een punt midden onder een blok en een punt onder in de spleet (zie lit. (1)).

Voor verdere achtergrond wordt verwezen naar (3).

Voor de in- en uittreeweerstand tesamen geldt:

$$q_1 = k_{s,iu} \cdot i^{0,5} \quad (3)$$

met

$$k_{s,iu} = \left(\frac{g \cdot d}{0,225(1-\beta) + 0,5(1-\beta)^2} \right)^{0,5} \quad (4)$$

g = de zwaartekracht (m/s^2)

d = dikte van de zetting (m')

β = oppervlakte van de spleten per m^2 zetting

In het kleinschalig onderzoek in de Scheldegoet zijn spleethreedten van 1,0 en 4,0 mm aangehouden.

In (3) is aangetoond, dat voor de berekening van de doorlatendheid het nuttig spleetoppervlak genomen moet worden. Het nuttig spleetoppervlak, dat beschikbaar is voor stroming naar de spleet, is afhankelijk van het poriëngehalte n . Aangenomen is, dat het nuttig spleetoppervlak gelijk is aan het produkt van poriëngehalte n van het grind en het spleetoppervlak.

Voor dit nuttig spleetoppervlak wordt β_n als $n = 0,4$ en de hart op hart afstand van de blokken 0,041 m' is:

$$\begin{aligned} s = 1 \text{ mm} & \quad \beta_n = 0,020 \\ s = 4 \text{ mm} & \quad \beta_n = 0,078 \end{aligned}$$

Voor (4) is te schrijven:

$$k_{s,iu} = 0,4 \left(\frac{g \cdot d}{s_a} \right)^{0,5} \quad (5)$$

met voor $s = 1 \text{ mm}$	$S_a = 0,701$
$s = 4 \text{ mm}$	$S_a = 0,632$

De stromingsverliezen in de spleet worden bepaald door het type stroming. Met behulp van Reynolds kan onderzocht worden of de stroming turbulent dan wel laminair is.

$$R_e = \frac{2 \cdot s \cdot \bar{v} \cdot \rho}{\mu} \quad (6)$$

met R_e = het getal van Reynolds

s = de spleetbreedte	(m)
\bar{v} = de gemiddelde snelheid in de spleet	(m/s)
ρ = de soortelijke massa van de vloeistof	(kg/m ³)
μ = de dynamische viscositeit	(kg/m.s)

Als $R_e < 2,1 \cdot 10^3$, is de stroming laminair. Voor grotere waarden van R_e is de stroming turbulent of semi-turbulent. Volgens (3) blijkt de overgang afhankelijk van blokdikte en het verhang in de spleet plaats te vinden tussen 1 en 2 mm spleetbreedte. Voor de Scheldegootblokken blijkt de stroming in de spleet turbulent te zijn.

In geval van turbulente stroming geldt:

$$q_{s,t} = k_{s,t} \cdot i^{0,5} \quad (7)$$

met:

$$k_{s,t} = 18 \log\left(\frac{6 \cdot s}{5 \cdot 10^{-3}}\right) \cdot \sqrt{s} \quad (8)$$

$k_{s,t}$ = de doorlatendheid ten gevolge van stromingsverliezen in de spleet bij turbulente stroming.

Invullen van de grootheden geeft:

spleet 1 mm	$k_{s,t} = 0,045 \text{ m/s}$
4 mm	$k_{s,t} = 0,775 \text{ m/s}$

De totale doorlatendheid van de spleet $k_{s,tot}$ kan beschreven worden als:

$$k_{s,tot} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{k_{s,iu}^2} + \frac{1}{k_{s,t}^2}}} \quad (9)$$

Omrekening van $k_{s,tot}$ voor de spleet naar een doorlatendheid k_z van de zetting is mogelijk door vermenigvuldiging van $k_{s,tot}$ met het totale spleetoppervlak per m^2 zetting (zie ook β uit (4)).

$$k_z = k_{s,tot} * \beta \quad (10)$$

Bij de schadeproef, waarin aluminium blokken met gaten zijn toegepast, wordt de k_z van de zetting bepaald door de som van k_z ten gevolge van spleten en de k_z ten gevolge van gaten

$$k_{z,tot} = k_{z,gat} + k_{z,spleet} \quad (11)$$

Uitwerking van (10) of (11) voor de diverse zettingen levert de volgende zettingsdoorlatendheden op

blokken met 1 mm spleet	$k_z = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$
blokken met 4 mm spleet	$k_z = 4,18 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$
blokken met 1 mm spleet + gaten	$k_z = 3,49 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$

k_z is de turbulente zettingsdoorlatendheid gebaseerd op de verhouding

$\frac{u}{i_{0,5}}$. De laminaire zettingsdoorlatendheid k' bedraagt:

$$k' = \frac{k_z}{i_{0,5}}$$

De orde van grootte van de optredende maximale verhangen is ongeveer gelijk aan 1. Voor de berekende zettingsdoorlatendheid k_z wordt de laminaire zettingsdoorlatendheid k' aangehouden.

4. Vergelijking van de resultaten van STEENZET met de Scheldegoot-proeven

Teneinde de juistheid van de resultaten van STEENZET aan te tonen, worden de resultaten op de volgende punten vergeleken met de Scheldegoot-proeven.

- a. De amplitude van de berekende en gemeten waterspanningen dienen met elkaar in overeenstemming te zijn.
- b. De beide waterspanningsverlopen moeten in dezelfde fase ten opzichte van het golfdrukverloop liggen.
- c. De verschildruk - dit is het verschil tussen golfdruk op het talud en de waterspanning onder het talud - moet voor de gemeten en de berekende waarden overeenstemmen.

ad a

De amplitude van de waterspanning wordt bij een gegeven golfdrukverloop bepaald door de doorlatendheden van filter en zetting. Bij variatie zal een toename van de filterdoorlatendheid of een afname van de zettingdoorlatendheid resulteren in een afname van de amplitude en omgekeerd. Een afwijking van de amplitude is zodoende een aanwijzing dat de berekende doorlatendheden anders zijn dan in de proefopstelling.

ad b

Verskil in fase tussen beide waterspanningsverlopen kan bestaan uit voor- of achterlopen van de gemeten waterspanning ten opzichte van de berekende waterspanning. De oorzaak van de faseverschuiving is een bergingscapaciteit in het filter.

De bergingscapaciteit kan aanwezig zijn in het totale filter; in dat geval is de faseverschuiving belangrijk voor de bepaling van de verschildrukken. Bij turbulente stromingen door grind wordt deze bergingscapaciteit ten opzichte van de debieten in het grind als verwaarloosbaar beschouwd.

Een andere mogelijkheid zijn zeer kleine luchtinsluitingen bij de

waterspanningsmeter. Het effect van de faseverschuiving is minimaal, indien de doorlatendheid van het filter in de waterspanningsmeter veel groter is dan de doorlatendheid van het grind, en zal slechts een rimpeling in het verloop van de verschildruk in de tijd te zien geven.

ad c

De verschildruk bestaat uit een component verschildruk middenstand vermeerderd met een verschildrukamplitude.

Afwijkingen in de verschildruk middenstand is over het algemeen direct terug te brengen tot een foutieve nulpuntinstelling van de druk- of waterspanningsmeters.

Afwijkingen in de amplitude van de berekende overdrukken en de gemeten overdrukken volgen rechtstreeks uit de in ad a en ad b omschreven oorzaken. Belangrijk voor de analyse van schadeproeven is het herkennen van punten in het verschildrukverloop, waarbij blokken in rijen instabiel worden.

Voor instabiliteit moet de verschildruk een bepaalde grens overschrijden. Deze grens wordt voor losse blokken bepaald door het blokgewicht.

Uit vergelijking van de gemeten waterspanning met de berekende waterspanning blijkt, dat in het algemeen de berekende waterspanningen de onregelmatigheden in de golfdruk nauwkeuriger volgen dan de gemeten waterspanningen. Enerzijds kan dit veroorzaakt worden door hetgeen in ad b over luchtinsluitingen bij waterspanningsmeters beschreven is. Anderzijds kan gesteld worden, dat het programma STEENZET rekt met de gegeven golfdruk als was het de golfdruk op een bepaalde hoogte op het talud (zie fig. 4.1.), terwijl deze druk in feite alleen ter plaatse van de golfdrukmeter geldt (zie fig. 4.2.).

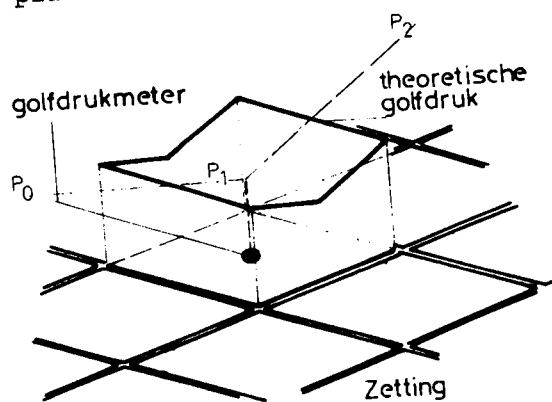


Fig. 4.1. Drukverloop op blok volgens STEENZET

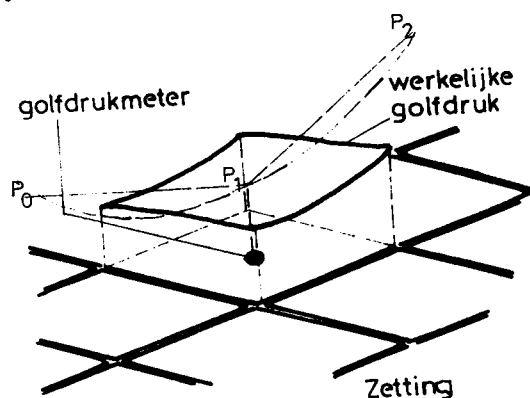


Fig. 4.2. Mogelijk werkelijk drukverloop op het blok

De waterspanningen onder de blokken worden door STEENZET rechtstreeks bepaald door de golfdrukken P_0 , P_1 en P_2 , terwijl in werkelijkheid deze druk bepaald wordt door een gebied rondom P_1 . Hierdoor zal de gemeten waterspanning bepaald worden door golfdruk in een gebied met een straal $\lambda/\sin \alpha$ (zie hoofdstuk 2). De gemeten waterspanning verloopt daardoor regelmatigiger dan de gemeten golfdruk.

