

M 1795 / M 1881 deel XXII
CO-272511/133 band C
januari 1988

taludbekleding van gezette steen

grondmechanische stabiliteit in de golfzone.
verweking van zand door golfaanval

verzamelverslag



GRONDMECHANICA
DELFT



waterloopkundig laboratorium | WL

taludbekleding van gezette steen

grondmechanische stabiliteit in de golfzone.
verweking van zand door golfaanval

verzamelverslag

Het verslag M1795/M1881 deel XXII bestaat uit drie banden.

KORTE INHOUDSOPGAVE

Band A: Berekeningen van de grondmechanische stabiliteit van een taludbekleding onder golfaanval

Samenvatting van de banden B en C

Uitwerking voor de praktijk

Band B: Aspecten van grondmechanische stabiliteit zonder verweking

- Dynamica.
- Afschuiven van taludbekledingen over de ondergrond.
- De grondmechanische stabiliteit van steenzetting-constructies (Afschuivingen in de ondergrond).
- Invloed sterkte bekleding.
- Drukverdeling op talud bij windgolven.

Band C: Verweking van zand door golfaanval

-Sectie 1: Verweking van zand onder steenzettingen (oriënterende studie).

1. Inleiding
2. Dichtheid van zand: proctordichtheid en relatieve dichtheid.
3. Golfkarakteristieken en geometrische randvoorwaarden.
4. Maximaal toelaatbare wateroverspanningen in het talud.
5. Verwekingsgevoeligheid van zand.
6. Verwekingsanalyse zand onder een steenzetting, talud 1:3.
7. Voorlopige ontwerpcriteria.
8. Toetsing verwekingsanalyse/ontwerpcriteria.
9. Samenvatting en conclusies.
10. Symbolenlijst.
11. Referenties.

-Sectie 2 Verslag experimenteel onderzoek in de Deltagoot.

1. Inleiding.
2. Oriënterende analyse proefopstelling.
3. De proefopstelling in de Deltagoot.
4. Conditionering en eigenschappen zand.
5. Het onderzoek en de resultaten.
6. Analyse van de resultaten en aanbevelingen voor verder onderzoek.
7. Samenvatting en conclusies.

-Sectie 3 Evaluatie-rapport.

Verweking van zand onder basaltton zetting.

1. Inleiding.
2. Waterspanningsverloop in zand zonder waterspannings-generatie.
3. Waterspanningsgeneratie door cyclische belasting.
4. Berekende (gesommeerde) en gemeten tijdsgemiddelde waterspanning.
5. Stabiliteit.
6. Samenvatting en conclusies.

Literatuur

- | | | |
|---------|-----|--|
| Bijlage | I | Voorbereidende berekeningen met STEENZET/2 ten behoeve van het Deltagootonderzoek naar verweking. |
| Bijlage | II | Berekeningen met STEENZET/2 na uitvoering van de Deltagootproeven. |
| Bijlage | III | Voorbereidende afschatting van de verwekingscriteria op basis van nadere analyse van de SPONS/2-berekeningen uitgevoerd voor de proef "blokken op zand" en vergelijking met de theory van Lindenberg . |
| Bijlage | IV | Berekeningen volgens [2] na verwerking resultaten van de Deltagoortproef. |
| Bijlage | V | Schema verwekingsberekening. |

VERWEKING VAN ZAND ONDER STEENZETTINGEN
(ORIENTERENDE STUDIE)

CO-416640/16
november 1987
(concept december 1985)

Opgesteld in opdracht van
Rijkswaterstaat Deltadienst
Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde

Projectleider: Ir. J.Lindenberg
Grondmechanica Delft
Afdeling WATERBOUWKUNDIGE CONSTRUCTIES
Afdelingshoofd: Ir. P.Lubking

Verweking van zand onder steenzettingen

blz.

1.	<u>Inleiding</u>	1
2.	<u>Dichtheid van zand: proctordichtheid en relatieve dichtheid.</u>	3
3.	<u>Golfkarakteristieken en geometrische randvoorwaarden</u>	7
3.1.	Praktijksituatie	
3.2.	Golfbreking en golfdrukken op het talud	9
4	<u>Maximaal toelaatbare wateroverspanning in het talud</u>	12
5.	<u>Verwekingsgevoeligheid van zand</u>	18
5.1.	Algemeen (ongedraineerd)	
5.2.	Invloed belastingsgeschiedenis	21
6.	<u>Verwekingsanalyse zand onder een steenzetting, talud 1:3</u>	23
6.1.	Verwekingsanalyse zand onder invloed van sinusvormige golven	
6.1.1	Spanningsvariaties in het talud (volledig waterverzadigd zand)	25
6.1.2	Procedure verwekingsanalyse	30
6.1.3.	Resultaten analyse sinusvormige golven (volledig verzadigd zand)	39
6.1.4	Invloed luchtgehalte op de verwekingsgevoeligheid	41
6.2.	Verweking als gevolg van golfklappen	55
6.2.1	Grensdraagvermogen en belastingsnivo in het zand	
6.2.2.	Invloed consolidatie bij golfklappen	64
6.2.3.	Resultaten verwekingsanalyse golfklappen	68
6.2.4.	Invloed luchtgehalte bij golfklappen	71
6.3.	Combinatie sinusvormige golven en golfklappen	73

		blz.
7.	<u>Voorlopige ontwerpcriteria</u>	75
7.1.	Criteria voor geschematiseerd talud	
7.2.	Invloed extra aspecten	81
8.	<u>Toetsing verwekingsanalyse/ontwerpcriteria</u>	86
9.	<u>Samenvatting en conclusies</u>	88
10.	<u>Symbolenlijst</u>	92
11.	<u>Referenties</u>	94

1

Inleiding.

In het rapport "Inventarisatie schademechanisme aan kust- en oeververdedigingen" ([15]) wordt verweking van zand genoemd als één van de verschijnselen onder een taludbekleding waardoor een belangrijke schade aan een dijk zou kunnen worden ingeleid. In het rapport wordt kort ingegaan op het verwekingsverschijnsel in het algemeen en wordt een opsomming gegeven van de min of meer maatgevende parameters. Tevens wordt een nader onderzoek aanbevolen. Deze aanbeveling heeft geleid tot de initiatie van het in dit verslag beschreven onderzoek naar de omstandigheden waarbij verweking van zand in een talud zou kunnen optreden.

Het onderzoek, dat uitgevoerd is door ir. J.Lindenberg van Grondmechanica Delft, moet worden gezien als een eerste orientatie op de problematiek. Gekozen is voor een zodanig praktisch gerichte aanpak dat een kwantitatieve evaluatie mogelijk was. De praktijksituatie is gedefinieerd en geschematiseerd tot een werkbaar geheel (hoofdstuk 3). O.a. wordt de golfaanval gescheiden in 2 componenten (regelmatige sinusvormige golfbelasting en golfklappen) waarvan de mogelijke verwekingseffecten afzonderlijk worden bepaald (zie hoofdstuk 6). Na combinatie van beide effecten en na toetsing aan de in hoofdstuk 4 afgeleide maximaal toelaatbare wateroverspanning in een door golven belast talud, worden in hoofdstuk 7 voorlopige ontwerpcriteria gepresenteerd, met de nadruk op voorlopig. Hoewel vrijwel alle stappen in de analyse op een conservatieve en dus veilige wijze zijn gekwantificeerd moet, vanwege de enkele bij de studie gebleken onzekerheden, vooralsnog een zekere terughoudendheid in acht worden genomen bij de praktische toepassing van de criteria. Het aangrijpen van mogelijkheden om de criteria in de toekomst te toetsen wordt sterk aanbevolen. In hoofdstuk 8 wordt op enkele aspecten van een eventuele toetsing in de Deltagoot ingegaan.

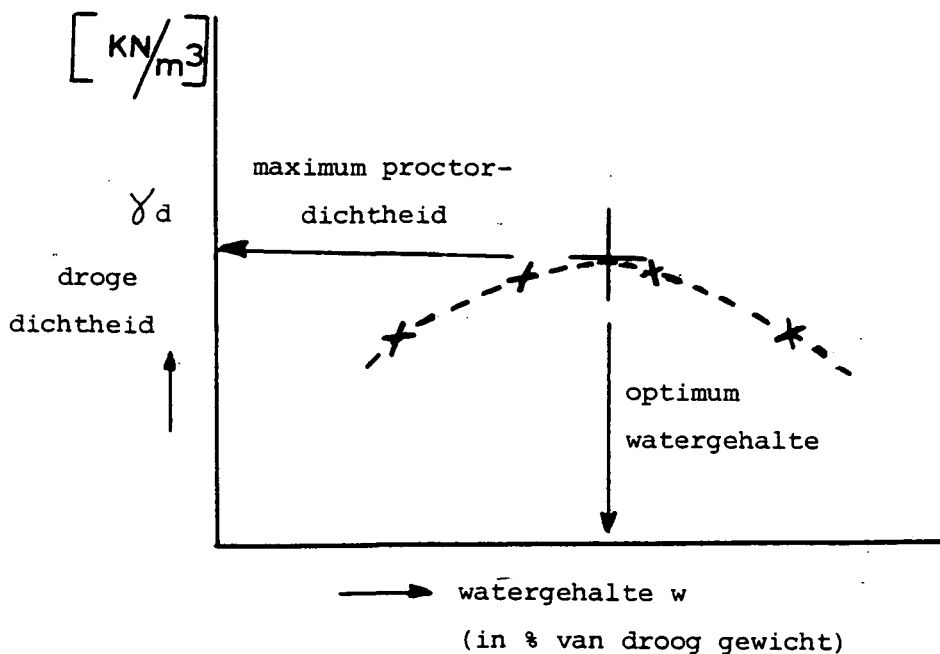
Voor de in hoofdstuk 5 beschreven basisinformatie m.b.t. verweking van zand onder cyclische belasting is gebruik gemaakt van de grondmechanische literatuur. Deze algemene informatie is uitgedrukt in de relatieve dichtheid van zand. In de Nederlandse praktijk wordt dichtheidsinformatie vaak in de vorm van een bepaald percentage van de proctordichtheid toegeleverd. De relatie tussen deze 2 zanddichtheidsgrootheden wordt in hoofdstuk 2 beschreven.

Dit definitieve verslag van de verwekingsstudie wijkt slechts op detailpunten af van de conceptversie daterend van december 1985. Het betekent dat dit verslag als een "state of the art, 1985" moet worden beschouwd en daarmee als een voorloper voor de in 1986 en begin 1987 gerapporteerde, experimentele en bureau- evaluatie studies moet worden opgevat.

2. Dichtheid van zand: proctordichtheid en relatieve dichtheid.

In de praktijk wordt ten behoeve van de kwaliteitsbeoordeling van aangebrachte zandlichamen veelal uitgegaan van het resultaat van de proctorproef. Bij de analyse van de verwekingsgevoeligheid van zand daarentegen wordt meestal de relatieve dichtheid gebruikt. Omdat ook bij de onderhavige studie steeds de relatieve dichtheid werd gehanteerd wordt in dit hoofdstuk in het kort ingegaan op de onderlinge relatie tussen proctordichtheid en relatieve dichtheid.

De proctorproef wordt in het laboratorium uitgevoerd op van het werk afkomstige grondmonsters. Het komt erop neer, dat het zandmonster bij een zeker watergehalte in lagen wordt opgebouwd in een cilinder. Elke laag wordt op voorgeschreven wijze verdicht met een valgewicht (zie [1,2]). De proef wordt een aantal malen herhaald bij verschillende watergehaltes. De droge einddichtheid van elke proef wordt uitgezet tegen het watergehalte. Uit deze grafiek volgt de zogenaamde maximum proctordichtheid, gekoppeld aan het optimum watergehalte.



Figuur 1: Resultaat proctorproef

De relatieve dichtheid van zand R_d is als volgt gedefinieerd:

$$R_d = \frac{n_{\max} - n}{n_{\max} - n_{\min}} \times 100\%$$

waarin

n = poriengehalte

$n_{\max}$ = maximum poriengehalte

$n_{\min}$ = minimum poriengehalte

Met enige nadruk wordt erop gewezen dat het minimum en maximum poriengehalte geen absolute betekenis hebben. Het belang van beide grootheden is voornamelijk gelegen in het feit dat internationaal (ongeveer) dezelfde procedures worden toegepast en dat onderlinge vergelijking mogelijk is. Met name voor het "minimum" poriengehalte is meermalen gebleken dat andere procedures tot aanzienlijk lagere getalwaarden kunnen leiden. Daarentegen kan worden genoemd dat de maximum en minimum poriengehaltes volgens de huidige procedures wel ongeveer de extreme grenzen opleveren van op natuurlijke wijze gesedimenteerd zand. Dit laatste betekent dat ook de relatieve dichtheid van werkelijk praktische betekenis is.

In tabel 1 zijn voor een achttal Nederlandse zanden de resultaten opgenomen van de proctorproef en de maximum/minimum dichtheidsbepaling (uit [1]). De maximum proctordichtheid is tevens uitgedrukt in het poriengehalte en in de relatieve dichtheid. Indien in de praktijk een dichtheidseis wordt gesteld dan wordt meestal uitgegaan van de maximum proctordichtheid. Er wordt in die gevallen een bepaald percentage geeist, bijv. 90% of 95% van de maximum proctordichtheid. In tabel 1 zijn de hiermee overeenkomende waarden uitgedrukt in droge dichtheid, poriengehalte en relatieve dichtheid, toegevoegd.

nr zand- soort	n _{max} [%]	n _{min} [%]	result.proctorproef				95% max.proctor- dichtheid			90% max.proctor- dichtheid		
			max. proc- tor dicht- heid γ_d	opt. water- ge- halte	n	rel. dicht- heid R_d	γ_d	n	R_d	γ_d	n	R_d
			[kN/m ²]	[%]	[%]	[%]	[kN/m ²]	[%]	[%]	[kN/m ²]	[%]	[%]
1	47,1	34,7	17,2	12	35,1	97	16,3	38,5	69	15,5	41,5	45
2	53,5	40,7	16,3	16	38,5	>100	15,5	41,5	94	14,7	44,5	70
3	46,0	32,8	18,1	14	31,6	>100	17,2	35,1	83	16,3	38,5	57
4	48,6	36,9	18,4	10	30,6	>100	17,5	34,0	125(!)	16,6	37,4	96
5	43,3	28,6	18,5	13	30,2	90	17,6	33,6	66	16,6	37,4	40
6	47,9	34,3	17,7	13	33,2	>100	16,8	36,6	83	15,9	40,0	58
7	44,5	31,3	18,3	11	30,9	>100	17,4	34,3	77	16,5	37,7	52
8	46,0	30,5	19,9	12	25,0	>100	18,9	28,7	112(!)	17,9	32,4	88

Tabel 1: Resultaat proctorproeven: 95% resp. 90% van de maximum proctordichtheid uitgedrukt in droge dichtheid, poriengehalte en relatieve dichtheid.

Duidelijk is dat de maximum proctordichtheid vaak hoger is dan de dichtheid behorend bij het minimum poriengehalte. Bij de 8 onderzochte zandsoorten uit tabel 1 was dit zes keer het geval. De zandsoorten 4 en 8 geven zelfs een poriengehalte behorend bij de maximum proctordichtheid dat 6,3% resp. 5,5% lager ligt dan het zogenaamde minimum poriengehalte. Bij de relatieve dichtheden behorend bij 95% en 90% van de maximum proctordichtheid is sprake van een vrij grote spreiding. Volgens de tabel 1 kan in het algemeen worden uitgegaan van de volgende criteria als ondergrens:

maximum
95% proctor $\rightarrow R_d > 65\%$
dichtheid

(gemiddeld 8 zandsoorten
tabel 1. $R_d = 89\%$)

maximum
90% proctor- $\rightarrow R_d > 40\%$
dichtheid

(gemiddeld 8 zandsoorten
tabel 1. $R_d = 63\%$)

3. Golfkarakteristieken en geometrische randvoorwaarden.

3.1 Praktijksituatie.

Ten behoeve van de verwekingsstudie "verweking van zand onder steenzettingen" is een praktijksituatie als volgt gedefinieerd (zie ook figuur 2)

- taludhelling α 1:3, hoogte 10 m
- taludbekleding, dikte $d = 0,2$ m met een doorlatendheid gelijk of groter dan die van het onderliggende zand.
- verdichting zand tot proctordichtheid 90 a 95%
- mogelijke relatieve dichtheid van het zand tussen $R_d = 30\%$ en $R_d = 90\%$
- mogelijk: losse bestorting (waaronder mijnsteen) op doek als tussenlaag tussen zand en steenzetting.
(invloed dikte en porositeit/doorlatendheid, invloed doek.)
- waterdiepte t.p.v. teen van talud 5 m.
- belasting over onderste 5 m door golven met (op dieper water) significante golfhoogten $H_{so} = 1m, 2m$ en $4m$ en gemiddelde golfperioden $T = 3s$ en $5s$, met golfklapbelasting midden op het talud met tijdsduur $< 0,5s$ en optredend éénmaal per twee volledige golfperioden.

De grootte van de golfklapbelasting is als volgt gespecificeerd:

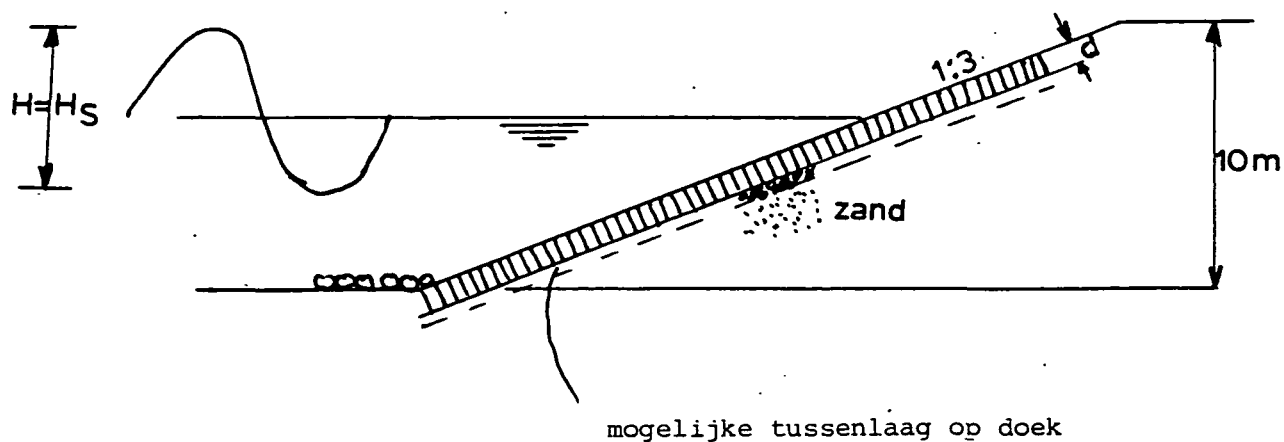
$$H_{so} = 1m \quad q = 12,5 \text{ kN/m}^2 \text{ op oppervlak } 0,5 \times 10m$$

$$H_{so} = 2m \quad q = 25,0 \text{ kN/m}^2 \text{ op oppervlak } 0,75 \times 10m$$

$$H_{so} = 4m \quad q = 50,0 \text{ kN/m}^2 \text{ op oppervlak } 1,0 \times 10m$$

Deze belastingen zijn (hoewel sterk geschematiseerd en versterkt) afgestemd op de tijdens Deltagootproeven gemeten golfklapdrukken ([17]).

- Totale duur golfbelasting: enige uren.



Figuur 2: Praktijksituatie gedefinieerd voor
verwekingsstudie

Bij de verwekingsanalyse is slechts één bovenlaagsituatie in rekening gebracht namelijk een steendikte van 20cm direkt op zand. De hiervoor verkregen resultaten worden in hoofdstuk 4 gebruikt om voorlopige ontwerpcriteria af te leiden. Vanuit de oplossing voor deze vereenvoudigde situatie kunnen correcties worden aangebracht en/of voorwaarden worden geformuleerd voor afwijkingen in de bovenlaag configuratie.

3.2. Golfbreking en golfdrukken op het talud

De in paragraaf 3.1 vermelde combinaties van golfkarakteristieken H_{s0} , T zijn van toepassing op dieper water op grotere afstand voor de dijk. Verondersteld wordt dat de lengte waarover de gespecificeerde waterdiepte van 5 m aanwezig is, zodanig is dat de golven zich hebben kunnen aanpassen. Bovendien wordt het effect van golfbreking geïntroduceerd langs het talud zelf. Hiermee worden H_s , L combinaties verkregen als functie van de lokale waterdiepte h langs het talud en de golfkarakteristieken op diep water H_{s0} , T . Deze H_s , L combinaties doen dienst als belastingrandvoorwaarden voor de bepaling van het drukverloop langs het talud waarbij wordt aangenomen dat er sprake is van sinusvormige, in de richting van het talud lopende, golven. Bij de bepaling van de amplitude $\hat{p}_0$ van het drukverloop langs het talud wordt uitgegaan van de lineaire golftheorie.

In deze paragraaf worden de H_s , L , $\hat{p}_0$ waarden als functie van H_{s0} , T en h gespecificeerd. Bij de verwekingsanalyse worden naast deze sinusvormige belasting tevens de in paragraaf 3.1 gespecificeerde golfklapbelastingen afzonderlijk beschouwd.

Bij de berekening van de H_s , L , $\hat{p}_0$ waarden is uitgegaan van de in [18] beschreven eenvoudige procedure.

De golflengten op diep water L_0 zijn berekend volgens:

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$$

Met als resultaat

$$T = 3 \text{ s} : L_0 = 14 \text{ m}$$

$$T = 5 \text{ s} : L_0 = 39 \text{ m}$$

Voor de bepaling van de golflengte in ondiep water is gebruik gemaakt van een grafiek uit [20] die het verband geeft tussen de golflengte en golfperiode als functie van de inkomende golfhoogte. Deze grafiek is achterin dit verslag als bijlage 1 opgenomen. Voor de golfhoogte ter plaatse van het talud is uitgegaan van:

$$H_s/L = r \cdot \frac{1}{7} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)$$

Hierin is r een versterkingsfactor in het brekingscriterium

$H_s/L \leq \frac{1}{7} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)$. Deze factor, waarvoor steeds de waarde 1,5 is gebruikt, is ingevoerd vanwege de relatief korte lengte waarover de waterdiepte 5 m afneemt langs het talud.

Vervolgens is de amplitude van de waterdruk langs het talud berekend met:

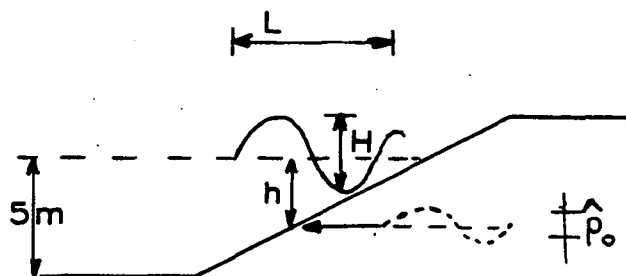
$$H_s < H_{s0} : \hat{p}_0 = \frac{H_s}{2} \frac{\gamma_w}{\cosh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)}$$

$$H_s > H_{s0} : \hat{p}_0 = -\frac{H_{s0}}{2} \frac{\gamma_w}{\cosh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)}$$

In tabel 2 zijn de resultaten weergegeven voor de 2 golfperioden $T = 3\text{ s}$ en $T = 5\text{ s}$ en voor de golfhoogte op diep water H_{so} resp. 1 m, 2 m en 4 m.

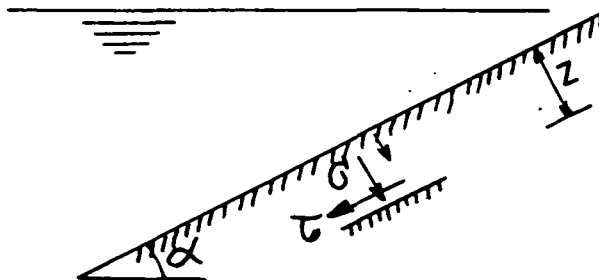
	$T = 3\text{ s}$			$T = 5\text{ s}$		
waterdiepte	$H_{so} = 1\text{ m}$	$H_{so} = 2\text{ m}$	$H_{so} = 4\text{ m}$	$H_{so} = 1\text{ m}$	$H_{so} = 2\text{ m}$	$H_{so} = 4\text{ m}$
h [m]	$L \quad \hat{p}_o$ [m] (kN/ m ²)	$L \quad \hat{p}_o$ [m] (kN/ m ²)	$L \quad \hat{p}_o$ [m] (kN/ m ²)	$L \quad \hat{p}_o$ [m] (kN/ m ²)	$L \quad \hat{p}_o$ [m] (kN/ m ²)	$L \quad \hat{p}_o$ [m] (kN/ m ²)
1	9,5 4,1	9,5 4,8	9,5 4,8	16,8 4,7	16,8 6,0	16,8 6,0
2	12,0 3,1	12,0 6,2	12,0 6,2	23,2 4,3	23,2 8,7	23,2 10,7
3	12,5 2,1	12,5 4,2	12,5 5,1	27,4 4,0	27,4 8,0	27,4 14,0
4	12,8 1,4	12,9 2,8	12,8 3,7	30,0 3,7	30,0 7,3	30,0 14,8
5	13,0 0,9	13,0 1,8	13,0 2,5	32,5 3,3	32,5 6,6	32,5 13,2

Tabel 2: golfdrukkarakteristieken langs het talud



4. Maximaal toelaatbare wateroverspanning in een talud.

Indien het grensevenwicht op een vlakje evenwijdig aan het talud wordt beschouwd dan kan voor stationnaire en statische omstandigheden het volgende grenscriterium worden afgeleid onder aanname van een oneindig lang talud en loodrecht op het talud uitstromend grondwater:



$$\frac{\tau}{\sigma'} = \frac{\tau}{(\sigma - p_{\text{hydr}}) - \Delta p} \leq \text{tg} \phi$$

waarin ϕ de hoek van inwendige wrijving voorstelt en Δp de extra wateroverspanning, τ is de schuifspanning op het beschouwde vlakje en σ' de effectieve normaalspanning (korrelspanning).

In een talud onder hoek α geldt tevens:

$$\frac{\tau}{\sigma'} = \frac{z (\gamma_g - \gamma_w) \sin \alpha}{z (\gamma_g - \gamma_w) \cos \alpha - \Delta p} \leq \text{tg} \phi$$

Met het wateroverspanningspercentage $\Delta p'$ volgens

$$\Delta p' = 100 \times \frac{\Delta p}{z (\gamma_g - \gamma_w) \cos \alpha}$$

(d.w.z. $\Delta p'$ = de wateroverspanning Δp als percentage van de effectieve normaalspanning σ' in het hydrostatische geval).

wordt gevonden

$$\frac{\Delta p'}{100} \leq 1 - \frac{\text{tg } \alpha}{\text{tg } \phi}$$

Deze uitdrukking voor het maximaal toelaatbare percentage wateroverspanning geldt voor een stilstaand wateroppervlak. Bij een door golven belast talud worden hier 2 aspecten in het dijklichaam onderscheiden namelijk

- de direkte invloed. Het periodiek variërende drukverloop aan de taludrand veroorzaakt wisselingen in de korrel- en waterspanning in het dijklichaam.
- de indirecte invloed als gevolg van de dilatante eigenschappen in het zand of anders gezegd het verwekingsmechanisme. Het belangrijkste kenmerk is de geleidelijke toename van de poriënwaterdruk in het zand.

In de verwekingsstudie wordt het eerste direkte golfeffect geïntroduceerd in de korrelspanningen τ en σ' van het hierna in dit hoofdstuk geformuleerde bezwijkcriterium. Het verwekingseffect zelf wordt uitgedrukt in het percentage additionele wateroverspanning $\Delta p'$. De grootte van $\Delta p'$ wordt berekend in hoofdstuk 6 en vervolgens in hoofdstuk 7 vergeleken met de hier afgeleide maximaal toelaatbare waarde.

Beschouwing van het grensevenwicht op het vlakje evenwijdig aan het taludbeloop wordt in het geval met golven:

$$\frac{\tau}{\sigma'} = \frac{\tau + \Delta \tau}{(\sigma - p_{\text{hydr}}) + \Delta \sigma_g - \Delta p} \leq \text{tg } \phi$$

Voor de korrelspanningsvariatiën in het zand als gevolg van golfdrukbelasting op het talud $\Delta\tau_g$ en $\Delta\sigma_g'$ wordt uitgegaan van de in [4] gepresenteerde analytische oplossing voor de periodieke korrelspanningswisselingen in een homogene, lineair elastische bodem met horizontale begrenzing als gevolg van een sinusvormige lopende golf in het water erboven.

Onder aanname van volledig waterverzadigd zand geldt dan:

$$\Delta\tau_g = \hat{p}_0 \lambda z e^{-\lambda z} \cos \frac{2\pi t}{T}$$

$$\Delta\sigma_g' = \hat{p}_0 \lambda z e^{-\lambda z} \sin \frac{2\pi t}{T}$$

waarin $\lambda = \frac{2\pi}{L}$ het golfgetal is en z de afstand van het beschouwde vlakje tot het talud.

Invoering in het grenscriterium levert

$$\frac{\tau}{\sigma'} = \frac{z (\gamma_g - \gamma_w) \sin \alpha + \hat{p}_0 \lambda z e^{-\lambda z} \cos \frac{2\pi t}{T}}{z (\gamma_g - \gamma_w) \cos \alpha + \hat{p}_0 \lambda z e^{-\lambda z} \sin \frac{2\pi t}{T} - \Delta p} \leq \tan \phi$$

of met het eerder gedefinieerde waterspanningspercentage $\Delta p'$

$$\frac{\Delta p'}{100} \leq 1 - \frac{\tan \alpha}{\tan \phi} + \frac{\hat{p}_0 \lambda e^{-\lambda z}}{(\gamma_g - \gamma_w) \cos \alpha} \left(\sin \frac{2\pi t}{T} - \frac{\cos \frac{2\pi t}{T}}{\tan \phi} \right).$$

Hieruit volgt dat het maximaal toelaatbare

wateroverspanningspercentage $\bar{\Delta p}'$ minimaal is indien $(\hat{p}_0 \lambda e^{-\lambda z})$ maximaal is.

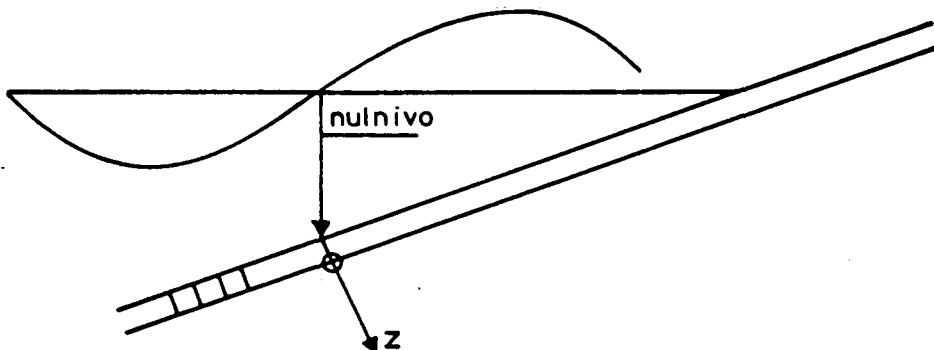
Dit is het geval voor het hoogste nivo in het zand d.w.z. voor z gelijk aan de bekledingslaagdikte d .

Tevens volgt eruit dat $\bar{\Delta p}'$ minimaal is indien

$$f = \left(\sin \frac{2\pi t}{T} - \frac{\cos \frac{2\pi t}{T}}{\tan \phi} \right) \text{ minimaal negatief is.}$$

Met andere woorden het toelaatbare wateroverspanningspercentage wordt bepaald door de meest ongunstige "stand" van de golf boven elke aan een bepaalde waterdiepte, gekoppelde locatie langs het talud. Voor de hoek van inwendige wrijving van het zand binnen de range $\phi = 37^\circ$ tot 45° blijkt de meest ongunstige stand te worden bereikt door invulling van $\frac{2\pi t}{T} = -0,25\pi$ à $-0,29\pi$ (-45° à -53°).

In deze stand is de waarde van f gelijk aan $-1,40$ à $-1,60$. Zoals vermeld treedt dit slechts heel kort en in één punt op. Omdat er in het bezwijkcriterium in feite van uitgegaan wordt dat dit langs het gehele talud plaatsvindt, is een reductie toegepast door steeds de f -waarde in te vullen die geldt voor het moment dat het nulnivo in de waterstand juist boven de beschouwde locatie in het talud is.



Dit betekent dat het volgende criterium is toegepast voor het maximaal toelaatbare wateroverspanningspercentage $\Delta p'$

$$\bar{\Delta p'} \leq 100 \left(1 - \frac{\text{tg} \alpha}{\text{tg} \phi} - \frac{\hat{p}_o \lambda e^{-\lambda z}}{(\gamma_g - \gamma_w) \cos \alpha \cdot \text{tg} \phi} \right).$$

In tabel 3 zijn de resulterende waarden voor $\Delta p'$ samengevat voor ϕ resp. 37° , 40° en 43° onder invulling van $\tan \alpha = 1/3$ ($\alpha = 18.5^\circ$), $(\gamma_g - \gamma_w) = 10 \text{ kN/m}^3$ en de in tabel 2 gegeven golfdrukgegevens. In tabel 3 zijn alleen de hogere nivo's langs het talud (waterdiepte h) opgenomen. Voor grotere waterdiepten is $\Delta p'$ hoger en daarmee niet maatgevend.

	water diepte $h[\text{m}]$	$\overline{\Delta p'} [\%]$					
		$\phi=37^\circ$		$\phi=40^\circ$		$\phi=43^\circ$	
		$T=3\text{s}$	$T=5\text{s}$	$T=3\text{s}$	$T=5\text{s}$	$T=3\text{s}$	$T=5\text{s}$
$H_{\text{SO}}=1\text{m}$	1	22,5	33,0	30,5	40,0	37,5	46,0
	2	35,5	40,5	42,0	46,5	48,0	52,0
$H_{\text{SO}}=2\text{m}$	1	16,5	26,5	25,0	34,0	32,5	41,0
	2	15,0	24,5	23,5	32,0	31,0	39,0
	3	29,0	31,5	36,0	38,5	43,0	44,5
$H_{\text{SO}}=4\text{m}$	1	16,5	26,5	25,0	34,0	32,5	41,0
	2	15,0	17,5	23,5	26,0	31,0	33,5
	3	23,5	13,0	31,0	21,5	38,0	29,5
	4	-	14,0	-	23,0	-	30,5

Tabel 3: maximaal toelaatbare

wateroverspanningspercentage $\Delta p'$

Voor een talud 1:3 en $R_d = 50\%$ is ϕ zeker groter dan 37° wat inhoudt dat een wateroverspanningspercentage van minimaal 15% toelaatbaar zou zijn volgens de bovenstaande "macro" evenwichtsbeschouwing. Tevens moet aan de micro evenwichtsvoorwaarde worden voldaan. O.a. betekent dit dat opwerveling van zandkorrels t.p.v. een spleet tussen stenen als gevolg van een groot uittredend verhang moet worden verhinderd. Als gevolg van de toegepaste sterke schematisatie volgt uit de verwekingsanalyse dat dit micro bezwijkmechanisme niet kritiek is zolang aan de macrovoorwaarde wordt voldaan. Omdat echter tegelijk met de waterspanning t.g.v. cyclische belasting tevens de bekende "elastische" waterspanningsvariatie optreedt, die ten tijde van golfdal eveneens met uitstromend grondwater gepaard gaat, zal ook een totaalbeschouwing moeten worden gemaakt.

In feite geldt deze opmerking ook voor het eventueel optreden van het macro bezwijken. Aanbevolen wordt deze totaalanalyse uit te voeren binnen het meer algemene kader van het onderzoek steenzettingen.

5. Verwekingsgevoeligheid van zand

5.1. Algemeen (ongedraineerd)

Algemeen toepasbare informatie omtrent de verwekingsgevoeligheid van zand onder invloed van cyclische belasting is o.a. beschikbaar in de publicaties [5, 6 en 7]. Op basis van een zeer groot aantal ongedraineerde simple shear en triaxiaalproeven is een relatie afgeleid tussen het aantal cycli dat tot verweking van een zandmonster leidt onder ongedraineerde omstandigheden, de relatieve dichtheid van het monster en de amplitude van de relatieve schuifspanning $\frac{\Delta\tau}{\sigma'_{vo}}$.

Hierin is $\Delta\tau$ de amplitude van de cyclische schuifspanning en σ'_{vo} de initieel aanwezige affectieve normaalspanning in verticale richting. De eerste tijd d.w.z. tot 1975, zijn deze proeven voornamelijk uitgevoerd en geevalueerd t.b.v. verwekingsanalyses in verband met aardbevingsbelastingen ([5, 6]). Een vereenvoudigde procedure voor zo'n analyse wordt gegeven in [5]. Vanaf ca. 1975 zijn de gegevens meer en meer toegepast voor verwekingsstudies voor de zeebodem onder invloed van golfbelasting. De procedure is in grote lijnen gelijk aan die voor aardbevingsbelasting met enkele verschillen of toevoegingen. Zo is vanwege de lagere frequentie van de belasting bij golven de gunstige invloed van dissipatie van waterspanning in het algemeen groter dan bij aardbevingen. Een ander gunstig aspect dat met name bij golfbelasting regelmatig kan worden geïntroduceerd is de invloed van de cyclische voorbelasting opgebouwd tijdens voorgaande stormen. Een nadelig verschil is dat de golfbelasting tijdens een storm van veel langere duur is dan tijdens een aardbeving.

Dit leidt ertoe dat een verwekingsanalyse voor de zeebodem er meestal op gericht is de evenichtswaterspanning te bepalen waarbij als het ware de toename van waterspanning als gevolg van het dilatante effect in de grond gelijk is aan de afname van waterspanning ten gevolge van drainage.

In tabel 4 zijn de relatieve schuifspanningen of schuifspanningsnivo's opgenomen die tot verweking leiden in ongedraineerde omstandigheden (simple shear proeven) na 10 en na 1000 belastingscycli voor relatieve dichtheiden R_d tussen 30 en 90% (uit [6]). De $\Delta\tau/\sigma'_{vo}$ neemt ongeveer lineair toe

tussen $R_d = 30\%$ en $R_d = 60\%$. Bij hogere relatieve dichtheden neemt de $\Delta\tau/\sigma'_{vo}$ sterker toe. De in tabel 4 opgenomen

informatie wordt in [6] gemiddeld veilig genoemd.

Rd [%]	niet-voorbelast		inclusief voor- belastings effect
	verweking na 10 cycli	verweking na 1000 cycli	verweking na 1000 cycli
	$\Delta\tau/\sigma'_{vo}$	$\Delta\tau/\sigma'_{vo}$	$\Delta\tau/\sigma'_{vo}$
30	0,081	0,053	0,106
40	0,113	0,074	0,148
50	0,138	0,090	0,180
60	0,164	0,107	0,214
70	0,195	0,127	0,254
80	0,237	0,155	0,310
90	0,289	0,189	0,378

Tabel 4: Schuifspanningsnivo's $\Delta\tau/\sigma'_{vo}$ leidend tot verweking na 10 resp. 1000 cycli in ongedraineerde simple shear proeven als functie van relatieve dichtheid (volgens [6]). Met en zonder voorbelastingseffect.

5.2. Invloed belastingsgeschiedenis

Het grote effect van voorgaande cyclische belasting op de verwekingsgevoeligheid van zand is in de grondmechanica literatuur voor het eerst vermeld door Liam Finn, Bransby en Pickering [8] in 1970. Later is het door vele anderen onderzocht en gerapporteerd (o.a. [6, 9, 10, 11]). Indien een monster ongedraineerd cyclisch wordt belast tot een wateroverspanning aanzienlijk lager dan de overspanning vereist voor verweking, vervolgens wordt gedraineerd en daarna ongedraineerd cyclisch belast tot verweking optreedt dan is het aantal benodigde belastingscycli aanzienlijk groter dan in het geval het monster direct, zonder voorbelasting, tot verweking zou zijn gebracht. De verhouding van het aantal cycli tot verweking na voorbelasten en het aantal cycli zonder voorbelasten is met name bij vastgepakt zand hoog en is volgens de literatuur gelegen tussen 3 en 80, afhankelijk van het schuifspanningsnivo tijdens de voorbelasting t.o.v. dat tijdens de eigenlijke verwekingsproef. De ervaringen binnen het LGM opgedaan met triaxiaalproeven leveren eveneens voorbelastingseffecten op die gelegen zijn binnen de genoemde range van factoren (tussen 10 en 25).

Het voorbelastingseffect kan in het geval van golfbelasting op een talud op tweeeerlei manieren optreden. Allereerst door voorgaande stormen van kleinere sterkte zonder dat verweking van de grond optreedt. Daarnaast ook tijdens de opbouw van de beschouwde zware storm zelf indien het zand voldoende doorlatend is. Dit laatste zal het geval zijn bij een steenzetting op een zandkern indien het zand doorlatender is dan ongeveer 10^{-5} m/s en bovendien de steenzetting zelf doorlatender is dan het zand.

Bij de onderhavige verwekingsanalyse is een voorbelastingseffect verondersteld overeenkomend met een factor voor het aantal belastingscycli van 10.

Indien het voorbelastingseffect wordt uitgedrukt in het schuifspanningsnivo dan dient een factor tussen 1,5 en 2,5 te worden gebruikt. Bij de verwekingsstudie is uitgegaan van een factor 2, welke verwerkt is in tabel 4.

6. Verwekingsanalyse zand onder een steenzetting, talud 1:3

Bij de analyse van de verwekingsgevoeligheid is een scheiding aangebracht in twee soorten belastingsrandvoorwaarden, n.l. de continu en periodiek verlopende golven, de "sinusvormige golven" en de belasting tengevolge van golfklappen. De kans op verweking als functie van belastingsgrootte en grondeigenschappen wordt afzonderlijk beoordeeld in de paragrafen 6.1 en 6.2. De combinatie van de resultaten van beide analyses wordt beschreven in 6.3.

6.1 Verwekingsanalyse zand onder invloed van sinusvormige golven

In paragraaf 6.1 (6.1.1. t/m 6.1.4.) worden de opzet en de resultaten beschreven van de verwekingsanalyse voor de sinusvormige golven d.w.z. voor de golfbelasting tegen het talud exclusief het effect van golfklappen. De golven worden geschematiseerd tot "sinusvormige", het talud naderende golven. De golflengte, een belangrijke parameter voor de grootte van de spanningsvariaties in de bodem, is hierbij een functie van de waterdiepte en neemt af bij het naderen van het talud.

Bij de eigenlijke verwekingsanalyse wordt verondersteld dat het zand volledig met water verzadigd is. Hoewel dit in een talud veelal niet het geval zal zijn wordt "volledig vezadigd" in het algemeen als de meest pessimistische toestand beschouwd.

Aan het einde van deze beschouwing (6.1.4) worden een aantal aspecten van lucht in porien beschreven.

De verwekingsanalyse is uitgevoerd voor relatieve dichtheden van het zand 30%, 50%, 70% en 90% en voor 5 mogelijke consolidatiecoëfficiënten per relatieve dichtheid namelijk $c_v = 0,01 \text{ m}^2/\text{s}$, $0,02 \text{ m}^2/\text{s}$, $0,05 \text{ m}^2/\text{s}$, $0,1 \text{ m}^2/\text{s}$ en $0,2 \text{ m}^2/\text{s}$. Voor elke combinatie werden 5 golfbelastingsrandvoorwaarden verondersteld n.l. $H_{50} = 1\text{m}$, 2m en 4m gecombineerd met $T = 5\text{s}$ en $H_{50} = 1\text{m}$ en 2m , beiden bij $T = 3\text{s}$.

De combinatie $H_{so} = 4m$ en $T = 3s$ wordt niet realistisch beschouwd en in het vervolg van de analyse niet meegenomen. De consolidatiecoëfficiënt is bij volledig waterverzadigde poriën een functie van de doorlatendheid k en de samendrukbaarheid m_v van het zand volgens:

$$c_v = \frac{k}{\gamma_w} \cdot \frac{1}{m_v}$$

Een $c_v = 0,1 \text{ m}^2/\text{s}$ wordt verkregen door de volgende realistische combinaties van k en $\frac{1}{m_v}$

$$k = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$1/m_v = 1 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2$$

$$k = 2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$1/m_v = 5 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2 \quad \}$$

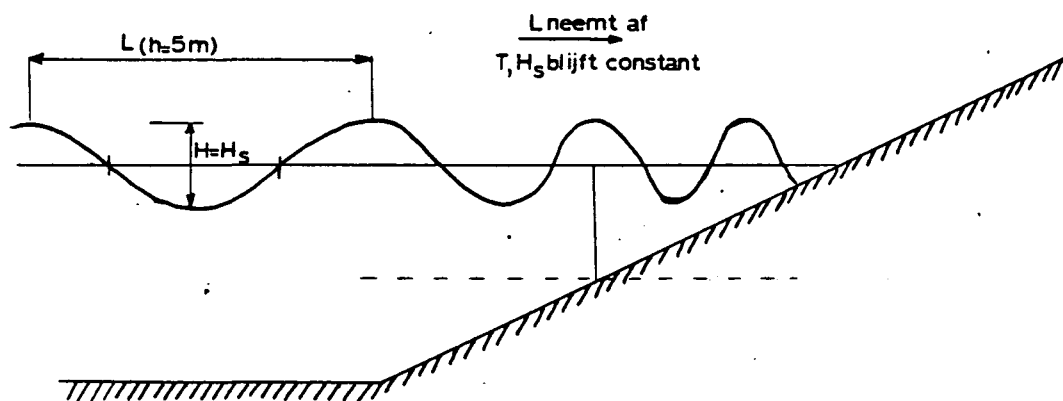
Wat de doorlatendheid betreft moet hierbij aan een fijne zandsoort met geen of weinig silt worden gedacht. De consolidatiecoëfficiënt $c_v = 0,01 \text{ m}^2/\text{s}$ is van toepassing voor een fijn zand met een niet verwaarloosbaar percentage $< 60 \mu\text{m}$. In de praktijk zal met name de doorlatendheid van het zand gekoppeld aan een zekere voorgeschreven verdichtingsgraad moeten worden beoordeeld.

6.6.1 Spanningsvariaties in het talud (volledig waterverzadigd zand)

De verwekingsanalyse is uitgevoerd voor significante golfhoogtes $H_{s0} = 1\text{ m}$, 2 m en 4 m op grotere afstand voor het talud en voor gemiddelde golfperiode $T = 3\text{ s}$ en $T = 5\text{ s}$.

De afname van de golfhoogte en golflengte bij het naderen van het talud en t.p.v. het talud is behandeld in paragraaf 3.2.

De resulterende golfdrukamplitudes langs het talud zijn gepresenteerd in tabel 2.



Figuur 3. Schematische golven bij nadering talud.

Uitgaande van deze golfdrukrandvoorwaarden worden de spanningsvariaties in de bodem berekend m.b.v. de in [4] gegeven analytische consolidatie oplossing voor een door sinusvormige lopende golven belast twee fasen materiaal grond-water. Het spanningsrekgedrag van grond is hierin lineair elastisch verondersteld. Bij de verwekingsanalyse is alleen gebruik gemaakt van oplossing voor $K_w \gg G$, m.a.w. voor relatief zeer weinig samendrukbaar porienwater. Dit houdt in dat volledig waterverzadigd zand werd verondersteld. De in [4] gegeven oplossing geldt voor een stationnaire toestand met constante golfbelasting. Langs een talud varieert de golflengte evenwel.

De spanningsvariatiëen zijn berekend met behulp van [4] voor elke in tabel 5 gegeven combinatie H_{so} , T , L en $\hat{p}_0$ onder aanname van horizontale bodem ter plaatse. Bij elke combinatie wordt daarmee geen additionele beïnvloeding van de naastgelegen diepere en ondiepere nivo's verondersteld. Bij de overgang van de voor een horizontale bodem geldende analytische oplossing naar de variaties in een talud is de oplossing direkt van toepassing geacht voor een assenstelsel met de x-richting evenwijdig aan het talud en de z-richting loodrecht op het talud.

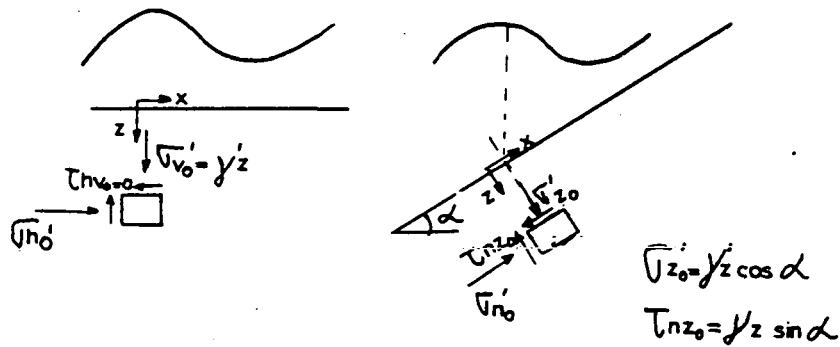
De volgende uitdrukkingen zijn van toepassing voor de amplitudes van de spanningsvariatiëen ([4]) op afstand z loodrecht in het talud:

$$(1) \text{ waterspanning } \Delta p = \hat{p}_0 e^{-\lambda z}$$

$$(2) \text{ korrelspanning } \Delta \sigma'_z = \Delta \sigma'_x = \Delta \tau_{xz} = \hat{p}_0 \lambda z e^{-\lambda z}$$

De waterspanning Δp en de korrelspanning $\Delta \sigma'_z$ zijn in fase met de aangeboden belasting op $t = 0$: $p_0 = \hat{p}_0 \sin(\lambda x + vt)$. De korrelspanning $\Delta \sigma'_x$ is in tegenfase met p_0 en de schuifspanning $\Delta \tau_{xz}$ is $\pi/2$ in fase verschoven.

De maatgevende korrelspanningsgrootte voor het beoordelen van de kans op verweking is de amplitude van de cyclische relatieve schuifspanning $\Delta \tau_{xz} / \sigma'_{zo}$ of uitgedrukt in deviatorspanning $= \frac{\Delta(\sigma'_z - \sigma'_x)}{(\sigma'_z + \sigma'_x)_0}$ waarin σ'_{zo} en $(\sigma'_z + \sigma'_x)_0$ de initiele waarden van de korrelspanning in de richting loodrecht op het talud resp. de gemiddelde normaalspanning voorstellen. Bij de onderhavige studie is steeds uitgegaan van de relatieve schuifspanning $\Delta \tau_{xz} / \sigma'_{zo}$, met σ'_{zo} gelijk aan het effectieve gewicht van de bovenliggende grond op de beschouwde afstand van de taludbegrenzing.



Figuur 4: spanningen t.g.v. eigen gewicht.

Horizontaal terrein en onder talud.

Dit houdt in dat de spanningsvariatiëes direkt uit (1), (2) kunnen worden bepaald. De maatgevende initiële spanning wordt dan $\sigma'_{z0} = \gamma'z \cos \alpha$. Voor een talud 1:3 levert dit $\sigma'_{z0} = 0,95 \gamma'z$, waarvoor in het vervolg $\sigma'_{z0} = 10z \text{ kN/m}^2$ is gesteld.

De amplitudes van de relatieve schuifspanningsvariatiëes zijn gegeven in de tabellen 5a t/m 5c voor $H_{s0} = 1 \text{ m}$, 2 m en 4 m en $T = 3 \text{ s}$ en $T = 5 \text{ s}$.

z [m]	$\hat{p}_0 = 4,1 \text{ kN/m}^2$ $h=1\text{m}/L=9,5\text{m}$ $\Delta\tau/\sigma'_{zo}$	$\hat{p}_0 = 3,1$ $h=2\text{m}/L=12\text{m}$ $\Delta\tau/\sigma'_{zo}$	$\hat{p}_0 = 2,1$ $h=3\text{m}/L=12,5$ $\Delta\tau/\sigma'_{zo}$	$\hat{p}_0 = 1,4$ $h=4\text{m}/L=12,8$ $\Delta\tau/\sigma'_{zo}$	$\hat{p}_0 = 0,9$ $h=5\text{m}/L=13,0\text{m}$ $\Delta\tau/\sigma'_{zo}$
0,2	0,24	0,15	0,10	0,065	0,04
0,5	0,20	0,13	0,08	0,055	0,035
1,0	0,14	0,10	0,065	0,045	0,028
2,0	0,075	0,060	0,038	0,025	0,017
3,0	0,040	0,032	0,022	0,015	0,010
4,0	0,020	0,020	0,015	0,010	0,008
5,0	0,010	0,012	0,008	0,005	0,005

T = 3s

z [m]	$\hat{p}_0 = 4,7$ $1/16,8$ $\Delta\tau/\sigma'_{zo}$	$\hat{p}_0 = 4,35$ $2/23,2$ $\Delta\tau/\sigma'_{zo}$	$\hat{p}_0 = 4,0$ $3/27,4$ $\Delta\tau/\sigma'_{zo}$	$\hat{p}_0 = 3,7$ $4/30$ $\Delta\tau/\sigma'_{zo}$	$\hat{p}_0 = 3,3$ $5/32,5$ $\Delta\tau/\sigma'_{zo}$
0,2	0,165	0,12	0,09	0,075	0,065
0,5	0,150	0,11	0,085	0,070	0,060
1,0	0,120	0,09	0,075	0,065	0,055
2,0	0,085	0,07	0,060	0,050	0,045
3,0	0,060	0,055	0,045	0,040	0,035
4,0	0,040	0,040	0,040	0,032	0,030
5,0	0,028	0,030	0,030	0,027	0,025

T = 5s

Tabel 5a: amplitudes cyclische relatieve schuifspanningsvariates,

 $H_{s0} = 1\text{m}$, T = 3s en T = 5s.

z [m]	T = 3sec		H _s = 2 m		
	$\hat{p}_0 = 4,84$ h=1m/L=9,5m	$\hat{p}_0 = 6,20$ h=2m/L=12m	$\hat{p}_0 = 4,20$ h=3m/L=12,5	$\hat{p}_0 = 2,80$ h=4m/L=12,8	$\hat{p}_0 = 1,80$ h=5m/L=13,0m
0,2	0,28	0,30	0,20	0,130	0,080
0,5	0,24	0,26	0,16	0,110	0,070
1,0	0,17	0,20	0,13	0,090	0,056
2,0	0,088	0,12	0,075	0,050	0,034
3,0	0,048	0,064	0,044	0,030	0,020
4,0	0,024	0,040	0,030	0,020	0,016
5,0	0,012	0,024	0,016	0,010	0,010

T = 3s

z [m]	T = 5sec		H _s = 2 m		
	$\hat{p}_0 = 6,00$ h=1m/L=16,8	$\hat{p}_0 = 8,7$ h=2m/L=23,2h=3m/L=27,4	$\hat{p}_0 = 8,0$ h=4m/L=30	$\hat{p}_0 = 7,3$ h=5m/L=32,5m	$\hat{p}_0 = 6,6$ h=5m/L=32,5m
0,2	0,210	0,24	0,18	0,15	0,13
0,5	0,190	0,22	0,17	0,14	0,12
1,0	0,150	0,18	0,15	0,13	0,11
2,0	0,110	0,14	0,12	0,10	0,09
3,0	0,080	0,11	0,09	0,08	0,07
4,0	0,050	0,08	0,08	0,064	0,06
5,0	0,036	0,06	0,06	0,055	0,05

T = 5s

Tabel 5b: Amplitudes cyclische relatieve schuifspanningsvariates

 $\Delta\tau/\sigma_{zo}$, $H_{s0} = 2m$ T = 3sec en T = 5sec.

z [m]	T = 5sec		H _s = 4 m		
	$\hat{p}_0 = 6,0$ h=1m/L=16,8	$\hat{p}_0 = 10,7$ h=2m/L=23,2h=3m/L=27,4	$\hat{p}_0 = 14,0$ h=4m/L=30	$\hat{p}_0 = 14,8$ h=5m/L=32,5m	$\hat{p}_0 = 13,2$ h=5m/L=32,5m
0,2	0,210	0,295	0,315	0,300	0,260
0,5	0,190	0,270	0,300	0,280	0,240
1,0	0,153	0,220	0,260	0,260	0,220
2,0	0,109	0,170	0,210	0,200	0,180
3,0	0,076	0,135	0,160	0,160	0,140
4,0	0,051	0,100	0,140	0,128	0,120
5,0	0,035	0,074	0,105	0,108	0,100

T = 5s

Tabel 5c: Amplitudes cyclische relatieve schuifspanningsvariates

 $\Delta\tau/\sigma_{zo}$, $H_{s0} = 4m$ en T = 5s.

Het volgende kan nog worden opgemerkt:

- De analytische oplossing volgens [4] voldoet niet voor zand in het geval van zeer steile golven omdat de aanname van lineair elastisch gedrag niet van toepassing is voor hoge τ/σ'_{zo} .
- De golfrandvoorwaarden $H_{so} = 4m$, $T = 3$ zijn zeer extreem en onbestaanbaar.

6.1.2 Procedure verwekingsanalyse

De procedure voor de verwekingsanalyse wordt voor het volgende geval doorlopen

$$H_{so} = 2m \quad / \quad T = 5s$$

$$Rd = 50\% \quad / \quad c_v = 0,01 \text{ m}^2/s$$

Op basis van tabel 6, waarin de verwekingsinformatie van tabel 4 inclusief voorbelastingeffect is verwerkt en tevens geëxtrapoleerd naar hogere $\Delta\tau/\sigma'_{vo}$, en de spanningsinformatie van tabel 5 (voor de desbetreffende golfhoogte H_{so}) wordt het ongedraineerde waterspanningsverloop met de diepte bepaald. Verondersteld wordt dat het zandoppervlak zich op $z = 0,2m$ bevindt. De dikte van de steenzetting d inclusief eventuele grovere tussenlaag kan in principe ook minder dan $0,2 \text{ m}$ zijn, echter in de praktijk vrijwel alleen in combinatie met minder hevige golfbelasting. In de verwekingsanalyse is alleen $d = 0,2 \text{ m}$ beschouwd.

$\Delta\tau/\sigma'_{vo}$	Rd = 30%		Rd = 50%		Rd = 70%		Rd = 90%	
	non	prel.	non	prel.	non	prel.	non	prel.
	prel.	(fact. 10)	prel.	(fact. 10)	prel.	(fact. (10)	prel.	(fact.) 10)
	n_1	n_{1p}	n_1	n_{1p}	n_1	n_{1p}	n_1	n_{1p}
0,04	>1000		>1000		>1000		>1000	
0,06	300		>1000		>1000		>1000	
0,08	10	100	>1000		>1000		>1000	
0,10	5,5	55	250	2500	>1000		>1000	
0,12	2,5	25	25	250	1000		>1000	
0,14	1,25	12	10	100	300	3000	>1000	
0,16	1,0	10	6	60	45	450	>1000	
0,18	0,5	5	3	30	16	160	1000	
0,20	-	2,5	2,5	25	9	90	500	5000
0,23	-	1,5	1,6	16	5,5	55	50	500
0,26	-	0,8	1	10	3,2	32	20	200
0,30	-	-	-	5	2,2	22	9	90
0,35	-	-	-	2,5	1,3	13	5,0	50
0,40	-	-	-	1,5	0,5	5	3,0	30
0,45	-	-	-	0,8	-	2,5	2,0	20
0,50	-	-	-	0,4	-	1,5	1,3	13
0,55	-	-	-	-	-	0,8	0,5	5
0,60	-	-	-	-	-	0,4	-	2,5
0,65	-	-	-	-	-	0,15	-	1,5

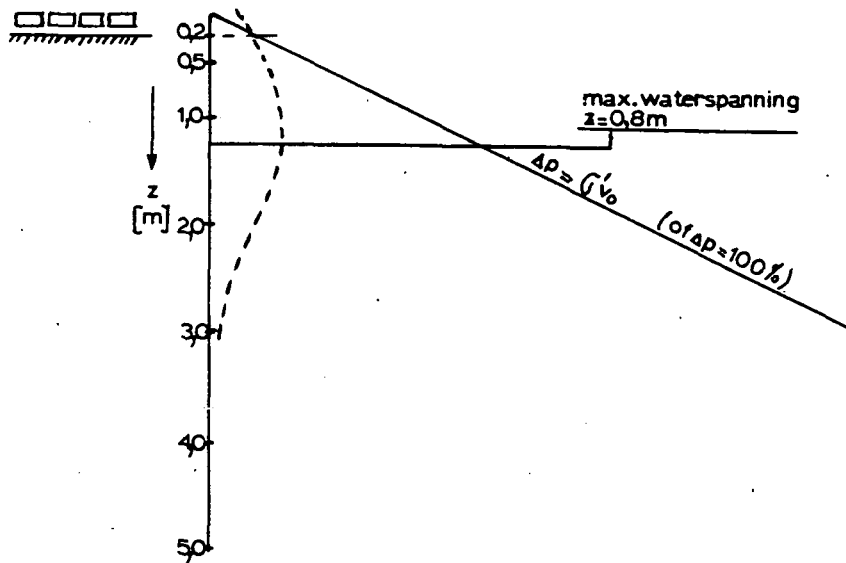
Tabel 6: Aantal cycli nodig voor verweking in ongedraineerde condities als functie van schuifspanningsnivo voor Rd = 30%, 50%, 70% en 90% (zowel voorbelast als niet voorbelast)

Het resultaat voor het hier gekozen voorbeeld is in tabel 7 gegeven. Als referentiewaarde voor die wateroverspanning is 100% gebruikt, d.w.z. alle wateroverspanningspercentages treden op hetzelfde moment op n.l. op dat tijdstip waarop voor het eerst in een punt (hier $h = 2\text{ m}$, $z = 0,2\text{ m}$) $\Delta p' = 100\%$ wordt bereikt.

diepte z [m]	cycl.wateroverspanning $\Delta p'$ in % (ongedraineerd)				
	h = 1 m	h = 2 m	h = 3 m	h = 4 m	h = 5 m
0,2	64	100(14 cycli)	47	18	8
0,5	50	74	31	14	6
1,0	18	47	18	8	1
2,0	1	14	6	0,6	-
3,0	-	1	-	-	-
4,0	-	-	-	-	-
5,0	-	-	-	-	-

Tabel 7: Wateroverspanning $\Delta p'$ in % voor $H_{so} = 2\text{ m}$ / $T = 5\text{ s}$ en $R_d = 50\%$ (ongedraineerde omstandigheden)

In het punt (hier $h = 2\text{ m}$, $z = 0,2\text{ m}$) waar 100 % wateroverspanning voor het eerst optreedt is tevens het aantal cycli vermeld dat daarvoor nodig is. In dit geval 14 cycli. Vervolgens wordt dit wateroverspanningsverloop voor de meest kritieke raai uitgezet in een figuur, zie figuur 5.

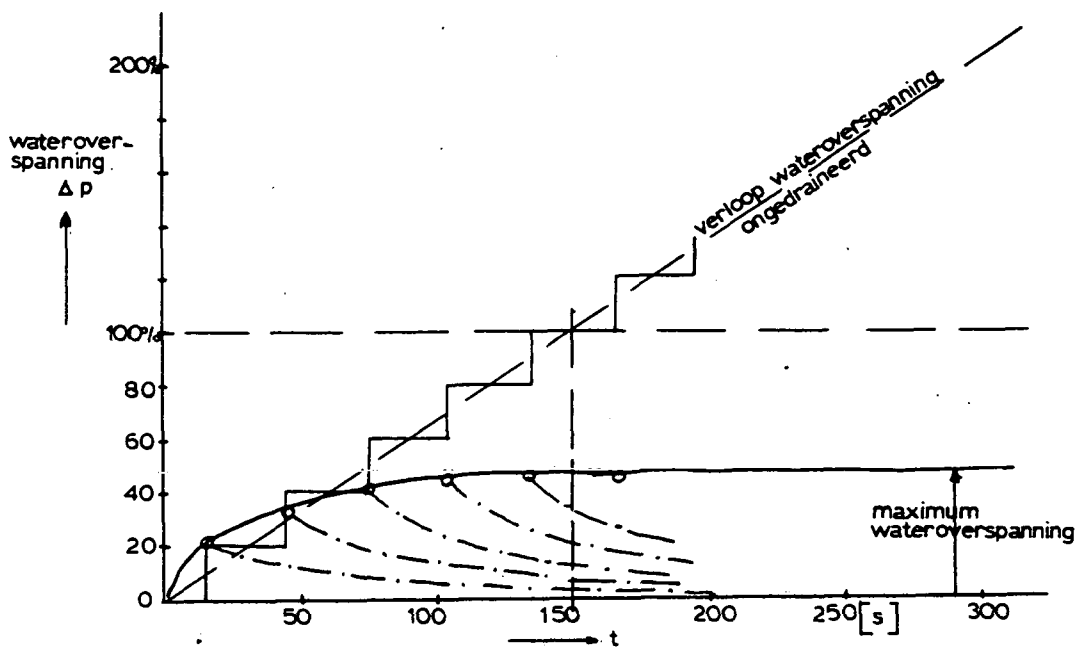


Figuur 5: Waterspanningsverloop Δp in raai $h = 2$ m na 14 golven voor $H_{s0} = 2$ m, $T = 5$ s en $R_d = 50\%$.

Uit deze figuur wordt het nivo bepaald waar de maximale wateroverspanning optreedt op het tijdstip waarop 100 % wateroverspanning onder ongedraineerde omstandigheden zou worden bereikt op $z = 0,2$ m. In het voorbeeld is dit op $z = 1,25$ m.

Vervolgens wordt een consolidatieberekening gemaakt voor een schematisatie met alleen opwaartse afstroming van porienwater en een ondoorlatende basis op $z = 1,25$ m. Dit betekent dat aangenomen wordt dat het nivo met $\frac{\delta(\Delta p)}{\delta z} = 0$ constant blijft op $z = 1,25$ m. De neerwaartse afstroming wordt verwaarloosd.

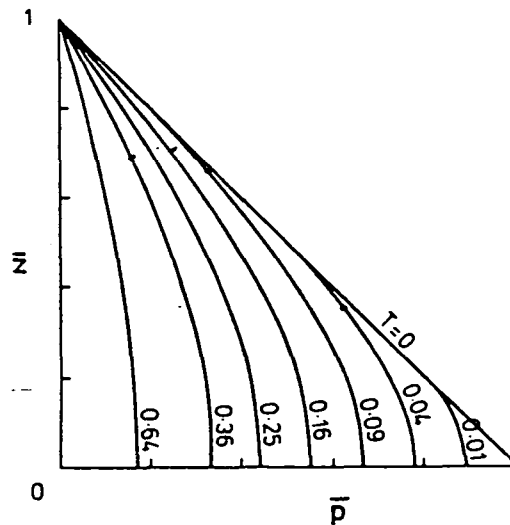
De consolidatieberekening heeft tot doel na te gaan of een toestand met 100 % wateroverspanning mogelijk is en zo ja onder welke condities. Als "belasting" wordt een met de diepte z driehoekig verlopende inwendige waterspanning verondersteld die qua grootte in de tijd lineair toeneemt of anders en beter gezegd er wordt een stapsgewijze waterspanning aangenomen die onder ongedraineerde omstandigheden na 14 golven tot verweking over de gehele hoogte van $\Delta z = 1,25$ m zou leiden. Voor elke tijdstap wordt uitgerekend hoeveel de wateroverspanning gedurende die tijdstap afneemt t.g.v. afstroming van water naar de taludbegrenzing. In figuur 6 is dit schematisch aangegeven. De representatieve tijd overeenkomend met 14 significante golven kan worden verkregen door de invloed in de bodem van alle individuele golven binnen een spectrum te analyseren, d.w.z. op te tellen en uit te drukken in een aantal significante golven met dezelfde totaalinvloed. Deze analyse is door Seed en Rahman ([7]) uitgevoerd voor een specifiek geval en zij vinden een factor 2. Voor het voorbeeld betekent dit dat 100 % wateroverspanning op $z = 0,2$ m in ongedraineerde omstandigheden zou optreden na 2×14 (aantal golven) $\times 5$ (periode) = 140 s. De significante golfhoogte H_s vertegenwoordigt een relatief hoge golf binnen het onregelmatige spectrum. Indien H_s in de grondmechanische analyse desondanks toch als representatieve (guasi regelmatige) golfhoogte wordt gebruikt dan moet de factor 2 worden geïntroduceerd in het tijdsverloop.



Figuur 6. Procedure berekening max. wateroverspanning als gevolg van drainage (schematisch)

Uit de consolidatieberekening volgt de maximale wateroverspanning die kan optreden. Op dat moment is de toename van de waterspanning als gevolg van ongedraineerde cyclische belasting gelijk en tegengesteld aan de afname als gevolg van dissipatie. In werkelijkheid zal de waterspanning als gevolg van het voorbelastingseffect na het bereiken van het maximum weer gaan afnemen.

De consolidatieberekening is uitgevoerd met behulp van de door Lee en Sills [12] verkregen oplossing voor het hiervoor beschreven randvoorwaardeprobleem. Zonder in detail te gaan worden toch enkele aspecten van die oplossing genoemd. In figuur 7 is het genormeerde waterspanningsverloop als functie van de diepte getekend voor 8 tijdstippen tijdens de consolidatie. Uit figuur 7 blijkt dat een plotseling driehoekig verlopende "belasting" op tijdstip $t = 0$ is beschouwd.



Figuur 7. Genormeed waterspanningsverloop als functie van de relatieve diepte (alleen drainage via het oppervlak) tijdens consolidatie (uit [12]).

Voor de verwekingsanalyse wordt de ongedraineerde waterspanningsopbouw stapsgewijs geschematiseerd. De drainage tijdens elke stap wordt berekend volgens de in [12] gegeven oplossing. Dit komt erop neer dat als "belasting" steeds een constant waterspanningspercentage over de beschouwde hoogte $\Delta z = 1,25$ m wordt aangenomen dat gebaseerd is op het gevonden maximale waterspanningspercentage op $z = 0,2$ m (hier 100 % na 140 s).

Uit figuur 5 blijkt dat dit niet het geval is. Alleen op $z = 0,2$ m treedt $\Delta p' = 100\%$ na 140 s op. Op lagere nivo's is het waterspanningspercentage veel lager tot ca. 30 % op $z = 1,25$ m. Dit betekent dat met toepassing van [12] een pessimistische analyse wordt uitgevoerd en tevens dat de uitkomst als veilig kan worden beschouwd. Daarentegen wordt nu geen echte waterspanning berekend doch een consolidatie percentage of anders gezegd voor elk tijdstip een gemiddelde waterspanning over de beschouwde hoogte. Aangenomen wordt dat dit in totaliteit een veilige schatting oplevert voor de maximale wateroverspanning met drainage effect die juist onder de zetting zal optreden.

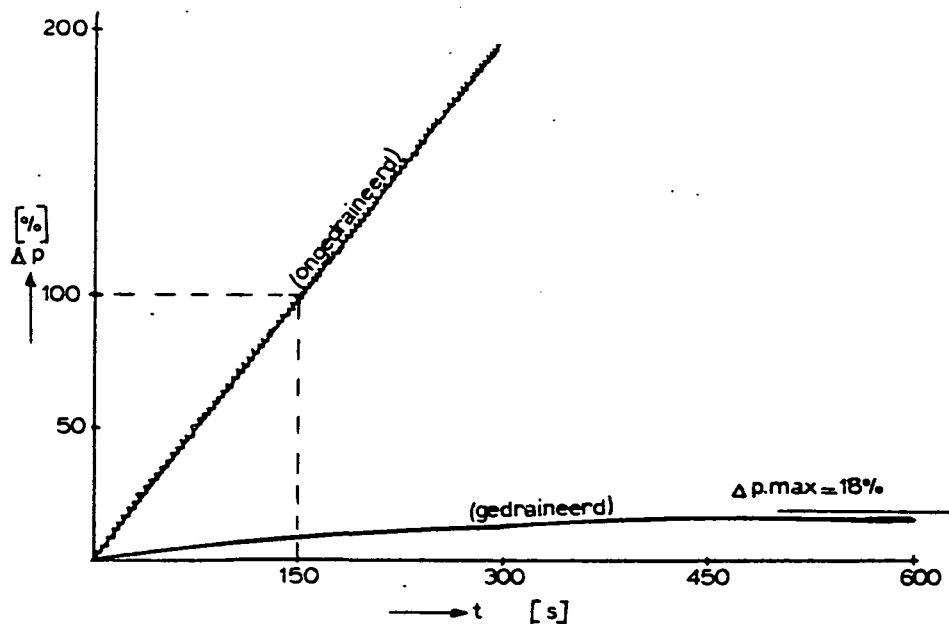
Volgens [12] kan voor het consolidatiepercentage S (of eigenlijk $s =$ zettingspercentage) van de volgende uitdrukkingen worden uitgegaan:

$$S = 2T \text{ voor } T < 0,04$$

$$S = 1 - \frac{32}{\pi^3} \exp\left(-\frac{\pi^2}{4} T\right) \text{ voor } T > 0,04$$

$$\text{waarin } T = \frac{c_v}{(\Delta z)^2} \cdot t$$

Voor $c_v = 0,01 \text{ m}^2/\text{s}$ en $\Delta z = 1,25 \text{ m}$ wordt hiermee het in figuur 8 getekende "waterspanningsverloop" (eigenlijk S) gevonden. Als "belasting" zijn stapjes waterspanningspercentage 10% in elke $\Delta t = \frac{140}{10} = 14 \text{ s}$ beschouwd. Uit de berekening volgt een maximaal wateroverspanningpercentage $\Delta p'$ van 18% (zie figuur 8).



Figuur 8. waterspanningsverloop inclusief drainageffect als functie van de tijd: $H_{s0} = 2 \text{ m}$, $T = 5 \text{ s}$, $R_d = 50\%$, $c_v = 0,01 \text{ m}^2/\text{s}$.

6.1.3. Resultaten analyse sinusvormige golven (volledig verzadigd zand)

In tabel 8 zijn alle berekende maxima van de wateroverspanningspercentages gegeven voor de 3 onderscheiden significante golfhoogten $H_{so} = 1$ m, 2 m en 4 m en voor de 2 golfperiodes $T = 3$ s en 5 s. Het blijkt dat de maximale wateroverspanning recht evenredig is met de consolidatiecoëfficiënt c_v zoals voor alle soortgelijke consolidatieproblemen. Een aantal combinaties van parameters is niet doorgerekend hetzij omdat de waterspanning erg hoog hetzij erg laag zou zijn. In tabel 8 is dit met "onveilig" resp. "veilig" aangegeven. Verder blijkt de belangrijke invloed van de relatieve dichtheid R_d van het zand in combinatie met de consolidatiecoëfficiënt duidelijk uit tabel 8.

T = 5 s

c_v [m ² /s]	$H_{so} = 1$ m Rd				$H_{so} = 2$ m Rd				$H_{so} = 4$ m Rd			
	30%	50%	70%	90%	30%	50%	70%	90%	30%	50%	70%	90%
0,01	30	5	0,3	n.b.	186	48	4,5	0,1	368	72	53	3,5
0,02	15	2,5	0	n.b.	93	24	2,3	0,1	184	36	26,5	1,8
0,05	6	1	0		37	9,6	0,9	0	74	14,4	10,6	0,7
0,1	3	0,5	0		19	4,8	0,5	0	37	7,2	5,3	0,4
0,2	1,5	0	0		9	2,4	0,2	0	18,5	3,6	2,7	0,2

T = 3 s

c_v [m ² /s]	$H_{so} = 1$ m Rd				$H_{so} = 2$ m Rd				$H_{so} = 4$ m Rd			
	30%	50%	70%	90%	30%	50%	70%	90%				
0,01	115	19	5,4	n.b.	n.b.	60	16	2	niet reactief			
0,02	57	9	2,7			30	8	1				
0,05	23	4	1,1			12	3,2	0,4				
0,1	12	2	0,5			6	1,6	0				
0,2	6	1	0,3			3	0,8	0				

(n.b. = niet berekend)

Tabel 8. Resultaten verwekingsanalyse voor sinusvormige golfbelasting: maximale waterspanningspercentage voor 5 combinaties van golfkarakteristieken als functie van relatieve dichtheid Rd en consolidatiesoeficient c_v .

6.1.4. Invloed luchtgehalte op de verwekingsgevoeligheid

De hier gebruikte procedure wordt in de grondmechanica regelmatig toegepast ter bepaling van de verwekingsgevoeligheid van zeebodems en onderwatertaluds. Voor zeebodems met name daar waar de veiligheid van constructies (bijv. ingegraven pijpleidingen) moet worden vastgesteld. In het algemeen wordt alleen volledig waterverzadigde grond beschouwd omdat dit het meest realistisch wordt geacht en omdat er vanuit wordt gegaan dat de situatie met volledige vezadiging de meest ongunstige is.

In het hier beschouwde geval van een talud dat meestentijds gedeeltelijk droog is en waarvan het hoger liggende kernzand in den droge is opgebouwd is de aanname van volledige verzadiging niet geheel voor de hand liggend. Daarentegen is absoluut onbekend welk luchtgehalte in het maatgevende deel van het talud aanwezig is of onder bepaalde omstandigheden aanwezig kan zijn. Ook de hypothese dat een weinig lucht in de poriën een minder kritieke toestand geeft dan in het geval van volledige verzadiging is niet zonder meer aanvaardbaar.

Namelijk enerzijds neemt de verwekingsgevoeligheid af bij toename van het luchtgehalte bij gelijke cyclische schuifspanningsamplitude (gunstig) maar anderzijds zullen omdat de demping van de waterspanning met de diepte toeneemt, de korrelspanningsvariaties kunnen toenemen (ongunstig).

Bovendien kan tevens de ongunstige invloed van het luchtgehalte op de waterdoorlatendheid van het zand worden genoemd. Wat het eerste, gunstige aspect betreft, geeft tabel 9 en 10 enig inzicht.

lucht- gehalte [%]	compressie modulus porienvloei- stof Kw [kN/m ²]	maatgevende stijfheid $(\frac{n}{K_w} + \frac{1}{K_k})^{-1}$ [kN/m ²]	neiging tot waterspannings- opbouw t.o.v. 0% lucht [-]
0	$2,0 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^5$	1,0
0,05	$2,0 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^5$	0,81
0,1	$8,7 \cdot 10^4$	$8,2 \cdot 10^4$	0,63
0,5	$2,0 \cdot 10^4$	$3,6 \cdot 10^4$	0,28
2,0	$5,0 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^4$	0,08

Tabel 9. Effect lucht in poriën op neiging tot cyclische waterspanningsopbouw voor $K_k = 1,33 \cdot 10^5$ kN/m², zeer vastgepakt.

lucht- gehalte [%]	compressie modulus porienvloei- stof Kw [kN/m ²]	maatgevende stijfheid $(\frac{n}{K_w} + \frac{1}{K_k})^{-1}$ [kN/m ²]	neiging tot waterspannings- opbouw t.o.v. 0% lucht [-]
0	$2,0 \cdot 10^6$	$3,7 \cdot 10^4$	1,0
0,05	$2,0 \cdot 10^5$	$3,5 \cdot 10^4$	0,94
0,1	$8,7 \cdot 10^4$	$3,2 \cdot 10^4$	0,86
0,5	$2,0 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^4$	0,57
2,0	$5,0 \cdot 10^3$	$0,9 \cdot 10^4$	0,25

Tabel 10. Effect lucht in poriën op neiging tot ongedraineerde cyclische waterspanningsopbouw voor $K_k = 0,375 \cdot 10^5$ kN/m², medium vastgepakt.

Het betekent dat in zeer vastgepakt zand met 1% lucht in het porienwater de waterspanning slechts 0,6 x zo snel toeneemt onder ongedraineerde omstandigheden dan in volledig verzadigde toestand. Bij 0,5% lucht zal de snelheid van waterspanningsopbouw ca. 3,5 x zo klein zijn en bij 2% lucht zelfs ca. 12 x zo klein.

Bij minder vastgepakt zand ($K_k = 0,375 \cdot 10^5 \text{ kN/m}^2$) is de invloed van (lage) luchtgehaltes kleiner (vergelijk tabel 9 en 10). De snelheid waarmee de waterspanning kan opbouwen is bij 2% lucht viermaal kleiner dan in volledig waterverzadigd zand.

De effectieve spanningsveranderingen in de bodem a.g.v. golven, zijn eveneens sterk afhankelijk van het luchtgehalte in het porienwater. Dit geldt vooral voor de normaalspanningen omdat de waterspanningsvariatiës sterk gedempd worden met de diepte. De schuifspanningen worden voornamelijk door de uitwendige belastingen bepaald en zullen niet of slechts weinig wijzigen bij toename van het luchtgehalte. De maatgevende spanningsgrootte voor de verwekingsbeschouwing, de cyclische variatie in de relatieve schuifspanning τ/σ_v wijzigt eveneens bij toename van het luchtgehalte. Om een indruk te krijgen van de invloed van het luchtgehalte op de spanningsvariatiës in de bodem is voor 2 gevallen een korte analyse gemaakt. Uitgegaan werd van:

- horizontale bodem
- totaalspanningen constant (niet afh. van K_w)
- golfbelasting: $L = 23 \text{ m}$
 $T = 5 \text{ s}$
 $\hat{p}_0 = 8,7 \text{ kNm}^2$ ($H_{so} = 2 \text{ m}$)
- zandparameters

zeer vastgepakt

$$G = 5 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2$$

$$\nu = 1/3$$

$$n = 0,4$$

$$K_0 = \sigma_h / \sigma_v = 1$$

$$\sigma_{v0} = 10z$$

medium vastgepakt

$$G = 1,25 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2$$

$$\nu = 1/3$$

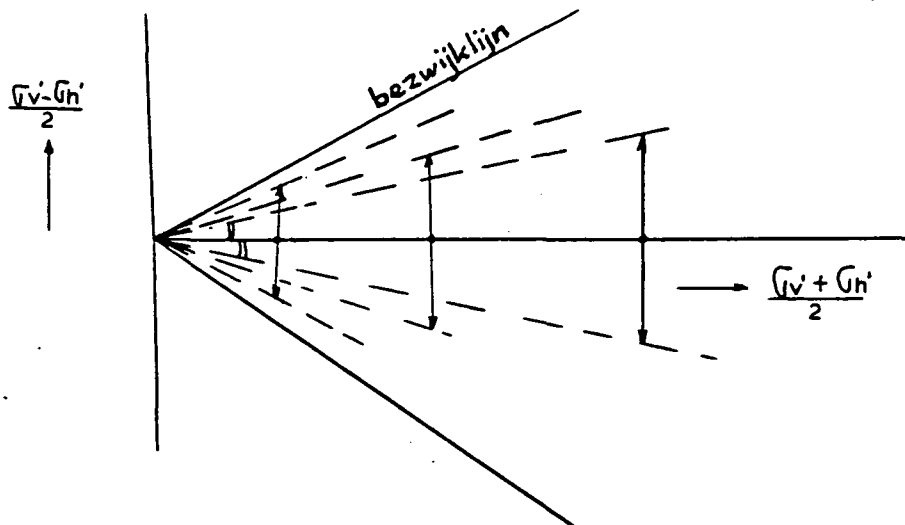
$$n = 0,4$$

$$K_0 = \sigma_h / \sigma_v = 1$$

$$\sigma_{v0} = 10z$$

In de tabellen 11 en 12 zijn voor 4 waarden van K_w voor 8 nivo's beneden het bodemoppervlak de relatieve waterspanningsamplitude $\hat{p}/\hat{p}_0$, de faseverschuiving in de waterspanning t.o.v. de golfdrukbelasting op $z = 0$, en de maximum en minimum waarden van de verandering van de relatieve deviatorspanning $\Delta(\frac{\sigma_v'}{\sigma_v' + \sigma_h'} - \frac{\sigma_h'}{\sigma_v' + \sigma_h'})$ gegeven. Uitgegaan werd van de in [4] gegeven algemene oplossing voor lineair elastische "grond" met eindige waarde voor K_w .

In de laatste kolom van tabellen 11 en 12 zijn de amplitudes gegeven van de relatieve deviatorspanning t.o.v. die voor $K_w \rightarrow \infty$. Met $K_w \rightarrow \infty$ worden steeds verticale spanningspaden ($\Delta \frac{\sigma_v' + \sigma_h'}{2} = 0$) gevonden zoals aangegeven in figuur 9.



Figuur 9. spanningspaden voor 3 nivo's bij volledige waterverzadigde poriën $K_w \rightarrow \infty$.

Kw = 2.000.000 kN/m ² 0% lucht					
z [m]	$\sigma_{\max}/\sigma_o$	fase Δa [rad]	$\Delta(\frac{\sigma v' - gh'}{\sigma v' + gh'})_{\max}$	$\Delta(\frac{\sigma v' - gh'}{\sigma v' + gh'})_{\min}$	amplitude rel. deviator spanning t.o.v. Kw $\rightarrow\infty$
0,01	0,997	-0,001	0,219	-0,260	1,01
0,05	0,984	-0,002	0,217	-0,257	1,01
0,10	0,968	-0,004	0,214	-0,252	1,01
0,25	0,923	-0,009	0,206	-0,241	1,01
0,50	0,853	-0,010	0,194	-0,222	1,00
1,0	0,737	-0,005	0,173	-0,188	1,00
2,0	0,561	+0,002	0,135	-0,140	1,00
5,0	0,248	+0,001	0,060	-0,061	1,00

Kw = 200.000 kN/m ² 0,5 $\frac{0}{\infty}$ lucht					
0,01	0,993	-0,005	0,183	-0,451	1,33
0,05	0,965	-0,022	0,179	-0,432	1,30
0,10	0,930	-0,042	0,175	-0,411	1,27
0,25	0,835	-0,081	0,167	-0,358	1,18
0,50	0,709	-0,096	0,162	-0,295	1,10
1,0	0,567	-0,037	0,155	-0,218	1,03
2,0	0,441	+0,014	0,130	-0,146	1,00
5,0	0,195	+0,007	0,060	-0,061	1,00

(Tabel 11, zie voor toelichting blz.46)

Kw = 87.000 kN/m ² 1 $\frac{0}{\infty}$ lucht					
0,01	0,988	-0,010	0,178	+0,860	-
0,05	0,942	-0,047	0,163	+1,502	-
0,10	0,886	-0,087	0,152	+5,250	-
0,25	0,739	-0,171	0,137	-1,213	3,04
0,50	0,561	-0,196	0,134	-0,492	1,51
1,0	0,481	-0,042	0,139	-0,258	1,10
2,0	0,340	+0,019	0,125	-0,154	1,01
5,0	0,149	+0,011	0,060	-0,062	1,00

Kw = 20.000 kN/m ² 5 $\frac{0}{\infty}$ lucht					
0,01	0,970	-0,029			-
0,05	0,857	-0,141			-
0,10	0,733	-0,268			-
0,25	0,448	-0,543	0,088	+0,168	-
0,50	0,197	-0,489	0,094	+0,907	-
1,0	0,179	+0,071	0,120	-0,367	1,35
2,0	0,143	+0,010	0,116	-0,170	1,04
5,0	0,063	+0,012	0,059	-0,063	1,01

Tabel 11. Extreem relatieve deviatorspanningsvariatie en amplituden relatieve deviatorspanning t.o.v. Kw $\rightarrow \infty$ voor $G = 5 \cdot 10^4$ kN/m², $\nu = 1/3$ (zeer vastgepakt). Golfbelasting $T = 5$ s, $L = 23$ m, $\hat{p}_0 = 8,7$ kN/m².

Kw = 2.000.000 kN/m ² 0% lucht					
0,01	0,997	0	0,231	-0,243	1,00
0,05	0,985	-0,001	0,229	-0,240	1,00
0,10	0,970	-0,002	0,226	-0,237	1,0
0,25	0,928	-0,002	0,218	-0,226	1,0
0,50	0,865	-0,001	0,205	-0,210	1,0
1,0	0,755	0	0,180	-0,182	1,0
2,0	0,575	0	0,137	-0,138	1,0
5,0	0,253	0	0,061	-0,061	1,0

Kw = 200.000 kN/m ² 0,5 $\frac{0}{\infty}$ lucht					
0,01	0,994	-0,003	0,195	-0,329	1,11
0,05	0,972	-0,012	0,192	-0,319	1,09
0,10	0,946	-0,020	0,189	-0,307	1,07
0,25	0,880	-0,023	0,187	-0,275	1,04
0,50	0,806	-0,008	0,186	-0,234	1,01
1,0	0,707	+0,002	0,173	-0,190	1,0
2,0	0,538	+0,001	0,135	-0,140	1,0
5,0	0,237	+0,001	0,060	-0,061	1,0

Kw = 87.000 kN/m ² 1 $\frac{0}{\infty}$ lucht					
0,01	0,991	-0,006	0,171	-0,804	2,95
0,05	0,956	-0,027	0,164	-0,657	1,75
0,10	0,915	-0,044	0,159	-0,546	1,53
0,25	0,817	-0,052	0,159	-0,383	1,22
0,50	0,733	-0,015	0,167	-0,274	1,07
1,0	0,647	+0,005	0,164	-0,201	1,01
2,0	0,493	+0,002	0,133	-0,143	1,0
5,0	0,217	+0,002	0,060	-0,061	1,0

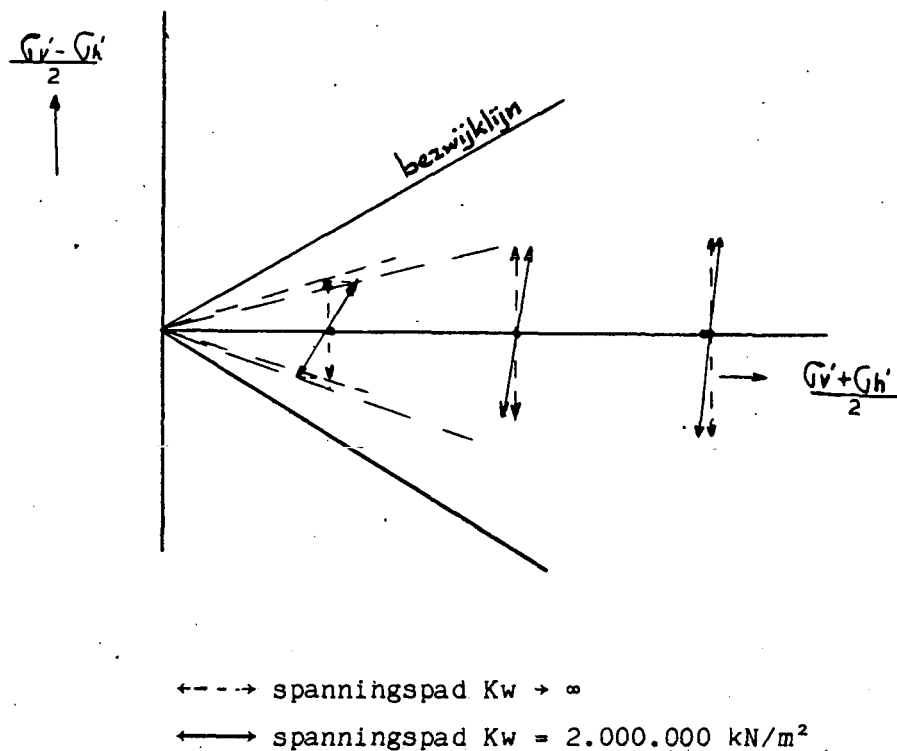
(Tabel 12, zie voor toelichting blz.48)

Kw = 20.000 kN/m ² 5 $\frac{0}{100}$ lucht.					
0,01	0,975	-0,023			-
0,05	0,882	-0,099			-
0,10	0,778	-0,165			-
0,25	0,564	-0,189	0,099	+0,566	-
0,50	0,470	-0,020	0,122	-0,693	1,97
1,0	0,434	+0,009	0,141	-0,253	1,09
2,0	0,329	+0,005	0,124	-0,154	1,0
5,0	0,145	+0,005	0,060	-0,062	1,0

Tabel 12. Extremen relatieve deviatorspanningsvariatie en amplituden relatieve deviatorspanning t.o.v. Kw $\rightarrow \infty$ voor G = 1,25.10⁴ kN/m², $\nu = 1/3$ (medium vastgepakt).

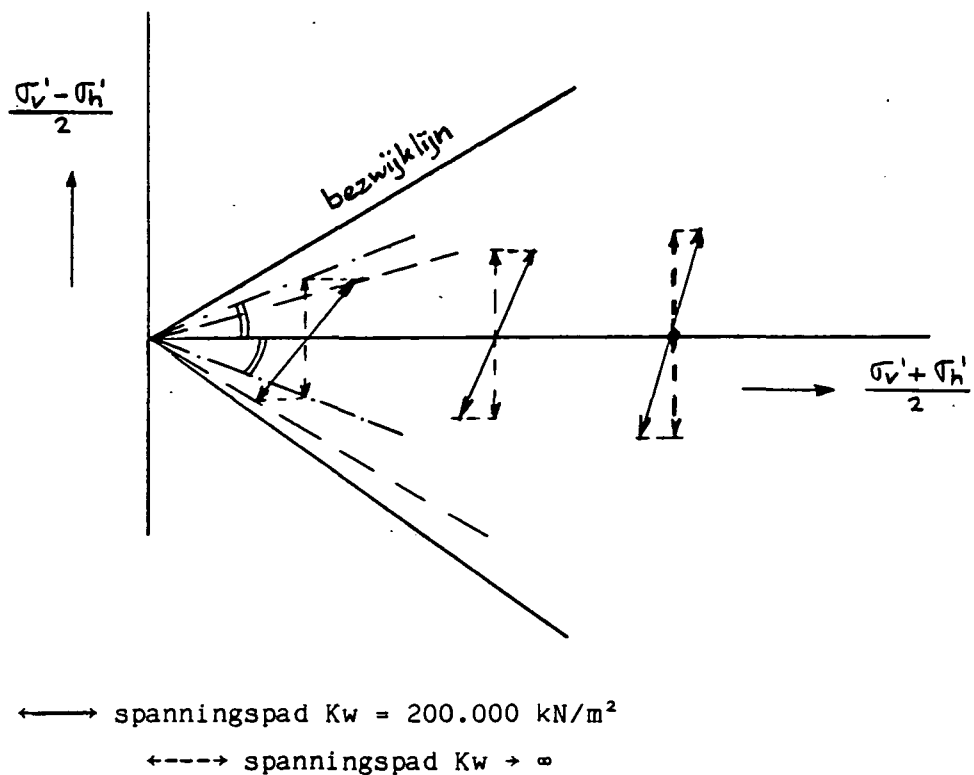
Golfbelasting T = 5 s, L = 23 m, $\hat{p}_0 = 8,7$ kN/m².