Faseverschuiving in de zin van een duidelijke verschuiving van de waterspanning ten opzichte van de golfdrukken treedt in het Scheldegootonderzoek niet op. Het golfdrukverloop en het waterspanningsverloop liggen in dezelfde fase, hetgeen betekent dat van elastische berging geen sprake is.

Wat betreft de verschildrukken kan gesteld worden, dat de berekende verschildrukken, doordat de waterspanningen de golfdrukken nauwkeuriger volgen, een regelmatigiger verloop vertonen dan de gemeten verschildrukken.

De gemiddelde waarden waaromheen de verschildrukken zich bevinden, komen goed overeen. Ook de pieken in de verschildrukken, welke optreden in de golfdalen waarbij overspanningen onder de blokken ontstaan, stemmen overeen.

De amplitude van de verschildruk tijdens deze pieken is voor het berekende verschildrukverloop kleiner dan bij het gemeten verschildrukverloop.

In het hierna volgende wordt door middel van curve-fitting voor een zestal schadeproeven de amplitude van de berekende waterspanning in overeenstemming gebracht met gemeten waterspanning.

De curve-fitting wordt uitgevoerd door variëring van de zettingsdoorlatendheid k' .

Na analyse van de resultaten kunnen per schadeproef de volgende feiten worden opgemerkt:

- P016 zie figuur 1. De waterspanningsmeter op rij 29 geregistreerd, op momenten dat de golfdruk op het talud wegvalt, grote negatieve drukken.
Op dat moment kan de waterspanning echter niet lager zijn dan de atmosferische druk. Een negatieve waterspanning is niet mogelijk. Dit moet duiden op een meetfout.
- P032 zie figuur 2. De waterspanningen komen goed overeen.
De verschildrukken, zowel de gemiddelde verschildruk als ook de maxima in de golfdalen komen goed overeen.
- P033 zie figuur 3. De berekende waterspanningen volgen de golfdruk nauwkeuriger dan de gemeten waterspanningen. Hierdoor zijn de gemiddelde verschildrukken redelijk met elkaar in overeenstemming maar worden de gemeten pieken in de golfdalen niet gevonden. De drukopnemer in rij 47 meet bovendien een afwijkende waterspanning, welke gemiddeld $0,07 \text{ kN/m}^2$ hoger ligt dan de berekende waterspanning. Vermoedelijk is de oorzaak te vinden in een tijdens de proevenserie verlopende nulpuntinstelling.
Deze veronderstelling is gebaseerd op het feit dat de berekende gemiddelde verschildruk overeenkomt met de druk behorende bij het hoogteverschil tussen de golfdrukmeter en de waterspanningsmeter.
- P039 zie figuur 4. De gemeten waterspanningen op rij 41 en 47 meten, evenals in P033, een waterspanning met verschoven gemiddelden opzichte van de berekende waterspanning. Het verschil bedraagt op rij 41 $-0,07 \text{ kN/m}^2$ en op rij 47 $+0,17 \text{ kN/m}^2$.
Ook nu is de oorzaak vermoedelijk een verschoven nulpuntinstelling.
- P049 zie figuur 5. De gemeten waterspanningsmeter op rij 9 heeft een zodanig afwijkende gemiddelde waarde dat hier zeker een foute nulpuntinstelling verondersteld mag worden.
De gemiddelde verschildruk, welke gemeten is, bedraagt $-0,60 \text{ kN/m}^2$ terwijl blokken reeds instabiel worden boven $-0,45 \text{ kN/m}^2$. Afgezien van deze foutieve instelling komen de waterspanningsverlopen en verschildrukken goed met elkaar overeen.

P053 zie figuur 6. De gemeten verschildrukken in rij 30 heeft een grilliger verloop dan de berekende verschildruk.

De oorzaak hiervan is, dat rij 30 de laagste geïnstrumenteerde rij in de zetting is.

Over lager gelegen rijen zijn geen golfdrukgegevens bekend.

STEENZET rekent over de lager gelegen rijen met de golfdruk van rij 30. Dit betekent, dat beneden rij 30 een staande golf wordt aangenomen en geen lopende golf. Staande golven wekken in dit geval geen drukverschillen op omdat geen stroming optreedt. De waterspanning onder rij 30 wordt uitsluitend bepaald door het golfdrukverloop tussen rij 30 en rij 27.

Dit heeft tot gevolg dat de verschildruk praktisch overeenkomt met de gemiddelde verschildruk.

5. Berekening van de lek lengte en vergelijking van de op verschillende wijzen gevonden lek lengten

Per schadeproef kunnen de volgende lek lengten met elkaar vergeleken worden:

- de lek lengten uit het lek lengte-onderzoek (2)
- de lek lengten die met formule (12) kunnen worden berekend uit de in paragraaf 3 berekende doorlatendheden
- de lek lengten, welke volgen uit de doorlatendheden die benodigd zijn om een "fit to curve" van STEENZET met de Scheldegoot-metingen te verkrijgen. (volgens paragraaf 4)

Voor de te behandelen schadeproeven kunnen de lek lengten bepaald worden met

$$\lambda = \sin \alpha \sqrt{\frac{b \cdot d \cdot k}{k'}} \quad (12)$$

- α = taludhelling
 b = dikte filterlaag (m')
 d = dikte van de zetting (m')
 k = doorlatendheid van het filter (m'/s)
 k' = doorlatendheid van de zetting (m'/s)

De resultaten van a, b en c zijn weergegeven in tabel 5.1.

Proef	α°	k	k'_b (berekend)	λ_b (berekend)	k'_c (fit)	λ_c (fit)	λ_a λ onderzoek	$L \sin \alpha$
P16	18,43	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$4,18 \cdot 10^{-2}$	0,0065	$1 \cdot 10^{-2}$	0,0132	0,0026	0,0130
P32	18,43	$2,66 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	0,0246	$3 \cdot 10^{-3}$	0,0211	0,0070	0,0130
P33	18,43	$2,66 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	0,0246	$3 \cdot 10^{-3}$	0,0211	0,0070	0,0130
P39	18,43	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$3,49 \cdot 10^{-2}$	0,0071	$1 \cdot 10^{-2}$	0,0132	0,0037	0,0130
P49	9,46	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$4,18 \cdot 10^{-2}$	0,0034	$4,1 \cdot 10^{-2}$	0,0034	0,0024	0,0067
P53	9,46	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$4,18 \cdot 10^{-2}$	0,0034	$4,1 \cdot 10^{-2}$	0,0034	0,0024	0,0067

Tabel 5.1. lek lengten λ_a uit onderzoek (2)

λ_b uit berekende doorlatendheden $L = 0,041 \text{ m'}$

λ_c uit fit aan metingen Scheldegoot

Uit het lengteonderzoek is de gemiddelde lek lengte berekend. Deze lek lengte is verkregen uit de resultaten van de bovenste waterspanningsmeter WSM1. De andere waterspanningsmeters registreren te geringe drukhoogte om betrouwbaar te zijn.

De berekende lek lengten λ_b zijn klein en liggen in dezelfde orde-grootte als de lek lengten λ_a verkregen uit het lek lengten-onderzoek (2). Bovendien zijn de verschillen in lek lengten gering voor de verschillende proeven. De lek lengten zijn ongeveer van dezelfde grootte als het hoogteverschil over een blok ($L \cdot \sin \alpha$). Dit betekent dat op een blokafstand de wateroverdruk ten gevolge van een plaatselijke golfdruk reeds is afgenomen met een factor e en op twee blok-ken afstand met $\approx e^2$. (zie par.2)

Te verwachten is, dat, door de overeenkomst in lek lengten, ondanks dat de doorlatendheden van zetting en filter afwijken van de doorlatendheden gevonden in (2), de schadepatronen dezelfde zullen zijn.

6. De waarde van STEENZET voor het ontwerpen van steenzettingen

In paragraaf 4 is aangetoond, dat door middel van "curve fitting" het berekende waterspanningsverloop goed in overeenstemming te krijgen is met het gemeten waterspanningsverloop, door variëring van de zettings-doorlatendheid k' . Dit betekent dat het programma het model goed omschrijft. Voor het ontwerpen van steenzetting, en met behulp van STEENZET is het van belang te weten welke fouten kunnen ontstaan in de berekende waterspanningen en verschildrukken als wordt uitgegaan van doorlatendheden zoals berekend in paragraaf 3 of indien λ in een λ -onderzoek wordt gemeten.

In de figuren 7 t/m 11 is voor iedere proef aangegeven op welke wijze de waterspanningsamplituden veranderen bij variërende λ . Binnen bepaalde grenzen bestaat hiertussen een logarithmische relatie.

De fout wordt bepaald door het verschil tussen de verschildrukken bij de berekende doorlatendheid k' en de doorlatendheid k' bij curve fitting of bij de gemeten λ en de λ bij curve fitting.

Wanneer de doorlatendheid k' van de zetting toeneemt, neemt de amplitude van de waterspanning onder de zetting toe. Uit STEENZET-berekeningen blijkt dat de toename van de amplitude wordt veroorzaakt door een afname van de waterspanning in een golfdal.

De waterspanning op de golftop verandert praktisch niet. Hierdoor zal de fout in de waterspanning in een golfdal gelijk zijn aan de fout in de verschildruk in een golfdal.

In tabel 6.1. wordt een overzicht gegeven van de gemeten fout in kN/m^2 op de verschildruk voor elke beschouwde proef en rij Pb-Pc geeft het verschil tussen de "fit" waterspanningsamplitude en de waterspanningsamplitude, zoals die is bepaald met STEENZET met de berekende doorlatendheden.

Pa-Pc geeft hetzelfde, maar nu is de doorlatendheid bepaald uit het leklengte-onderzoek.

Tevens wordt de relatieve fout in % gegeven ten opzichte van het blokgewicht.

Proef	Rij	Pb - Pc (kN/m ²)	Rel.fout %	Pa - Pc (kN/m ²)	Rel.fout %	Blokgewicht druk (kN/m ²)
16	29	niet te bepalen t.g.v. onregelmatige golven				0,439
	35					
	41					
32	31	0,008	2	0,067	16,7	0,402
	33	0,010	2,4	0,090	22,4	
	35	0,005	1,2	0,105	26,1	
33	35	0,01	2,4	0,06	14,9	0,402
	41	0,02	4,8	0,18	44,8	
	47	0,01	2,4	0,06	14,9	
39	35	0,01	2,0	0,022	4,3	0,508
	41	0,025	4,9	0,058	11,4	
	47	0,04	7,8	0,09	17,7	
49	9	≈ 0	≈ 0	0,025	5,5	0,457
	11	≈ 0	≈ 0	0,02	4,4	
	13	≈ 0	≈ 0	0,0025	0,5	
53	24	≈ 0	≈ 0	0,0025	0,5	0,457
	27	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	
	30	≈ 0	≈ 0	0,005	1,1	

Tabel 6.1. De absolute fout ΔP en de relatieve fout in % van de waterspanningsamplituden, welke worden bepaald door resp. de berekende doorlatendheden (Pb) en de λ uit het leklengte-onderzoek (Pa), te vergelijken met de "fit" (Pc).

uit tabel 6.1 is het volgende af te lezen:

- 1) De berekening van de doorlatendheid van de zetting volgens methode c in hoofdstuk 3 is nauwkeurig. De fout in de waterspanningsamplitude, welke optreedt door fitting blijkt $< 10\%$.
2. De aan de hand van het λ onderzoek bepaalde zettingsdoorlatendheden geven afwijkingen te zien tot 45% . Zoals verwacht, is de nauwkeurigheid bij zeer kleine λ 's gering.

3. De nauwkeurigheid neemt toe bij flauwere taluds. Veranderingen in de doorlatendheid k' hebben geringere veranderingen in de amplitude tot gevolg. Hierdoor kan een sterk afwijkende k' de amplitude van de "fit" toch nog goed benaderen.

Ten aanzien van de fout in de verschildruk, behorende bij de λ uit het λ onderzoek, dient opgemerkt te worden dat de amplitudes van de waterspanningen zijn verkregen door extrapolatie naar buiten het gebied waarbinnen de relatie tussen λ en amplitude logaritmisch is. (zie fig. 7 t/m 11).

Bij afnemende λ zal de amplitude toenemen tot een grenswaarde, welke bepaald wordt door H_{\max} en de rup-up en run-down. Onder laag op het talud gelegen blokken is de waterspanningsamplitude maximaal H_{\max} en in het gebied juist onder de run-down is de waterspanningsamplitude maximaal het verschil tussen run-up en run-down. Proef P016 blijft hier buiten beschouwing aangezien de amplitude voor onregelmatige golven niet te bepalen is.

7. Vergelijking Scheldegoot-zettingen met prototype-zettingen

Hoewel de Scheldegoot in eerste instantie een fundamenteel kleinschalig onderzoek is, is het toch interessant te controleren welk zettingstype in vergelijking tot andere zettingonderzoeken is doorgemeten. Dit kan door het kleinschalig onderzoek terug te schalen naar een prototype-model. In het prototype zijn de doorlatendheden van verschillende typen filterlagen bekend, evenals de afmetingen en doorlatendheden van diverse blok-typen. In tabel 7.1 wordt een overzicht gegeven van de zettingsdoorlatendheden van de Scheldegoot-blokken, terwijl tevens de leklengte λ voor het prototype is bepaald. De opschaalfactor is gebaseerd op blokken $50 \times 50 \times 20 \text{ cm}^3$.

$$n_L = \frac{0,50}{0,041} = 12,20$$

De doorlatendheid schaalst met de wortel uit de lengteschaal en de leklengte schaalst met de lengteschaal (zie (3)).

$$n_k = \sqrt{n_L} \qquad n = n_L$$

Voor de bepaling van de leklengte λ van de prototype-blokken en Basalton en Armoflex is uitgegaan van een filterlaag van 8 - 23 mm grind met een laagdikte van 0,305 m, gebaseerd op de opgeschaalde Scheldegoot-filterlaagdikte.

Ongeschaald	Na opschaling						
Blokken (m ³)	Spleten (m')	k' (m/s)	k (m/s)	b (m')	d (m')	λ	n_1
0,037 x 0,037 x 0,020	0,049	0,035	0,122	0,305	0,244	0,161	12.20
0,040 x 0,040 x 0,020	0,012	0,011	0,093	0,305	0,244	0,250	12.20
0,040 x 0,040 x 0,020 + gaten	0,012	0,035	0,122	0,305	0,244	0,161	12.20
0,50 x 0,50 x 0,20	0,0005	0,0032	0,06	0,305	0.20	0,338	1.0
0,25 x 0,25 x 0,10	0,001	0,0055	0,06	0.305	0.20	0,258	2.0
Basalton	0,016	0,1008	0,06	0.305	0.15	0,052	1.0
Armoflex	0,032	0,2508	0,06	0.305	0.12	0,030	1.0

Tabel 7.1. De doorlatendheden en leklengten bij opschaling van het Scheldegoot-onderzoek naar prototypeafmetingen en van de prototype-blokken

$$\alpha = 18,43 \qquad n = 0,40 \qquad n_L = 12,20$$

De blokken in het Scheldegoot-onderzoek hebben na opschaling van de "fit" een zettingsdoorlatendheid, die 2 tot 11 x zo groot is als de zettingsdoorlatendheid van betonblokken, 3 tot 9 x zo klein als Basalton en 7 tot 23 x zo klein als Armorflex.

De in de Scheldegoot beproefde zettingen vallen betreft zettingsdoorlatendheid tussen betonblokken en Basalton.

De lek lengten van het Scheldegoot-onderzoek zijn gelijk tot 2 x zo klein als de lek lengten van de blokken $0,50 \times 0,50 \times 0,20 \text{ m}^3$ en $0,25 \times 0,25 \times 0,10 \text{ m}^3$ en 3 tot 8 x zo groot als voor open zettingen als Basalton en Armorflex, ondanks dat de zettingsdoorlatendheden van de Scheldegoot-blokken groter zijn. Oorzaak is de grotere doorlatendheid van het opgeschaalde Scheldegoot-grind ten opzichte van grind 8 - 23 mm.

Het overeenkomen van lek lengten van de Scheldegoot-proeven en prototype-proeven op betonblokken betekent dat de te verwachten schadepatronen hetzelfde zullen zijn (zie hoofdstuk 2).

Dit betekent niet dat de blok- en spleetafmetingen zodanig juist gekozen zijn dat de Scheldegoot-proeven representatief zijn voor een prototype-zetting van betonblokken. De spleetafmetingen zijn een factor 12 tot 98 te groot.

De relatief grote doorlatendheid van het Scheldegoot-grind heeft de afwijkende grote zettingsdoorlatendheid gecorrigeerd.

Omgekeerd kunnen de prototype-blokken, Basalton en Armorflex teruggeschaald worden naar Scheldegoot-afmetingen.

Samen met het Scheldegoot-grind kan dan beter inzicht worden verkregen in de schadepatroon-bepalende lek lengte.

In tabel 7.2 worden de prototypen gaan van fijn grind en $\alpha = 18,43^\circ$.

Blokafmeting	Spleten (m)	k' fit (m/s)	k	b	d	λ	n_L
0,037x0,087x0,02	$4 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$2,66 \cdot 10^{-2}$	0,02	0,025	0,0115	1,0
0,04x0,04x0,02	$1 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2,66 \cdot 10^{-2}$	0,02	0,025	0,0211	1,0
0,04x0,04x0,02	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$2,66 \cdot 10^{-2}$	0,02	0,025	0,0115	1,0
+ gaten							
0,50x0,50x0,20	$4 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$2,66 \cdot 10^{-2}$	0,016	0,025	0,0536	12,2
0,25x0,25x0,10	$4 \cdot 10^{-5}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$2,66 \cdot 10^{-2}$	0,016	0,025	0,0481	6,1
Basalton	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$2,89 \cdot 10^{-2}$	$2,66 \cdot 10^{-2}$	0,012	0,025	0,0053	12,2
Armorflex	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$7,18 \cdot 10^{-2}$	$2,66 \cdot 10^{-2}$	0,010	0,025	0,0030	12,2

Tabel 7.2 Terugschaling van prototype-blokken naar Scheldegoot-afmetingen en berekening van de lek lengten.

Uit de tabel 7.2 blijkt duidelijk dat wat betreft zettingsdoorlatendheid de in de Scheldegoot beproefde zettingen met in mindere mate het blok van 0,04x0,04x0,02 m³ overeenkomen met zettingen als Basalton, hetgeen betekent dat uitsluitend Basalton representatief met in dit kleinschalig onderzoek bij de gegeven filterdoorlatendheden kan worden vergeleken.

De doorlatendheden van blokken 0,50x0,50x0,10 m³ en 0,25x0,25x0,10 m³ hebben een zodanig geringe zettingsdoorlatendheid dat deze niet vergeleken kan worden met de Scheldegoot-blokken. Daarvoor zijn de spleten te groot gekozen.

8. Verschillen in $H/\Delta D$ bij vergelijkbare lek lengte

Het bleek mogelijk met STEENZET de gemeten waterspanningen te reproduceren, voor alle typen zettingen in dit onderzoek.

Voor het dimensioneren van steenzettingen dienen de berekende verschildrukken te worden vergeleken met de sterkte van de zetting.

Op dit moment is echter geen goede beschrijving van de sterkte van een zetting voor handen. Wel kunnen de gevonden waarden voor $H/\Delta D$ voor de verschillende typen constructies met elkaar worden vergeleken in relatie tot de gevonden lek lengte.

Daarbij zijn twee resultaten opmerkelijk:

1. Constructie 3 heeft dezelfde lek lengte als constructie 1.

Toch is de $H/\Delta D$ waarde van constructie 3 veel groter dan van constructie 1.

2. Na opschaling blijkt de lek lengte van de in dit onderzoek gebruikte constructie typen te liggen tussen die van de Basalton en Armoflex constructies zoals die in de Deltagoot zijn beproefd en vierkante basalt-blokken (zie tabel 7.1).

De in dit onderzoek gevonden $H/\Delta D$ waarden zijn echter nauwelijks hoger dan voor vierkante betonblokken en veel lager dan de wwarden gevonden bij Basalton en Armoflex.

Een mogelijke verklaring voor het eerste resultaat is de aanstroom weerstand. Voor een zetting met vierkante blokken zonder gaten zal deze geconcentreerd zijn bij de spleten.