De eindige waarde Kw = 2.000.000 kN/m² behorend bij 0% lucht, dus volledig waterverzadigde poriën, toont reeds een verschil in de absolute waarden van $(\frac{\sigma_v' - gh}{\sigma_v' + gh})_{\max}$ en $(\frac{\sigma_v' - gh}{\sigma_v' + gh})_{\min}$. Het verschil is groter bij zeer vastgepakt zand (tabel 11). De spanningspaden lopen iets schuin zoals schematisch in figuur 10 is aangegeven en er treden variaties op in de gemiddelde normaalspanning $(\sigma_v' + \sigma_h')$.



Figuur 10: Spanningspad voor 3 nivo's en $K_w = 2.000.000 \text{ kN/m}^2$

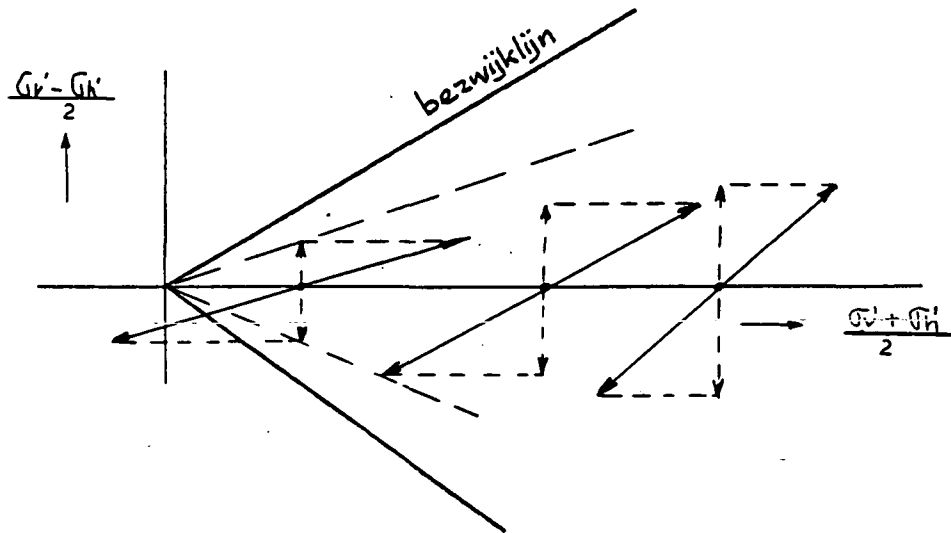
Bij een luchtgehalte van 0,5 o/oo, ofwel $K_w = 200.000 \text{ kN/m}^2$ treedt reeds een merkbare demping van de waterspanningsamplitude t.o.v. $K_w \rightarrow \infty$ op. Ook is er sprake van fase verschuivingen hierin, hoewel nog klein. De extreme waarden in de relatieve deviatorspanning zijn met name bovenin het zand sterk afwijkend in absolute grootte (zie figuur 11).



Figuur 11: spanningspaden voor 3 nivo's, 0,5 ‰ lucht in de poriën $K_w = 200.000 \text{ kN/m}^2$.

Het derde geval voor 1 ‰ lucht en $K_w = 87.000 \text{ kN/m}^2$ toont een sterkere demping van de waterspanningsamplitude met de diepte en grotere faseverschuivingen in het waterspanningsverloop.

De extremen in de relatieve deviatorspanning geven nu zelfs positieve waarden te zien voor zeer vastgepakt zand tot $z = 0,1 \text{ m}$. Dit betekent dat volgens de analytische oplossing [4] treknormaalspanningen optreden. In figuur 12 is dit weer schematisch weergegeven.



————→ spanningspad $K_w = 87.000 \text{ kN/m}^2$

-----→ spanningspad $K_w = +\infty$

Figuur 12. spanningspaden voor 3 nivo's

$1,0 \frac{0}{\infty}$ lucht, $K_w = 87.000 \text{ kN/m}^2$

Bij het laatste geval 0,5 % lucht, $K_w = 20.000 \text{ kN/m}^2$ treden deze aspecten nog in veel sterkere mate op (tabellen 11 en 12).

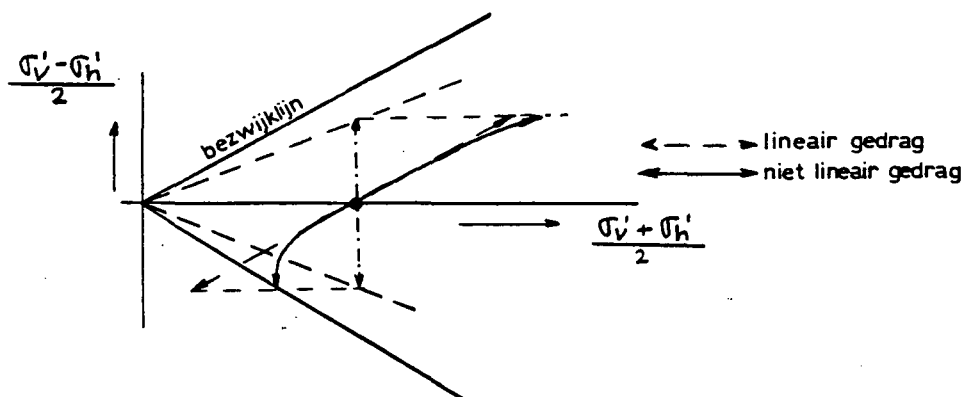
z [m]	zeer vastgepakt				medium vastgepakt			
	geen lucht	0,5 $\frac{0}{00}$ lucht	1 $\frac{0}{00}$ lucht	5 $\frac{0}{00}$ lucht	geen lucht	0,5 $\frac{0}{00}$ lucht	1 $\frac{0}{00}$ lucht	5 $\frac{0}{00}$ lucht
0,01	1,01	1,08	?	?	1,0	1,04	1,76	?
0,05	1,01	1,05	?	?	1,0	1,03	1,50	?
0,10	1,01	1,03	?	?	1,0	1,01	1,32	?
0,25	1,01	0,96	1,91	?	1,0	0,98	1,05	?
0,50	1,00	0,89	0,95	?	1,0	0,95	0,92	1,12
1,0	1,00	0,83	0,69	0,38	1,0	0,94	0,87	0,62
2,0	1,00	0,81	0,64	0,29	1,0	0,94	0,86	0,57
5,0	1,00	0,81	0,63	0,28	1,0	0,94	0,86	0,57

Tabel 13. Gecombineerde effect op waterspanningsopbouw bij kleine luchtgehaltenes in de poriën.

Door de 2 vorengenoemde effecten van lucht te combineren wordt een indruk verkregen van de tendens tot opbouw van waterspanning onder invloed van golfbelasting. De in tabel 13 gepresenteerde getallen zijn verkregen door de getallen in de rechterkolommen van de tabellen 11 en 12 te vermenigvuldigen met de getallen uit de tabellen 9 en 10. Tabel 13 geeft dat de neiging tot waterspanningsopbouw op en beneden diepte 1 m kleiner wordt bij toenemend luchtgehalte. Op hogere nivo's kan als gevolg van de veel grotere relatieve schuifspanningsvariëaties sprake zijn van een sterkere tendens tot waterspanningsopbouw.

Deze grotere neiging tot waterspanningsopbouw juist beneden de oppervlakte zal bij een steenbekleding evenwel niet kunnen optreden. De in zichzelf niet verwekingsgevoelige bekledingslaag (eventueel inclusief grind of steenslaglaag) geeft een extra gewicht op het zand en daardoor een mindere neiging tot waterspanningsopbouw.

De extreem hoge waarden voor de minimale relatieve deviatorspanning $(\frac{\sigma_v'}{\sigma_v} - \frac{\sigma_h'}{\sigma_h})_{\min}$ betekenen dat de aanname van lineair elastisch gedrag voor het korrelskelet in de analytische beschouwing niet langer voldoet indien een zekere hoeveelheid lucht in de poriën aanwezig is. Immers uit de oplossing blijkt dat de korrelspanningen zo groot worden dat het spannings-rek gedrag in het niet-lineaire gebied komt. Afgeleid kan worden dat de spanningspaden af gaan wijken van de verticale richting, indien Kw/n nadert aan de stijfheidsgrootte $(K + 1/3G)$ van het korrelskelet. In feite zal als de korrelspanningen in de richting van de oorsprong de omhullende van Coulomb naderen de stijfheid $(K + 1/3G)$ afnemen en altijd kleiner worden dan Kw/n voordat de omhullende of de oorsprong wordt bereikt. Dit betekent dat het spanningspad om zal buigen naar de verticale richting zodat het optreden van trek vrij onwaarschijnlijk lijkt.



Figuur 13. Spanningspad als gevolg van niet lineair gedrag bij naderen bezwijklijn

De in tabellen 11 en 12 gepresenteerde minimum relatieve deviatorspanningen zullen daarom in werkelijkheid minder extreem zijn waardoor de in tabel 13 gegeven hogere waarden voor het gecombineerde effect in de top laag aanzienlijk zullen afnemen. Daarom wordt hier voorzichtig geconcludeerd dat de

kans op verweking in een talud niet toeneemt naarmate het luchtgehalte in het zand toeneemt.

Deze conclusie wordt met zekere terughoudendheid genoemd omdat de geleverde berekeningswijze niet geheel toereikend is voor de top zandlaag. Met name de neiging tot het optreden van trekspanningen en tot extreme schuifspanningsnivo's welke uit deze berekening volgt, geven aanleiding om een meer gerichte studie in de nabije toekomst aan te bevelen. De mogelijkheid van afschuiven van het zand of het optreden van grote deformaties kan zeker niet worden uitgesloten. Dit zal dan met name ten tijde van het passeren van het golfdal tot en met het passeren van het nulnivo in de waterstand kunnen gebeuren d.w.z. dat er een neiging tot opbollen van het talud aanwezig zou kunnen zijn.

Een additioneel aspect bij golfbelasting op een zandlichaam met een weinig lucht in de poriën zijn de relatief grote gradiënten aan het zandoppervlak. In tabel 14 zijn de maximale opwaartse verhangen gegeven voor de 5 eerder gekozen waarden van K_w .

	zeer vastge- pakt $(\frac{\delta}{\delta z} p_{\max})_{z=0}$	medium vastge- pakt $(\frac{\delta}{\delta z} p_{\max})_{z=0}$
$K_w = \infty$	27%	27%
$K_w = 2.000.000 \text{ kN/m}^2$ (volledig verzadigd)	32%	30%
$K_w = 200.000 \text{ kN/m}^2$ (0,5 o/oo lucht)	72%	56%
$K_w = 87.000 \text{ kN/m}^2$ (1,0 o/oo lucht)	120%	90%
$K_w = 20.000 \text{ kN/m}^2$ (5,0 o/oo lucht)	307%	250%

Tabel 14. extreme gradiënten op $z = 0$ voor 5
 K_w waarden en $\hat{p}_0 = 10 \text{ kN/m}^2$ (1 mwk)

6.2. Verweking als gevolg van golfklappen

De volgende golfklapbelastingen worden beschouwd

Hso = 1 m	q = 12,5 kN/m ²	belast oppervlak 0,5 x 10 m
Hso = 2 m	q = 25 kN/m ²	belast oppervlak 0,75 x 10 m
Hso = 4 m	q = 50 kN/m ²	belast oppervlak 1,0x10 m

De belastingsduur wordt zeer kort verondersteld, $\Delta t < 0,5$ s en aangenomen wordt dat een golfklap éénmaal optreedt binnen 2 golfperioden. Met betrekking tot de golfklapbelasting worden hierna 2 aspecten beoordeeld namelijk eerst het belastingsnivo en grensdraagvermogen in de grond en daarna het mogelijke effect van drainage van de door de golfklappen opgewekte wateroverspanning.

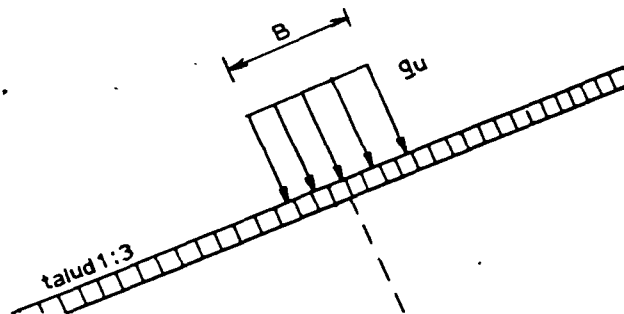
Opgemerkt wordt dat de hierboven vermelde golfklapbelastingen aanzienlijk lager zijn dan de belastingen die worden aanbevolen in de TAW Leidraad "Asfalt in de waterbouw" (21 , hoofdstuk 20.2).

Achtergronden voor de keuze van de lagere belastingen bij de onderhavige studie zijn:

- De meetresultaten van Deltagootproeven in het kader van het onderzoek steenzettingen tonen i.h.a. lagere belastingen.
- Omdat voor het genereren van wateroverspanning in het talud meerdere opvolgende golfklappen vereist zijn, is de voorkeur gegeven aan een meer gemiddeld belastingsniveau gekoppeld aan een relatief hoge frequentie (éénmaal per twee golven) boven een maximaal mogelijke belasting zoals bedoeld in 21 .
- De locatie van de golfklapbelasting bij onregelmatige golven varieert terwijl hierna bij de verwekingsstudie van een vaste locatie wordt uitgegaan.

6.2.1 Grensdraagvermogen en belastingsnivo in het zand

grensdraagvermogen en belastingsnivo in het zand



Analyse van het grensdraagvermogen q_u (eenmalig aangebrachte, gelijkmatig verdeelde belasting op het talud) in gedraineerde toestand levert (onder aanname van $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^2$) de in tabel 15 vermelde waarden (zie [14], hoofdstuk 25).

Hoek van inwendige wrijving in het zand	q_u (kN/m ²) hor. opp. └ belast		reductie i.v.m. talud 1:3	grensdraagvermogen q_u talud 1:3		
	B=.5m	B=1m		B=.5m	B=.75m	B=1m
$\phi = 30^\circ$	50	100	0,42	20	30	41
$\phi = 35^\circ$	112	225	0,52	56	84	112
$\phi = 40^\circ$	375	750	0,60	218	326	435
$\phi = 45^\circ$	700	1400	0,66	448	672	896

Tabel 15 : grensdraagvermogen in een talud 1:3, gedraineerd.

Introductie van een taludreductie volgens (zie hoofdstuk 4):

$$\left(-\frac{\tau}{\sigma}\right)_{\text{talud statisch}} + \left(-\frac{\tau}{\sigma}\right)_{q_u} \therefore \text{tg}\phi$$

$$\text{talud } \alpha = 0 : \left(-\frac{\tau}{\sigma}\right)_{q_{u,0}} \therefore \text{tg}\phi$$

$$\text{talud } \alpha : \left(-\frac{\tau}{\sigma}\right)_{q_{u,\alpha}} \therefore \text{tg}\phi - \text{tg } \alpha$$

$$\text{reductie} : \frac{\text{tg}\phi - \text{tg}\alpha}{\text{tg}\phi} = \left(1 - \frac{\text{tg}\alpha}{\text{tg}\phi}\right)$$

levert de rechts in tabel 15 gegeven waarden voor het grensdraagvermogen als functie van B en ϕ .

Vergelijking met de golfklapbelasting levert dat alleen $\phi = 30^\circ$ niet voldoet bij het hoogste belastingniveau, $H_{so} = 4\text{m}$. Een inwendige wrijvingshoek ϕ van 30° zal evenwel alleen bij zeer losgepakt zand optreden, $R_d \leq 30\%$. Het hiervoor berekende grensdragvermogen bij gedraineerde toestand is evenwel niet reeel. De zeer snel aangrijpende golfklapbelasting vereist een ongedraineerde beschouwing. Indien geen dilatant gedrag aanwezig is in het zand, dan is het ongedraineerde grensdragvermogen eenvoudig te berekenen. Het zand wordt daartoe als cohesief materiaal opgevat met een schijnbare cohesie die bepaald wordt uit de veronderstelde initiele spanningstoestand (zie [14], hoofdstuk 32, blz 485). Hier wordt aangenomen dat in het talud 1:3 geldt $\sigma_x = \sigma_z$. In tabel 16 zijn de resulterende maximale belastingen vermeldt voor $B=0.5\text{m}$, resp. $B=1\text{m}$.

	exclusief dilatantie-invloed			inclusief dilatantie-invloed	
hoek van inwendige wrijving in het zand	qu (kN/m ²) in talud 1:3		factor dilatantie invloed	qu (kN/m ²) in talud 1:3	
	B=0.5m	B=1.0m		B=0.5m	B=1.0m
$\phi = 30^\circ$	8,5	17	1,0	8,5	17
$\phi = 35^\circ$	10,5	21	1,5	15,5	31,5
$\phi = 40^\circ$	12,5	25	2,5	31,0	62,5
$\phi = 45^\circ$	15,0	30	5,0	75,0	150,0

Tabel 16: grensdragvermogen in een talud 1:3, ongedraineerd zonder en met dilatantie-invloed.

De maximaal toelaatbare belastingen zijn in het ongedraineerde geval veel lager vergeleken met het hiervoor beschreven gedraineerde geval en bovendien minder sterk afhankelijk van ϕ . De veronderstelling dat in het zand geen dilatante invloed aanwezig is, is evenwel weinig realistisch. Met name in vastgepakt zand met een hoge hoek van inwendige wrijving zal als gevolg van de neiging tot volumevergroting wateronderspanning ontstaan tijdens het snel (ongedraineerd) aangrijpen van de belasting.

Het gevolg zal zijn dat het grensdragvermogen in zeer belangrijke mate stijgt.

Een pessimistische schatting voor het dilatante effect als functie van ϕ bij eenmalige belasting (volumevergrotend effect bij naderen bezwijken) is in tabel 16 toegevoegd inclusief het resulterende grensdragvermogen, in ongedraineerde omstandigheden.

Hieruit volgt voor $\phi = 30^\circ$ dat de golfklapbelastingen tot bezwijken zullen leiden. Voor $\phi = 35^\circ$ is slechts de bij $H_{s0} = 1\text{m}$ optredende belasting acceptabel.

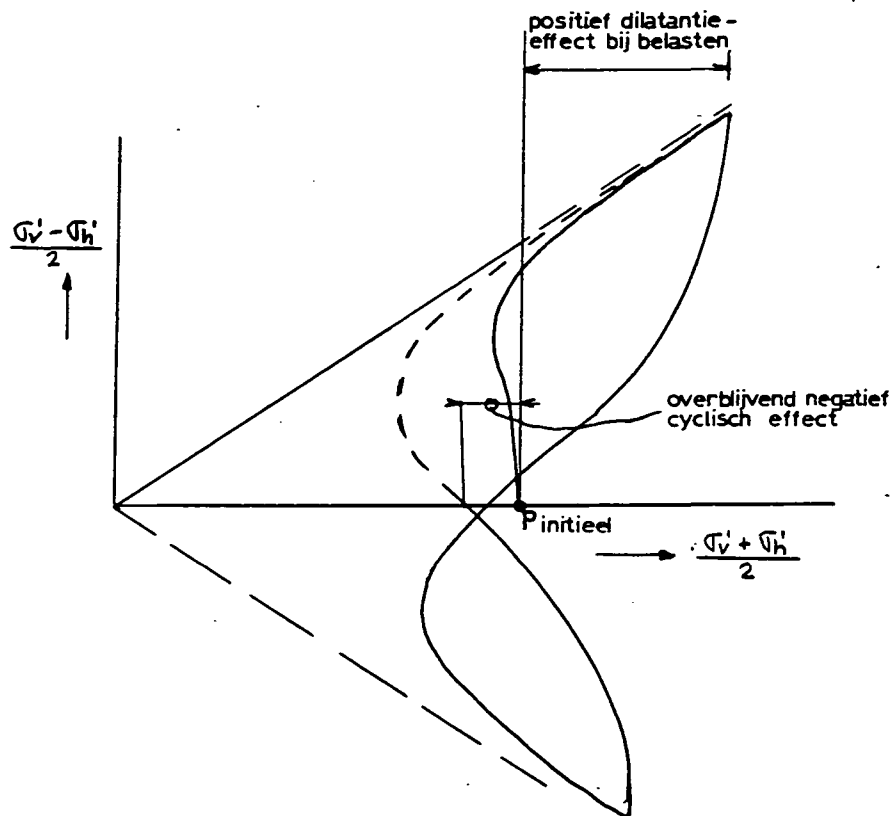
In het geval $\phi = 40^\circ$ is er geen gevaar voor direct door de golfklap veroorzaakte instabiliteit.

Om onduidelijkheid te voorkomen is enige toelichting vereist. Er zijn hiervoor 2 dilatante effecten genoemd. Met name voor de hevige golfklapbelasting is zojuist een positief effect geïntroduceerd, namelijk het toenemende grensdragvermogen in ongedraineerde toestand als gevolg van de neiging tot volumevergroting bij het naderen van bezwijken in vastgepakt zand.

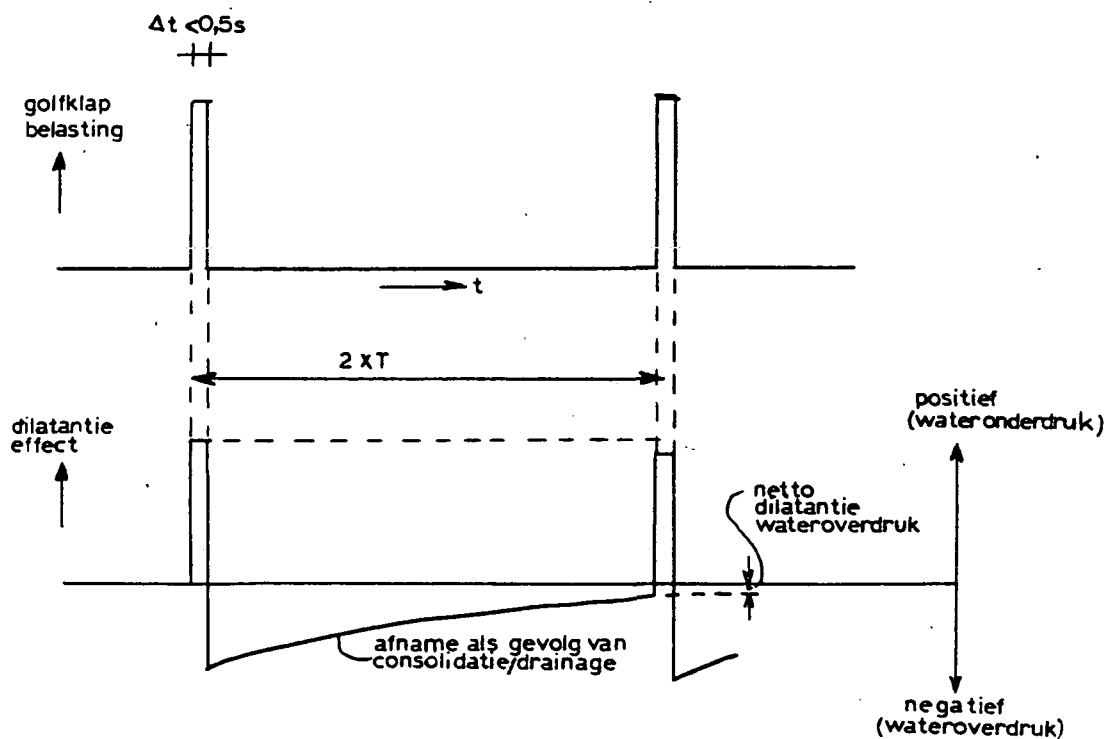
Dit in tegenstelling tot het negatieve effect bij cyclische belasting dat hiervoor is geanalyseerd bij het beschouwen van de sinusvormige golfbelasting op het talud en dat hierna ook wordt behandeld voor de golfklapbelasting. Het negatieve cyclische effect treedt zowel bij los als bij vastgepakt zand op.

In het kort komt het bij vastgepakt zand hierop neer dat bij toenemende τ/σ'_v het positieve effect optreedt (groter effect naarmate de dichtheid van het zand toeneemt) en bij afnemende τ/σ'_v het negatieve effect. De som van de beide effecten is altijd negatief, hoewel zeer klein bij vastgepakt zand.

In figuur 14 wordt dit verduidelijkt. Het betekent dat bezwijken tijdens de korte duur van de golfklap bij vastgepakt zand niet mogelijk wordt geacht. Omdat de golfklapbelasting zeer plaatselijk is en omdat de beschikbare consolidatietijd tussen 2 golfklappen relatief lang is kan de drainage een belangrijke rol spelen bij het verkleinen van het overblijvende negatieve cyclische effect na verdwijnen van de kortstondige belasting. In figuur 15 wordt dit geïllustreerd.



Figuur 14: spanningspad bij ongedraineerd cyclisch belasten van vastgepakt zand met hoge $\Delta\tau/\sigma_{v0}'$ (schematisch).



Figuur 15 : verloop belasting en dilatantie effect als functie van de tijd.

Vergelijking van de in de aanhef van deze paragraaf 6.2. genoemde belastingen met de in tabel 16 vermelde maximale belastingen levert een indruk van de maatgevende cyclische schuifspanningsamplitudes.

Bijvoorbeeld $q = 50 \text{ kN/m}^2$, $B = 1\text{m}$ ($H_{SO} = 4\text{m}$) Bij $\phi = 45^\circ$ kan ongedraineerd zonder dilatantie slechts 30 kN/m^2 worden opgenomen. Dit betekent dat de equivalente, cyclische relatieve schuifspanningsamplitude bij $H_{SO} = 4\text{m}$ ongeveer gelijk is aan

$$\Delta\tau/\sigma'_{vo} = 1/2 * 50/30 * (\sin \phi - \sin \alpha)$$

waarin α de taludhellingshoek $18,4^\circ$ (1:3) voorstelt.

In deze uitdrukking is de sinusvorm ingevoerd in verband met de voor de ongedraineerde toestand beschouwde spanningspadanalyse. Omdat de uitdrukking de optredende relatieve schuifspanning bevat, dient ze onafhankelijk van de grondparameter ϕ te zijn. Hoewel dit niet geheel het geval is, zijn de resulterende waarden voor $\Delta\tau/\sigma'_{vo}$ (voor $\phi = 45^\circ$) toch in de verdere berekeningen gebruikt.

Omdat de bij golfklappen optredende absolute schuifspanningen relatief hoog zijn wordt voor de verwekingsanalyse de $\Delta\tau/\sigma'_{vo}$ met een factor 1,5 verhoogd om het effect op de cyclische wateroverspanning in rekening te brengen.

$$\Delta\tau/\sigma'_{vo} = 1,5 * 1/2 * 50/30 (\sin\phi - \sin\alpha) = 0,49, \text{ voor } H_{SO} = 4\text{m en } \phi = 45^\circ$$

Evenzo

$$\Delta\tau/\sigma'_{vo} = 0,25 \quad \text{voor } H_{SO} = 1\text{m}$$

$$\Delta\tau/\sigma'_{vo} = 0,33 \quad \text{voor } H_{SO} = 2\text{m}$$

In de volgende paragraaf wordt een consolidatiebeschouwing gegeven voor de bepaling van de drainageinvloed bij het eerder genoemde cyclische aspect bij golfklapbelasting. Hierbij wordt weer gebruik gemaakt van verwekingsinformatie van Seed e.a. uitgaande van de relatieve dichtheid van het zand.

De in deze paragraaf onderscheiden ϕ -waarden dienen toegewezen te worden aan de relatieve dichtheid. Omdat een betrouwbare directe relatie niet bestaat, wordt uitgegaan van de volgende (veilige) schatting voor zand:

$$R_d = 30\% : \phi \geq 33^\circ$$

$$R_d = 50\% : \phi \geq 37^\circ$$

$$R_d = 70\% : \phi \geq 40^\circ$$

$$R_d = 90\% : \phi \geq 43^\circ$$

Met de grensdragvermogens uit tabel 16 betekent dit, dat bij een relatieve dichtheid van 30% geen eenmalige golfklapbelasting kan worden geaccepteerd.

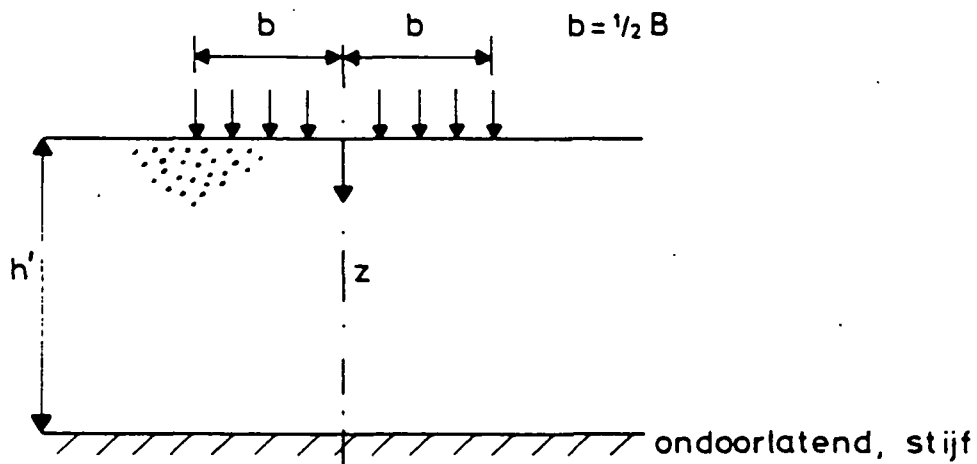
Met $R_d = 50\%$ is de bij $H_{so} = 4$ m eenmalig optredende golfklapbelasting niet acceptabel. De veiligheidsfactor bij $R_d = 50\%$, $H_{so} = 2$ m bedraagt slechts $\frac{32}{25} = 1,28$.

Met $R_d = 70\%$ en $R_d = 90\%$ treedt geen bezwijken op, hoewel de veiligheidsfactor bij $R_d = 70\%$ en $H_{so} = 4$ m laag is ($\frac{62,5}{50} = 1,25$).

6.2.2. Invloed consolidatie bij golfklappen

Veronderstel dat tijdens het optreden van de golfklap een wateroverspanning ontstaat als gevolg van cyclisch dilatante compressie in het zand. De vraag is dan hoeveel de wateroverspanning afneemt als gevolg van consolidatie tot aan het moment (10 s, respectievelijk 6 s later) waarop de volgende golfklap optreedt en bovendien hoe groot de maximale cumulatieve waterspanning zal kunnen worden. Vervolgens moet deze maximale waterspanning worden getoetst aan de maximaal toelaatbare waarde in het talud 1 : 3

Voor de bepaling van de consolidatie-percentages is gebruik gemaakt van de analytische oplossingen, gepresenteerd in [13]. De twee-dimensionale oplossing geldt voor een doorlatend oppervlak (ook ter plaatse van het op $t = 0$ plotseling belaste deel van het oppervlak ter breedte B) en een ondoorlatende en stijve basis op diepte h' .



Gebruikmaking van [13] levert voor $T = 5$ s:

	consolidatie- perc. na 10 s	maximale cum. watersp. in % van p_0 , op moment van golfklap	maximale waterspanning uit 1 golfklap
$c_v = 0,01$	50%	200%	25%
$c_v = 0,02$	60%	167%	30%
$c_v = 0,05$	73%	137%	36%
$c_v = 0,1$	83%	120%	42%
$c_v = 0,2$	92%	109%	46%
		↑ incl. 100% voor effect nieuwe golfklap	

en voor $T = 3$ s:

	consolidatie- perc. na 10 s	maximale cum. watersp. in % van p_0 , op moment van golfklap	maximale waterspanning uit 1 golfklap
$c_v = 0,01$	40%	250%	20%
$c_v = 0,02$	50%	200%	25%
$c_v = 0,05$	62%	160%	31%
$c_v = 0,1$	72%	140%	36%
$c_v = 0,2$	83%	120%	42%
		↑ incl. 100% voor effect nieuwe golfklap	

Aangenomen is, dat $\nu = 1/3$ en $h'/b = 5$; $b = 0,5$ m. De rechterkolom levert de maximaal toelaatbare wateroverspanning als gevolg van één golfklap, uitgedrukt in een percentage van de voor verweking benodigde wateroverspanning. Het is de juist nog toelaatbare ongedraineerde wateroverspanning, die direct na afloop van één golfklap optreedt.

Terugkomend op de eerder gebruikte verwekingsinformatie van Seed (zie [6] en tabel 6) betekent dit voor $T = 5$ s en $c_v = 0,01$, dat een schuifspanningsniveau $\Delta\tau/\sigma'_v$ moet worden gezocht, waarbij verweking plaatsvindt in een ongedraineerde proef na 4 belastingscycli.

Voor $T = 5$ s en $c_v = 0,2$ is een schuifspanningsniveau toelaatbaar, dat in een ongedraineerde proef reeds na 2 cycli tot verweking zou leiden. Uitgaande van tabel 6 worden dan de in tabel 17 vermelde schuifspanningsniveaus gevonden voor de 4 onderscheiden relatieve dichtheden R_d voor $b = 0,5$ m ($B = 1$ m) en $h'/b = 5$.

c_v	$\Delta\tau/\sigma'_{v0}$							
	$R_d = 30\%$		$R_d = 50\%$		$R_d = 70\%$		$R_d = 90\%$	
	$T = 3$ s	$T = 5$ s	$T = 3$ s	$T = 5$ s	$T = 3$ s	$T = 5$ s	$T = 3$ s	$T = 5$ s
0,01	0,17	0,19	0,30	0,32	0,40	0,42	0,55	0,57
0,02	0,17	0,19	0,31	0,33	0,41	0,43	0,56	0,58
0,05	0,18	0,20	0,32	0,34	0,42	0,44	0,57	0,59
0,1	0,19	0,21	0,33	0,36	0,43	0,46	0,58	0,61
0,2	0,20	0,22	0,35	0,38	0,45	0,48	0,60	0,63

Tabel 17: Maximaal toelaatbare schuifspanningsniveaus door golfklappen in talud 1 : 3, $2b = 1,0$ m, $h'/b = 5$.

c_v	$\Delta\tau/\sigma'_{v0}$							
	$R_d = 30\%$		$R_d = 50\%$		$R_d = 70\%$		$R_d = 90\%$	
	T = 3 s	T = 5 s	T = 3 s	T = 5 s	T = 3 s	T = 5 s	T = 3 s	T = 5 s
0,01	0,19	0,19	0,32	0,33	0,42	0,43	0,57	0,58
0,02	0,19	0,20	0,33	0,34	0,43	0,44	0,58	0,59
0,05	0,20	0,21	0,34	0,35	0,44	0,45	0,59	0,60
0,1	0,21	0,22	0,36	0,37	0,46	0,47	0,61	0,62
0,2	0,22	0,23	0,38	0,39	0,48	0,49	0,63	0,63

Tabel 18: Maximaal toelaatbare schuifspanningsniveaus door golfklappen
in talud 1 : 3, $2b = 0,5$ m, $h'/b = 10$.

In tabel 18 zijn overeenkomstige schuifspanningsniveaus vermeld voor
de golfklapbelastingen behorend bij $H_s = 1$ m ($b = 0,25$ m, $h'/b = 10$).

6.2.3. Resultaten verwekingsanalyse golfklappen

De in de vorige paragraaf beschreven consolidatie-analyse is gebaseerd op lineair elastisch grondgedrag in een zandlaagdikte van 5 m. De daarvoor in 6.2.1. afgeleide schuifspanningsamplitudes volgden uit een bezwijkberekening. Deze waarden voor $\Delta\tau/\sigma'_{V_0}$ zijn slechts relevant in het gebied dat bij eventueel afschuiven betrokken is, ruwweg een laagdikte van $2B$ aan het oppervlak ofwel 2 m bij $B = 1$ m en 1 m bij $B = 0,5$ m. Daaronder is sprake van een lagere schuifspanningsamplitude. Omdat de consolidatie aanzienlijk sneller verloopt naarmate h/b afneemt, dient van een meer gewogen gemiddelde van $\Delta\tau/\sigma'_{V_0}$ over de laagdikte 5 m te worden uitgegaan.

De met behulp van de bezwijkanalyse gevonden waarden worden daarom met 10% tot 20% gereduceerd (afhankelijk van B) alvorens de optredende $\Delta\tau/\sigma'_{V_0}$ met de maximaal toelaatbare $\Delta\tau/\sigma'_{V_0}$ uit de consolidatie-analyse worden vergeleken.

Dit levert de volgende gemiddeld optredende schuifspanningsamplitudes op:

$$H_{s0} = 1 \quad m : \Delta\tau/\sigma'_{V_0} = 0,80 \times 0,25 = 0,20$$

$$B = 0,5 \quad m$$

$$H_{s0} = 2 \quad m : \Delta\tau/\sigma'_{V_0} = 0,85 \times 0,33 = 0,28$$

$$B = 0,75 \quad m$$

$$H_{s0} = 4 \quad m : \Delta\tau/\sigma'_{V_0} = 0,90 \times 0,49 = 0,45$$

$$B = 1,0 \quad m$$

Vergelijking van deze waarden met de in de tabellen 17 en 18 opgenomen informatie en gebruikmaking van de in tabel 6 gegeven verwekingsinformatie levert de maximaal te verwachten wateroverspanning in het talud ten gevolge van golfklappen. Voor relatieve dichtheden 50%, 70% en 90% zijn deze wateroverspanningen verzameld in tabellen 19, 20 en 21 voor de 3 belastingsbreedtes B .

c_v	maximale wateroverspanning in %					
	$R_d = 50\%$		$R_d = 70\%$		$R_d = 90\%$	
	T = 3 s	T = 5 s	T = 3 s	T = 5 s	T = 3 s	T = 5 s
0,01	10	8	3	2	1	0
0,02	9	7	3	2	0	0
0,05	8	6	2	1	0	0
0,1	7	5	1	1	0	0
0,2	5	4	1	0	0	0

Tabel 19: Maximale wateroverspanningen ten gevolge van golfklappen $H_{s0} = 1$ m, $B = 0,5$ m (inclusief drainage-invloed)

c_v	maximale wateroverspanning in %					
	$R_d = 50\%$		$R_d = 70\%$		$R_d = 90\%$	
	T = 3 s	T = 5 s	T = 3 s	T = 5 s	T = 3 s	T = 5 s
0,01	32	25	10	8	2	1
0,02	29	22	10	8	2	1
0,05	25	18	9	7	2	1
0,1	20	13	7	6	1	0
0,2	15	7	5	4	1	0

Tabel 20: Maximale wateroverspanningen ten gevolge van golfklappen $H_{s0} = 2$ m, $B = 0,75$ m (inclusief drainage-invloed)

c_v	maximale wateroverspanning in %					
	$R_d = 50\%$		$R_d = 70\%$		$R_d = 90\%$	
	$T = 3 \text{ s}$	$T = 5 \text{ s}$	$T = 3 \text{ s}$	$T = 5 \text{ s}$	$T = 3 \text{ s}$	$T = 5 \text{ s}$
0,01	niet realistisch	> 100	niet realistisch	> 100	niet realistisch	10
0,02		> 100		65		9
0,05		> 100		50		8
0,1		> 100		45		7
0,2		> 100		35		5

Tabel 21: Maximale wateroverspanningen ten gevolge van golfklappen
 $H_{s0} = 4 \text{ m}$, $B = 1 \text{ m}$ (inclusief drainage-invloed)

Uit tabel 21 volgt, dat de bij golfbelasting $H_{s0} = 4 \text{ m}$ optredende golfklappen kunnen worden weerstaan, indien de relatieve dichtheid van het zand 90% bedraagt.

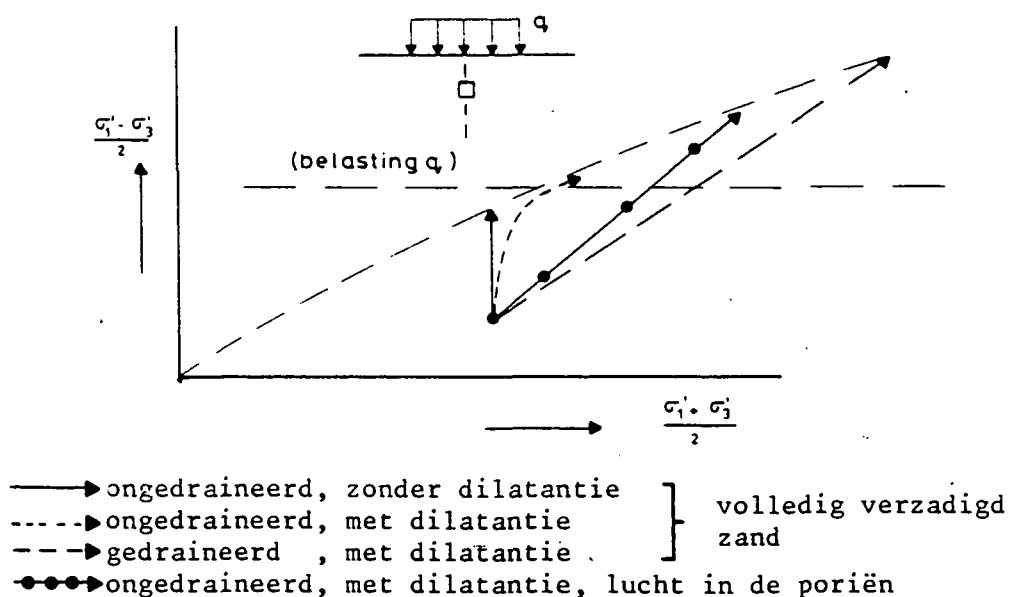
6.2.4. Invloed luchtgehalte bij golfklappen

De hiervoor in 6.2 gegeven analyse voor de verwekingsgevoeligheid van zand onder invloed van golfklapbelasting is van toepassing op volledig waterverzadigd zand. Indien het zand een weinig lucht bevat dan is sprake van een sterk afwijkende situatie.

Voorals bij vastgepakt zand wordt de situatie veel gunstiger, dat wil zeggen: er zullen veel lagere wateroverspanningen optreden. Dit wordt duidelijk uit het vergelijken van het grensdragvermogen in gedraineerde toestand (tabel 15) met dat in ongedraineerde toestand (tabel 16). De ongedraineerde uitkomst geldt voor volledig waterverzadigde poriën, dat wil zeggen: zonder dilatantie-invloed treedt geen variatie in de gemiddelde effectieve normaalspanning op.

Indien lucht in de poriën aanwezig is dan zal de gemiddelde normaalspanning toenemen bij belasten en het grensdragvermogen zal gelegen zijn tussen de twee waarden volgens de tabellen 15 en 16.

Daarbij zal de optredende relatieve schuifspanningsamplitude belangrijk lager kunnen zijn dan die bij volledig waterverzadigd zand in ongedraineerde toestand (zie ook figuur 16) en daarmee ook de maximale waterspanning als gevolg van het cyclische effect.



Figuur 16: Spanningspaden, gedraineerd en ongedraineerd, met en zonder lucht in de poriën (schematisch)

Kwantificering van het gunstige effect van lucht is moeilijk enerzijds omdat het mogelijke luchtgehalte in het zand niet bekend is, anderzijds omdat een 'niet volledig verzadigde' analyse niet eenvoudig te leveren is.

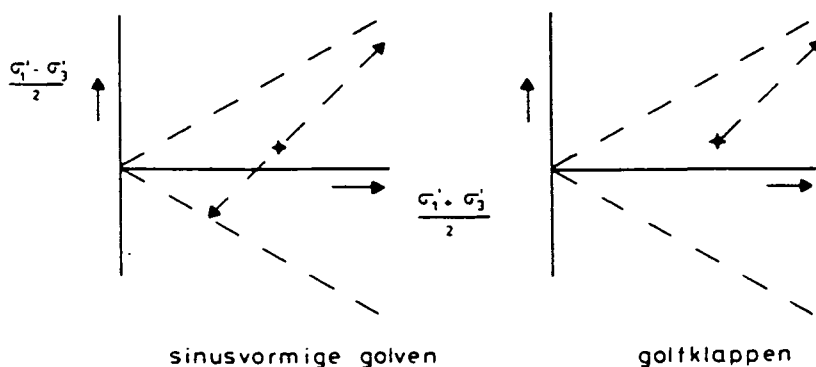
Tot slot nog twee opmerkingen:

- Vergelijking van de resultaten voor sinusvormige golven, tabel 8, met die voor golfklappen, tabellen 19 t/m 21, toont dat de drainage-invloed als functie van c_v bij golfklappen belangrijk minder is. Dit is een gevolg van het feit, dat bij golfklappen steeds een maximale overspanning ten gevolge van één golfklap in rekening is gebracht zonder drainage (op het tijdstip van golfklapbelasting). Omdat deze wateroverspanning als gevolg van een golfklap veel lager zal zijn bij lucht in de poriën, nemen ook de in tabellen 17 en 18 gegeven maximaal toelaatbare schuifspanningsniveaus sterk toe.

- Bij golfklappen wordt een gunstig effect verondersteld indien lucht in de poriën aanwezig is. Dit in tegenstelling tot bij de sinusvormige golfbelasting, waar een veel terughoudender conclusie met betrekking tot de invloed van lucht is geformuleerd.

Dit verschil komt voort uit het verschil in belasting:

bij golfklappen alleen toename van σ_1' ten opzichte van de initiële waarde; bij sinusvormige golven zowel toename als afname. Vooral tijdens de afname van σ_1' en $\frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2}$ kunnen grote relatieve schuifspanningsamplitudes optreden (zie figuur 17 en hoofdstuk 6.1.4).



Figuur 17: Spanningspaden sinusvormige golven en golfklappen bij lucht in de poriën (schematisch)

6.3. Combinatie sinusvormige golven en golfklappen

Sommeren van de gevonden maximale wateroverspanningen als gevolg van sinusvormige golven, tabel 8 met de resultaten voor de golfklapbelasting, tabellen 19, 20 en 21 levert de totale maximale wateroverspanning op als functie van de relatieve dichtheid van het zand R_d , de consolidatiecoëfficiënt c_v voor de onderscheiden golfbelastingen $H_{so} = 1 \text{ m}$, 2 m , 4 m en $T = 3 \text{ s}$ en 5 s .

De gesommeerde maximale waarden zijn opgenomen in tabel 22. Deze wateroverspanningen zijn van toepassing op volledig waterverzadigd zand.

Indien lucht in de poriën aanwezig is, zal het aandeel van de golfklapbelasting in de waterspanning afnemen. Vergelijking van de tabellen 19 t/m 21 met tabel 22 levert dat dit voor een aantal combinaties van belang kan zijn in die zin, dat de conclusie ten aanzien van praktische toelaatbaarheid zou kunnen wijzigen.

De vraag kan worden gesteld of de sommatie van de afzonderlijk bepaalde effecten van de twee typen golfbelasting niet gelijktijdig gepaard zou moeten gaan met de invoering van een reductiefactor. Is het praktisch om aan te nemen dat in het geval dat eens per gemiddeld twee golven een golfklap optreedt, ook het volledige effect van de sinusvormige golven zal plaatsvinden?

Hoewel dit waarschijnlijk geen reële veronderstelling is en (indien relevant) zeker een mogelijk onderwerp van nadere studie, is bij de onderhavige analyse geen reductiefactor geïntroduceerd. De reden hiervoor is, dat bij de analyse van de sinusvormige golven één golfhoogte, te weten de significante golfhoogte, is beschouwd.

De gemiddeld mindere invloed bij onregelmatige golfbelasting is in navolging van vele grondmechanische analyses verdisconteerd in een factor 2 in de beschikbare drainagetijd. Het mogelijk grotere effect van hogere golven dan H_s en in feite van groepen hogere golven is niet beschouwd. Vanuit deze achtergrond werd het beter geoordeeld om voorts nog geen reductiefactor in te voeren bij de sommatie van de twee typen golfbelasting.

T = 5 sec.												
c_v (m ² /s)	$H_{so} = 1 \text{ m}$				$H_{so} = 2 \text{ m}$				$H_{so} = 4 \text{ m}$			
	R_d				R_d				R_d			
	30%	50%	70%	90%	30%	50%	70%	90%	30%	50%	70%	90%
0,01	'onveilig'	13	2	0	'onveilig'	73	13	1	'onveilig'	'onveilig'	>100	14
0,02		10	2	0		46	10	1			92	11
0,05		7	1	0		28	8	1			61	9
0,1		6	1	0		18	6	0			50	7
0,2		4	0	0		9	4	0			38	5

T = 3 sec.								
c_v (m ² /s)	$H_{so} = 1 \text{ m}$				$H_{so} = 2 \text{ m}$			
	R_d				R_d			
	30%	50%	70%	90%	30%	50%	70%	90%
0,01	'onveilig'	29	8	1	'onveilig'	92	26	4
0,02		18	6	0		59	18	3
0,05		12	3	0		37	12	2
0,1		9	2	0		26	9	1
0,2		6	1	0		18	6	1

Tabel 22: Resultaten verwekingsanalyse

Sinusvormige golven + golfklappen

Maximale waterspanningspercentages voor 5 combinaties van golfkarakteristieken als functie van relatieve dichtheid R_d en consolidatiecoëfficiënt c_v bij volledig verzadigd zand:

7. Voorlopige ontwerpcriteria

7.1. Criteria voor geschematiseerd talud

De maximale wateroverspanningen uit tabel 22 dienen te worden getoetst aan de maximaal toelaatbare waarden in een talud 1 : 3 volgens tabel 3, hoofdstuk 4. Deze toetsing is uitgevoerd na introductie van de in 6.2.1 aangenomen relatie tussen R_d en ϕ . Het resultaat is weergegeven in de grafieken van figuur 18, welke als ontwerpgrafieken kunnen worden opgevat.

Het maximale wateroverspanningspercentage is voor drie onderscheiden relatieve dichtheden uitgezet tegen de golfhoogte voor de vijf eerder gekozen consolidatiecoëfficiënten en de twee golfperiodes $T = 3$ s en $T = 5$ s.

Een relatieve dichtheid $R_d = 30\%$ wordt in het geheel niet acceptabel geacht. In figuur 18 is een veiligheidsfactor (ter grootte 2) ingevoerd bedoeld om onzekerheden in de wijze van analyseren te verdisconteren.

Voor wat de verwekingsanalyse betreft, moet zonder meer het volgende worden opgemerkt.

Hoewel de uitgevoerde analyse uitmondt in kwantitatieve waarden voor het maximaal te verwachten wateroverspanningspercentage in het onderliggende zand moet erop gewezen worden dat de analyse feitelijk kwalitatief bedoeld is. De omstandigheden in het talud zijn sterk geschematiseerd en er is gebruik gemaakt van algemene informatie met betrekking tot verweking in ongedraineerde proeven. Dit betekent, dat een bepaalde onzekerheid bestaat met betrekking tot de getalsmatige uitkomsten. Ondermeer moet erop worden gewezen dat wateroverspanning als functie van de relatieve schuifspanning en de relatieve dichtheid in een ongedraineerde proef binnen bepaalde grenzen een vrij gevoelige uitkomst is gebleken.

Deze overwegingen leiden tot de aanbeveling om voorlopig slechts de helft van het maximum toelaatbare waterspanningspercentage te accepteren voor een taludhelling 1 : 3.

Deze veiligheidsfactor 2 is enerzijds gevoelsmatig gekozen. Anderzijds lijkt de verwachting gerechtvaardigd dat hiermee een veilig criterium is verkregen. De hiervoor doorlopen procedure is zeker 'conservatief' te noemen. Bovendien treedt de 'gehalveerde' wateroverspannings steeds pas na geruime tijd op met een zeer langzame toename ervan in de tijd. Dit betekent dat het eerder genoemde voorbelastingseffect zich in versterkte mate zal kunnen manifesteren, o.a. in werkelijkheid leidend tot een weer afnemende wateroverspanning voordat de toegestane waarde wordt bereikt.

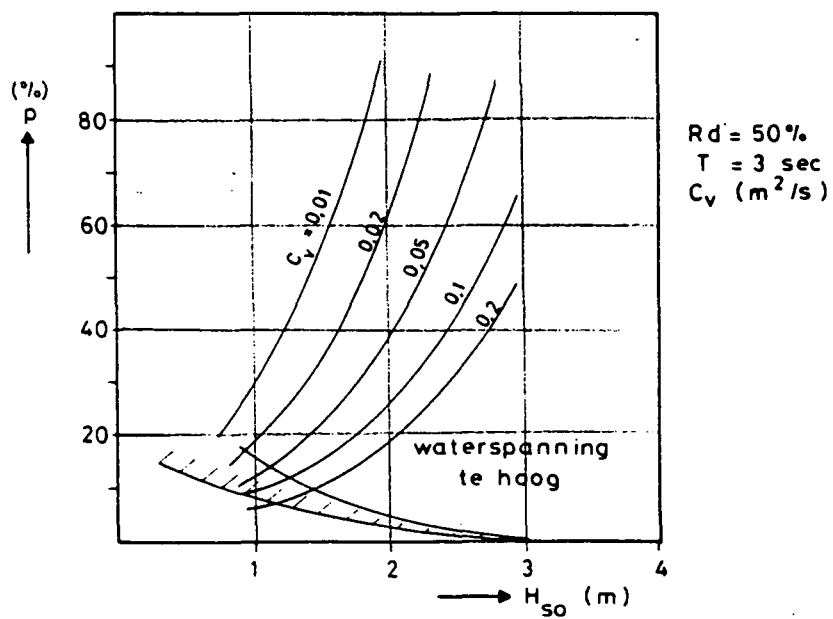
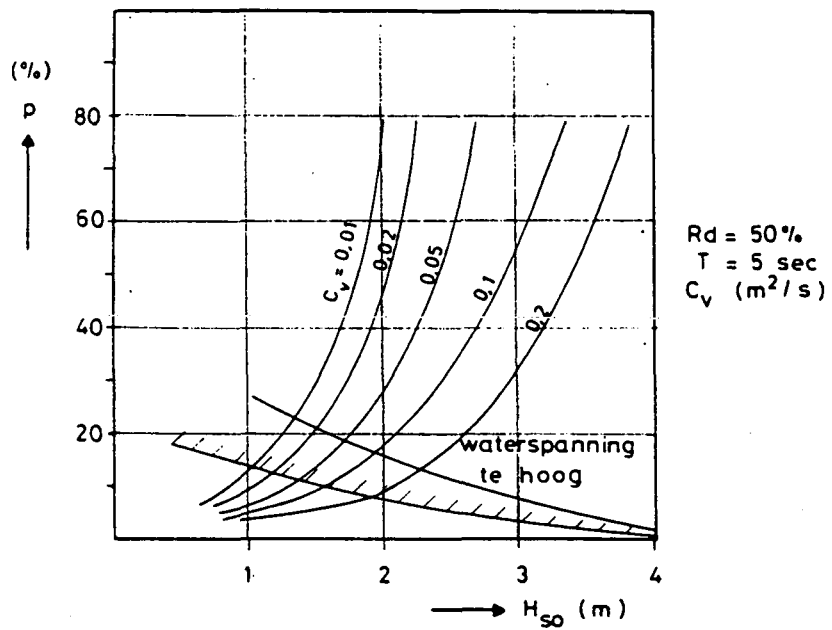
Voor de verwekingsgevoeligheid van zand onder cyclische belasting is gebruik gemaakt van de door Seed e.a. in de literatuur gepresenteerde informatie, welke als gemiddeld veilig wordt aangeduid. Toetsing van deze informatie door het LGM in de afgelopen jaren heeft enkele malen uitgewezen, dat de informatie van Seed niet zonder meer veilig is voor elke zandsoort. Dit betekent, dat in voorkomende gevallen bij steenzettingen op zand, waarbij geen grote zekerheid bestaat met betrekking tot veiligheid tegen verweking (bijvoorbeeld indien achteraf een vrij lage relatieve dichtheid wordt gevonden), de uitvoering van een aantal cyclische proeven aanbeveling verdient.

Hetzelfde geldt voor het in de analyse geïntroduceerde voorbelastingseffect. Ook hiervoor zal toetsing in speciale gevallen gewenst kunnen zijn.

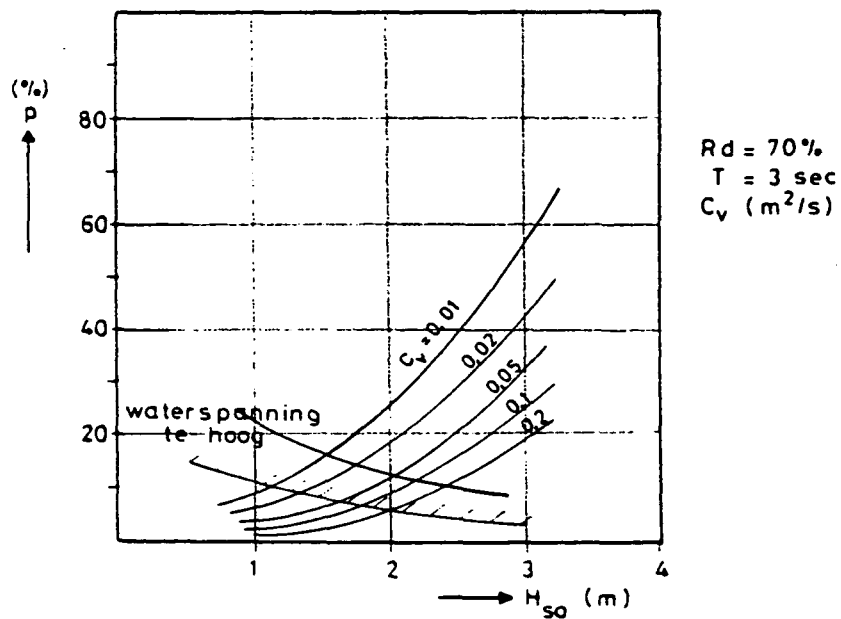
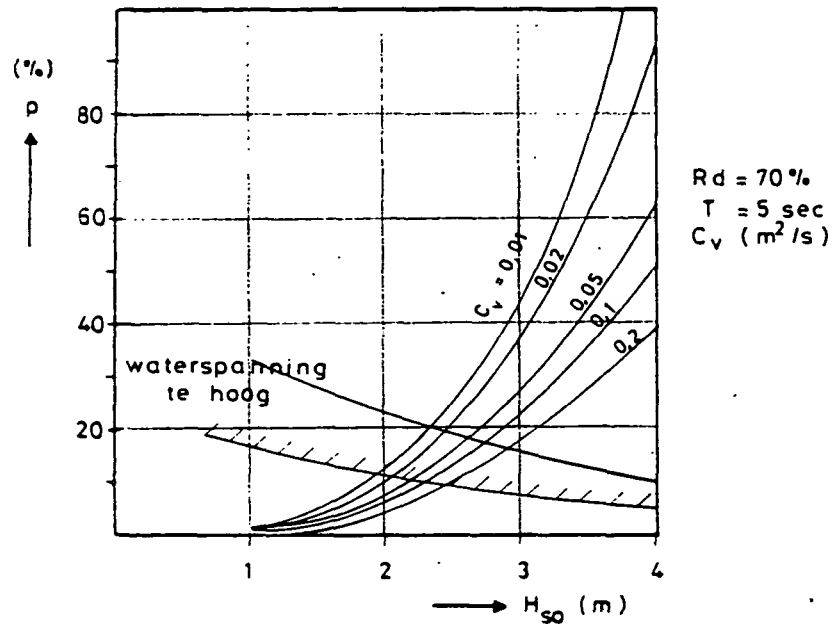
De ontwerpgrafieken in figuur 18 gelden feitelijk voor een sterk geschematiseerde toestand.

Wat de geometrie en laagopbouw betreft, omvat de schematisatie:

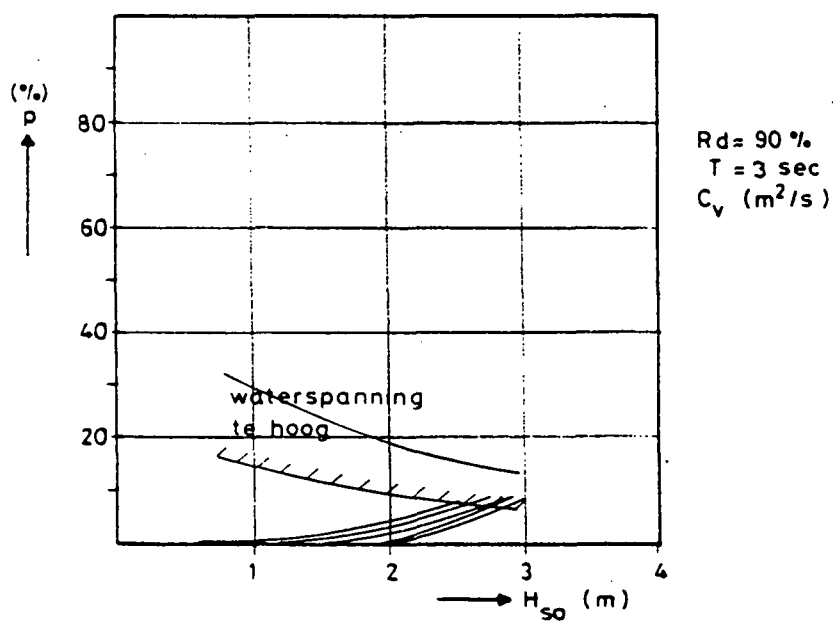
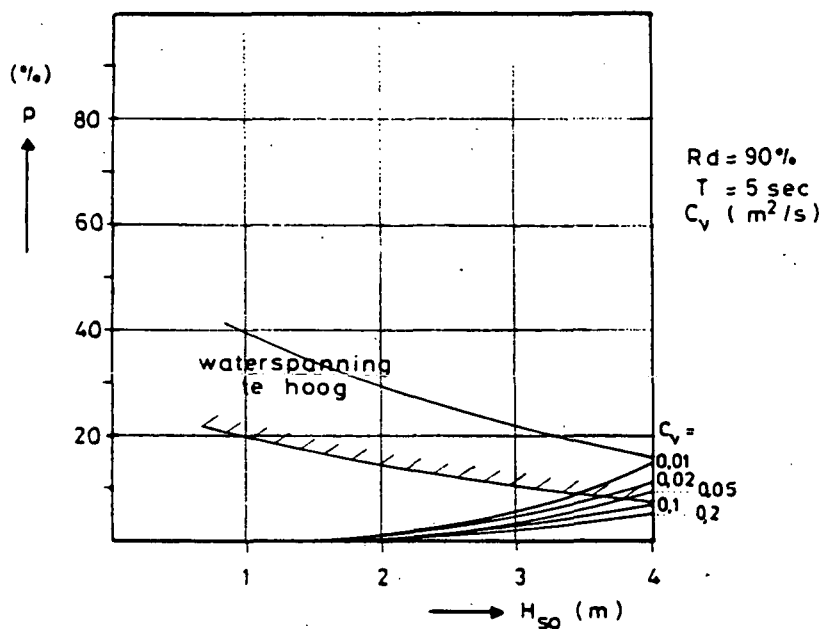
- talud 1 : 3,
- steenzetting dikte 20 cm, direct op zand (geen extra invloed geotextiel),
- de taludbekleding is minstens even doorlatend als het zand.



Figuur 18a: Voorlopige ontwerpgrafieken voor $R_d = 50\%$, waterspanningspercentage als functie van H_{so} , T en C_v , talud 1 : 3



Figuur 18b: Voorlopige ontwerpgrafieken voor $R_d = 70\%$, waterspanningspercentage als functie van H_{so} , T en c_v , talud 1 : 3



Tabel 18c: Voorlopige ontwerpgrafieken voor $R_d = 90\%$, waterspanningspercentage als functie van H_{so} , T en c_v , talud 1 : 3

Uit figuur 18 blijkt duidelijk dat de maximaal mogelijke en maximaal toelaatbare (factor 2 kleiner) waterspanningspercentages in het talud 1:3 laag zijn en veel lager dan de voor echte verweking benodigde waarden van 90 à 100%. Het betekent dat volledige verweking in het talud geen kans krijgt om op te treden omdat reeds bij veel lagere waterspanningspercentages bezwijken of grote deformaties en dus schade wordt veroorzaakt.

Deze lagere waterspanningen worden echter wel door wat we noemen het cyclische verwekingsmechanisme opgewekt.

7.2. Invloed extra aspecten

Afwijkende dikte bekledingslaag

In het voorgaande is een beschouwing gegeven voor een taludbekleding, dikte 0,2 m direct op zand, waarbij de doorlatendheid van de bekleding minstens even groot werd verondersteld als die van het zand.

In feite is de bekledingsdikte nergens omschreven als zijnde bijvoorbeeld een 20 cm dikke steenzetting. Dat wil zeggen dat de resultaten van de analyse ook van toepassing zijn voor een 10 cm dikke steenzetting + 10 cm dikke, uit grof materiaal bestaande, onderlaag.

Steeds moet aan de gestelde doorlatendheidsvoorwaarde worden voldaan.

Dit heeft tot gevolg dat de uitgevoerde analyse veilig is voor totale bekledingslaagdikten van meer dan 20 cm en in principe onveilig voor totale bekledingslaagdikten minder dan 20 cm. Een ontwerp bestaande uit 10 cm dikke stenen direct op zand zal dus afzonderlijk moeten worden beoordeeld. Omdat dit type lichte constructies in het algemeen alleen bij lage belastingsniveaus zal worden toegepast, zullen, gezien de grote reserve die bij $H_{so} = 1$ m en $R_d = 70\%$ respectievelijk $R_d = 90\%$ in figuur 18 aanwezig is, zeker praktisch bruikbare criteria zijn af te leiden.

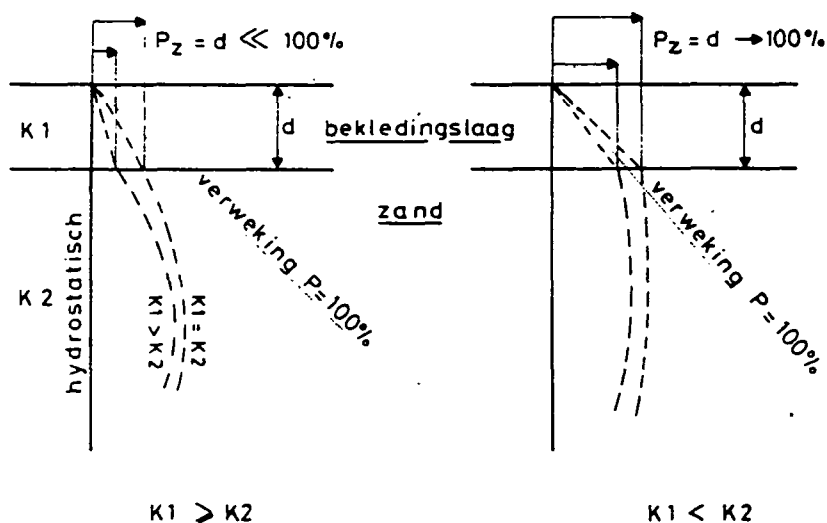
In het algemeen kan worden gesteld, dat toevoeging van een tussenlaag met grotere doorlatendheid dan die van het zand de weerstand tegen verweking zal vergroten.

Doorlatendheid toplaag

De resultaten van de uitgevoerde analyse zijn alleen van toepassing voor bekledingslagen boven het zand met minstens even grote doorlatendheid als het zand.

Het probleem van een bekledingslaag met minder grote doorlatendheid is dat de in het zand opgebouwde wateroverspanning inwendig kan af-

stromen in de richting van het talud met als gevolg een extra wateroverspanning juist onder de bekleding.



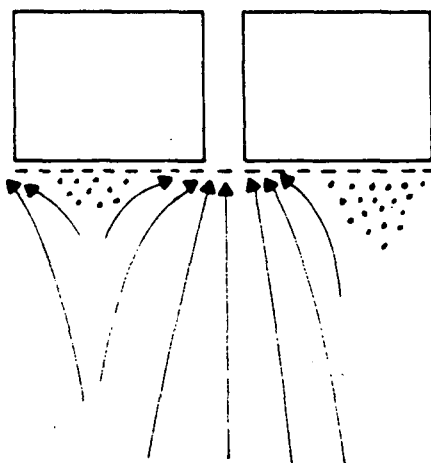
Figuur 19: Wateroverspanning direct onder bekledingslaag voor $k_1 \geq k_2$ en $k_1 < k_2$ (schematisch)

Dit betekent, dat het ontstaan van verweking juist onder de bekledingslaag onder bepaalde omstandigheden mogelijk zal zijn. In die gevallen waarvoor uit figuur 18 ($k_1 \geq k_2$) een vrij hoge waterspanning wordt gevonden, is dit ontstaan van verweking bij $k_1 < k_2$ tevens een vrij gevoelige zaak. Het vereist een gedetailleerde analyse, die buiten het kader van de uitgevoerde studie valt. Vooral nog kan in die vrij kritische gevallen een kleinere doorlatendheid in de bekledingslaag ten opzichte van die in het zand niet worden geaccepteerd.

Opgemerkt dient te worden, dat aan de genoemde voorwaarde in feite alleen kan worden voldaan indien tussen de steenzetting en het zand

een zogenaamde verdeellaag aanwezig is, bijvoorbeeld een laag grind met hoge doorlatendheid.

In het geval van een steenzetting direct op zand (ook bij een op zichzelf zeer doorlatende steenzetting) zal er in het zand altijd sprake zijn van geconcentreerde stroomlijnen juist onder de spleten tussen de stenen.



Dit betekent dat de voor afstroming van poriënwater effectieve doorlatendheid steeds wordt bepaald door de doorlatendheid van het zand zelf en het relatieve spleetoppervlak van de zetting. Hoewel vanzelfsprekend ook het watervoerende vermogen van een tussen zetting en zand aangebracht geotextiel van belang is, zal in vele gevallen sprake zijn van een systeem waarvoor een toplaag-schematisatie met een doorlatendheid minder dan die voor het zand maatgevend is.

Geotextiel tussen zand en bekledingslaag

Voor het geotextiel geldt in wezen hetzelfde als hiervoor voor de totale bekledingslaag is beschreven. De doorlatendheid van het geotextiel moet minstens even groot zijn als die van het zand. Een uitzondering kan worden gemaakt voor de situatie, waarbij de steen-

zetting zelf doorlatender en het geotextiel minder doorlatend is. Indien de betreffende doorlatendheden (ook in de toekomst) bekend zijn dan mag de voorwaarde voor een doorlatender toplaag ook worden opgevat als een eis met betrekking tot de schijnbare doorlatendheid van het systeem geotextiel + steenzetting + (eventueel) grovere tussenlaag.

De voorwaarde wijzigt dan in:

De juist onder de bekledingslaag in het zand optredende maximale waterspanning mag niet groter zijn dan in het geval met een bekledingslaag met doorlatendheid gelijk aan die in het zand (volgens uit figuur 18).

In het geval van ééndimensionale stationaire afstroming van wateroverspanning geldt de volgende voorwaarde voor de doorlatendheid k_2 van het geotextiel.

$$k_2 \geq \frac{d_2}{\frac{d_1 + d_2}{k_3} - \frac{d_1}{k_1}}$$

waarin:

k_1 = doorlatendheidscoëfficiënt steenzetting

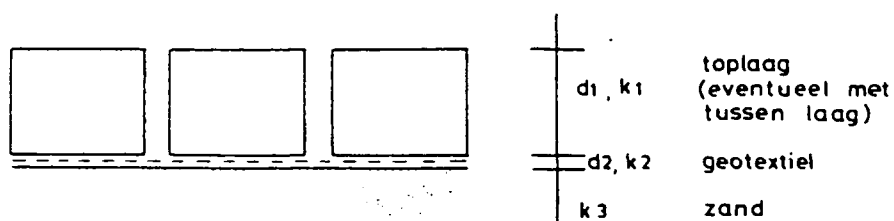
d_1 = dikte steenzetting

k_2 = doorlatendheidscoëfficiënt geotextiel

d_2 = dikte geotextiel

k_3 = doorlatendheidscoëfficiënt zand

Indien aan deze voorwaarde wordt voldaan dan kan de toelaatbaarheid van het betreffende taludontwerp worden bepaald met behulp van de in figuur 18 gegeven ontwerpgrafieken.



Scheepsgolven als belasting

Bij scheepsgolven is sprake van een lange golf, periode 30 à 60 s (spiegeldaling) met $H_{\max} \sim 1$ m en een beperkt aantal kortere golven.

Deze belastingscondities zijn aanzienlijk gunstiger dan de in de uitgevoerde analyse beschouwde belastingen, omdat:

- het aantal optredende golven beperkt blijft (en niet zoals in deze studie volledig onbeperkt),
- bij de spiegeldaling in de meeste praktische gevallen de drainage-invloed zal overheersen.

Het toepassen van de ontwerpgrafieken figuur 18 met als uitgangspunt de golfhoogte en $T = 5$ s, zal daarmee voor scheepsgolfbelasting altijd een veilig ontwerp opleveren.

8. Toetsing verwekingsanalyse/ontwerpcriteria

In het kort wordt ingegaan op de mogelijkheden voor toetsing aan praktijkgevallen en tijdens een golfproef in de Deltagoot.

In [16] wordt een aantal recente schadegevallen beschreven aan de Houtribdijk en aan een dijkvak tussen Lemmer en Urk. In enkele gevallen wordt in deze verslagen aangegeven hoe de schade is ontstaan of mogelijksterwijs kan zijn ontstaan.

Zo wordt met betrekking tot de beschadiging aan het proefvak van Terrafix blokkenmatten in de Houtribdijk, januari 1984, gemeld: "De oorzaak is vermoedelijk een te lichte blokkenmat, die vooral op de onderlinge naden van de banen zand gaat lekken. Het gehele dijklichaam is verzadigd met water en drijft als het ware langzaam naar beneden."

Deze omschrijving sluit tot op zekere hoogte aan bij het schade-mechanisme dat kan worden verwacht bij het oplopen van de water-spanning in de zandondergrond.

Met betrekking tot de eigenschappen van het onderliggende zand en met betrekking tot de belastingcondities tijdens de storm van januari 1984, wordt in [16] geen of slechts zeer weinig informatie verstrekt, waardoor toetsing van de in dit verslag beschreven criteria niet mogelijk is.

Vanuit het oogpunt van toetsing kan de bepaling van de relevante zandeigenschappen (korrelgrootte-verdeling, relatieve dichtheid, doorlatendheid) in het betreffende dijkvak waardevol zijn. Aan de hand van de hier afgeleide criteria kan dan nagegaan worden welk belastingsniveau tot bezwijken van het talud kan hebben geleid.

Vaststelling van het werkelijke schademechanisme in een praktijkgeval is veelal niet eenvoudig. In het algemeen kunnen vele mogelijke schade-oorzaken (zie [15]) worden genoemd, die onderling gekoppeld kunnen optreden.

Met betrekking tot een praktijkschade zijn meestal alleen de gevolgen achteraf bekend. De schade is het grootst aan of direct onder het taludoppervlak, ook de schade ingeleid door het verwerkingsmechanisme. Van de werkelijke oorzaak, de opbouw van wateroverspanning in het zand als gevolg van cyclische dilatantie, is achteraf niets terug te vinden.

Dit betekent, dat betrouwbare toetsing van de uitgevoerde analyse en afgeleide criteria alleen onder gecontroleerde omstandigheden in een grootschalige onderzoeksfaciliteit als de Deltagoot, mogelijk is.

De begincondities (taludopbouw, zandkarakteristieken), golfbelastingen, alsmede het verloop van de waterspanning in het zand tijdens het golven, moeten worden vastgelegd. Na uitvoering van een proef en na selectie van het wateroverspanningsaandeel als gevolg van cyclische dilatantie omvat de toetsing het vergelijken van dit waterspanningsniveau met het waterspanningspercentage voor het betreffende geval in figuur 18.

In het voorgaande is enkele malen gemeld, dat de uitgevoerde analyse in totaliteit conservatief van opzet is geweest, dat wil zeggen, dat de in figuur 18 gepresenteerde waterspanningspercentages als functie van de golfhoogte H_{so} te hoog zullen zijn. Vanuit deze achtergrond zou de toetsing gericht moeten worden op de bevestiging van de verwachting dat de afgeleide voorlopige ontwerpcriteria veilig zijn; dat wil zeggen, dat een vrij kritische situatie moet worden geconditioneerd.

Bijvoorbeeld: op basis van figuur 18:

een zandkern, bestaande uit zeer fijn zand met een relatieve dichtheid van 40 à 50% (consolidatiecoëfficiënt-orde 0,05 m^2/s of lager). Getracht moet worden om een hoge verzadigingsgraad in het zand te bewerkstelligen. Wellicht dat golven op een gedeeltelijk waterdicht afgesloten zandondergrond moet worden overwogen om de drainage van wateroverspanning te beperken.

9. Samenvatting en conclusies.

1. In opdracht van de RWS, Deltadienst is een onderzoek uitgevoerd naar de omstandigheden waarbij verweking van zand in een talud met een doorlatende taludbekleding onder invloed van golfbelasting zou kunnen plaatsvinden. De in dit verslag gepresenteerde analyse moet worden opgevat als een orientatie op de problematiek.
2. De analyse is uitgevoerd voor een geschematiseerde praktijksituatie met een talud 1:3. De in principe onregelmatige golfaanval is gescheiden in 2 componenten, te weten de "sinusvormige" golven met karakteristieken H_s en T en de golfklappen. Van beide componenten werden de verwekingseffecten (wateroverspanning als gevolg van cyclische dilatantie-eigenschappen van het zand) afzonderlijk bepaald en in later stadium gecombineerd.
3. Voor de basisinformatie voor het cyclische verwekingsgedrag van zand is gebruik gemaakt van de internationale grondmechanische literatuur. Hierin wordt het verloop van de waterspanningsopbouw onder ongedraineerde condities gegeven als functie van het aantal belastingscycli, het schuifspanningsnivo en de relatieve dichtheid van het zand. In hoofdstuk 2 van dit verslag wordt kort ingegaan op de relatie tussen de relatieve dichtheid en de in de nederlandse praktijk meer gebruikelijke percentages van de proctordichtheid.
4. De koppeling tussen de basisverwekingsinformatie en het gedrag in een talud werd gelegd d.m.v. schuifspanningsnivo's afgeleid uit een aantal spanningsberekeningen uitgaande van lineair elastisch gedrag in het zand bij de "sinusvormige" golven en van een bezwijkgedraganalyse bij de golfklapbelasting. In beide gevallen is daarmee een belangrijke schematisatie van het wisselende spanningsbeeld verondersteld.

5. De tijdens het golven optredende dissipatie van waterspanning is berekend uitgaande van één-dimensionale afstroming loodrecht op de taludhelling. Voor elk onderscheiden geval is de resulterende, maximale wateroverspanning uitgerekend waarbij de toename als gevolg van cyclisch dilatantie in het zand binnen een golfperiode gelijk is aan de afname t.g.v. drainage.
6. De berekeningen zijn gemaakt onder aanname van een volledig waterverzadigd zandpakket. In het verslag is een beschouwing gegeven over de invloed van lucht in de poriën van het zand. Verwacht wordt dat de aanname van volledige verzadiging een conservatieve aanname is.
7. De afzonderlijk bepaalde effecten t.g.v. "sinusvormige" golven en t.g.v. golfklappen, beide uitgedrukt in een percentage van de waterspanning vereist voor volledige verweking van het zand, zijn gesommeerd zonder invoering van een reductiefactor. Hiermee wordt verondersteld, dat er geen onderlinge beïnvloeding bestaat tussen beide onderscheiden typen golfbelastingen.
8. De resulterende totale wateroverspanning is getoetst aan de waterspanning die onder de gegeven golfbelastingskondities maximaal toelaatbaar wordt geacht in een talud 1:3 als functie van de relatieve dichtheid van het zand. Na invoering van een veiligheidsfactor 2 resulteren voorlopige ontwerpgrafieken (Hoofdstuk 7.1, figuur 18).
9. De ontwerpgrafieken geven duidelijk aan dat bezwijken van het talud niet gepaard kan gaan met volledige verweking van het zand. Als gevolg van de reeds in het talud aanwezige schuifspanning en de direkte "lineair elastische" invloed van de golfbelasting (onafhankelijk van de dichtheid van het zand) treedt bezwijken op bij een cyclisch waterspanningspercentage aanzienlijk lager dan 100%.

10. Deze voorlopige ontwerpcriteria zijn van toepassing voor een taludbekleding die even doorlatend of doorlatender is dan het onderliggende zand. Met taludbekleding worden alle componenten boven het zand bedoeld, dus bijvoorbeeld steenzetting + grovere tussenlaag + geotextiel. Indien een van deze componenten minder doorlatend is dan het zand dan kunnen de ontwerpgrafieken alleen worden toegepast als de waterdrainerende capaciteit van de totale taludbekleding zodanig is (en blijft) dat de maximale waterspanning bovenin het zand niet groter is dan in het geval met gelijke doorlatendheid van alle componenten.
Bij een steenzetting direct op zand zal hieraan in het algemeen niet worden voldaan a.g.v. de stroomlijnenconcentratie in het zand in de richting van de spleten.
11. De voorlopige ontwerpgrafieken zijn van toepassing voor een totale bekledingslaagdikte boven het zand van 0,2 m of meer. Voor kleinere bekledingslaagdikten dient een aanvullende analyse te worden uitgevoerd.
12. De ontwerpgrafieken hebben betrekking op door windgolven belaste taluds. In het geval van scheepsgolven is in het algemeen sprake van een veel gunstiger situatie.
13. De uitgevoerde analyse heeft tot op zekere hoogte een oriënterend karakter. Ondermeer zijn een aantal schematisaties aangebracht. Dit houdt in dat vooralsnog een zekere terughoudendheid moet worden betracht bij toepassing van de in dit rapport afgeleide criteria. Ondermeer wordt aanbevolen om, daar waar volgens de voorlopige ontwerpgrafieken sprake zou zijn van een min of meer kritische situatie (wateroverspanning benadert de toelaatbare waarde), cyclische triaxiaalproeven op zandmonsters uit de betreffende prototypelocatie uit te voeren. De resultaten van deze proeven kunnen dienen ter ondersteuning van de in de uitgevoerde analyse geïntroduceerde algemene verwekingsgegevens van zand of, indien deze resultaten ongunstiger zijn, ter nadere specificatie van het verwekingsgedrag van het betreffende zand.

14. Ondanks de aanbevolen reserve bij toepassing in de nabije toekomst moet worden geconcludeerd dat de uitgevoerde analyse conservatief van opzet is geweest. Deze conclusie geldt eveneens voor de resulterende voorlopige ontwerpcriteria, d.w.z. verwacht wordt dat de in figuur 18 gepresenteerde criteria veilig zijn.
15. Definitieve invoering van verwekingsontwerpcriteria op basis van de nu afgeleide voorlopige criteria dient voorafgegaan te worden door een evaluatie/discussie periode waarin behalve beoordeling van de ingevoerde schematisaties tevens aandacht moet worden geschonken aan de mogelijkheden van toetsing.
16. In hoofdstuk 8 zijn enkele aspecten van een mogelijke toetsing van de ontwerpcriteria beschreven. Hoewel elke kans voor bevestiging aan de hand van schadegevallen in het prototype moet worden aangegrepen, wordt verwacht dat werkelijke praktijktoetsing in de zin van aantonen dat het verwekingsmechanisme aanleiding is geweest voor de opgetreden schade, niet eenvoudig zal zijn. Toetsing in een grootschalige modelfaciliteit als de Deltagoot, waarbij de aanwezigheid van het mechanisme (het oplopen van de gemiddelde waterspanning) d.m.v. meetresultaten wordt vastgelegd, wordt in principe wel mogelijk geacht.
17. Vanuit praktisch oogpunt dient zo'n toetsing bij voorkeur gericht te worden op bevestiging van de verwachting dat de gepresenteerde voorlopige ontwerpcriteria veilig zijn. Bijvoorbeeld door vaststelling dat het maximale waterspanningsnivo in een bewust vrij kritische geconditioneerde situatie (aanzienlijk) lager ligt dan de waarde die uit figuur 18 kan worden afgeleid.

10. Symbolenlijst

z	= afstand $\perp$ talud	m
x	= afstand // talud	m
g	= versnelling zwaartekracht	m/s ²
γ_g	= volumegewicht (natte) grond	kN/m ³
γ_d	= droog volumegewicht grond	kN/m ³
γ_w	= volumegewicht water	kN/m ³
$\gamma' = (\gamma_g - \gamma_w)$	= effectief volumegewicht onder water	kN/m ³
w	= watergehalte	%
n	= poriëngehalte zand	%
$n_{\max}$	= maximum poriëngehalte	%
$n_{\min}$	= minimum poriëngehalte	%
R_d	= $\frac{n_{\max} - n}{n_{\max} - n_{\min}} \times 100\%$ = relatieve dichtheid	%
k	= doorlatendheidscoëfficiënt zand	m/s
c_v	= consolidatiecoëfficiënt	m ² /s
m_v	= samendrukbaarheidscoëfficiënt	m ² /kN
α	= taludhellingshoek	°
d	= dikte bekledingslaag op talud	m
h	= waterdiepte	m
H	= golfhoogte	m
H_s	= significante golfhoogte	m
H_{so}	= significante golfhoogte op diep water	m
T	= gemiddelde golfperiode	s
L	= golflengte	m
L_o	= golflengte op diep water	m
$\lambda = \frac{2\pi}{L}$	= golfgetal	m ⁻¹
$\hat{p}_o$	= amplitude golfdrukverloop op bodem c.q. langs talud	kN/m ²
r	= versterkingsfactor voor golfbreking	-
q	= (golfflap)belasting op het talud	kN/m ²
q_u	= grensdragvermogen bodem/talud (maximaal opneembare belasting)	kN/m ²
τ	} = schuifspanning c.q. schuifspannings- variatie in het zand	kN/m ²
$\Delta\tau$		

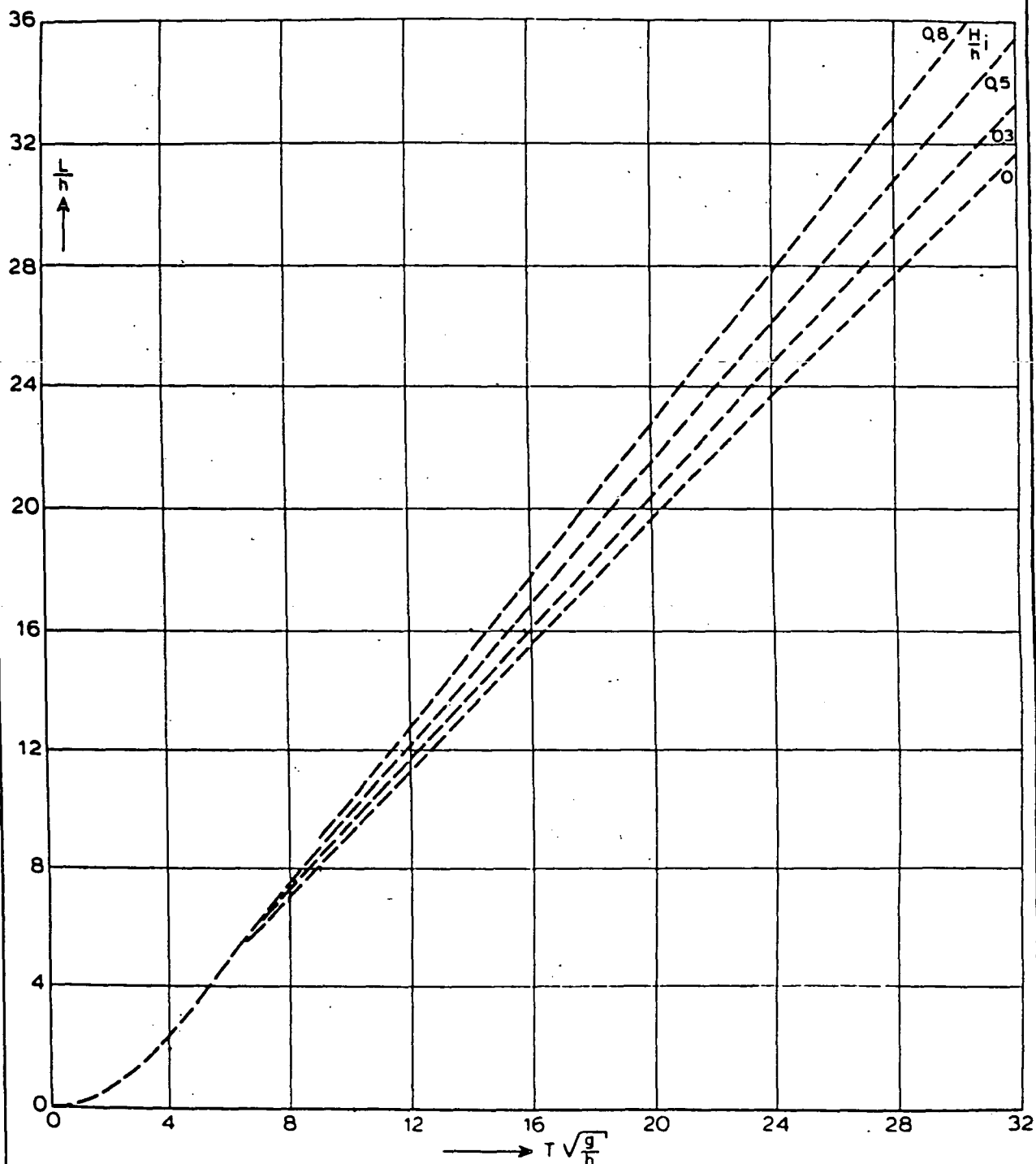
σ	= grondnormaalspanning	kN/m ²
σ'	= effectieve (korrel-)normaalspanning	kN/m ²
σ'_{v_0} } σ'_{z_0} }	= initiële korrelnormaalspanning op een vlak evenwijdig aan het talud	kN/m ²
p	= (poriën)waterspanning	kN/m ²
p_{hydr}	= hydrostatische waterspanning	kN/m ²
$\Delta p = p - p_{hydr}$	= wateroverspanning	kN/m ²
$\Delta p'$	= wateroverspanningspercentage (Δp als percentage van de oorspronkelijk als maatgevend gekozen (referentie) korrelspanning)	%
$\bar{\Delta p}'$	= maximaal toelaatbaar wateroverspanningspercentage in talud	%
n_1	= aantal cycli tot ongedraineerde verweking (niet voorbelast)	—
n_{1p}	= aantal cycli tot ongedraineerde verweking (voorbelast)	—
S	= consolidatiepercentage in het zand	%
ϕ	= hoek van inwendige wrijving van het zand	°
K_w	= compressiemodulus poriënvloeistof	kN/m
K_k	= compressiemodulus korrelskelet	kN/m
G	= glijdingsmodulus	kN/m
ν	= dwarscontractiecoëfficiënt	—
$b = \frac{1}{2}B$	= breedte belast oppervlak bij golfklap	m

11. Referenties

1. SCW Record 4, 1979
Various Properties of Natural Sands for Netherlands Highway Engineering.
2. RWS, 1978
Eisen 1978 voor bouwstoffen in de wegenbouw
Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
3. LGM, 1968
De spanningen in een met water verzadigd, half oneindig massief, dat aan de oppervlakte belast wordt met een periodieke waterspanningsverandering
LGM, CO 14683-II (H.L. Koning).
4. Yamamoto, T., Koning, H.L., Sellmeijer, H. en Hijum, E. van, 1978
On the Response of a Poro-elastic Bed to Water Waves
J. Fluid Mech., (1978), Vol. 87, part 1, pp. 193-206.
5. Seed, H.B., Idriss, I.M., 1971
Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential
J.S.M.F.D., ASCE, Vol. 97, SM 9, Sept. 1971, pp. 1249-1273.
6. Seed, H.B., 1976
Evaluation of Soil Liquefaction Effects on Level Ground during Earthquakes
ASCE Annual convention 'Liquefaction Problems in Geotechnical Engineering', Philadelphia, USA, Sept. 1976, pp. 1-104 (State-of-the-art Paper).
7. Seed, H.B., Rahman, M.S., 1978
Wave-Induced Pore Pressure in relation to Ocean Floor Stability of Cohesionless Soils
Marine Geotechnology, Vol. 3, No. 2, 1978, pp. 124-150.

8. Liam Finn, W.D., Bransby, P.L., Pickering, D.J., 1972
Effect of Strain History on Liquefaction of Sand
J.S.M.F.D., ACSE, Vol. 96, SM 6, Nov. 1970, pp. 1917-1939.
9. Bjerrum, L., 1973
Geotechnical Problems involved in Foundations of Structures
in the North Sea
Geotechnique 23, No. 3, 1973, pp. 319-358.
10. Lee, K.L., Focht, J.A., 1975
Liquefaction Potential at Ekofisk Tank in North Sea
J.G.E.D., ASCE, Vol. 101, No. GT 1, Jan. 1975, pp. 1-18.
11. Seed, H.B., Mori, K. and Chan, C.K., 1977
Influence of Seismic History on Liquefaction of Sands
J.G.E.D., ASCE, Vol. 103, GT 4, April 1977, pp. 257-270.
12. Lee, K. and Sills, G.C., 1981
The Consolidation of a Soil Stratum including Self-Weight
Effects and Large Strains
Int. Journal for Num. and Anal. Methods in Geomechanics,
Vol. 5, 1981, pp. 405-428.
13. Gibson, R.E., Schiffman, R.L. and Pu, S.L., 1970
Plane Strain and Axially Symmetric Consolidation of a Clay
Layer on a Smooth Impervious Base
Quart. Journ. Mech. and Appl. Math., Vol. XXIII, Pt 4,
1970, pp. 505-520.
14. Lambe, T.W. and Whitman, R.V., 1979
Soil Mechanics, SI Version
Series in Soil Engineering, MIT
John Wiley & Sons, New York, 1979.
15. LGM, 1984
Inventarisatie schademechanismen aan kust- en oeververdedigingen
LGM, CO-416409/1, 1984
(WL, M 1795/M 1881, deel XI, 1984).