Onder de gehelesteen wordt de drukverdeling bepaald door de doorlatendheid van de spleet plus de aanstroomweerstand.

Voor een blok met gaten zal de aanstroomweerstand verdeeld zijn over het blok. De drukverdeling over het blok zal in dat geval maar voor een klein gedeelte bepaald worden door de aanstroomweerstand.

Deze redenering gaat natuurlijk alleen op als de aanstroomweerstand belangrijk is ten opzichte van de spleetweerstand.

Voor de spleetweerstand bij een spleet van 4 mm geldt zie § 3.1:

$$K_{st} = 0,2 \text{ m/s}$$

Omdat in beide constructies de in- en uitstroomweerstand bepalend is voor de spleetdoorlatendheid is die in spleetdoorlatendheid beide constructies dezelfde.

Volgens het samenvattend rapport wordt de doorlatendheid ten gevolge van de aanstroomweerstand voor aanstroming naar spleten gegeven door:

$$K_{Tas} = \pi K_o \sqrt{\frac{2D}{s}}$$

Invullen geeft voor spleten van 4 mm.

$$K_{Tas} = 0,35 \text{ m/s}$$

De doorlatendheid van de toplaag met aanstroomweerstand is nu met formule (9) te berekenen:

$$K_{s \text{ tot}} = 0,18 \text{ m/s}$$

Deze waarde wijkt maar weinig af van de spleet-doorlatendheid zonder aanstroomweerstand. De invloed van de aanstroomweerstand op de drukverdeling blijkt dat ook bij constructies gering. Het is dus niet waarschijnlijk dat hiermee het verschil in de gevonden $H/\Delta D$ geheel verklaard kan worden.

Een andere mogelijke oorzaak is het verschil in soortelijkgewicht van de blokken van constructie type 1 en 3. Voor constructie type 1 geldt:

$$\Delta = 1,45 \text{ voor type 3 is dat } 1,75.$$

Uit fig. 2,2 blijkt dat de verschildruk met de niet rechtevenredig toeneemt met de golfhoogte.

Om een 2 maal zo grote verschildruk te creëren is een meer dan 2 maal zo hoge golf nodig.

$H/\Delta D$ zal dus hoger zijn voor constructies met relatief hoge ΔD .

Als laatste oorzaak moet ook genoemd worden. De spreiding in de meetresultaten. Uit fig. 22 blijkt dat de gevonden schadelijn bij de aanvullende proeven sterk afwijkt van de schadelijn voor dezelfde constructie die in het oorspronkelijke onderzoek gevonden is.

Zolang voor deze verschillen geen verklaring gevonden is, is het zoeken naar verklaringen voor verschillen in $H/\Delta D$ bij verschillende constructie typen erg moeilijk.

Het is dan ook niet mogelijk aan te geven welke van de genoemde oorzaken de belangrijkste is.

Voor het verschil in $H/\Delta D$ tussen dit onderzoek en de producenten onderzoeken voor Basalton en Armorflex zijn ook meerdere mogelijke oorzaken te geven zonder dat aangegeven kan worden wat de belangrijkste oorzaak is.

Een eerste oorzaak voor het verschil in $H/\Delta D$ is het verschil in inklemming. In dit onderzoek was met een pennenrooster voor een losse zetting gezorgd waarin de blokken van de zetting om en om los liggen. Bij het Basalton en Armorflex onderzoek waren de blokken tegen elkaar aangelegd. Wrijving tussen de blokken kan bij de laatste onderzoeken in grotere $H/\Delta D$ waarden hebben geresulteerd.

Een zelfde verschil in $H/\Delta D$ blijkt ook dat op te treden bij vergelijking van het Oesterdam-onderzoek met het gidsonderzoek.

Tijdens het Oesterdamonderzoek is ook gebruik gemaakt van een pennenrooster en bij het gidsonderzoek was dat niet het geval.

Uit fig. 8.1 blijkt dat de schadelijn van het Oesterdam onderzoek hoger ligt dan die van het gidsonderzoek.

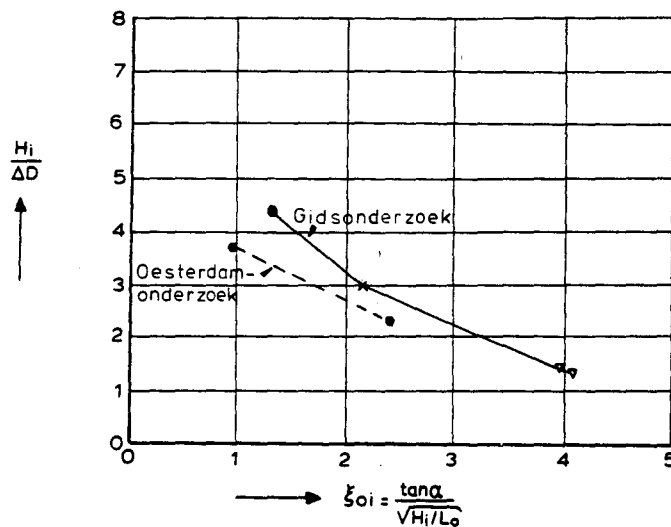


Fig. 8. Schadelijn in $H/\Delta D - \zeta$ grafiek voor het Oesterdamonderzoek en het gidsonderzoek.

Een tweede mogelijke oorzaak is de relatief grote doorlatendheid van de filterlaag bij dit onderzoek.

Uit tabel 7.1 blijkt dat de transmissiviteit (doorlatendheid dikte) van de onderlaag na opschaling veel groter is dan voor elk grootschalig onderzoek dat tot nu toe is uitgevoerd.

Bij beweging van blokken zal toestroming van water vanuit de filterlaag dan ook geen probleem zijn, waardoor veel sneller schade kan ontstaan. Een laatste mogelijke oorzaak is het verschil in wrijving tussen twee betonblokken en de wrijving van een metalen pen over een kunstof vlak. De wrijving tussen de diverse blokken blijkt ook bij losse blokken een bijdrage te geven aan de sterkte.

Bij grootschalige onderzoeken is altijd gebruik gemaakt van betonnen blokken.

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van blokken van kunstof waaraan metalen pennen gelijmd zijn om de afmetingen van de spleet te kunnen fixeren.

De wrijvingscoëfficiënt van een schuifvlak metaal - kunstof zal lager zijn dan van een schuifvlak beton - beton.

Ook dit zal de schadegevoeligheid bevorderen.

Los van mogelijke schaal effecten in de hydraulische randvoorwaarde blijkt uit bovengenoemde oorzaken dat grootschalige proeven op meerdere punten afwijken van dit onderzoek.

Doordat nog geen kwalitatieve beschrijving van de sterkte beschikbaar is, kan nog niet gezegd worden welke verschillen dit geeft in $H/\Delta D$. Dat er (soms grote) verschillen zijn is na bovenstaande wel verklaarbaar.

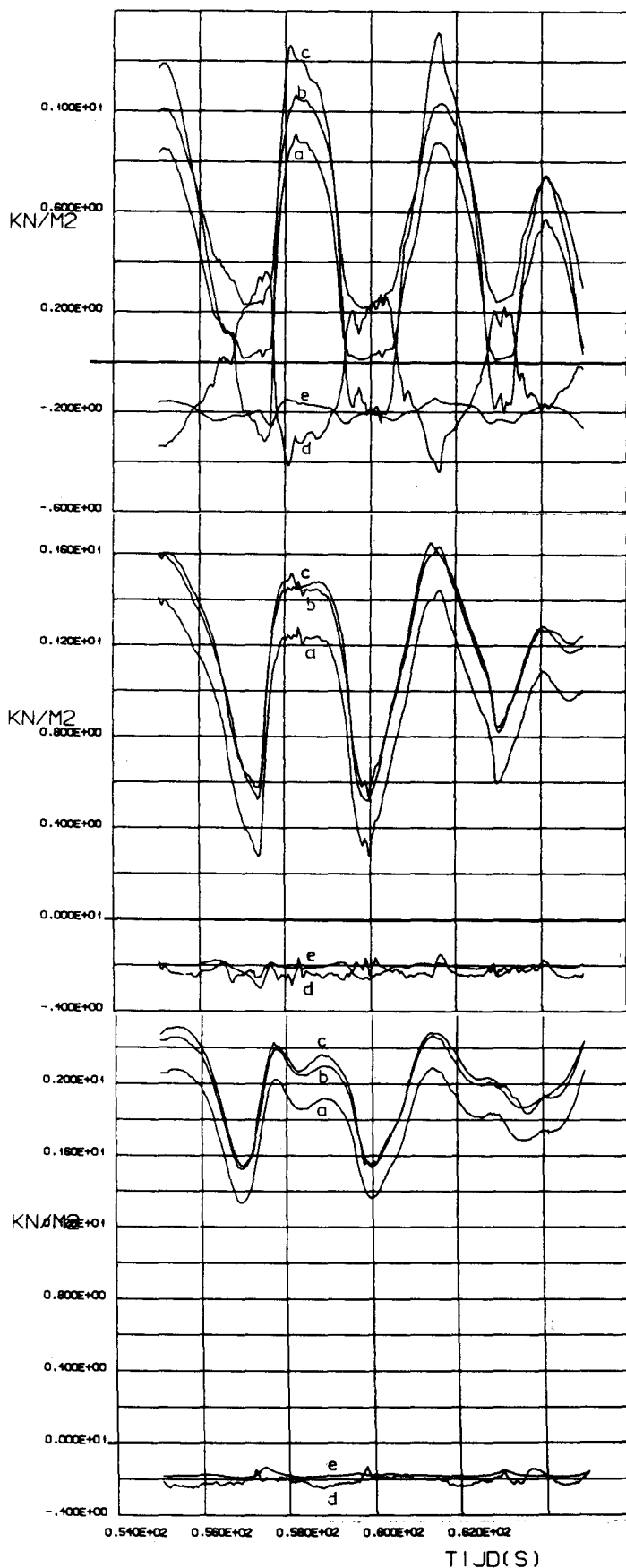
9. Conclusies

Op basis van de berekeningen met STEENZET en de lek lengte beschouwingen mag voor de constructies van het beproefde type worden geconcludeerd:

- De onderzochte steenzettingen zijn met uitzondering van de blokken, $0,04 \times 0,04 \times 0,02 \text{ m}^3$ als zeer doorlatend te beschouwen en benaderen of evenaren zettingen als Basalton. Het onderzochte filter is zeer doorlatend.
- De waterspanningen achter de zetting kunnen door het programma STEENZET nauwkeurig worden berekend, mits de doorlatendheden van zetting en filterconstructie bekend zijn en het stromingspatroon van het filter overeenkomt met het stromingspatroon van STEENZET.
- Pieken in het verloop van de verschildrukken worden door het programma STEENZET minder sterk waargenomen omdat de berekende waterspanningen de onregelmatigheden in de golfdrukken nauwkeuriger volgen dan de gemeten waterspanningen.
- Voor het gebruik van STEENZET in de ontwerpfase van steenzettingen is het van belang doorlatendheden van filter en zetting nauwkeurig te berekenen. De doorlatendheden kunnen redelijk goed berekend worden als de zeefkromme en de spleetgrootte bekend zijn.
De relatieve fout, welke kan optreden in de verschildruk, wordt kleiner bij zettingen met een flauwere taludhelling en bij zettingen met een grotere filterdoorlatendheid.
De met STEENZET berekende verschildrukken wijken orde 10% af van de gemeten verschildrukken.
- Evenals uit de meetwaarnemingen van de proevenserie kan met het programma STEENZET geen harde uitspraak worden gedaan over de plaats en tijd, waarop schade aan het talud zal optreden.
- Verschillen in $H/\Delta D$, gevonden in dit onderzoek in vergelijking met groot-schalige proeven, blijken kwalitatief verklaard te kunnen worden, uit verschillen in het model bij de diverse onderzoeken.

LITERATUUR

- (1) Bezuijen, A. Waterspanningen onder steenzettingen.
Opzet en resultaten van berekeningen met het computer-
programma STEENZET.
CO-258901/91, februari 1983.
- (2) Zie appendix 1 in Sectie 1 van dit verslag
- (3) Taludbekleding van gezette steen, fase 2.
M1795/1881 deel VII WL, CO-258901/118 LGM.
- (4) Taludbekleding van gezette steen, fase 0.
Overdrukken op steenzetting door drukhoogtegolven.
M1792, deel IV WL, CO-255780/45 LGM, juli 1982.



RIJ 29

RIJ 35

RIJ 41

$$k = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$k' = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$\alpha = 1:3$$

$$d = 0,02 \text{ m}$$

$$b = 0,025 \text{ m}$$

$$n = 0,40$$

a = de gemeten golfdruk

b = de berekende waterspanning

c = de gemeten waterspanning

d = de gemeten verschildruk

e = de berekende verschildruk

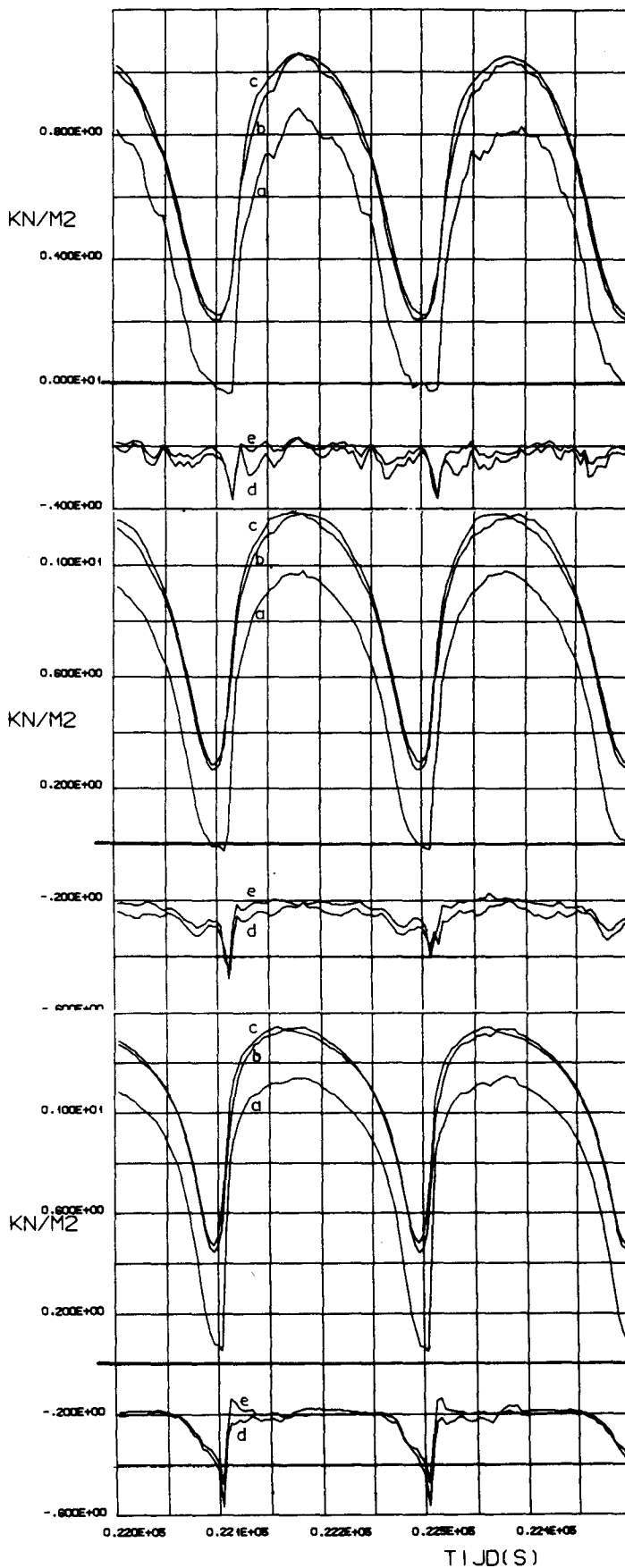
De gemeten golfdruk en de berekende en gemeten
waterspanningen en verschildrukken voor P016

P016

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

M

FIG. 1



RIJ 31

RIJ 33

RIJ 35

$$k = 2,66 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$k' = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$\alpha = 1:3$$

$$d = 0,02 \text{ m}$$

$$b = 0,025 \text{ m}$$

$$n = 0,40$$

a = de gemeten golfdruk

b = de berekende waterspanning

c = de gemeten waterspanning

d = de gemeten verschildruk

e = de berekende verschildruk

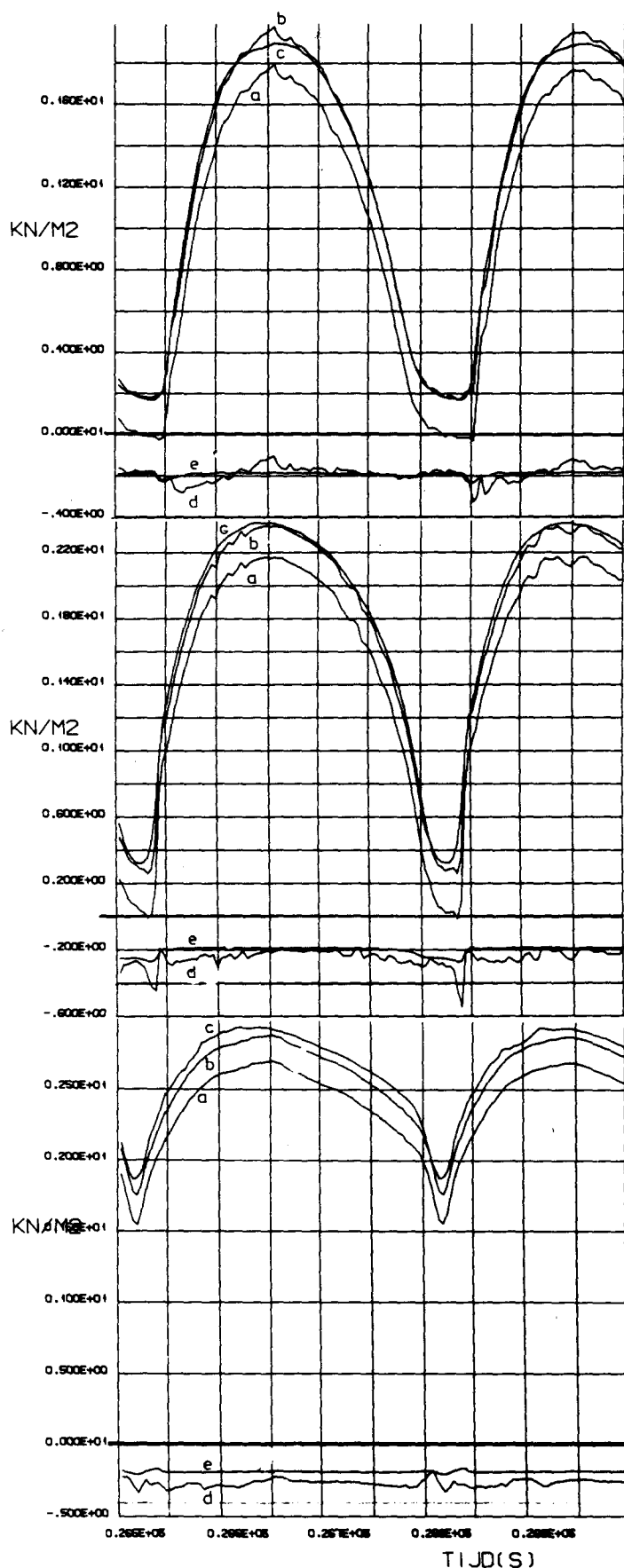
De gemeten golfdruk en de berekende en gemeten
waterspanningen en verschildrukken voor P032

P032

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

M

FIG. 2



RIJ 35

RIJ 41

RIJ 47

$$k = 2,66 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$k' = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$\alpha = 1:3$$

$$d = 0,02 \text{ m}$$

$$b = 0,025 \text{ m}$$

$$n = 0,40$$

- a = de gemeten golfdruk
 b = de berekende waterspanning
 c = de gemeten waterspanning
 d = de gemeten verschildruk
 e = de berekende verschildruk