16. Rijkswaterstaat, Dir. Zuiderzeewerken, Dienstkring NOP, 1984
Rapport Stormschade, Meerdijken Noordoostpolder, jan. 1984
Rapport Stormschade, Houtribdijk, febr. 1983 en jan. 1984.
17. WL M 1795/M 1881, deel XII, LGM CO-269960/2, 1983
Taludbekleding van gezette steen, fase 4
Grootschalig modelonderzoek in de Deltagoot van een steen-
zetting op zand, december 1983.
18. Ishihara, K. and Yamakazi, A., 1984
Analysis of Wave-induced Liquefaction in Seabed Deposits
of Sand
Soils and Foundations, Vol. 24, No. 3, Sept. 1984, pp. 85-100.
19. Oumeraci, H., 1981
Belastung von Betonplattendeckwerken durch Windwellen und
ihre Berücksichtigung bei der Bemessung
Dissertation für Doktor des Wissenschaftszweiges Ingenieur-
wesen, Techn. Universität Dresden, 1981, 170 blz. + bijlagen.
20. WL M1612- XVII, LGM CO 251440/96, 1981
Onderzoek dynamische verhangen, golfopwekking en golfdruk-
berekeningen, december 1981.
21. Leidraad voor de toepassing v-n asfalt in de waterbouw, 1984
RWS, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1984.



$\frac{H}{h} = 0 \equiv$ lineaire theorie



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 56 92 23

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

ad

get.

VERBAND GOLFLENGTE - GOLFPERIODE (uit [20])

CO- 416640

gez.

BUL. 1

form
A4

Verweking van zand onder een steenzetting talud 1:3
onder invloed van golfbelasting

Verslag experimenteel onderzoek in de Deltagoot

Grondmechanica Delft

CO-416751/16

Ldb/Loo/ed

september 1986

Verweking van zand onder een steenzetting talud 1:3 onder invloed van golfbelasting.

Verslag experimenteel onderzoek in de Deltagoot

Inhoud

	<u>Blz.</u>
1. Inleiding	1
2. Oriënterende analyse proefopstelling	3
3. De proefopstelling in de Deltagoot	7
4. Conditionering en eigenschappen zand	12
5. Het onderzoek en de resultaten	19
5.1 Proevenprogramma en metingen	19
5.2 Verloop van het onderzoek, schade aan het talud	21
5.3 Meetresultaten	25
6. Analyse van de resultaten en aanbevelingen voor verder onderzoek	42
7. Samenvatting en conclusies	61

Referenties

bladnummer : - 1 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

1. INLEIDING

In het kader van het onderzoek steenzettingen is in 1985 een buro-studie uitgevoerd waarbij de problematiek van het ontstaan van verweking in een zandlaag direct onder de steenglooing onder invloed van golfbelasting is onderzocht. De burostudie werd afgerond met het verslag "Verweking van zand onder steenzettingen" (LGM CO 416640/16, december 1985, [1]) waarin voorlopige ontwerpcriteria zijn opgenomen. Hoewel de bij de burostudie gebruikte procedure in het algemeen conservatief van opzet was en de resulterende criteria in dit opzicht als veilig werden gekenmerkt werd in het voornoemde verslag aanbevolen, om alvorens over te gaan tot de formulering van een definitief criterium, een experimentele toetsing uit te voeren.

De verificatie werd noodzakelijk geacht vanwege de onzekerheden in de fundamenteel grondmechanische verschijnselen die aanleiding kunnen geven tot stabiliteitsverlies in een zandtalud en vanwege de vereenvoudigingen en schematisaties welke bij de burostudie zijn toegepast.

Op basis van een eerder uitgebracht voorstel werd in de vergadering van de Begeleidingsgroep Steenzettingen van 4 november 1985 besloten om tot uitvoering van een toetsingsonderzoek in de Deltagoot over te gaan.

Het Deltagootonderzoek dat begin april 1986 werd afgesloten stond onder leiding van ir. J. Lindenberg van Grondmechanica Delft die tevens dit meetverslag heeft opgesteld.

bladnummer : - 2 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Naast de hoofddoelstelling "verweking van zand" onder steenzettingen is het onderzoek tevens aangewend om het experimentele informatiebestand "golfdrukken op taluds" uit te breiden. Daartoe werd een groot aantal korte duur proeven in het hoofdproevenprogramma ingepast. De consequenties van de combinatie van de 2 series proeven en het volledige proevenprogramma zijn beschreven in hoofdstuk 5.

In dit verslag worden de opzet, de uitvoering en de belangrijkste meetresultaten van het onderzoek gepresenteerd. Aan de analyse van de resultaten is in dit stadium nog slechts in beperkte mate aandacht besteed. Voor een meer gedetailleerde analyse van een aantal belangrijke cq interessante aspecten worden in hoofdstuk 6 enkele aanbevelingen gedaan.

bladnummer : - 3 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

2. ORIENTERENDE ANALYSES PROEFOPSTELLING

De modelopstelling in de Deltagoot diende zodanig te worden gekozen dat toetsing van de voorlopige criteria met betrekking tot het verwekingsmechanisme mogelijk zou zijn. Dit betekende dat niet alleen moest worden bevestigd dat een goed ontworpen en geconditioneerd talud (vast gepakt zand met goede consolidatie eigenschappen) onder golfbelasting stabiel zou zijn en blijven, maar tevens dat het mechanisme in een meer kritieke situatie ook werkelijk zou optreden. Bovendien zou het verschijnsel in dit tweede geval waargenomen moeten kunnen worden aan de hand van o.a. de waterspanningsregistraties. Omdat het door golven geïnduceerde verwekingsverschijnsel in feite een oppervlakkig verschijnsel is, dat wil zeggen dat de waterspanningsgeneratie relatief het grootst zal zijn aan of juist onder het zandoppervlak, diende rekening gehouden te worden met lage absolute waarden van waterspanningsopbouw.

Onderkend werd dat het detecteren van een (klein) waterspanningsgeneratie-effect uit een cyclisch grillig verlopende registratie problematisch zou kunnen zijn, vooral ook omdat ook andere mechanismen een waterspanningsopzet in de zandfundatielaag kunnen veroorzaken.

bladnummer : - 4 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Ter ondersteuning voor de diverse te maken keuzes bij de proefopstelling zijn eind 1985 een aantal aanvullende verwekingsberekeningen gericht op de in de Deltagoot te realiseren omstandigheden gemaakt volgens de procedure die bij de burostudie [1] werd afgeleid.

De volgende aspecten zijn onderzocht:

- 3 topplaagdikten resp. 0,2 m, 0,35 m en 0,5 m. Bij de eerdere burostudie is alleen een topplagdikte van 0,2 m beschouwd. Omdat in het eerste stadium overwogen is de verwekings toetsing in te passen in het grindonderzoek in de Deltagoot (Waterloopkundig laboratorium M1983, 1985) moest de invloed van grotere topplaagdikten worden bepaald. In een later stadium is een dikte van 0,2 m aangehouden voor het Deltagootonderzoek.
- keuze zand, hetgeen in de berekeningen neerkomt op een variatie van de combinatie van relatieve dichtheid en consolidatie-eigenschappen. Aanvullende berekeningen voor lage relatieve dichtheden $R_d = 30\%$ en $R_d = 50\%$ werden gemaakt. De resultaten zijn weergegeven in figuur 1 voor een topplagdikte van 0,2 m (Uit deze grafiek blijkt de grote gevoeligheid van de wateroverspanning voor de relatieve dichtheid van het zand.). Geconcludeerd werd dat fijn zand met $d_{50} < 150\mu\text{m}$ in de proefopstelling moest worden gebruikt. Voor het optreden van een waterspanningsgeneratie van voldoende grootte (meetbaar!) diende dit zand tot een relatieve dichtheid tussen 30 en 45% te worden geconditioneerd. Uit figuur 1 blijkt dat een maximaal waterspanningspercentage van ruwweg 15% à 25% optreedt voordat stabiliteitsverlies wordt ingeleid. Dit betekent een max. waterspanningsstijging van circa 3 kN/m² op 1 m onder het zandoppervlak.

bladnummer : - 5 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

- Het verloop van de waterspanningsopbouw als functie van de tijd is meer in detail met behulp van consolidatieberekeningen vastgesteld. Geconcludeerd werd dat de proefduur maximaal 1/2 uur bij onregelmatige golven en maximaal 1/4 uur bij regelmatige zou moeten bedragen. Aan het eind van deze periode zal zich een nagenoeg stationaire toestand (of een afnemende waterspanning) hebben ingesteld.
- Het verloop van de waterspanningsgeneratie als functie van de diepte is globaal geanalyseerd aan de hand van enkele numerieke consolidatieberekeningen. Het doel van deze analyse was enerzijds een betere onderbouwing te verkrijgen van de niveau's waarop de waterspanningen moesten worden gemeten en anderzijds om de onderrand in de proefopstelling te kunnen definiëren. Wat het eerste betreft is gekozen voor de niveau's 0,4 en 1,0 m onder het zandoppervlak waarbij de diepte 0,4 m als meest indicatief voor het waarnemen van het verwekingsmechanisme moet worden beschouwd.

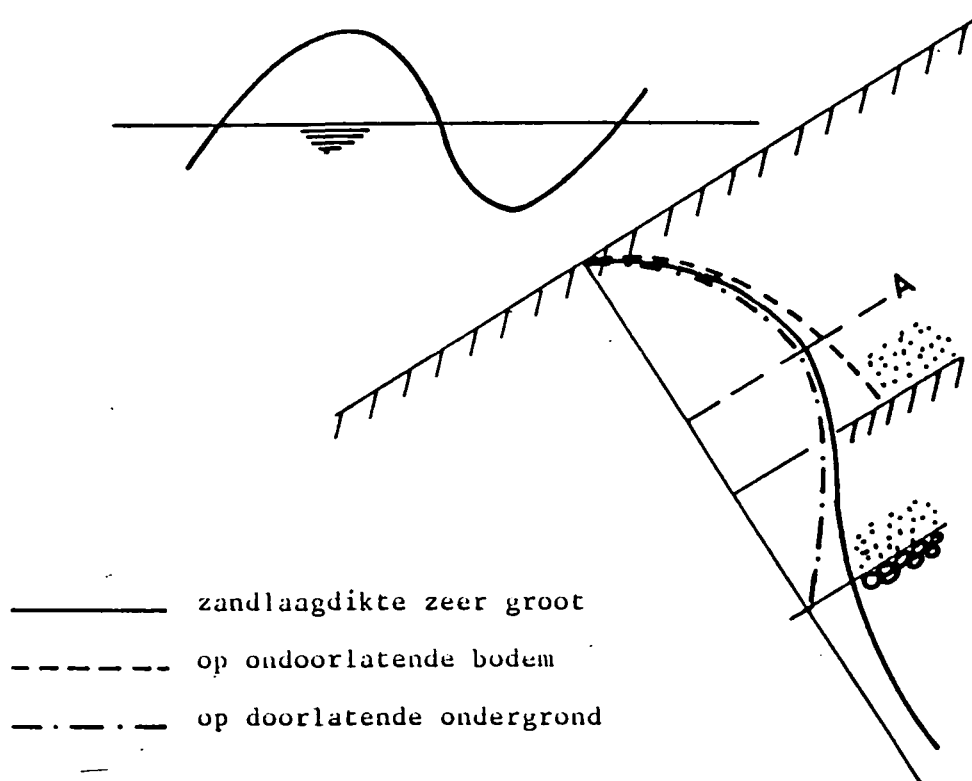
Voor de onderrand werden 2 mogelijkheden onderscheiden, namelijk:

- zand op een ondoorlatende (beton) bodem
- zand op een doorlatende onderlaag

Er zijn enkele oriënterende berekeningen uitgevoerd om de gewenste zandlaagdikte voor beide gevallen te kunnen bepalen. In de figuur is kwalitatief aangegeven wat het effect van de onderrand is op het verloop van de waterspanning met de diepte ten opzichte van het verloop in een zeer dikke zandlaag. Verondersteld is dat de onderrand dieper ligt dan het niveau (A) waarop bij een zeer dikke zandlaag de maximum waterspanning optreedt. Een ondoorlatende onderrand geeft een verhoging van de waterspanning, een doorlatende rand een verlaging! Geconcludeerd werd dat de zandlaagdikte 1 m of meer zou moeten zijn bij een ondoorlatende bodem en 1,50 m of meer bij een doorlatende onderlaag.

bladnummer : - 6 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

In de proefopstelling is gekozen voor de laatstgenoemde optie.



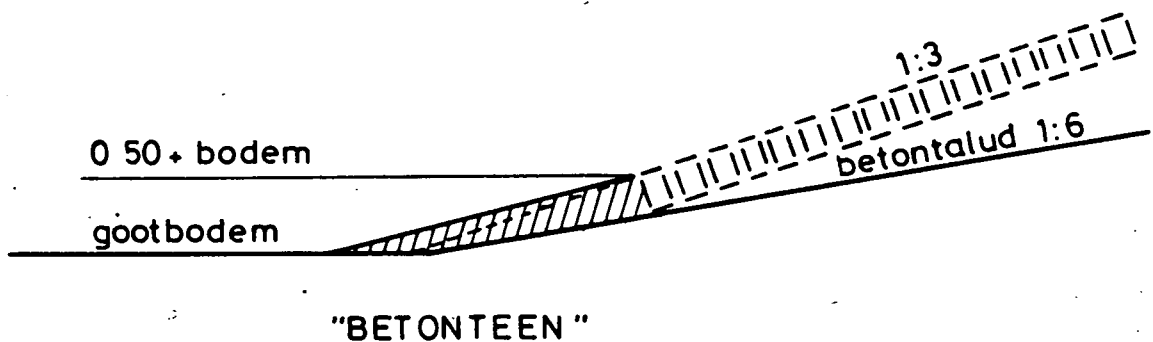
Gegenereerde waterspanning als functie van de diepte

bladnummer : - 7 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

3. DE PROEFOPSTELLING IN DE DELTAGOOT

In figuur 2 is een dwars doorsnede gegeven van de proefopstelling. Op een reeds aanwezig betontalud onder helling 1 : 6 is vanuit de teen van dit talud een glooiing gebouwd onder helling 1 : 3.

Afgezien van de onderste meter langs het talud is deze glooiing bekleed met basaltbetonzuilen dik 0,2 m. Onderaan het talud is een betonnen teenconstructie aangebracht om afschuiven van de deklaag te voorkomen.



Nadat de grindkern was gestort en onder profiel gebracht is deze afgedekt met een geotextiel nicolon 66786, ter breedte 5,20 m. Aan beide zijden is dit geotextiel, waarvan de $0 \text{ o } 130 \mu\text{m}$ bedraagt, over ca 10 cm hoogte omhoog tegen de gootwand aangezet.

Vervolgens zijn deze aansluitingen ingegoten met gietasfalt.

Het zand, ($d_{50} = 145 \mu\text{m}$, zie korrelverdelingsdiagram figuur 3), is hierop in 5 lagen van circa 0.30 m in dikte aangebracht en verdicht.

De opzet hierbij was om 2 strookbreedtes van elk 2,5 m in dwarsrichting van de goot te maken met verschillende relatieve dichtheid van het zand. In tegenstelling tot wat eerder de bedoeling was is geen waterdichte afscheiding tussen deze twee verschillend geconditioneerde zandlagen aangebracht. Verwacht werd dat slechts kleine afwijkingen als gevolg van overdracht van wateroverspanning zouden optreden in de beide meerraaien op 1,5 m afstand uit de overgang in het midden van de goot. Vandaar dat alle waterspanningsmeters en drukopnemers op een afstand van 1 m uit de

bladnummer : - 8 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

gootwanden zijn geplaatst. De opgedane ervaringen bij de zandconditionering en de gevonden zandkarakteristieken zijn in hoofdstuk 4 beschreven.

Tijdens het opbouwen van de zandlaag zijn waterspanningsmeters aangebracht en ingebed op de vooraf gekozen plaatsen, zie figuren 4 en 5. De bovenzijde van de 1,5 m dikke zandlaag is met een rei onder helling 1 : 3 afgevlakt en eveneens met een nicolon 66786 geotextiel afgedekt en ingegoten met asfalt. Vervolgens is direct op het geotextiel de basaltstenenzetting dik 0,2 m aangebracht onder 1 : 3 tot het niveau van de gootrand + 7,0 m en bovendien horizontaal naar achteren over circa 2 m lengte. Om verstoring van het zandoppervlak te beperken is bij het met de hand zetten van de betonzuilen gewerkt vanaf het reeds gezette gedeelte aan de onderzijde. In dit talud zijn de geïnstrumenteerde stenen opgenomen. Na inmeting achteraf bleken deze stenen steeds minder dan 2 cm af te wijken van de vooraf gekozen lokaties in de lengterichting in het talud. De afwijkingen in dwarsrichting van de Deltagoot waren soms iets groter tot eenmaal circa 6 cm.

De kabels van de waterspanningsmeters in het zand zijn door het zand naar de oostelijke gootwand gevoerd. Deze kabels zijn samen met de kabels van de geïnstrumenteerde stenen (welke over het talud zijn geleid met bevestigingen aan de stenen om elke circa 30 cm afstand) binnen 2 metalen geleideplaten langs de wand verticaal omhooggevoerd.

bladnummer : - 9 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

In totaal zijn meetsignalen van 69 instrumenten in het HP computer bestand ingebracht te weten:

- 9 peilstokken
- 2 golfhoogtemeters
- 1 golfploopmeter
- 21 waterspanningsmeters in het zand
- 14 waterspanningsmeters in de onderzijde van de basaltzuilen
- 22 golfdrukmeten in het bovenzijde van de basaltzuilen

Zoals in de figuren 4 en 5 is aangegeven zijn 29 waterspanningsmeters en 20 golfdrukopnemers in de meetraai op 1 m afstand uit de oostelijke gootwand geplaatst (in de zone met lagere dichtheid van het zand) en 6 waterspanningsmeters en 2 golfdrukopnemers in de meetraai op 1 m afstand uit de westelijke gootwand (hogere zanddichtheid). Kort voor aanvang van het onderzoek werd vastgesteld dat 2 drukopnemers en 1 waterspanningsmeter defect waren (aangegeven in de figuren 4 en 5).

Er zijn 2 soorten geïnstrumenteerde stenen gebruikt. In de door Grondmechanica Delft toegeleverde 8 stenen waren de beide meetinstrumenten bevestigd in een stalen pijp. Deze pijp werd in een vooraf midden in de steen geboord gat geplaatst en waterdicht ingelijmd.

De waterdichte scheiding tussen de opnemers in de pijp is verzekerd door middel van een rubberring.

Door het Waterloopkundig Laboratorium werden 14 geïnstrumenteerde stenen gemaakt. In 6 hiervan bevonden zich 2 opnemers (boven en onderzijde). De overigen bevatten alleen een golfdrukopnemer aan de bovenzijde. In een vooraf geboord gat was een plastic buitenbuis gelijmd waarin, nadat de talusbekleding was gezet, een binnenbuis met de opnemers waterdicht werd bevestigd en aangesloten.

bladnummer : - 10 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Het bereik van de meetdraad van de capacitieve golfoplopmeter bedroeg 12 m lengte langs het talud. De meetdraad is bevestigd tussen 3 m+ en 7 m+.

De 2 toegepaste golfhoogtemeters zijn eveneens van het type capacitieve draad, bevestigd aan een in het water gehangen blok. Tijdens het onderzoek bleek dat aan dit voor de Deltagoot tamelijk nieuwe meetprincipe nog enkele onvolkomenheden kleefden. Hoewel de problemen meestal binnen korte tijd konden worden opgelost kon tijdens de proeven DGB06, DGB07, DGB08 en DGB09 slechts over één golfhoogtemeter worden beschikt.

Nadat het talud in gereedheid was gebracht en volledig was geïnstrumenteerd is op vrijdagmiddag 21 maart 1986 de waterstand in de goot op 6,5 m hoogte ingesteld. Hierdoor werd inwatering van het talud verkregen en een langzame vulling van het gedeelte achter de grindkern. Op de zaterdagavond is de pomp in deze waterberging gestart waarmee het water weer naar voor het talud werd gepompt. Met de pomp werd een waterstand van 4,50 m achter de grindkern gehandhaafd. Nadat op maandagmorgen 24 maart een debietmeting was uitgevoerd (zie hoofdstuk 4) werd de pomp uitgeschakeld en de waterstand voor het talud verlaagd naar 5,5+ m. Vervolgens is op 2 plaatsen (circa 1,5 m uit oostwand en 1,5 m uit westwand) juist onder het waterniveau het zandoppervlak blootgelegd door verwijderen van een aantal basaltzuilen en lossnijden van het geotextiel. Op deze 2 plaatsen zijn nucleaire dichtheidsmetingen uitgevoerd tot circa 0,30 m onder het zandoppervlak en zijn enkele monsters genomen van het zandoppervlak ter bepaling van de waterverzadigingsgraad. Nadat het talud weer was hersteld is de waterstand in de goot langzaam verlaagd tot 4.50 + m. Tenslotte werd kort voor aanvang van de proeven een nulpeiling uitgevoerd. In dwarsrichting van de goot waren daartoe 9 peilstokken met hart op hart afstand 0,5 m geïnstalleerd waarmee op elke 0,5 m afstand in lengterichting van de goot de taludhoogte werd vastgesteld.

bladnummer : - 11 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

De horizontale verplaatsing 0,5 m werd automatisch ingesteld. De taludniveau's zijn op electronische wijze gemeten en ingevoerd in het HP data acquisitie systeem. Het resultaat van de nulpeiling is weergegeven op figuur 6.

De resultaten van de latere peilingen tijdens en na het onderzoek zijn in hoofdstuk 5 samengevat in de vorm van relatieve verschillen ten opzichte van de nulpeilingen.

bladnummer : - 12 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

4. CONDITIONERING EN EIGENSCHAPPEN ZAND

Het voor het onderzoek in de Deltagoot gekozen zand ("Blauwe slenk") is te omschrijven als een "schoon" (nagenoeg geen silt), zeer uniform, fijn zand. Het korrelverdelingsdiagram in figuur 3 levert de volgende karakteristieken.

d_{50}	= 145 μm
d_{10}	= 107 μm
d_{90}	= 200 μm
d_{90}/d_{10}	= 1,87
$\%<60 \mu\text{m}$	= 2 %

Van een monster van de toegeleverde circa 165 m³ zand is door Grondmechanica Delft het maximum en minimum poriëngehalte bepaald. Gemiddeld werd gevonden:

$$n_{\text{max}} = 51,8\%$$
$$n_{\text{min}} = 38,7\%$$

Deze vrij hoge extreme poriëngehaltes kunnen worden toegeschreven aan de grote uniformiteit van de korrels.

bladnummer : - 13 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

In hoofdstuk 2 is aangegeven dat naar een relatieve dichtheid van circa 35% moest worden gestreefd opdat een meetbare waterspanningsgeneratie in het zand zou optreden.

Uit vroegere Deltagoot ervaringen met de conditionering van zand in een helling was bekend dat het verkrijgen van een vooraf gewenste dichtheid moeilijk te realiseren was. Vandaar dat de dichtheid tijdens het laagsgewijs prepareren van het zand regelmatig met behulp van volumesteetringen werd gecontroleerd. Aan de hand van de uitkomsten werd de verdichtingsintensiteit, indien nodig, aangepast. Ten behoeve van het verdichten waren twee trilplaten beschikbaar.

-trilplaat type TC60, slagkracht 3500 kgf, gewicht 760 kg ("zwaar")

-trilplaat type VC18, slagkracht 1500 kgf, gewicht 170 kg ("licht")

De lichte trilplaat werd gebruikt over 2,5 m breedte aan de oostzijde van de goot, de zware plaat aan de westzijde.

Nadat de eerste twee lagen van circa 0,30 m dikte op het ondergeotextiel waren aangebracht en beide lagen waren verdicht door overal 2 maal met de trilplaat van boven naar beneden over het oppervlak te bewegen is de eerste serie steekringmonsters genomen. De resulterende poriëngehaltes gaven een losse pakking te zien en vrijwel geen verschil tussen de vaste en losse zijde in de goot. Besloten is toen om de verdichtingsintensiteit te vergroten, met name aan de "vaste" zijde. Na deze extra verdichting zijn opnieuw steekringmonsters genomen uit de circa 0,60 m dikke zandlaag.

De resultaten waren als volgt:

-westzijde ("vast") $n_{\text{gem}} = 45,5\%$

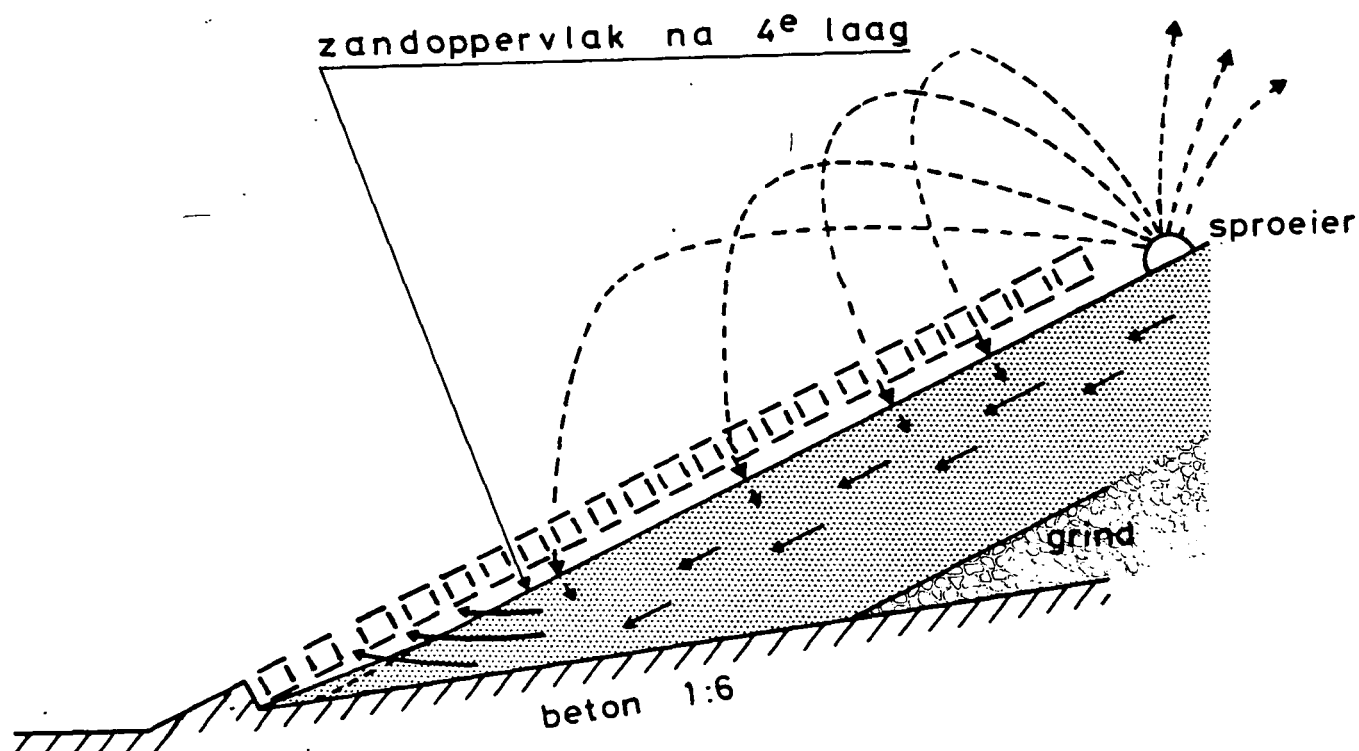
$Rd_{\text{gem}} = 48 \%$

-oostzijde ("los") $n_{\text{gem}} = 47,8\%$

$Rd_{\text{gem}} = 31 \%$

bladnummer : - 14 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Beide relatieve dichtheden waren iets lager dan de gewenste waarden. Verwacht werd dat extra verdichtingsgangen weinig tot geen extra effect zou sorteren. Anderzijds bedroeg het watergehalte van de steekringmonsters gemiddeld 8,4%. Hoewel geen proctorproef op het gebruikte zand was uitgevoerd is deze 8,4% voor de meeste zanden lager dan het optimum watergehalte voor verdichting. Vergelijk hiertoe tabel 1 in [1] waaruit een gemiddeld optimum watergehalte van 12,5% voor 8 zandsoorten volgt. Besloten werd het zand in het talud, nadat de 4e laag van 0,30 m was verwerkt, gedurende een nacht te sproeien. Hoewel hierdoor de vochtigheidsgraad van het zand toenam, leverde het sproeien ook een probleem op. Het surplus aan toegevoerd water zakte namelijk door het zand naar de teen van het talud alwaar het vanwege de betonbegrenzing (1:6 talud en betonteent) alleen via het zandoppervlak kon verdwijnen. Hierdoor ontstond een "oververzadigde" toestand in en uitzakken van het zand ter plaatse van de teen.



- bladnummer : - 15 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Dit zand werd verwijderd en vervangen door nieuw zand en opnieuw verdicht. Nadat de 5e laag was aangebracht en verdicht zijn een groot aantal steekringmonsters genomen op diepten 0,10 m, 0,25 m en 0,45 m. De gevonden dichtheden waren:

-westzijde ("vast")

n variatie tussen 44,4% en 46,9%

$n_{\text{gem}} = 45,7\%$

$Rd_{\text{gem}} = 47\%$

-oostzijde ("los")

n variatie tussen 47,2 en 49,7(!),

$n_{\text{gem}} = 48,1\%$

$Rd_{\text{gem}} = 28\%$

Er werd geen consistente variatie van de dichtheid met de diepte onder het zandoppervlak gevonden. Nadat het talud gereed was gemaakt is de waterstand in de goot gedurende een weekend op circa 6,5 m + gootbodem gehandhaafd ter verhoging van de verzadigingsgraad in het zand. Het door de dam stromende water werd aan de achterzijde weggepompt. Na het weekend is de waterstand verlaagd tot 5,5 m + en zijn juist onder de waterlijn nucleaire dichtheidsmetingen en luchtgehaltemetingen uitgevoerd op 2 plaatsen vanaf het daartoe vrijgemaakte zandoppervlak (zie ook hoofdstuk 3).

bladnummer : - 16 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

De resultaten van deze metingen tot een diepte van 0,3 m onder het zandoppervlak waren als volgt.

Nucleaire dichtheidsmetingen (troxler)

- westzijde

n tussen 45,9% en 47,3%, n gem = 46,8%

Rd_{gem} = 38 %

verzadigingsgraad gemiddeld 88%

- oostzijde

n tussen 46,6% en 49,6%, n gem = 48,6%

Rd_{gem} = 24 %

verzadigingsgraad gemiddeld 94%

Luchtgehaltemetingen

- westzijde verzadigingsgraad circa 94%

- oostzijde verzadigingsgraad circa 98%

De metingen met het luchtgehalteapparaat zijn minder betrouwbaar omdat bij het steken van de geroerde monsters lucht kan ontsnappen indien de monsters relatief veel lucht bevatten. Vandaar dat de beide met de nucleaire meting gevonden verzadigingsgraden moeten worden gehanteerd.

bladnummer : - 17 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Resumerend zijn de volgende gemiddelde dichtheden van het zand nabij het oppervlak gemeten.

	steekringmonsters	nucleaire meting
westzijde ("vast")	n gem = 45,7% Rdgem = 47%	n gem = 46,8% Rdgem = 38%
oostzijde ("los")	n gem = 48,1% Rdgem = 28%	n gem = 48,6% Rdgem = 24%

Enerzijds is het resultaat van de nucleaire meting betrouwbaarder dan die verkregen met de steekringmonsters. Daar staat tegenover dat de nucleaire meting slechts in een locatie per gootzijde is uitgevoerd en wellicht op een plaats met een dichtheid lager dan de gemiddelde dichtheid. Voor de analyse van de proefresultaten wordt uitgegaan van het gemiddelde resultaat ofwel van

westzijde	$n \text{ gem} = \frac{45,7 + 46,8}{2} = 46,2\%$
	$Rdgem = 42\%$
Oostzijde	$n \text{ gem} = \frac{48,1 + 48,6}{2} = 48,4\%$
	$Rdgem = 26\%$

bladnummer : - 18 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Kort voordat de waterstand van 6,5 m + tot 5,5 m + werd verlaagd werd een debietmeting uitgevoerd bij een stationaire toestand met 1,46 m verval over de dam. Gemeten werd een debiet van $2,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$. Indien wordt verondersteld dat het doorstroomoppervlak 60 m^2 bedraagt en het verval over de zandlaag 80% bedraagt van het totale verval (dat wil zeggen 20% weerstand wordt verondersteld in geotextielen, steenzetting en grindkern) dan kan een gemiddelde doorlatendheidscoëfficiënt van het zand van $5,10^{-5} \text{ m/s}$ worden afgeleid.

Deze doorlatendheid is duidelijk lager dan die gemeten tijdens de doorlatendheidsproef in het Laboratorium voor Grondmechanica op het zandmonster dat in december 1985 (dus niet een monster van het zand in de Deltagoot opstelling) vanuit het zanddepot is toegeleverd. Voor een overeenkomstig poriëngehalte (46 à 48%) bedroeg de doorlatendheidscoëfficiënt van dit monster circa $3,10^{-4} \text{ m/s}$.

bladnummer : - 19 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

5. HET ONDERZOEK EN DE RESULTATEN

5.1 Het Proevenprogramma en de metingen

In de inleiding van dit verslag is gemeld dat naast het hoofddoel van het onderzoek gericht op "verweking van zand onder een steenzetting" de opstelling in de Deltagoot kon worden gebruikt om het informatiebestand "golfdrukken op taluds" uit te breiden. Hiertoe is door ir. A. Burger van het Waterloopkundig Laboratorium een lijst van gewenste proeven toegeleverd.

Tesamen met het eerder opgestelde programma voor de verwekingsproeven is één proevenprogramma opgesteld waarmee aan beide wensenlijsten kon worden tegemoet gekomen. Dit proevenprogramma is weergegeven in tabel 1.

De proeven zijn genummerd DG(B of L) 01 t/m 25. De letter B refereert naar proeven ten behoeve van "het drukkenbestand", de letter L geeft aan dat de proef een wezenlijk onderdeel is van de verwekingstoetsing. De proeven met onregelmatige golven DGB 10 en DGB 12 waren ook opgenomen (met iets andere golfsturing) in het oorspronkelijke proevenprogramma voor "toetsing verweking van zand" en vervulden een dubbelfunctie in het totaalprogramma.

In het proevenprogramma zijn zowel proeven met regelmatige als onregelmatige golven opgenomen. Voor proeven met regelmatige golven ten behoeve van het golfdrukkenbestand volstond een korte proefduur 2 à 3 min. Vanwege de gewenste hoge bemonsteringsfrequentie bij deze proeven (25 Hz) was het hoogste aantal te bemonsteren kanalen 36. Dit betekent dat tijdens deze proeven geen meetsignalen werden verkregen van circa 20 opnemers in het zand en aan de onderzijde van de basaltstenen.

bladnummer : - 20 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Omdat uiteindelijk "onherstelbare" schade optrad tijdens proef DGB18 en het onderzoek moest worden afgebroken heeft dit tot gevolg gehad dat deze 20 opnemers niet hebben gefunctioneerd tijdens de proef met de omvangrijke schade. Voor de proeven t.b.v. "toetsing verweking van zand" en voor de proeven met onregelmatige golven t.b.v. het golfdrukkenbestand volstond een bemonsteringsfrequentie van 10 Hz. De maximale proefduur van de proeven voor "toetsing verweking van zand" (zowel regelmatige als onregelmatige golven) werd op 1 uur gesteld. Dit is langer dan de berekende $1/4$ resp. $1/2$ uur benodigd voor evenwicht van de wateroverspanning (zie hoofdstuk 2) .

In grote lijnen is de volgorde van het proevenprogramma zodanig gekozen dat achtereenvolgens series proeven met constante golfperiode werden uitgevoerd met per serie een toenemende periode. Binnen elke serie proeven werd de golfhoogte in kleine stappen verhoogd. De achtergrond hierbij was dat op deze wijze geleidelijk, een, voor het verschijnsel van cyclische waterspanningsgeneratie in het zand belangrijk, voorgeschiedeniseffect werd opgebouwd.

De volgorde van uitvoering is enigszins afwijkend geweest van de volgorde van nummering in het proevenprogramma.

Begonnen is met de eerste proef uit het programma "toetsing verweking van zand" proef DGL03 met onregelmatige golven met een significante golfhoogte $H_s = 0,50$ m en een periode 4,0 s.

Deze proef werd als de ingolfproef beschouwd ondermeer ten behoeve van het voornoemde voorgeschiedeniseffect in het verwekingsgedrag van zand.

Ook later is van de volgorde in het proevenprogramma afgeweken. Met name is na voltooiing van proef DGB13 besloten om alvorens de lange duur proef DGL14 uit te voeren eerst de serie regelmatige proeven van korte duur bij $T = 5,37$ s te doen (proeven DGB16 t/m DGB18).

bladnummer : - 21 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

In het vervolg van dit verslag zal alleen worden ingegaan op de metingen en verkregen resultaten voor "toetsing verweking van zand" en op de proeven waarbij schade is opgetreden aan de basaltton zetting. De metingen en resultaten in verband met het golfdrukkenbestand worden in een apart verslag beschreven.

In de figuren 7 t/m 10 is aangegeven welke opnemers in de zone, die voor "toetsing verweking van zand" van belang was, hebben gefunctioneerd.

Figuur 7 (oostzijde) en figuur 8 (westzijde) voor het "grote" meetbestand bij de proeven DGL03, DGL06, DGB10 en DGB12 (bemonsteringsfrequentie 10 Hz), figuur 9 (oostzijde) en figuur 10 (westzijde) voor het beperkte meetbestand bij de proeven DGB01, DGB02, DGB04 t/m DGB09, DGB11, DGB13, DGB16 t/m 18.

5.2 Verloop van het onderzoek, schade aan het talud

Tijdens het onderzoek is 4 x schade opgetreden in het talud, (zie tabel 1). De eerste maal trad schade op tijdens de eerste proef DGL03. De schade werd na circa 60 min. golven geconstateerd. De schade kenmerkte zich voornamelijk door zakking van het oppervlak welke plaatselijk zeer aanzienlijk was in de oostelijke goothelft ("losse pakking"). Besloten werd om een volledige peiling van het talud uit te voeren. In figuur 11 is voor het gebied met de meeste verticale zakking aangegeven welke de verschillen in hoogte waren ten opzichte van de nulpeiling voor aanvang van het onderzoek. Door middel van arceringen zijn de gebieden aangegeven waar de zakking meer dan 10 mm respectievelijk meer dan 20 mm bedroeg. Hoewel aan het resulterende hoogteverschil per meetpunt geen al te grote nauwkeurigheid kan worden toegekend moet vanwege de gevonden regelmaat van de zakkingen in de gearceerde gebieden zeker wel waarde worden toegekend aan de gemiddelde tendens. Figuur 11 toont dat er een maximale zakking van circa 40 mm is opgetreden. Ook is te zien dat de meeste zakking in de

bladnummer : - 22 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

oostelijke goothelft met het losgepakte zand plaatsvond. De zetting van het talud boven de stilwaterlijn kon duidelijk visueel worden waargenomen.

Hetzelfde geldt voor de zettingen beneden het niveau van 4,50 m na verlaging van de waterstand. Met name de zakkingen bovenaan het talud in peilraai nr. 2 waren niet verklaarbaar. Het niveau waarop de hevigste golfbelasting optrad tijdens proef DGL03 is duidelijk lager gelegen, dat wil zeggen dat het lager gelegen gebied met aanzienlijke zakking van het talud hiermee moet worden verklaard. Het losgepakte zand aan de oostzijde van de goot zou door de golfbelasting verdicht kunnen zijn.

Als een van de mogelijke oorzaken voor de hooggelegen zakking werd verondersteld dat het onder het zand gelegen geotextiel niet zanddicht zou zijn of niet goed zou afsluiten ter plaatse van de gootwand. Dit betekende dat er zand in het ondergelegen grind zou zijn verdwenen. Vanuit de wangen (de tussen de 2 wanden van de deltagoot gelegen ruimte) kon door de aanwezige perspex ramen geen zand in het grind worden waargenomen. Ook na afloop van het onderzoek werden geen aanwijzingen gevonden dat het zand tijdens de proeven in het grind zou zijn terecht gekomen.

Indien verondersteld wordt dat de gemeten zakking in een punt te wijten is aan verdichting van het zand er recht onder (één-dimensionaal) dan kan worden afgeleid dat een zakking van 3 cm in een oorspronkelijke hoogte van 1,50 m zand met $n = 48,0\%$ leidt tot een gemiddelde poriëngehalte na verdichting van 46,9%. Omdat 3 cm zakking slechts zeer plaatselijk is gevonden zal de verdichting in werkelijkheid zeker minder zijn geweest onder meer door verdringing van het naastgelegen zand.

bladnummer : - 23 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Een andere mogelijke oorzaak voor de taludzakking was het verdwijnen van zand in opwaartse richting langs de gootwand. De inspectie na afloop van proef DGL03 toonde dat het geotextiel op diverse plaatsen had losgelaten van de gootwand. De hechting van het gietasfalt tegen de wanden was onvoldoende om de krachten in het geotextiel veroorzaakt door de zakking van het talud te kunnen opvangen. Na proef DGL03 werden evenwel slechts enkele sporen van zand op het geotextiel tussen de stenen waargenomen. Tevens kon worden waargenomen (binnen de gearceerde gebieden figuur 11) dat de zakking van het zand op diverse plaatsen aanzienlijk meer was dan de uit de peiling volgende zakking.

Op één plaats werd onder de geklemde stenen een holte geconstateerd van bijna 10 cm hoogte. Het betekent dat nog aanzienlijk meer zand "verdwenen" is dan uit de peiling volgde. Een afdoende verklaring hiervoor werd niet gevonden.

Ter plaatse van de gebieden met de grootste zakking werden de Basalton zuilen verwijderd. Vervolgens werd het talud uitgevlakt met grind op het geotextiel, waarna de stenen weer opnieuw werden geplaatst en geklemd. Het geotextiel werd op de plaatsen waar het was losgeraakt weer opnieuw aangegoten met gietasfalt.

Ook na 2 latere proeven, te weten DGL06 en DGB12 diende opgetreden schade te worden hersteld. Behalve plaatselijke zakking waren bij deze beide proeven tevens een aantal stenen omhooggekomen uit het talud. Grotere zakkingen werden weer opgevuld met grind. Bovendien werd het talud na proef DGL06 en DGB12 gedeeltelijk ingewassen met grind om de klemming tussen de stenen te vergroten en werd, evenals na proef DGL03, gietasfalt aangebracht ter plaatse van de aansluitingen tussen geotextiel en gootwand.

bladnummer : - 24 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Het verdwijnen van zand langs het bovenste geotextiel is een belangrijke zorg geweest tijdens het onderzoek. Geconstateerd werd dat het asfalt na de proeven DGL03, DGL06 en DGB12 wel de openingen tussen geotextiel en gootwand opvulde, doch nauwelijks of geen hechting aan de gootwanden leverde. Na de proeven DGL06 en DGB12 kon beneden de waterlijn een weinig zand worden waargenomen tussen de Basaltonstenen op het geotextiel.

De opgetreden taludschade tijdens DGL06 en DGB12 is in figuur 12 weergegeven. Op het moment dat proef DGL06 werd gestopt was één steen geheel uit het talud omhoog gekomen. Tijdens proef DGB12 bleken op dezelfde plaats 3 stenen uit het talud gekomen te zijn. Opmerkelijk is dat deze schade beide keren in het midden van de goot optrad dus op de overgang van het meer en minder intensief verdichte zand. Bij beide proeven waren tevens een aantal andere stenen enkele cm's (maximaal circa 5 cm) omhoog gekomen.

In figuur 12 is tevens het belangrijkste resultaat weergegeven van de na proef DGB12 uitgevoerde peiling van het talud. Plaatselijk is een zakking opgetreden van maximaal 5 cm. Uit het resultaat van de peiling is een s-vormige deformatie van het taludoppervlak af te leiden. De grootste zakkingen treden op een niveau van ongeveer 4,25 m + op, de stijging ongeveer op 3,90 m +. In hoofdstuk 6 zal nader op de oorzaak worden ingegaan.

Tijdens proef DGB18 trad een zeer grote schade op. Tijdens het golven begonnen de Basaltonstenen vanaf circa 5,0 + m (dus 0,5 m boven de gem. waterstand) plotseling naar beneden te schuiven tot onder het gemiddelde waterniveau.

bladnummer : - 25 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Hoewel de golfmachine direct werd stopgezet, bleek later nadat de waterstand in de goot langzaam was verlaagd dat de schade zodanig was, dat herstel zeker enkele dagen zou vergen. Omdat dit niet haalbaar werd geacht werd, na overleg met de opdrachtgever, het onderzoek gestopt. Nadat de basaltstenen van het talud waren verwijderd werd een laatste peiling uitgevoerd direct op het met geotextiel afgedekte zandoppervlak.

In figuur 13 is het resultaat (tussen 2,50 m + en 5,50 m +) van deze peiling ten opzichte van de voorlaatste na proef DGB12 uitgevoerde peiling weergegeven. De hoogteverschillen (gecorrigeerd voor een steendikte van 0,2 m) tonen dat grote verzakkingen tot maximaal ca. 0,4 m zijn opgetreden in het deel van het talud tussen de gemiddelde waterstand en circa 1,50 m beneden de gemiddelde waterstand. Hoewel dieper in de goot, dat wil zeggen lager dan het niveau 2,00 m boven de gootbodem, een gemiddeld verhoging van het zandoppervlak had plaatsgevonden, was er gemiddeld over het gehele talud duidelijk sprake van verlaging van het zandoppervlak. Het uit het talud verdwenen zand had zich voorbij de teen van het talud op de bodem van de goot afgezet. Waarschijnlijk is dit zand ter plaatse van de wanden langs het geotextiel gespoeld.

Opmerkelijk is verder dat de grootste zakkingen van het talud zijn opgetreden in de westelijke goothelft dat wil zeggen in de helft met de vastere pakking van het zand.

5.3. Meetresultaten

In dit verslag worden alleen die resultaten beschreven die van belang zijn voor het toetsings-onderzoek verweking van zand. Voor de resultaten van het deelonderzoek drukkenbestand wordt verwezen naar het verslag [2].

bladnummer : - 26 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Dit betekent dat slechts beknopt wordt ingegaan op de resultaten van de proeven die uitgevoerd zijn ten behoeve van de "uitbreiding drukkenbestand" indien tijdens deze proeven en in de in het zand gemeten waterspanningen geen aanwijzingen zijn gevonden welke van belang zouden kunnen zijn voor de evaluatie van het onderzoek in relatie tot het cyclische (verwekings)-gedrag van zand. Van deze proeven worden geen resultaten in dit verslag gepresenteerd.

De volgorde bij de beschrijving van de proefresultaten in dit verslag komt overeen met de volgorde waarin de proeven zijn uitgevoerd (zie tabel 1). Per proef zijn zowel de tijdens de proef uitgeschreven registraties als de na afloop van het onderzoek gemaakte plots opgenomen.

De resultaten van het onderzoek zijn weergegeven in de figuren 14 t/m 152. In de figuren 14 t/m 41 zijn de tijdens de proeven gemaakte analoge registraties van een beperkt aantal opnemers opgenomen. Dit zijn in totaal 12 opnemers te weten twee golfhoogtemeters, de golfoploopmeter, een golfdrukopnemer (DRO 4) en acht waterspanningsmeters. Alleen vóór aanvang van het onderzoek is voor elke opnemer de uitslag binnen de beschikbare papierbreedte ingesteld.

Dit betekent dat de constante registratie kort voor aanvang van elke proef overeenkomt met de gemiddelde waterstand (GHM, golfoploopmeter) of hydrostatische druk (DRO, WSM).

In de figuren 42 t/m 152 zijn de na afloop van het onderzoek gemaakt plots van de drukregistraties op en in talud opgenomen.

In alle gevallen is de hydrostatische drukcomponent met behulp van de tijdens het onderzoek gemaakte nulreferenties van de totaal geregistreerde druk afgetrokken. Dit betekent dat alleen de door de golven veroorzaakte drukken en drukvariaties zijn weergegeven.

bladnummer : - 27 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Kort voor aanvang van het onderzoek c.q. tijdens de eerste proeven bleken een aantal golfdruk- en waterspanningsmeters niet te functioneren. Deze opnemers zijn DRO8, DRO14, DRO18 en WSM5.

Proef DGL 03 (onregelmatig $T_p = 4,27$ S, $H_{si} = 0,50$ m)
zie figuren 14 t/m 19 (registratie tijdens proef) en 42 t/m 59 (plots)

Deze proef was bedoeld als ingolfproef mede om een voorgeschiedenis-effect in het zand op te bouwen. Gezien het feit dat de na conditioneren resulterende dichtheid van het zand lager was dan vooraf als wenselijk was geformuleerd werd besloten deze proef eerst uit te voeren en relatief lang te golven. Het voorgeschiedenis-effect komt er in principe op neer dan zand minder gevoelig op een bepaald belastingsniveau reageert naarmate het daarvoor vaker een zekere belasting heeft doorstaan. Het effect is groter indien de voorgaande belasting hoger is geweest en indien het zand in de gelegenheid is geweest het door de voorgaande belasting opgewekte waterspanningsincrement te dissiperen. Dit betekent dat het voorgeschiedenis-effect vooral van betekenis is bij onregelmatige golfbelasting. Het zand ondergaat een relatief hoge belasting (H_{max}) die slechts sporadisch voorkomt waardoor dissipatie van waterspanning mogelijk wordt. Het voorgeschiedenis-effect is vooral van belang zolang de totale waterspanningsgeneratie laag blijft (beneden circa 50% relatieve waterspanning).

bladnummer : - 28 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

De figuren 14 en 17 geven aan dat in de beginfase van de proef ter plaatse van de waterspanningsmeters 2 (1,0 m onder zandoppervlak), 7, 8 en 9 (0,4 m onder zandoppervlak en 15 (circa 0,05 m onder zandoppervlak een gemiddelde wateroverspanning optrad. Ter plaatse van opnemer 7 nam de wateroverspanning direct na het begin van de proef geleidelijk toe. Bij de opnemers 8, 9 en 15 was meer sprake van een plotseling verhoging na bijna 2 minuten golven. Vervolgens trad een grillig verloop op met afwisseld toename en afname van de gemiddelde wateroverspanning.

Circa 1,5 minuut na de plotselinge eerste toename begint de afname te overheersen en na ca. 2,5 minuut is de wateroverspanning nog slechts zeer klein. Vergelijking van dit verloop in de tijd ter plaatse van opnemers 8, 9 en 15 met de golfdrukregistratie toont in het algemeen dat een groep hoge golven gepaard gaat met toename van de wateroverspanning in het zand en een aantal opeenvolgende relatief lage golven met een afname.

Ter plaatse van de diepere waterspanningsmeter 2 is tegelijkertijd een sterk gedempt en vertraagd verschijnsel waarneembaar. De individuele golven worden op die diepte niet meer gevoeld in de waterspanning. De toename evenals de afname van de gemiddelde wateroverspanning verloopt veel langzamer vergeleken met die ter plaatse van opnemers 8, 9 en 15. De grootte van de gemiddelde wateroverspanning op 0,05 en 0,4 m onder het zandoppervlak is aanzienlijk, maximaal circa $3,5 \text{ kN/m}^2$ ter plaatse van opnemers 8 en 15, circa 3 kN/m^2 ter plaatse van opnemer 9 en circa 2 kN/m^2 ter plaatse van opnemer 7.

Ter illustratie: Een stationaire waterspanning van circa $3,5 \text{ kN/m}^2$ op een diepte van 0,65 m loodrecht onder een oneindig lang talud onder helling 1:3 komt overeen met een gemobiliseerde hoek van inwendige wrijving van circa 37° .

bladnummer : - 29 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Hierin is het effectieve natte gewicht van grond ($\gamma_g - \gamma_w$) = 10 kN/m³ verondersteld. De diepte 0,65 m is in dit voorbeeld gekozen omdat de normaalspanning op een vlak evenwijdig aan het talud ongeveer overeenkomt met die op 0,40 m onder een zandoppervlak afgedekt met een 0,20 m dikke steenzetting. Indien een golfinvloed met drukamplitude $p_0 = 3$ kN/m², $T = 4$ s op het talud wordt toegevoegd dan resulteert zelfs een maximaal gemobiliseerde hoek van inwendige wrijving van ongeveer 45° (zie ook [1], vanaf blz. 12). Het betekent dat de spanningstoestand op een aantal plaatsen in het zand tijdens de beginfase van proef DGL03 de bezwijktoestand vrijwel moet hebben bereikt. Dit kan mede aanleiding geweest zijn voor de later tijdens en na de proef geconstateerde zakkingen van het talud beneden de gemiddelde waterstand (zie figuur 11).

De figuren 14 t/m 19 geven aan dat het zand tijdens het verdere verloop van de proef (dat wil zeggen na de eerste 2 à 2,5 minuten) steeds minder gevoelig reageert op nieuwe groepen hoge golven. Het geeft een belangrijke aanwijzing voor het feit dat het eerder genoemde voorgeschiedenis-effect heeft plaatsgehad hetgeen inhoudt dat voor hernieuwde opbouw van wateroverspanning een hogere of intensievere belasting vereist is.

De gevoelige reactie in het zand vanaf 2 minuten na de start van de proef was aanleiding om alle beschikbare waterspanningsregistraties uit te plotten voor de periode tussen 100 en 220 s.

De figuren 42 t/m 59 tonen het resultaat. Hieruit kan worden afgeleid dat behalve bij de eerder genoemde waterspanningsmeters ook een aanzienlijke verhoging van de gemiddelde waterspanning is opgetreden ter plaatse van de opnemers 14 (circa 2 kN/m²), 3 (circa 1 kN/m²), 16 (circa 3 kN/m²), 4 (circa 0,8 kN/m²), 10 (circa 2 kN/m²), 17 (circa 1,5 kN/m²) en 11 (circa 2,5 kN/m²).

bladnummer : - 30 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Beneden waterspanningsmeter 11 ($z = 2,70 + \text{gootbodem}$) is geen toename van de gemiddelde waterspanning opgetreden.

De figuren 56 t/m 59 tonen dat in het vastere zand in de westzijde van de Deltagoot geen verandering van de gemiddelde waterspanning heeft plaatsgevonden.

Tevens is te zien dat de hier geplaatste waterspanningsmeters 18 t/m 21 nauwelijks reageren op de golfdrukvariaties.

Proeven DGB01, DGB02, DGB04, DGB05, DGB06, DGB07, DGB08 en DGB09.

Van deze proeven die uitgevoerd zijn in het kader van de neven doelstelling v/h onderzoek uitbreiding drukkenbestand zijn in dit verslag geen registraties en plots van golfdrukken en waterspanningen opgenomen. Met uitzondering van waterspanningsmeter 7 toonde geen enkele van de 35 (36) waterspanningsmeters een verandering van de gemiddelde waterspanning in het zand. Opnemer 7 die in de bovenste raai loodrecht op het talud op 0,4 m diepte onder het zandoppervlak in de oostelijke goothelft was aangebracht, registreerde steeds direct na het begin van het golven een toenemende gemiddelde waterspanning tot een zeker niveau waarna vrijwel geen verandering meer optrad. Na afloop van het golven verdween deze overspanning bij elke proef eveneens vrij snel. De figuren 21 en 37 tonen een identiek verschijnsel tijdens de proeven DGL06 en DGB16.

Verondersteld wordt dat de bij elke proef gemeten wateroverspanning ter plaatse van opnemer 7 verband houdt met het bekende verschijnsel dat tot verhoging van het freatisch vlak onder een steenzetting kan leiden en geen directe relatie heeft met het mechanisme dat aanleiding kan geven tot cyclische verweking van het zand.

bladnummer : - 31 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

De gemiddelde wateroverspanning ter plaatse van opnemer 7 bedroeg bij de hier beschouwde 8 proeven.

DGB01	0,5 kN/m ²
DGB02	0,7 kN/m ²
DGB04	0,9 kN/m ²
DGB05	1,1 kN/m ²
DGB06	1,3 kN/m ²
DGB07	0,85 kN/m ²
DGB08	1,1 kN/m ²
DGB09	1,3 kN/m ²

Proef_DGL_06 (regelmatig, T = 3,11 s, H1 = 0,84 m)
zie figuren 20 en 21 (registraties) en 60 t/m 70 (plots).

Deze proef, waarbij dezelfde regelmatige golfrandvoorwaarden werden opgelegd als tijdens DGB06, was bedoeld om na te gaan hoe het zandbed zou reageren op regelmatige golfbelasting van relatief laag niveau. Hoewel de geplande proefduur 1 uur bedroeg diende het golfschot na circa 4 min. golven te worden stopgezet vanwege in het talud geconstateerde schade (zie hiervoor hoofdstuk 5.2).

De registraties en plots van waterspanningen in het zand tonen alleen verhoging van de gemiddelde waterspanning ter plaatse van de opnemers 1 en 7.

Deze gemiddelde wateroverspanningen bedroegen maximaal 0,3 kN/m² ter plaatse van waterspanningsmeter 1 en 1,3 kN/m² ter plaatse van waterspanningsmeter 7.

Evenals hiervoor wordt ook nu verondersteld dat deze wateroverspanningen niet het gevolg zijn van het cyclische verwekingsmechanisme.

bladnummer : - 32 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Proef_DGB_10 (onregelmatige $T_p = 3,94$ s, $H_{si} = 1,14$ m)

Zie figuren 22 t/m 27 (registraties) en 71 t/m 88 (plots)

Tijdens deze proef met onregelmatige golven trad geen schade op aan het talud zodat de geplande 60 minuten golven konden worden volbracht. Uit de registraties en plots van de waterspanningen volgt dat bij deze proef aanzienlijke gemiddelde wateroverspanningen zijn opgetreden. De grootste waarden worden gevonden in de raai 1 talud met opnemers 9 en 16, resp. $3,5 \text{ kN/m}^2$ en $3,8 \text{ kN/m}^2$ en in de raai met opnemer 10 en 17 met iets lagere maximale waarden van de gemiddelde wateroverspanning (respectievelijk $3,0 \text{ kN/m}^2$ en $3,5 \text{ kN/m}^2$).

Dit betekent dat de grootste wateroverspanningen vrij diep onder het gemiddelde wateroppervlak plaatsvonden. De toename van de wateroverspanning na de start van de proef verloopt langzamer dan tijdens proef DGL 03. Evenzo neemt de afname na het bereiken van de maximale waarde ook veel meer tijd in beslag.

Met name ter plaatse van opnemer 9 blijft zeer lang een hoge gemiddelde waterspanning aanwezig (zie figuren 25 t/m 27). Ook treden tussentijds weer korte periodes op waarin toename van de wateroverspanning overheerst. Hoewel minder duidelijk kan toch, evenals bij proef DGL03, uit het verloop van de waterspanningen tot aan het eind van de proef worden geconcludeerd dat het zand steeds minder gevoelig reageert. Aan het eind van de proef, na 1 uur golven is de gemiddelde wateroverspanning ter plaatse van opnemer 9 nog slechts $1,1 \text{ kN/m}^2$ en ter plaatse van opnemer 10 zelfs volledig verdwenen.

bladnummer : - 33 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Het is vrij waarschijnlijk dat deze versteviging veroorzaakt wordt door het voorgeschiedenis-effect in het verwekingsgedrag van zand. Het langzamere optreden van dit effect bij proef DGB10 ten opzichte van proef DGL03 is dan kwalitatief verklaarbaar uit het bekende gegeven, dat de invloed van voorgeschiedenis relatief het grootst zal zijn bij cyclische belasting op een nog niet eerder belast zand (zoals het zand bij het begin van proef DGL03)

In de hoger gelegen raai loodrecht op het talud met waterspanningsmeters 2, 8 en 15 treden minder hoge gemiddelde overspanningen op. Ook komen de periodes waarin de grootste toenames in deze raai optreden niet overeen met die in de 2 eerder genoemde raaien. Ter plaatse van opnemer 8 is een maximale gemiddelde overspanning van circa $1,6 \text{ kN/m}^2$ geregistreerd. Ook hier is aan het eind van de proef nauwelijks meer wateroverspanning aanwezig.

De hoge waarden van de gemiddelde wateroverspanning met name in de raai met waterspanningsmeters 9 en 16, leiden, evenals bij proef DGL03, tot de conclusie dat het zand dicht bij bezwijken moet zijn geweest.

Aan de westzijde van de goot wordt geen toename van de gemiddelde wateroverspanning in het zand geregistreerd. Wel is opmerkelijk dat waterspanningsmeter 22 aan de onderzijde van een basaltsteen gemiddeld een overdruk vertoont ten opzichte van de met behulp van DRO 21 gemeten golfdruk aan de bovenzijde van die steen. (zie de figuren 85, 86)

bladnummer : - 34 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Proef DGB 12 (onregelmatig $T_p = 3,94$ s, $H_{s_i} = 1,24$ m)

Zie figuren 28 t/m 31 (registraties) en 89 t/m 106 (plots)

Er kon slechts vrij kort worden gegolfd vanwege de na circa 20 min. waar te nemen schade aan het talud. Ofschoon de significante golfhoogte tijdens deze proef iet hoger was dan tijdens proef DGB10 reageren de waterspanningsmeters in het zand duidelijk minder gevoelig. Dit zou het gevolg kunnen zijn van de bij proef DGB10 in het zand opgebouwde verstevigingsinvloed door het voorgeschiedenis-effect in combinatie met de relatief kleine toename van de golfhoogte. De toename van de gemiddelde wateroverspanning ter plaatse van opnemer 7 wordt evenals bij alle voorgaande proeven weer het gevolg geacht van de (ter plaatse van de waterlijn) onder een steenzetting gebruikelijke neiging tot verhoging van het freatisch niveau. Ter plaatse van alle andere waterspanningsmeters treedt nauwelijks verandering van de gemiddelde waterspanning op.

Proef DGB11 (regelmatig $T = 3,79$ s, $H_i = 1,05$ m)

zie figuren 32 en 33 (registraties) en 107 t/m 111 (plots)

In de eerste circa 2 min. nadat het golfschot was gestart trad behalve bij waterspanningsmeter 7 geen verhoging van de gemiddelde waterspanning op (figuren 32 en 33). Ter plaatse van opnemer 7 was direct sprake van een verhoging, evenals bij alle voorgaande proeven. De wijze van toename is evenwel enigszins afwijkend in die zin dat de waterspanning geleidelijk blijft stijgen na een eerste snellere toename. Bij alle voorgaande proeven was de snelle toename in het eerste begin steeds relatief groter ten opzichte van de latere geleidelijke stijging.

Na 2 à 2,5 minuut golven beginnen ook de waterspanningsmeters 8 en 15 een toename te vertonen.

bladnummer : - 35 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Zelfs opnemer 2 op 1 m diepte onder het zandoppervlak registreert een kleine stijging. De waterspanningsmeters 9 en 10, die bij de voorgaande proeven met onregelmatige golven het meest reageerden, vertonen in het geheel geen verandering van de gemiddelde waterspanning.

Het toenemen van de waterspanning ter plaatse van de opnemers 2,7,8, en 15 wordt als het ware onderbroken door het stopzetten van het golfschot na de vooraf ingestelde bemonsteringstijd van 2 minuten. De maximale gemiddelde wateroverspanningen bedragen dan circa $1,5 \text{ kN/m}^2$ bij opnemer 7, circa $0,3 \text{ kN/m}^2$ bij opnemer 2, $1,0 \text{ kN/m}^2$ bij opnemer 8 en circa $1,7 \text{ kN/m}^2$ bij opnemer 15.

Waterspanningsmeter 20 in het vastere zand vertoont tijdens de gehele duur van de proef een kleine wateronderspanning.

Tijdens en direct na afloop van proef DGB11 was het niet duidelijk of de gemeten toename van de gemiddelde waterspanning in de raai met opnemers 2, 8 en 15 het gevolg was van een beginnend cyclisch verwekingseffect of veroorzaakt werd door een zich geleidelijk uitbreidend gebied waarin het eerder genoemde verschijnsel van verhoging van het freatisch vlak merkbaar is.

bladnummer : - 36 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Proef DGB 13 (regelmatig, $T = 3,79$ s, $H_i = 1,23$ m)

Zie figuren 34 en 35 (registraties) en 112 t/m 116 (plots).

In tegenstelling tot bij proef DGB11 nemen de gemiddelde waterspanningen ter plaatse van de waterspanningsmeters 8 en 15 direct toe nadat de eerste golven het talud hebben bereikt. De toename lijkt echter in de 2e helft van de proef te worden versterkt en tegen het eind van de proef te stoppen. De vrijwel constante gemiddelde waterspanning is dan circa $1,8 \text{ kN/m}^2$ ter plaatse van opnemer 8 en circa 3 kN/m^2 ter plaatse van opnemer 15. Ter plaatse van waterspanningsmeter 2 op 1,0 m onder het zandoppervlak treedt een maximale wateroverspanning van circa $0,5 \text{ kN/m}^2$ op. Tegen het eind van de proef begint ook opnemer 9 een toename te vertonen. Deze toename welke wordt onderbroken door het einde van de proef leidt tot een gemiddelde overdruk van circa $1,2 \text{ kN/m}^2$. Tevens reageert waterspanningsmeter 9 tijdens het verloop van de proef steeds gevoeliger op de individuele golven. De combinatie van deze 2 aspecten zou kunnen betekenen dat het cyclische verwekingseffect hierbij een rol heeft gespeeld.

Uitsluitel hierover kan niet worden gegeven vanwege het abrupt stoppen van de proef in wat nog maar een begin van een ontwikkeling tot verweking zou kunnen zijn. Vanwege de aan het eind van de proef nog relatief lage wateroverspanning ter plaatse van opnemer 9 ($1,3 \text{ kN/m}^2$ ten opzichte van maximaal $3 \text{ à } 3,5 \text{ kN/m}^2$ tijdens de proeven DGL03 en DGB10) wordt er vooralsnog van uitgegaan dat de gemiddelde wateroverspanning ter plaatse van opnemer 9 veroorzaakt is door de potentiaalstroming in het talud.

Waterspanningsmeter 20 aan de westzijde van de goot vertoont weer een kleine wateronderdruk tijdens het gehele verloop van de proef.

bladnummer : - 37 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Proef DGB 16 (regelmatig, $T = 5,37$ s, $H_i = 0,47$ m)

Zie figuren 36 en 37 (registratie) en 117 t/m 126 (plots).

De registraties en plots van de waterspanningen geven geen enkele aanwijzing dat er sprake is van invloed van het cyclische verwekingseffect. Wel treden er in een groot gebied in het zand verhogingen van de gemiddelde waterspanning op. Uit het verloop van de waterspanningen ter plaatse van opnemers 7, 8, 9, 2 en 15 (snelle toename in het begin van de proef, vervolgens constant tot aan het einde) moet worden geconcludeerd dat dit werd veroorzaakt door het potentiaalverschijnsel dat optreedt in een talud onder een steenzetting.

Uit de figuren 119 en 120 is af te leiden dat een relatief groot uitstromend verhang optreedt in het zand in de raai loodrecht op het talud met waterspanningsmeters 8, 15 en 25 en golfdrukopnemer 4 op het talud. In deze raai is sprake van een sterk verhoogde gemiddelde waterspanning (opnemers 15 en 8) en tegelijkertijd van een golfdruk met een gemiddelde dat aanzienlijk lager is dan de hydrostatische druk.

Opnemer 20 vertoont weer een kleine wateronderspanning tijdens de gehele proef. Opmerkelijk is dat, hoewel deze opnemer in plaats overeenkomt met waterspanningsmeter 8 aan de voorzijde, het eerder genoemde potentiaalstromingseffect hier niet waarneembaar is.

bladnummer : - 38 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Proef_DGB_17. (regelmatig, $T = 5,37$ s, $H_i = 0,94$ m)

Zie figuren 38 en 39 (registraties) en 127 t/m 138 (plots).

In grote lijnen tonen de waterspanningen in het zand hetzelfde kwalitatieve beeld als bij proef DGB16. De maximale verhogingen van de gemiddelde waterspanning zijn duidelijk groter.

Er zijn ook twee belangrijke verschillen. De eerste is dat waterspanningsmeter 10, in tegenstelling tot bij proef DGB16, nu een verhoogde waterspanning te zien geeft. De toename begint circa 60 sec. nadat de eerste golven het talud hebben bereikt. Weer circa 60 sec. later stopt deze toename en vanaf dit tijdstip treedt vrijwel geen verandering meer op van de gemiddelde waterspanning. Het tweede belangrijke verschil met proef DGB16 en in feite met alle voorgaande proeven is dat nu ook waterspanningsmeter 20 in het vastere zand aan de westzijde duidelijk begint te reageren. De figuren 39, 136 en 137 tonen in het begin van de proef ter plaatse van opnemer 20 nauwelijks tot geen verandering van de gemiddelde waterspanning en vervolgens een toename die doorgaat tot het eind van de proef en volgens figuur 39 nog doorzet nadat het golfschot is stopgezet. De maximale verhoging van de waterspanning ter plaatse van opnemer 20 na afloop van de proef is zelfs iets meer dan die op de overeenkomstige plaats aan de oostzijde bij opnemer 8 ($1,8 \text{ kN/m}^2$ respectievelijk $1,6 \text{ kN/m}^2$).

bladnummer : - 39 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Proef DGB 18 (regelmatig, $T = 5,37$ s, $H_i = 1,38$ m)

Zie figuren 40 en 41 (registraties) en 139 t/m 152 (plots)

In het begin van de proef zijn ongeveer dezelfde tendenzen waarneembaar als bij proef DGB17. Wel is er sprake van aanzienlijk grotere waterspanningsamplitudes. Waterspanningsmeter 10 vertoont direct vanaf het begin een stijging van de gemiddelde waterspanning. Opnemer 20 aan de westzijde doet dit in tegenstelling tot bij alle voorgaande proeven eveneens. Ook hier is de directe golf fluctuatie groter dan tijdens de voorgaande proeven. Opmerkelijk in de beginfase van proef DGB18 is verder de afnemende tendens in de wateroverspanning ter plaatse van de waterspanningsmeters 15, 7 en ook 20 aan de westzijde.

Na circa 60 s golven treedt ter plaatse van een aantal waterspanningsmeters een verschijnsel op dat bij de voorgaande proeven niet is waargenomen; een sterke toename van de amplitude van de waterspanningswisseling welke gepaard gaat met stijgende gemiddelde waterspanning. Dit verschijnsel dat overigens niet bij alle opnemers op hetzelfde tijdstip intreedt is in de figuren 40 en 41 duidelijk waarneembaar ter plaatse van de waterspanningsmeters 7, 8, 2, 9, 10 en ook 20 aan de westzijde.

Op de plots (figuren 147 en 148) is te zien dat dit verschijnsel ook ter plaatse van waterspanningsmeter 13 is opgetreden.

In figuur 40 is te zien dat de golfoplopmeter circa 2 min. na de start van de proef defect raakte. Hoewel dit ook tijdens de proef geconstateerd werd, was het geen aanleiding om de proef te stoppen. Bij een voorgaand Deltagoot-onderzoek was gebleken dat dit type instrument tamelijk gevoelig voor schade is. Circa 45 s na het defect geraken van de golfoplopmeter werd omvangrijke schade van de Basalton taludbekleding geconstateerd vanaf de gootwand van de Deltagoot.

bladnummer : - 40 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Plotseling verschoof een groot aantal m^2 Basaltonglooiing langs het talud naar beneden. Direct hierna werd het golfschot stopgezet. Het tijdstip waarop de schade aan het talud werd waargenomen is aangegeven in de figuren 40 en 41. Vanaf dit tijdstip bereiken nog circa 10 golven het talud. Het genoemde verschijnsel van amplitude toename en versnelde toename van de gemiddelde waterspanning treedt ter plaatse van de opnemers 7 en 2 voornamelijk op na het moment waarop de schade werd geconstateerd. ter plaatse van de waterspanningsmeters 8, 9, 10 en 20 doet dit verschijnsel al eerder zijn intrede. Vooral bij de opnemers 9 en 10 is er sprake van een hoge gemiddelde waterspanning (circa $3,5 \text{ kN/m}^2$).

Verondersteld wordt dat het cyclische verwekingsmechanisme hierbij een belangrijke rol heeft gespeeld. Het is mogelijk dat het bezwijken van het talud aan de losse zijde in de zone met opnemers 9 en 10 is ingeleid en dat het instabiele gebied zich vervolgens naar boven en naar beneden heeft uitgebreid. Gezien de relatief lage gemiddelde wateroverspanning ter plaatse van de opnemers 7, 8 en 15 (lager dan bij enkele voorgaande proeven) moet worden geconcludeerd dat het verwekingsmechanisme in deze hogere locaties zelf niet de hoofdoorzaak voor bezwijken is geweest.

bladnummer : - 41 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Ter plaatse van waterspanningsmeter 20 treedt in het begin van de proef een vrij snelle toename van de gemiddelde waterspanning op (figuur 41).

Verondersteld wordt dat dit evenals bij opnemer 8 op de overeenkomstige plaats in de oostelijke goot helft wordt veroorzaakt door de potentiaal stroming. Vervolgens ontstaat een vrij grillig beeld met afwisselend afname en toename van de gemiddelde waterspanning. Tegelijkertijd neemt de waterspanningsamplitude sprongsgewijs toe vanaf circa 15 golven na het begin van de proef. Afname van de gemiddelde waterspanning welke ook in tegenstelling tot bij alle voorgaande proeven, ter plaatse van waterspanningsmeter 7 optreedt (figuur 41) zou veroorzaakt kunnen zijn door verschuivingen (afschuivingen) die elders in het talud zijn ingeleid. Sterke toename van de waterspanningsamplitude (zie ook opnemer 7) wijst op een weker gedrag van het korrelskelet (niet noodzakelijkerwijs verweking) waardoor een groter deel van de totaalspanning door het porienwater moet worden overgedragen.

In het algemeen vertonen de waterspanningen aan het eind van proef DGB 18 een grillig beeld, waaruit moeilijk is af te leiden waar instabiliteit is ingeleid en hoe het proces zich in het talud heeft ontwikkeld. Ook het na de proef met behulp van de peiling opgenomen schadebeeld is zeer grillig (zie hiervoor hoofdstuk 5.2 en figuur 13). Meer dan de conclusie dat de schade zeer groot was en vrijwel het gehele talud omvatte is uit dit schadebeeld niet af te leiden.

bladnummer : - 42 -
 ons kenmerk: CO-416751/16
 datum : 1986-10-20

6. ANALYSE VAN DE RESULTATEN EN AANBEVELINGEN VOOR AANVULLEND ONDERZOEK

In de onderstaande tabel zijn de gemeten maximale gemiddelde wateroverspanningen ter plaatse van een aantal opnemers verzameld.

Proefnr.	golven onr./ regelm.	7	2	8	15	9	16	10	20
DGL03	o	<u>2,0</u>	<u>0,5</u>	<u>3,5</u>	<u>3,5</u>	<u>3,0</u>	<u>3,0</u>	<u>2,0</u>	- 0,2
DGB01	r	0,5	0	0	0	0	-	0	0
DGB02	r	0,7	0	0	0	0	-	0	0
DGB04	r	0,9	0	0	0	0	-	0	0
DGB05	r	1,1	0	0	0	0	-	0	0
DGB06/DGL06	r	1,3	0	0	0	0	0	0	- 0,1
DGB07	r	0,85	0	0	0	0	-	0	- 0,1
DGB08	r	1,1	0	0	0	0	-	0	- 0,1
DGB09	r	1,3	0	0	0	0	-	0	- 0,1
DGB10	o	1,6	0,4	<u>1,6</u>	1,15	<u>3,5</u>	<u>3,8</u>	<u>3,0</u>	+ 0,2/- 0,3
DGB12	o	1,7	0,2	0,6	0,4	0,4	0	0	+ 0,2/- 0,2
DGB11	r	1,8	0,4	1,25	1,25	0	-	0	- 0,2
DGB13	r	2,5	0,5	1,7	1,7	<u>1,3</u>	-	0,25	- 0,2
DGB16	r	1,0	0,25	0,9	0,9	0,9	-	0	- 0,2
DGB17	r	1,1	0,25	1,5	1,0	1,5	-	1,0	1,8
DGB18	r	<u>1,0</u>	0,7	<u>2,0</u>	<u>1,3</u>	<u>3,5</u>	-	<u>3,5</u>	<u>1,5</u>

Maximale gemiddelde wateroverspanning in [kN/m²] ter plaatse van 8 opnemers in het zand.

(-) waterspanning niet bekend.

bladnummer : - 43 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Verondersteld wordt dat de invloed van het cyclische verwekingsmechanisme een belangrijke rol heeft gespeeld tijdens de proeven DGL03, DGB10 en DGB18 (waterspanning onderstreept in tabel). Bij de proeven DGL03 en DGB10 zijn deze wateroverspanningen van tijdelijke aard. Ze zijn voornamelijk belangrijk omdat erdoor een verstevigingseffect als gevolg van de belastingsgeschiedenis ontstaat. De gevoeligheid voor waterspanningsopbouw bij latere proeven neemt door dit effect af. Bij de proeven DGB13 en DGB17 bestaat enige onzekerheid of het verwekingsmechanisme een rol heeft gespeeld in de gemiddelde waterspanningsopbouw. De korte duur van deze proeven waardoor een bepaalde, nog slechts lichtelijk aanwezige, tendens wordt afgebroken, bemoeilijkt de interpretatie enigszins. De relatief lage wateroverspanningen (aanzienlijk lager dan tijdens de proeven DGL03 en DGB10) op het moment van beëindiging van de proeven DGB13 en DGB17 geven vooralsnog geen aanleiding om een belangrijke invloed van het verwekingsmechanisme te veronderstellen. Van alle overige geregistreeerde wateroverspanningen wordt verondersteld dat de oorzaak moet worden gezocht in het verschijnsel van potentiaalstroming in het talud als gevolg van het golven. Het verloop van dit type wateroverspanningsverschijnsel in de tijd kenmerkt zich door een snelle toename in de beginfase van de proef 5 à 10 golven) en vervolgens een nagenoeg constante of slechts langzaam stijgende waterspanning. ter plaatse van waterspanningsmeter 7 (raai 1 talud ter hoogte gemiddelde waterlijn, diepte 0,4 m onder zandoppervlak) treedt dit verschijnsel bij elke proef op, ook bij het laagste belastingsniveau. De grootte van de maximale waterspanningstoename is duidelijk afhankelijk van het belastingsniveau. Vanaf proef DGB11 doet het potentiaalverschijnsel zijn intrede ter plaatse van waterspanningsmeter 8 en vanaf proef DGB13 ter plaatse van waterspanningsmeters 9 en 10. Het lijkt ook op te treden tijdens de proeven DGB17 en DGB18 ter plaatse van opnemer 20 in het vastere zand aan de westzijde van de Deltagoot.

bladnummer : - 44 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Opmerkelijk is dat het veronderstelde effect van de potentiaalstroming ter plaatse van opnemer 20 veel later merkbaar is dan op de overeenkomstige plaats is de oostelijke goothelft ter plaatse van opnemer 8.

Dit zou een gevolg kunnen zijn van een lagere verzadigingsgraad van het vaster gepakte zand in de westelijke goothelft. Een indicatie daarvoor is gevonden bij de nucleaire dichtheidsmeting kort voor aanvang van het onderzoek (zie hoofdstuk 4). Het potentiaalstromingsverschijnsel impliceert globaal instroming van water in het talud boven het stilwaterniveau en uitstroming uit een lager gelegen deel van het talud onder introductie en handhaving van een gemiddeld potentiaalbeeld met wateroverspanning in het talud. Wateroverspanning kan dieper in het onverzadigde zand alleen ontstaan indien water toestroomt. Het betekent dat een zekere tijd nodig is om een overdruk te creëren. Een verschil in verzadigingsgraad van het zand in beide goothelften en de relatief zeer korte duur van de proeven met regelmatige golven zou een verschil in waterspanning ter plaatse van opnemers 8 en 20 kunnen hebben veroorzaakt.

Overigens moet worden opgemerkt dat de genoemde verklaring met behulp van het potentiaalstromingsmechanisme voor de gemeten gemiddelde wateroverspanningen ter plaatse van de opnemers 7, 8 (vanaf DGB11), 9 en 10 (vanaf DGB13) en 20 (vanaf DGB17) nog slechts een veronderstelling is. Het is om twee redenen van groot belang dat deze veronderstelling wordt getoetst bijvoorbeeld met STEENZET berekeningen. Allereerst is het voor de interpretatie van het onderhavige onderzoek essentieel met zekerheid te weten dat de betreffende wateroverspanningen niet veroorzaakt zijn door het verwekingsmechanisme. De tweede belangrijke reden betreft de afleiding van ontwerpcriteria met betrekking tot verweking. Bij de in 1985 uitgevoerde burostudie [1] is geen kwantitatieve bijdrage in de wateroverspanning van het potentiaalstromingsmechanisme in het stabiliteitscriterium van het zand opgenomen. Indien uit een aanvullende studie zou volgen dat de door de potentiaalstroming

bladnummer : - 45 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

veroorzaakte overdrukken in de zandlaag groot zijn, dat wil zeggen in de orde van de tijdens het onderzoek gemeten drukken, dan is het noodzakelijk dat het aspect alsnog wordt meegenomen bij de afleiding van ontwerpcriteria met betrekking tot verweking van zand onder steenzettingen.

De hoogste gemiddelde wateroverspanningen treden op tijdens de proeven DGL03, DGB10 en DGB18. Bij alle 3 proeven is dit circa $3,5 \text{ kN/m}^2$ zowel bovenin het zand (opnemers 15 en 16) als 0,4 m onder het zandoppervlak (opnemers 8, 9, 10). Op een diepte van 1 m onder het zandoppervlak worden alleen zeer geringe wateroverspanningen geregistreerd.

Hiervoor is bij de beschrijving van de resultaten van proef DGL03 (hoofdstuk 5.3) reeds opgemerkt dat een wateroverspanning van $3,5 \text{ kN/m}^2$ aanzienlijk hoger is dan de eerder tijdens de burostudie [1] afgeleide maximaal toelaatbare wateroverspanning in het zand.

Enerzijds bevestigt dit de bewust in de ontwerpcriteria geïntroduceerde hoge mate van "veiligheid". Anderzijds werd in hoofdstuk 5.3 reeds geconcludeerd dat het zand in de beginfase van proef DGL03 (en dit geldt eveneens voor de beginfase van proef DGB10) dicht bij bezwijken moet zijn geweest. De na de proeven DGL03 en DGB12 uitgevoerde peilingen (na proef DGB10 werd niet gepeild) geven zelfs aanleiding te veronderstellen dat begin van afschuiven reeds heeft plaats gevonden. Vooral de peiling na DGB12 vertoont een duidelijk S-vormig gedeelte onder de waterlijn. Gezien de hoge gemiddelde wateroverspanning in het begin van proef DGB10 en slechts geringe reactie tijdens proef DGB12 is het aannemelijk te veronderstellen dat de S-vorm in het talud tijdens proef DGB10 is ontstaan.

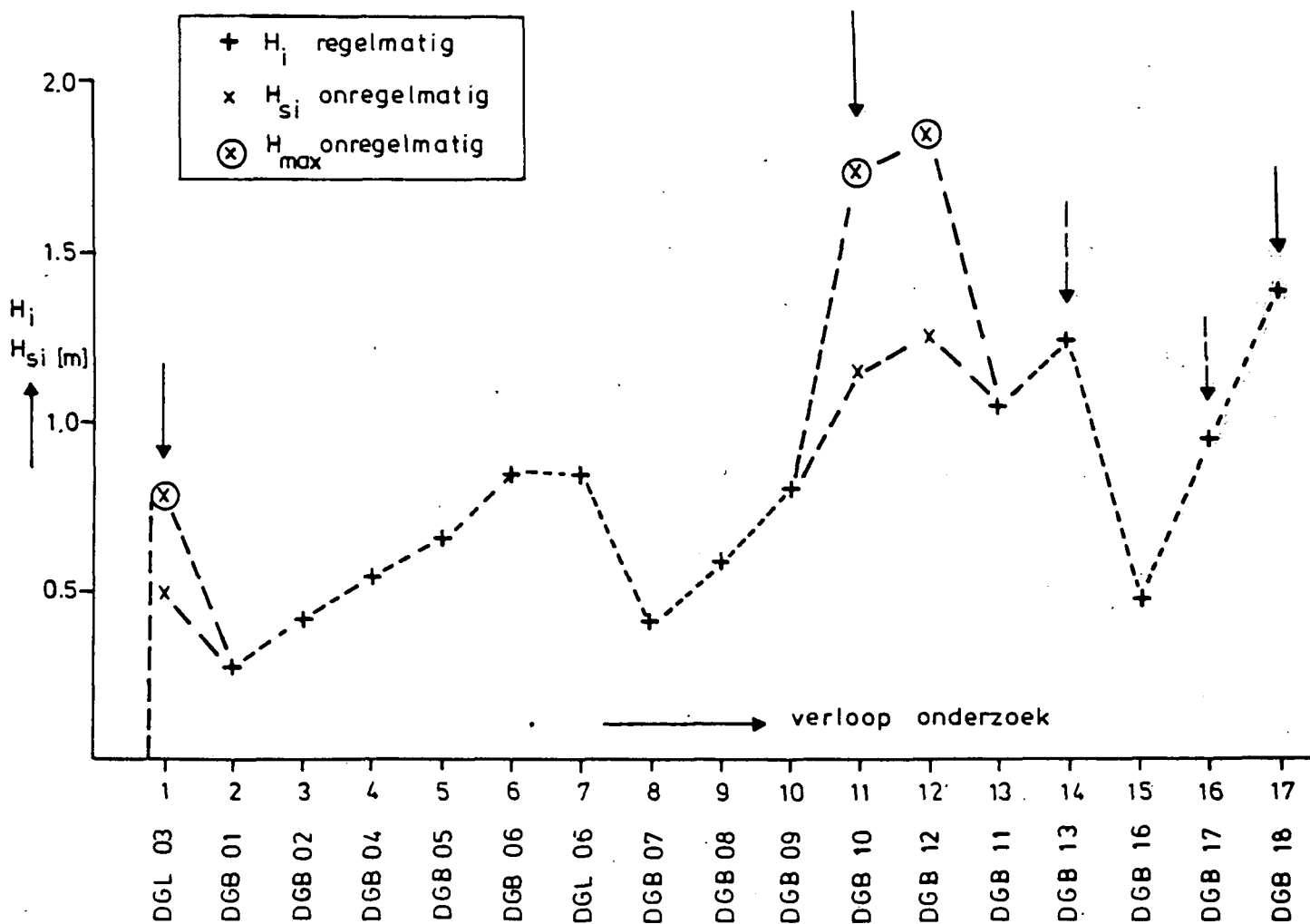
bladnummer : - 46 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Dit betekent dat door invloed van het cyclische verwekingsmechanisme begin van instabiliteit is ontstaan tijdens proef DGB10 met onregelmatige golven. Deze situatie zou voor het prototype als ontoelaatbaar moeten worden gekwalificeerd ware het niet dat het wateroverspanningsbeeld in de beginfase van proef DGB10 duidelijke kenmerken vertoont van een zich opbouwend verstevigingsproces door belastingsgeschiedenis. Het effect van dit proces komt sterk naar voren in het feit dat tijdens de volgende proef DGB12 met een nog iets hoger belastingsniveau nauwelijks wateroverspanning in het zand optreedt. Het betekent in feite dat de bij proef DGB12 behorende belastingscondities toelaatbaar zullen zijn indien de belastingsgeschiedenis geleidelijk en voldoende langzaam wordt opgebouwd.

Tijdens de burostudie [1] is het effect van belastingsgeschiedenis sterk geschematiseerd geïntroduceerd door het bekende aantal belastingscycli benodigd voor het verweken van een niet voorbelast zandmonster met een factor 10 te verhogen.

De factor 10 is vrij arbitrair gekozen als zijnde een veilig getal binnen de range van voorbelastingfactoren die in de literatuur zijn gevonden. (tuusen 2 en 200 o.a. afhankelijk van het niveau en de duur van de voorbelasting).

bladnummer : - 47 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20



bladnummer : - 48 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

In voorgaande figuur is het verloop van de golfhoogte tijdens het onderzoek uitgezet. Duidelijk is dat de grootste toename van de golfhoogte ten opzichte van de voorgaande proeven optraden bij de proeven DGL03 en DGB10, beide proeven met onregelmatige golven. Dit is zeker het geval indien een maat voor de maximale golven wordt beschouwd in plaats van de signifante golfhoogte. Uit de reactie van de waterspanningsmeters in het zand tijdens de proeven DGL03 en DGB10 is duidelijk waar te nemen dat de hoogste golven als maatgevend moeten worden opgevat. Toename van de gemiddelde wateroverspanning treedt voornamelijk op indien een groep hoge golven het talud heeft bereikt.

Vanwege het relatief kleine aantal extreem hoge golven binnen één groep en de vrij lange tijd tussen de groepen hoge golven krijgt de opgebouwde wateroverspanning gelegenheid tot dissiperen. Hierdoor en als gevolg van het verstevigingseffect in het spannings-rek gedrag van het zand zal de gevoeligheid voor wateroverspanning afgenomen zijn op het moment dat een volgende groep hoge golven het talud bereikt. De invloed van de versteviging als gevolg van spanningsgeschiedenis is zeer opmerkelijk tijdens de beginfase van proef DGL03. De hoge gevoeligheid ter plaatse van een aantal waterspanningsmeters op het moment dat de eerste groep hoge golven het talud heeft bereikt en de reeds binnen 10 minuten duidelijk zichtbare sterke afname ervan is zeer kenmerkend (zie figuren 14 t/m 19). Dat de geschiedenis invloed bij de eerste proef het grootst zou zijn werd vooraf verwacht. Het verstevigings- effect is ook waarneembaar in het waterspanningsverloop tijdens proef DGB10 hoewel duidelijk minder markant als bij proef DGL03.

bladnummer : - 49 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

De voornamelijk tijdens de eerste groepen hoge golven opgebouwde gemiddelde wateroverspanning is nog maar voor een klein deel aan het eind van de proef, na circa 1 uur golven, aanwezig.

Hoewel geleidelijk minder gevoelig blijven een aantal waterspanningsmeters steeds een kleine toename vertonen indien het talud door relatief hoge golven wordt belast.

Het tijdens proef DGB10 opgebouwde verstevigingseffect als gevolg van spanningsgeschiedenis is duidelijk terug te vinden in het gedrag tijdens de direct na proef DGB10 uitgevoerde proef DGB12. Tijdens proef DGB12 met ten opzichte van proef DGB10 nog iets hogere onregelmatige golven wordt nauwelijks verhoging van de gemiddelde waterspanning in het zand geregistreerd. Dit betekent dat door het volledig wegdraineren van de aan het eind van proef DGB10 nog aanwezige wateroverspanning het opgebouwde verstevigingseffect in zodanige mate werd geëffectueerd dat het hogere belastingsniveau tijdens proef DGB12 ontoereikend was om wateroverspanning als gevolg van het cyclische verwekingsverschijnsel op te wekken.

De belastingsgeschiedenis voor aanvang van proef DGB12 bestaat behalve uit de proeven DGL03 en DGB10 met onregelmatige golven tevens uit 8 proeven met regelmatige golven. In principe is cyclische belasting met regelmatige golven "gevaarlijker" dan belasting met onregelmatige golven althans indien H_i als maatgevende parameter wordt beschouwd en deze met H_{si} of H_{max} van de onregelmatige golven wordt vergeleken. Immers indien een zekere golfhoogte H_i (regelmatig) aanleiding geeft tot een toename van de gemiddelde waterspanning dan zullen de volgende golven van gelijke hoogte dit verschijnsel in principe versterken. De drainage kan hierbij alleen leiden tot een maximale hoogte van de wateroverspanning, niet direct tot een afname ervan zoals wel het geval kan zijn bij onregelmatig golven.

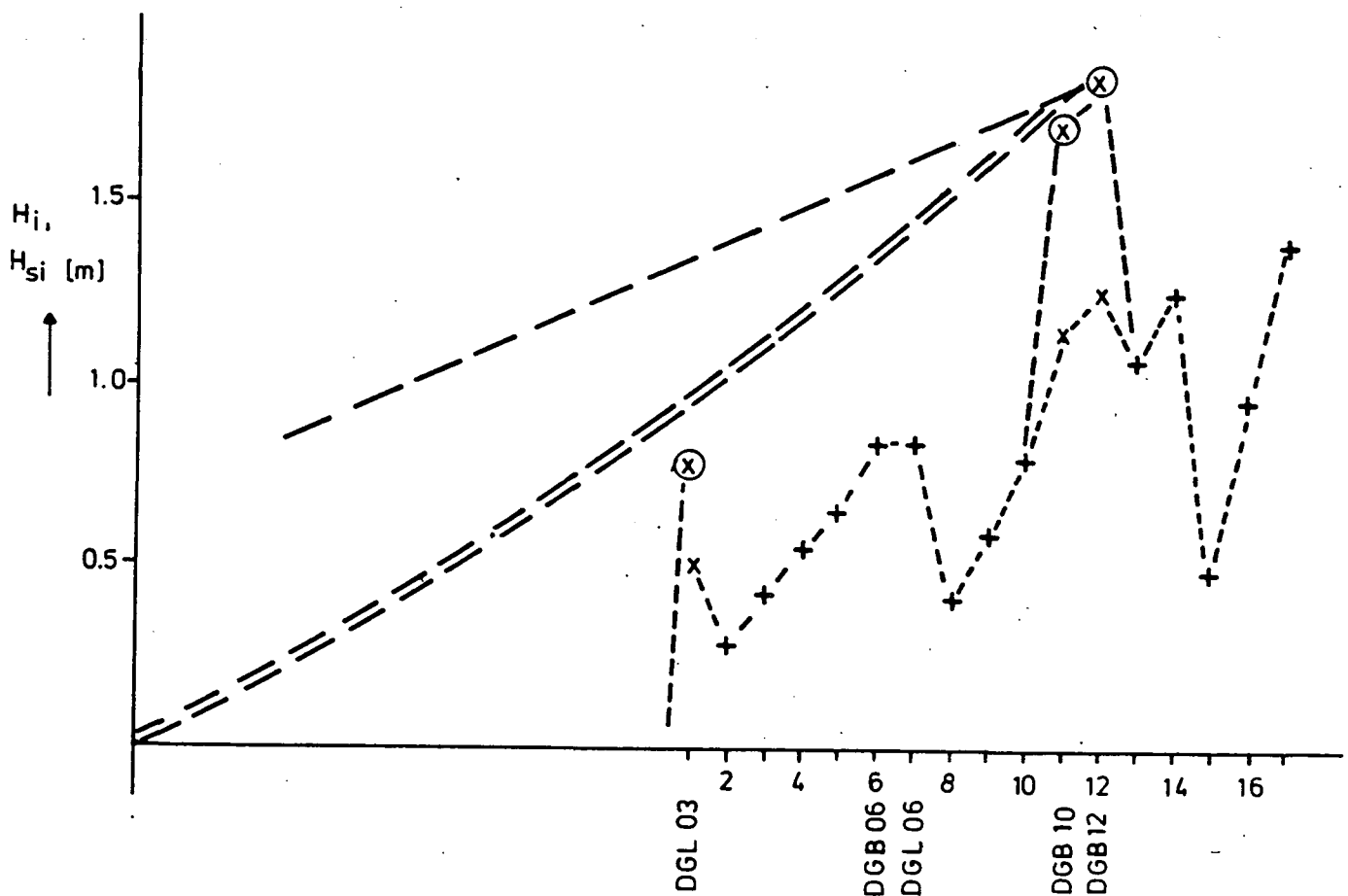
bladnummer : - 50 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Zo lijkt het gezien het gevoelige gedrag in de beginfase van proef DGL03 waarschijnlijk dat de regelmatige golfbelasting tijdens de proeven DGB06 en DGL06, $H_1 = 0,84$ m tot verweking van het zand zou hebben geleid indien het onderzoek met deze proeven zou zijn gestart dat wil zeggen zonder voorbelastingseffect. In werkelijkheid werd geen toename van de gemiddelde waterspanning in het zand geregistreerd tijdens de proeven DGB06 en DGL06, met andere woorden het tijdens de 5 eerste proeven opgebouwde verstevigingseffect voorkwam dat het cyclische verwekingsmechanisme een belangrijke invloed kan uitoefenen. Nadat proef DGB12 geen waterspanningsopbouw te zien had gegeven werd verwacht dat het verwekingsmechanisme ook bij de golfbelastingscondities van de proeven DGB11, DGB13 en DGB16 t/m DGB18 geen overheersende rol zou spelen. Dit bleek niet het geval te zijn. Bij de laatste proef trad bezwijken van het talud op waarbij het verwekingsmechanisme een belangrijke rol vervulde. Dat het verstevigingseffect niet voldoende was om een toenemende wateroverspanning tijdens proef DGB18 te voorkomen kan tweemaal oorzaken hebben.

Allereerst het eerder genoemde intensievere karakter van de belasting tijdens regelmatig golven ten opzichte van onregelmatige golfbelasting. Daarnaast is waarschijnlijk niet alleen de golfhoogte van belang voor de grootte van de belasting doch een combinatie van golfhoogte en golfperiode. Wat dit laatste betreft is het van belang dat de golfperiode T , T_p (afgezien van bij de eerste proef DGL03) steeds kleiner was dan 4s. Uit de registraties blijkt dat ook de periodes van de hogere ("maximale") golven tijdens de proeven DGB10 en DGB12 korter dan circa 4,5 s zijn geweest. De golfperiode tijdens de proeven DGB16 t/m DGB18 bedroeg 5,37 s dat wil zeggen aanzienlijk hoger dan bij alle voorgaande proeven. Wellicht dat het effect van het cyclische verwekingsmechanisme minder zou zijn geweest indien de golfhoogte 1,38 m bij proef DGB18 geleidelijker zou zijn genaderd met een constante periode van 5,37 s of indien van te voren een aantal proeven met een tussenliggende golfperiode zouden zijn uitgevoerd.

bladnummer : - 51 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20.

De vraag of een praktijksituatie met een taludopbouw als bij het uitgevoerde onderzoek in de Deltagoot en ontwerpbelastingscondities $H_{si} = 1,24$ m, $T_g = 3,94$ S (identiek aan proef DGB12) stabiel zal zijn kan niet zonder meer worden beantwoord zonder dat een voor de praktijk aannemelijk verstevigingseffect is gekwantificeerd. Uit het gevonden gevoelige gedrag van het zand tijdens de beginfase van proef DGL03 moet worden geconcludeerd dat volledig bezwijken van het talud als gevolg van het cyclische verwekingsmechanisme zou zijn opgetreden indien het onderzoek met proef DGB10 of DGB12 zou zijn gestart.



bladnummer : - 52 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Het betekent dat het talud in de praktijk niet stabiel is indien de ontwerpstorm zou optreden kort nadat het talud is opgebouwd zonder voorafgaande kleinere stormen en bovendien indien er niet of nauwelijks sprake zou zijn van een stormopbouw.

De kans dat de belastingsgeschiedenis in de natuur zo beperkt is, is vanzelfsprekend zeer klein. In het algemeen zal het talud voordat een ontwerpstorm optreedt reeds meerdere malen aan lagere belastingen tijdens kleinere stormen zijn onderworpen.

Bovendien kan de ontwerpstorm worden gekarakteriseerd door een geleidelijke toename in de tijd van de significante golfhoogte tot aan de ontwerphoogte. Ook in het prototype zal dus normaliter sprake zijn van een verstevigingseffect. Hoewel een minimum eis voor de belastingsgeschiedenis uitgedrukt in een gewichtsfunctie voor H_s , T , tijdsduur momenteel vanuit de theorie niet is af te leiden kan een indruk worden verkregen aan de hand van de golfhoogteverloop tijdens het onderzoek. Voordat met proef DGB12 werd gestart was circa 2,5 uur gegolfd waarvan circa 1 uur tijdens zowel proef DGL03 als DGB10.

Het lijkt daarom redelijk te stellen dat een golfbelastingsgeschiedenis met onregelmatige golven als aangegeven met de dubbele streeplijn in de bijgaande figuur met een totale tijdsduur van minimaal 10 uur, gelijkelijk verdeeld over de range in golfhoogten voldoende is. Deze voorbelasting zal het meeste effect opleveren indien het zand tussentijds een aantal malen gelegenheid tot draineren krijgt dat wil zeggen indien de belastingsgeschiedenis uit een aantal afzonderlijke "stormen" bestaat.

bladnummer : - 53 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

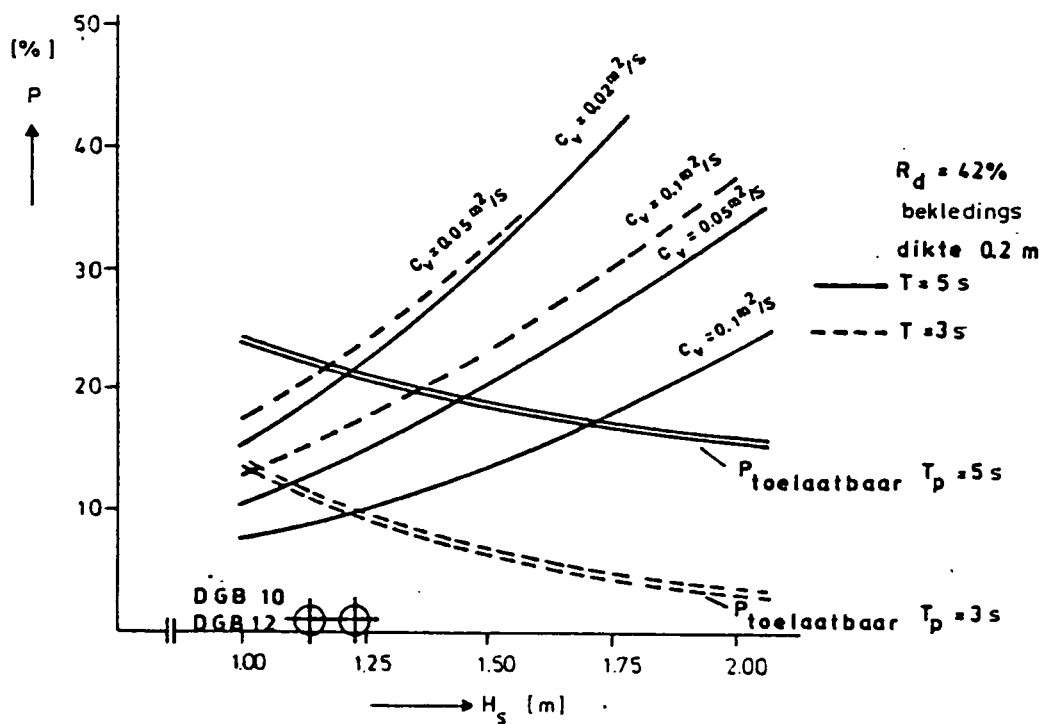
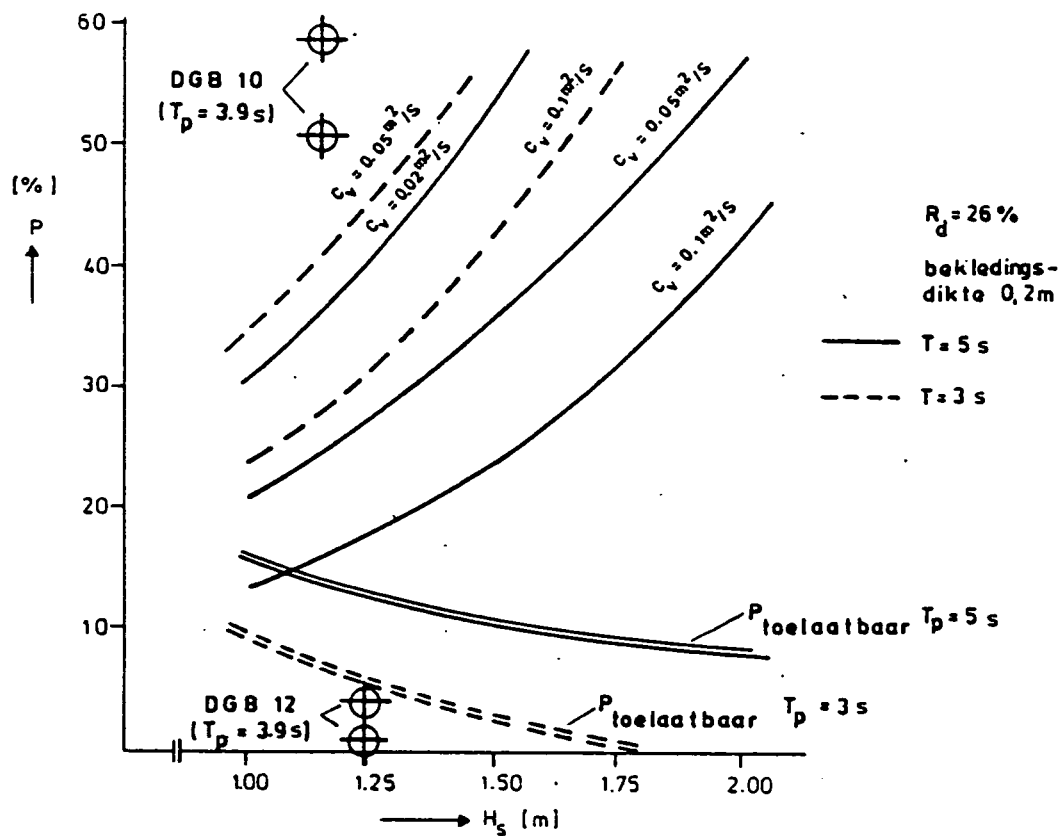
In hoofdstuk 2 zijn de resultaten van de voor aanvang van het onderzoek uitgevoerde orienterende berekeningen beschreven.

Figuur 1 toont het resultaat van een aantal van deze berekeningen.

Op basis van deze figuur aangevuld met de bij de burostudie verkregen inzichten en introductie van de tijdens het onderzoek in de Deltagoot gevonden maatgevende karakteristieken van het zand is een meer gerichte "voorspelling" gemaakt welke in de hiernavolgende figuur is weergegeven (ook figuur 153).

De maatgevende lijnen voor de optredende en toelaatbare waterspanningspercentages voor relatieve dichtheden van 26% en 42% zijn verkregen door extrapolatie/interpolatie van de in figuur 1 gegeven relaties. In de figuur is onderscheid gemaakt tussen gemiddelde golfperiodes $T_p = 3 \text{ s}$ en 5 s bij onregelmatige golfbelasting.

bladnummer : - 54 -
 ons kenmerk: CO-416751/16
 datum : 1986-10-20



bladnummer : - 55 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Opgemerkt wordt dat ook in deze figuur een factor 10 voor het belastingsgeschiedeniseffect is verwerkt. Verder wordt erop gewezen dat de betrouwbaarheid van de door middel van extrapolatie verkregen lijnen voor de losse pakking $R_d = 26\%$ laag is mede omdat de gevoeligheid voor verweking van zeer losgepakt zand groter is dan van vaster gepakt zand.

In hoofdstuk 4 is aangegeven dat een doorlatendheidscoëfficiënt voor het zand van circa $5 \cdot 10^{-5}$ m/s werd afgeleid uit een debietmeting kort voor aanvang van het onderzoek. Hierbij is verondersteld dat 20% van de totale stromingsweerstand door het talud nodig was voor de top laag en de grindkern beiden inclusief geotextiel. Dit betekent dat de effectieve doorlatendheid voor dissipatie van wateroverspanning nog lager dan de genoemde $5 \cdot 10^{-5}$ m/s kan zijn geweest. Voor de grootte van de consolidatiecoëfficiënt is behalve de doorlatendheid tevens de stijfheid van het zand van belang welke voor losgepakt zand eveneens relatief klein zal zijn. Bij de burostudie [1] is voor de stijfheid van zand met een relatieve dichtheid $R_d \leq 50\%$ van ca 10^4 kN/m² uitgegaan. Bovendien speelt voor de effectieve stijfheid ten behoeve van consolidatie ook het luchtgehalte in het zand. (beter: stijfheid van het poriënwater) een rol. Ze neemt af bij afnemende verzadigingsgraad.

Indien voor de omstandigheden tijdens het Deltagootonderzoek van een effectieve stijfheid in het bovenste gedeelte van het zand van:

$\frac{1}{m_v} = K + \frac{2}{3} G = 5 \cdot 10^3$ kN/m² wordt uitgegaan dan resulteert voor de consolidatiecoëfficiënt:

$$c_v = \frac{k}{m_v \cdot \gamma_w} = \frac{5 \cdot 10^{-5} \cdot 5 \cdot 10^3}{10} = 0,025 \text{ m}^2/\text{s}$$

bladnummer : - 56 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Een aanwijzing voor een relatief lage consolidatiecoëfficiënt kan worden verkregen uit de afname van de wateroverspanning als functie van de tijd direct na afloop van de proef. Als voorbeeld de afname ter plaatse van waterspanningsmeter 7 na proef DGL06 volgens figuur 21. Hieruit blijkt dat het circa 60 s duurt voordat de wateroverspanning tot circa 20% van de maximale waarde is gereduceerd. Hoewel een nauwkeurige afleiding van de grootte van de consolidatiecoëfficiënt niet mogelijk is (onder meer onzekerheden met betrekking tot de vragen: hoe is reactie in het zand op de laatste kleine golven?, moet ook geborgen water worden afgevoerd?), wijst dit wel op een relatief lage waarde ervan.

Indien de vergelijking van de gemeten wateroverspanningen met de in figuur 153 gepresenteerde "verwachting" wordt beperkt tot de proeven DGB10, DGB12 en DGB18 dan kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt.

- DGB10, onregelmatige golven, $H_{si} = 1,14$ m, $T_p = 3,94$ s. In de oostelijke goothelft treden hoge wateroverspanningen op, orde 50 à 60 % (komt plaatselijk overeen met 3 à 4 kN/m²). Deze wateroverspanningen nemen in het verdere verloop van de proef af, en het zand reageert steeds minder gevoelig. In de westelijke goothelft (vastere pakking van het zand) treedt geen verhoging van de gemiddelde waterspanning op.
- DGB12, onregelmatige golven, $H_{si} = 1,24$ m, $T_p = 3,94$ s. Tijdens deze proef treedt nauwelijks verhoging van de gemiddelde waterspanning op.

bladnummer : - 57 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

- DGB10, DGB12.

Zoals hiervoor uiteengezet worden de hoge wateroverspanningen in de oostelijke goothelft tijdens proef DGB10 opgevat als zijnde het gevolg van de opbouw van een belastingsgeschiedeniseffect. Mede hierdoor is de reactie in het zand tijdens proef DGB12 te verwaarlozen. Gezien de veronderstelde lage consolidatiecoëfficiënt kunnen de gepresenteerde verwachtingslijnen voor de wateroverspanning en daarmee de eerder bij de burostudie [1] afgeleide ontwerpgrafieken, als veilig worden beschouwd voor de praktijk indien de invloed van de belastingsgeschiedenis in de natuur voldoende is en zich geleidelijk opbouwt.

- DGB18, regelmatige golven, $H_i = 1,38$ m, $T = 5,37$ s.

Er trad volledig bezwijken van het talud op met op diverse plaatsen een wateroverspanningspercentage van circa 55%. Dit resultaat is niet direct in te plotten in figuur 153 omdat de berekeningen zijn opgezet voor onregelmatige golfbelasting. Hierbij is evenwel feitelijk van regelmatige belasting uitgegaan door aan het verwekingseffect van elke golf in het onregelmatige beeld een gewichtsfactor toe te kennen ten opzichte van het effect van de significante golf. Hieruit resulteerde een schijnbare periode gelijk van $2 \times$ de gemiddelde periode T_p . Dit betekent ruwweg dat de regelmatige golfbelasting tijdens proef DGB18 is op te vatten als onregelmatige belasting met $H_{si} = 1,38$ m en $T_p = \frac{5,37}{2} = 2,7$ s. Hoewel deze bewerking zeker niet exact is omdat de intensiteit van de bij een significante golf optredende belasting (sinusvormige golf + golfklap, zie [1]) niet goed wordt ingevoerd, is het hiermee niet verrassend dat volledig bezwijken tijdens proef DGB18 is opgetreden.

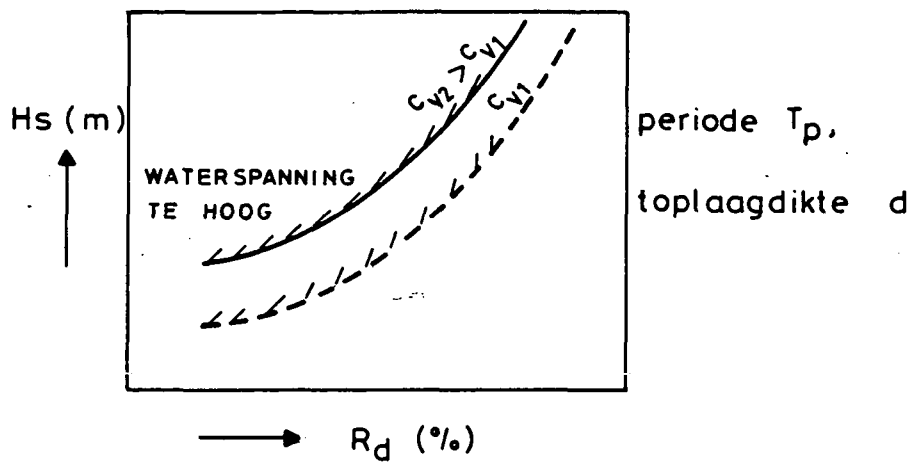
bladnummer : - 58 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

Ook is het met behulp van de in [1] toegepaste procedure globaal mogelijk om een maximale (equivalente) significante golfhoogte te schatten bij een gemiddelde periode van 5,37 s waarbij eveneens bezwijken zou zijn opgetreden. Aannemende dat de bij proef DGB18 ingestelde golfkarakteristieken juist voldoende waren voor bezwijken levert dit een equivalente significante golfhoogte van ongeveer 2,0 m.

Al met al betekent het dat ook met de resultaten van proef DGB18 de conclusie kan worden geformuleerd dat de eerder afgeleide ontwerpgrafieken als veilig kunnen worden beschouwd.

- Hoewel de resultaten van het onderzoek aangeven dat de uitkomsten van de eerder uitgevoerde verwekingsanalyse veilig zijn, moet toch ook direct worden opgemerkt dat de tijdens het onderzoek gemeten gemiddelde wateroverspanningen sterk afwijken van de berekende waarden. Tevens is duidelijk dat de variatie in de wateroverspanning zeer groot kan zijn vooral vanwege verschillen in invloed van de belastingsgeschiedenis.

Het betekent dat door presentatie van de ontwerpgrafieken in de bij de burostudie [1] gekozen vorm (wateroverspanningspercentage als functie van golfhoogte) een kwantitatieve nauwkeurigheid wordt gesuggereerd die er wellicht niet kan zijn. Beter lijkt het daarom om de ontwerpcriteria in een zodanige vorm aan de praktijk aan te bieden, dat geen kwantitatief fenomenologische gevolgen van golfbelasting erin zijn opgenomen. Bijvoorbeeld in de onderstaande vorm.



Per toplaagdikte en gemiddelde golfperiode volstaat steeds één grafiek.

De gemiddelde relatieve dichtheid van het zand voor aanvang van het onderzoek in de Deltagoot bedroeg circa 26% in de oostelijke goothelft en circa 42% in de westelijke goothelft. Deze relatieve dichtheden zijn zeer laag. Hoewel op het zand geen proctorproef is uitgevoerd kan gezien de in tabel 1 van [1] gepresenteerde vergelijking van relatieve dichtheid met 90 respectievelijk 95% van de proctordichtheid voor een aantal zanden, de verwachting worden uitgesproken dat de verdichtingsgraad van het zand in de Deltagoot lager dan 90% van de proctordichtheid zal zijn geweest. Voorgesteld wordt alsnog een proctorproef uit te voeren.

bladnummer : - 60 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

De indruk dat het watergehalte van het zand tijdens het conditioneren te laag was (hoofdstuk 4) kan hiermee worden bevestigd. Anderzijds moet worden vastgesteld dat de aangewende verdichtingsapparatuur onvoldoende is geweest. In de praktijk, alwaar vrijwel steeds aanzienlijk zwaarder materieel wordt toegepast, worden naar verluid in het algemeen hoge verdichtingsgraden (uitgedrukt in % van de maximale proctordichtheid) bereikt. Bevestiging van deze tendens voor een beperkt aantal dijkvakken in het prototype lijkt nuttig alvorens wordt overgegaan tot het formuleren van verdichtingseisen voor de praktijk. Hierbij dient voor de betreffende zanden eveneens aandacht te worden besteed aan de vergelijking tussen % maximum proctordichtheid en relatieve dichtheid.

De tijdens het onderzoek in de Deltagoot uitgevoerde peilingen van het taludoppervlak tonen dat er aanzienlijke vervormingen en zettingen zijn opgetreden vóór het volledige bezwijken tijdens de laatste proef DGB18. Nog afgezien van het feit of deze taludvervormingen ingeleid zijn door het verwekingsverschijnsel, moet worden geconcludeerd dat de hoofdoorzaak in het algemeen gezocht moet worden in de zeer losse pakking van het zand met name in de oostelijke goothelft.

Zand met een relatieve dichtheid tussen 20 en 40% in een door golven belaste laag onder helling 1:3 is zonder twijfel gevoelig voor deformaties en zettingen. In dit verband verdient het aanbeveling om in de praktijk altijd een relatieve dichtheid hoger dan 50% na te streven.

bladnummer : - 61 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

7. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

1. Ter toetsing van de in 1985 afgeleide voorlopige ontwerpcriteria ter voorkoming van verweking in een onder een steenzetting, helling 1:3, aanwezig zandlaag [1] is begin 1986 een experimenteel onderzoek uitgevoerd in de Deltagoot. Bij dit onderzoek is een talud 1:3 ingebouwd, bestaande uit een grindkern afgedekt met achtereenvolgens een zanddicht geotextiel, een 1,5 m dikke laag fijn zand, een zanddicht geotextiel en een handgezette basaltonglooiing.
2. Tijdens het aanbrengen van het zand werd laagsgewijs verdicht waarbij onderscheid is gemaakt in een minder verdichte laag, breedte 2,5 m, in de oostelijke goothelft en een intensiever verdichte 2,5 m brede laag in de westelijke helft van de goot. Nadat het talud in gereedheid was gebracht werd een grondwaterstroming door het dijkprofiel gecreeërd (tot 6,5 m verhoogde waterstand het talud een niveau van circa 5 m achter tegen het model) welke gedurende een weekend werd gehandhaafd. Hierdoor werd een relatief hoge verzadigingsgraad in het zand bereikt.
3. De tijdens en na preparatie van het model uitgevoerde metingen leverde de volgende gemiddelde karakteristieken voor het zand op.

- oostelijke goothelft

poriëngehalte	n = 48,4 %
relatieve dichtheid	R _d = 26 %
verzadigingsgraad	94 %

bladnummer : - 62 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

- westelijke goothelft

poriëngehalte	n = 46,2 %
relatieve dichtheid	R _d = 42 %
verzadigingsgraad	88 %

Voor aanvang van de proeven, bij 1,5 m verval over het model werd het door het dijkprofiel stromende waterdebiet gemeten. De uit dit debiet geschatte gemiddelde equivalente doorlatendheid van het zand bedroeg $5 \cdot 10^{-5}$ m/s.

4. De na verdichting resulterende relatieve dichtheden van het zand zijn aanzienlijk lager dan de voor aanvang van het onderzoek geformuleerde gewenste relatieve dichtheden (resp. 40 en 60%). Als mogelijke oorzaken kunnen worden genoemd de onvoldoende capaciteit van de verdichtingsapparatuur en het te lage vochtgehalte van het zand tijdens verdichten. De resulterende relatieve dichtheden van 26% en 42% betekenen een zeer losse pakking in de oostelijke goothelft en een losse pakking in de westelijke goothelft.
5. In tabel 1 is het proevenprogramma weergegeven met de volgorde waarin de proeven werden uitgevoerd. In het algemeen werd een stapsgewijze toename van de golfbelasting op het talud aangebracht.
6. In het model zijn in totaal 22 golfdrukopnemers in het taludoppervlak en 35 waterspanningsmeters in het zand en onderin de basaltzuilen aangebracht. Tijdens de proeven met regelmatige golven, behalve proef DGL06, waren in totaal slechts 36 opnemers aangesloten, waarvan 15 in het zand en onderin de stenen.

7. Tijdens de proeven trad een aantal malen schade aan het talud (hoofdstuk 5.2) op. Tijdens de proeven DGL06 en DGB12 traden een beperkt aantal stenen uit het talud. Na de proeven DGL03, DGL06 en DGB12 werd zakking en vervorming van het taludoppervlak en het zandoppervlak geconstateerd. Met name na de proeven DGL03 en DGB12 waren de opgetreden hoogteveranderingen aanzienlijk. De schade na de 3 genoemde proeven kon steeds op relatief snelle en simpele wijze worden hersteld. Na de proeven DGL06 en DGB12 werd hierbij tevens een gedeelte van het talud met grind ingestrooid en ingewassen.

Tijdens proef DGB18 trad zeer omvangrijke schade aan vrijwel het gehele talud op. Omdat herstel zeker enkele dagen in beslag zou nemen en omdat voortzetting van het onderzoek bij nog zwaardere golfbelasting naar verwachting opnieuw tot grote schade zou leiden, is het onderzoek na deze proef voortijdig gestopt. De schade na proef DGB18 werd gekwalificeerd als volledig bezwijken van het talud.

8. Tijdens alle proeven trad er ter plaatse van één of meerdere opnemers in het zand toename van de gemiddelde waterspanning (zie tabel voorin, hoofdstuk 6) op. De wijze waarop de waterspanning bij de verschillende opnemers en de opvolgende proeven in de tijd verliep was aanleiding om 2 verschillende oorzaken voor de wateroverspanning te onderscheiden namelijk waterspanningsverhoging als gevolg van de door de golven op het talud geïntroduceerde potentiaalstroming in het dijklichaam en wateroverspanning als gevolg van het cyclische verwekingsmechanisme in het zand.

9. Wateroverspanning als gevolg van de potentiaal stroming in het dijklichaam is indertijd niet meegenomen bij de burostudie naar het verwekingsverschijnsel. Uit de proeven zou blijken dat het evenwel een niet te verwaarlozen effect heeft. Opgemerkt wordt dat het signaleren van het potentiaalstromingsverschijnsel als mede oorzaak voor wateroverspanning momenteel slechts een veronderstelling is welke nog kwantitatief moet worden onderbouwd.
10. Verhoging van de gemiddelde waterspanning als gevolg van potentiaalstroming is bij alle proeven opgetreden ter plaatse van opnemer 7 (zie figuur 7). Vanaf proef DGB11 werd het tevens waargenomen ter plaatse van de lager in het talud geplaatste opnemer 8, vanaf proef DGB13 ter plaatse van opnemer 9 en vanaf proef DGB17 ter plaatse van opnemer 10.
Alle genoemde waterspanningsmeters bevonden zich op 0,4 m loodrecht onder het zandoppervlak in de oostelijke goothelft. Geconcludeerd werd dat het gebied waarin het verschijnsel een rol speelt groter wordt bij grotere golfperiode. De grootte van de wateroverspanning neemt toe met toenemende golfhoogte.
Opmerkelijk is dat het potentiaalstromingseffect in de westelijke goothelft pas later lijkt op te treden. De opnemer 20 (op een met opnemer 8 overeenkomstige plaats in het zand) begint pas in de loop van proef DGB17 op soortgelijke wijze te reageren. Een mogelijke oorzaak hiervoor zou de lagere doorlatendheid en lagere verzadigingsgraad in de westelijke goothelft kunnen zijn.

bladnummer : - 65 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

11. Wateroverspanningen veroorzaakt door het cyclische verwekingsmechanisme zijn opgetreden tijdens de proeven DGL03, DGB10 en DGB18, de twee eerstgenoemde proeven met onregelmatige golven, de laatste proef DGB18 met regelmatige golven. Uit de registraties van de proeven DGB13 en DGB17 is een lichte tendens tot wateroverspanning als gevolg van het verwekingsmechanisme waar te nemen welke evenwel niet geheel duidelijk is vanwege het plotseling beëindigen van deze korte duur proeven.
12. Tijdens de lange duur proeven met onregelmatige golven DGL03 en DGB10 traden kort na het begin van de proef bij meerdere waterspanningsmeters belangrijke verhogingen van de gemiddelde waterspanning op (zie tabel, begin hoofdstuk 6). Tijdens beide proeven nam deze wateroverspanning vervolgens weer af waarbij de waterspanningsmeters geleidelijk minder gevoelig reageerden. Tijdens proef DGL03 was dit zeer duidelijk. Aan het eind van de proef was geen gemiddelde wateroverspanning meer aanwezig in het zand. Hoewel de afname van de wateroverspanningen tijdens proef DGB10 zich veel langzamer voltrokken (aan het eind van de proef was nog 20 tot 30% over van de maximale waarden) was de afnemende gevoeligheid ook bij deze proef duidelijk waarneembaar.

bladnummer : - 66 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

13. Het onder 12. beschreven verloop van de waterspanning in de tijd is karakteristiek voor het verschijnsel van opbouw van een belastingsgeschiedeniseffect in het verwekingsgedrag van zand. Dit verschijnsel blijkt overduidelijk aanwezig te zijn zowel in het gedrag tijdens de proeven DGL03 en DGB10 als in het gedrag tijdens de op deze beide proeven volgende proeven. Zeer kenmerkend voor dit laatste is het feit dat er nauwelijks wateroverspanning optrad tijdens de na proef DGB10 uitgevoerde proef DGB12 met nog iets zwaardere (onregelmatige) golfbelasting. De grote gevoeligheid van het zand in de beginfasen van de proeven DGL03 en DGB10 is te verklaren uit het feit dat door de gekozen proefvolgorde het talud juist bij deze proeven aan de grootste belastingstoename werd onderworpen.
14. De tijdens de beginfase van de proeven DGL03 en DGB10 geregistreeerde maximale wateroverspanningen zijn aanzienlijk hoger dan de bij de burostudie [1] afgeleide maximaal toelaatbare waarden. Ondanks het feit dat voor het berekenen van deze laatsten een conservatieve procedure is gebruikt, moet gezien de na de proeven DGL03 en DGB12 gemeten taludvervormingen en zakkingen worden geconcludeerd dat tijdens de proeven DGL03 en DGB10 plaatselijk begin van afschuiven heeft plaatsgevonden. Het zal duidelijk zijn dat een dergelijke situatie in de praktijk ontoelaatbaar moet worden genoemd.
15. Bij de burostudie is verondersteld dat een zandtalud in de praktijk is voorbelast. De gevoeligheid voor verweking van niet voorbelast zand werd met een factor 10 verlaagd.

In de praktijk zal afnemende gevoeligheid door belastingsgeschiedenis geïntroduceerd worden door eerdere stormen met een lagere intensiteit (lagere belasting dan bij ontwerpstorm) alsmede door de geleidelijke opbouw van de belasting tijdens een (ontwerp) storm. In dit laatste geval moeten er mogelijkheden voor waterspanningsdissipatie aanwezig zijn. Hoewel een minimumeis voor de belastingsgeschiedenis uitgedrukt in een functie van H_s , T_p en tijdsduur vanuit de theorie niet is af te leiden werd op basis van de onderzoeksresultaten de verwachting uitgesproken dat een totale belastingsduur van minimaal 10 uur met een gelijkelijk verdeelde belastingsintensiteit tot aan de ontwerpbelasting voldoende zal zijn.

16. In vergelijking tot onregelmatig golven resulteren regelmatige golven in een zwaardere belasting indien voor de golfkarakteristieken H_s , T_p resp. H , T wordt beschouwd. Hoewel het tijdens het onderzoek niet direct werd verwacht moet hierin, tesamen met het hoge belastingsniveau ($H_i = 1,38$ m, $T = 5,37$ s), een verklaring voor het met hoge wateroverspanning in het zand gepaard gaande, volledige bezwijken tijdens proef DGB18 worden gezocht.
17. Gebaseerd op de in 1985 bij de burostudie gekozen procedure voor het afleiden van de voorlopige ontwerpcriteria en de bij het onderzoek in de Deltagoot gevonden maatgevende zandkarakteristieken is een "verwachting" afgeleid voor het verwekingsgedrag tijdens het onderzoek (zie figuur 153).

18. De vergelijking van het opgetreden gedrag met het verwachte gedrag levert de volgende conclusies op

- de voorlopige ontwerpcriteria kunnen als "veilig" worden beschouwd voor losgepakt zand indien het gunstige effect van de belastingsgeschiedenis van voldoende omvang is (zie punt 16)
- de tijdens het onderzoek gemeten gemiddelde wateroverspanningen als gevolg van het verwekingsmechanisme wijken sterk af van de berekende waarden. Duidelijk is dat, vanwege de mogelijke verschillen in invloed van de belastingsgeschiedenis, de variatie in optredende wateroverspanning zeer groot kan zijn. Presentatie van ontwerpgrafieken in een vorm waarin ook waterspanning is opgenomen (zoals in [1]) moet daarom worden vermeden.

19. De tijdens het onderzoek vastgestelde aanzienlijke zettingen en taludvervormingen van het zand zijn het gevolg van de losse tot zeer losse pakking van het zand. In dit verband verdient het aanbeveling om in de praktijk altijd een relatieve dichtheid van minimaal 50% voor te schrijven.

20. In de loop van hoofdstuk 6 zijn een aantal aanbevelingen voor aanvullend onderzoek gedaan.

Samengevat levert dit:

- Nadere studie van het potentiaalstromingsverschijnsel in het onderhavige talud.

Afschatti ng van de omvang van het gebied waarin stijging van waterspanning zal optreden alsmede van de grootte van de gemiddelde wateroverspanning als functie van golfhoogte en golfperiode.

- In aansluiting hierop en indien potentiaalstroming een belangrijke verhoging van de gemiddelde waterspanning kan veroorzaken; het opstellen van een simpele uitdrukking voor dit effect en introductie in de analyse voor verweking van zand.

bladnummer : - 69 -
ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

- Uitvoeren van een aantal cyclische triaxiaalproeven met en zonder belastingsgeschiedenis ter vergelijking van het verwekingsgedrag van het in de Deltagoot toegepaste zand met dat volgens het door Seed e.a. gepubliceerde en in de verwekingsstudie [1] ingevoerde "gemiddelde" gedrag voor zand.
- Uitvoeren van een proctorproef op een monster van het in de Deltagoot gebruikte zand.
- Voor een beperkt aantal prototypedijkvakken bepalen van in-situ dichtheid, maximale proctordichtheid en relatieve dichtheid van zandmonsters.
- Presentatie van de ontwerpcriteria in een andere, meer compacte vorm zonder kwantitatieve waarden voor wateroverspanningen. Bijvoorbeeld grafieken met vereiste relatieve dichtheid van het zand (eventueel % proctordichtheid) als functie van de golfhoogte,- periode.
- Aandacht voor de afleiding van de effectieve consolidatiecoëfficiënt van het zand (in samenhang met het stromen van water naar spleten tussen taludstenen) bij de presentatie van de definitieve ontwerpcriteria.

ons kenmerk: CO-416751/16
datum : 1986-10-20

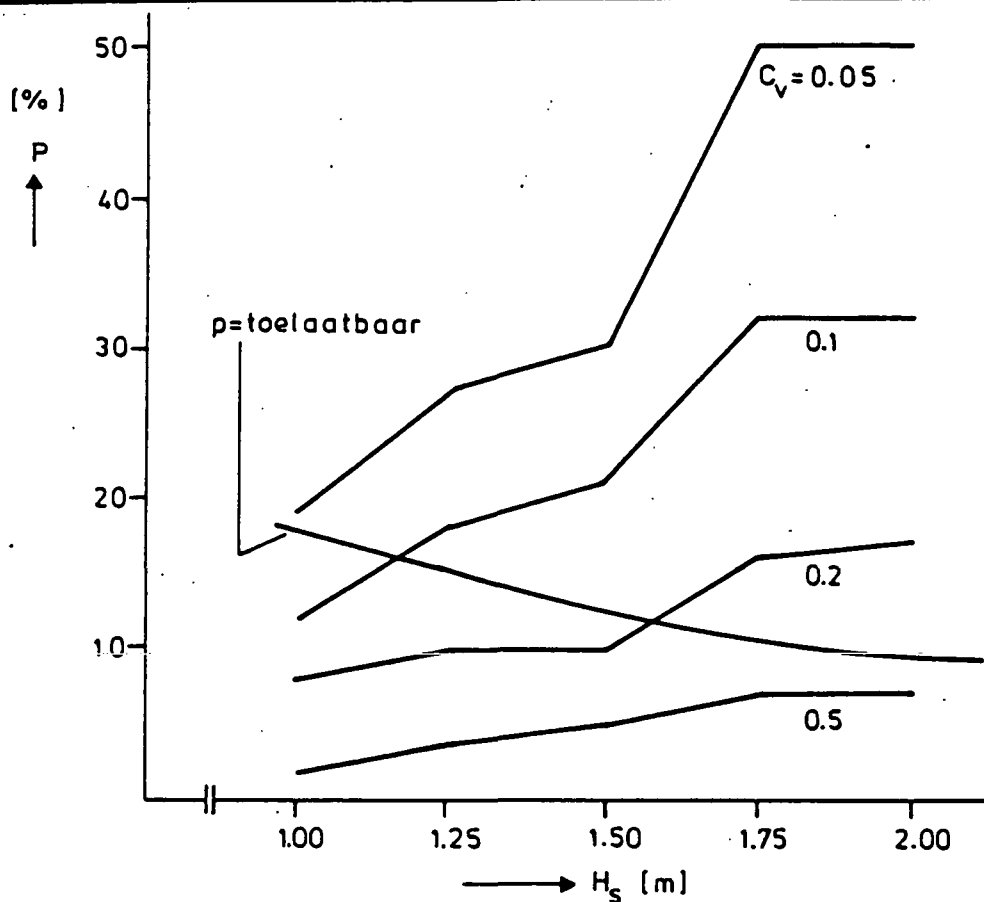
Referenties

1. Verweking van zand onder steenzettingen
Laboratorium voor Grondmechanica
CO 416640/16, december 1985.
2. Verslag drukkenbestand
Waterloopkundig Laboratorium.

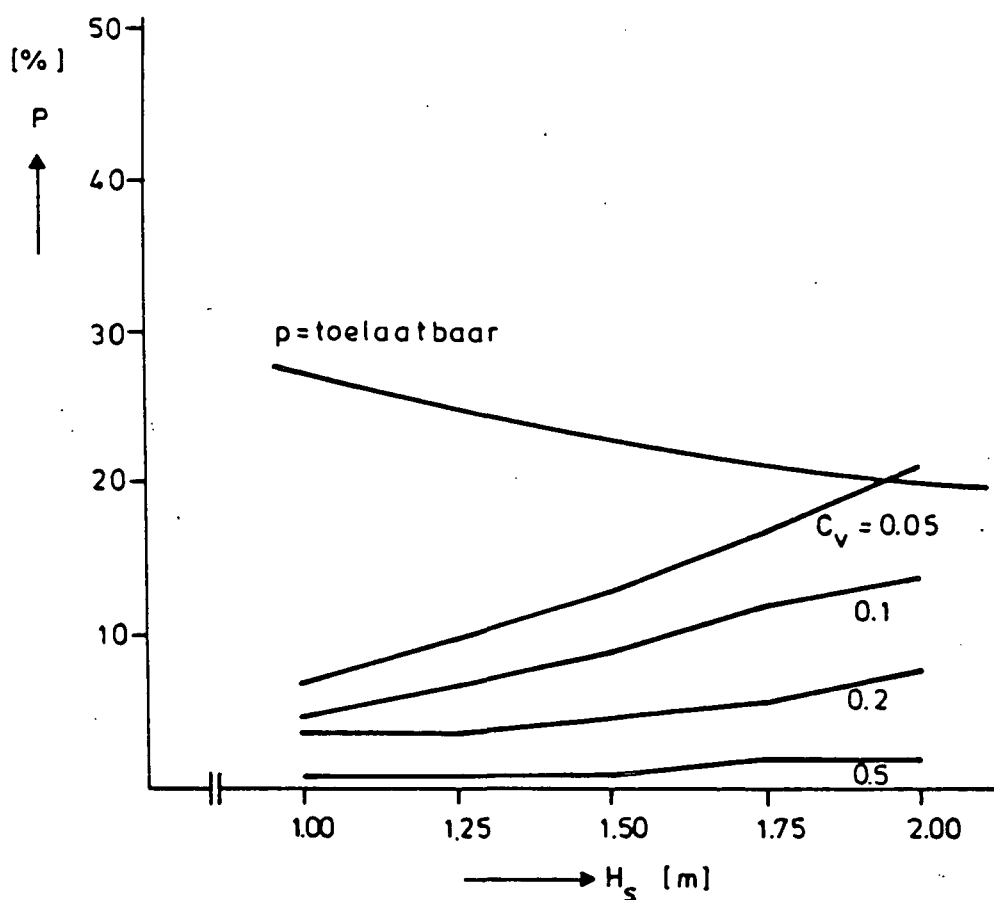
nr. proef volg- orde	proef nr.	r/ onr	H_1/H_{sl} (m)	T/T_p (s)	water diep- te (m)	bemonsteren			werkelijke golven tij- dens proeven		opmer- kingen schade talud
						duur (min)	freq (Hz)	aan- tal kana- len WSM +DRO	H_1/H_{sl} (m)	T/TP (s)	
2	DGB01	r	0,29	3,11	4,50	2	25	35	0,29	3,11	"ingolven" schade na ca. 60 min.
3	DGB02	r	0,43	3,11	4,50	2	25	35	0,41	3,11	
1	DGL03	onr.	0,50	4,00	4,50	1 uur	10	alle 57	0,50	4,27	
4	DGB04	r	0,57	3,11	4,50	2	25	35	0,54	3,11	schade na ca. 4 min. (enkele ste- nen eruit)
5	DGB05	r	0,71	3,11	4,50	2	25	35	0,65	3,11	
6	DGL06	r	0,86	3,11	4,50	1 uur	10	alle	0,84	3,11	
7	DGB06	r	0,86	3,11	4,50	2	25	36	0,84	3,11	GHM2 defect
8	DGB07	r	0,41	3,79	4,50	2	25	36	0,40	3,79	
9	DGB08	r	0,62	3,79	4,50	2	25	36	0,58	3,79	
10	DGB09	r	0,83	3,79	4,50	2	25	36	0,79	3,79	GHM2 defect
11	DGB10	onr.	1,04	3,79	4,50	1 uur	10	alle	1,14	3,94	
-	DGL11	r	1,04	3,79	4,50	1 uur	10	alle	-	-	
13	DGB11	r	1,04	3,79	4,50	2	25	36	1,05	3,79	schade na ca. 20 min. (enkele ste- nen eruit)
12	DGB12	onr.	1,24	3,79	4,50	1 uur	10	alle	1,24	3,94	
-	DGL13	r	1,24	3,79	4,50	1 uur	10	alle	-	-	
14	DGB13	r	1,24	3,79	4,50	2	25	36	1,23	3,79	
-	DGL14	onr.	1,50	4,0 (5,0)	4,50	1 uur	10	alle	-	-	
-	DGL15	onr.	1,75	5,0	4,50	1 uur	10	alle	-	-	
15	DGB16	r	0,42	5,37	4,50	2	25	36	0,47	5,37	grote schade na ca. 2 min.
16	DGB17	r	0,84	5,37	4,50	2	25	36	0,94	5,37	
17	DGB18	r	1,26	5,37	4,50	2	25	36	1,38	5,37	
-	DGB19	r	0,92	7,59	4,50	3	25	36	-	-	
-	DGB20	onr.	1,26	5,37	4,50	1 uur	10	alle	-	-	
-	DGB21	onr.	0,92	7,59	4,50	1 uur	10	alle	-	-	
-	DGB22	r	1,68	5,37	4,50	2	25	36	-	-	
-	DGB23	onr.	(1,40)	(4,90)	(3,75)	1 uur	10	alle	-	-	
-	DGB24	r	1,54	6,93	3,75	3	25	36	-	-	
-	DGB25	onr.	1,54	6,93	3,75	1 uur	10	alle	-	-	

- (proefvolgorde): proef niet uitgevoerd

Tabel 1: Proevenprogramma onderzoek, Deltagoot



talud 1:3
 $T = 5$ s
 $R_d = 30\%$
 bekledings-
 dikte 0.2 m



talud 1:3
 $T = 5$ s
 $R_d = 50\%$
 bekledings-
 dikte 0.2 m

MAXIMALE WATEROVERSPANNING IN %
 BEREKEND VOOR AANVANG ONDERZOEK

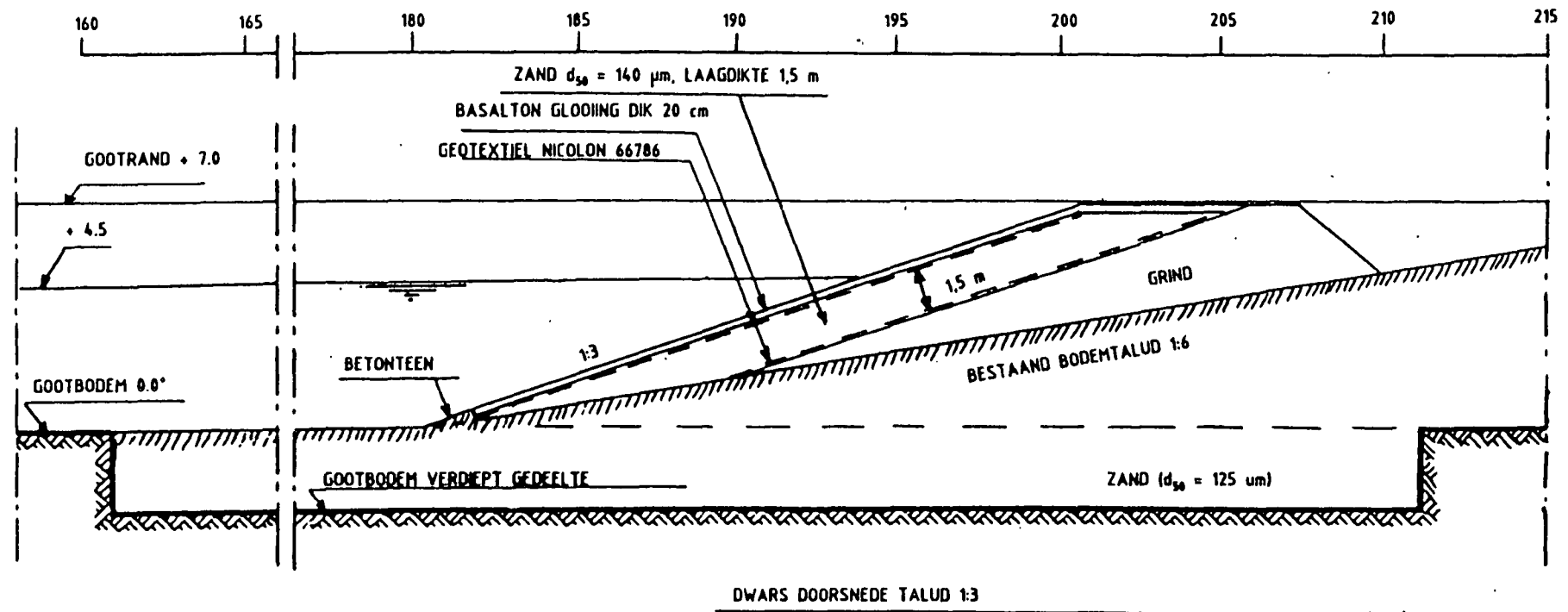
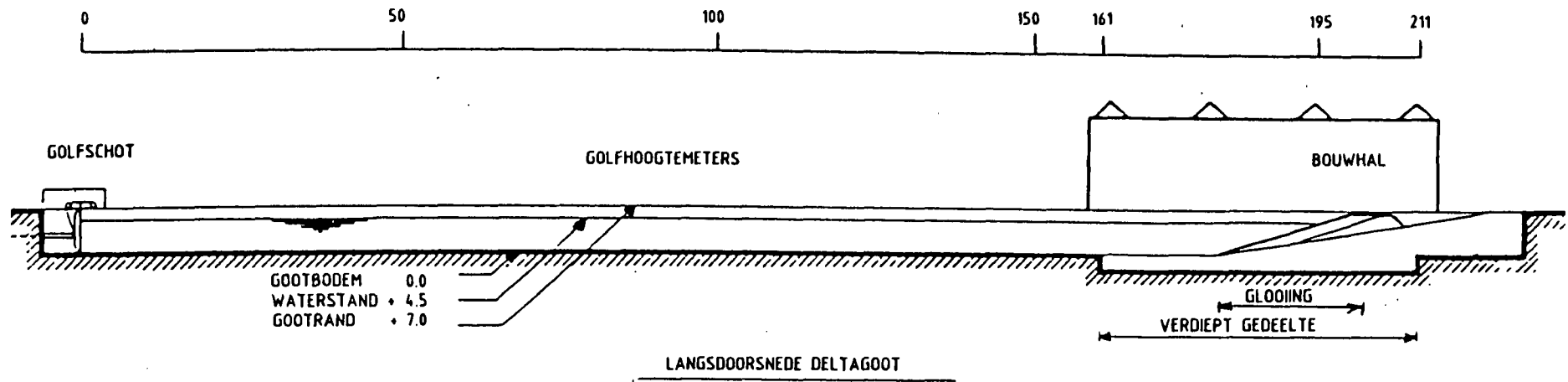
d.d.
 86-09-09

①

CO - 416751

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

FIG. 1



maten in m

MODELOPSTELLING DELTAGOOT STEENZETTING
BASALTON OP ZAND

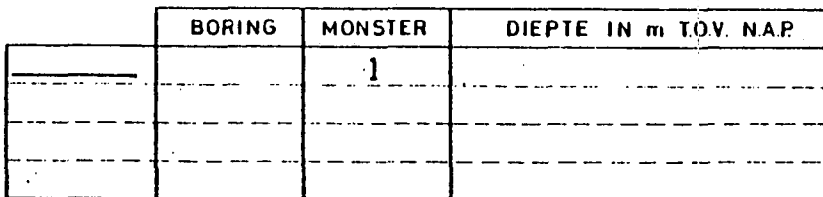
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

dd.
86-09-09
CO-416751

FIG. 2

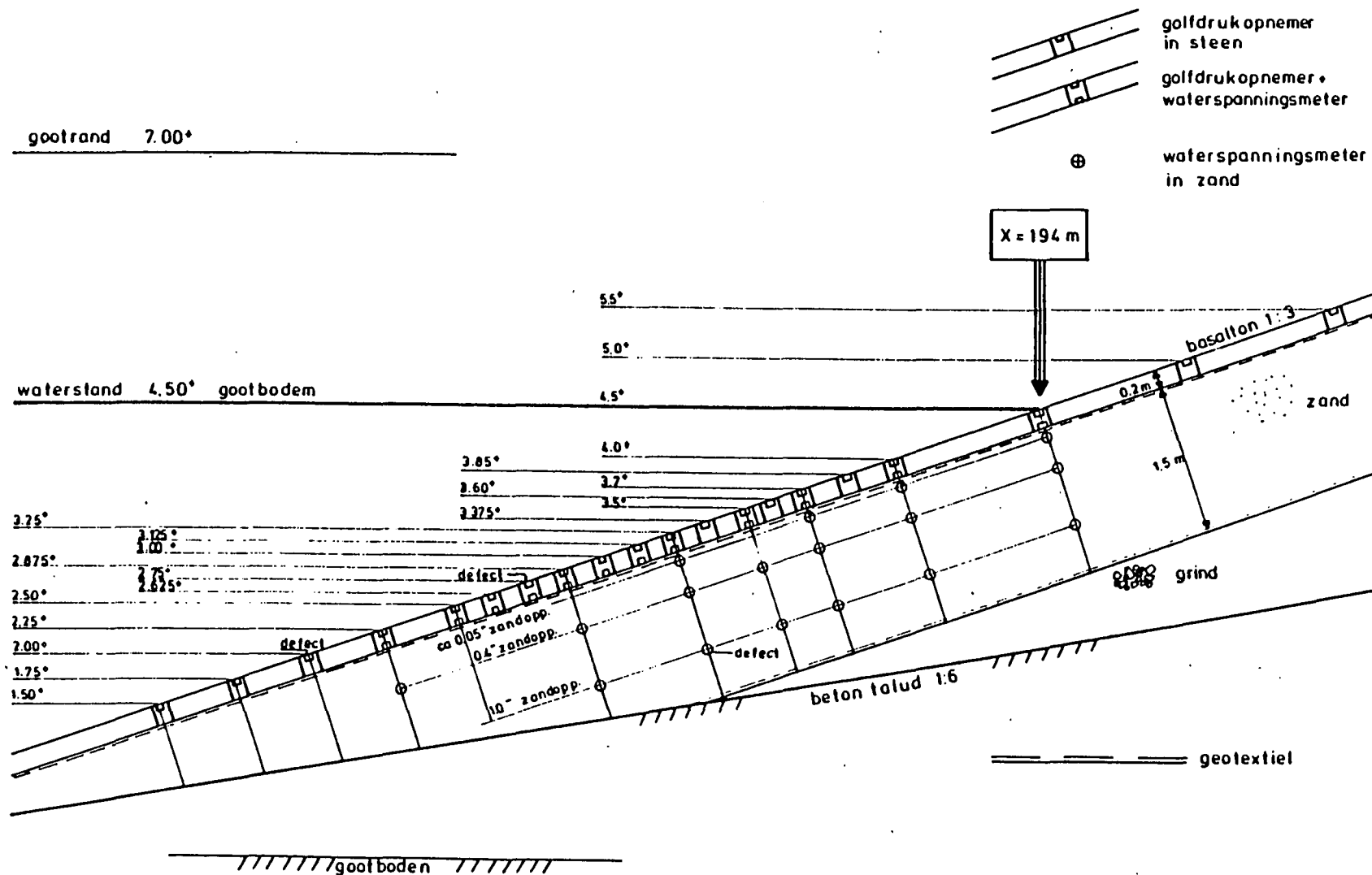
**WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA**

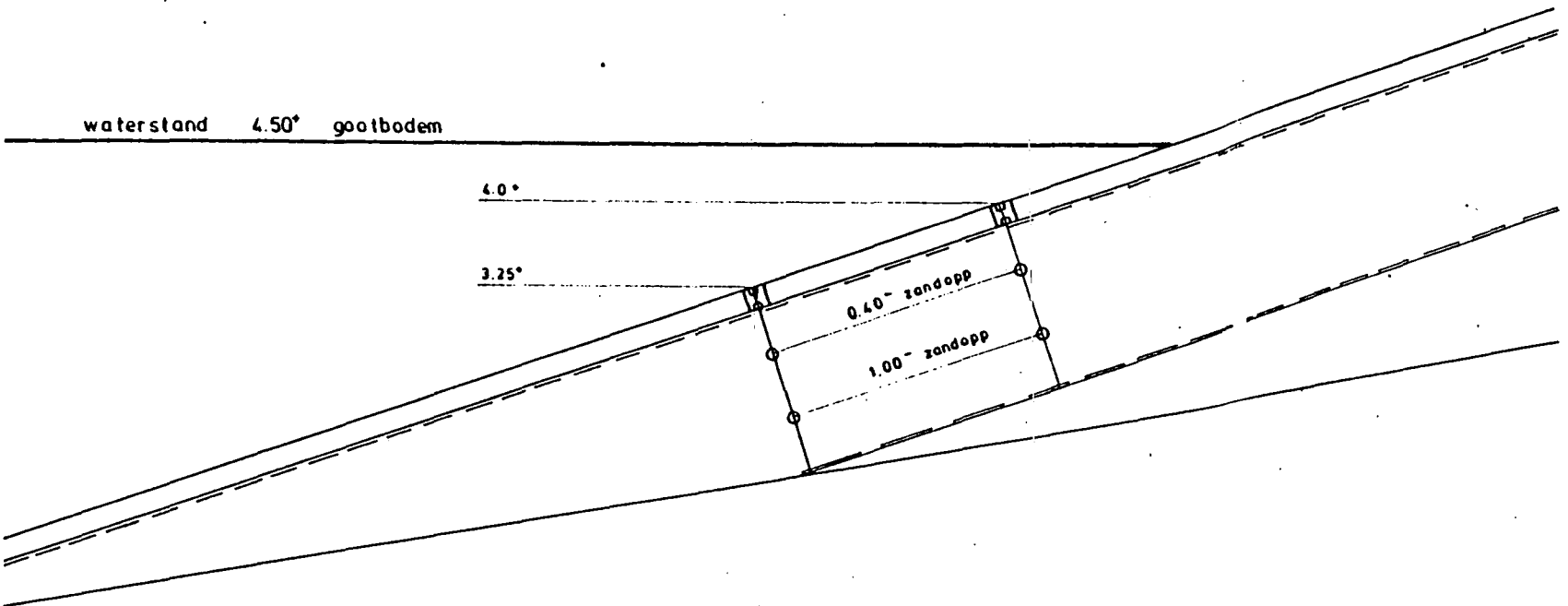
FIG. 3



d.d.	86-10-06	CO 416751
------	----------	-----------

FIG. 4





INSTRUMENTATIE WESTZIJDE (KLEIN. MEET -
BESTAND) 1m UIT GOOTWAND
VASTE PAKKING

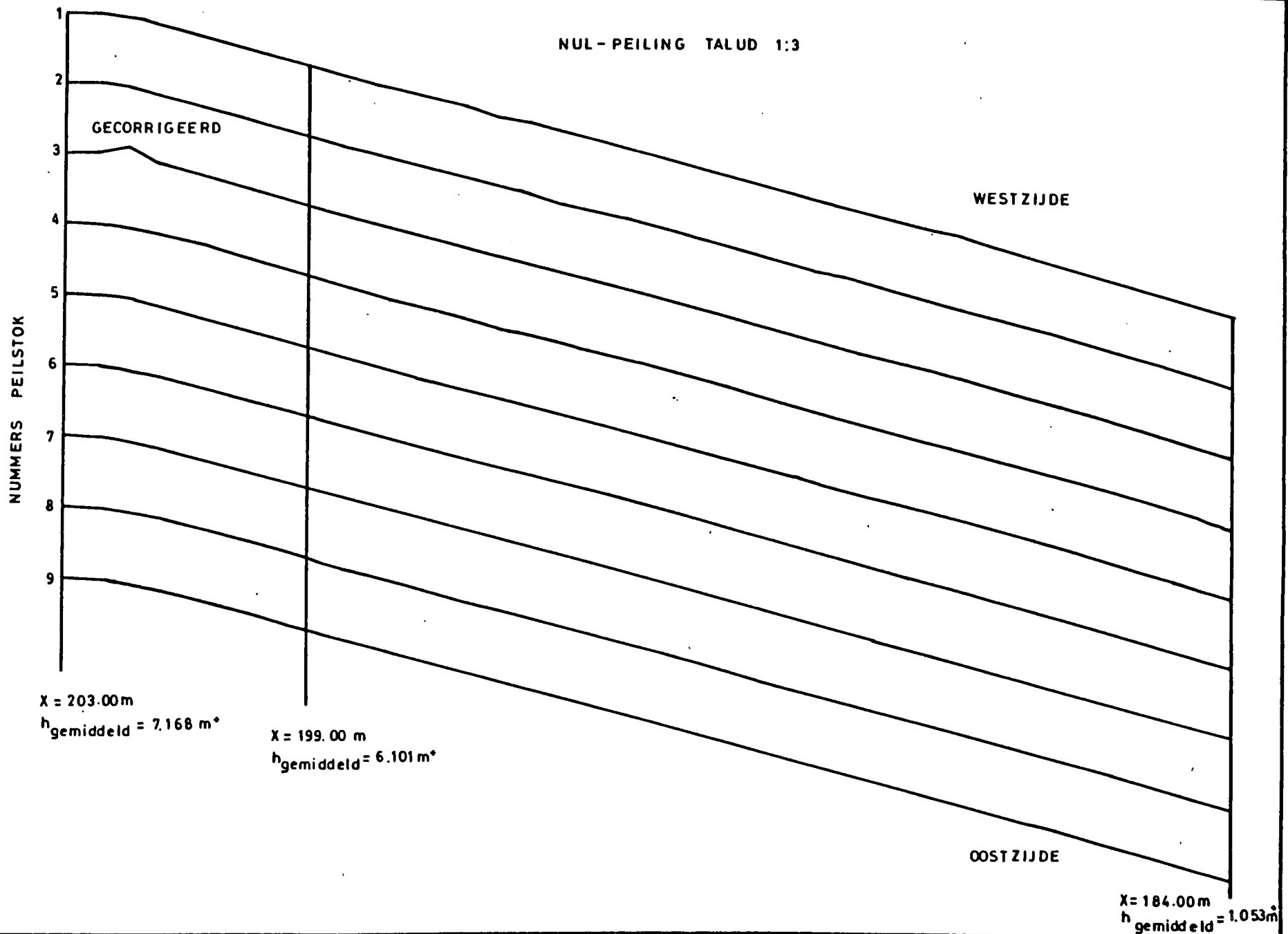
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

d.d.
86-10-06

Q.

CO 416751

FIG. 5



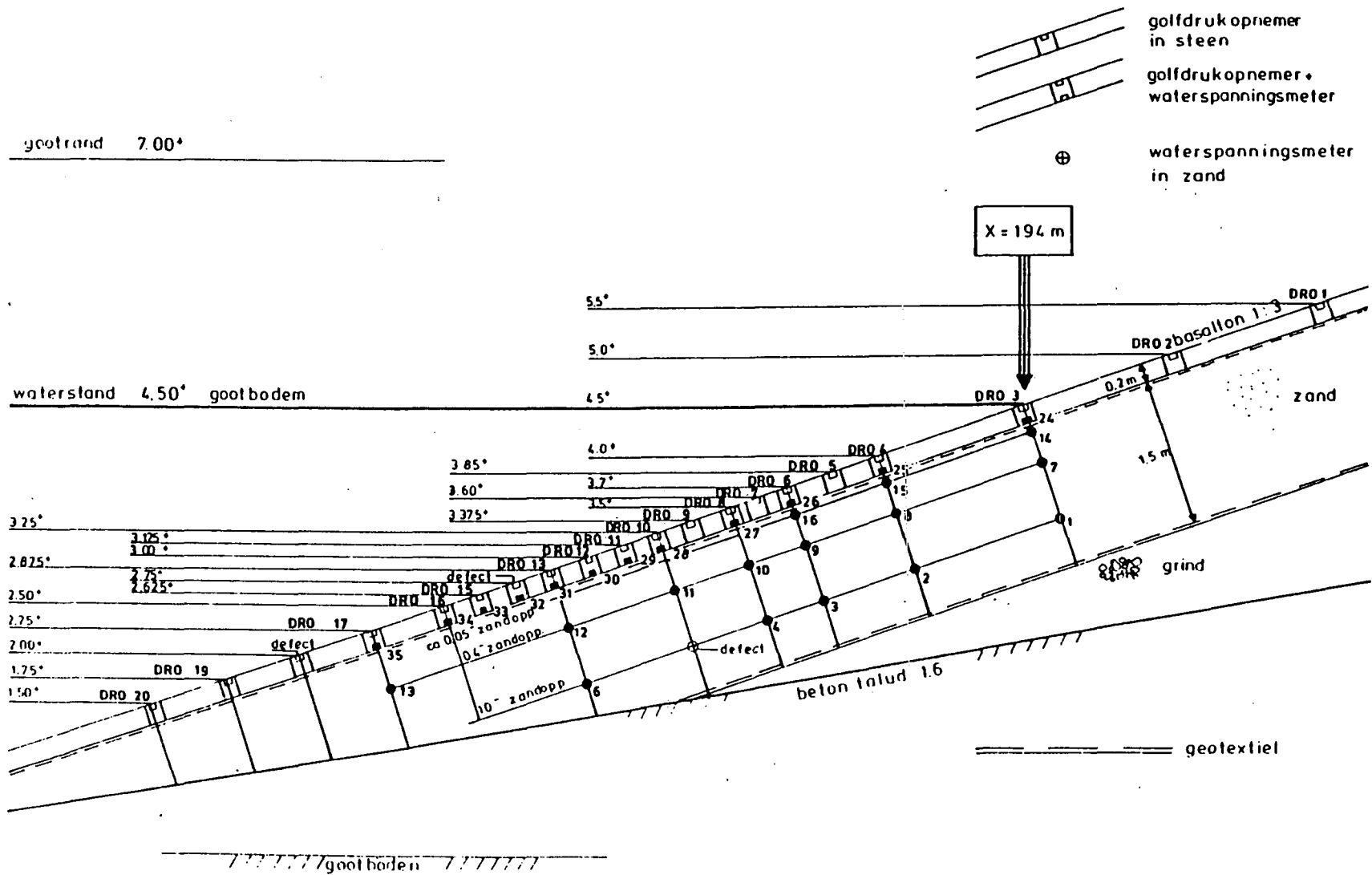
RESULTATEN NUL-PEILING VOOR DE PROEF
 TALUD 1:3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

dd
 86-10-06
 CO 416751

6.

FIG. 6

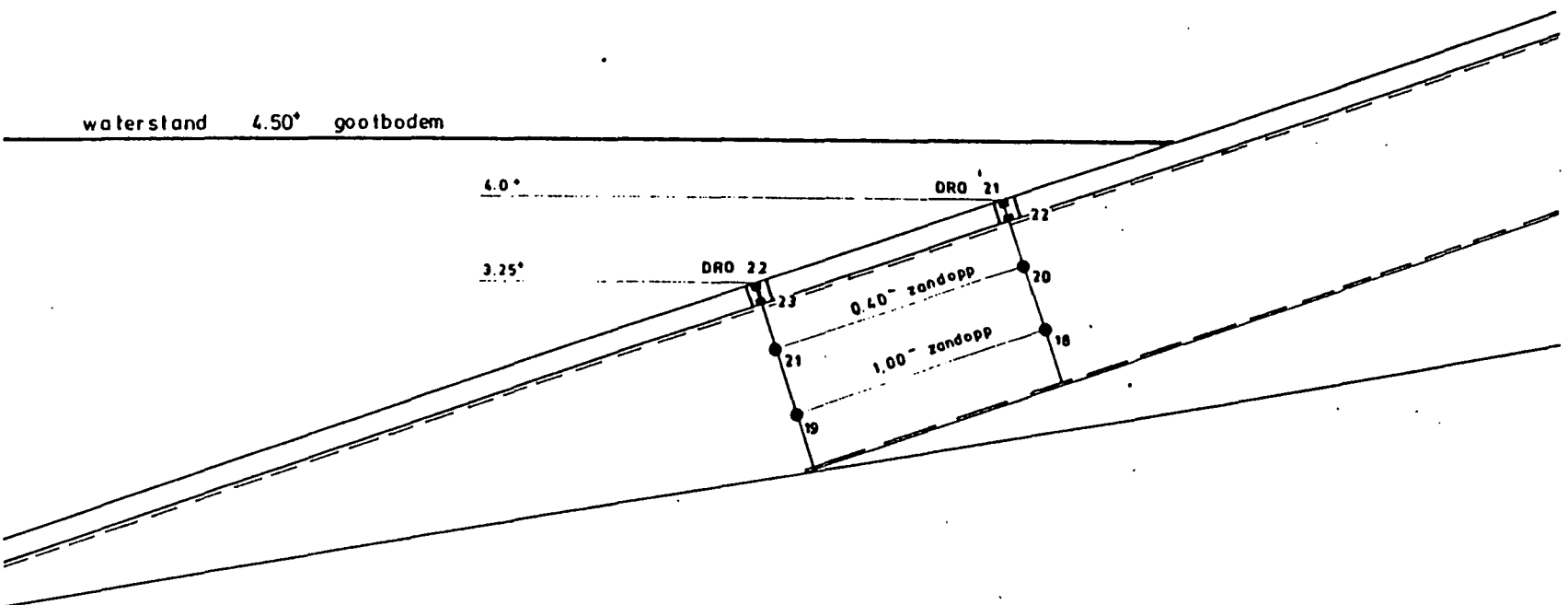


INSTRUMENTATIE OOSTZIJDE (GROTE MEET-
BESTAND) 1m UIT GOOTWAND
LOSSE PAKKING

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

d.d. 86-10-06
CO 416751

FIG. 7



INSTRUMENTATIE WESTZIJDE(GROTE MEET -
BESTAND) 1m UIT GOOTWAND
VASTE PAKKING.

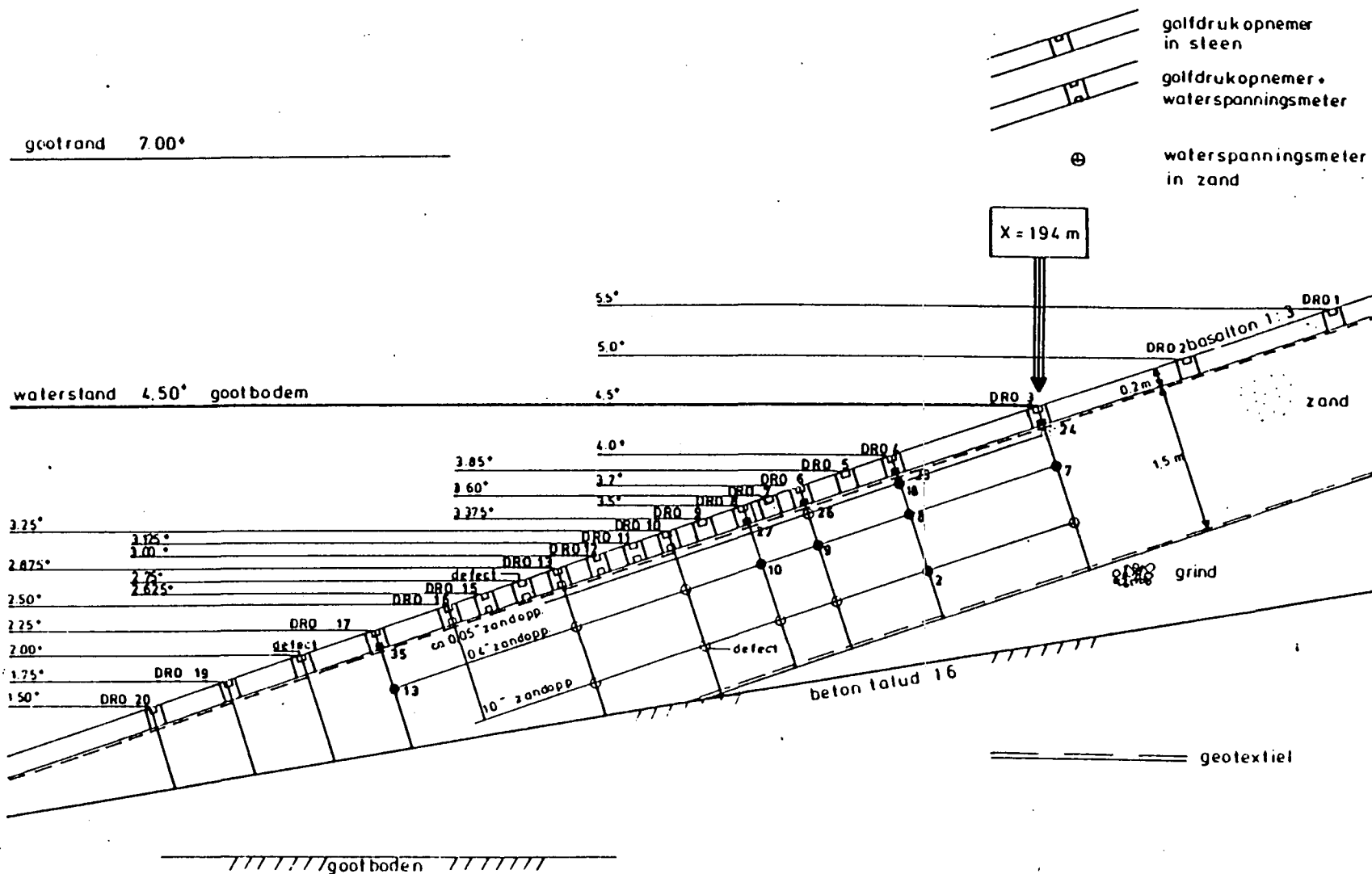
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

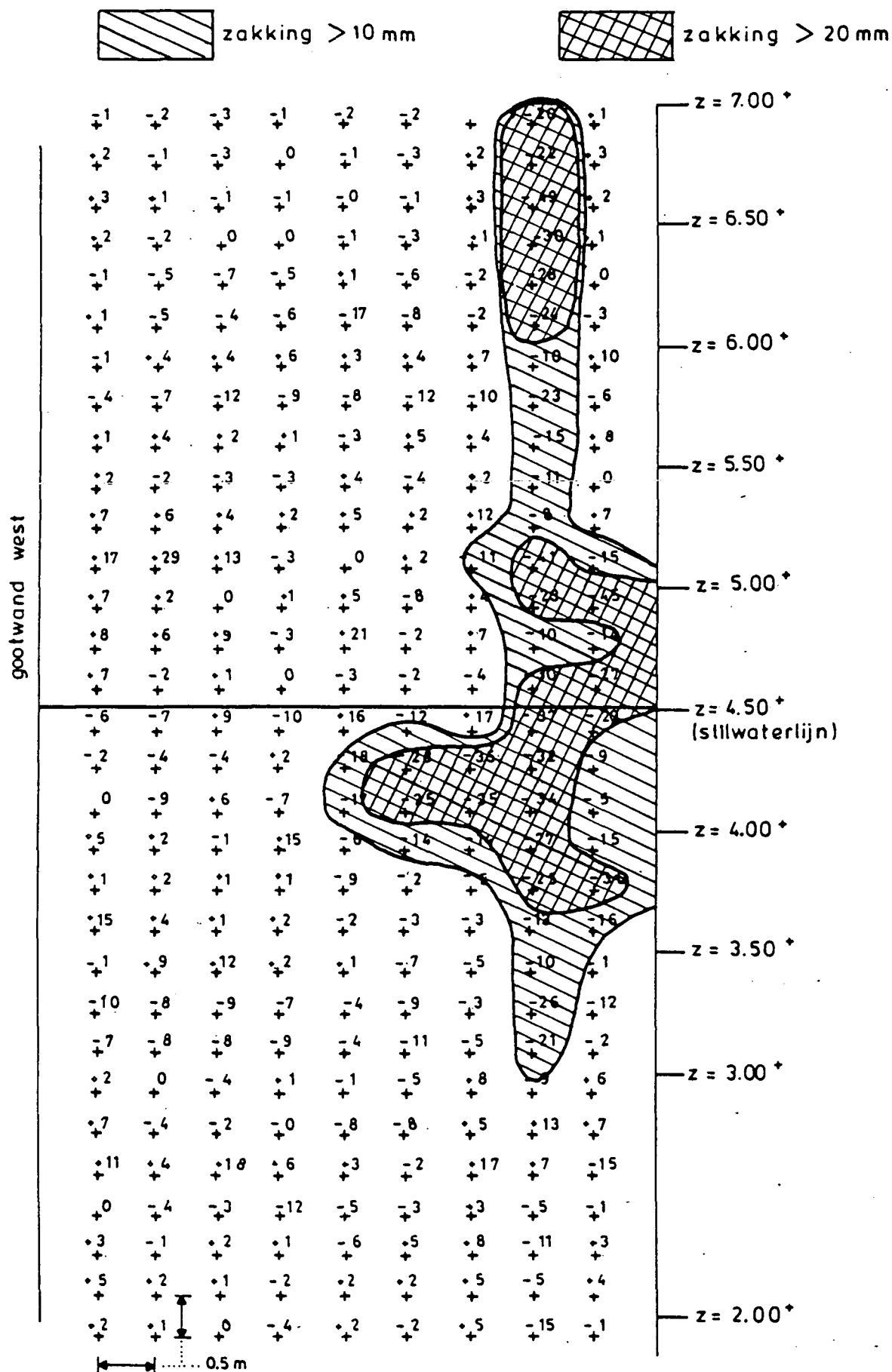
dd.
86-10-06

⑧

CO 416751

FIG. 8





HOOGTE VERANDERING IN MM, PEILING NA
PROEF DGL 03 T.O.V. NULPEILING.

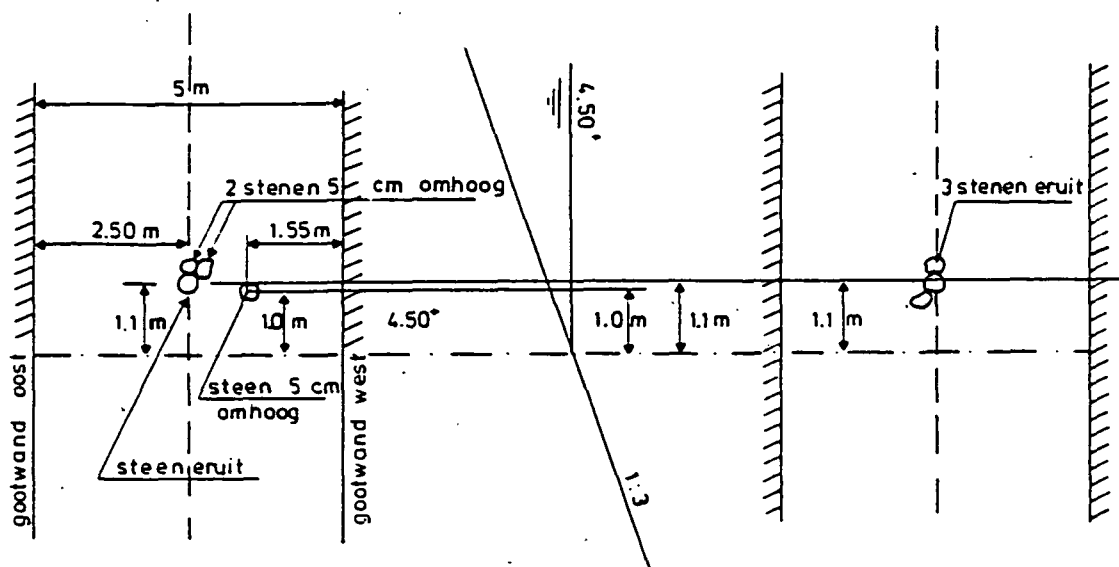
d.d.
86-09-09

2

CO - 416751

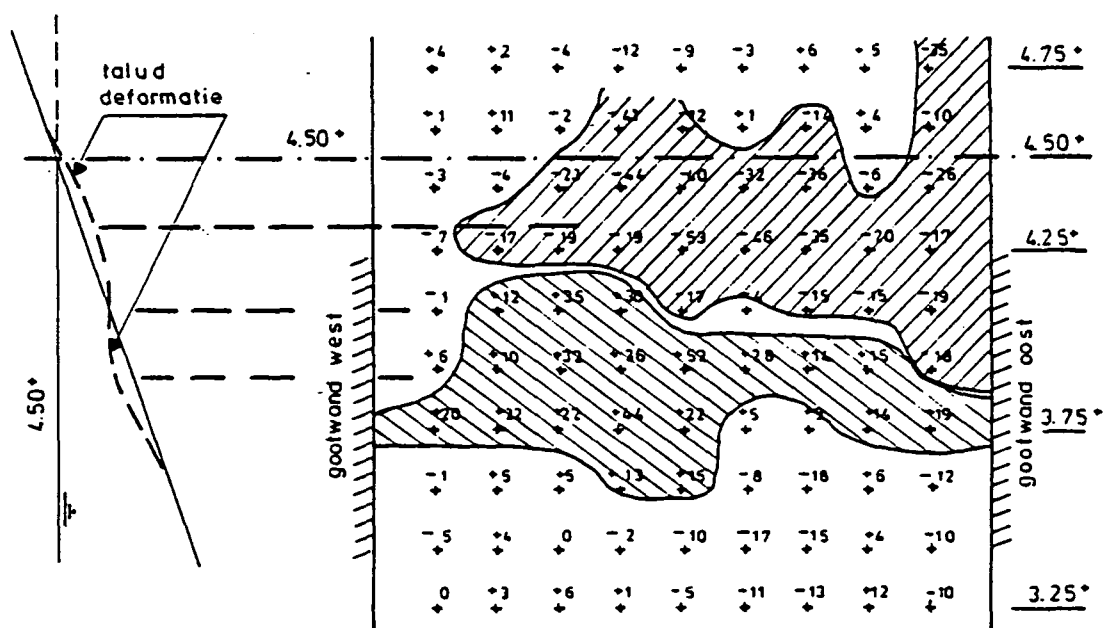
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONOMECHANICA

FIG. 11



SCHADE NA AFLOOP
VAN PROEF DGL06

SCHADE NA AFLOOP
VAN PROEF DGB 12



hoogteveranderingen in mm, peiling na afloop proef DGB 12
tov peiling na proef DGL 03

TALUDSCHADE NA PROEVEN DGL06 EN DGB 12
EN RESULTAAT PEILING NA PROEF DGB12

d.d.
86-10-06

8.