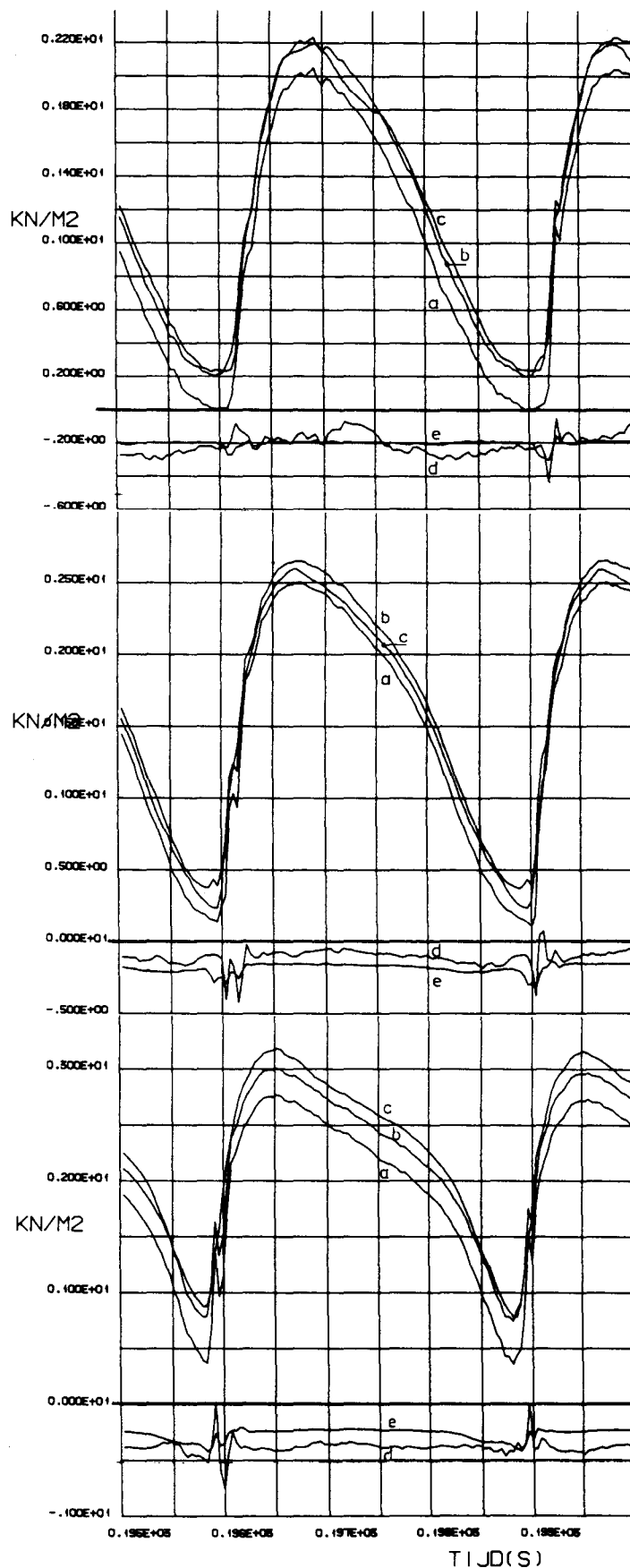
De gemeten golfdruk en de berekende en gemeten
 waterspanningen en verschildrukken voor P033

P033

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

M

FIG. 3



RIJ 35

RIJ 41

RIJ 47

$$k = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$k' = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$\alpha = 1:3$$

$$d = 0,02 \text{ m}$$

$$b = 0,025 \text{ m}$$

$$n = 0,40$$

a = de gemeten golfdruk

b = de berekende waterspanning

c = de gemeten waterspanning

d = de gemeten verschildruk

e = de berekende verschildruk

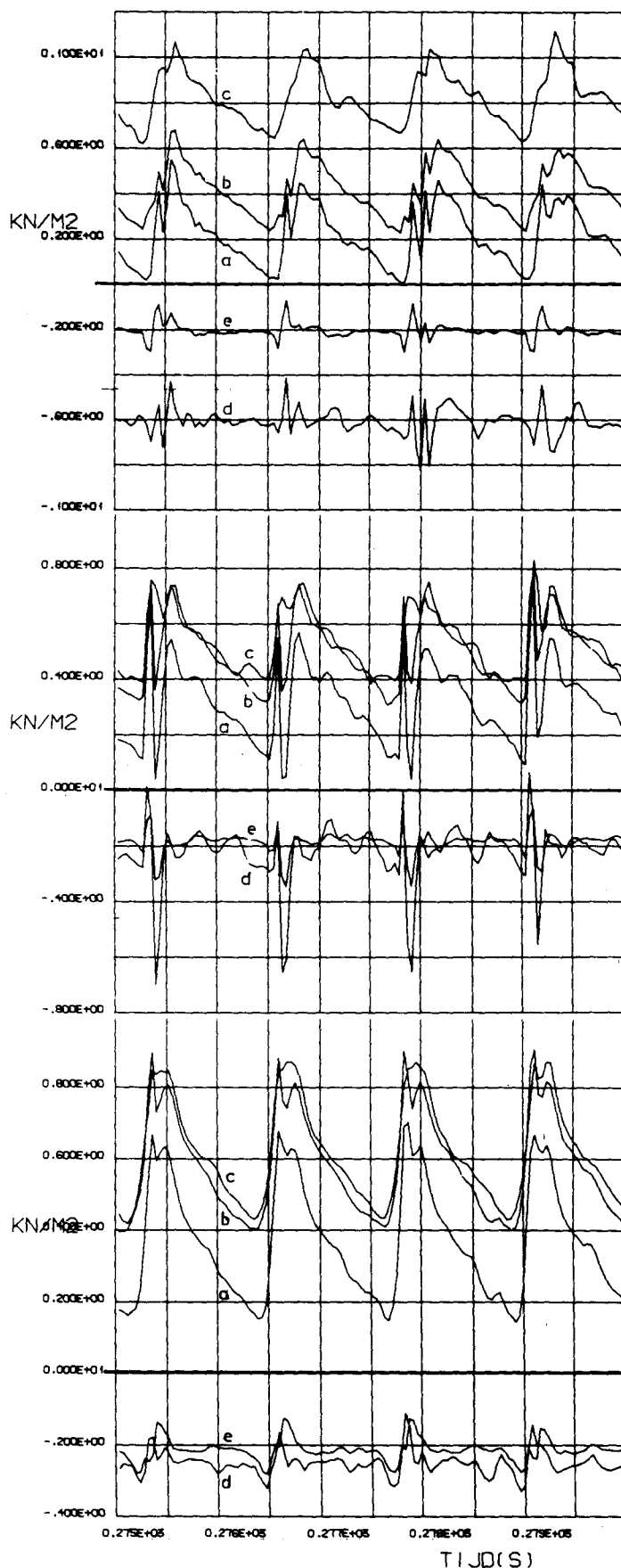
De gemeten golfdruk en de berekende en gemeten
waterspanningen en verschildrukken voor P039

P039

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

M

FIG. 4



RIJ 9

RIJ 11

RIJ 13

$$k = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$k' = 4,1 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$\alpha = 1:6$$

$$d = 0,02 \text{ m}$$

$$b = 0,025 \text{ m}$$

$$n = 0,40$$

a = de gemeten golfdruk

b = de berekende waterspanning

c = de gemeten waterspanning

d = de gemeten verschildruk

e = de berekende verschildruk

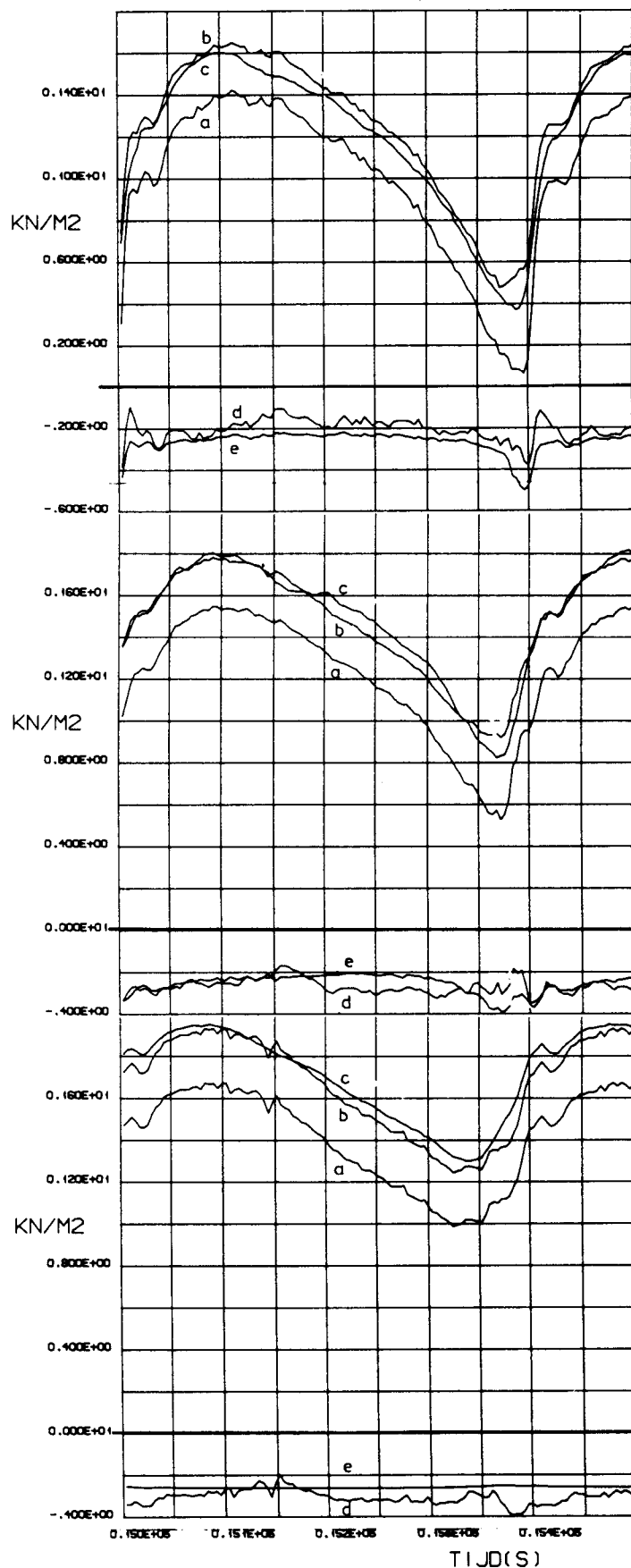
De gemeten golfdruk en de berekende en gemeten
waterspanningen en verschildrukken voor P049