CO 416751

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

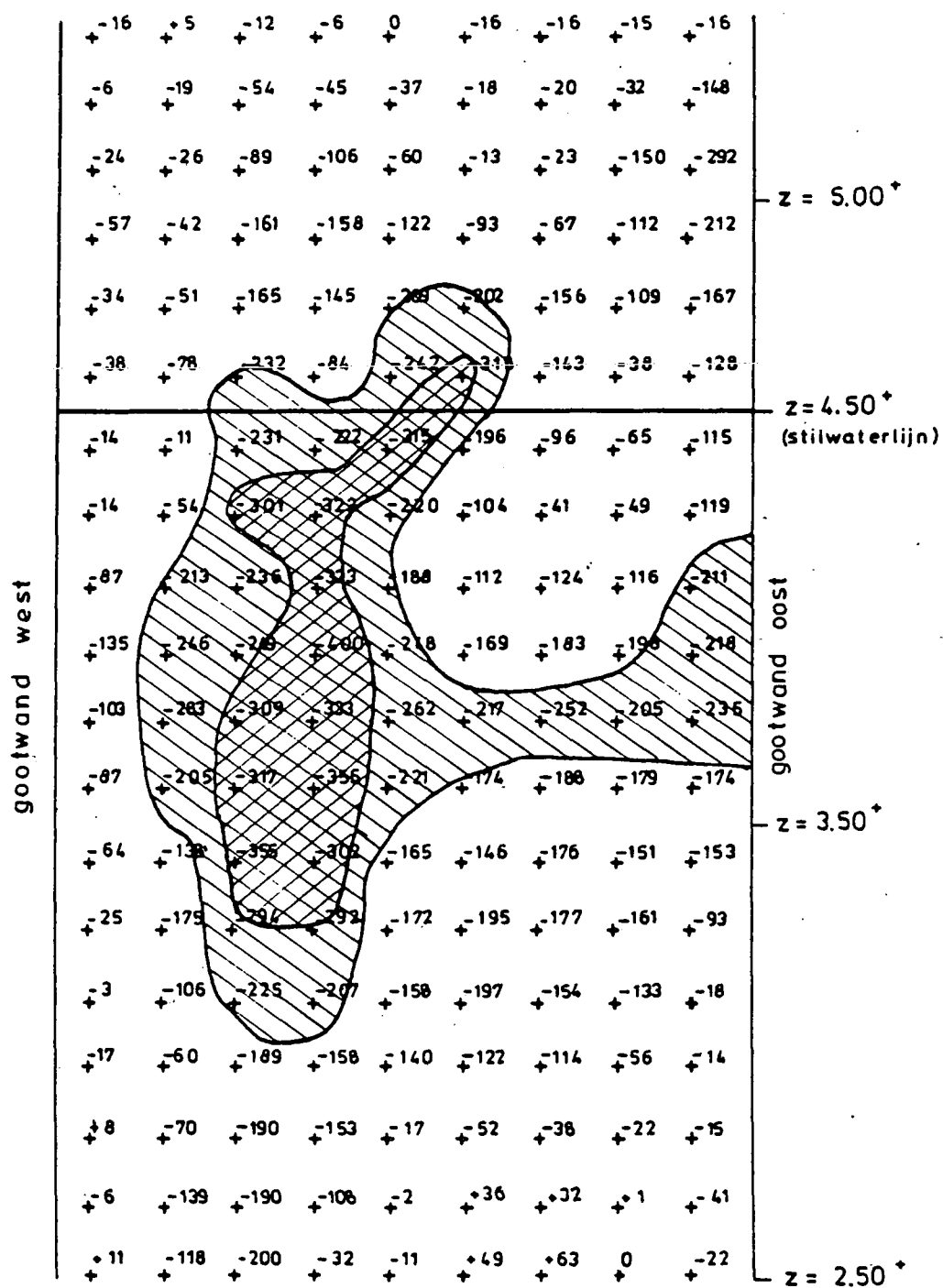
FIG. 12



zakking > 200mm



zakking > 300mm



HOOGTE VERSCHILLEN IN MM, PEILING NA
PROEF DGB18 T.A.V. PEILING NA PROEF DGB12

dd.
86-09-09

2

CO-416751

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

FIG. 13

plots waterspanning



1m

GHM 1

1m

GHM 2

2m

Oploop

Gould Inc., Instrument Systems Division

BRUSH ACCUCHART 11-2963-21E

5kN/m²

WSM 2

5kN/m²

30s 30s 30s 30s

WSM 8

10kN/m²

WSM 15

start proef

Proef DGL03 (1a)

t=600s

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

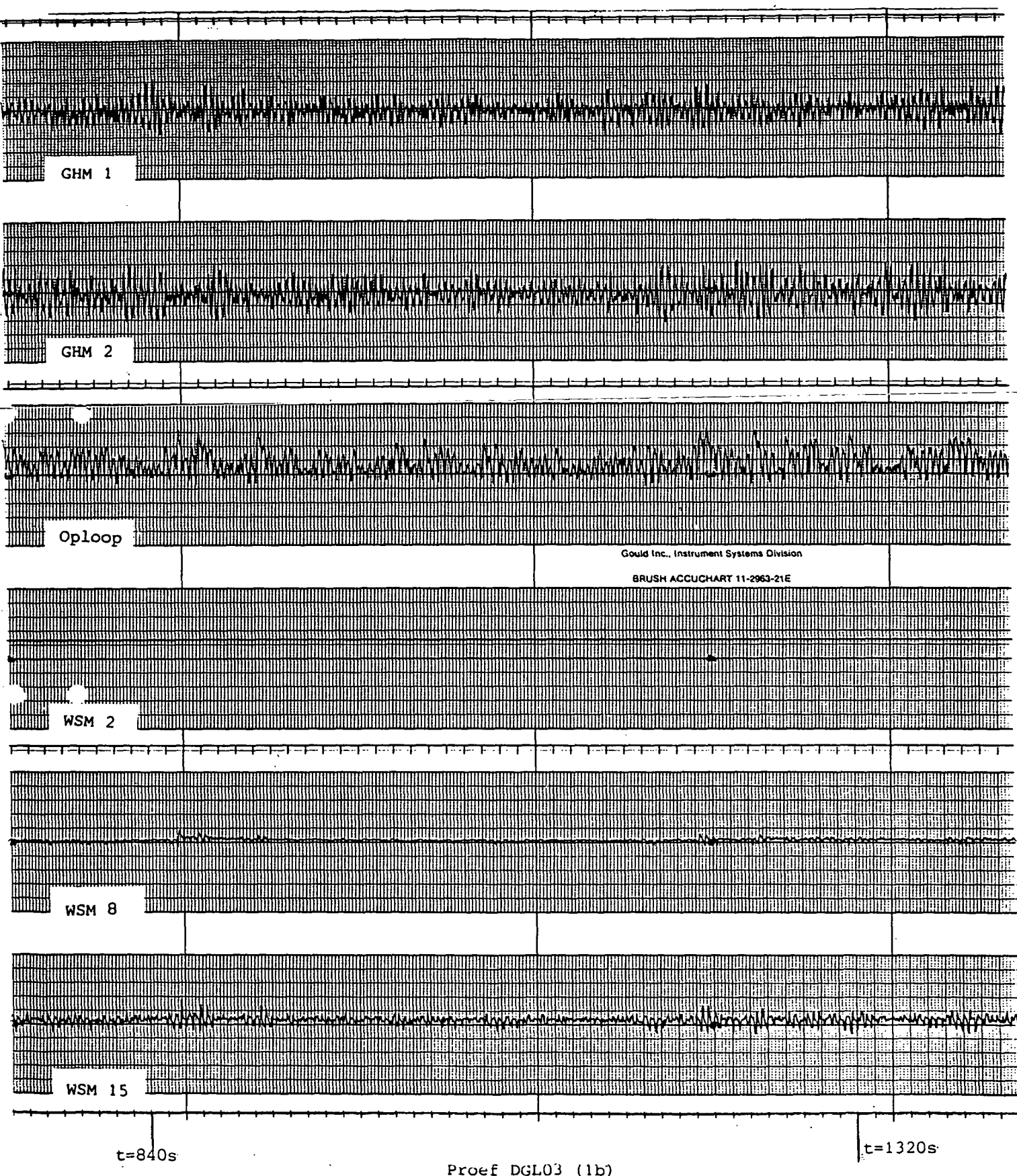
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

DGL03

H_{sl} = 0.50 m T_p = 4.27 s

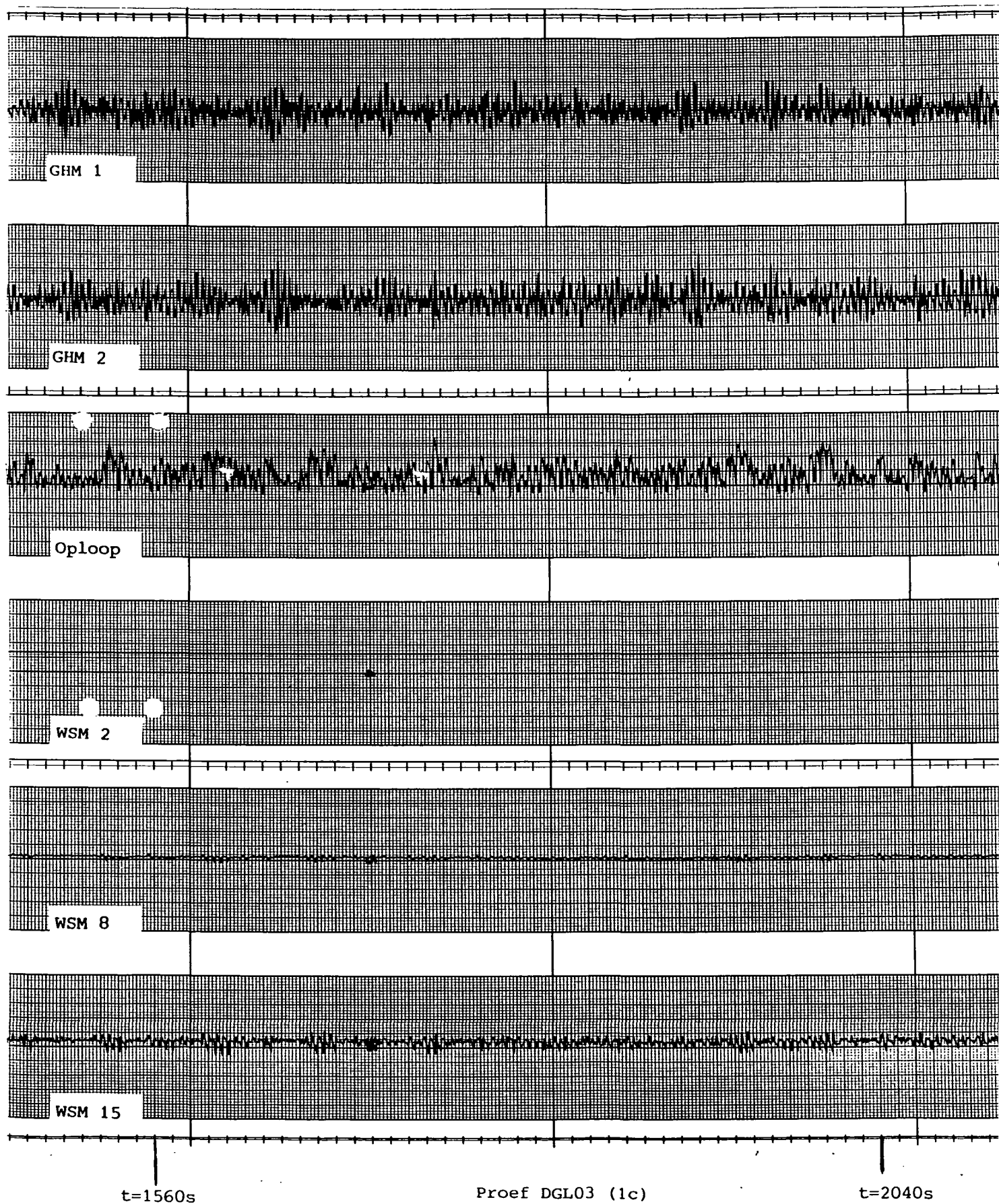
H 0122

FIG. 14



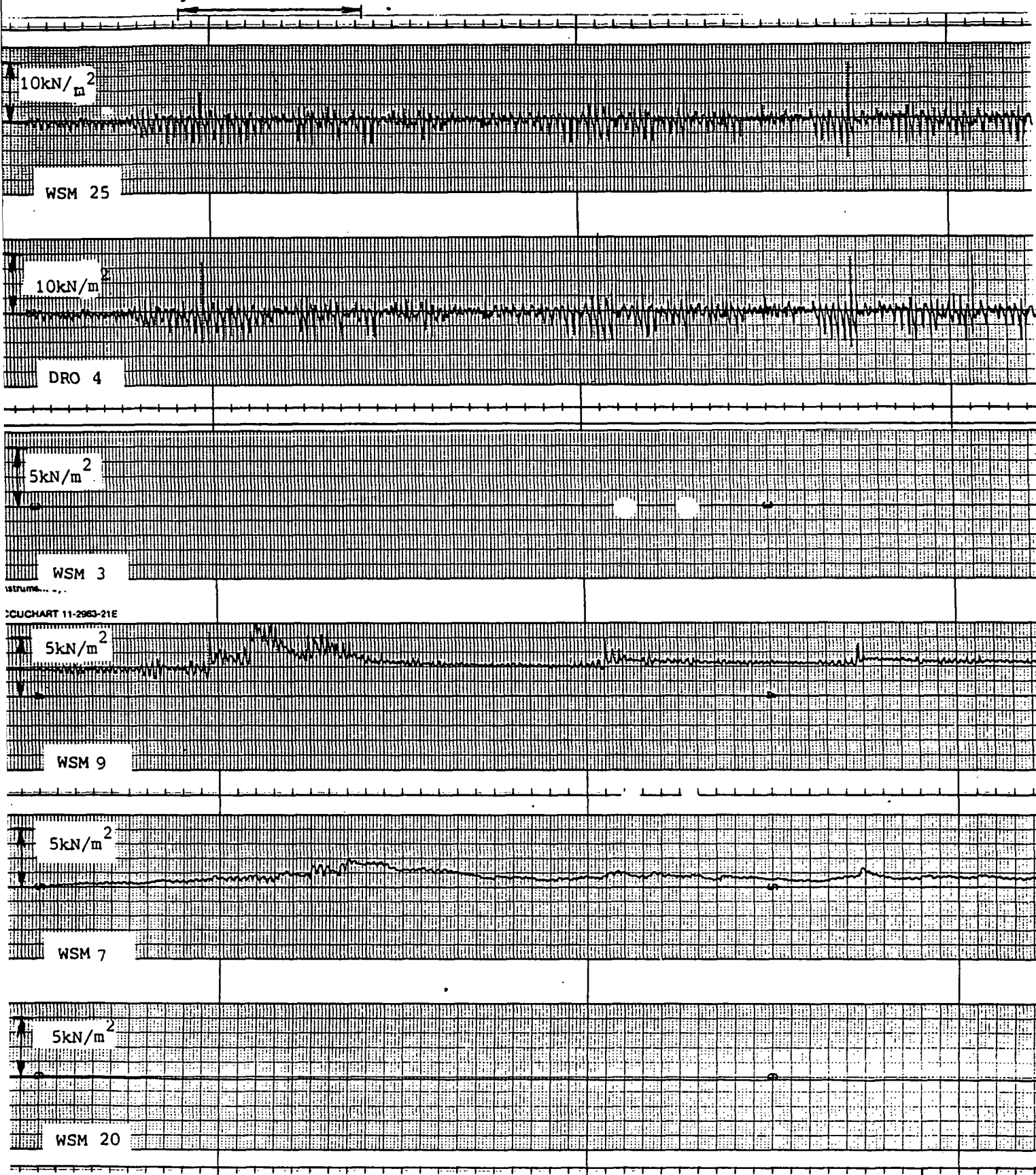
Proef DGL03 (1b)

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN WATERSpanNING IN HET ZAND.	DGL03	
	$H_{s1} = 0.50 \text{ m}$ $T_p = 4.27 \text{ s}$	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA	H 0122	FIG. 15



VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN WATERSpanNING IN HET ZAND.	DGL03	
	H ₉₁ = 0.50 m	T _p = 4.27 s
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA	H 0122	FIG. 16

plots waterspanning



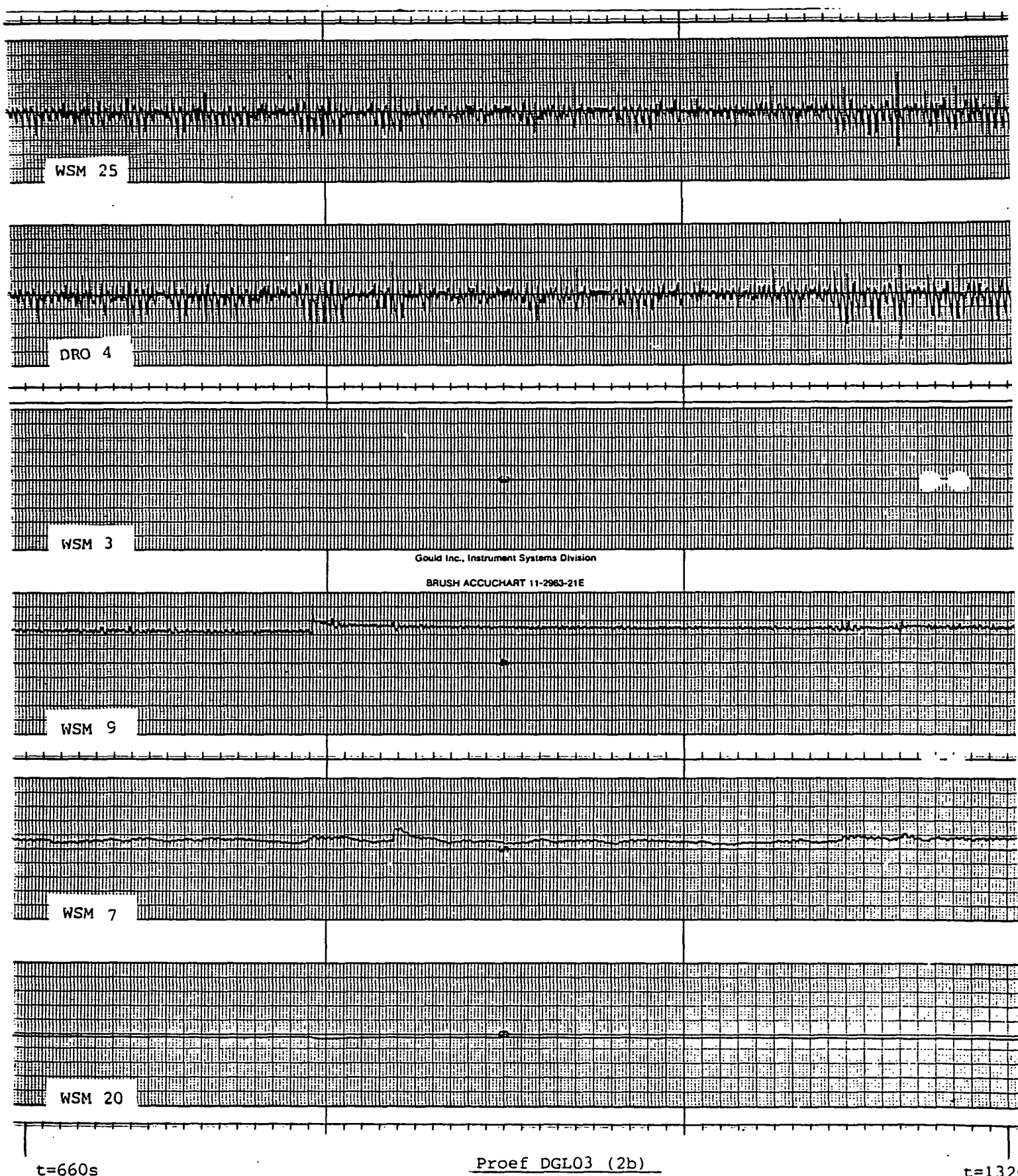
SCUCHART 11-2963-21E

Proef DGL03 (2a)

t=600s

start
proef

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN WATERSpanNING IN HET ZAND.	DGL03	
	$H_{sl} = 0.50 \text{ m}$ $T_p = 4.27 \text{ s}$	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA	H 0122	FIG.17



VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

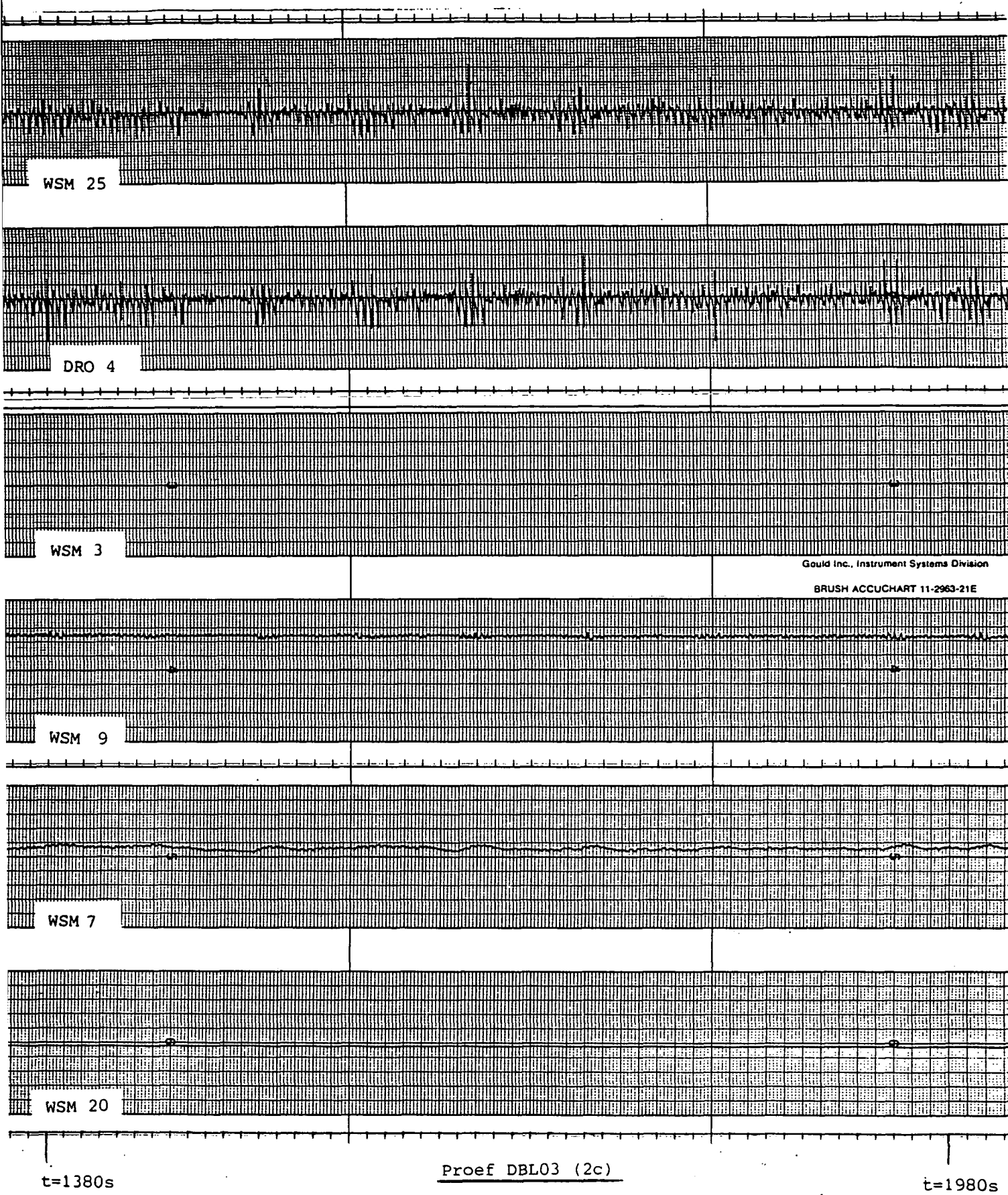
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

DGL03

H_{si} = 0.50 m T_p = 4.27 s

H 0122

FIG.18



Gould Inc., Instrument Systems Division
BRUSH ACCUCHART 11-2963-21E

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

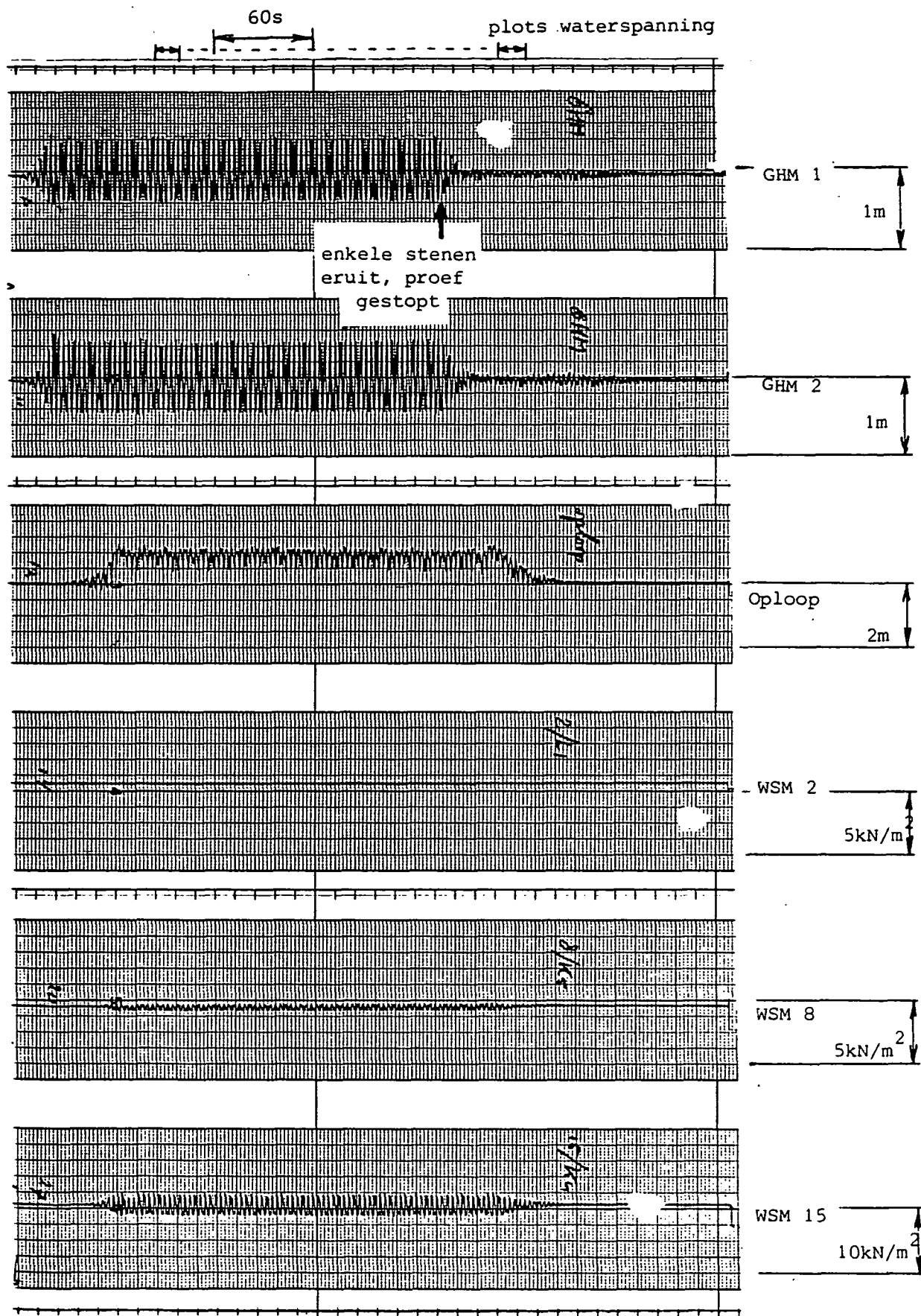
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

DGL03

H_gl= 0.50 m T_p= 4.27 s

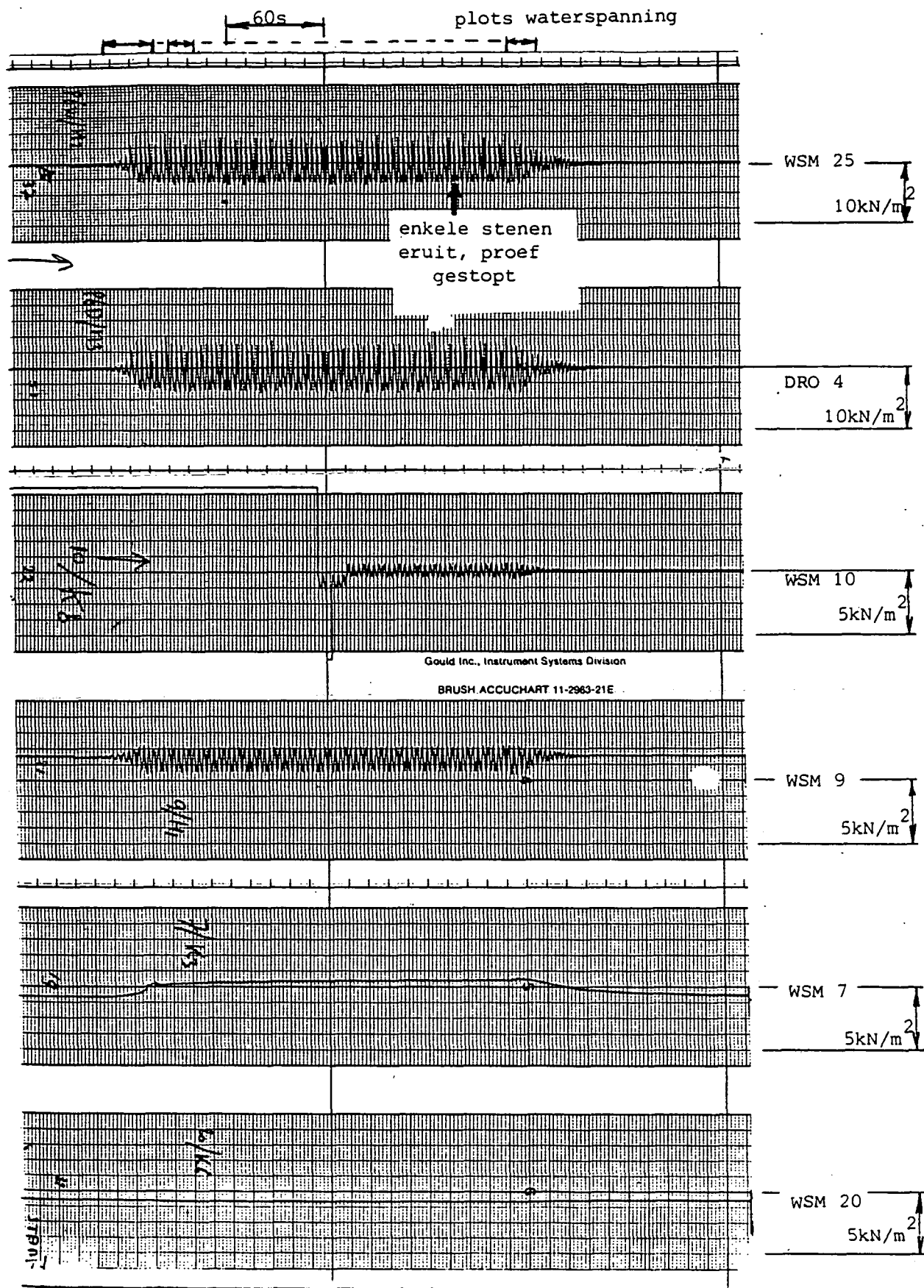
H 0122

FIG. 19



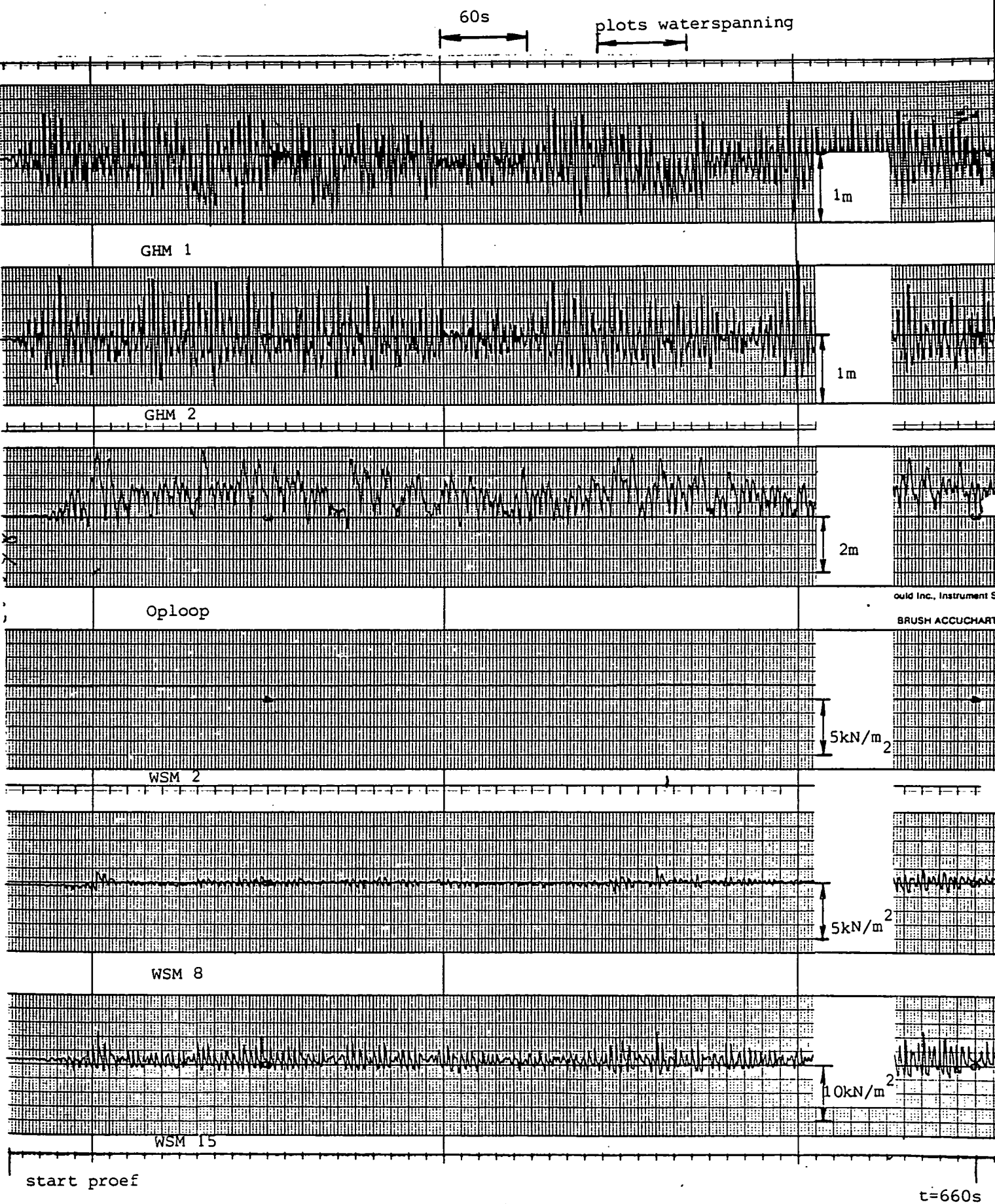
Proef DGL06 (1)

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN WATERSpanNING IN HET ZAND.	DGL06	
	H= 0.835 m T= 3.11 s	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA	H. 0122	FIG.20



Proef DGL06 (2)

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN WATERSPANNING IN HET ZAND.	DGL06	
	H= 0.835 m T= 3.11 s	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA	H 0122	FIG. 21



Proef DGB10 (1a)

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN WATERSpanNING IN HET ZAND.	DGB10	
	$l_{s1} = 1.14 \text{ m}$ $T_p = 3.91 \text{ s}$	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA	H 0122	FIG. 22

plots waterspanning

GHM 1

GHM 2

Oploop

WSM 2

WSM 8

WSM 15

t=660s

Proef DGB10 (1b)

t=1260s

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

DGB10

H_{s1} = 1.14 m T_p = 3.94 s

H 0122

FIG. 23

VERMEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN		WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM		LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA	
WATERSPANNING IN HET ZAND.		H ₉₁ = 1.14 m		T _p = 3.94 s	
DCB10		H 0122		FIG. 24	

t=1980s

Proef DCB10 (1c)

t=1380s

WSM 15

WSM 8

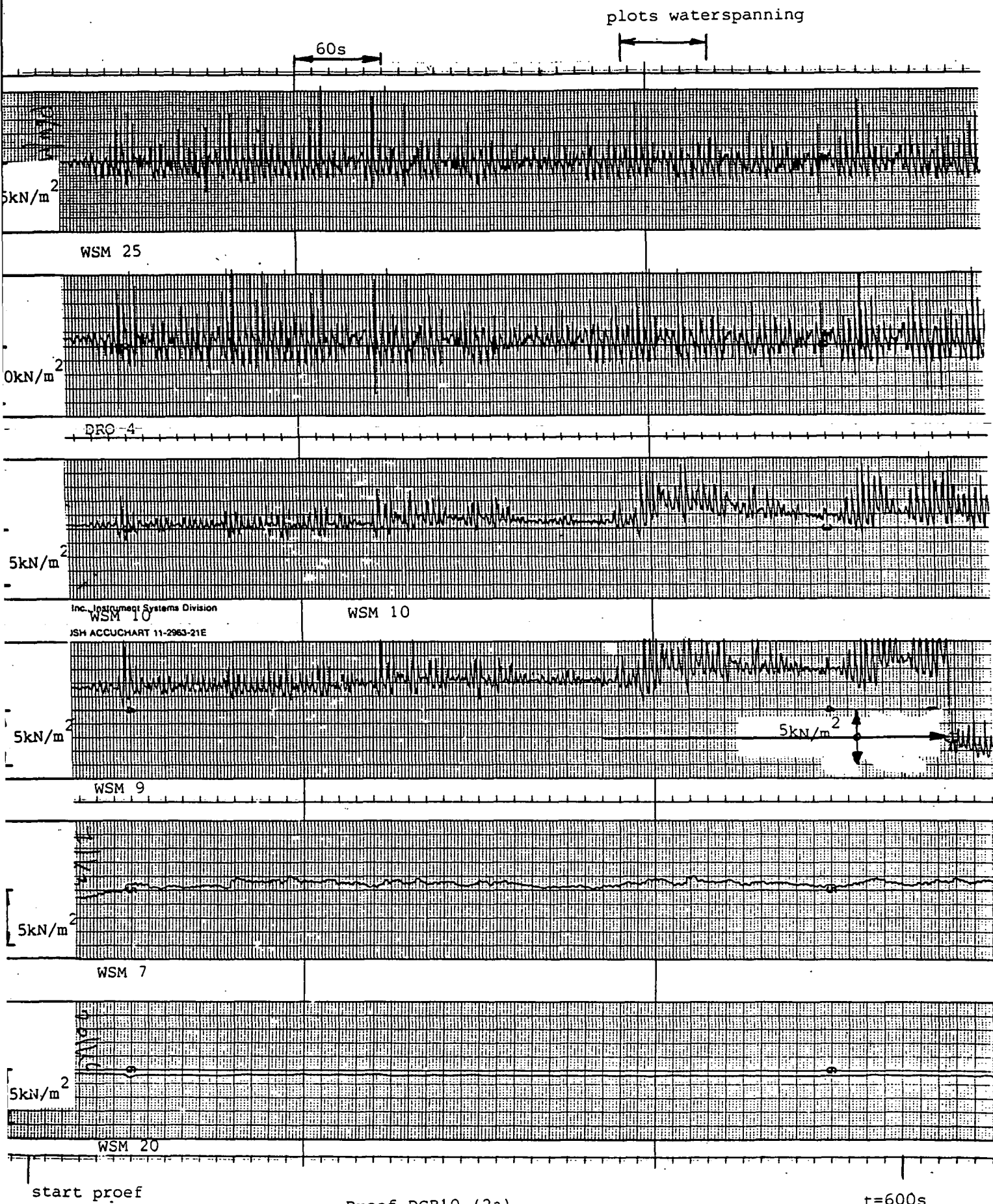
WSM 2

Opto

GHM 2

GHM 1

BRUSH ACCUCHART 11-2903-21E
Gould Inc., Instrument Systems Division



Proef DGB10 (2a)

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGB10

H_{sl} = 1.14 m T_p = 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 25

plots waterspanning

WSM 25

DRQ 4

WSM 10

Gould Inc., Instrument Systems Division

BRUSH ACCUCHART 11-2963-21E

10kN/m^2

5kN/m^2

WSM 9

WSM 7

WSM 20

t=660s

Proef DGB10 (2b)

t=1260s

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

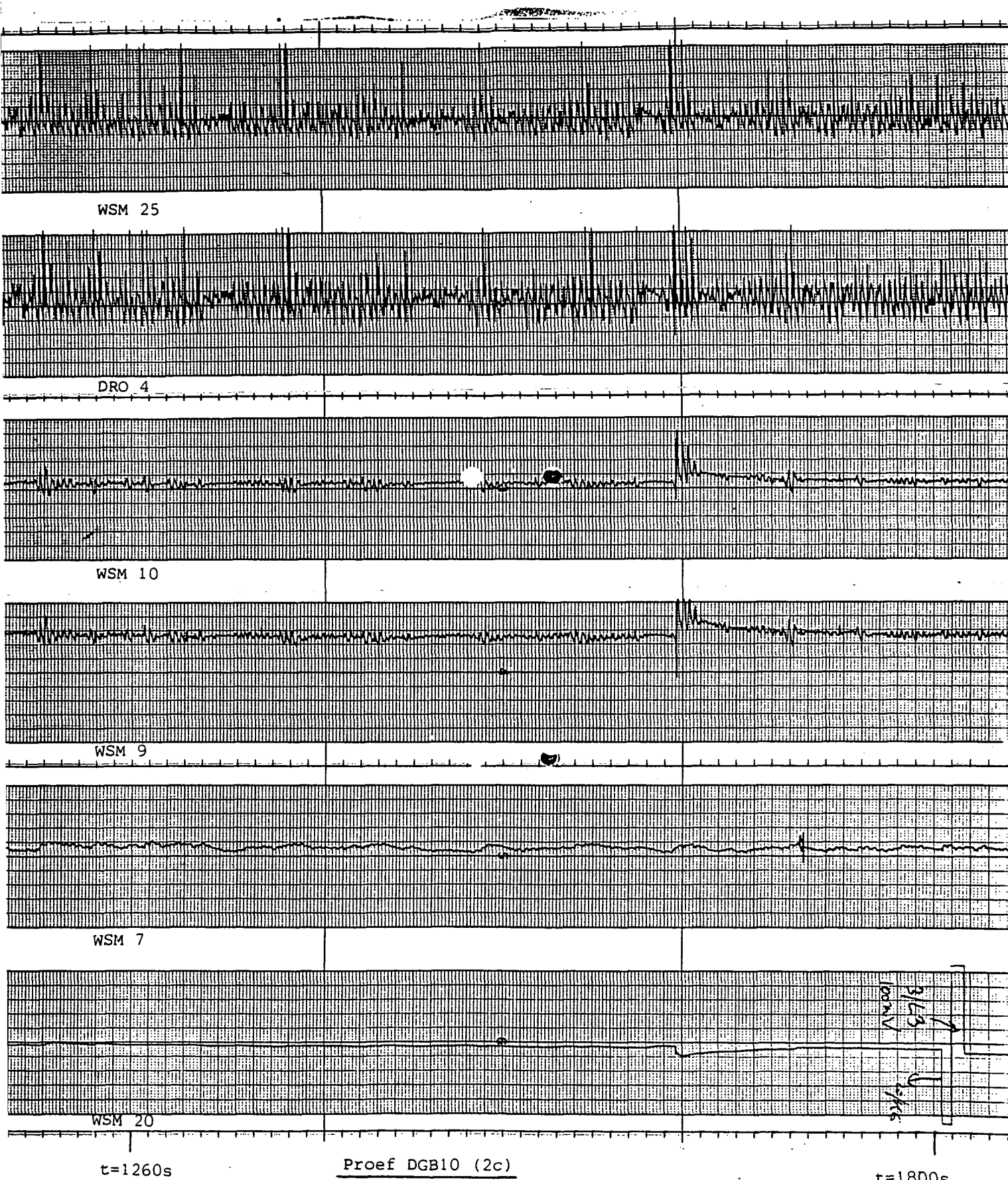
DGB10

$H_{sl} = 1.14 \text{ m}$ $T_p = 3.94 \text{ s}$

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG.26



VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

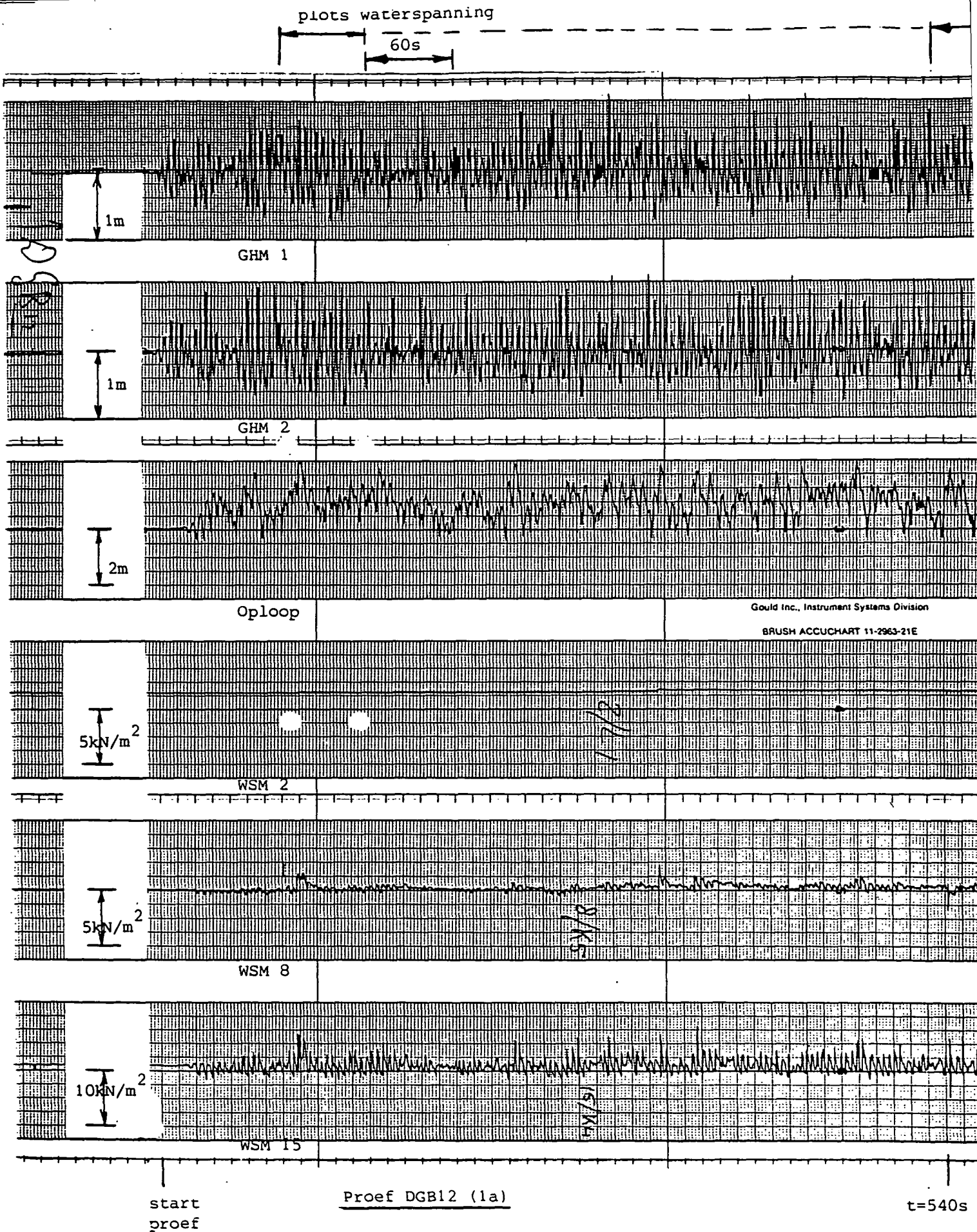
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

DGB10

H₉₁ = 1.14 m T_p = 3.91 s

H 0122

FIG. 27



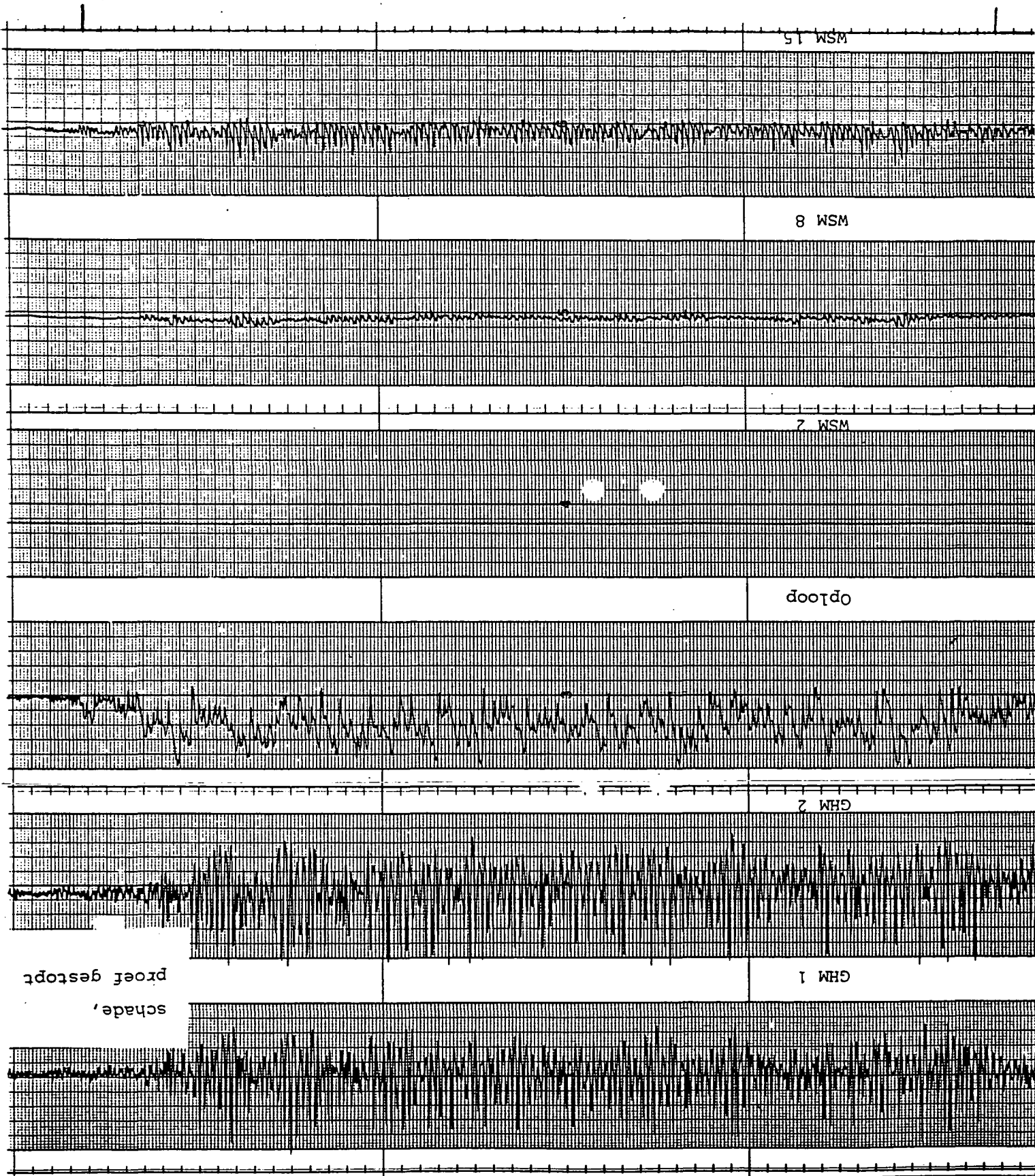
VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN WATERSpanNING IN HET ZAND.	DGB12	
	H _{si} = 1.24 m T _p = 3.94 s	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA	H 0122	
	FIG. 28	

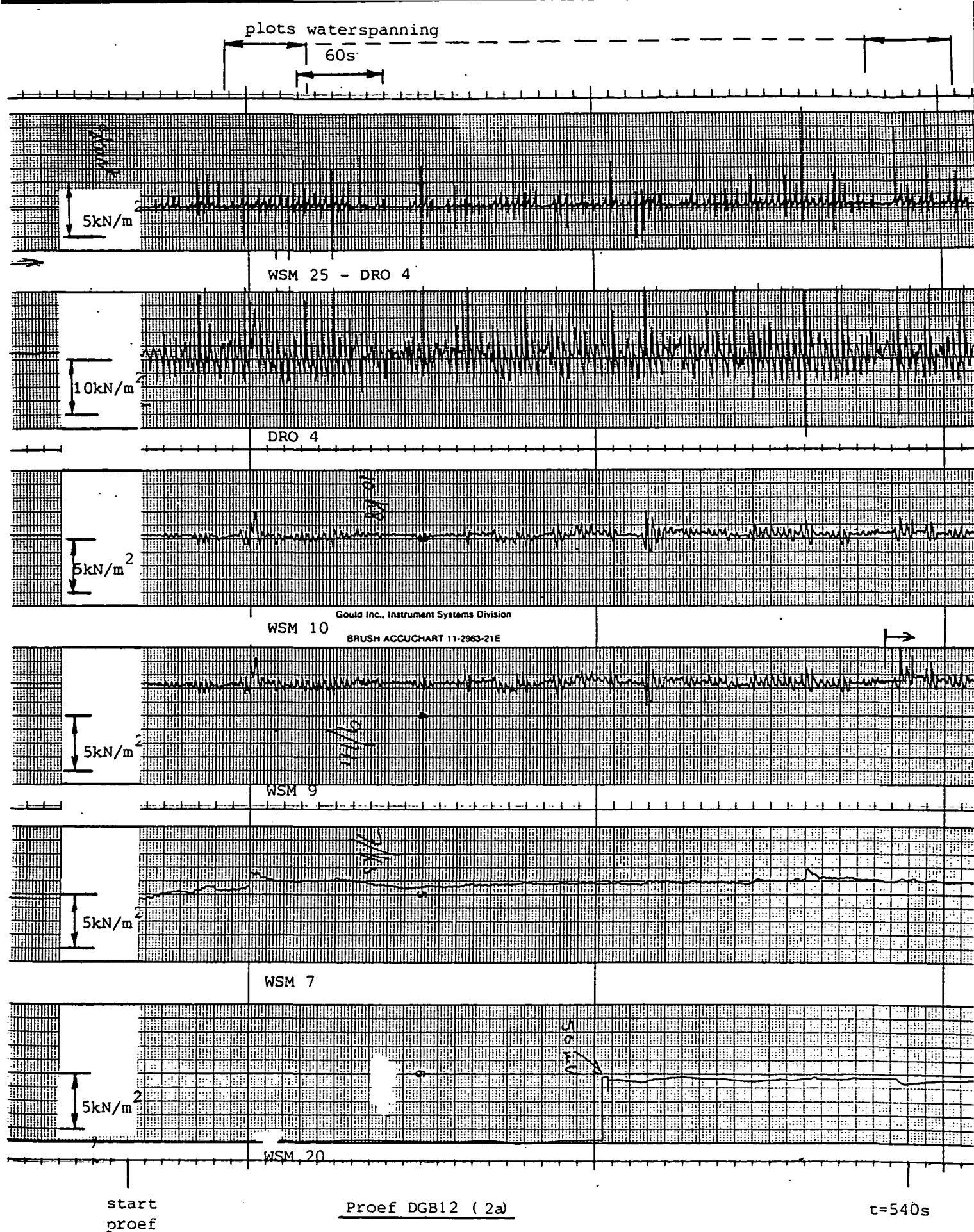
VERMEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN		WATERSPANNING IN HET ZAND.	WATERLOOPKUNDE LABORATORIUM LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA
DGB12	H 0122		
	H ₉₁ = 1.24 m I _p = 3.94 s		
		FIG. 29	

t=1260s

Proef DGB12 (1b)

t=660s





VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

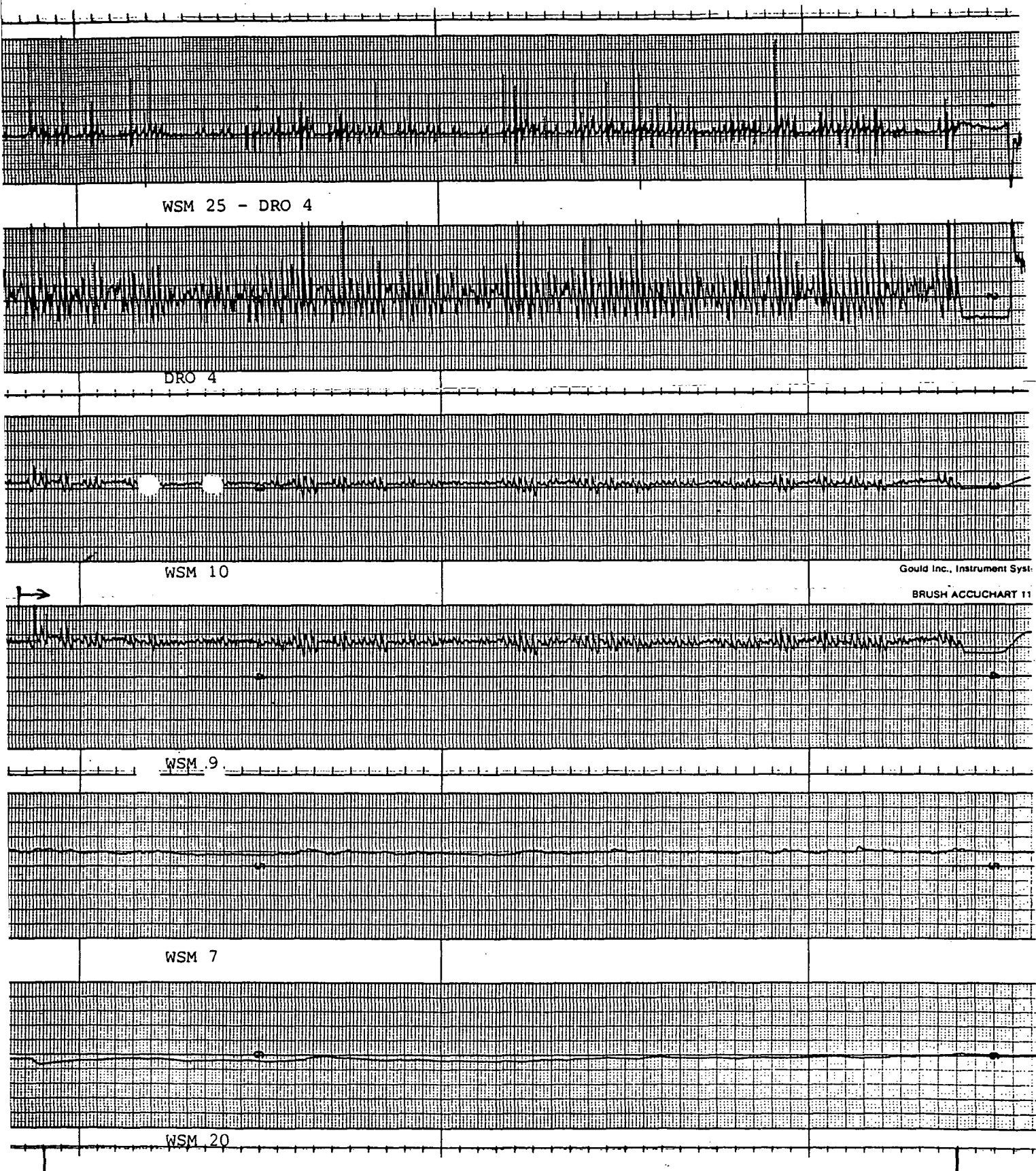
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

DGB12

H_{si} = 1.24 m T_p = 3.94 s

H 0122

FIG.30

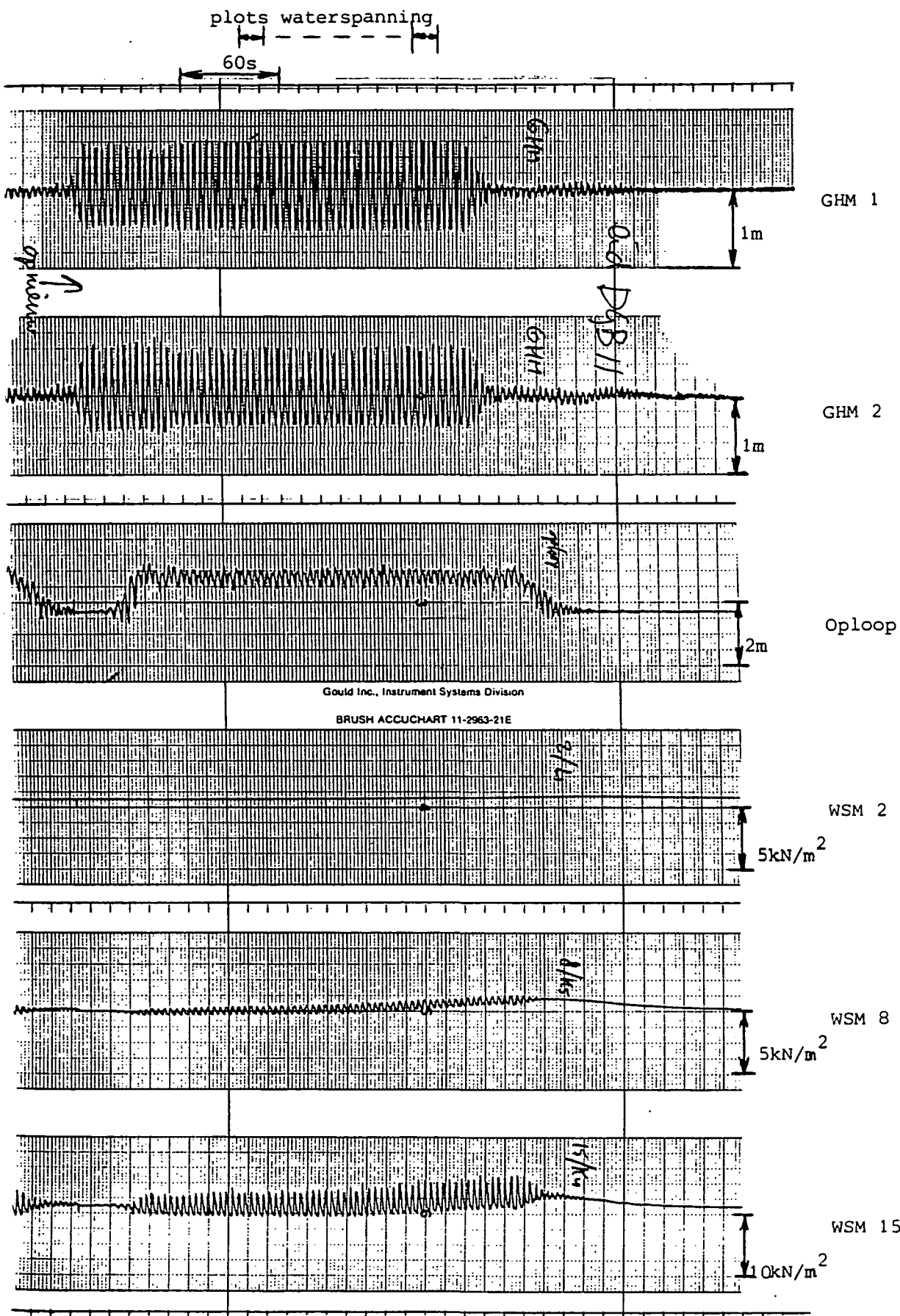


t=540s

Proef DGB12 (2b)

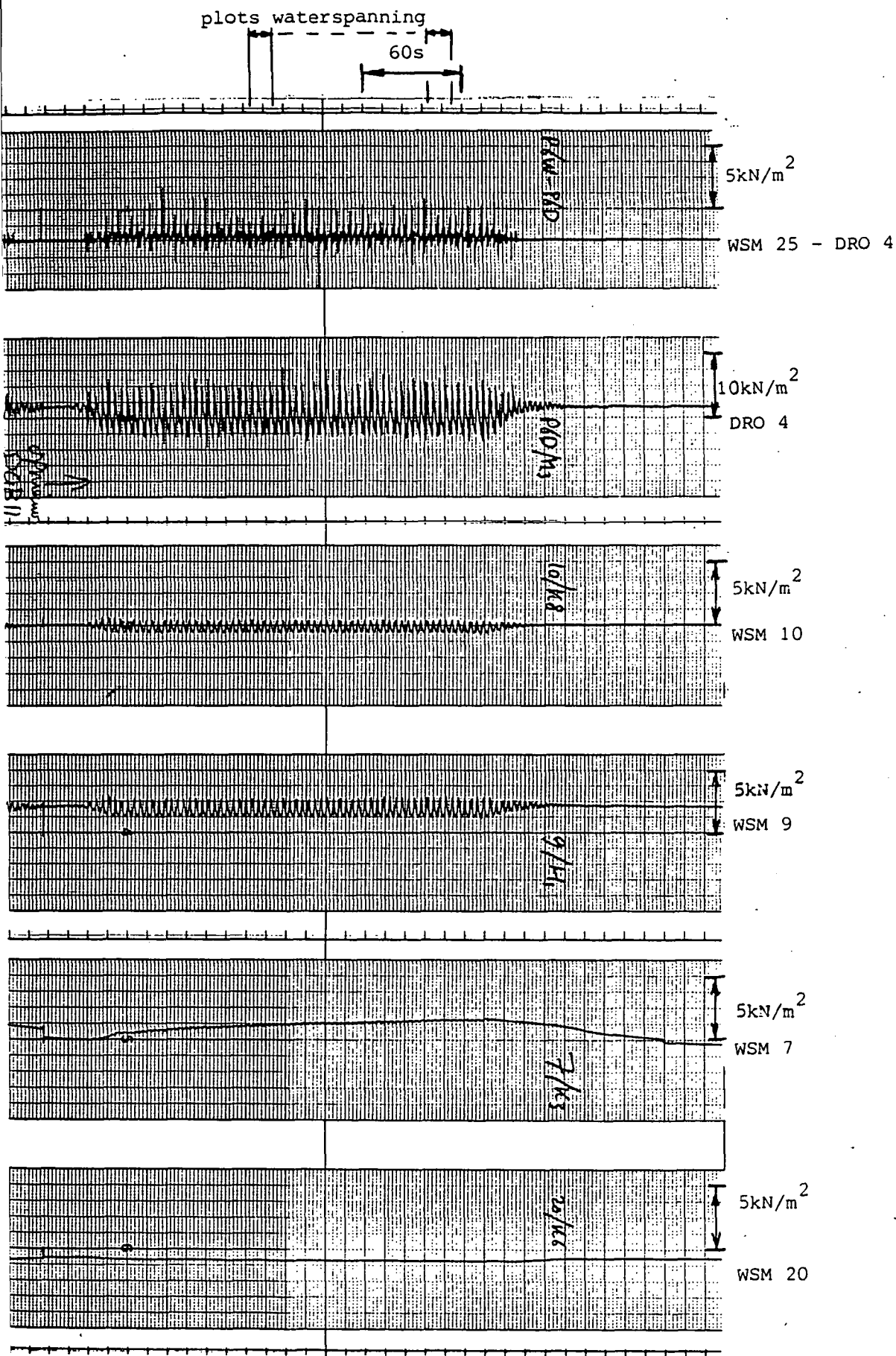
t=1140s

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN WATERSpanNING IN HET ZAND.	DGB12	
	H _{si} = 1.24 m T _p = 3.94 s	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM LABORATORIUM VOOR GRONOMECHANICA	H 0122	FIG. 31



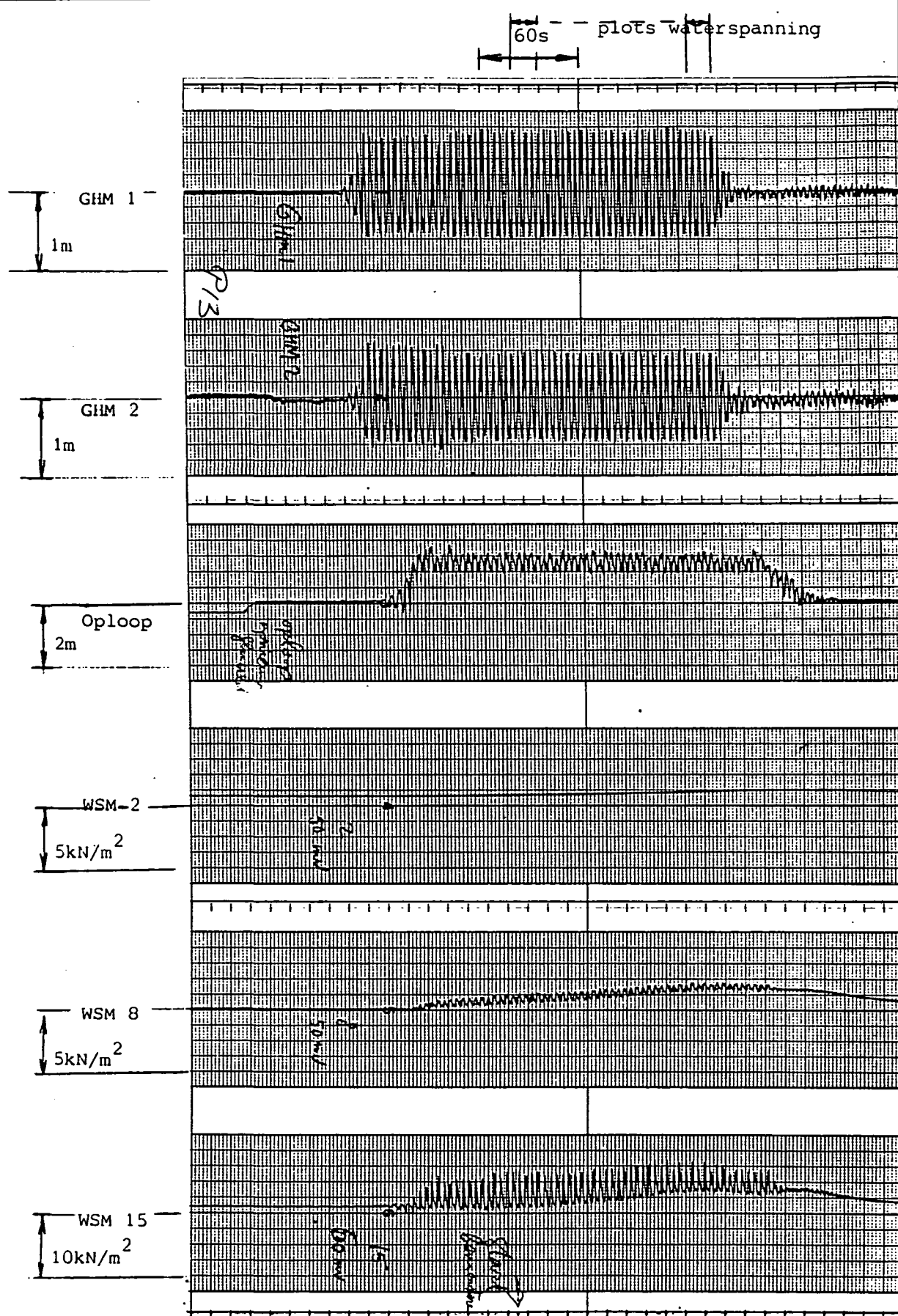
Proef DGB11 (1)

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN WATERSpanNING IN HET ZAND.	DGB11	
	H= 1.054 m T= 3.79 s	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA	H 0122	FIG. 32



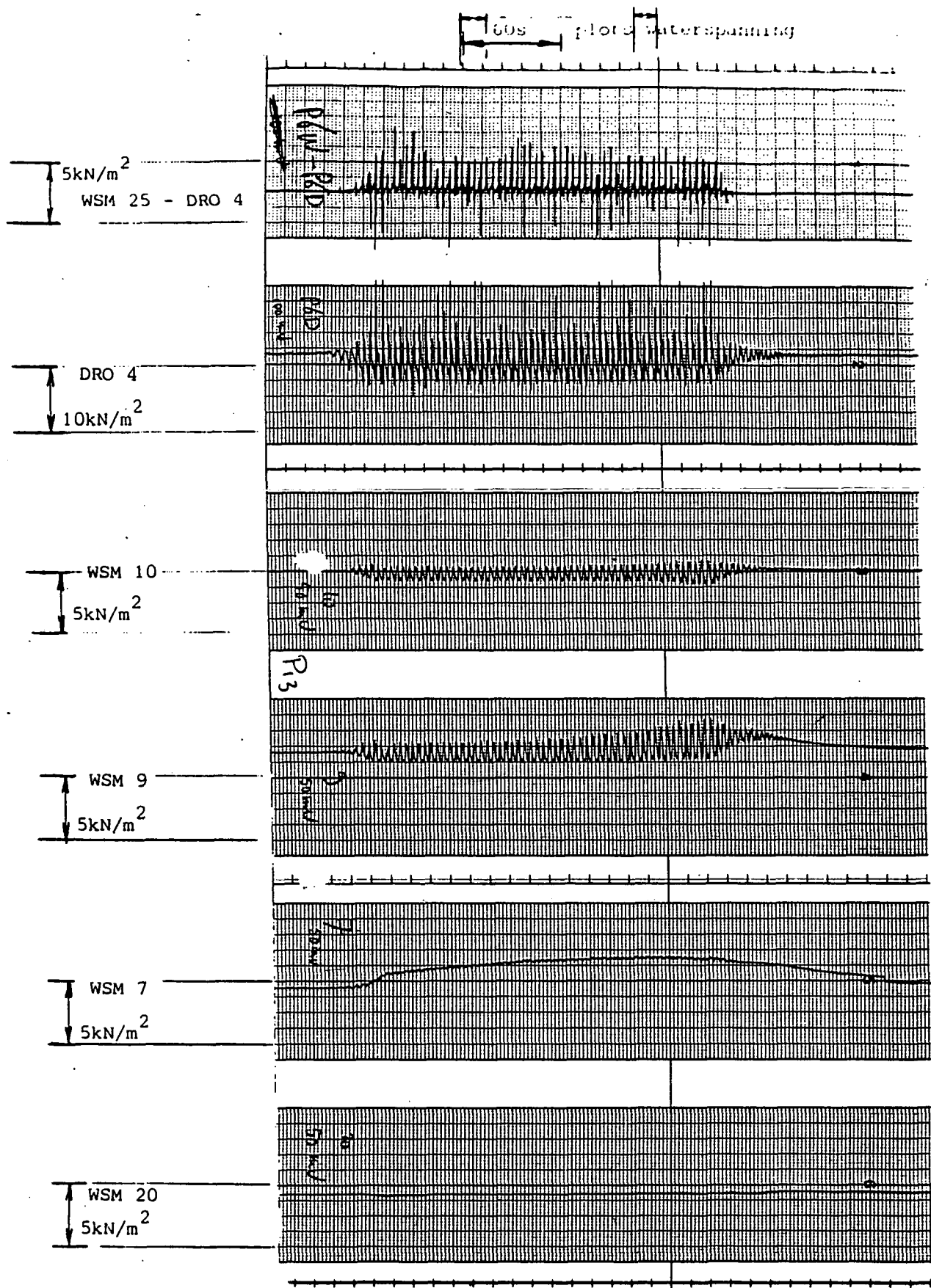
Proef DGB11 (2)

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN WATERSPANNING IN HET ZAND.	DGB11	
	H= 1.054 m T= 3.79 s	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA	H 0122	FIG.33



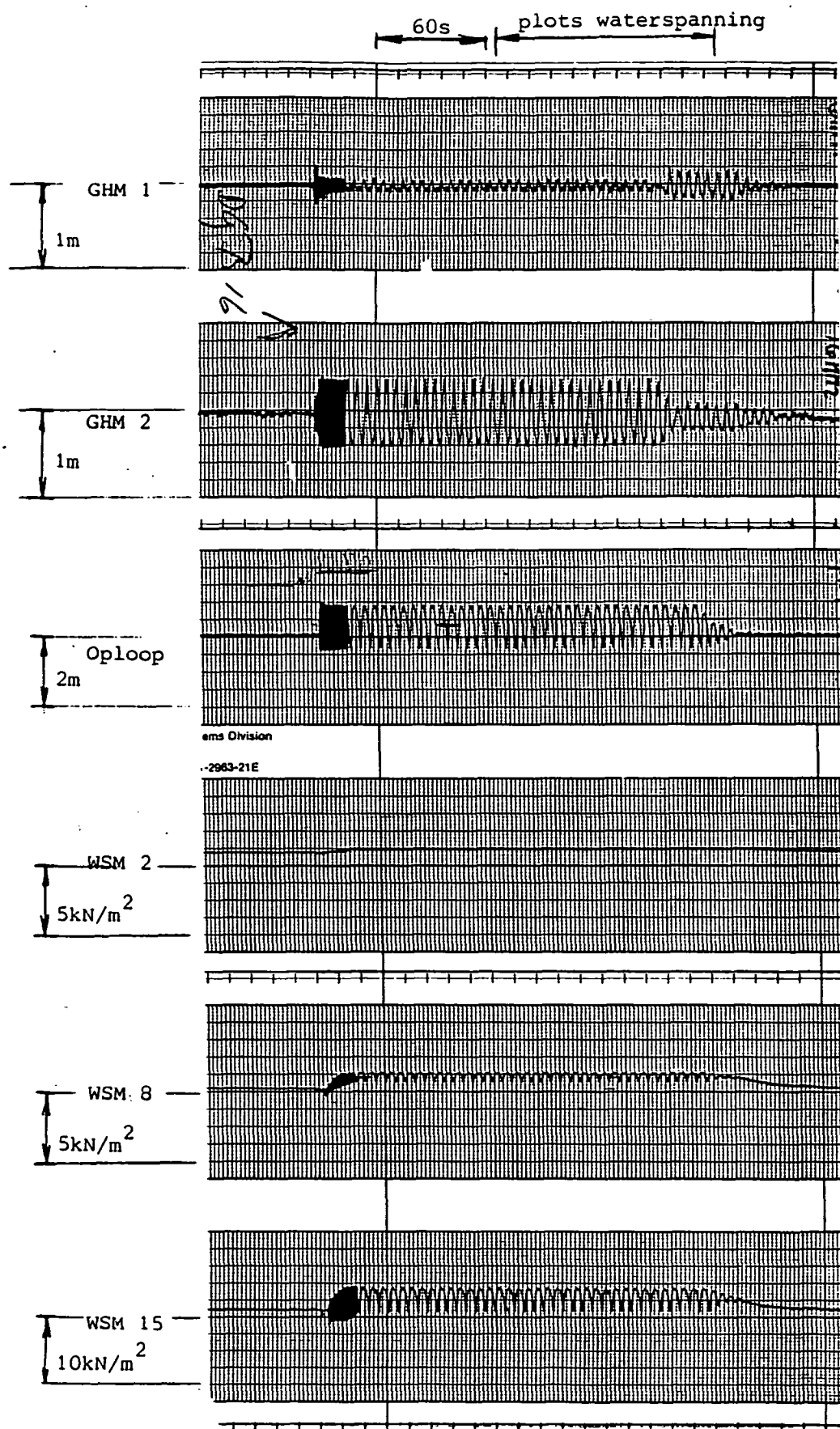
Proef DGB13 (1)

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN WATERSpanNING IN HET ZAND.	DGB13	
	H= 1.231 m T= 3.79 s	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA	H 0122	FIG.34



Proef DGB13 (2)

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN WATERSpanNING IN HET ZAND.	DGB13	
	H= 1.231 m T= 3.79 s	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA	H 0122	FIG.35

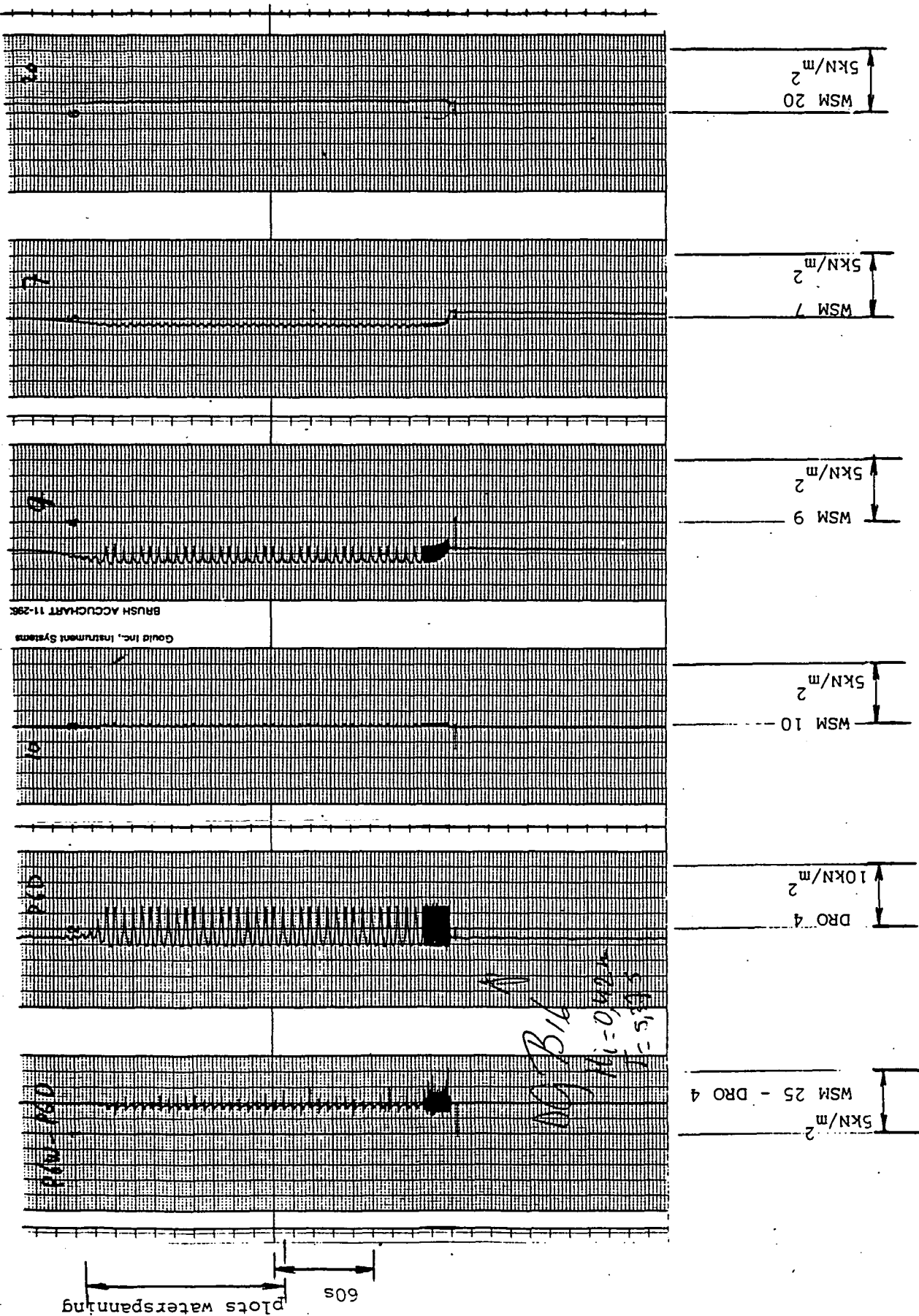


Proef DGB16 (1)

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN WATERSpanNING IN HET ZAND.	DGB16	
	H= 0.468 m T= 5.37 s	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM LABORATORIUM VOOR GRONOMECHANICA	H.0122	FIG. 36

VERMEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN		WATERSPANNING IN HET ZAND.	
H 0122		H = 0.468 m T = 5.37 s	
FIG. 37		WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA	
DGB 16			

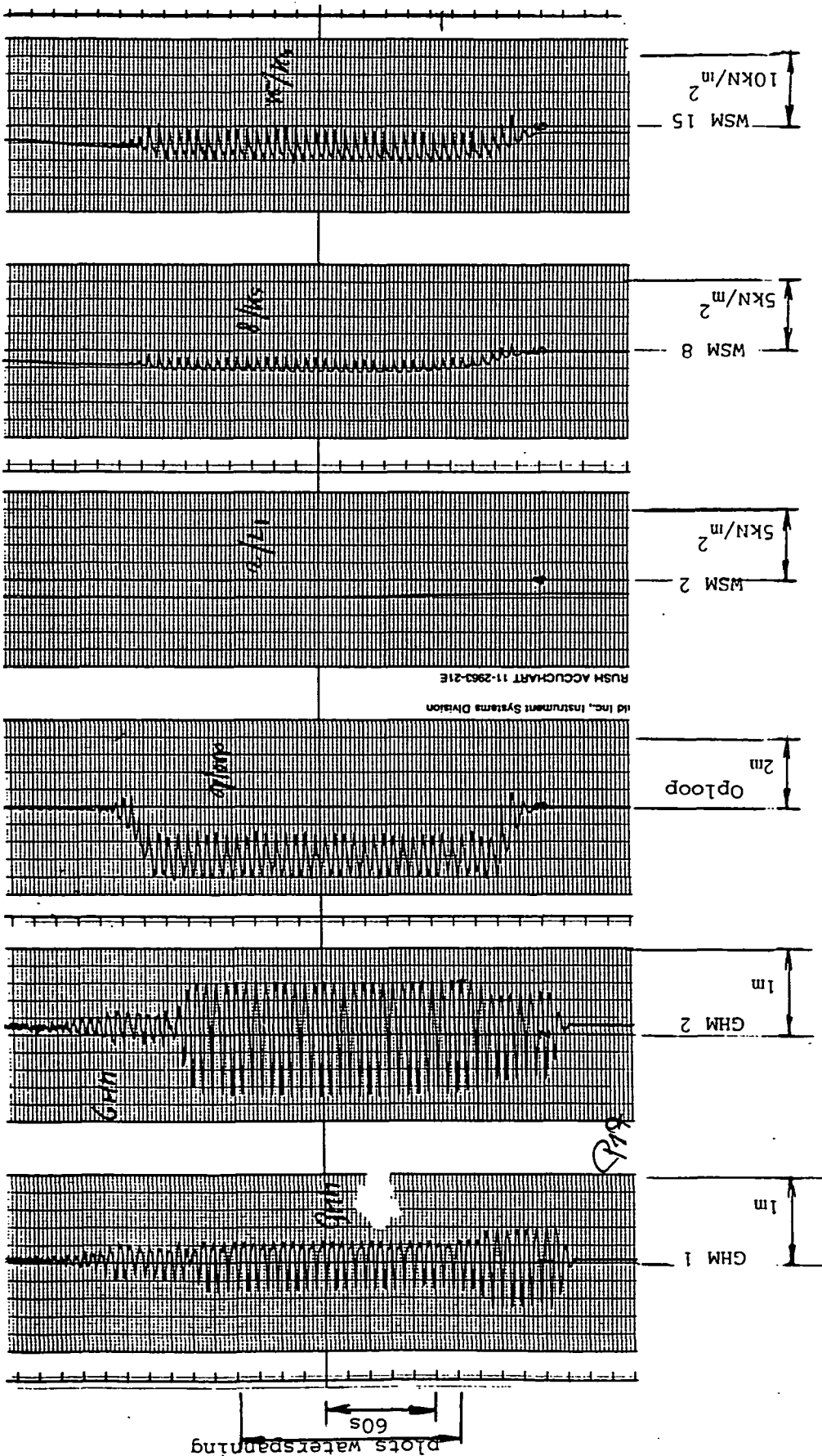
Proef DGB16 (2)



BRUSH ACCUCHART 11-298
Gould Inc., Instrument Systems

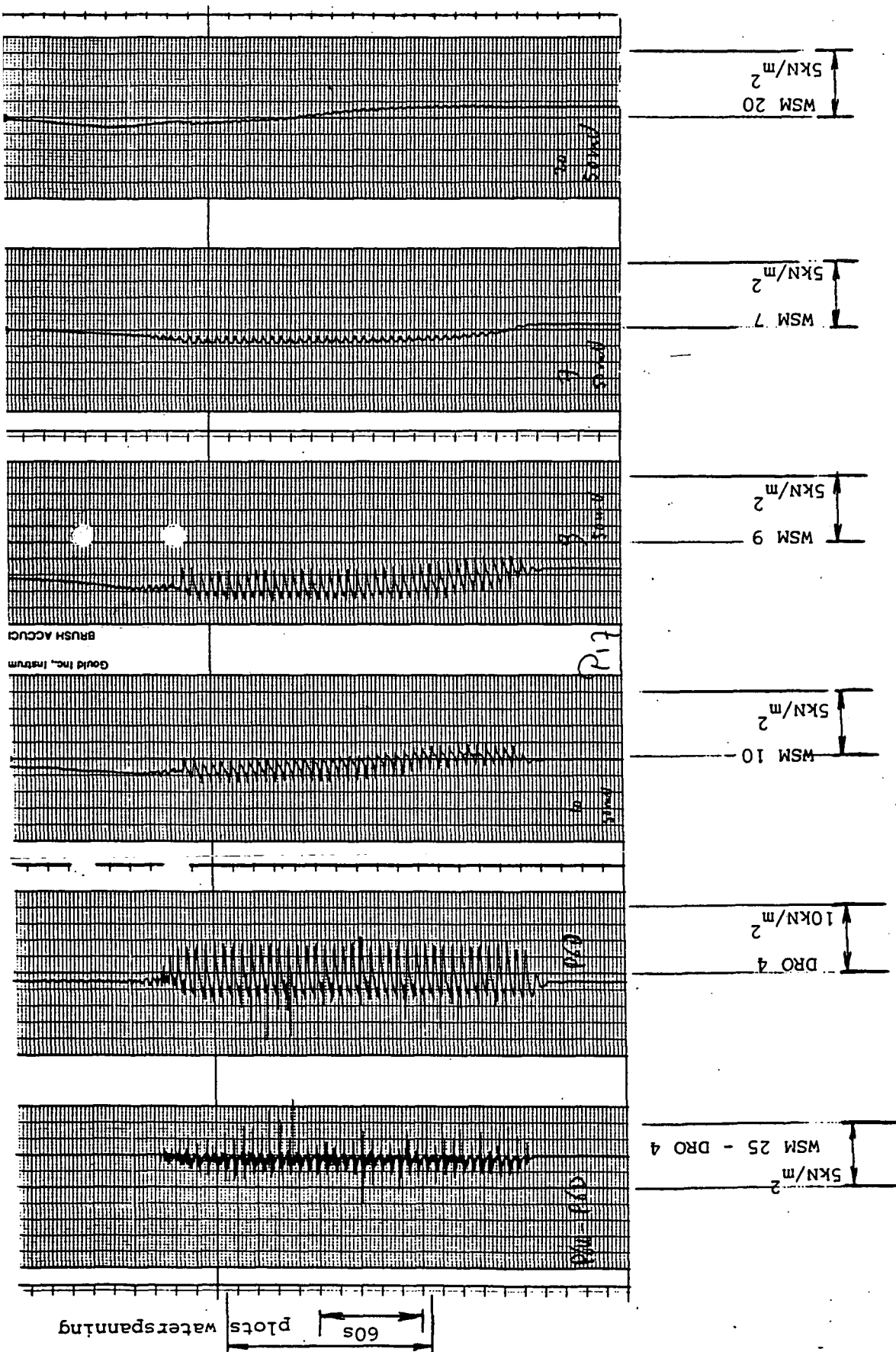
VERMEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN		WATERSPANNING IN HET ZAND.	WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA	H 0122	FIG. 38
DGB17					
		$H = 0.938 \text{ m}$	$T = 5.37 \text{ s}$		

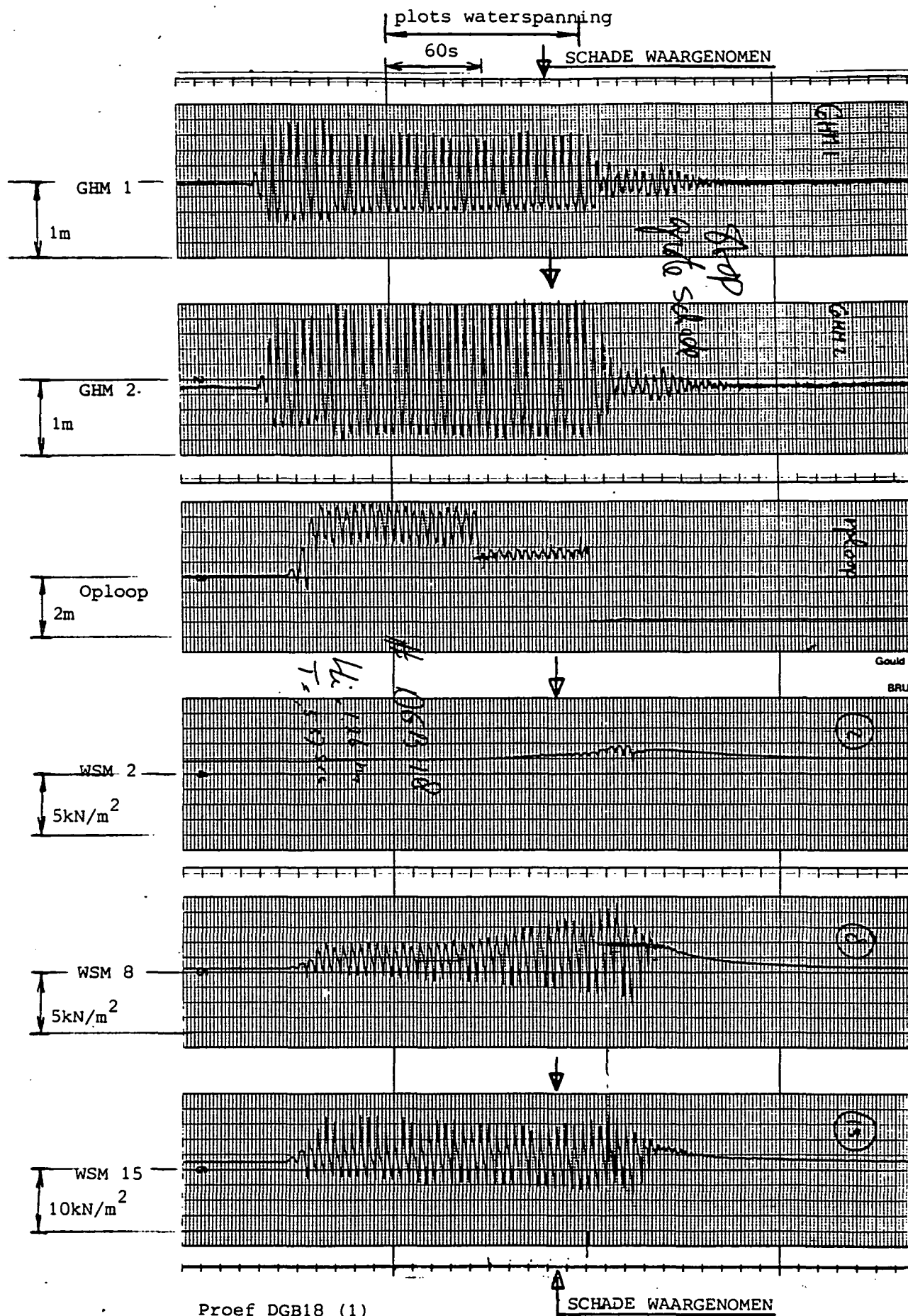
Proef DGB17 (1)



VERMEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN		WATERLOOPKUNDEIG LABORATORIUM		LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA	
WATERSPANNING IN HET ZAND.		H 0122		FIG. 39	
DGB17		H = 0.938 m T = 5.37 s			

Proef DGB17 (2)





Proef DGB18 (1)

SCHADE WAARGENOMEN

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

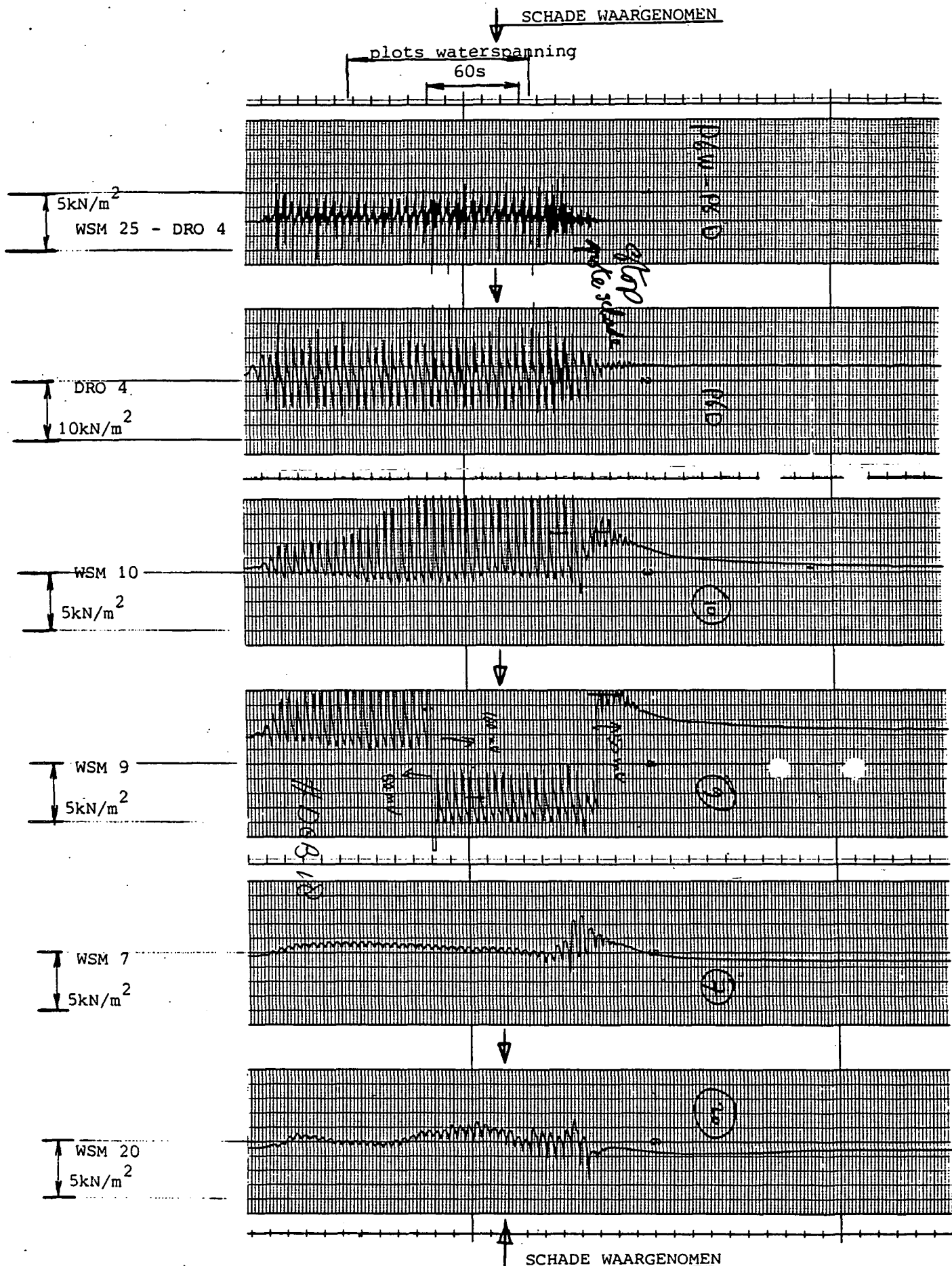
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

DGB18

H= 1.382 m T= 5.37 s

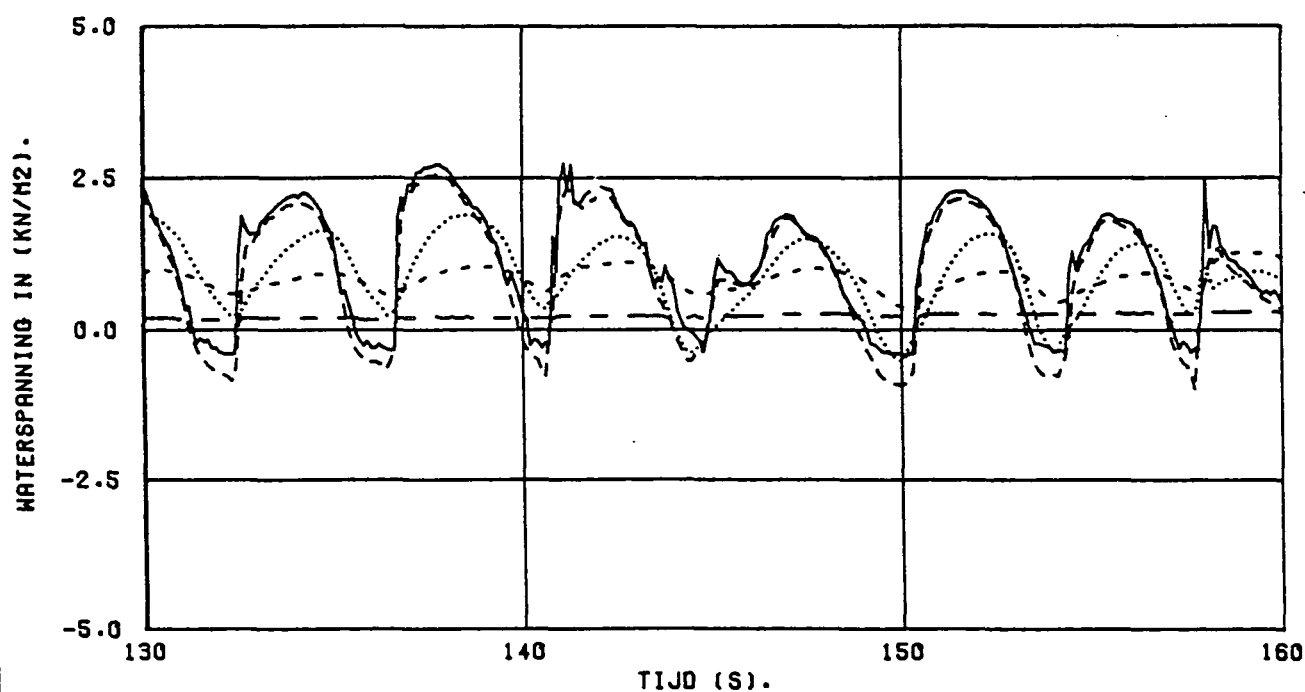
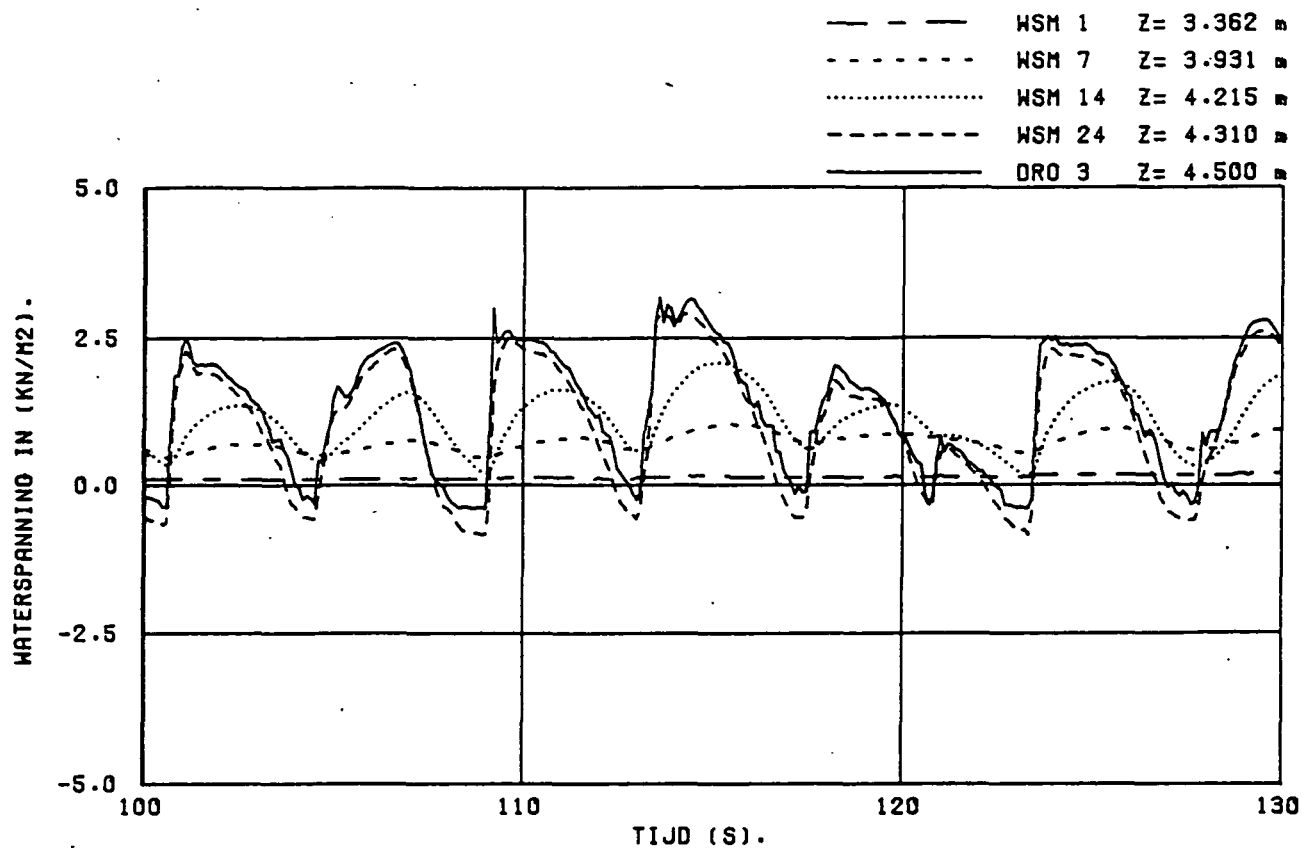
H 0122

FIG. 40



Proef DGB18 (2)

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN WATERSpanNING IN HET ZAND.	DGB18	
	H= 1.382 m T= 5.37 s	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA	H 0122	FIG.41



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.500 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

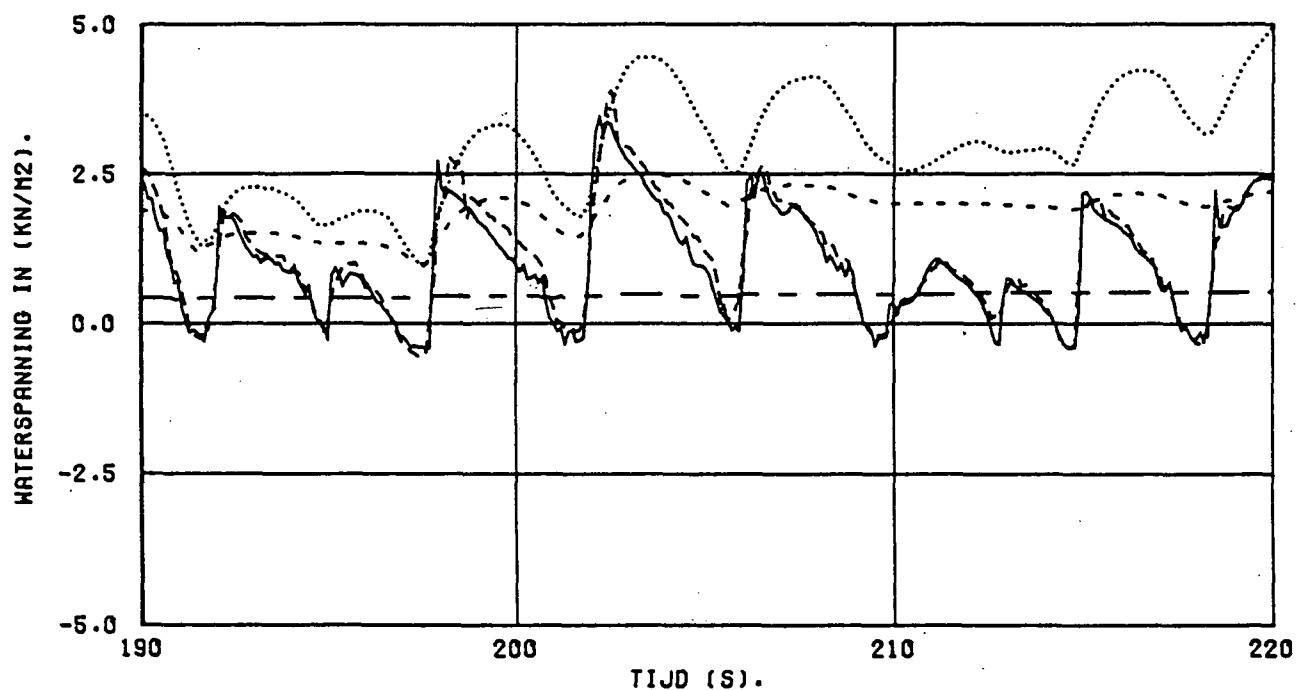
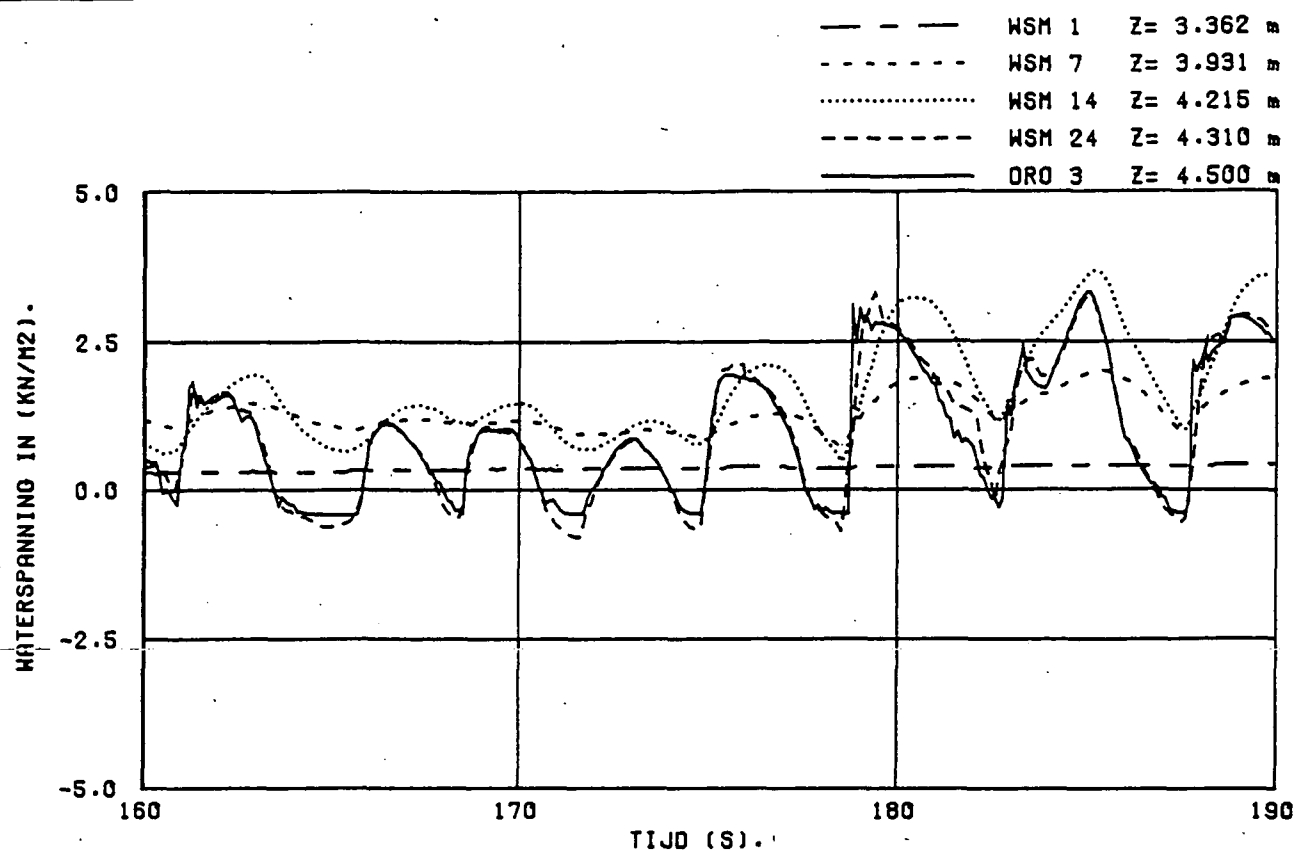
DGL03

H_s = 0.50 m T_p = 4.27 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG.42



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.500 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

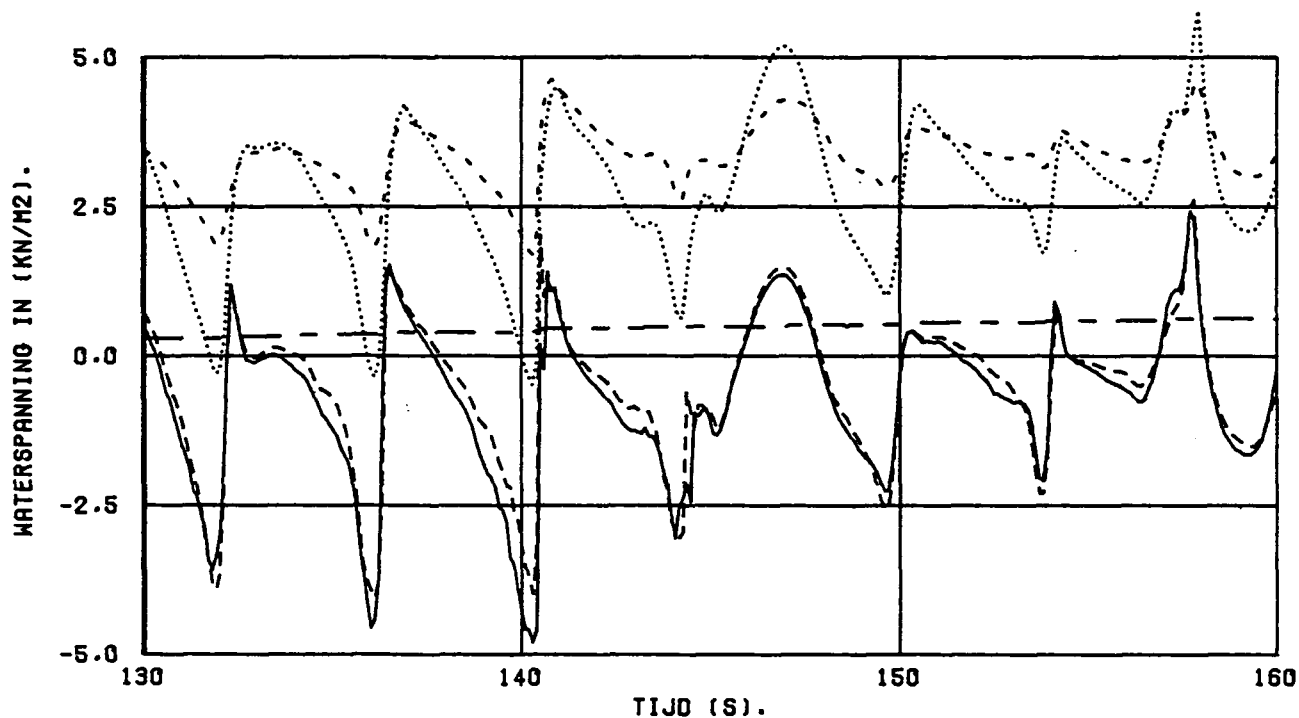
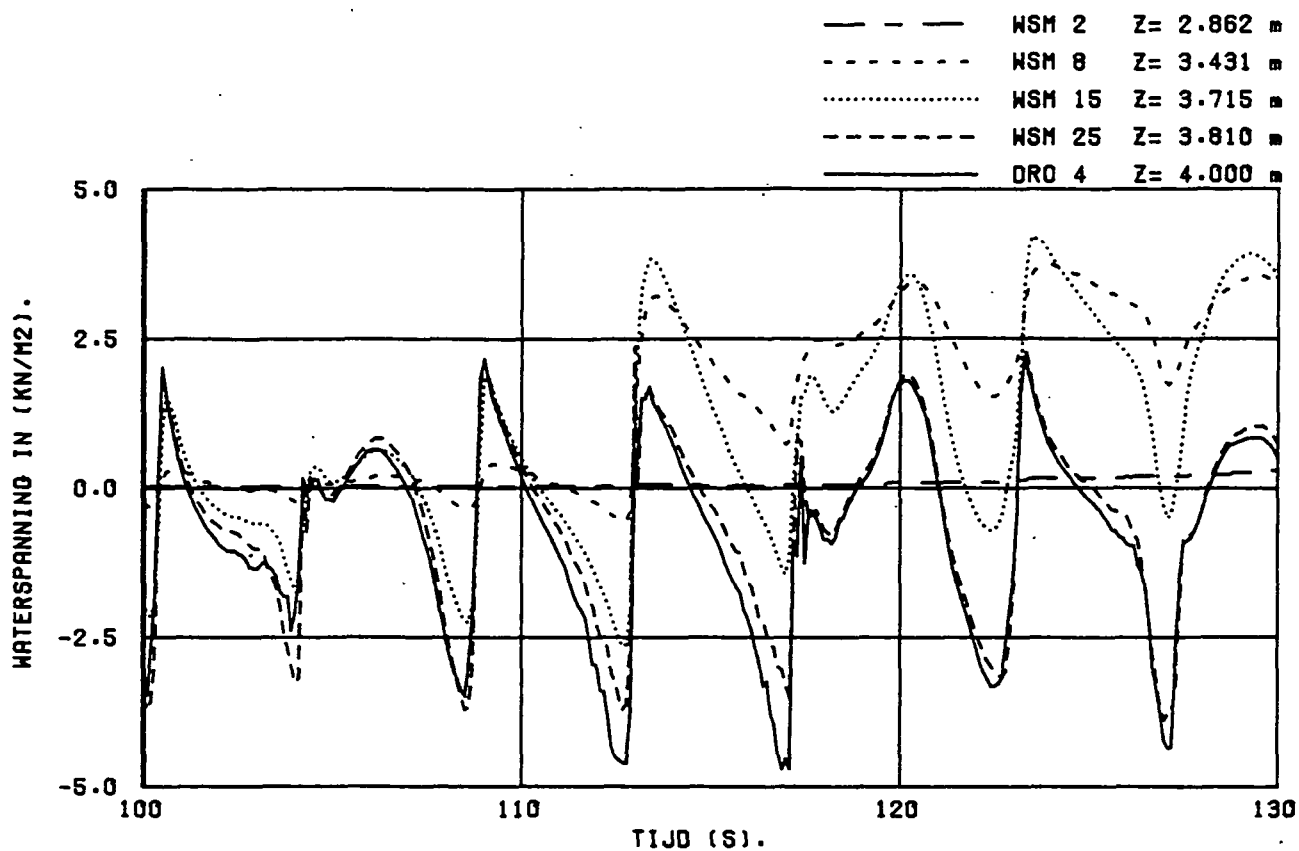
DGL03

H_{sl} = 0.50 m T_p = 4.27 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 43



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.000 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGL03

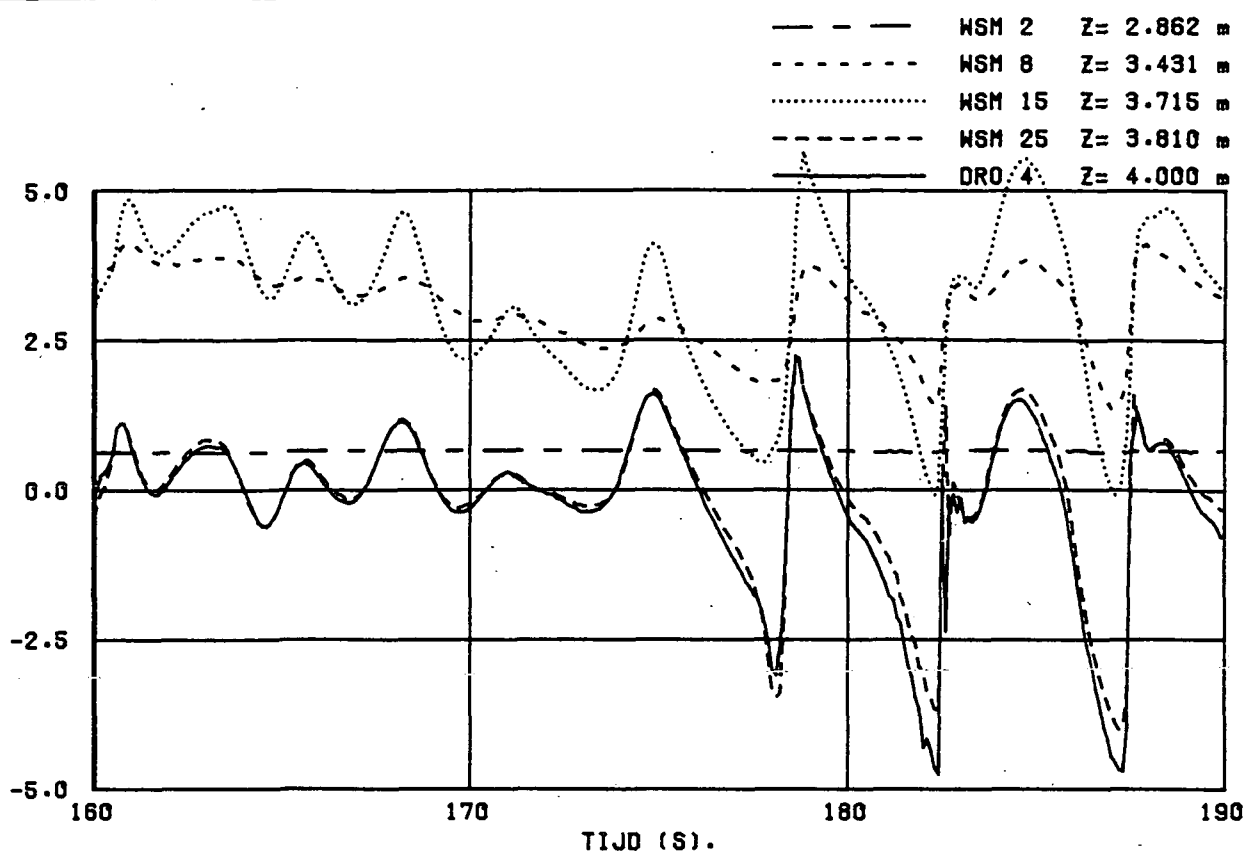
H_{sl}= 0.50 m T_p= 4.27 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

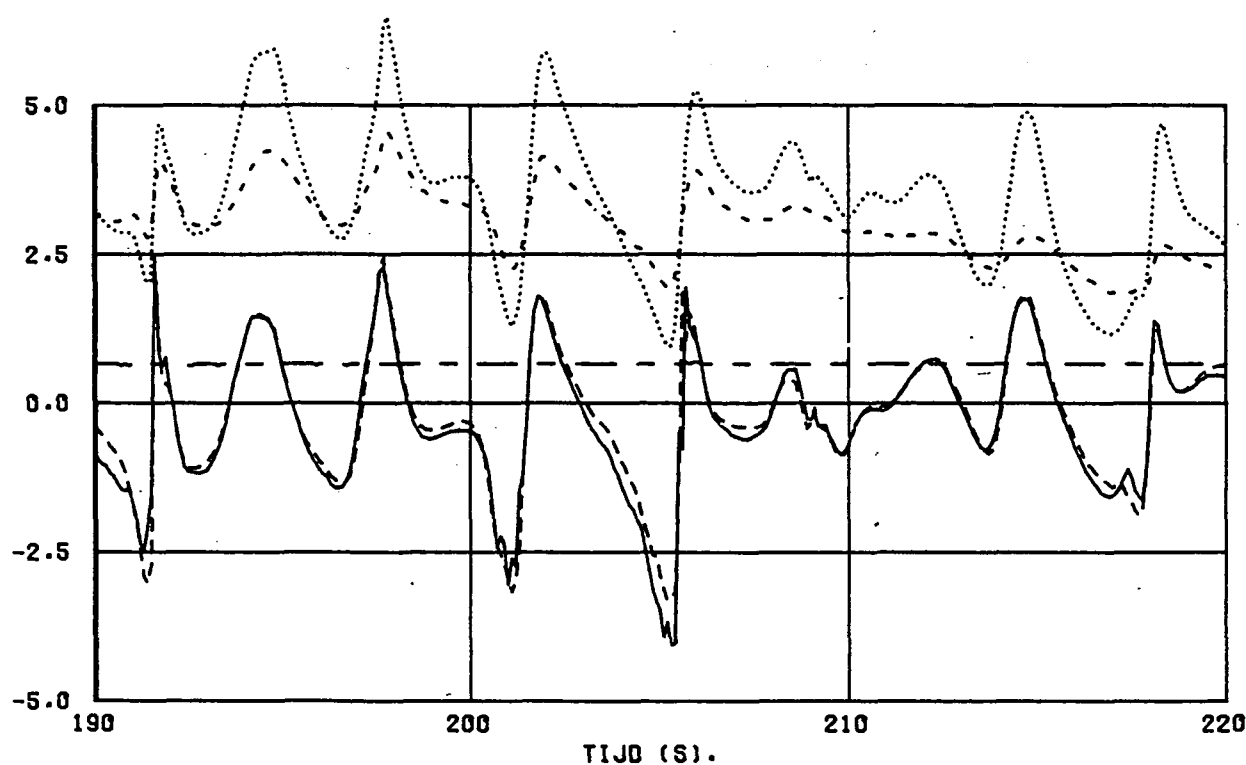
H 0122

FIG. 44

WATERSPANNING IN (KN/M²).



WATERSPANNING IN (KN/M²).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.000 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

DGL03

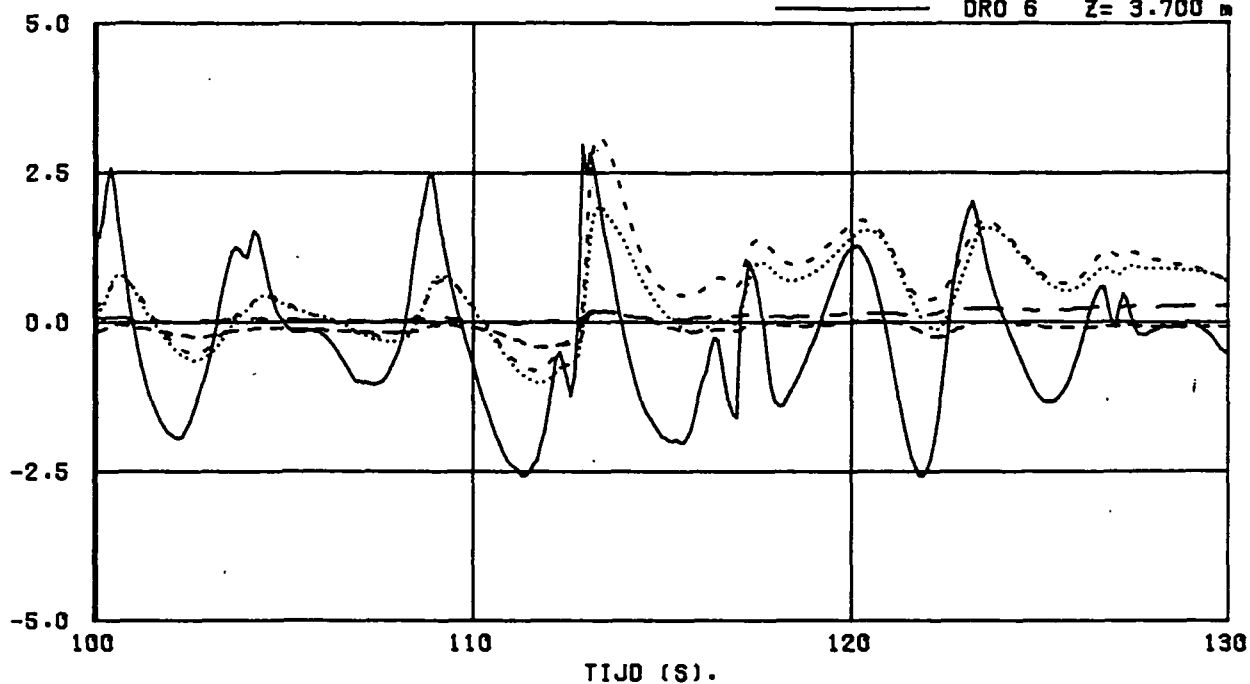
H_{sl} = 0.50 m T_p = 4.27 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

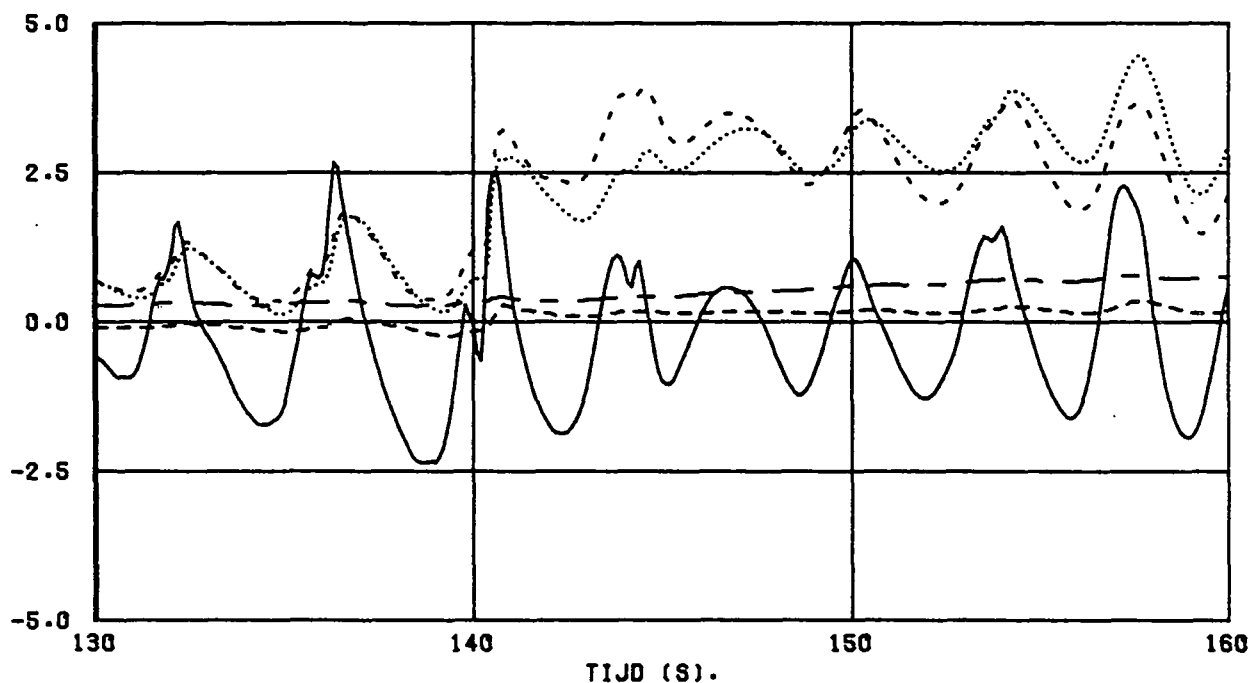
H 0122

FIG. 45

WATERSpanning IN (KN/M2).



WATERSpanning IN (KN/M2).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.700 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanning IN HET ZAND.

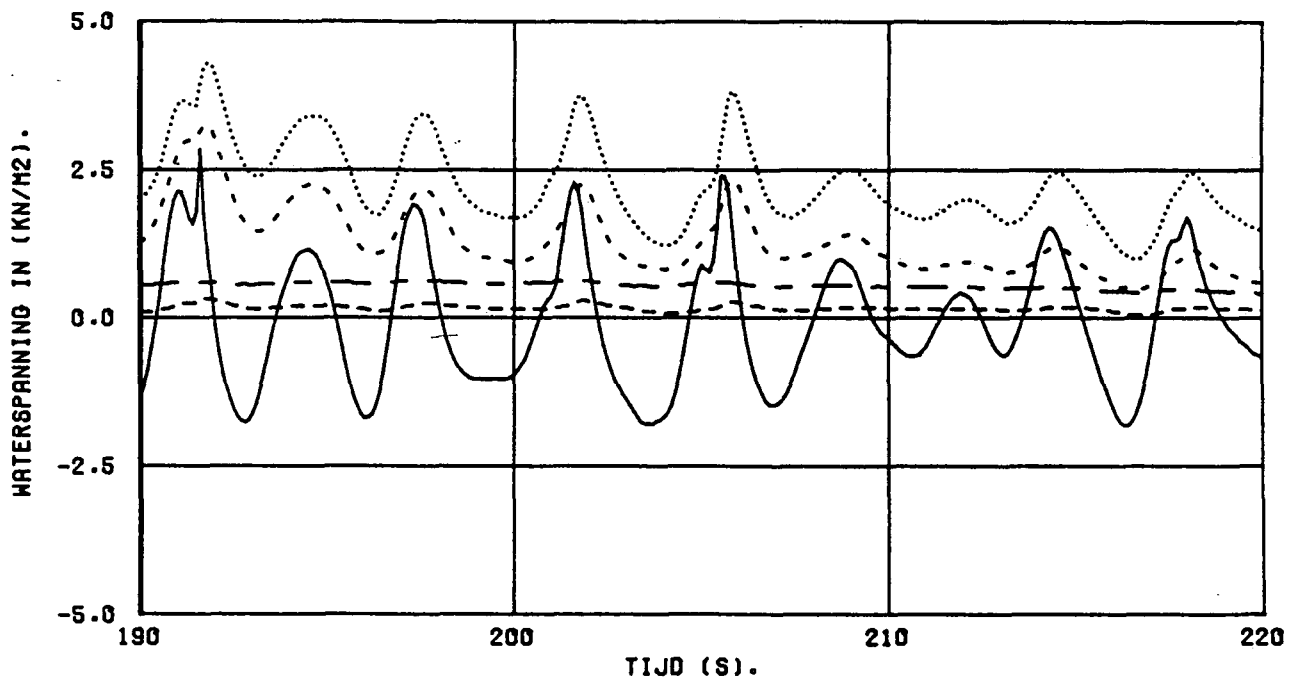
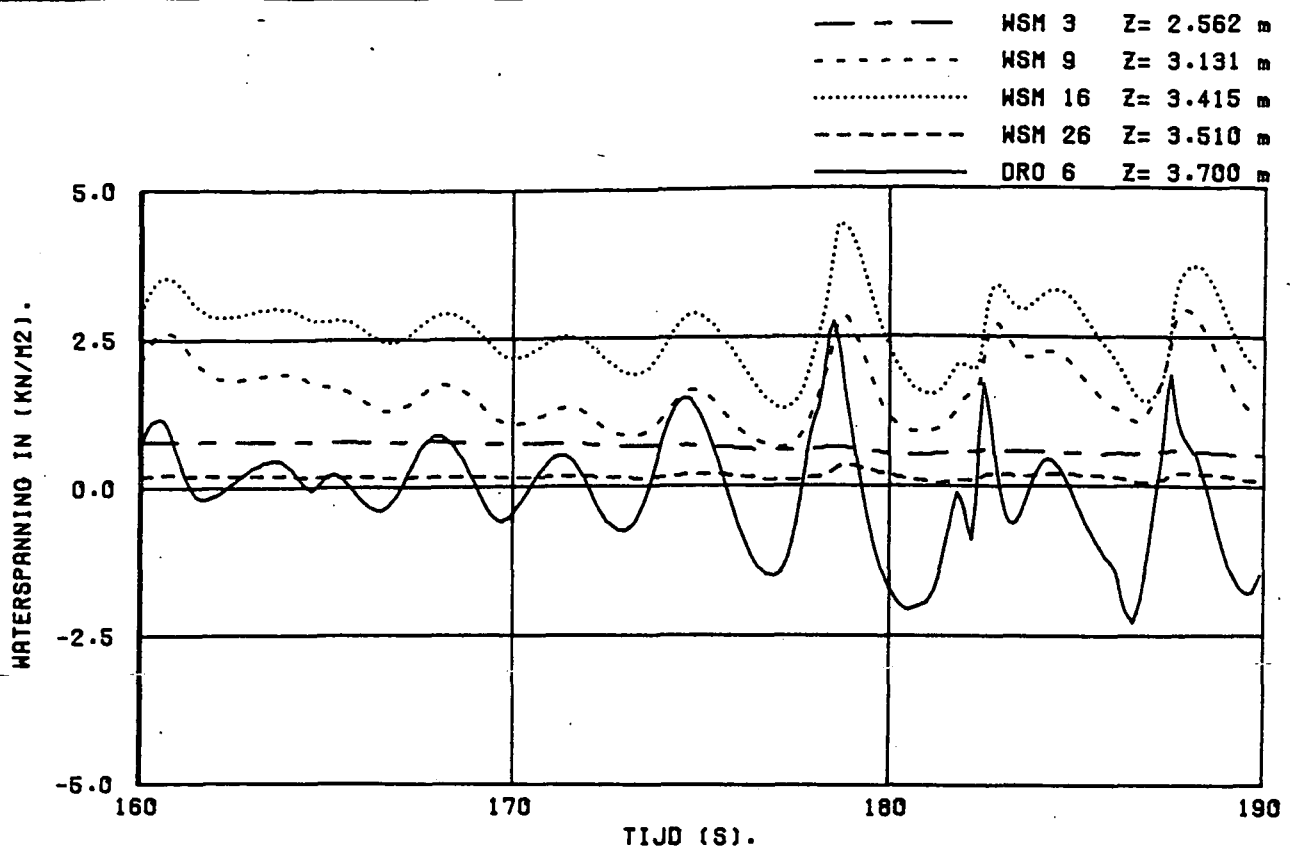
DGL03

H_{sl} = 0.50 m T_p = 4.27 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 46



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.700 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

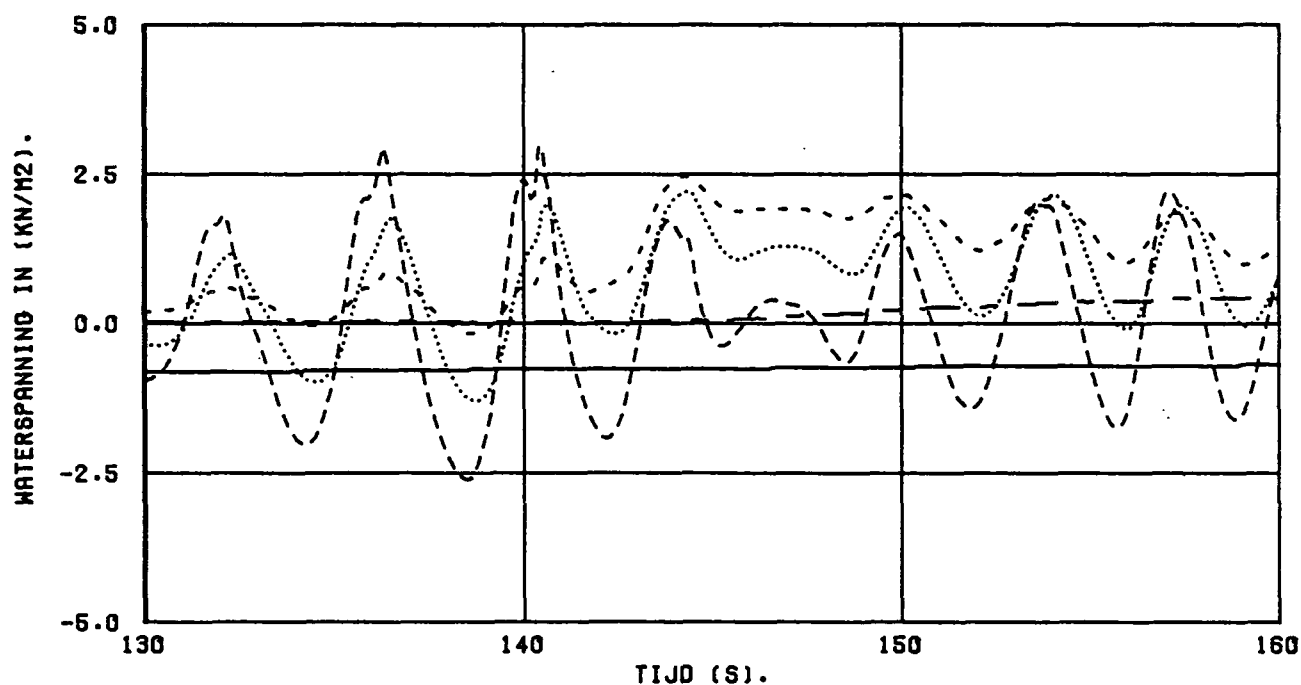
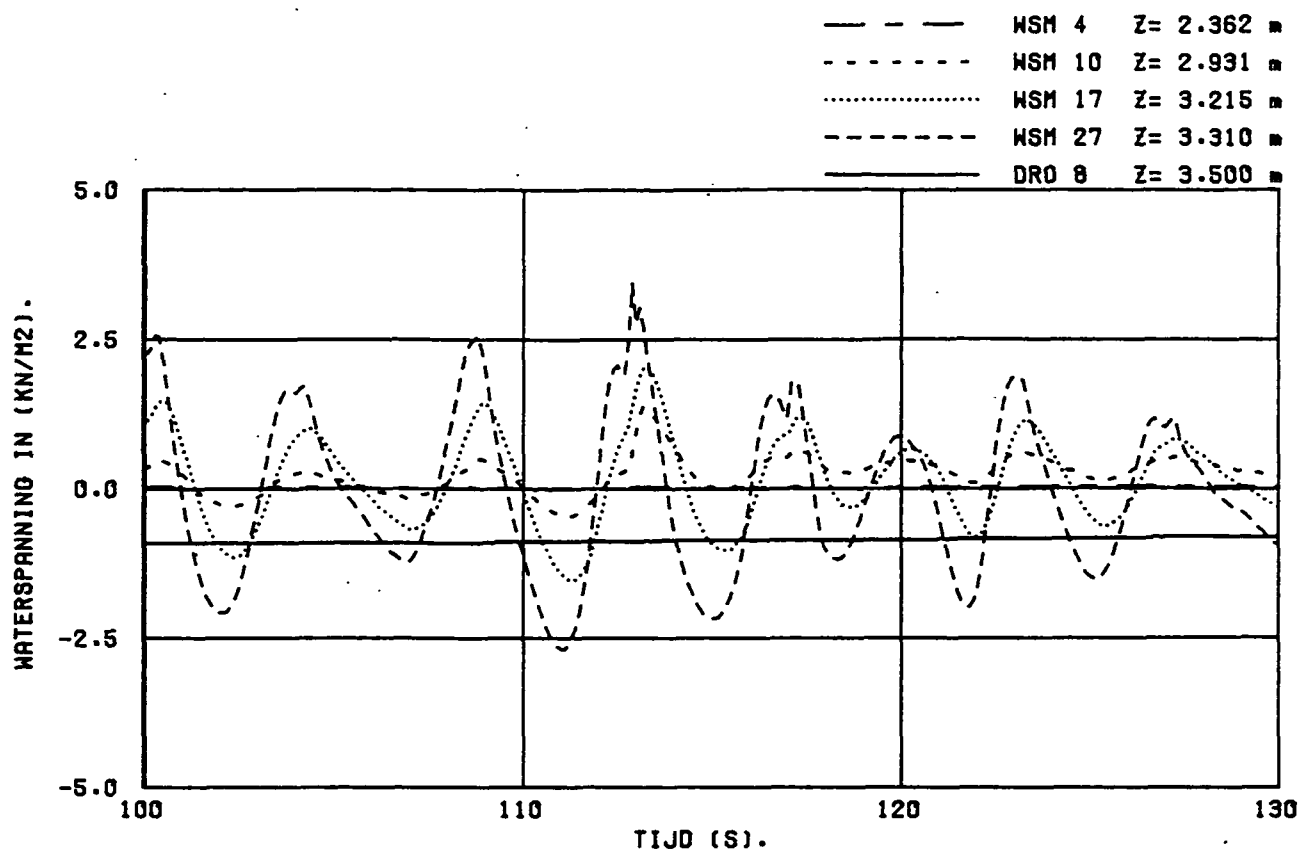
DGL03

H_{sl} = 0.50 m T_p = 4.27 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 47



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.500 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

DGL03

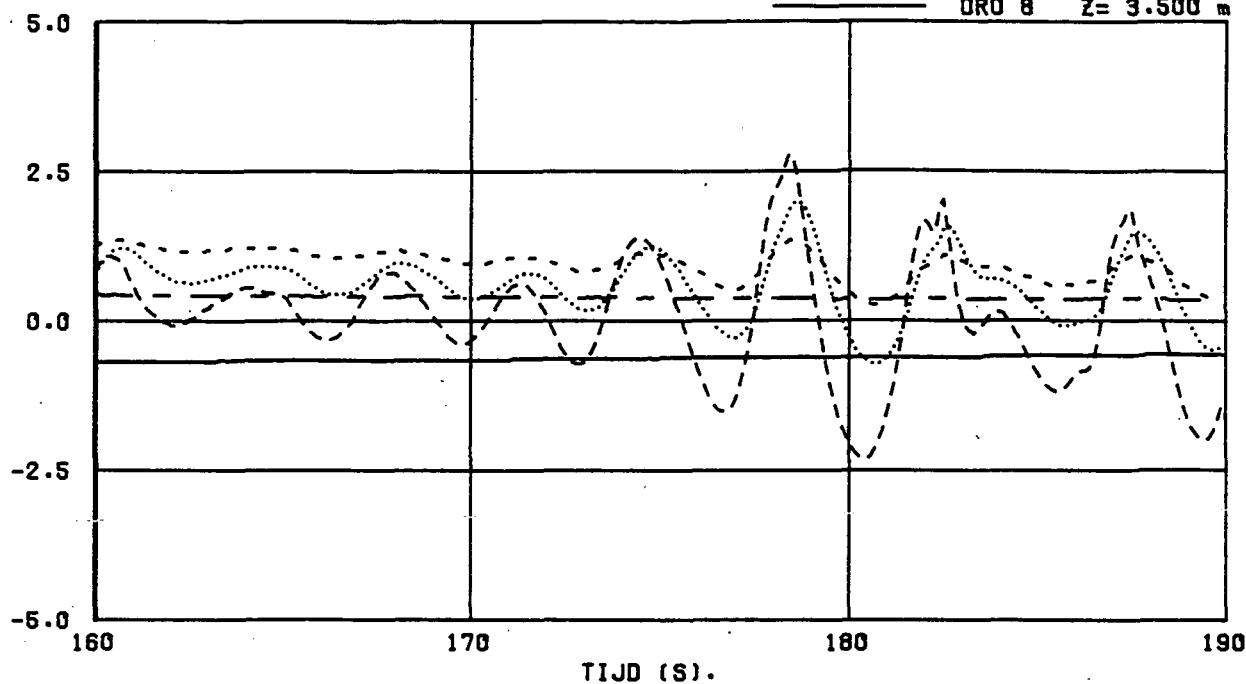
H_{sl} = 0.50 m T_p = 4.27 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

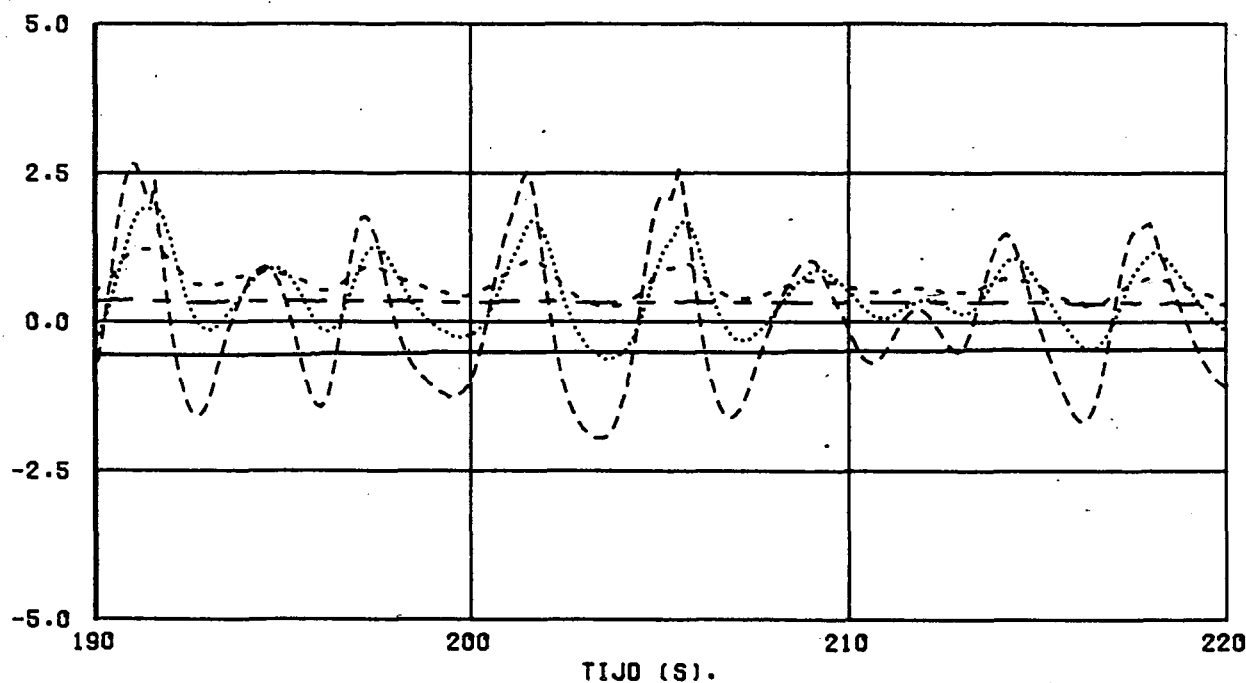
H 0122

FIG. 48

WATERSpanNING IN (KN/M²).



WATERSpanNING IN (KN/M²).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.500 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

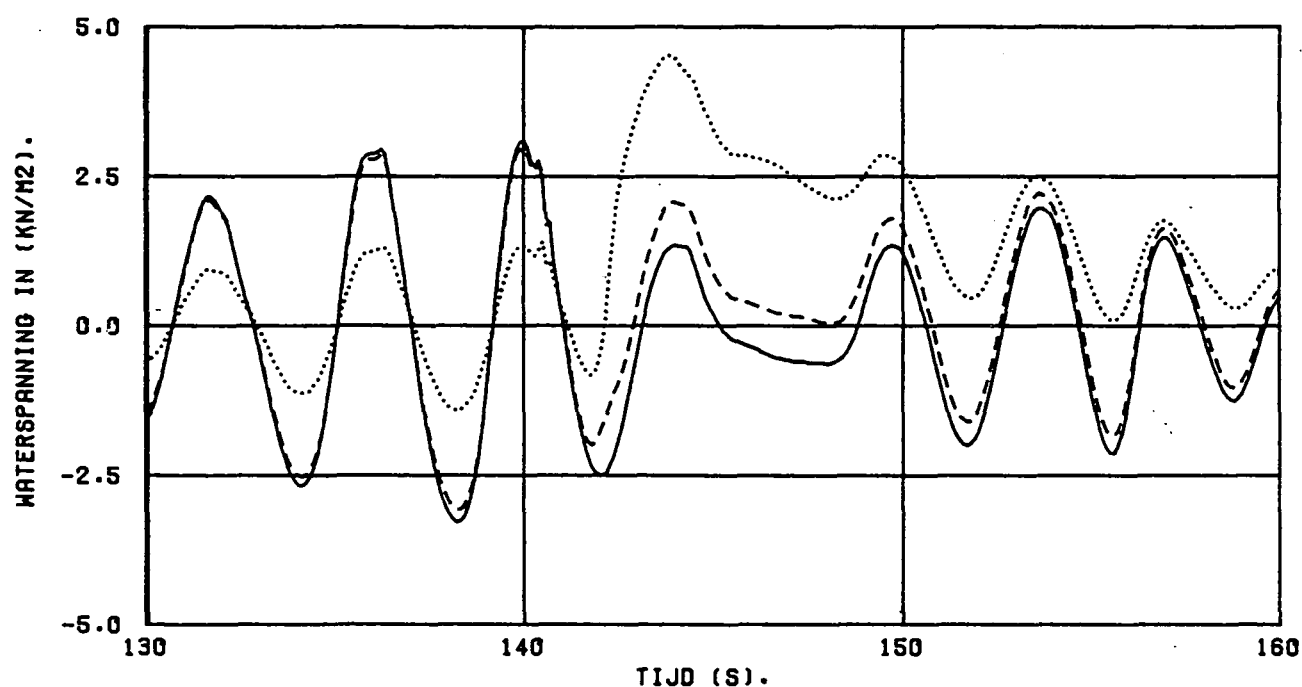
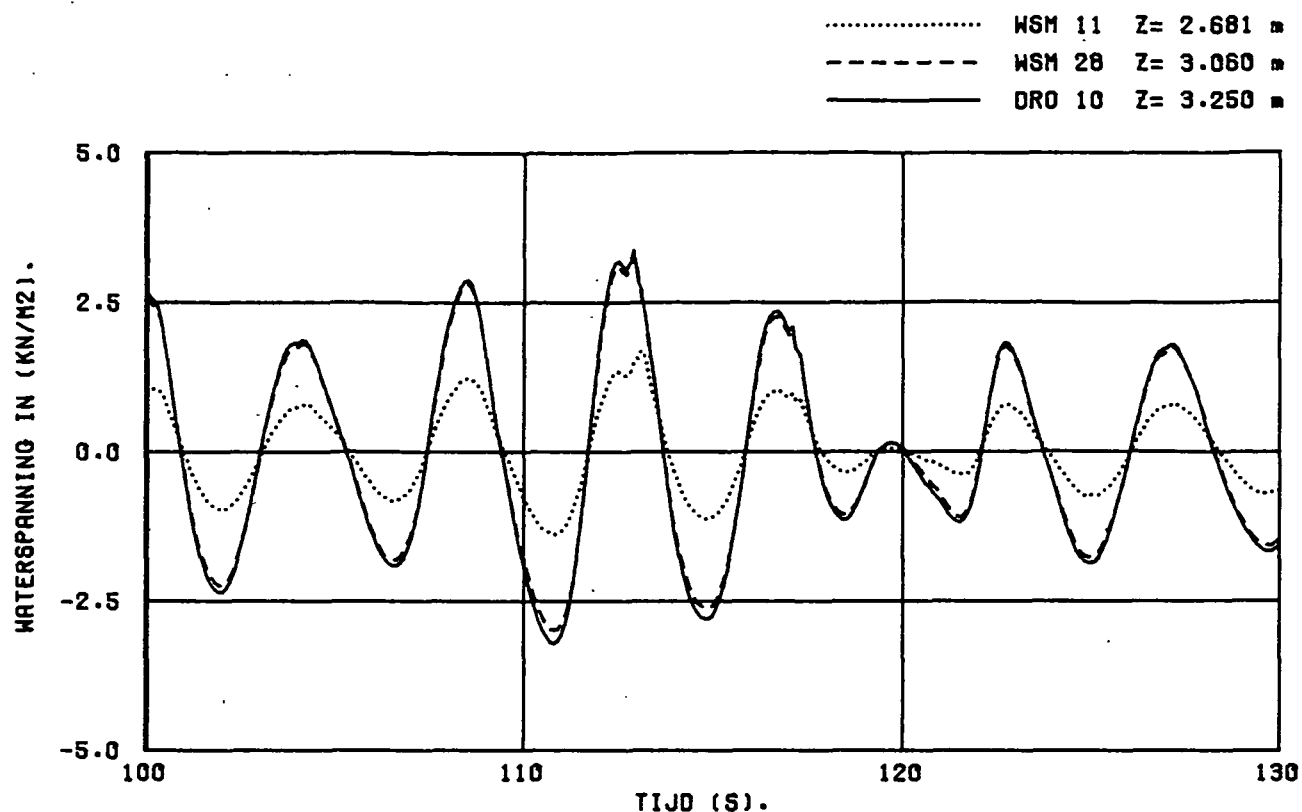
DGL03

H_{sl} = 0.50 m T_p = 4.27 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG 49



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.250 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
 WATERSpanNING IN HET ZAND.

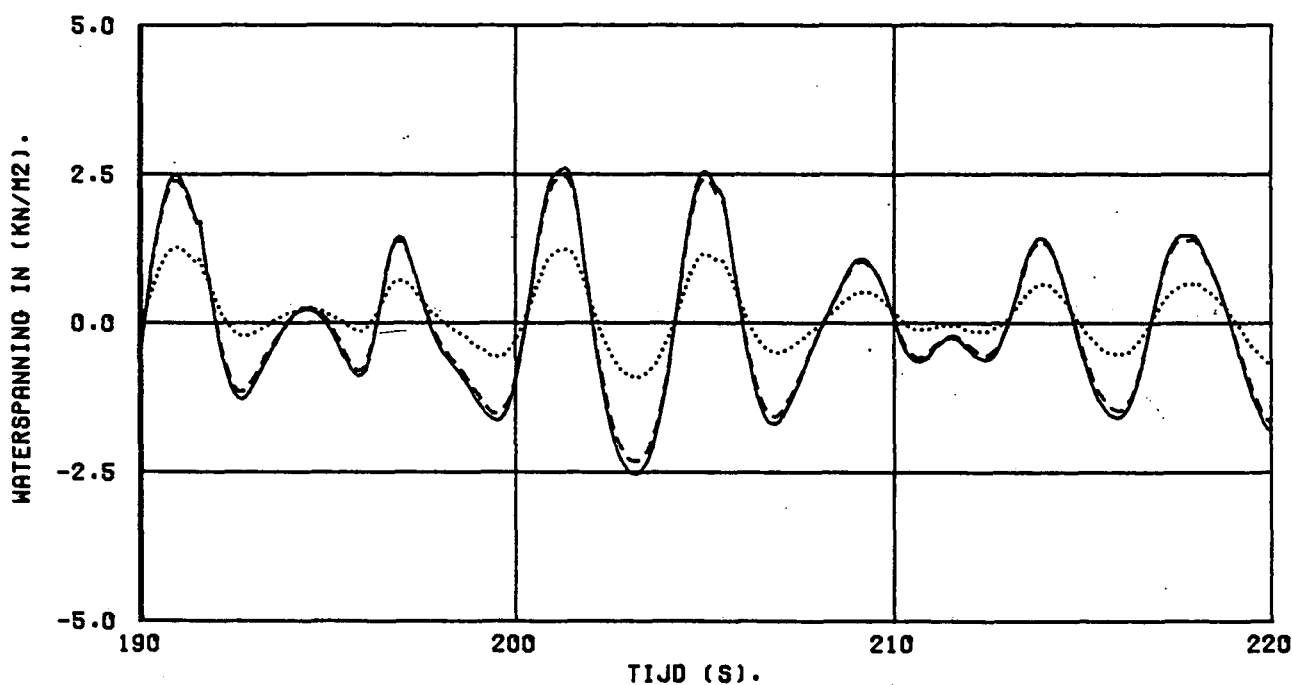
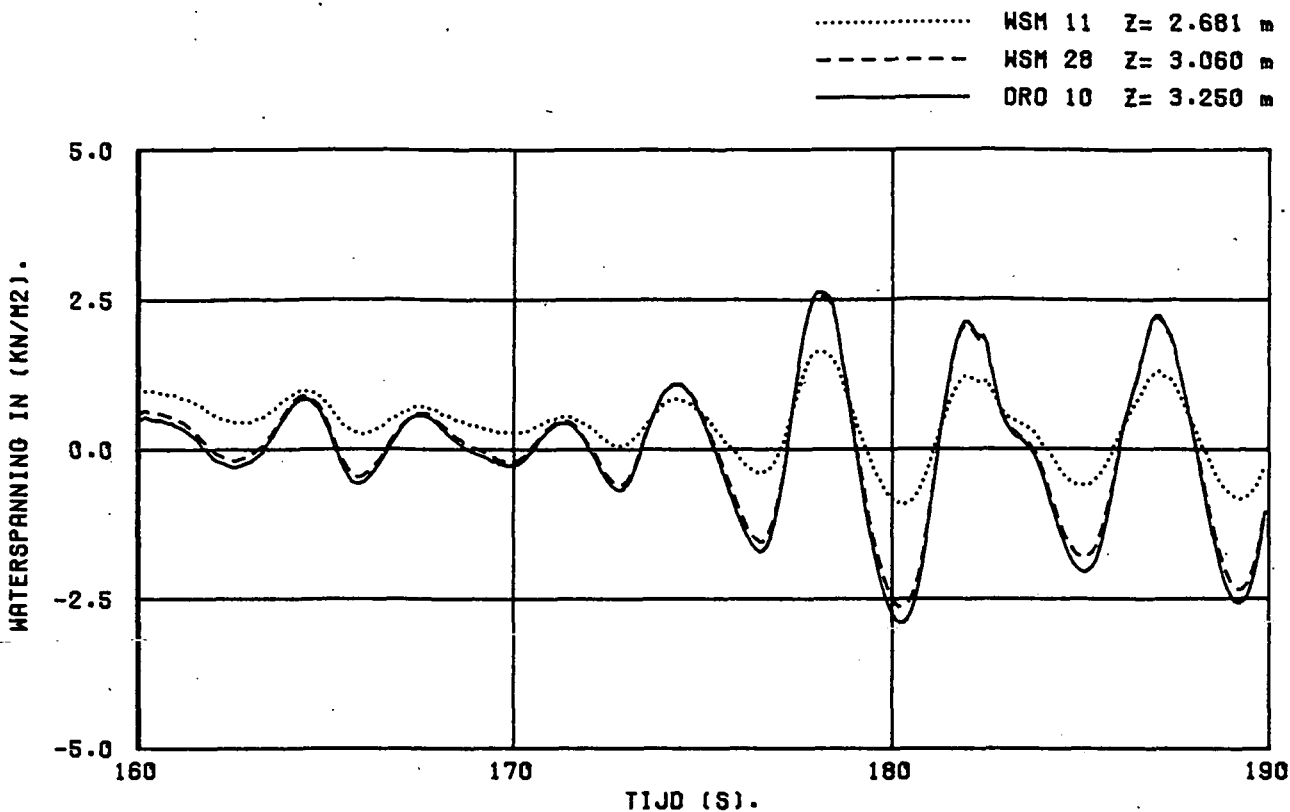
DGL03

H_{sl}= 0.50 m T_p= 4.27 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG.50



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.250 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
 WATERSPANNING IN HET ZAND.

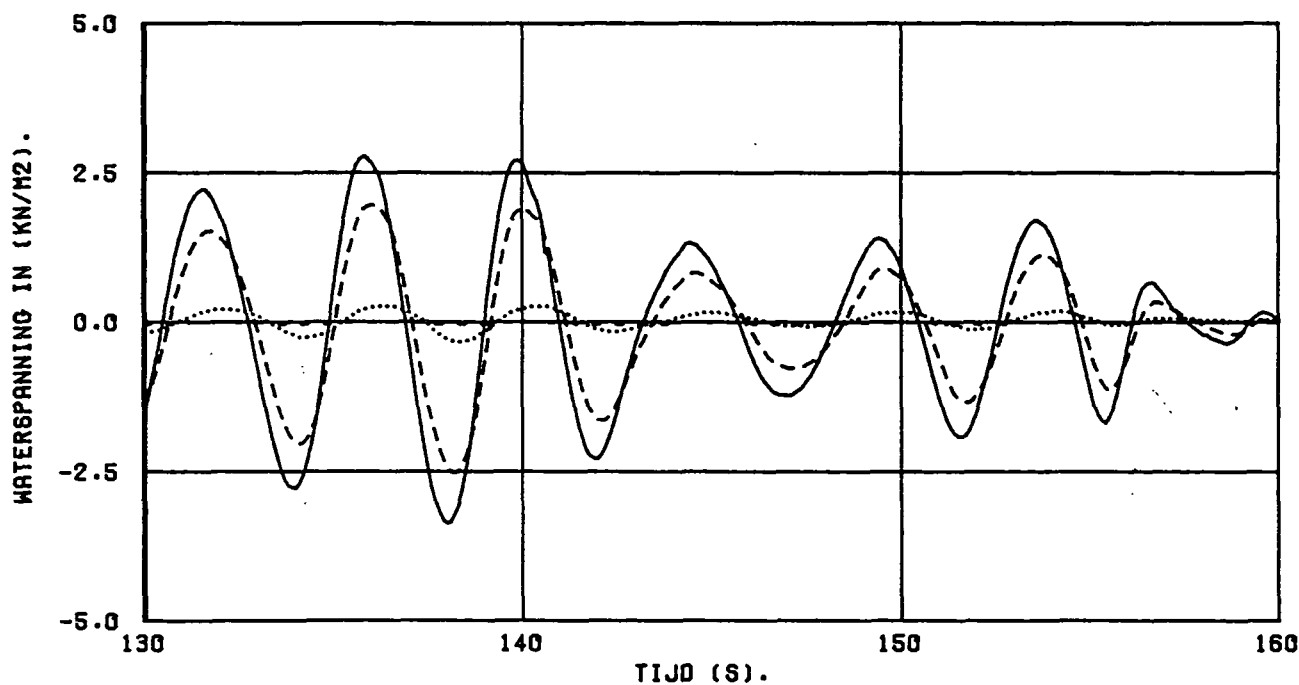
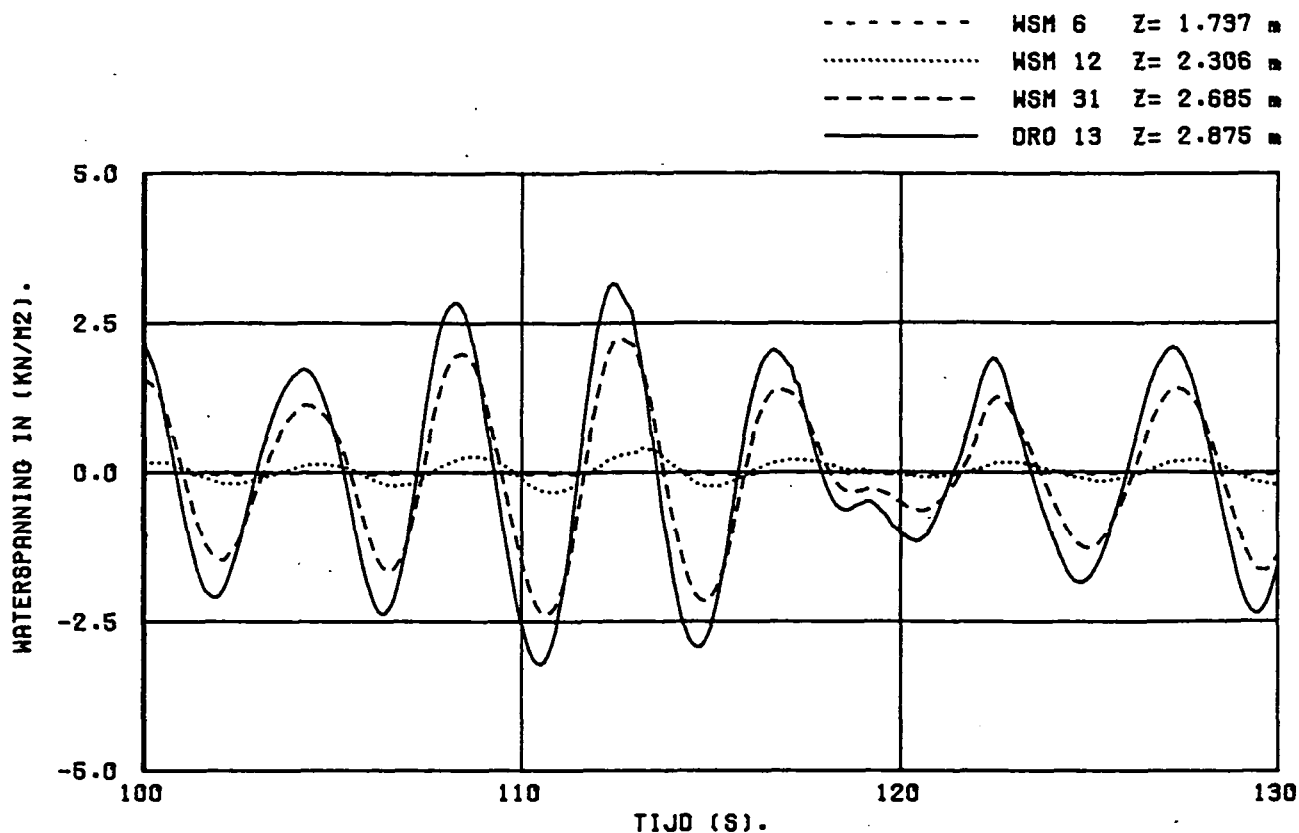
DGL03

H_{sl} = 0.50 m T_p = 4.27 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG.51



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 2.875 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGL03

H_{sl}= 0.50 m T_p= 4.27 s

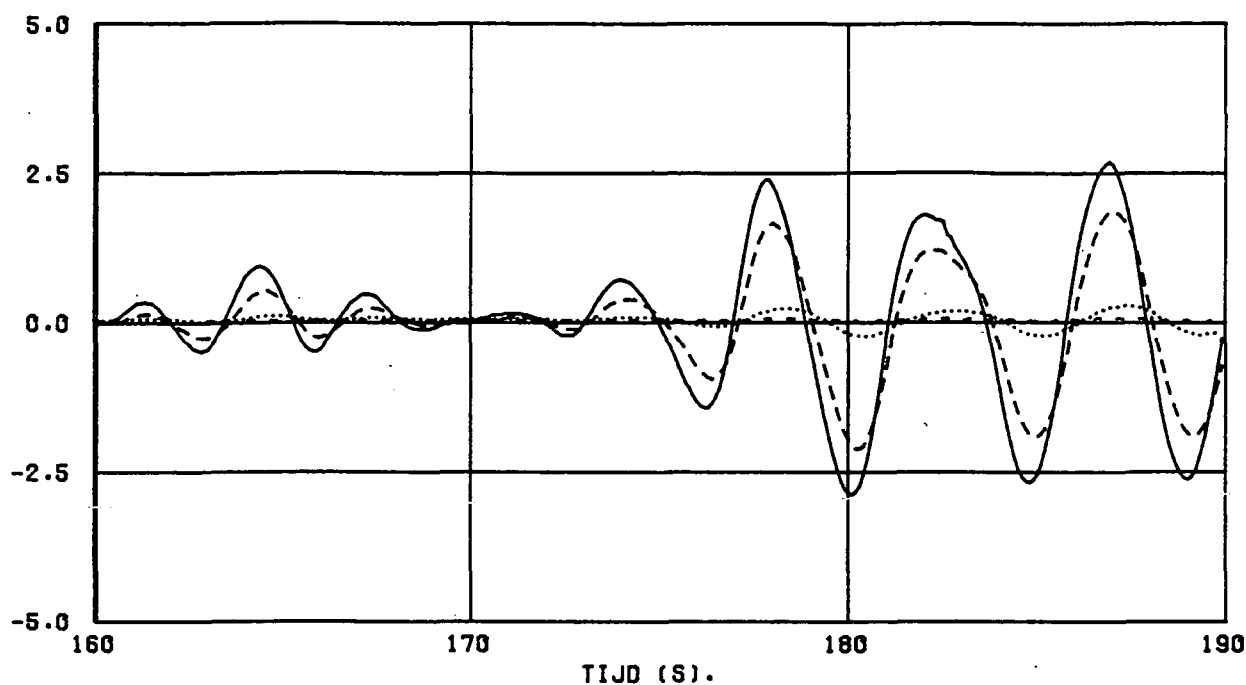
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

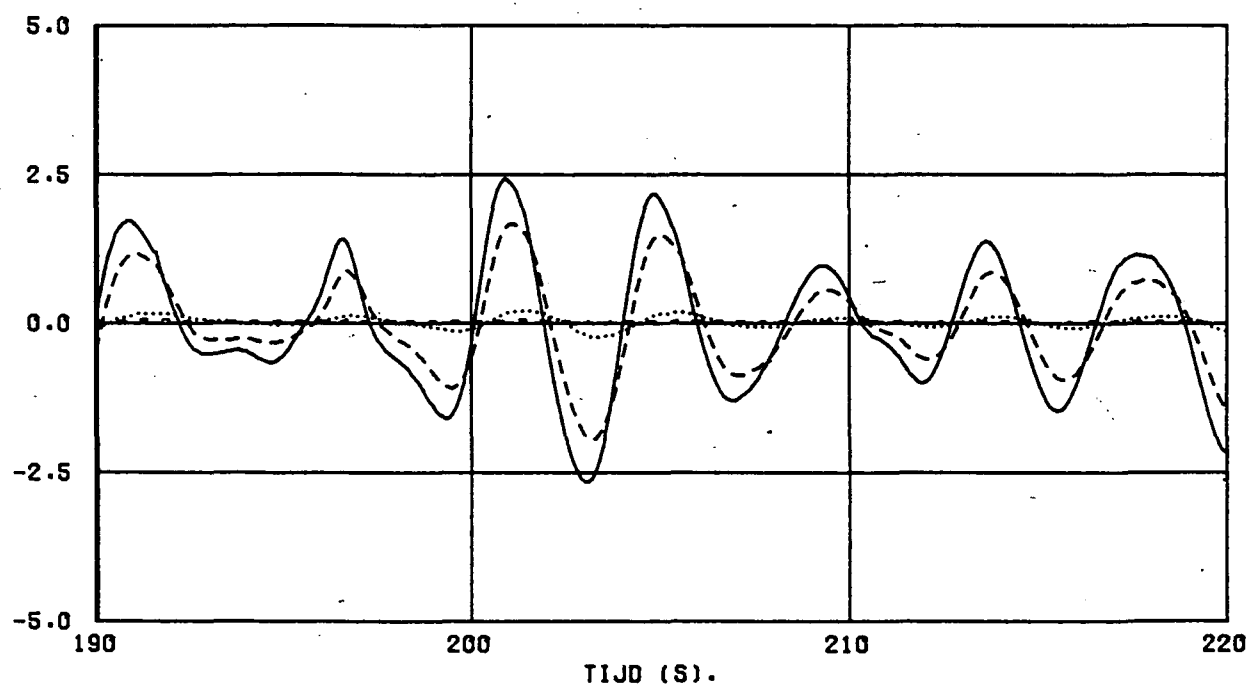
FIG. 52

WATERSPANNING IN (KN/M2).

----- WSM 6 Z= 1.737 m
..... WSM 12 Z= 2.306 m
----- WSM 31 Z= 2.685 m
----- DRO 13 Z= 2.875 m



WATERSPANNING IN (KN/M2).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 2.875 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

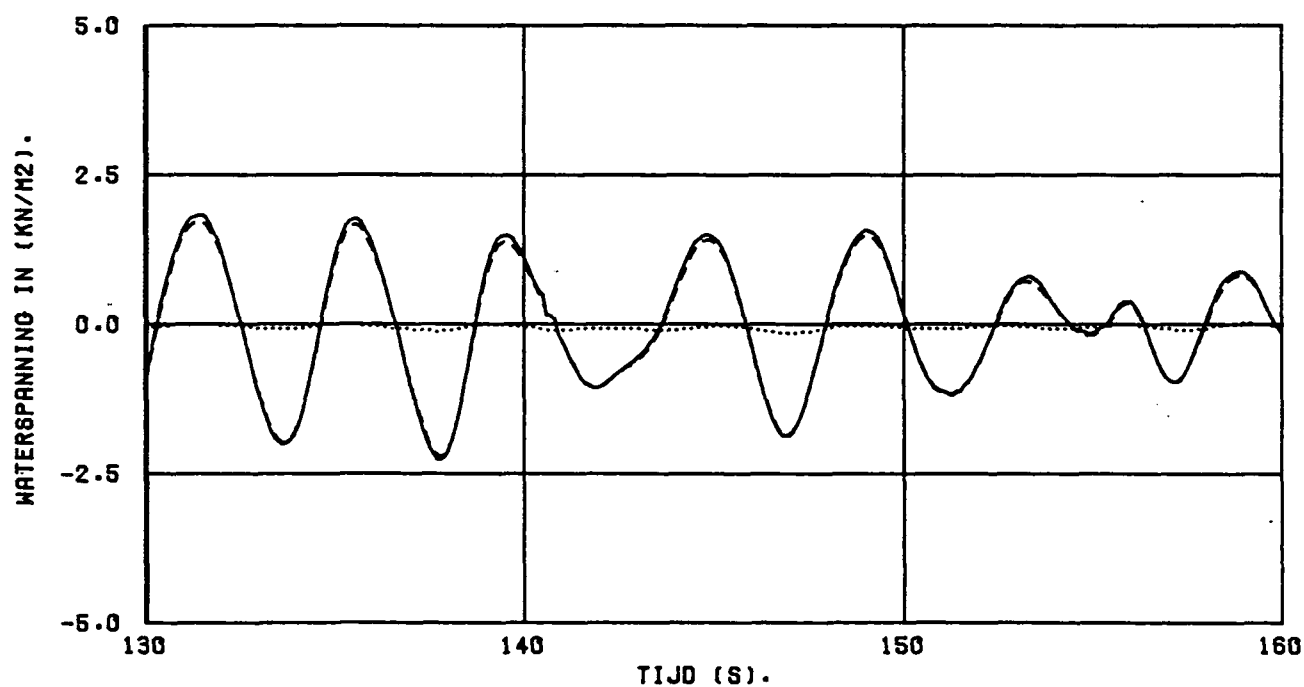
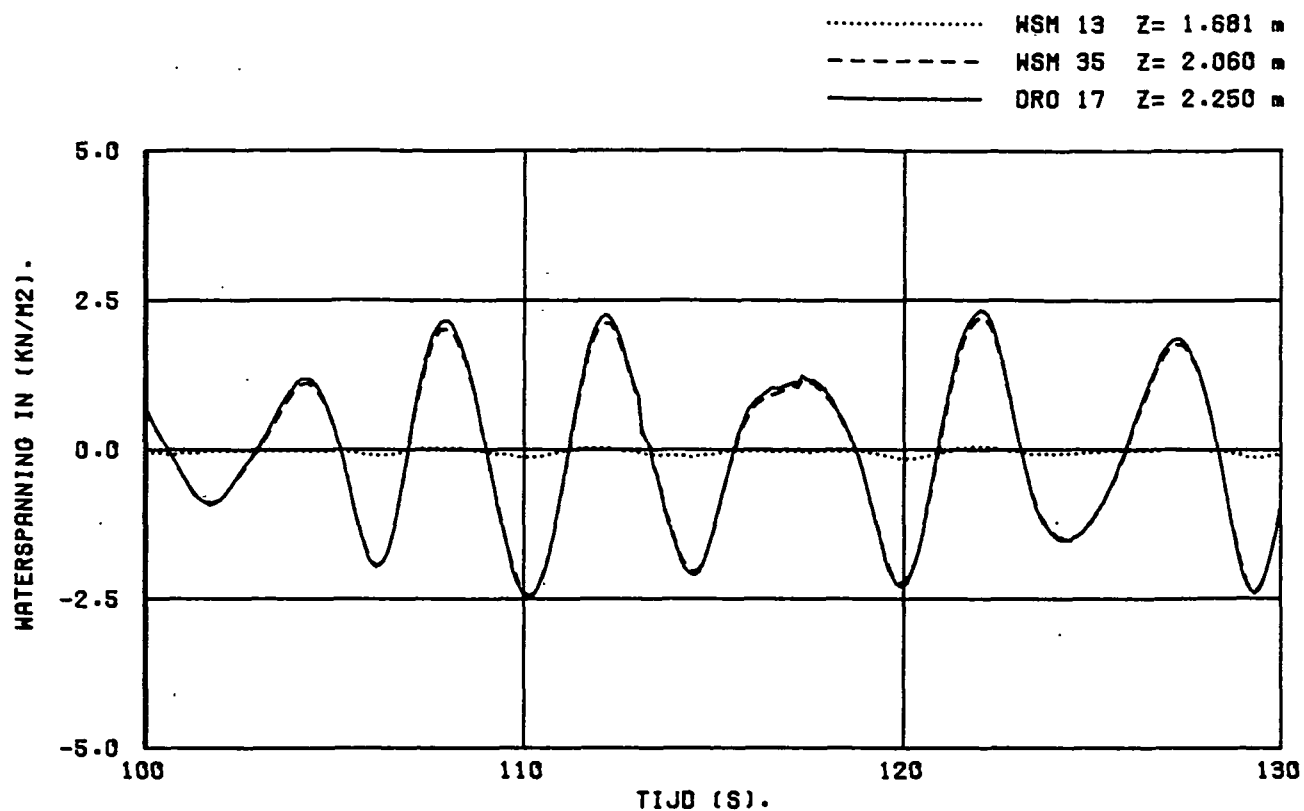
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

DGL03

H_{sl}= 0.50 m T_p= 4.27 s

H 0122

FIG. 53



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 2.250 m.

VERWEKING ZAND. ONDER STEENZETTINGEN
 WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGL03

H_{sl}= 0.50 m T_p= 4.27 s

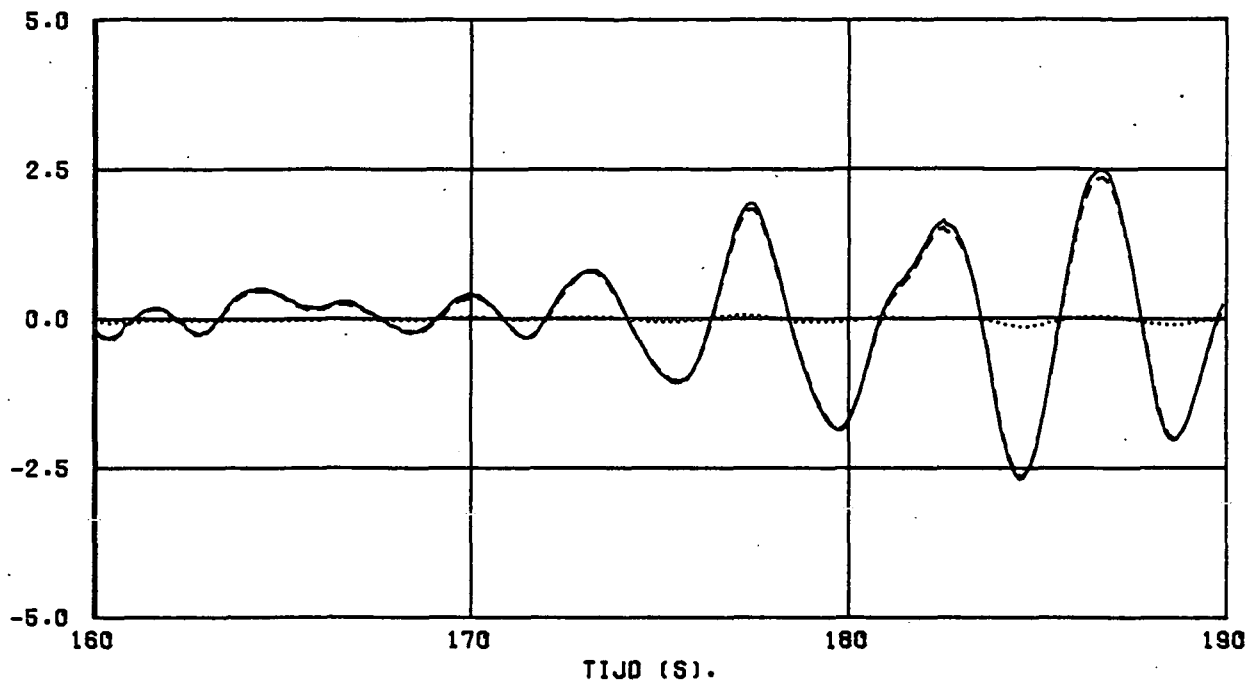
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

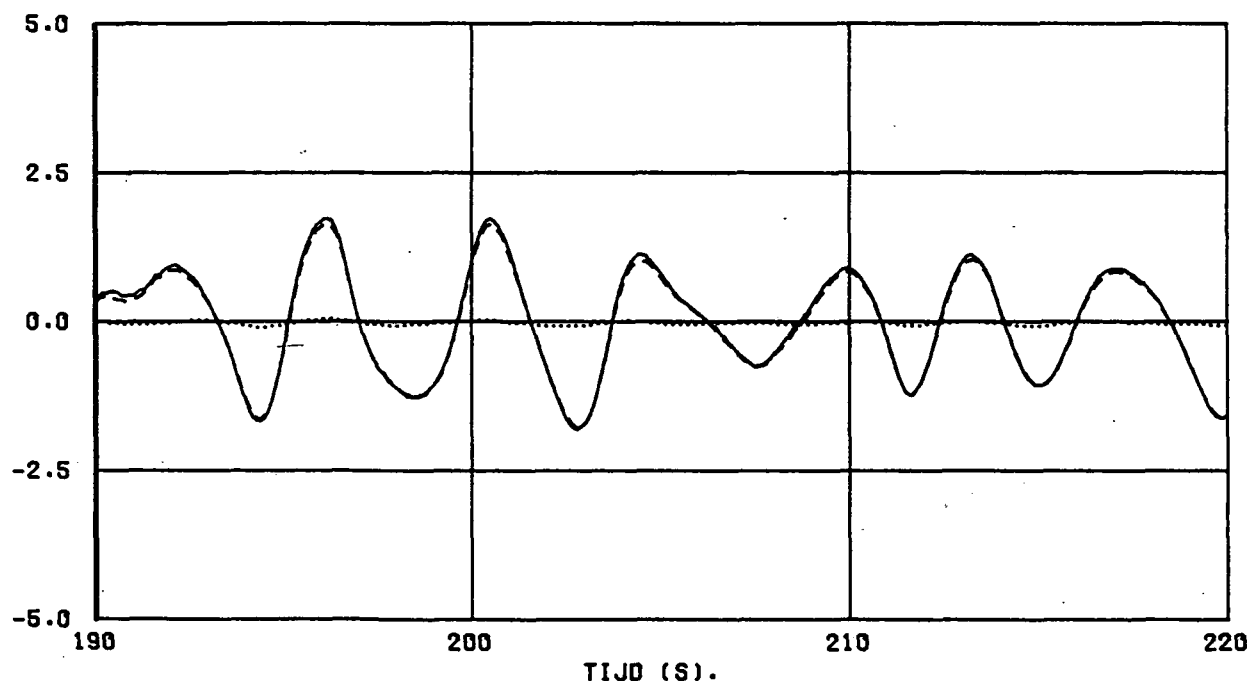
FIG. 54

WATERSpanNING IN (KN/M2).

..... WSM 13 Z= 1.681 m
----- WSM 35 Z= 2.060 m
———— DRO 17 Z= 2.250 m



WATERSpanNING IN (KN/M2).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 2.250 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

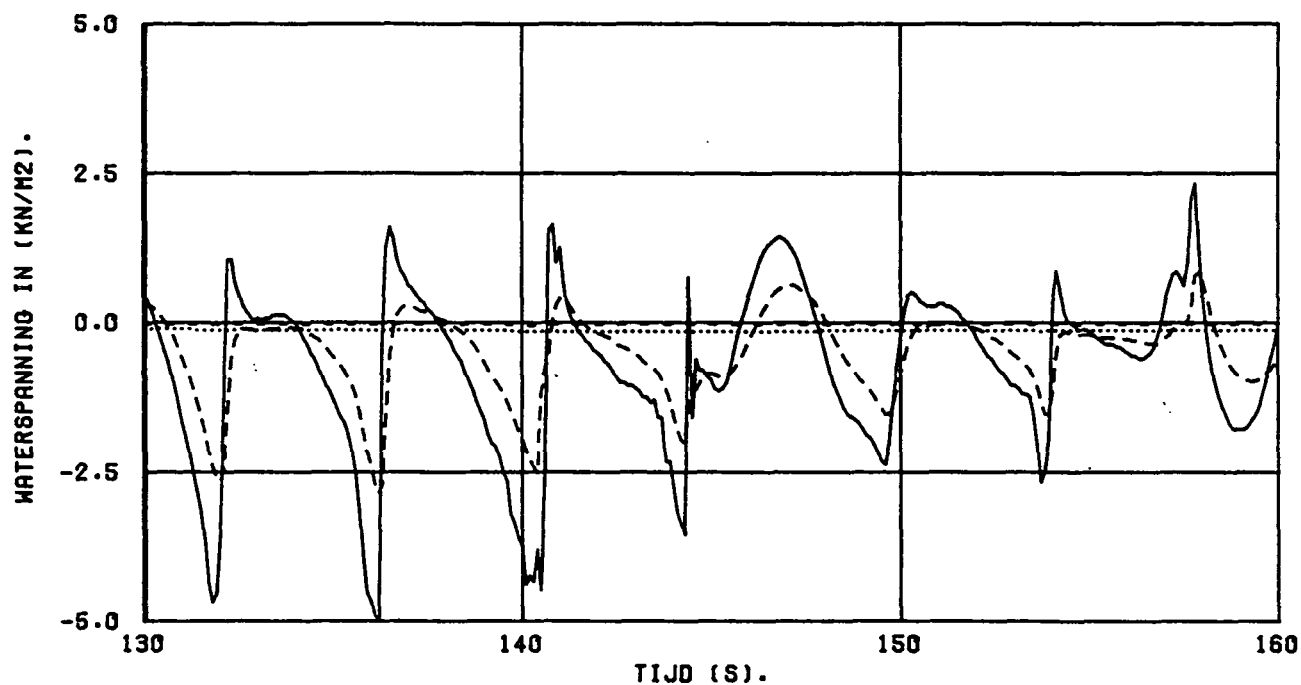
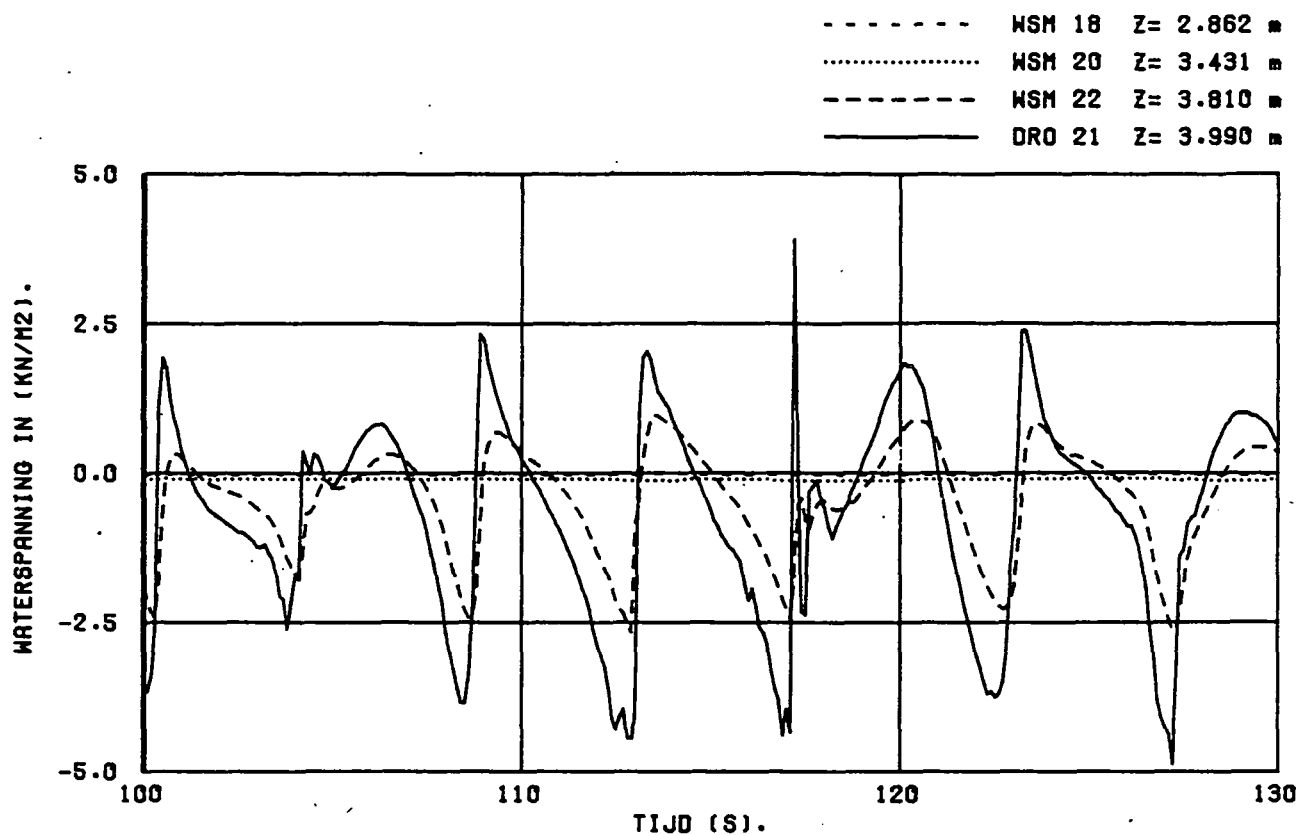
DGL03

H_{sl}= 0.50 m T_p= 4.27 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 55



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.990 m.
WESTZIJDE.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGL03

H_{sl} = 0.50 m T_p = 4.27 s

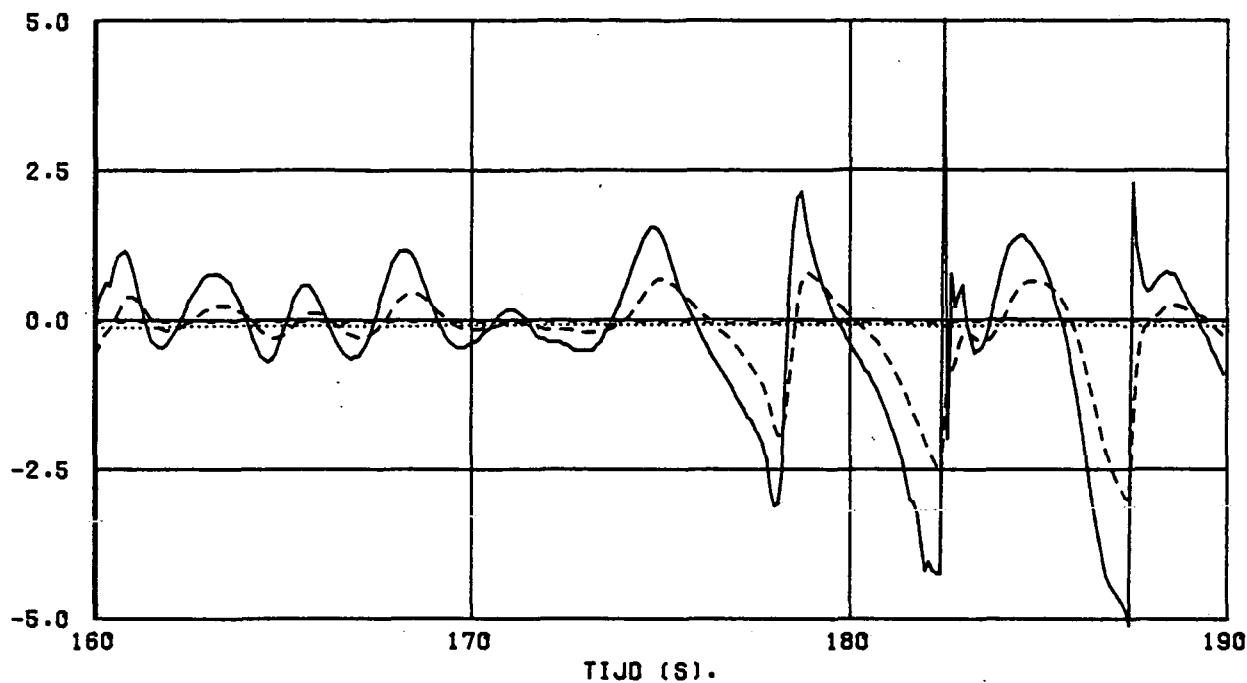
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

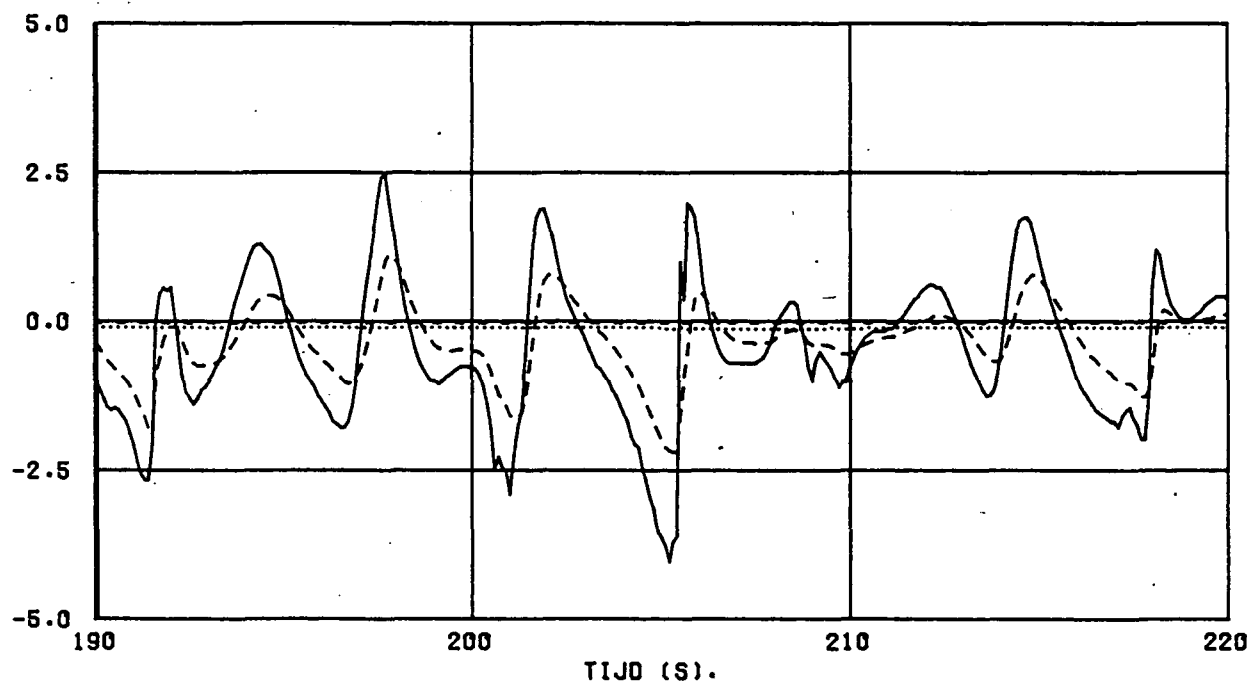
FIG. 56

WATERSPANNING IN (KN/M²).