P049

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

M

FIG. 5



RIJ 24

RIJ 27

RIJ 30

$$k = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$k' = 4,1 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$\alpha = 1:6$$

$$d = 0,02 \text{ m}$$

$$b = 0,025 \text{ m}$$

$$n = 0,40$$

a = de gemeten golfdruk

b = de berekende waterspanning

c = de gemeten waterspanning

d = de gemeten verschildruk

e = de berekende verschildruk

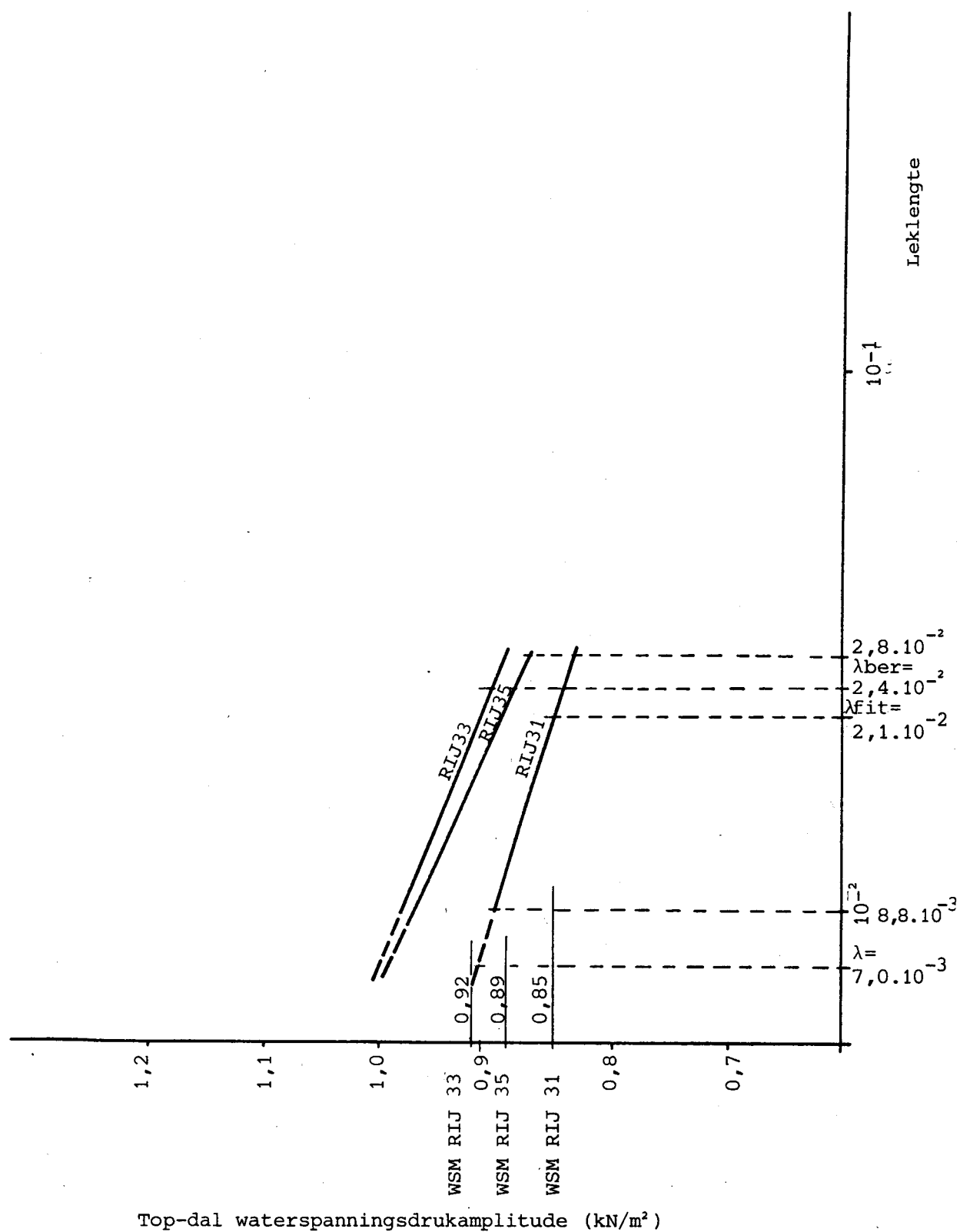
De gemeten golfdruk en de berekende en gemeten
waterspanningen en verschildrukken voor P053

P053

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

M

FIG. 6



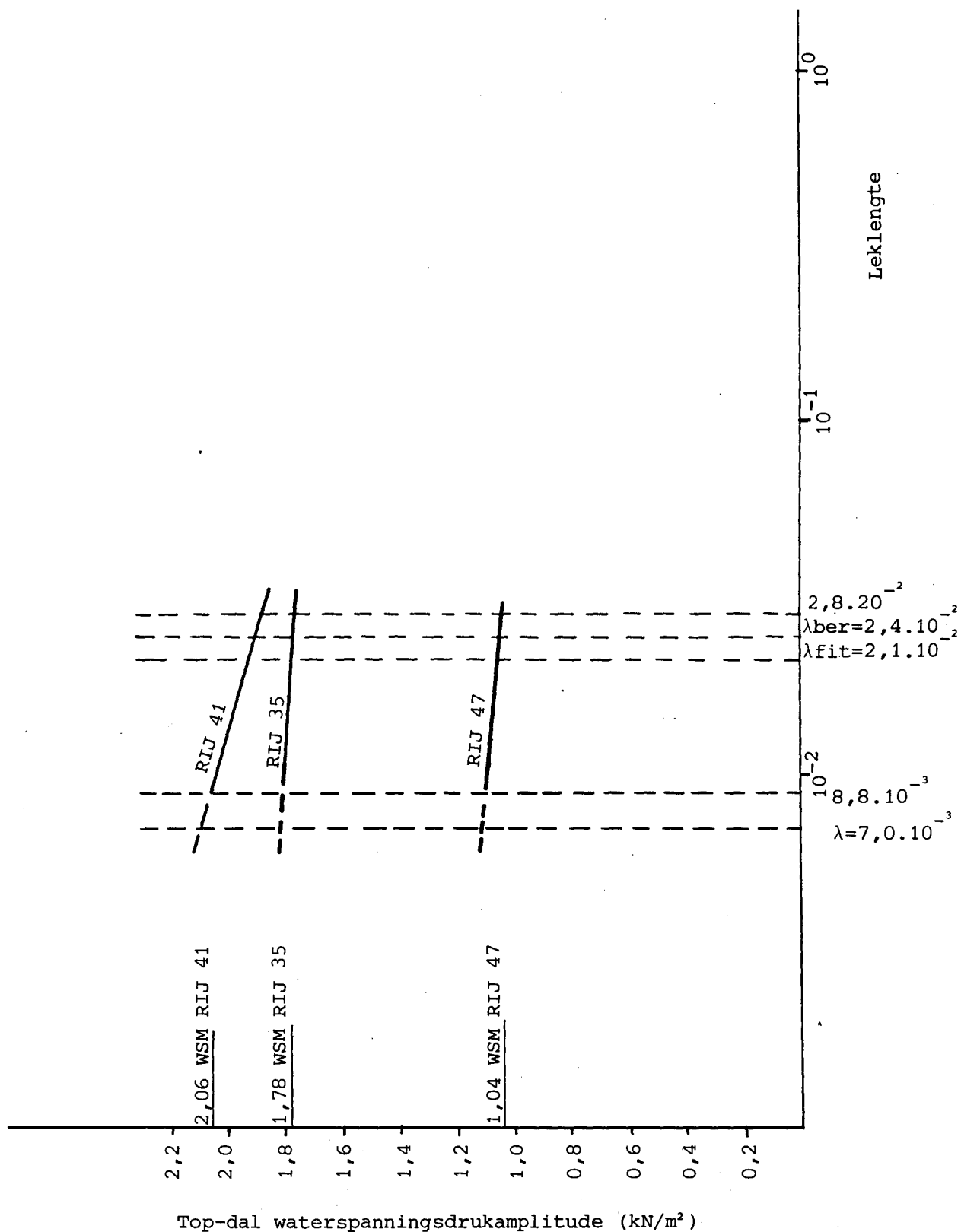
TOP-DAL WATERSPANNINGSDRUKAMPLITUDE
TEGEN DE LEKLENGTE VOOR P032

CO - 272560

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

M.