----- WSM 18 Z= 2.862 m
..... WSM 20 Z= 3.431 m
----- WSM 22 Z= 3.810 m
————— DRO 21 Z= 3.990 m



WATERSPANNING IN (KN/M²).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.990 m.
WESTZIJDE.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

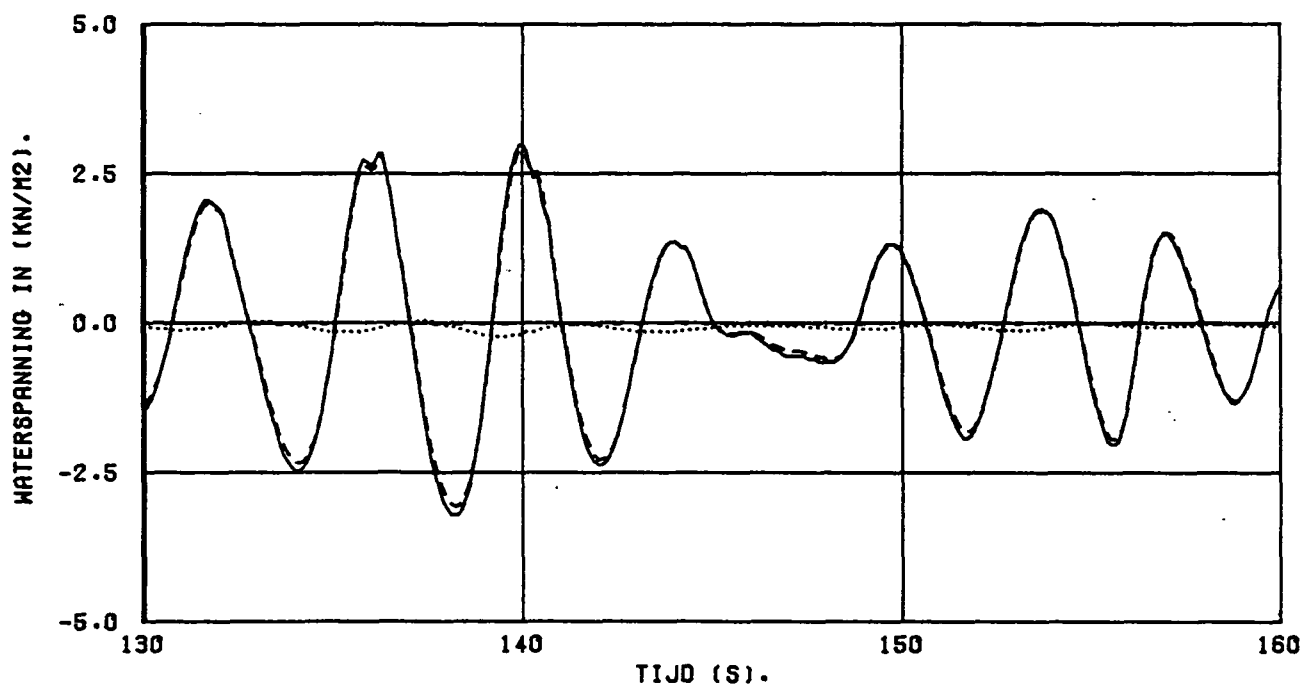
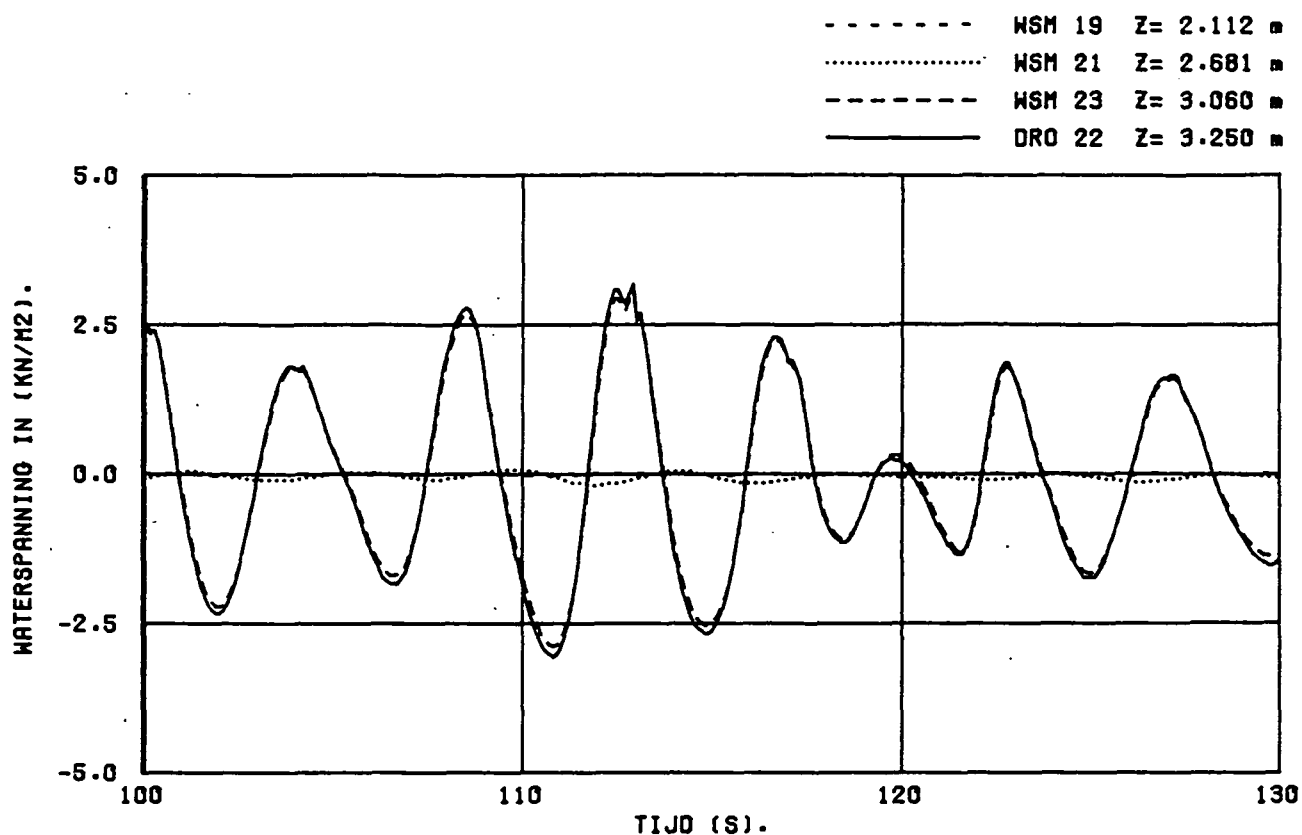
DGL03

H_s = 0.50 m T_p = 4.27 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG.57



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.250 m.
 WESTZIJDE.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
 WATERSpanning IN HET ZAND.

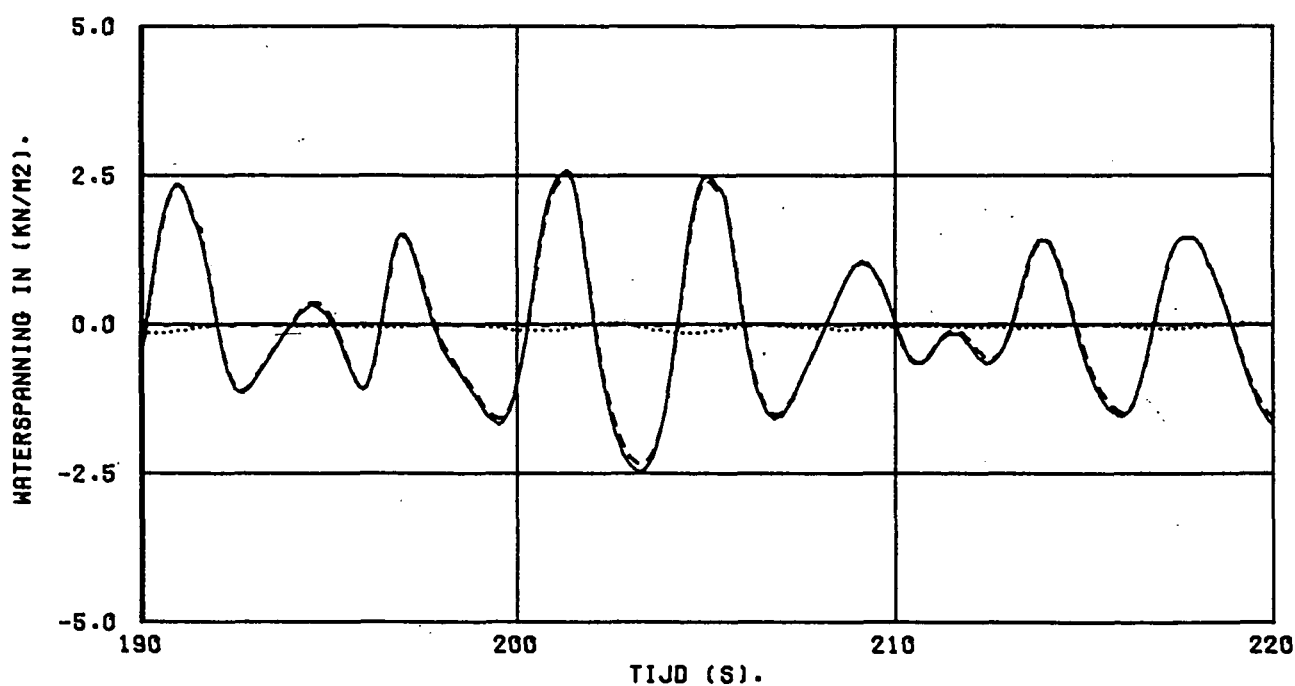
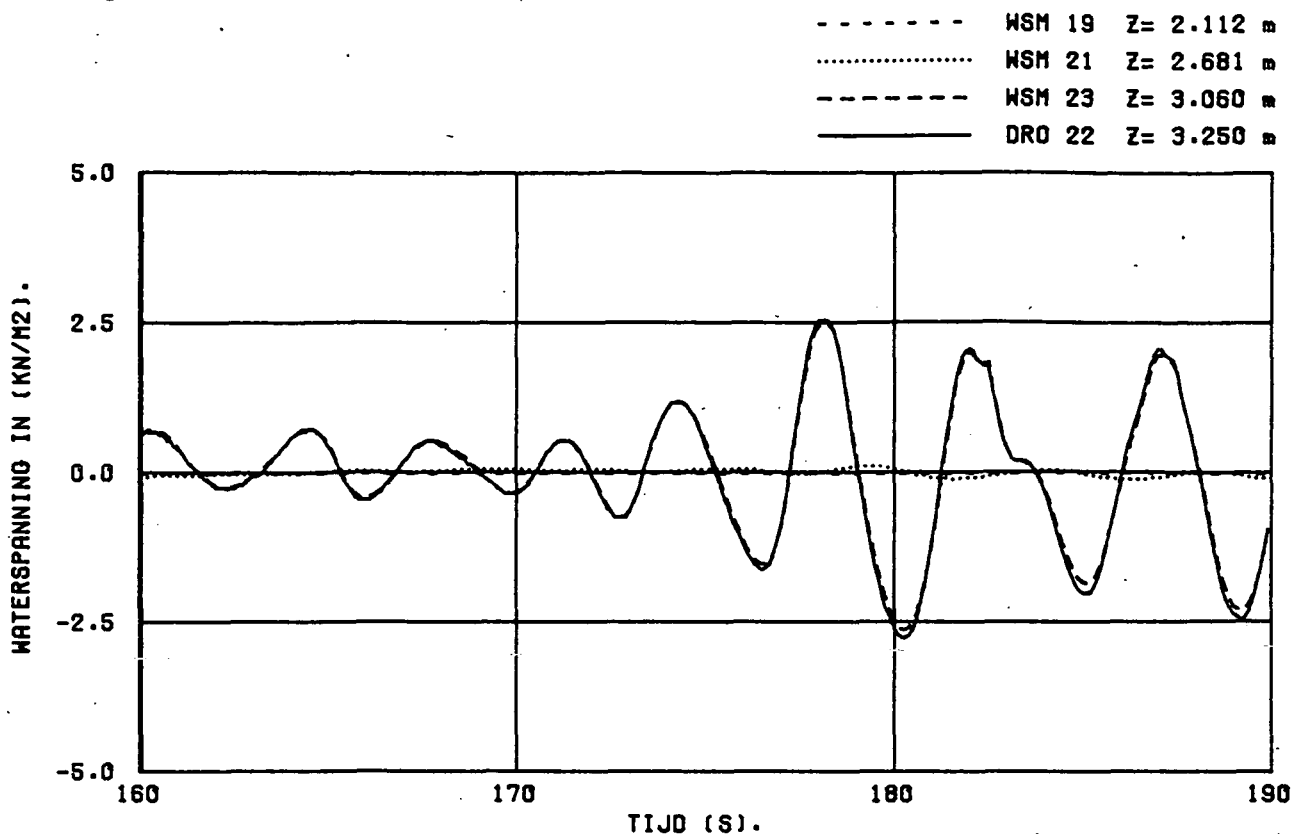
DGL03

H₉₁ = 0.50 m T_p = 4.27 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 58



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.250 m.
WESTZIJDE.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

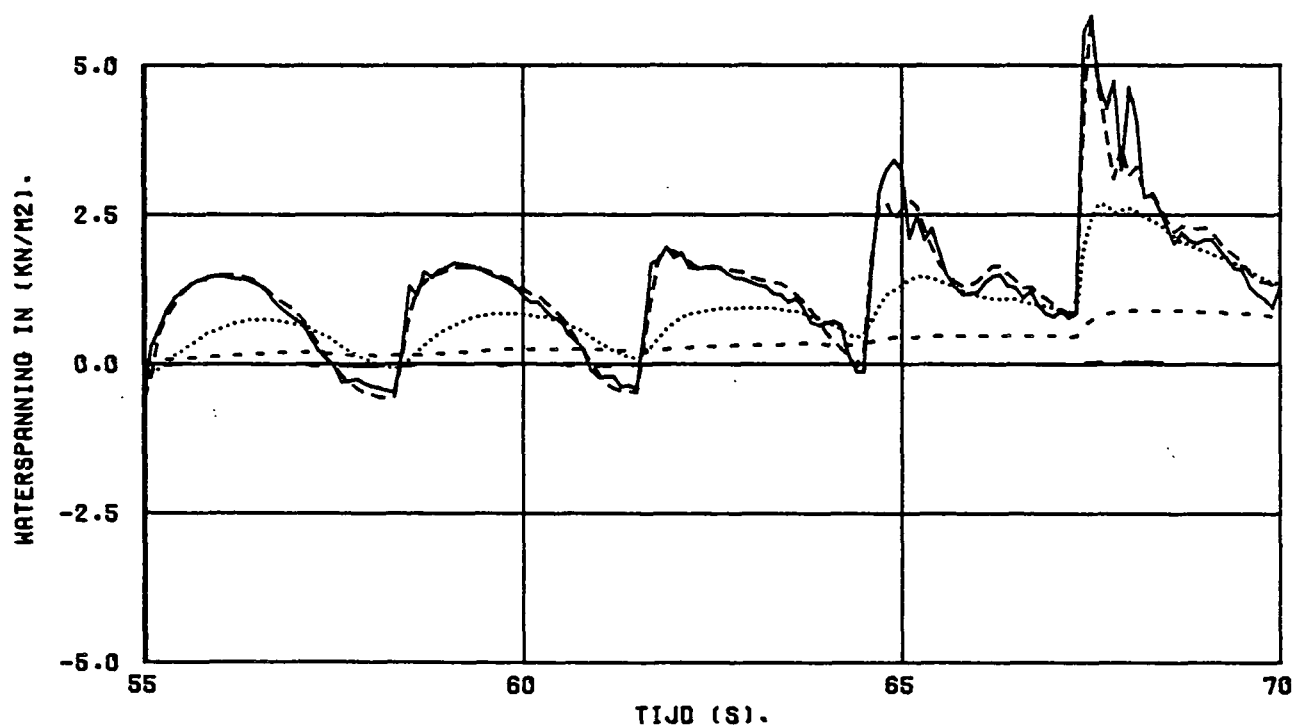
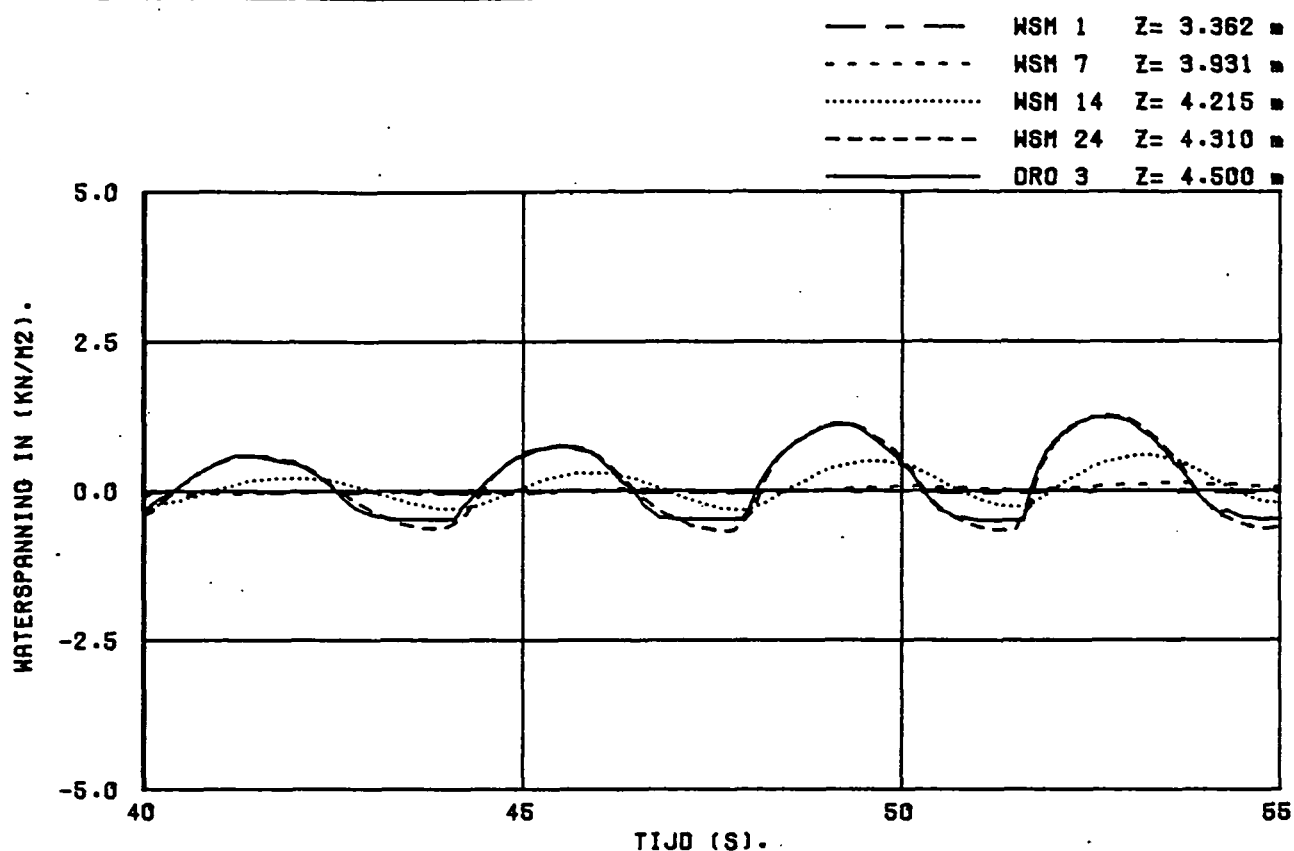
DGL03

H_{sl} = 0.50 m T_p = 4.27 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 59



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.500 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

DGL06

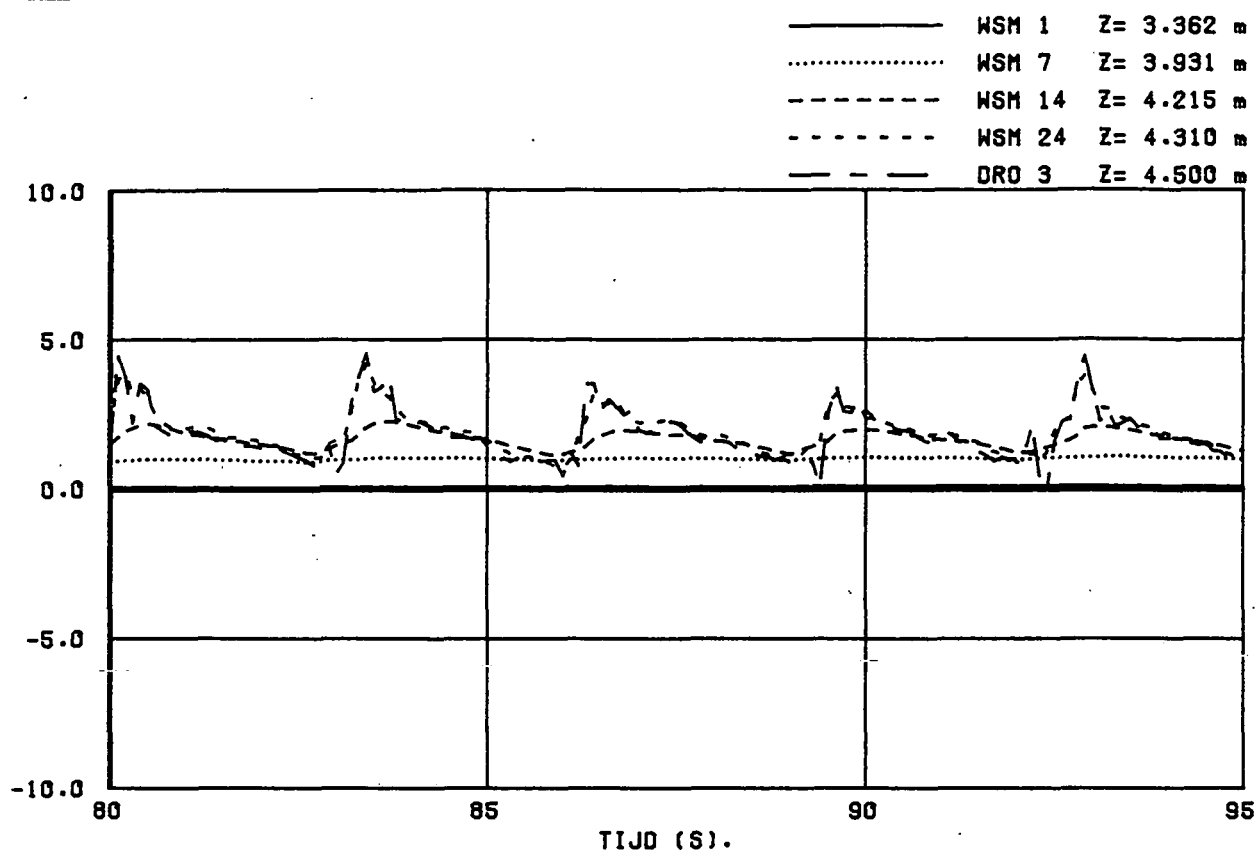
H= 0.835 m T= 3.11 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

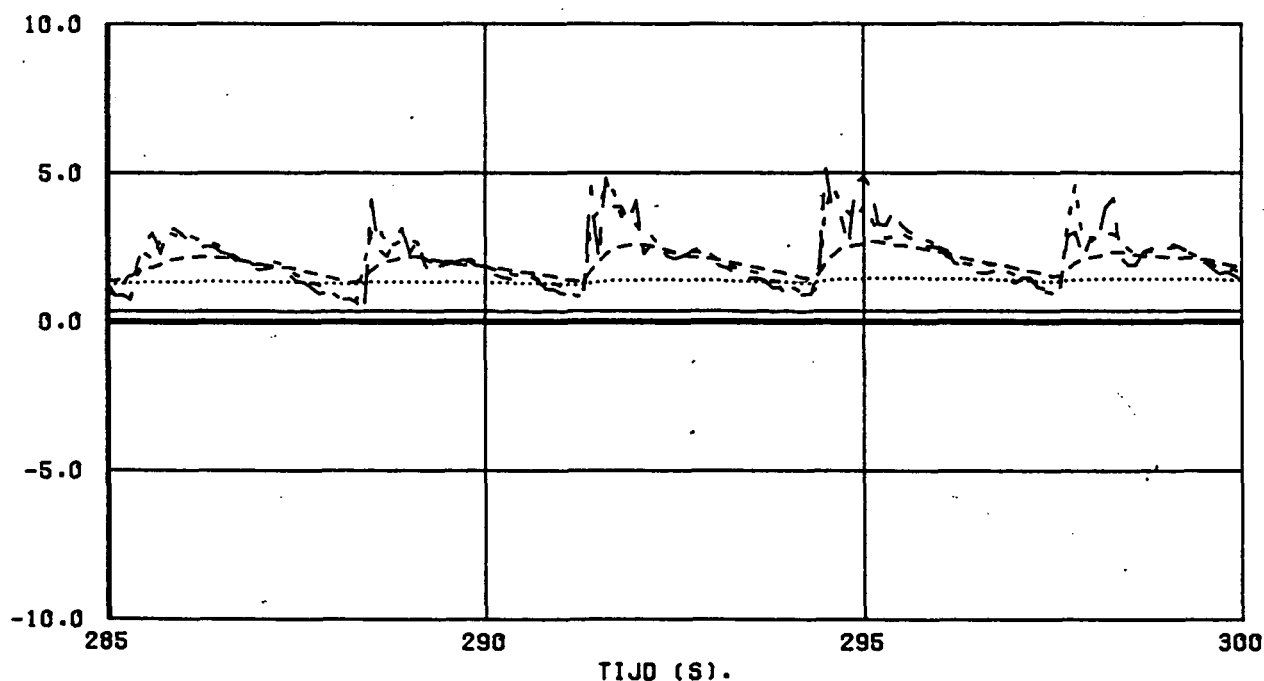
H 0122

FIG. 60

WATERSPANNING IN (KN/M2).



WATERSPANNING IN (KN/M2).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.50 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

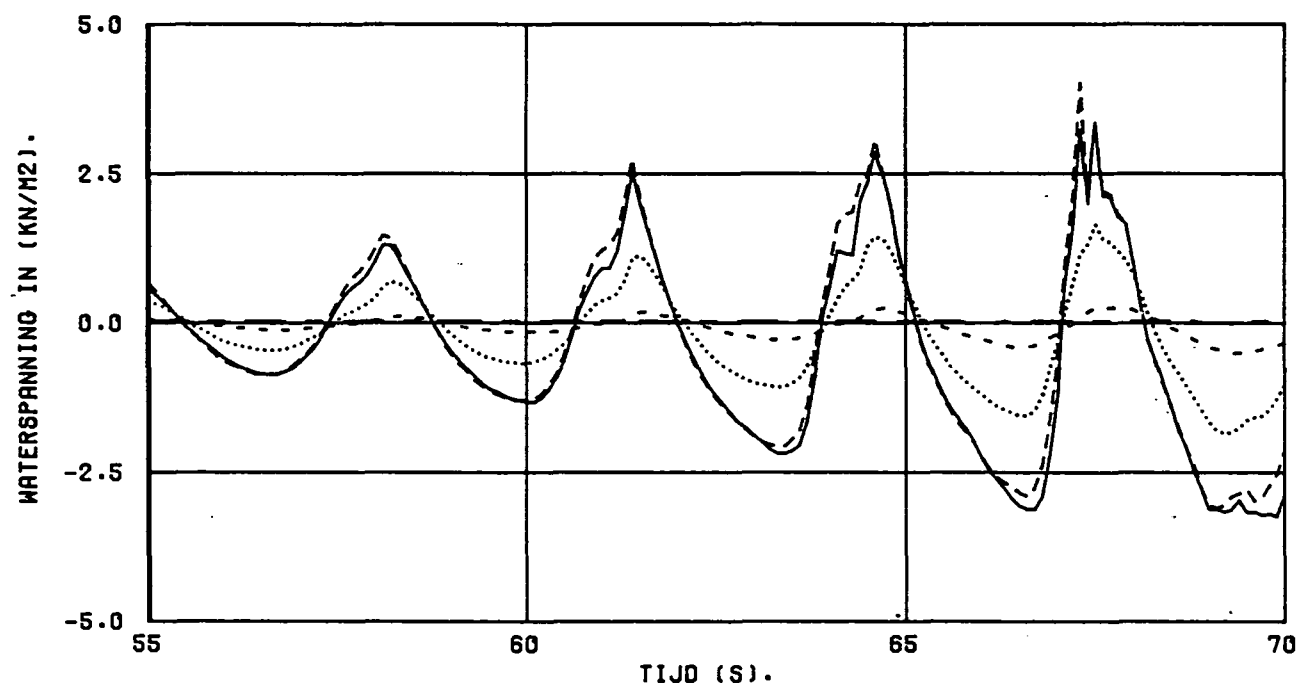
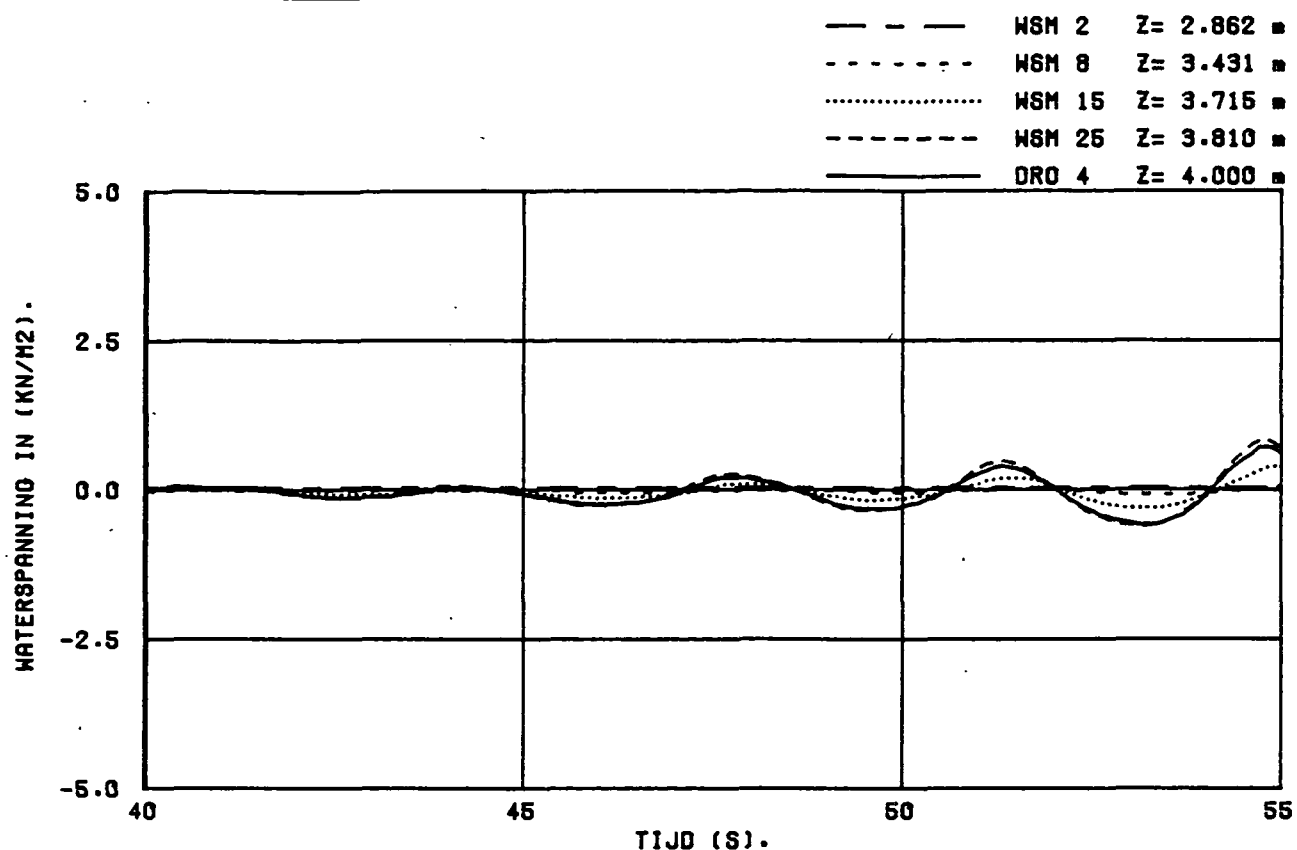
DGL06

H= 0.835 m T= 3.11 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 61



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.000 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

DGL06

H= 0.835 m T= 3.11 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

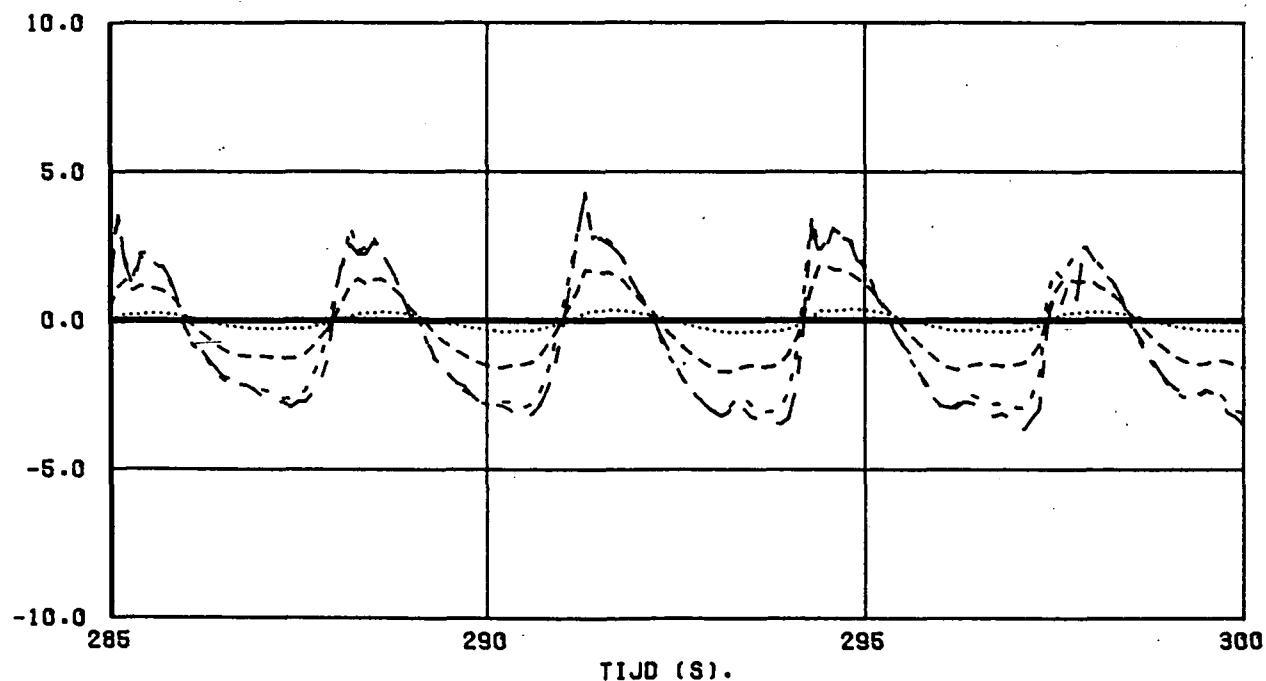
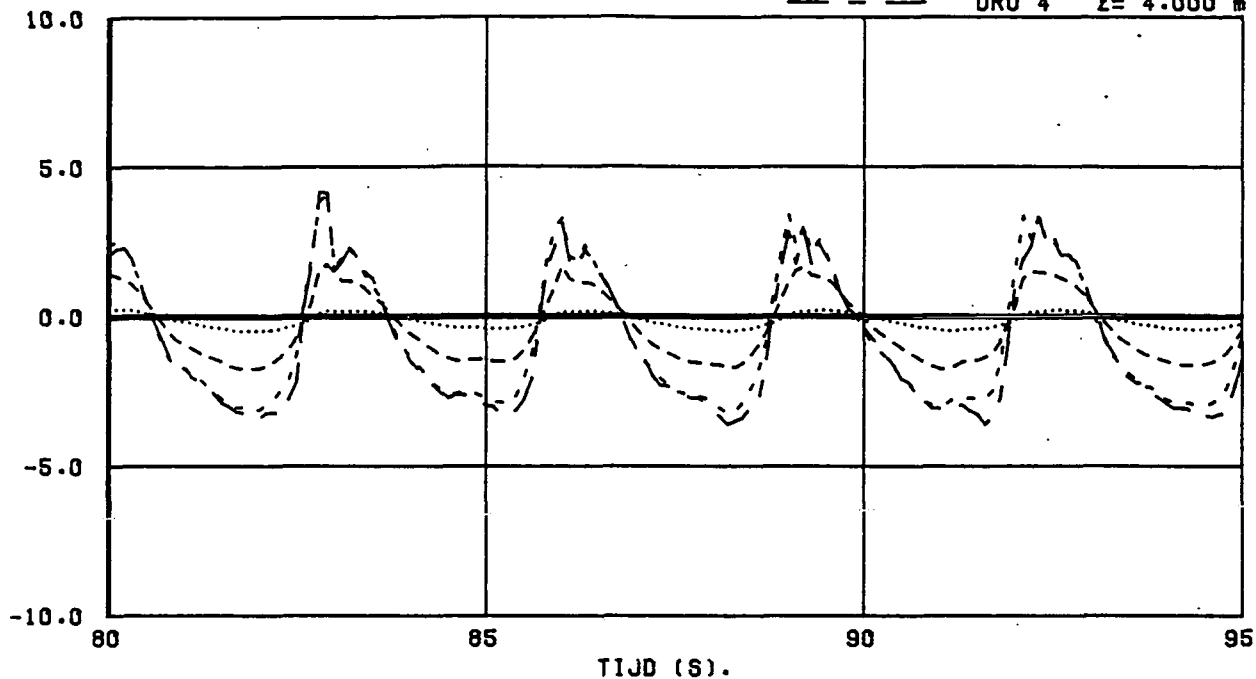
H 0122

FIG. 62

WATERSpanNING IN (KN/M2).

WATERSpanNING IN (KN/M2).

— WSM 2 Z= 2.862 m
 WSM 8 Z= 3.431 m
 - - - WSM 15 Z= 3.715 m
 - - - WSM 25 Z= 3.810 m
 — — — DRO 4 Z= 4.000 m



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.00 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGL06

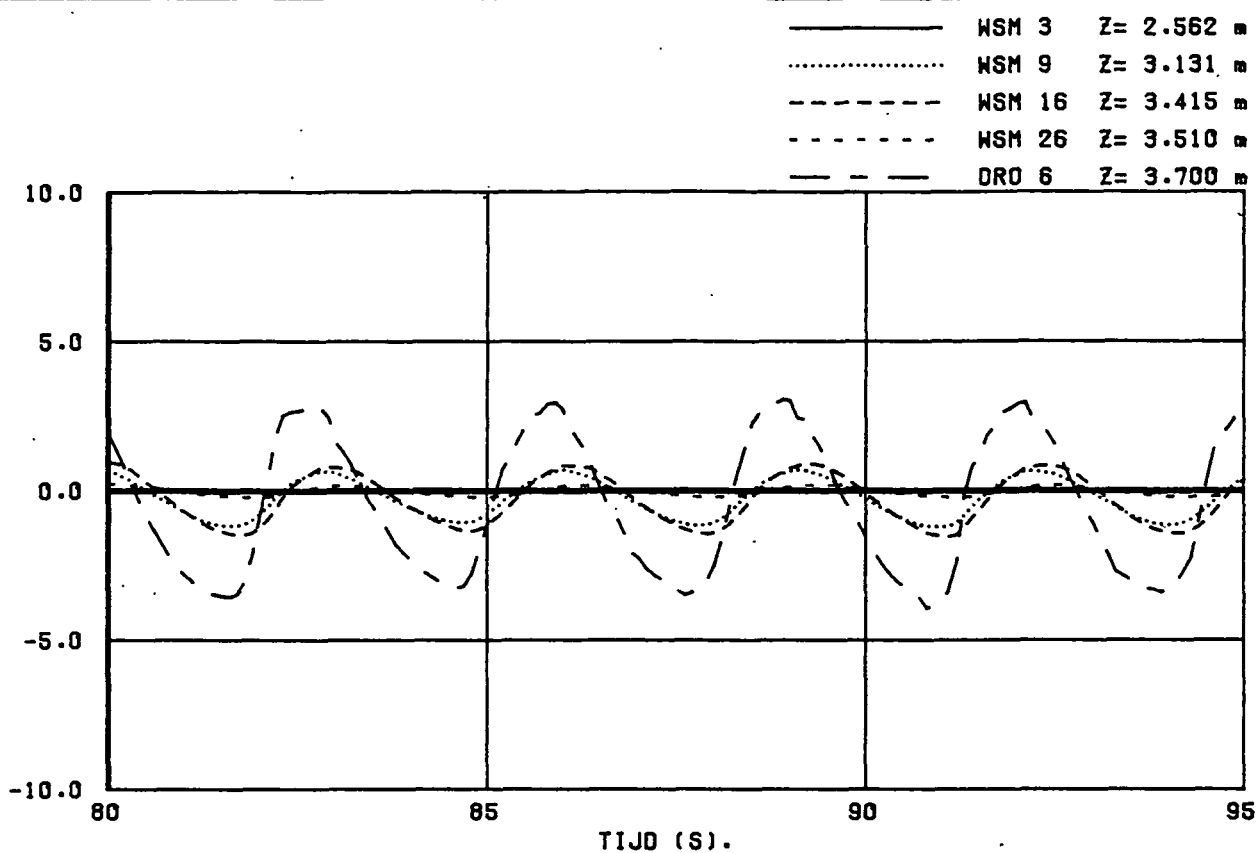
H= 0.835 m T= 3.11 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

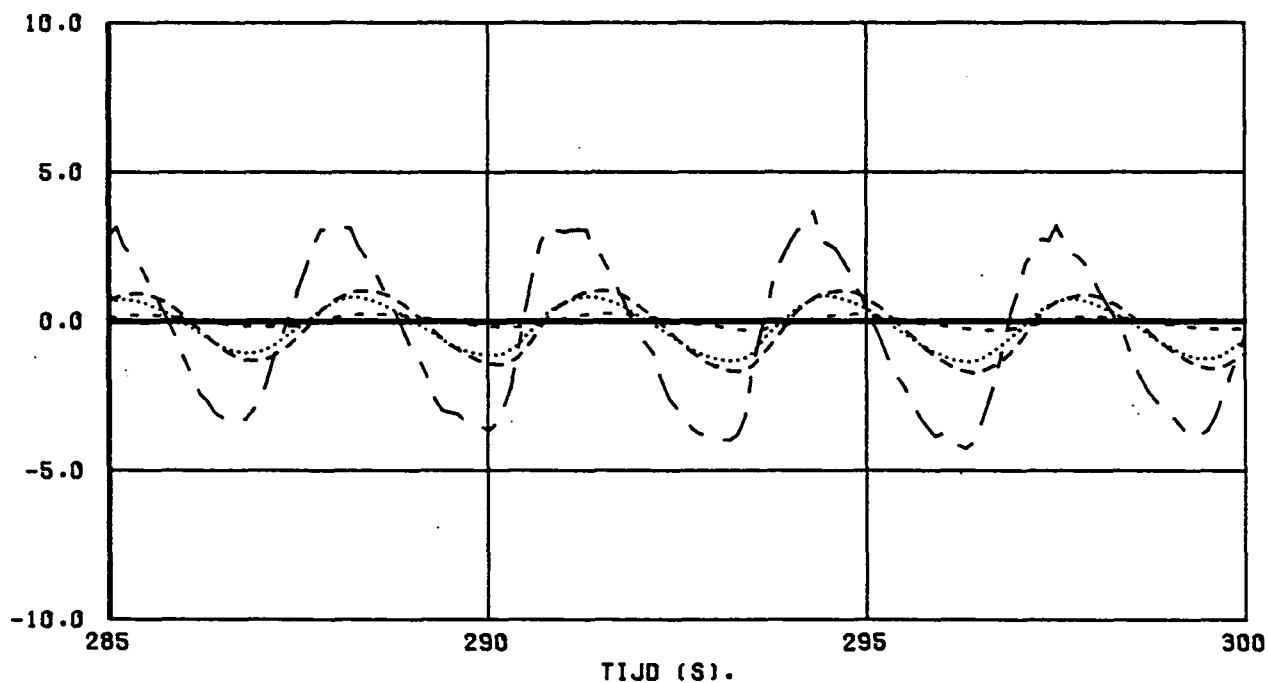
H 0122

FIG.63

WATERSpanNING IN (KN/M2).



WATERSpanNING IN (KN/M2).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.70 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGL06

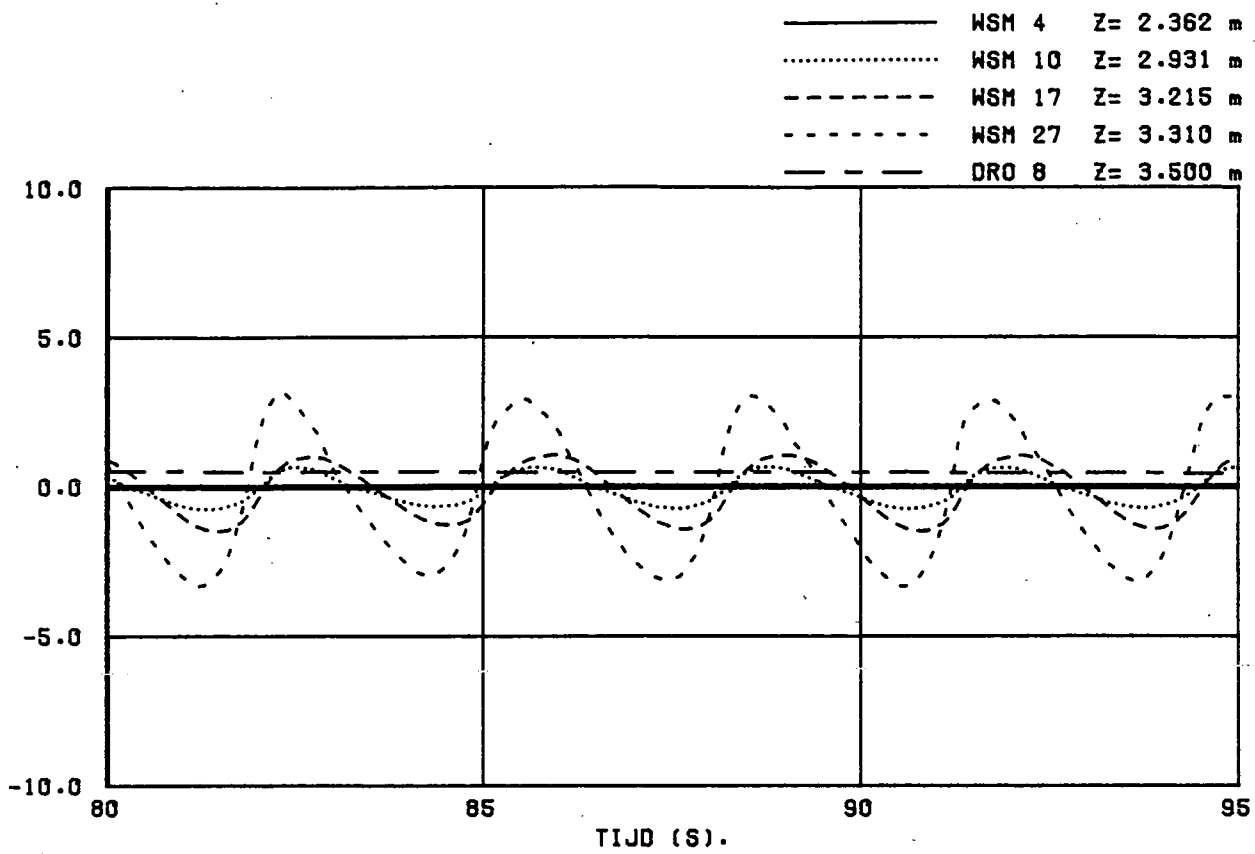
H= 0.835 m T= 3.11 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

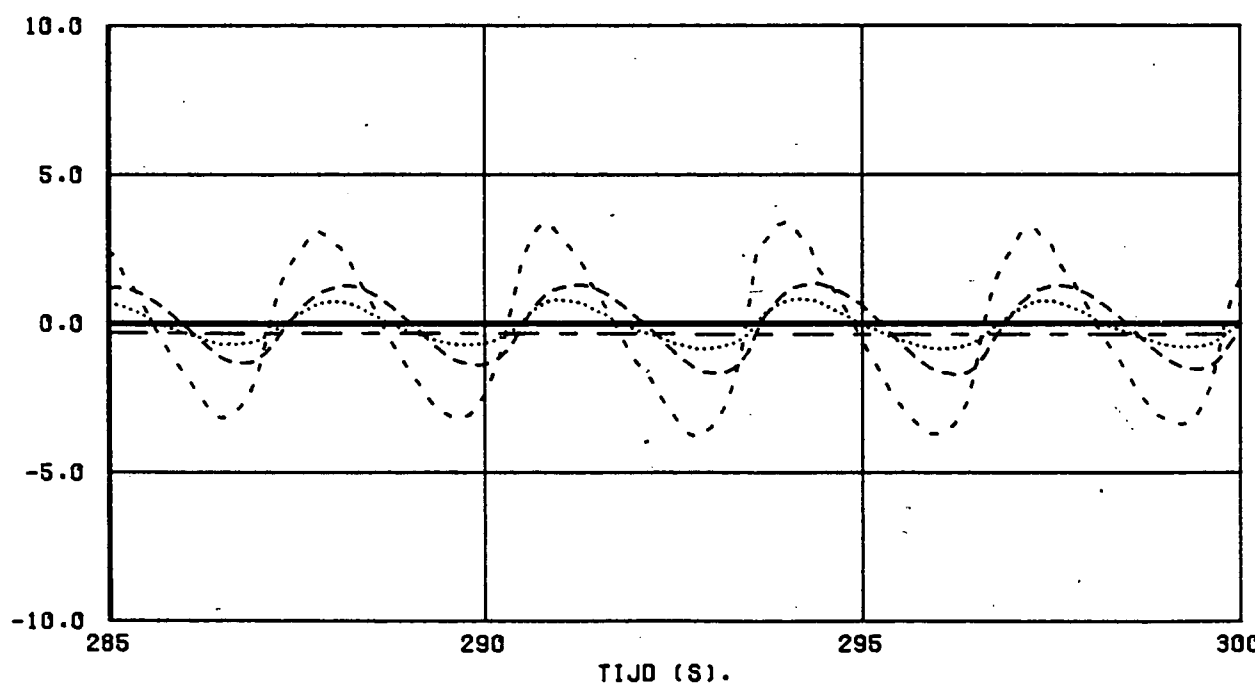
H 0122

FIG.64

WATERSPANNING IN (KN/M2).



WATERSPANNING IN (KN/M2).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.50 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

DGL06

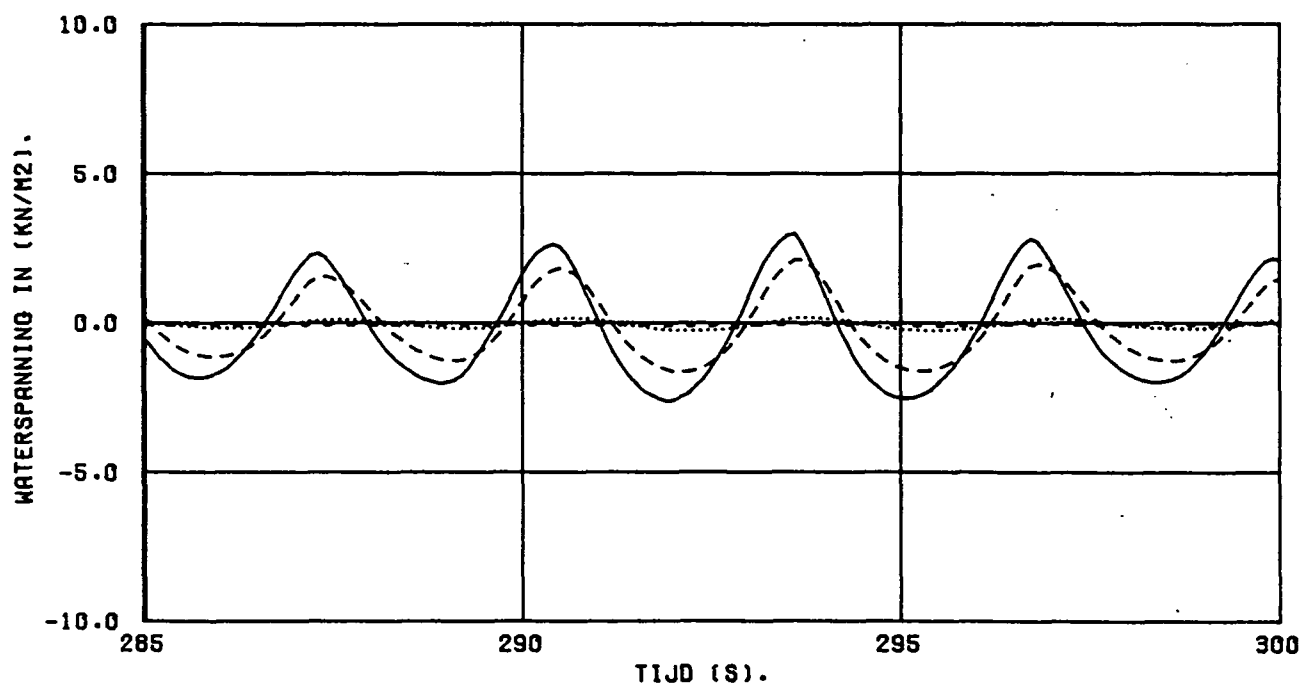
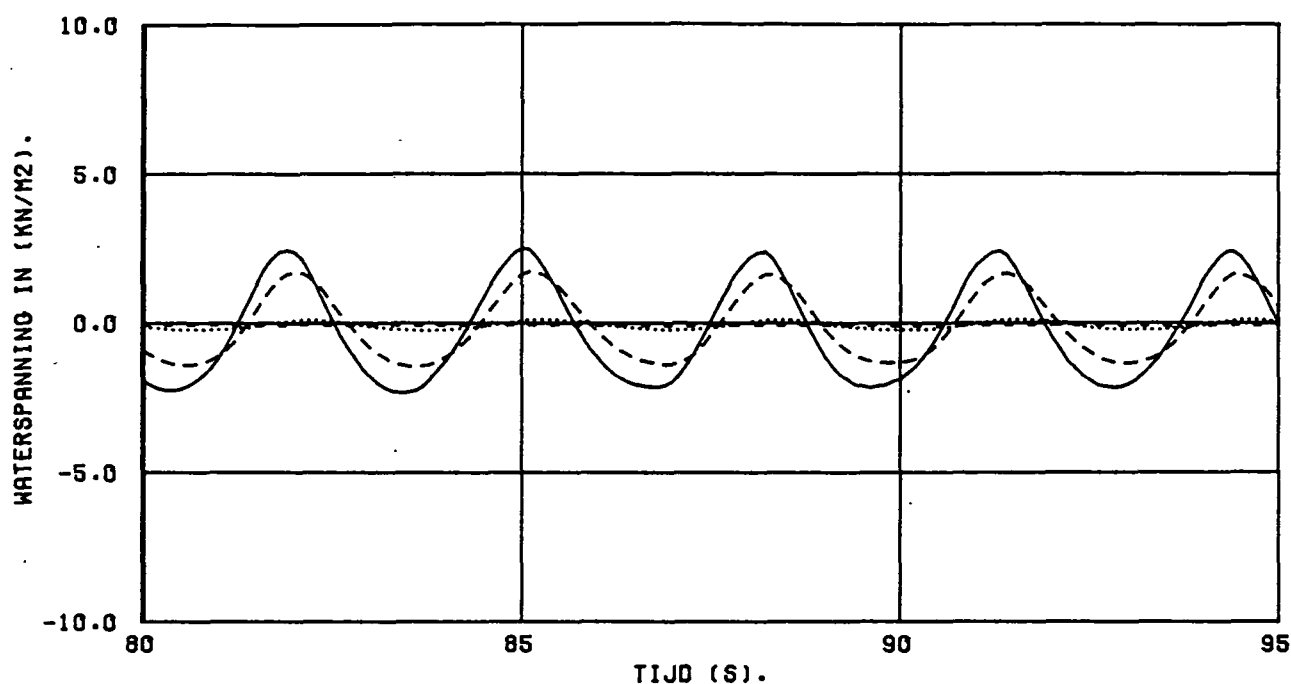
H= 0.835 m T= 3.11 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG.65

- - - - - WSM 6 Z= 1.737 m
 WSM 12 Z= 2.306 m
 - - - - - WSM 31 Z= 2.685 m
 _____ DRO 13 Z= 2.875 m



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 2.875 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
 WATERSpanNING IN HET ZAND.

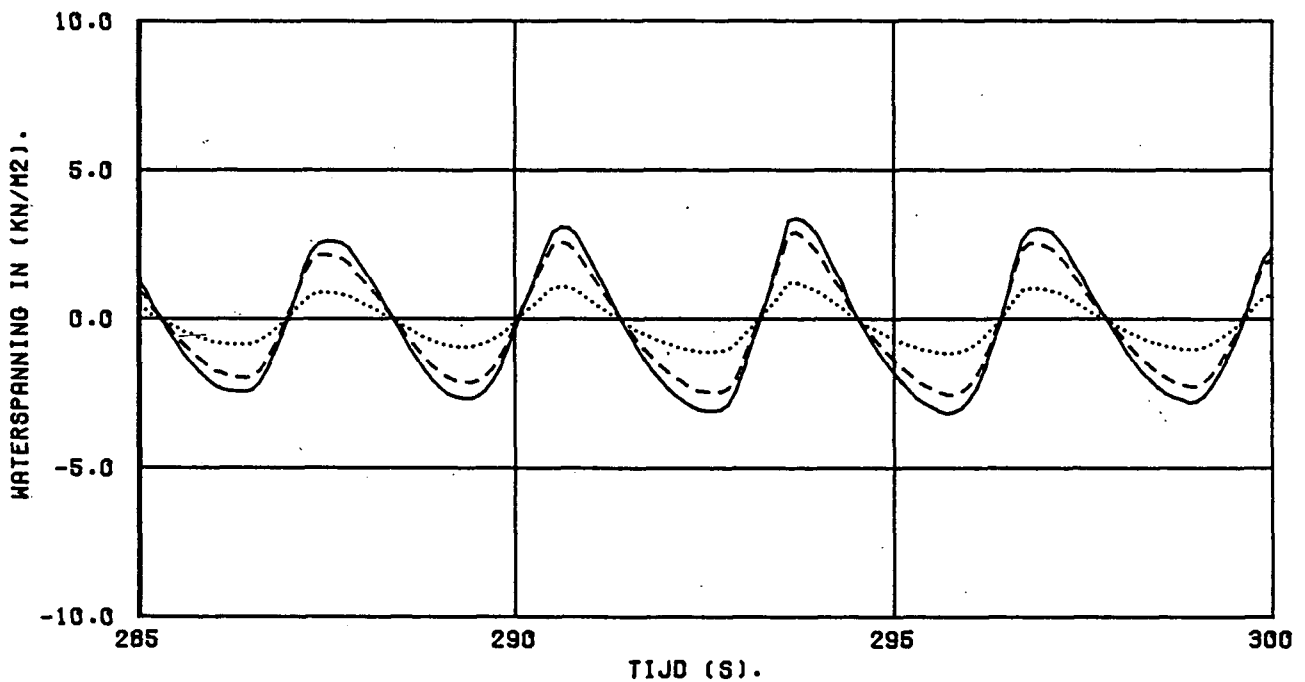
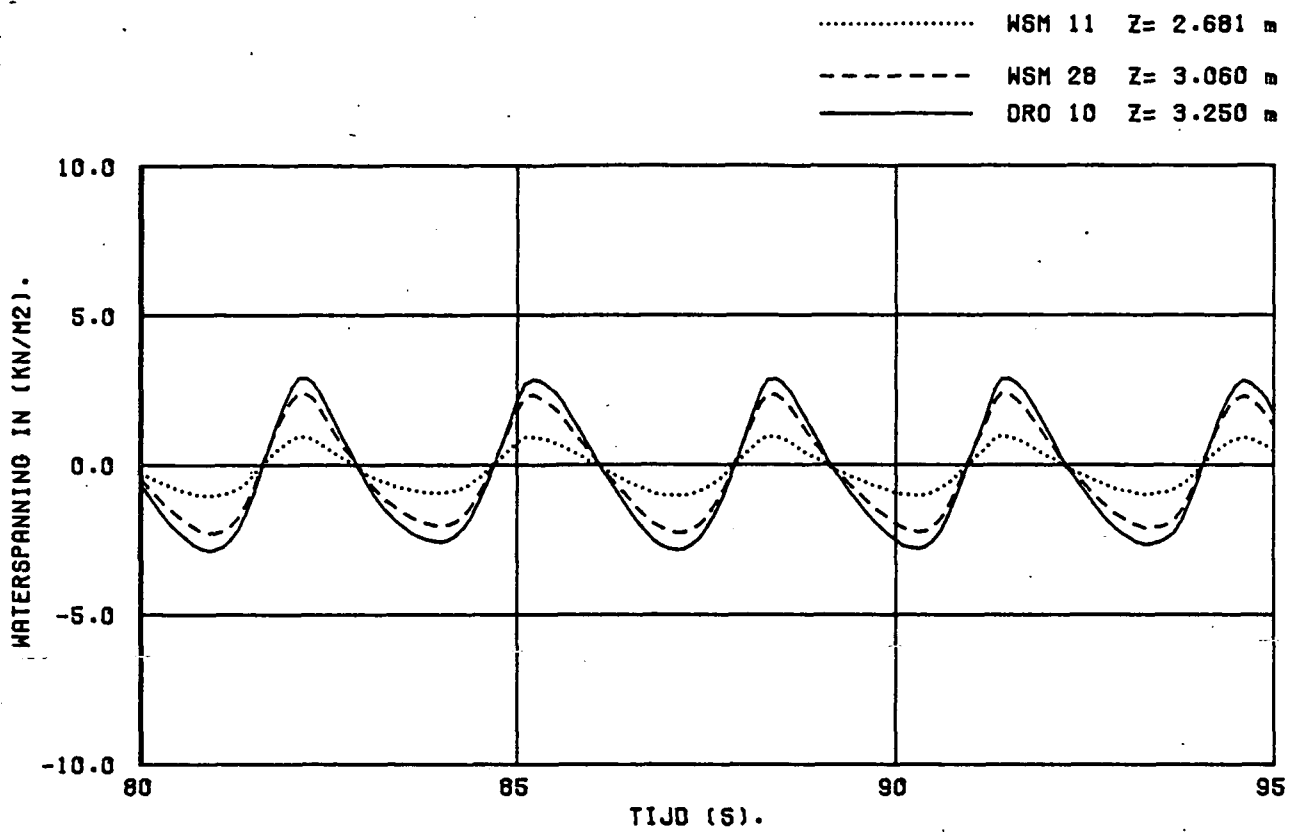
DGL06

H= 0.835 m T= 3.11 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG.66



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.250 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
 WATERSpanNING IN HET ZAND.

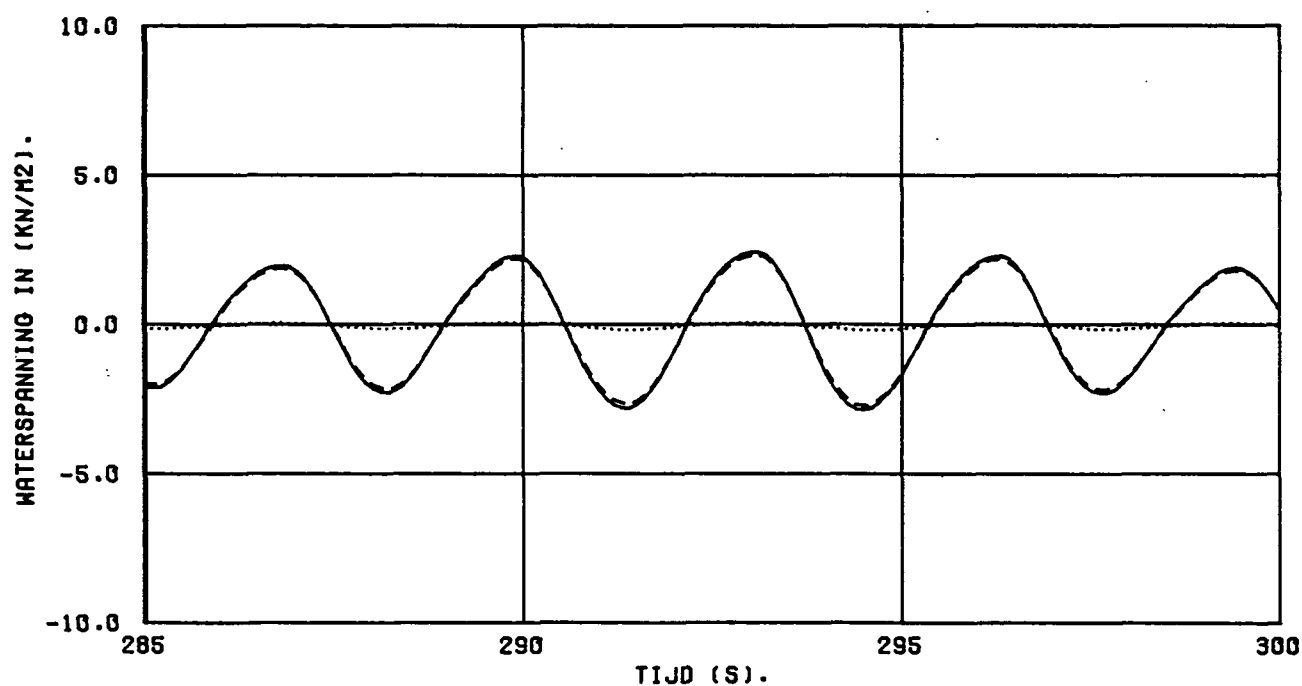
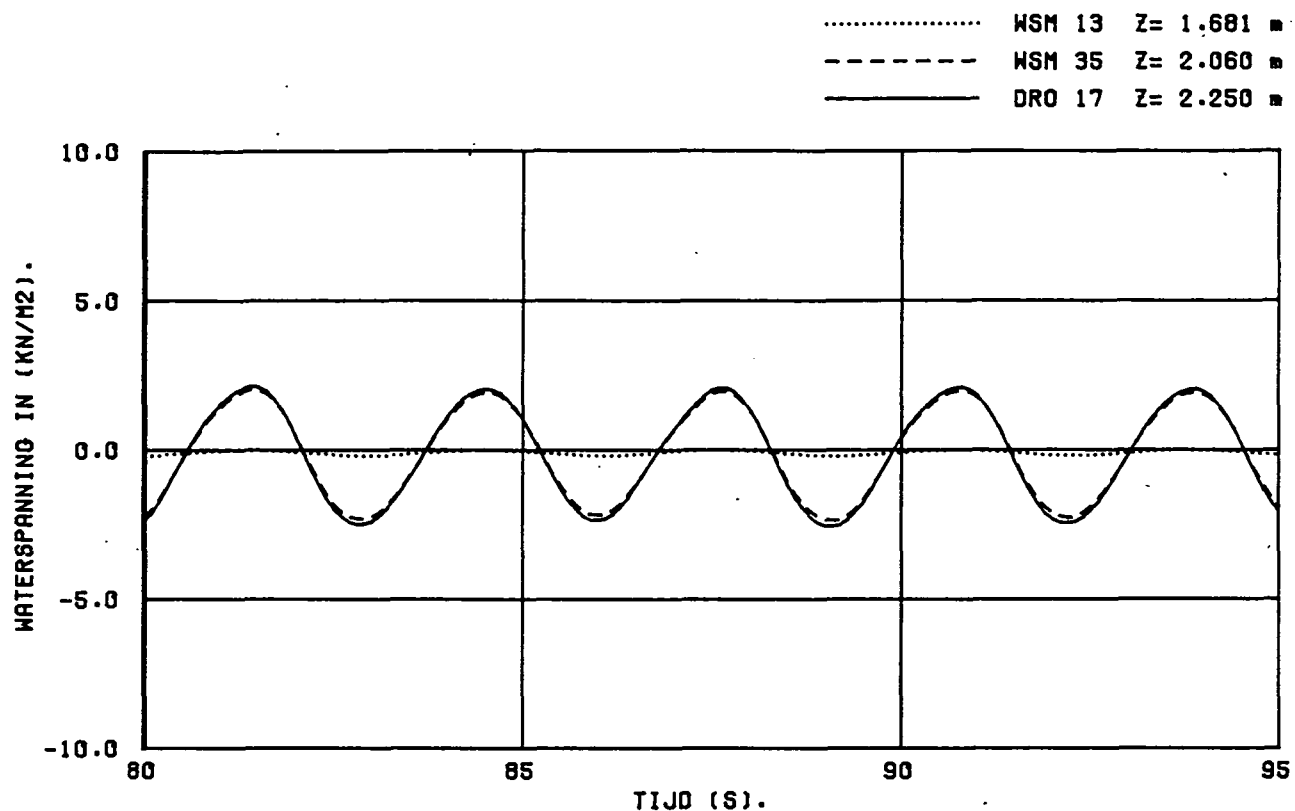
DGL06

H= 0.835 m T= 3.11 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 67



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 2.250 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

DGL06

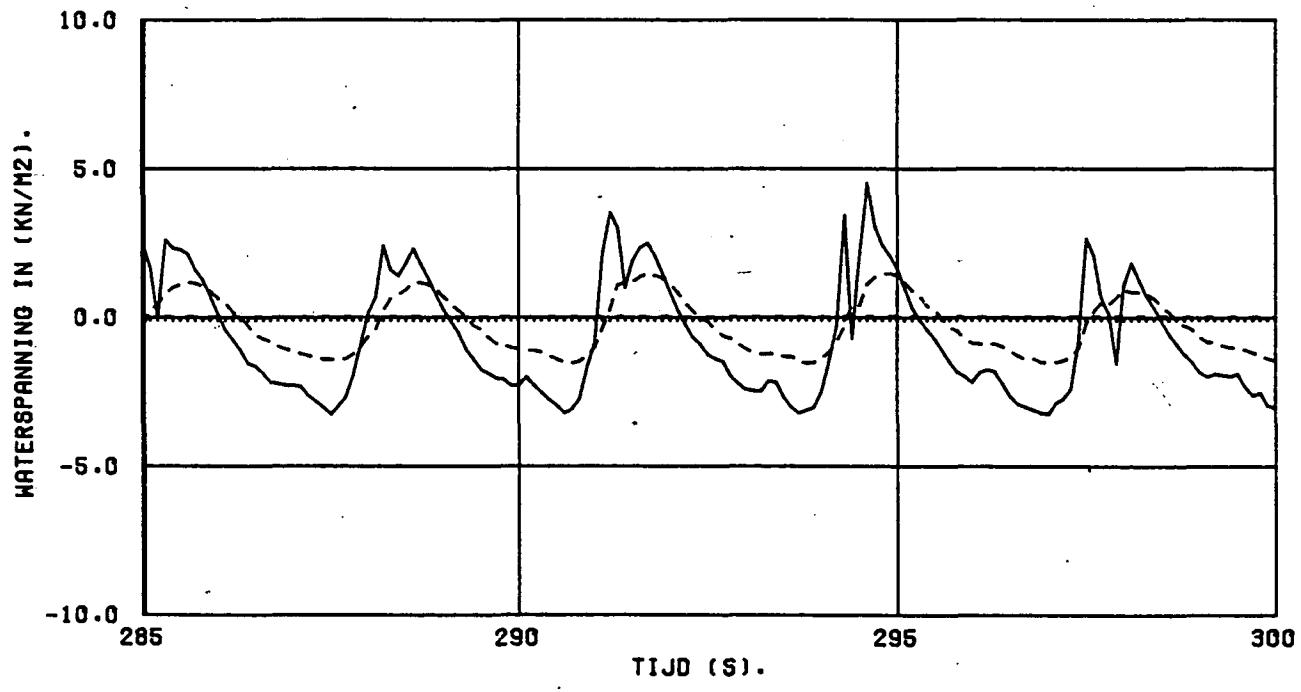
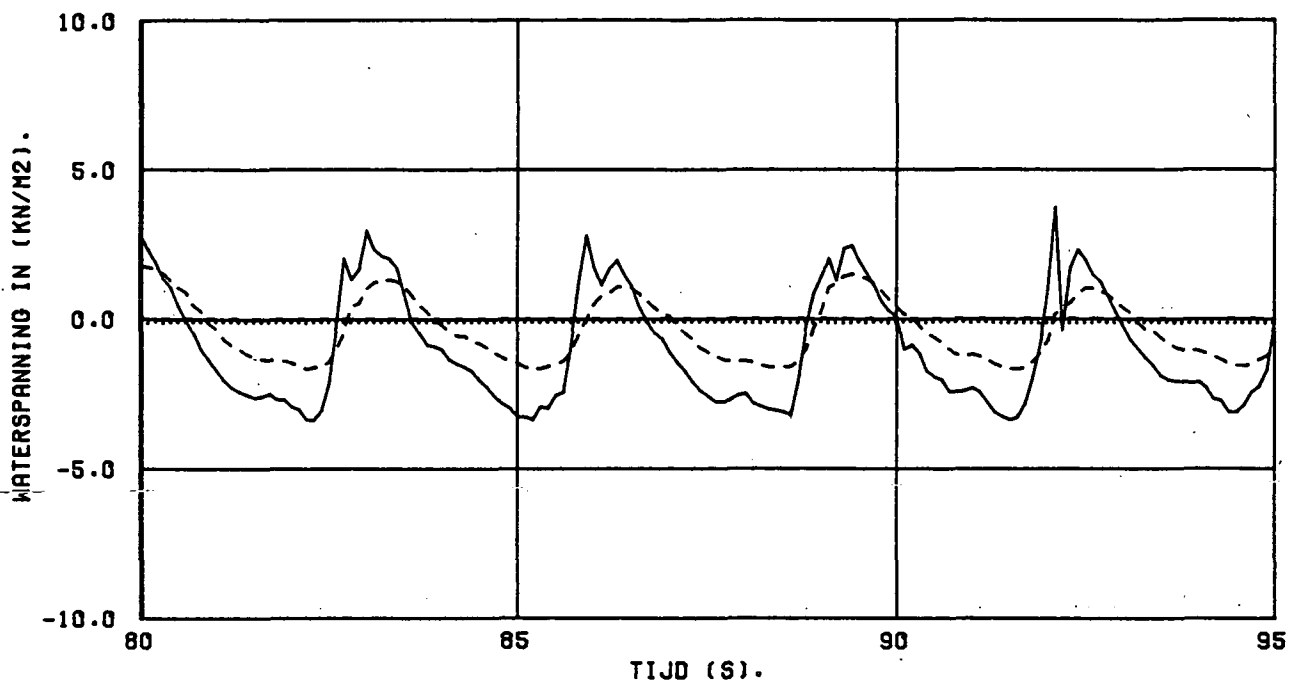
H= 0.835 m T= 3.11 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

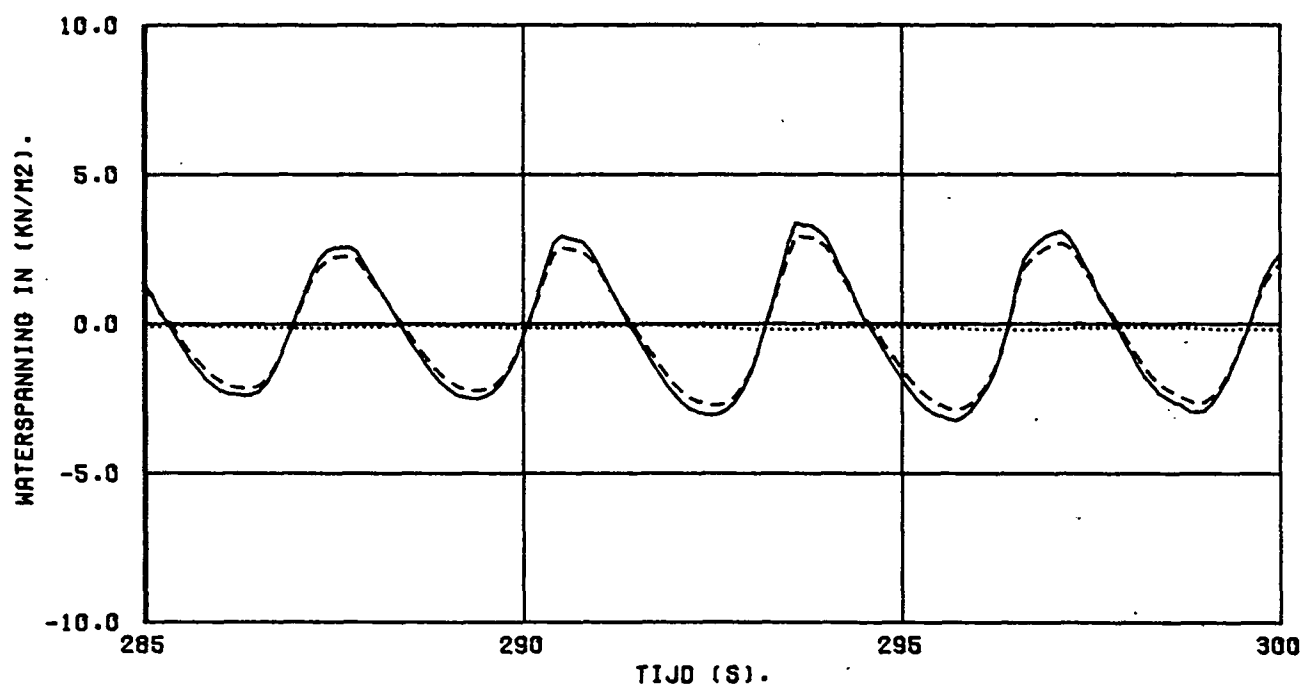
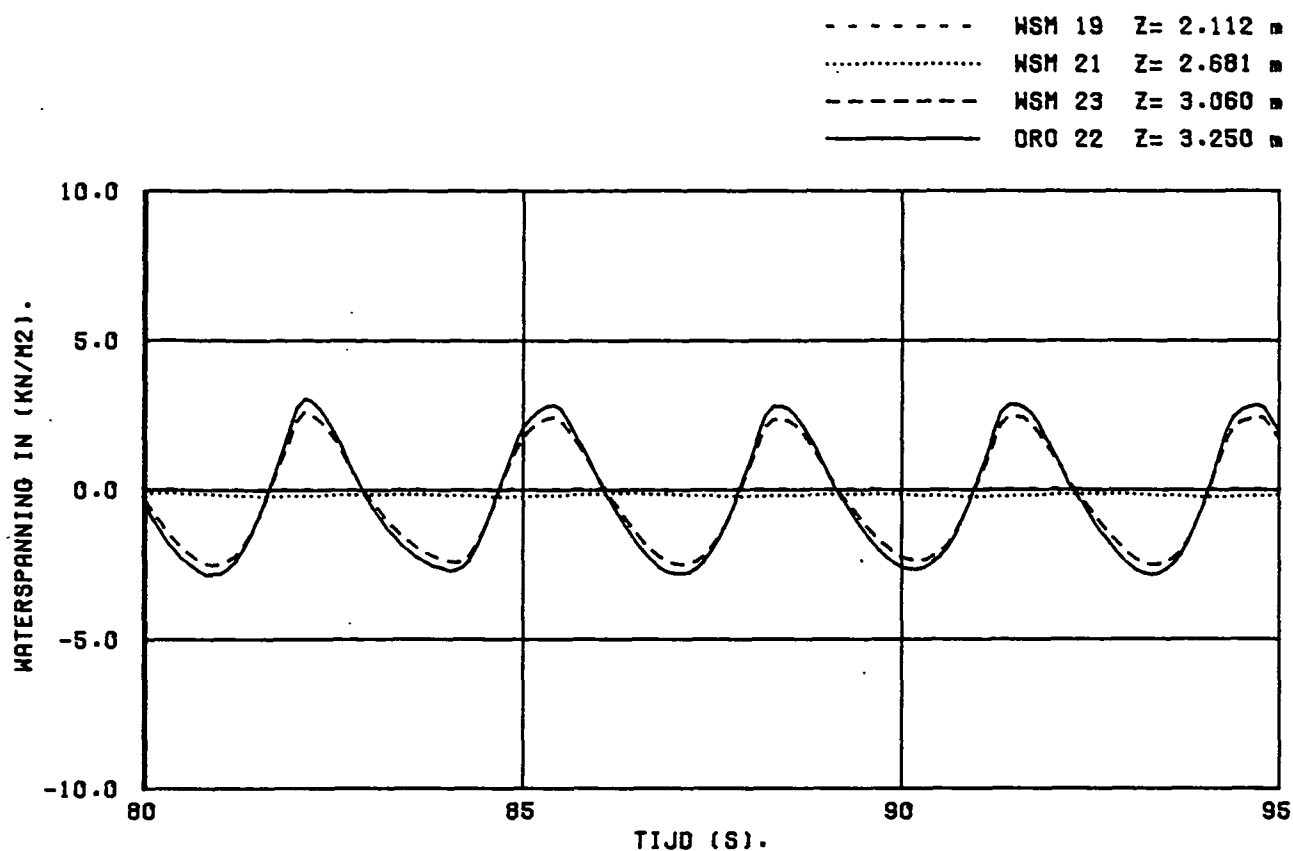
FIG.68

- - - - - WSM 18 Z= 2.862 m
 WSM 20 Z= 3.431 m
 - - - - - WSM 22 Z= 3.810 m
 _____ DRO 21 Z= 3.990 m



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.990 m.
 WESTZIJDE.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN WATERSpanNING IN HET ZAND.	DGL06	
	H= 0.835 m T= 3.11 s	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA	H. 0122	FIG.69



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.250 m.
WESTZIJDE.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

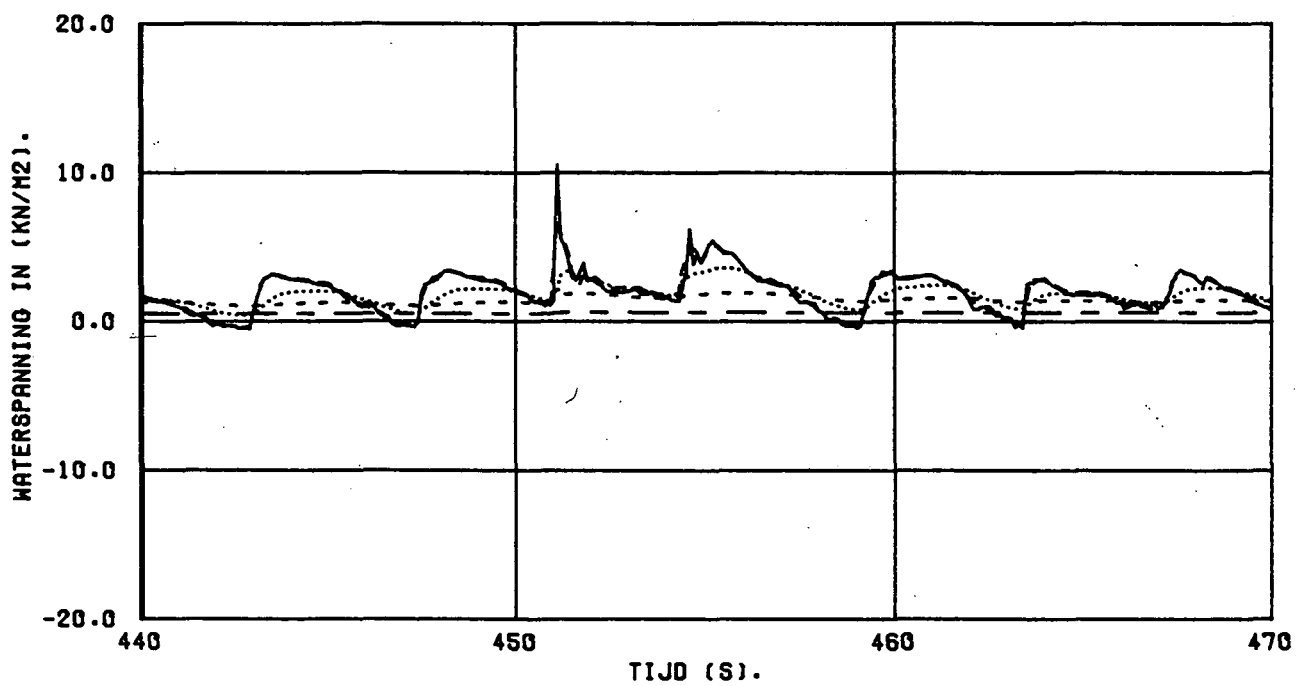
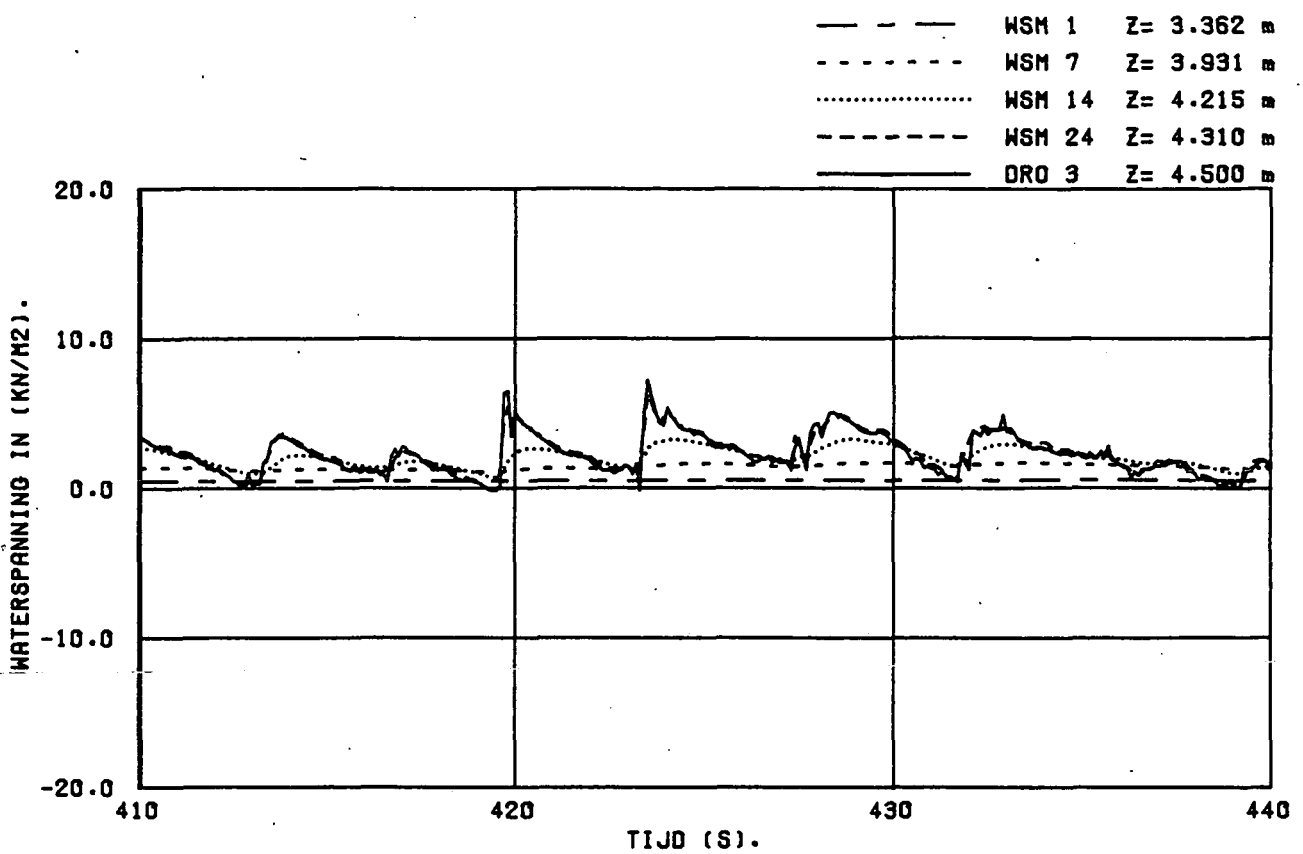
DGLO6

H= 0.835 m T= 3.11 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 70



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.500 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

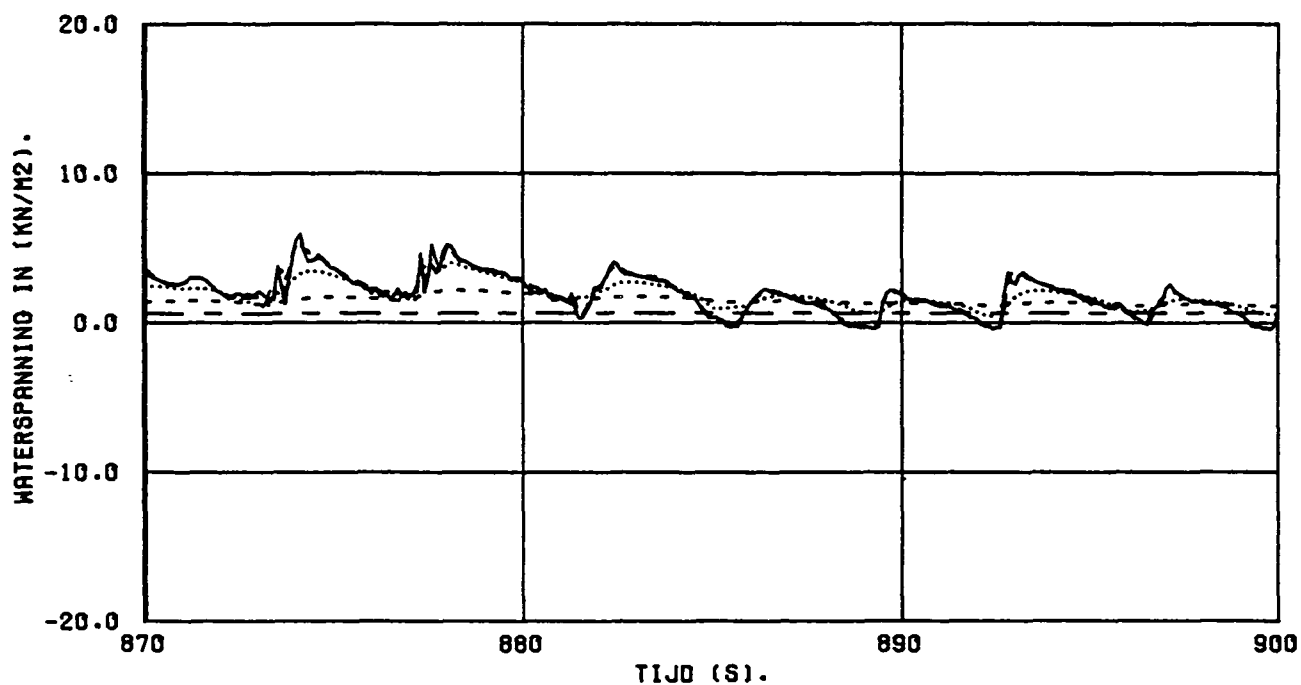
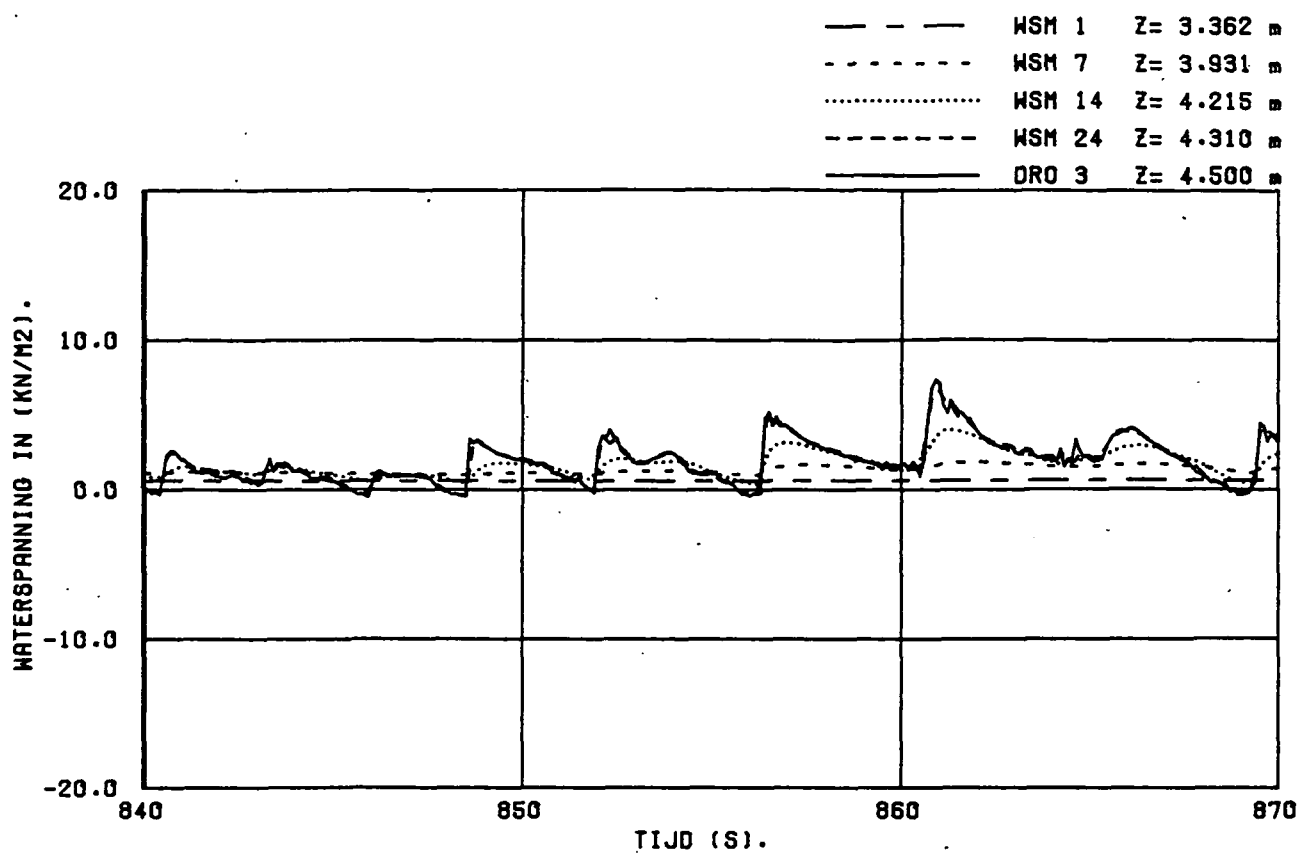
DGB10