FIG. 7



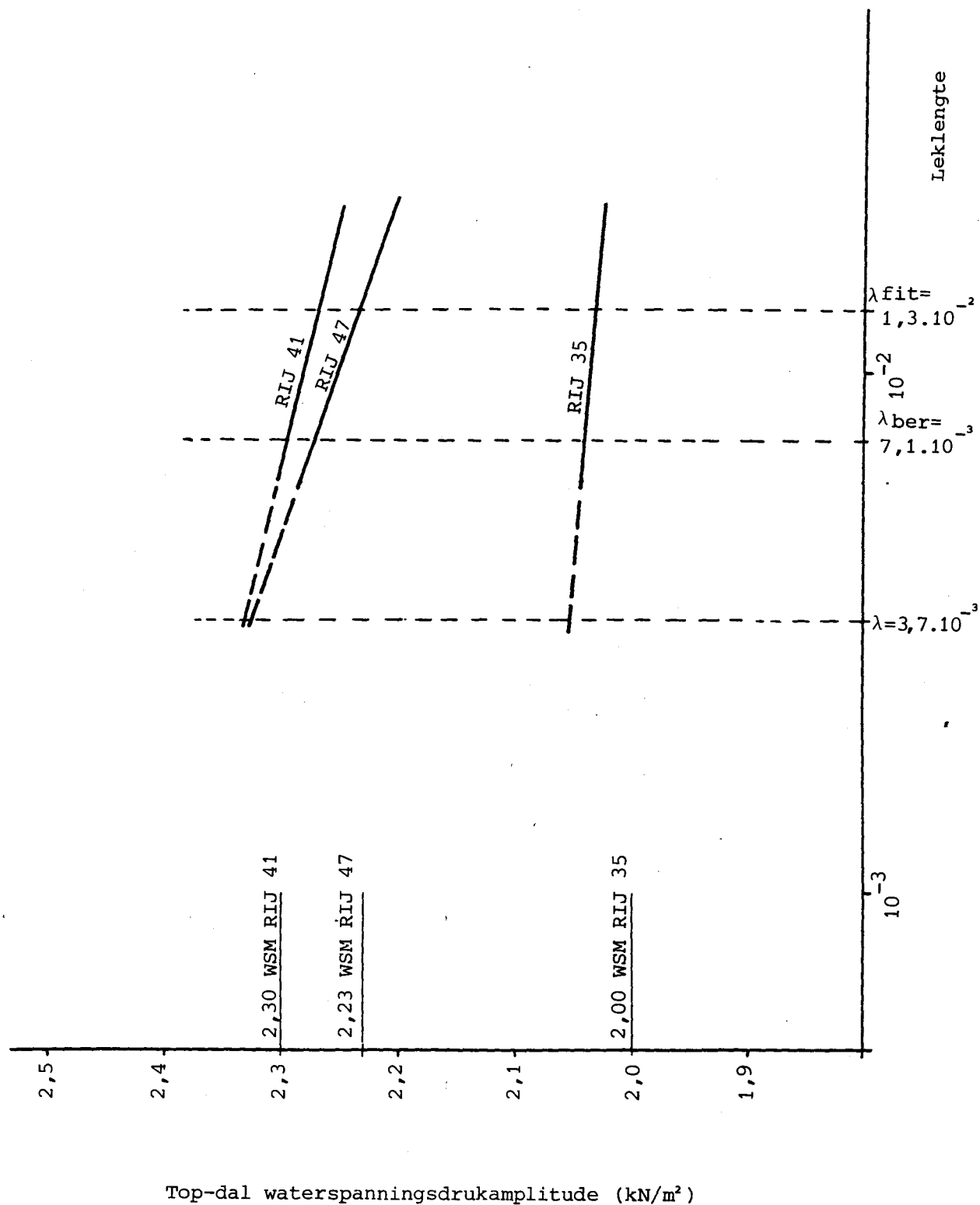
TOP DAL WATERDRUKSPANNINGSAMPLITUDE
TEGEN DE LEKLENGTE VOOR P033

CO-272560

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

M.

FIG. 8



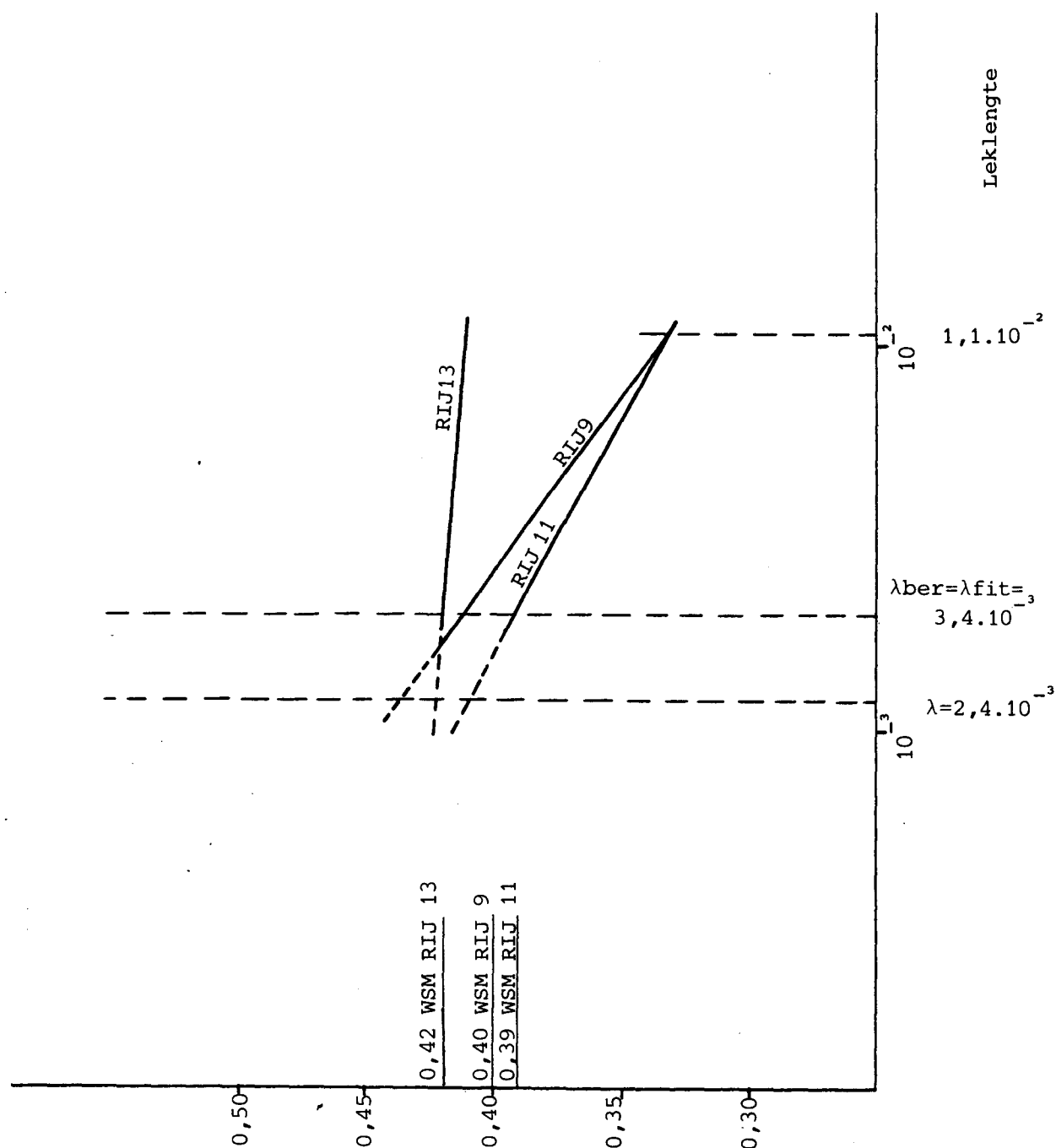
TOP DAL WATERDRUKSPANNINGSAMPLITUDE
TEGEN DE LEKLENGTE VOOR P039

CO 272560

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

M.

FIG. 9



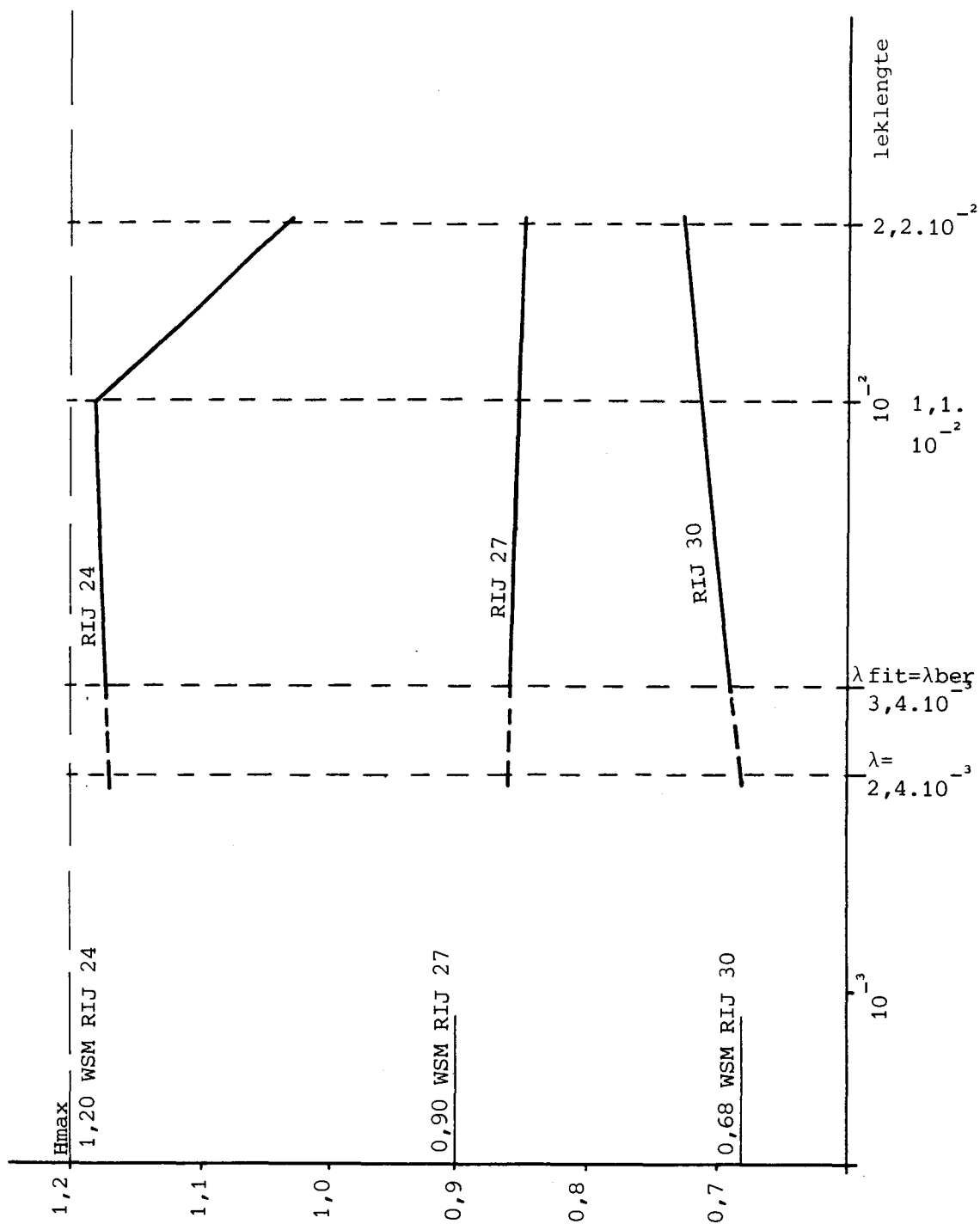
TOP DAL WATERDRUKSPANNINGSAMPLITUDE
TEGEN DE LEKLENGTE VOOR P049

CO-272560

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

M.

FIG. 10



Top-dal waterspanningsdrukamplitude (kN/m²)

TOP DAL WATERDRUKSPANNINGSAMPLITUDE
TEGEN DE LEKLENGTE VOOR P053

CO 272560

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

M.

FIG. 11