H_{sl}= 1.14 m T_p= 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG.71



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.500 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

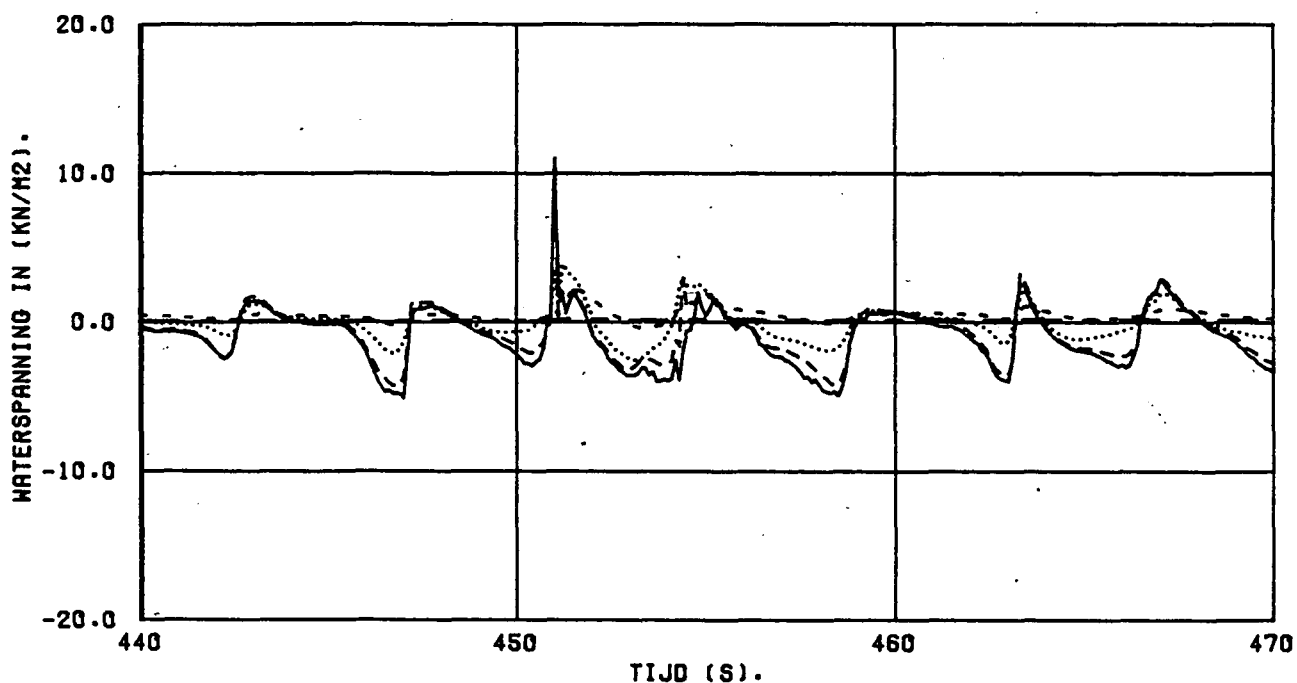
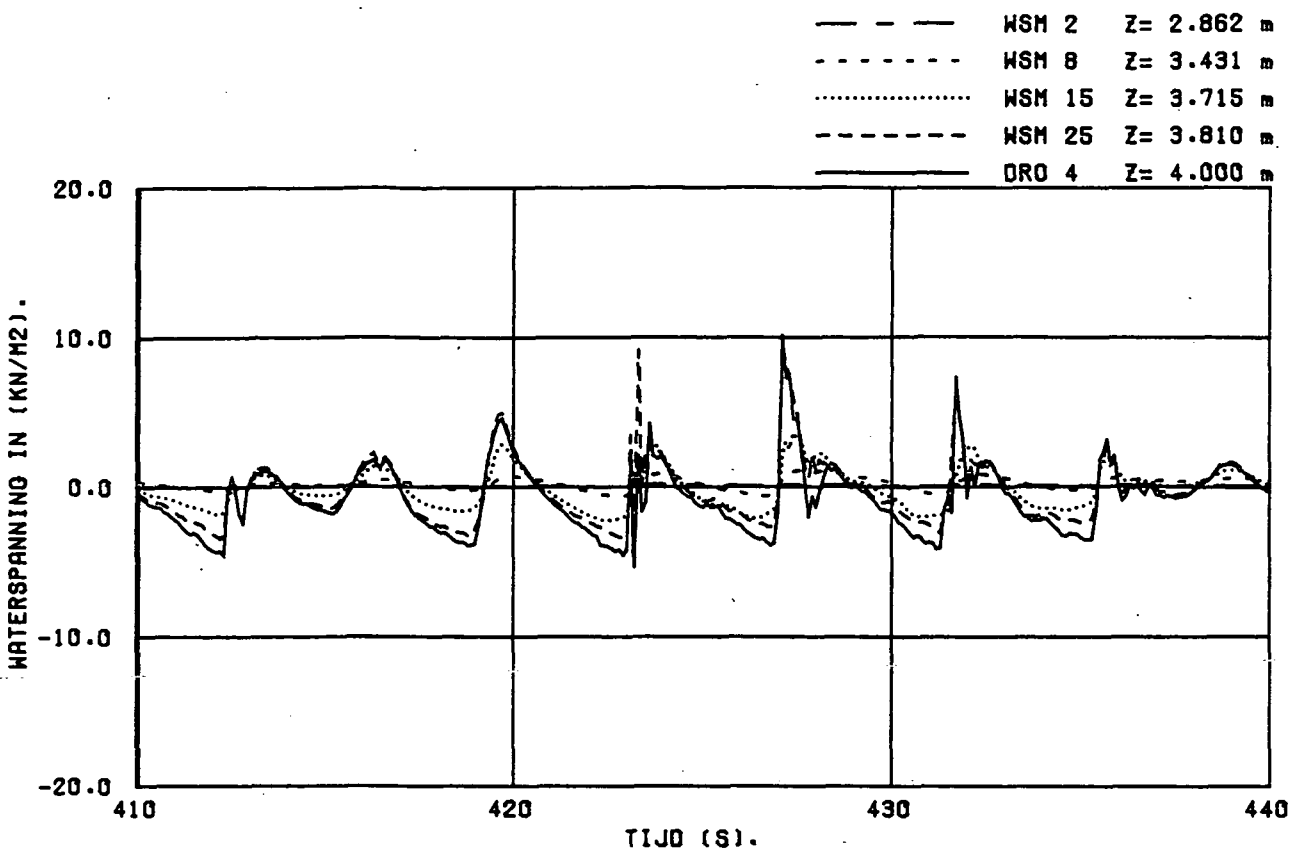
DGB10

H_{sl}= 1.14 m T_p= 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 72



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.000 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

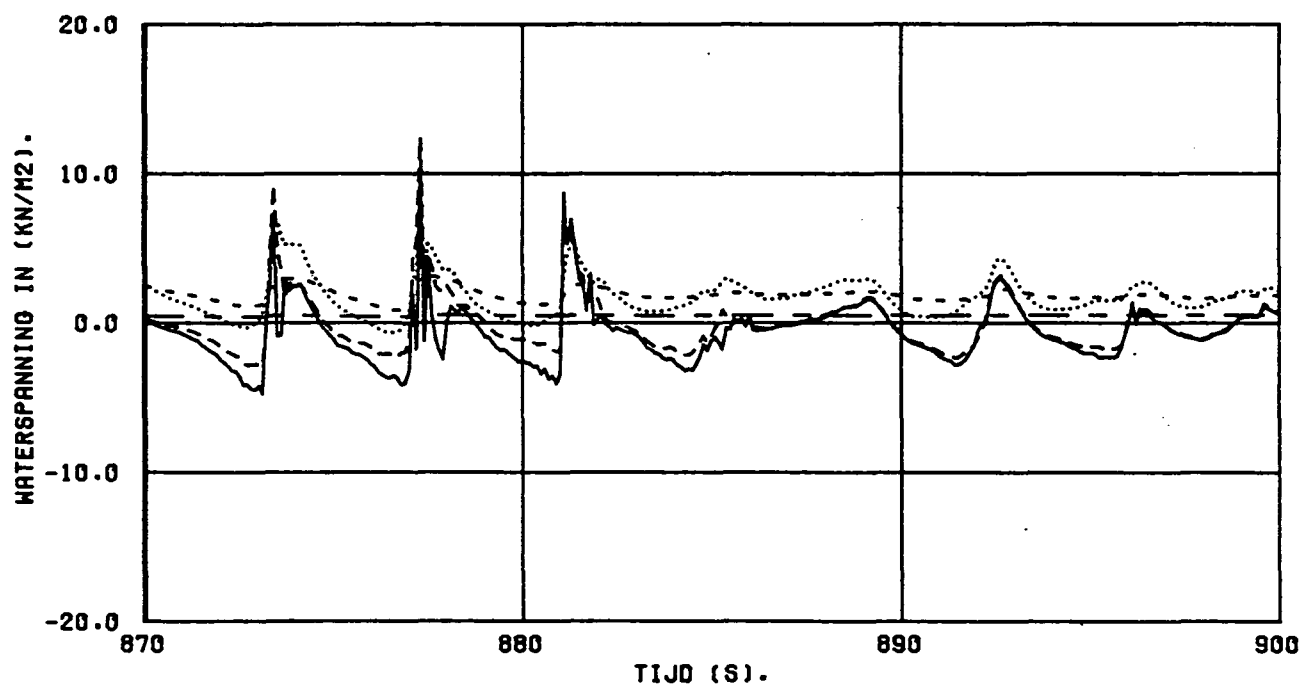
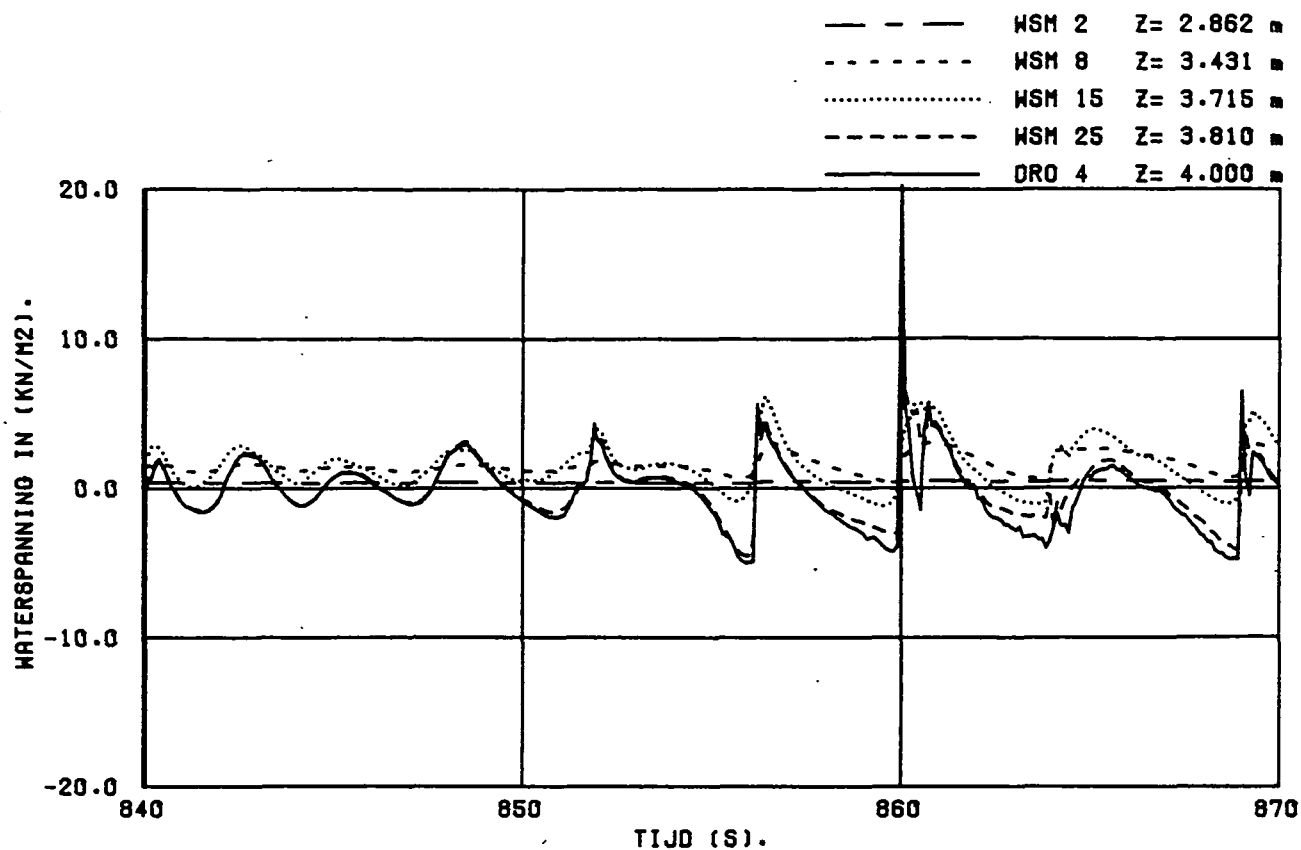
DGB10

H_{sl} = 1.14 m T_p = 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 73



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.000 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGB10

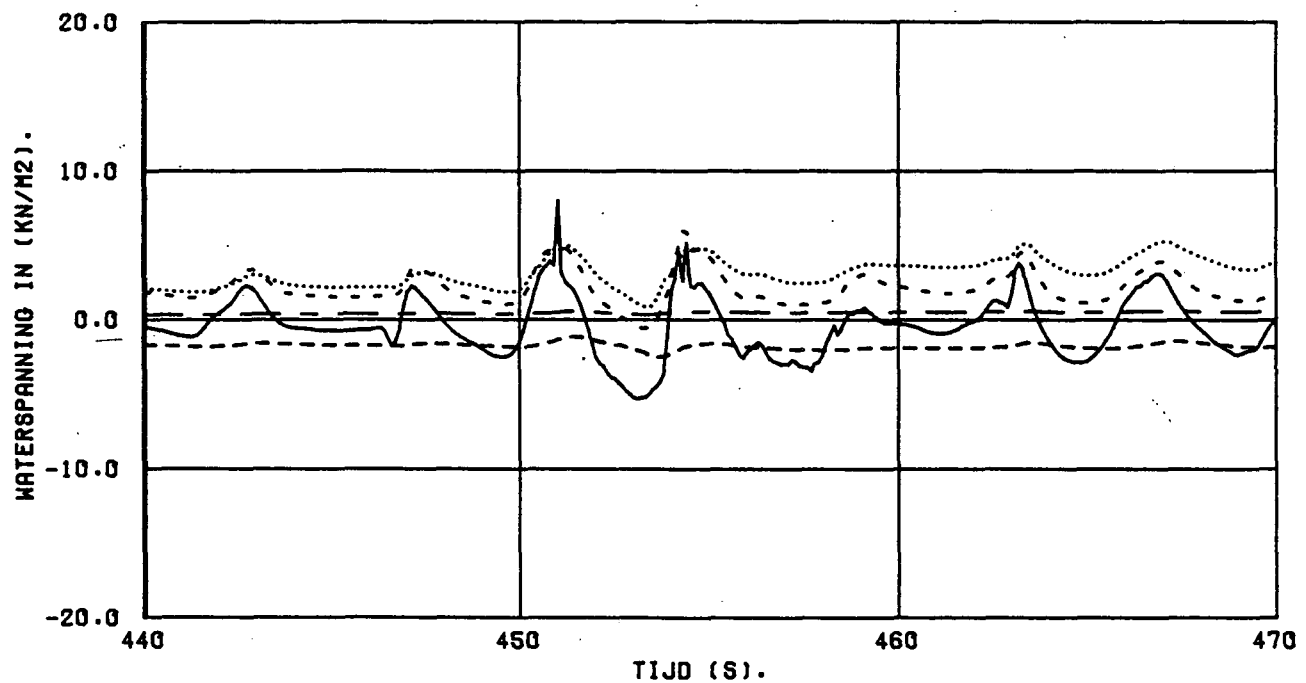
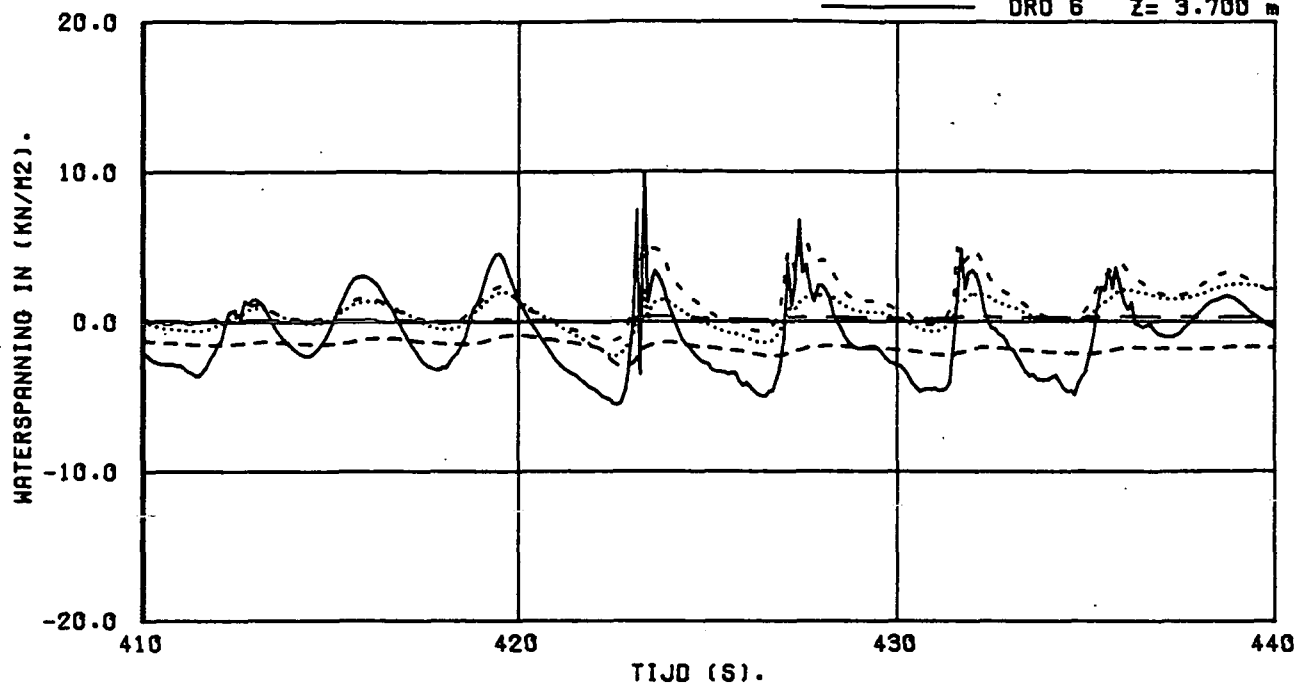
H_{sl} = 1.14 m T_p = 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 74

---	WSM 3	Z= 2.562 m
- - -	WSM 9	Z= 3.131 m
.....	WSM 16	Z= 3.415 m
- - -	WSM 26	Z= 3.510 m
---	DRO 6	Z= 3.700 m



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.700 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

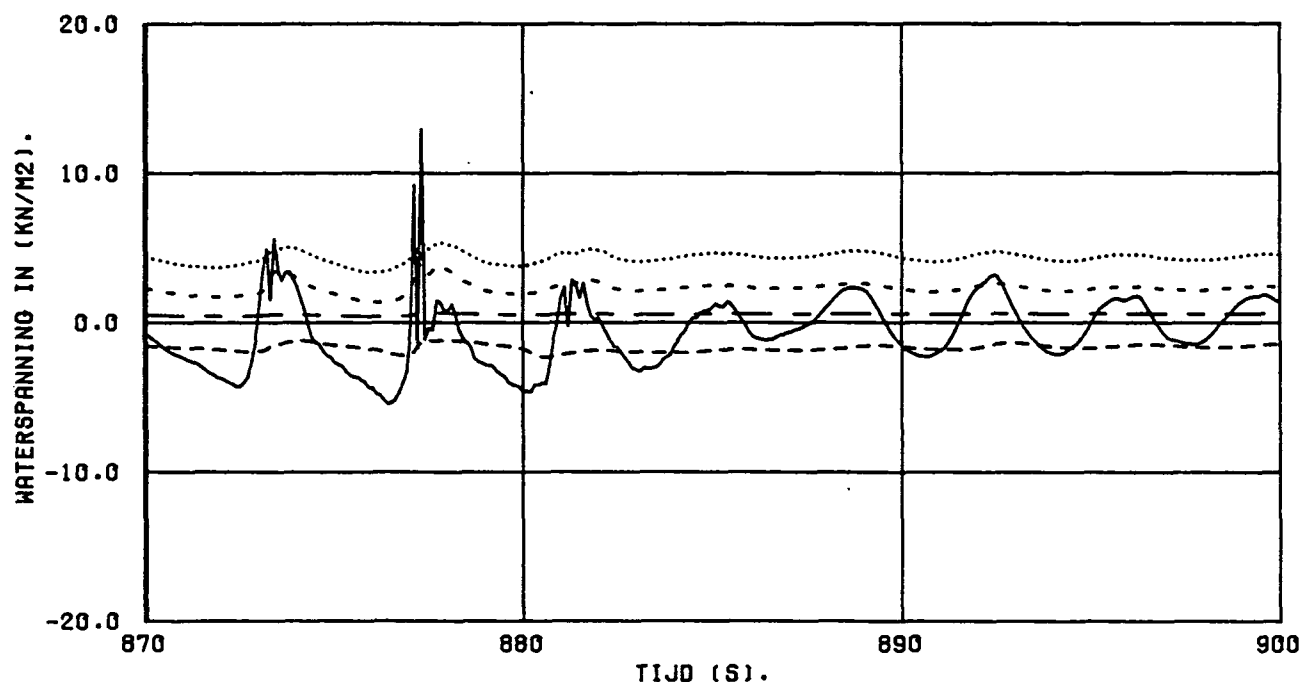
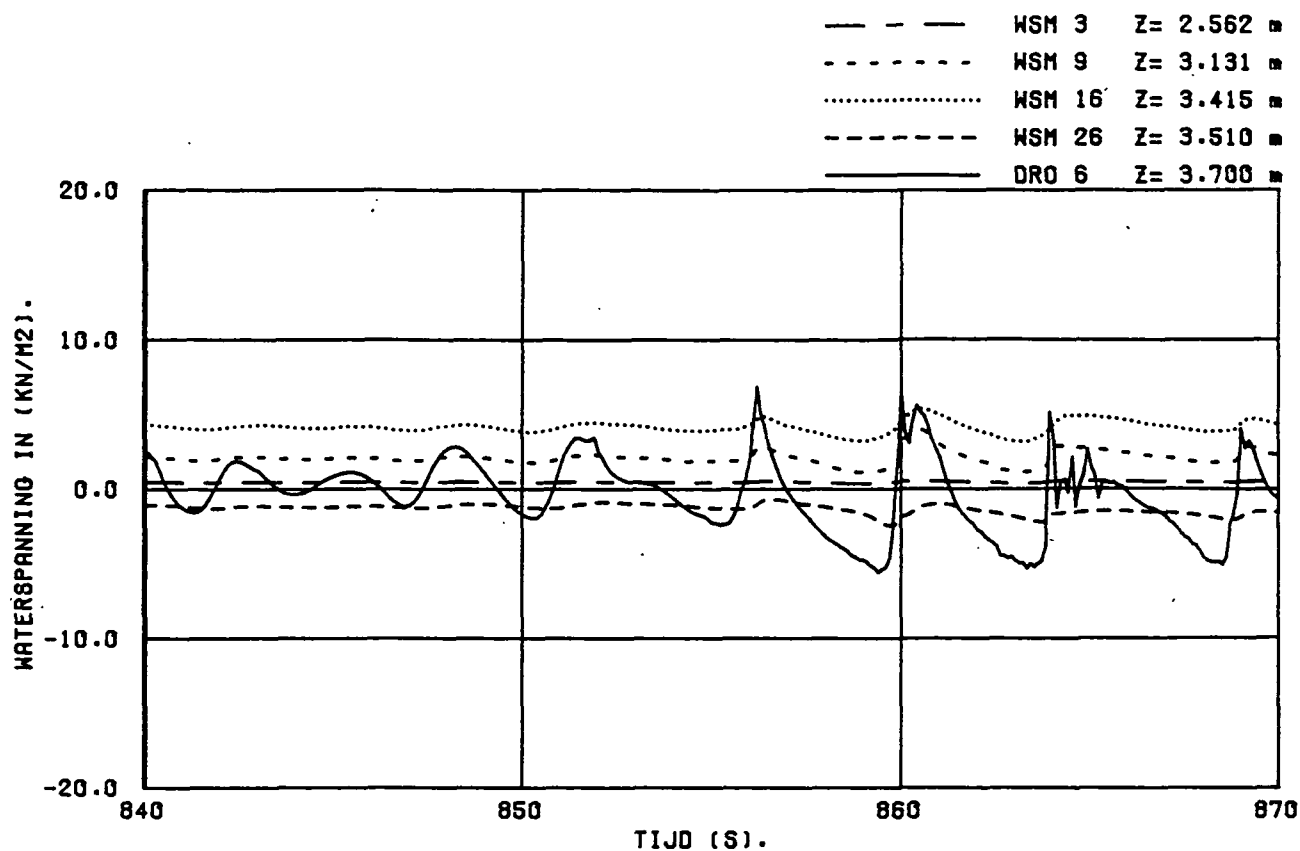
DGB10

H_{sl}= 1.14 m T_p= 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG.75



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.700 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGB10

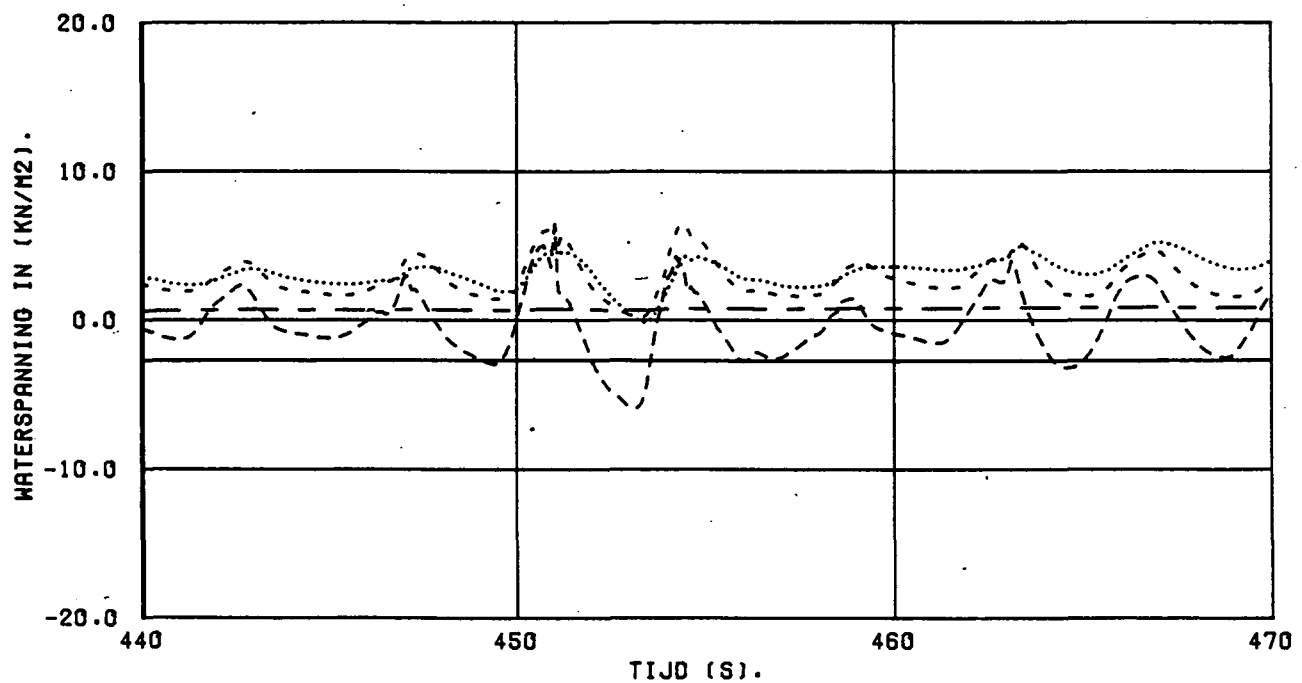
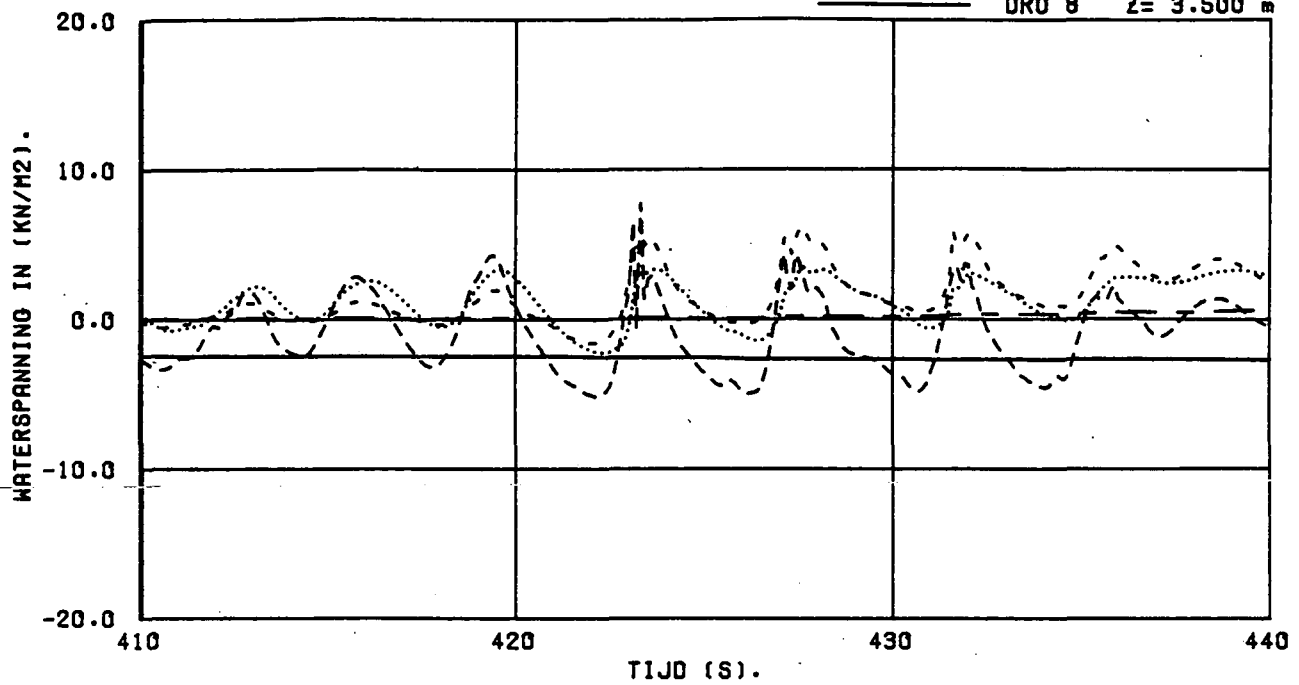
H₉₁ = 1.14 m T_p = 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG.76

— — —	WSM 4	Z= 2.362 m
- - - - -	WSM 10	Z= 2.931 m
.....	WSM 17	Z= 3.215 m
- - - - -	WSM 27	Z= 3.310 m
—————	DRO 8	Z= 3.500 m



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.500 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

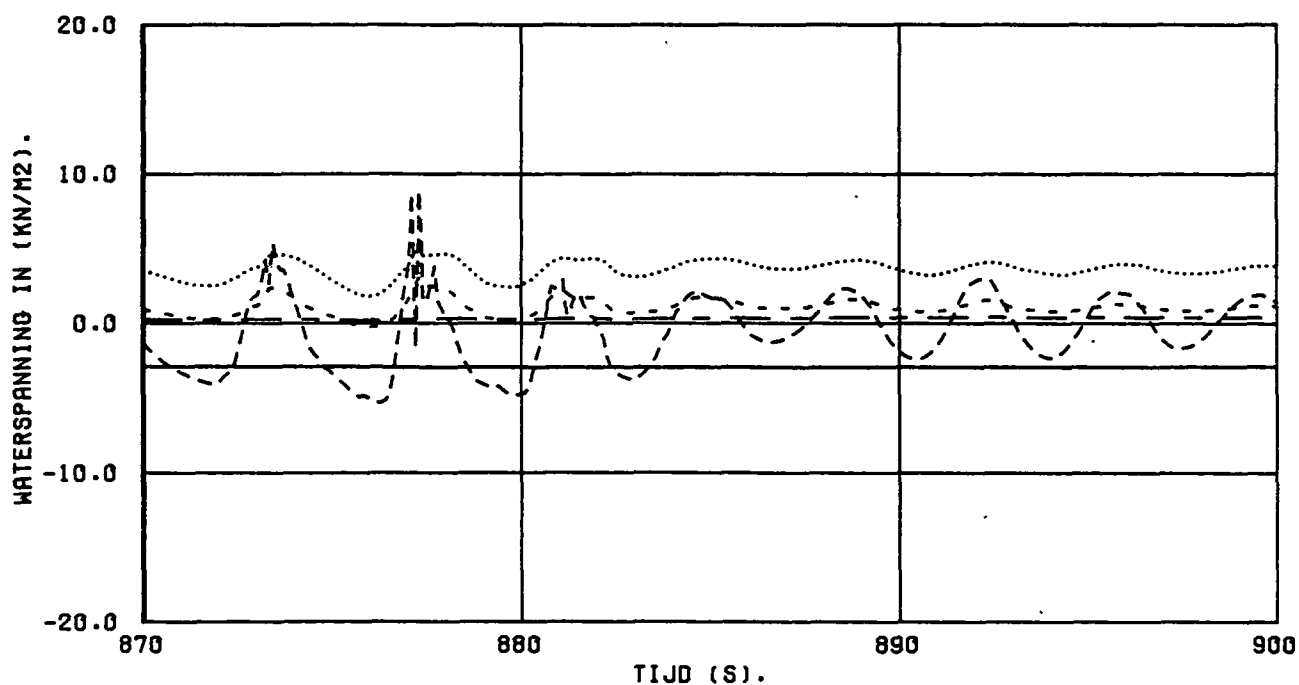
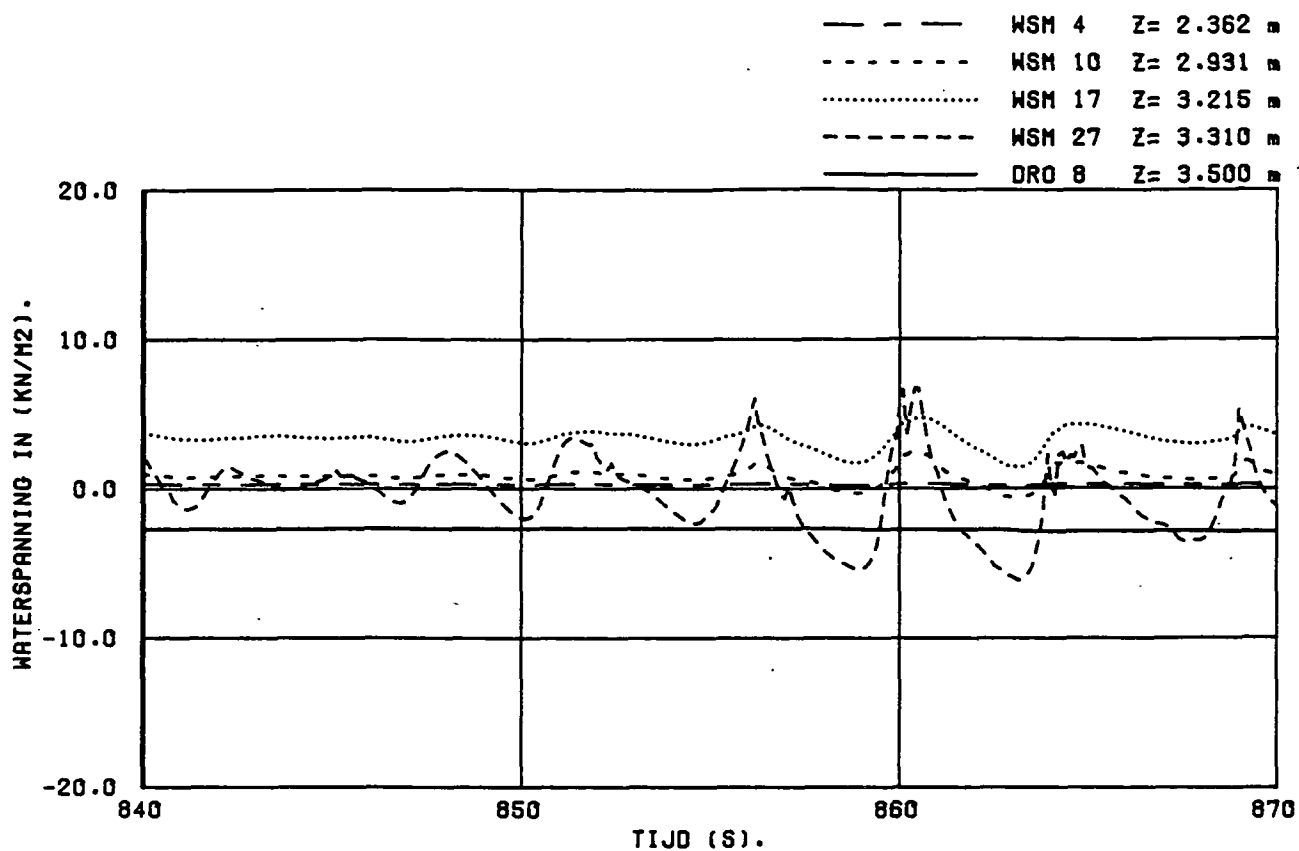
DGB10

H_{sl}= 1.14 m T_p= 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 77



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.500 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

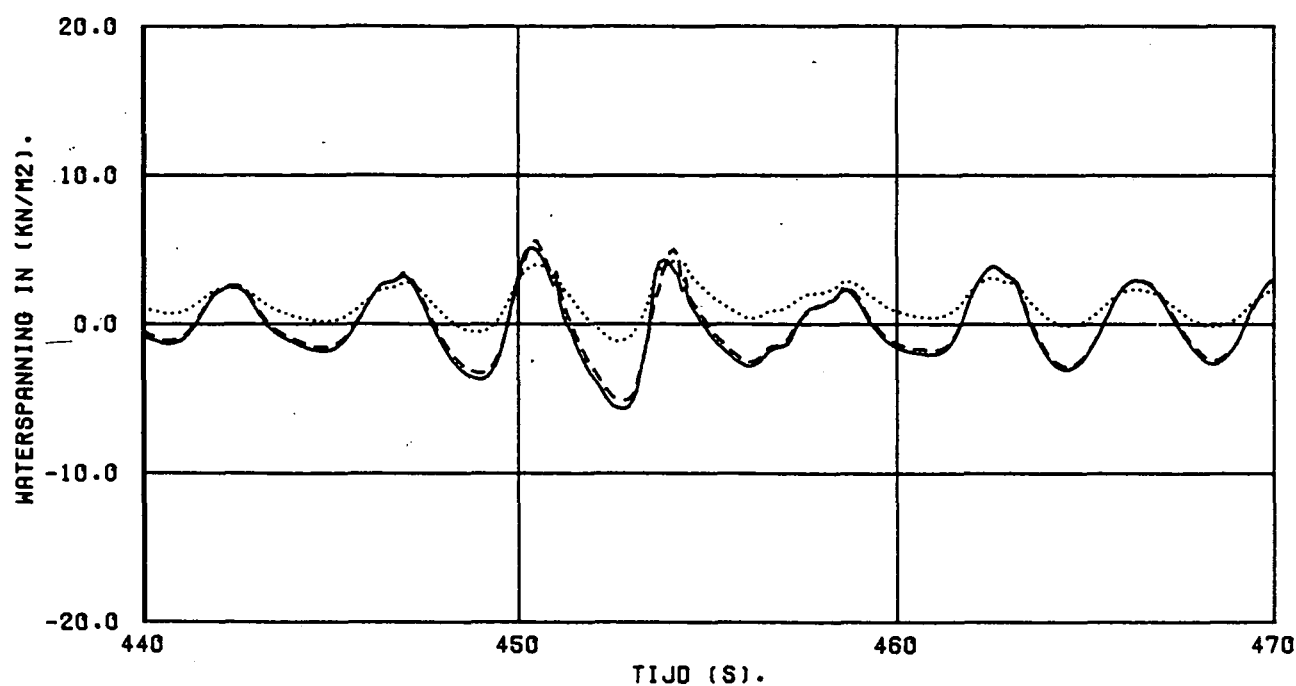
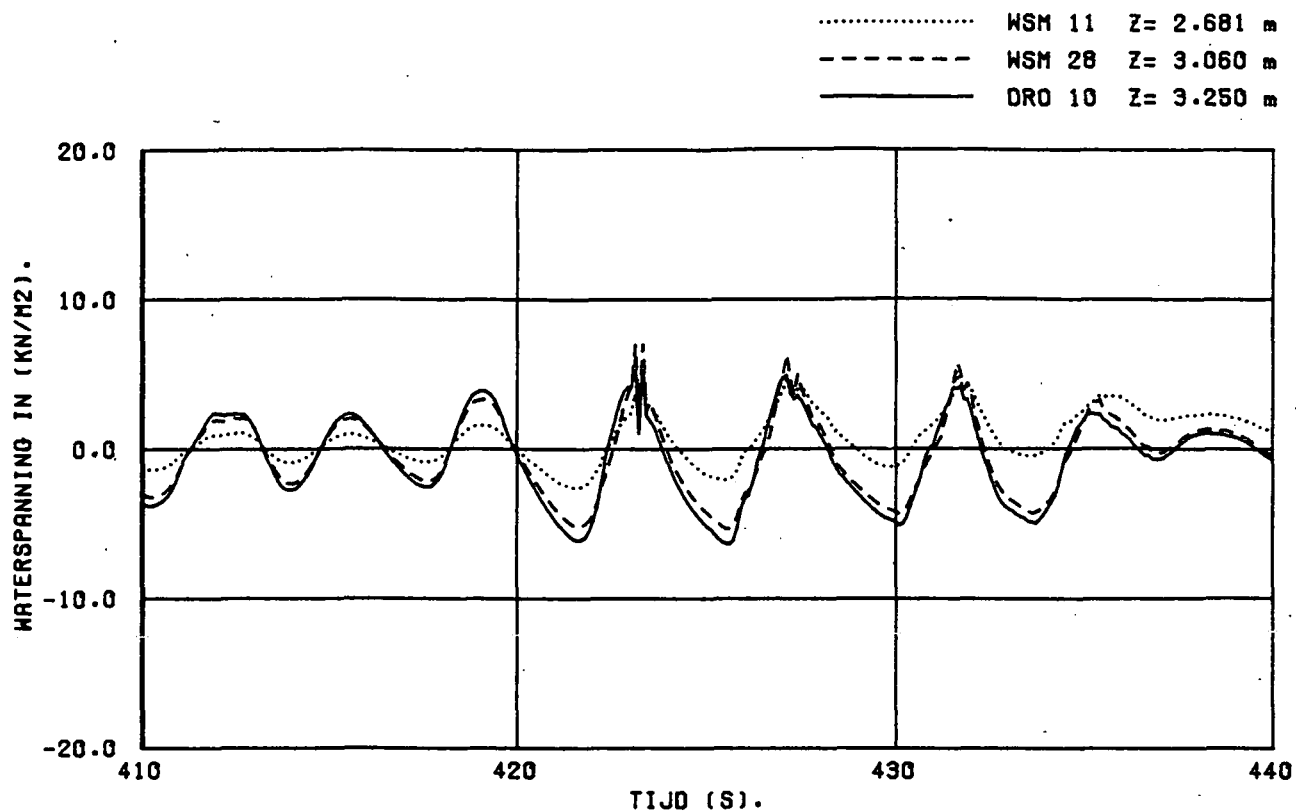
DGB10

H_{sl} = 1.14 m T_p = 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 78



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.250 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
 WATERSpanNING IN HET ZAND.

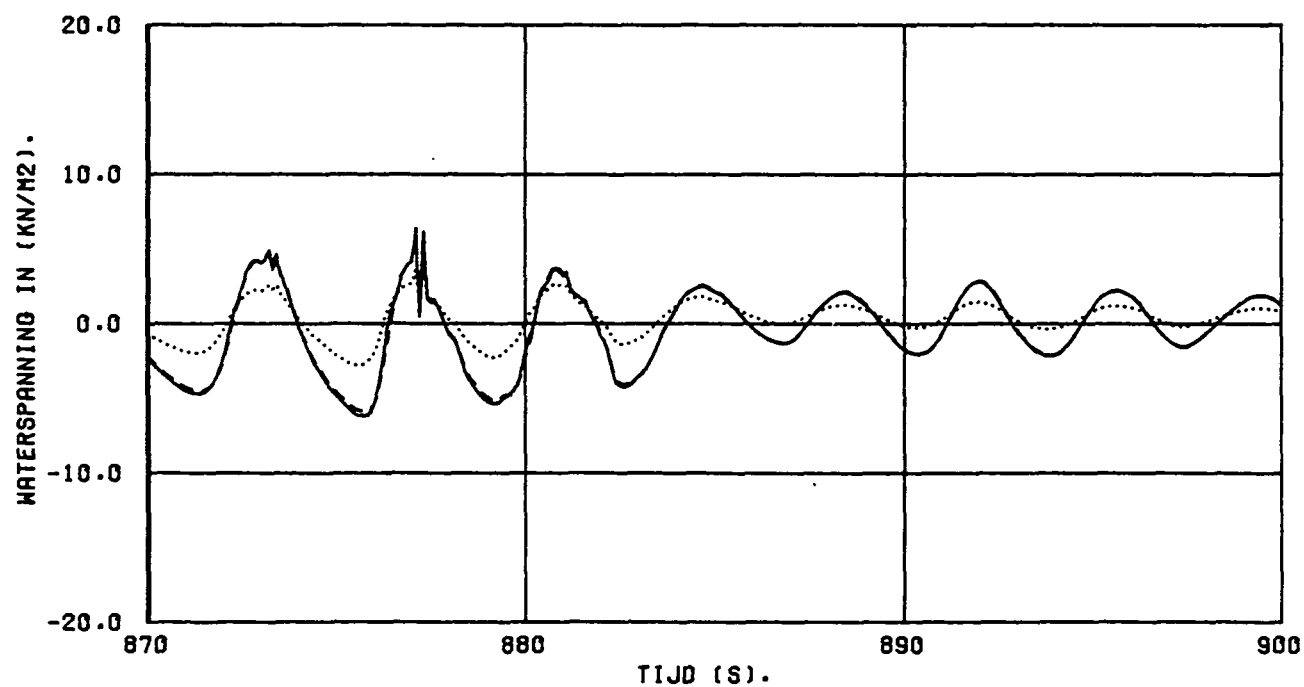
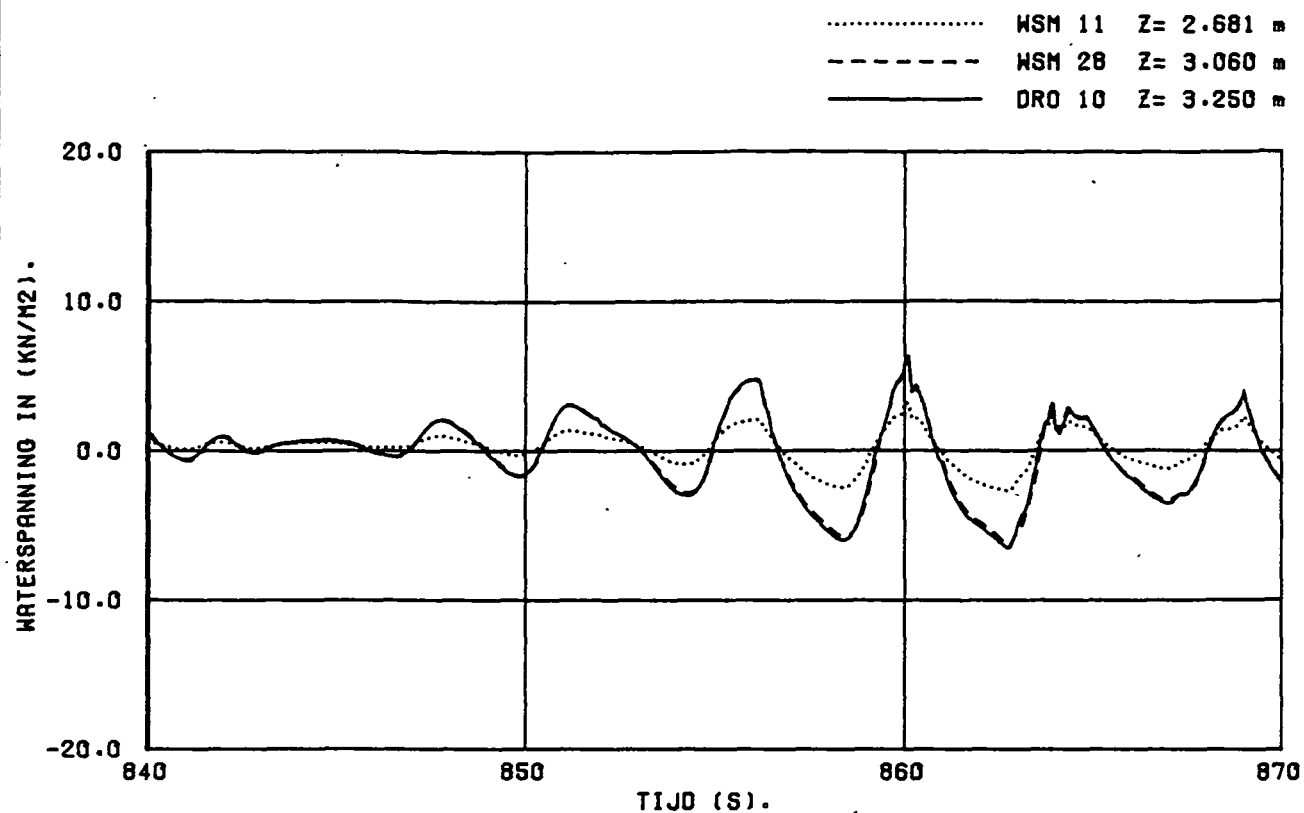
DGB10

H_si = 1.14 m T_p = 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 79



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.250 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
 WATERSpanning IN HET ZAND.

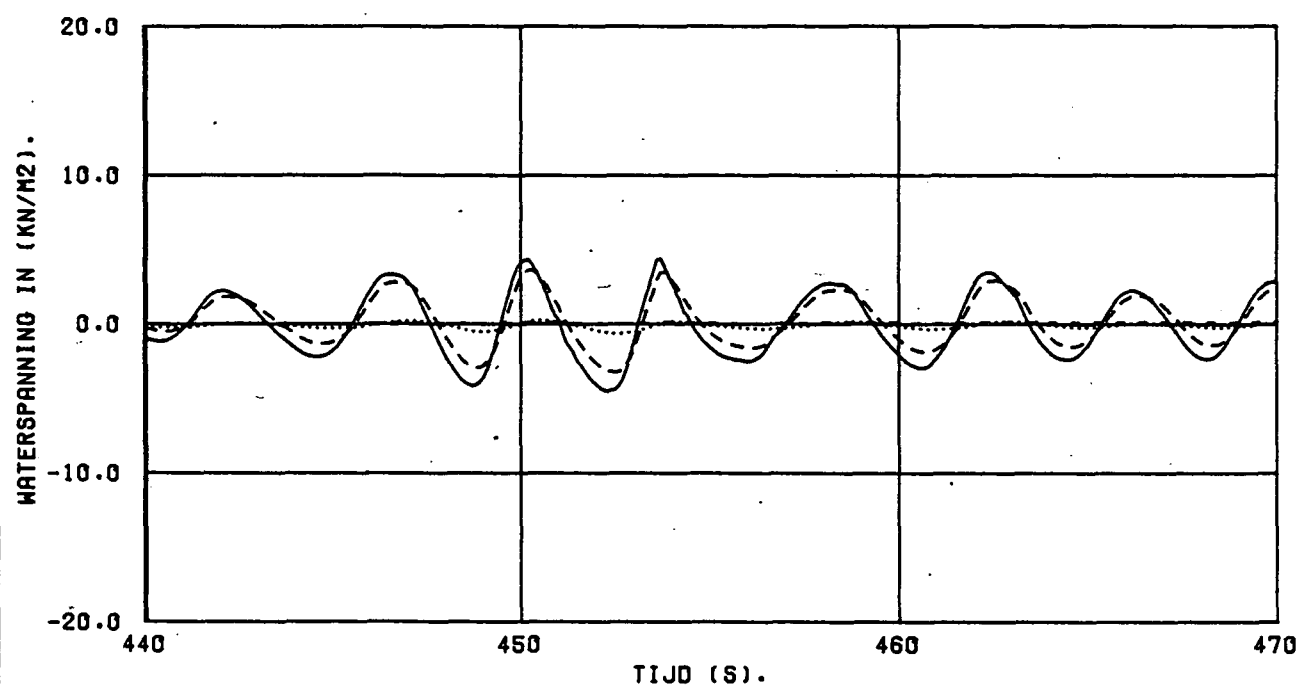
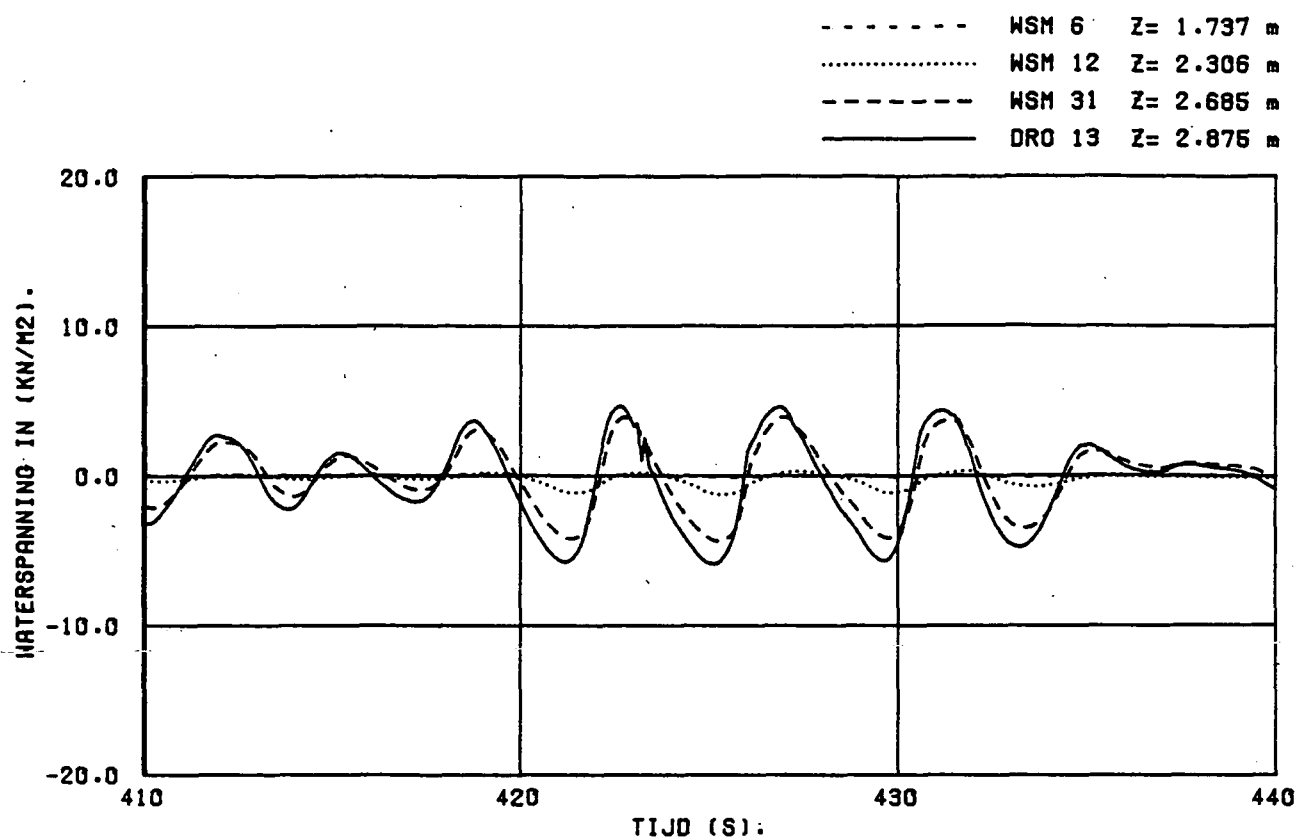
DGB10

H_{sl}= 1.14 m T_p= 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 80



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 2.875 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

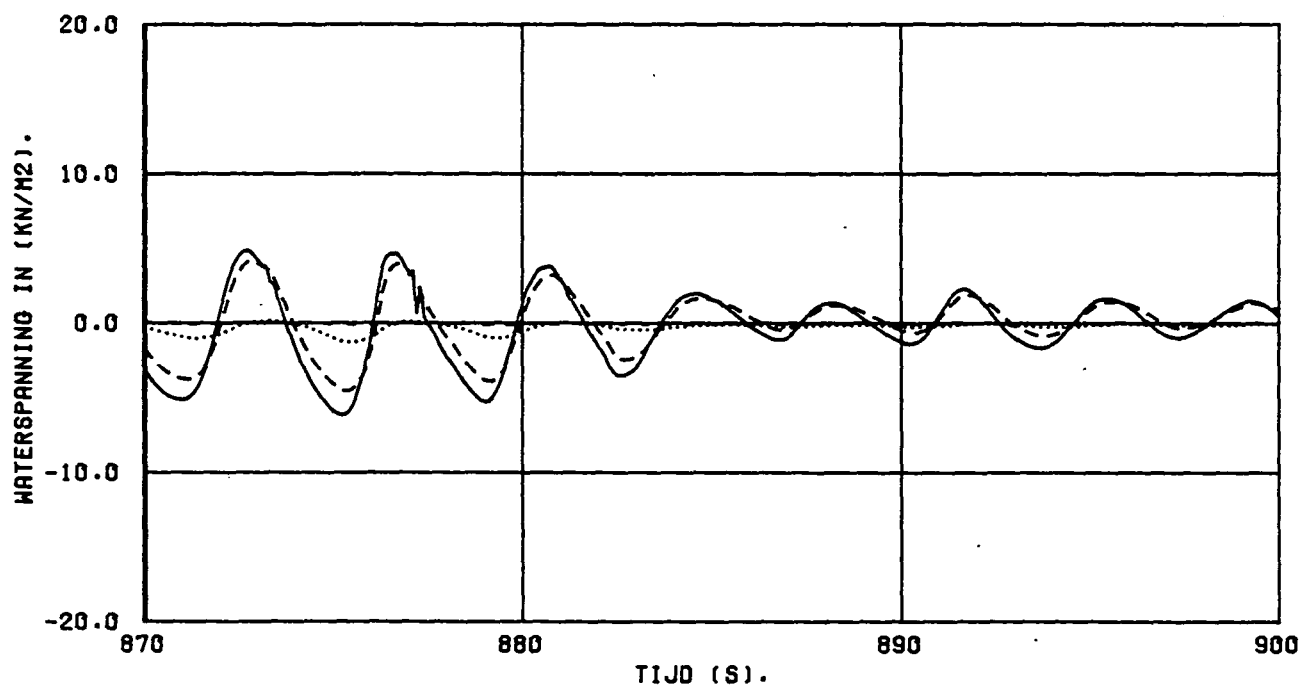
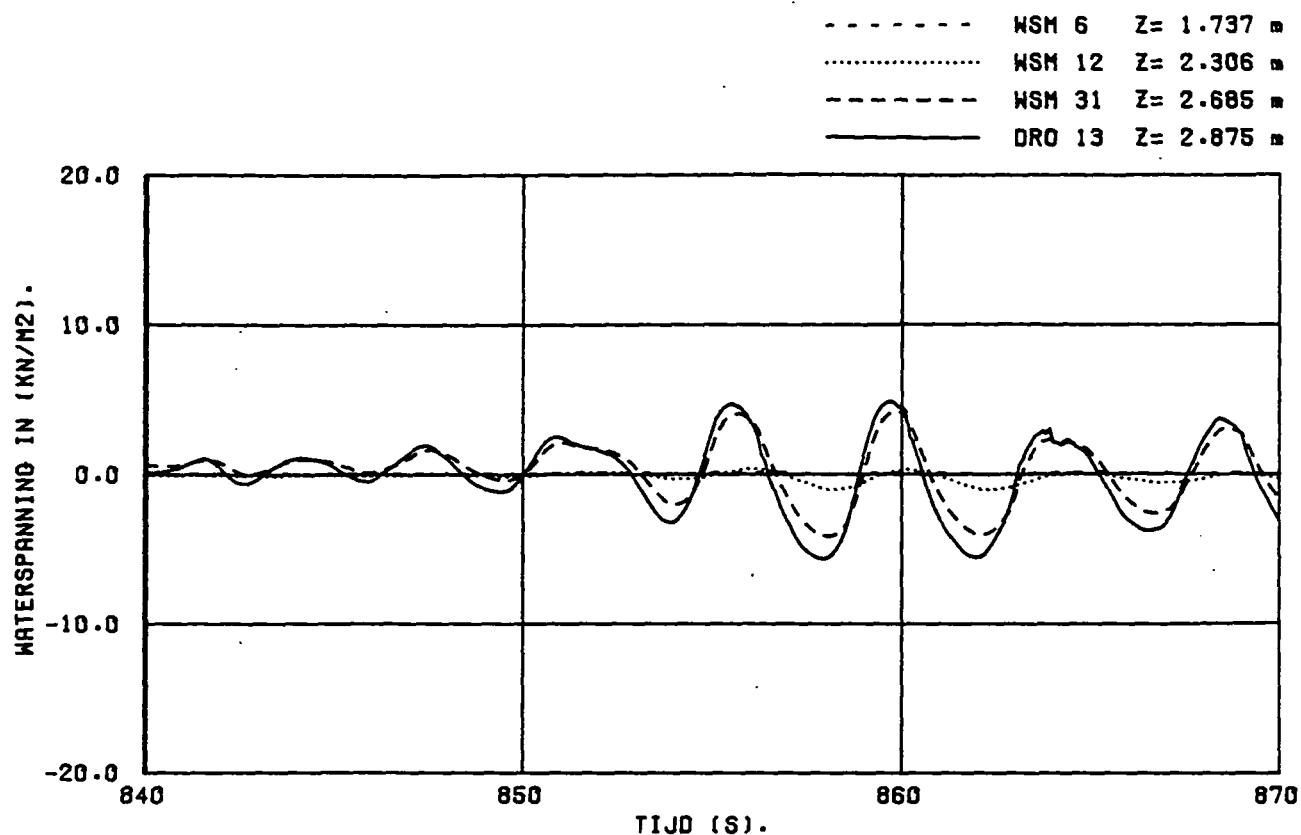
DGB10

H_{sl}= 1.14 m T_p= 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 81



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 2.875 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

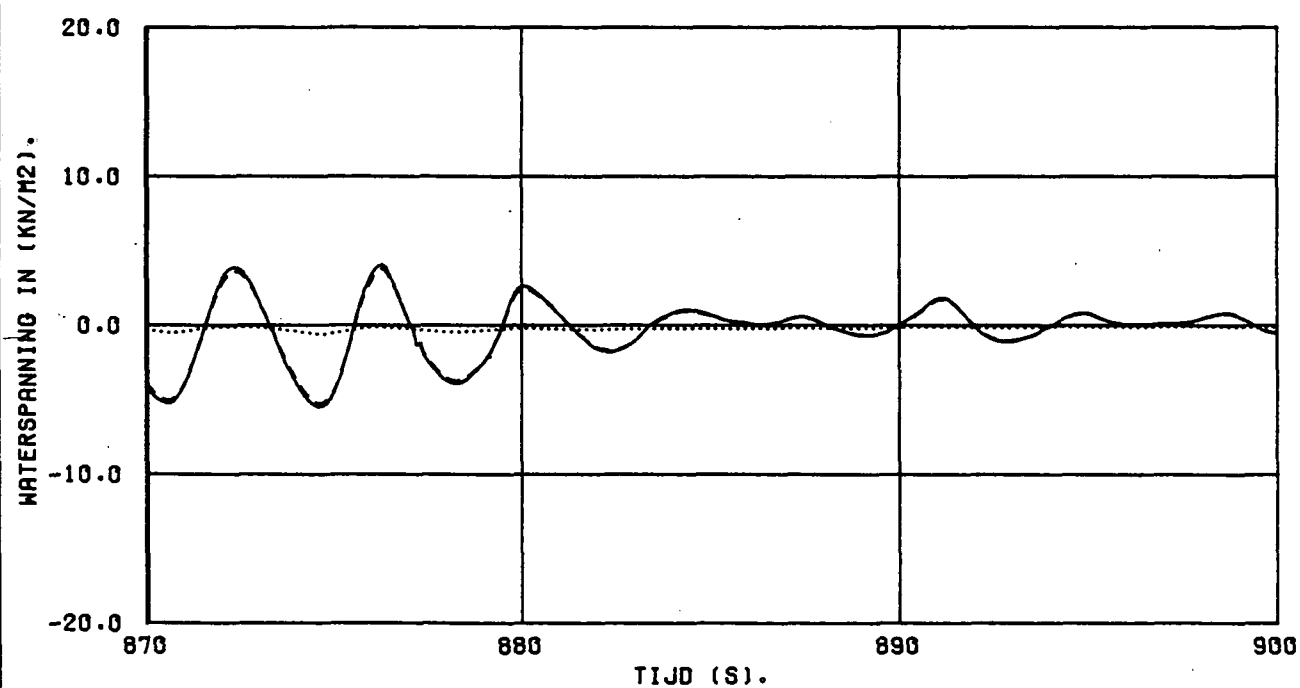
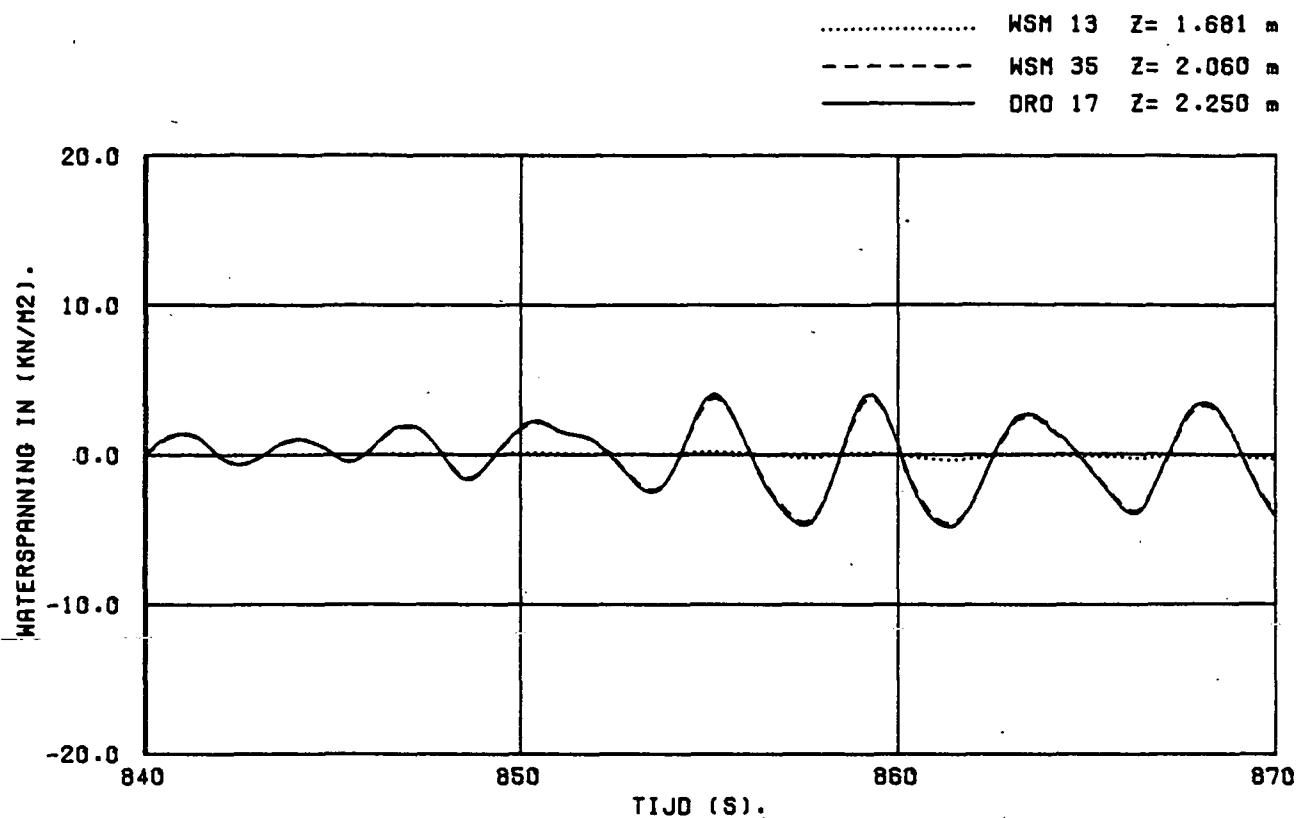
DGB10

H_{sl}= 1.14 m T_p= 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 82



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 2.250 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
 WATERSPANNING IN HET ZAND.

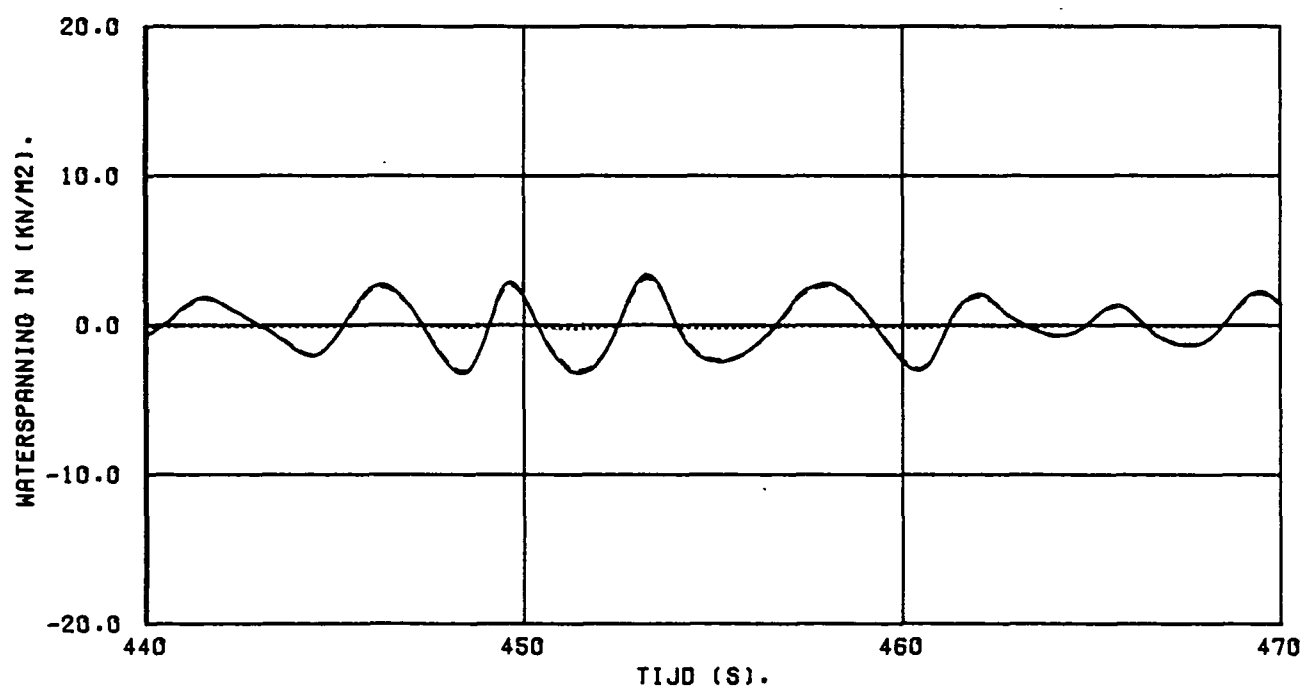
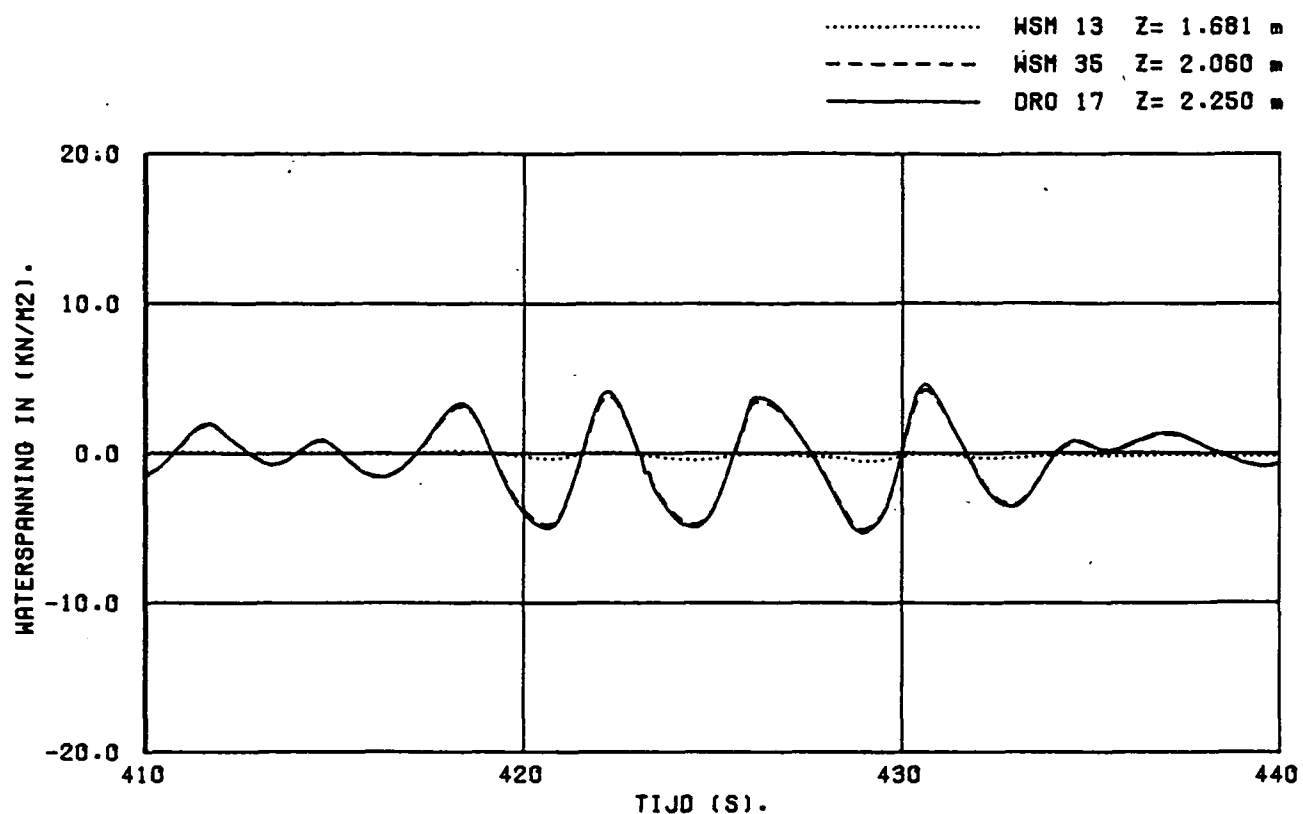
DGB10

H_{sl} = 1.14 m T_p = 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG.83



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 2.250 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
 WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGB10

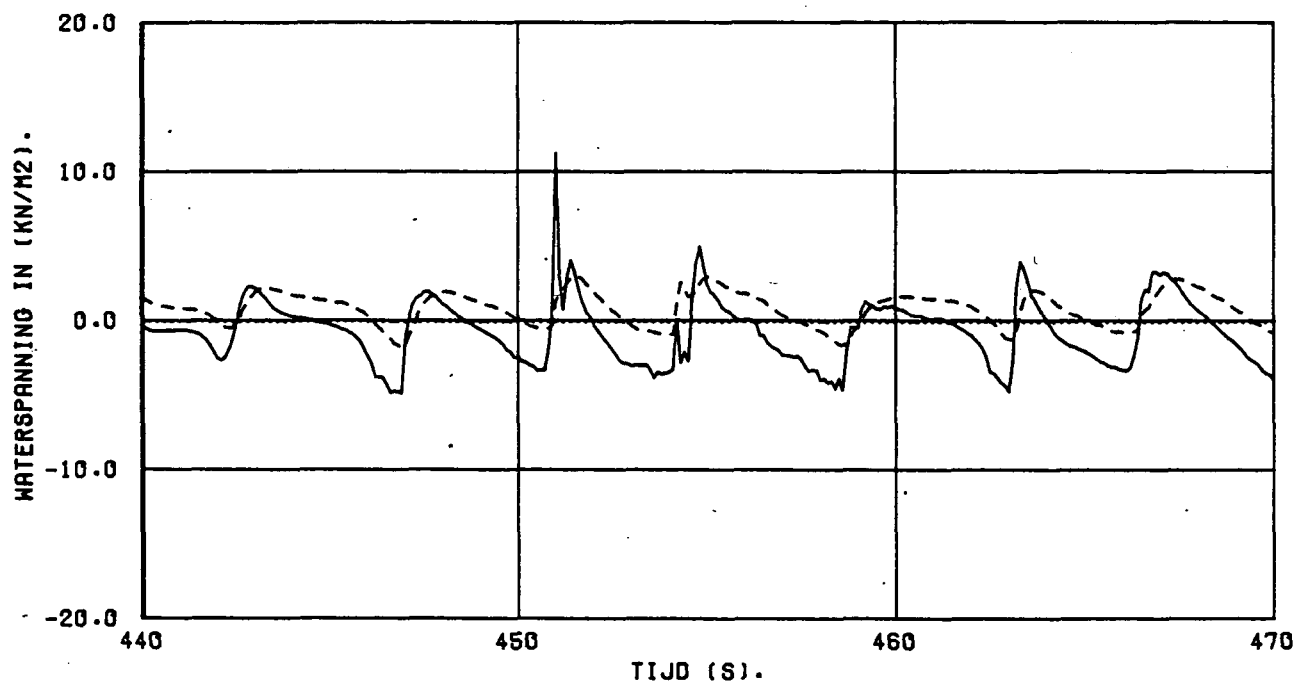
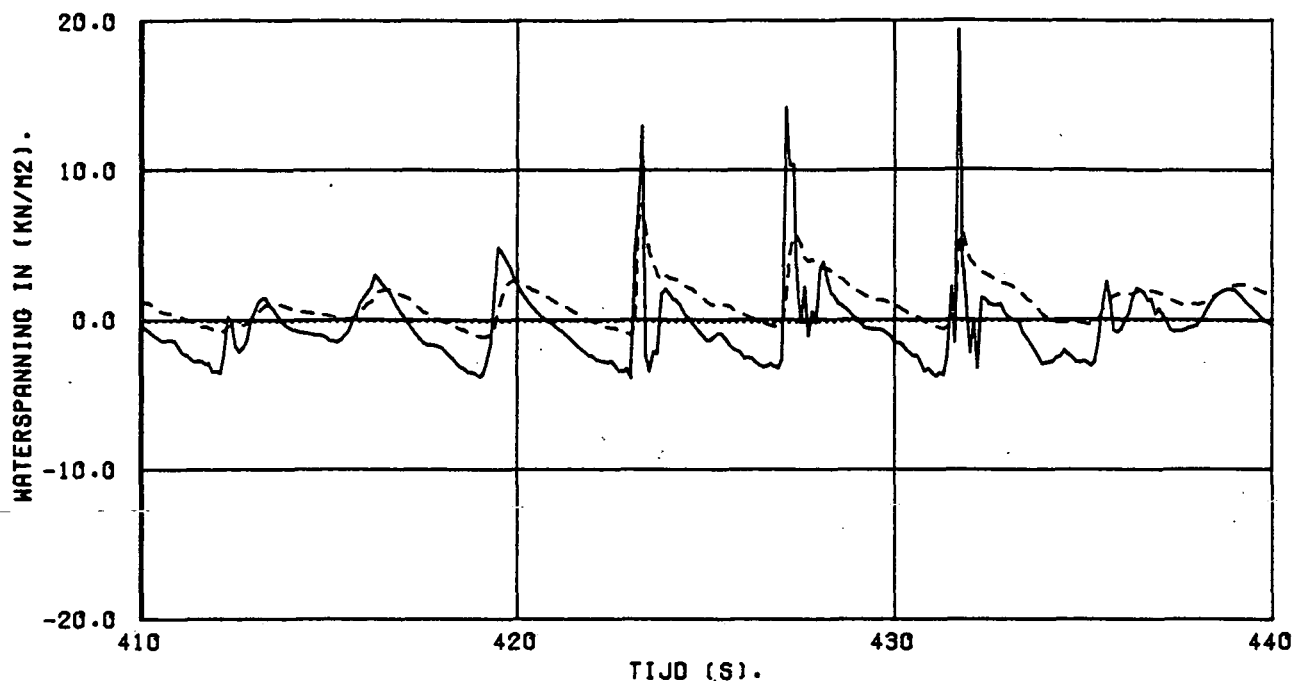
H_{sl} = 1.14 m T_p = 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG.84

- - - - - WSM 18 Z= 2.862 m
 WSM 20 Z= 3.431 m
 - - - - - WSM 22 Z= 3.810 m
 ————— DRO 21 Z= 3.990 m



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.990 m.
 WESTZIJDE.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
 WATERSpanNING IN HET ZAND.

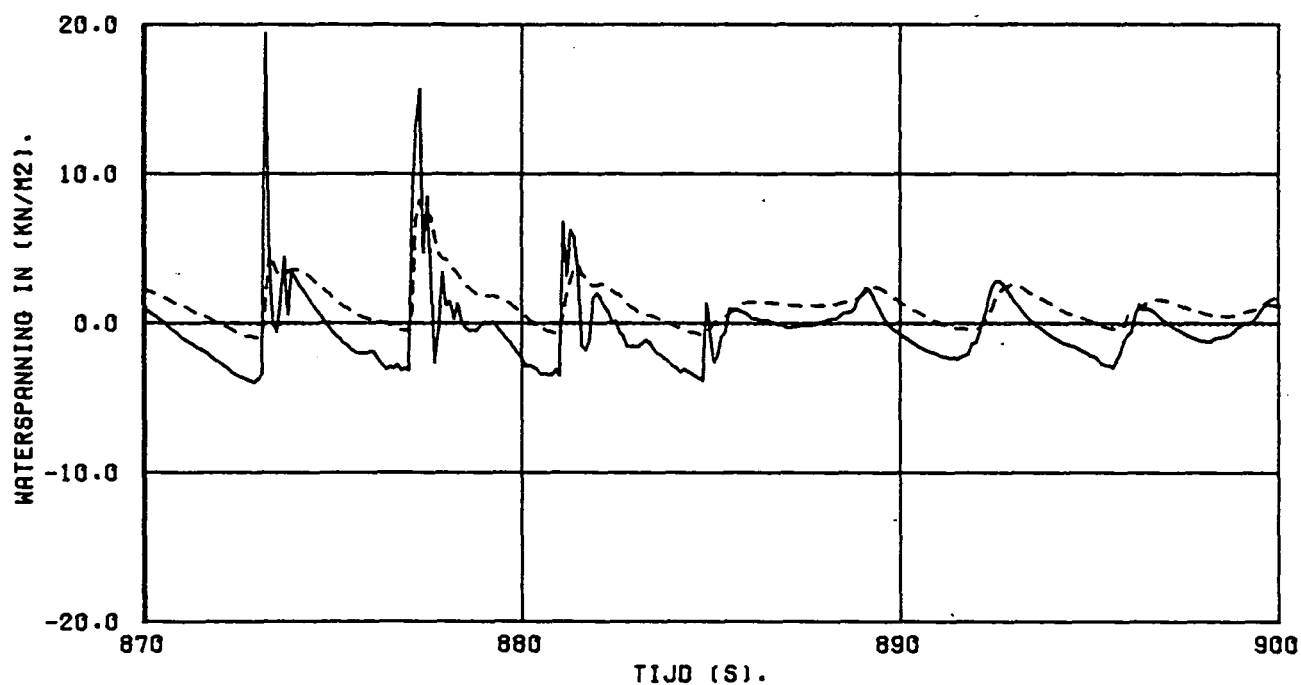
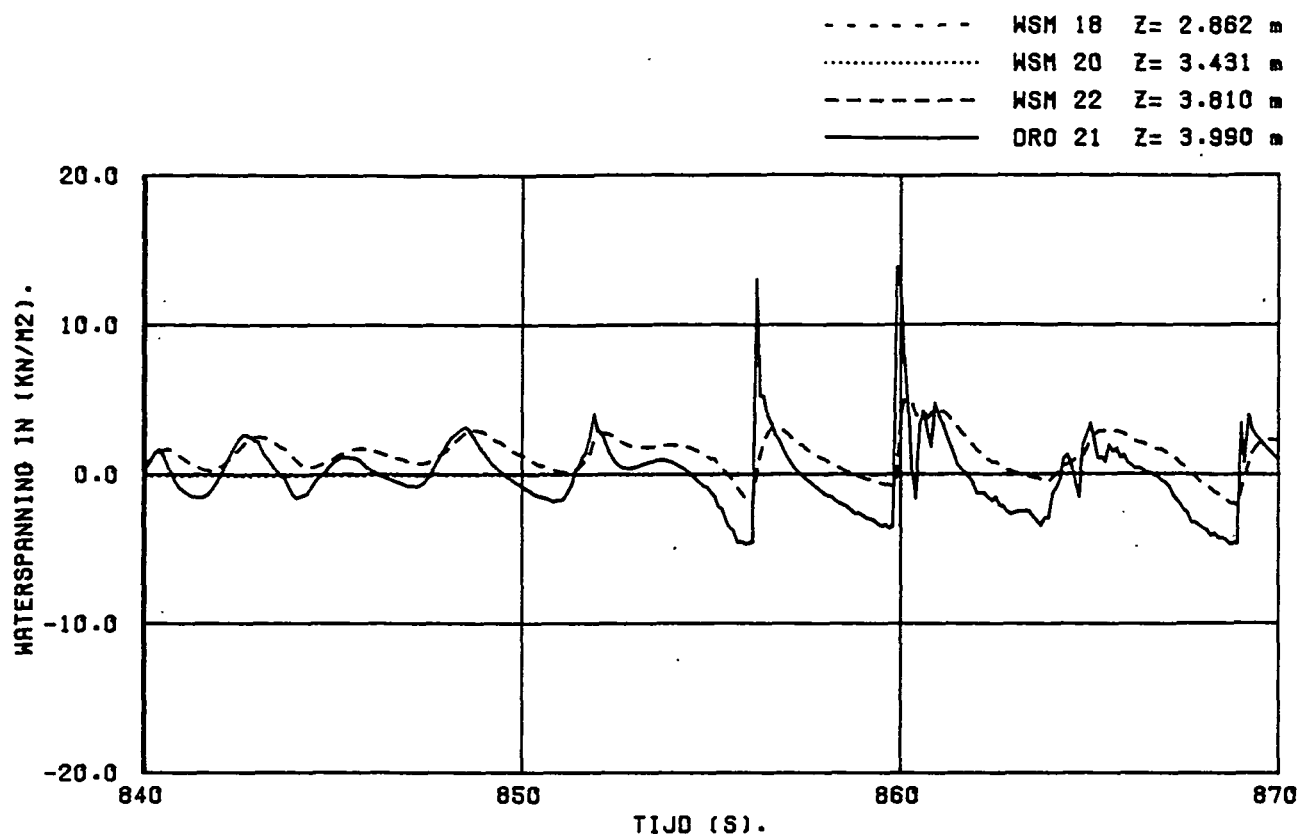
DGB10

$H_{s1} = 1.14$ m $T_p = 3.94$ s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 85



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.990 m.
WESTZIJDE.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

DGB10

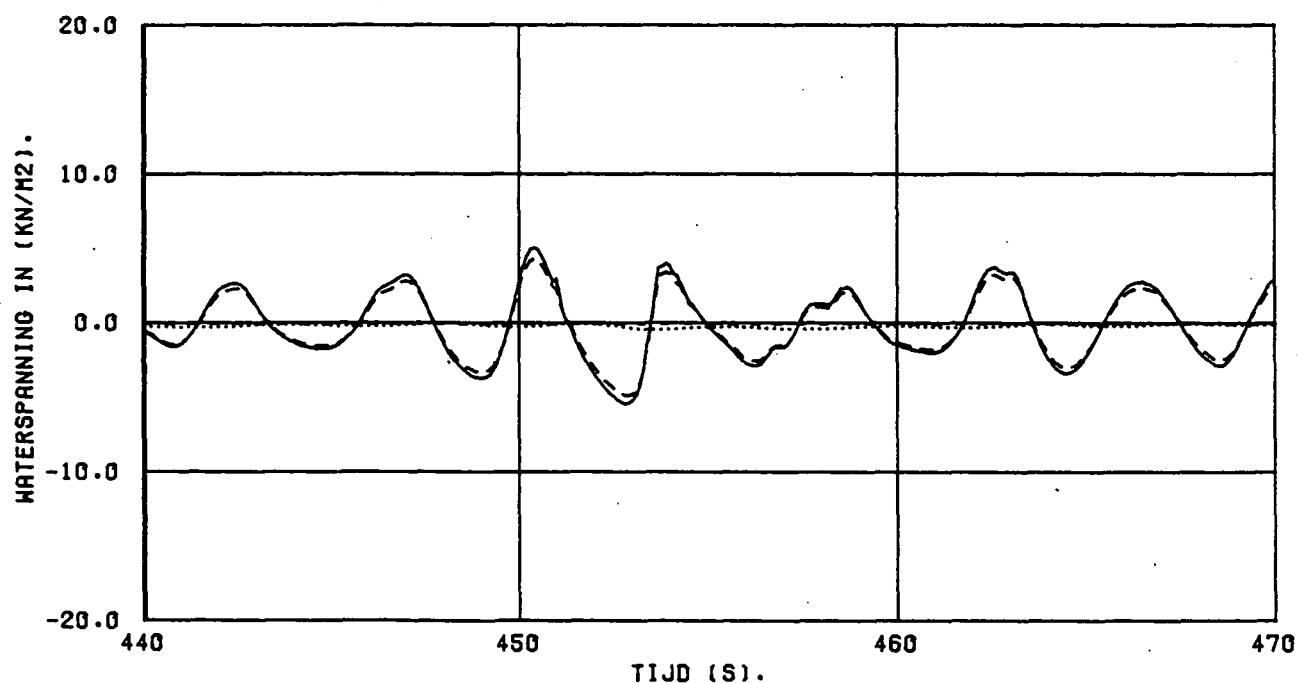
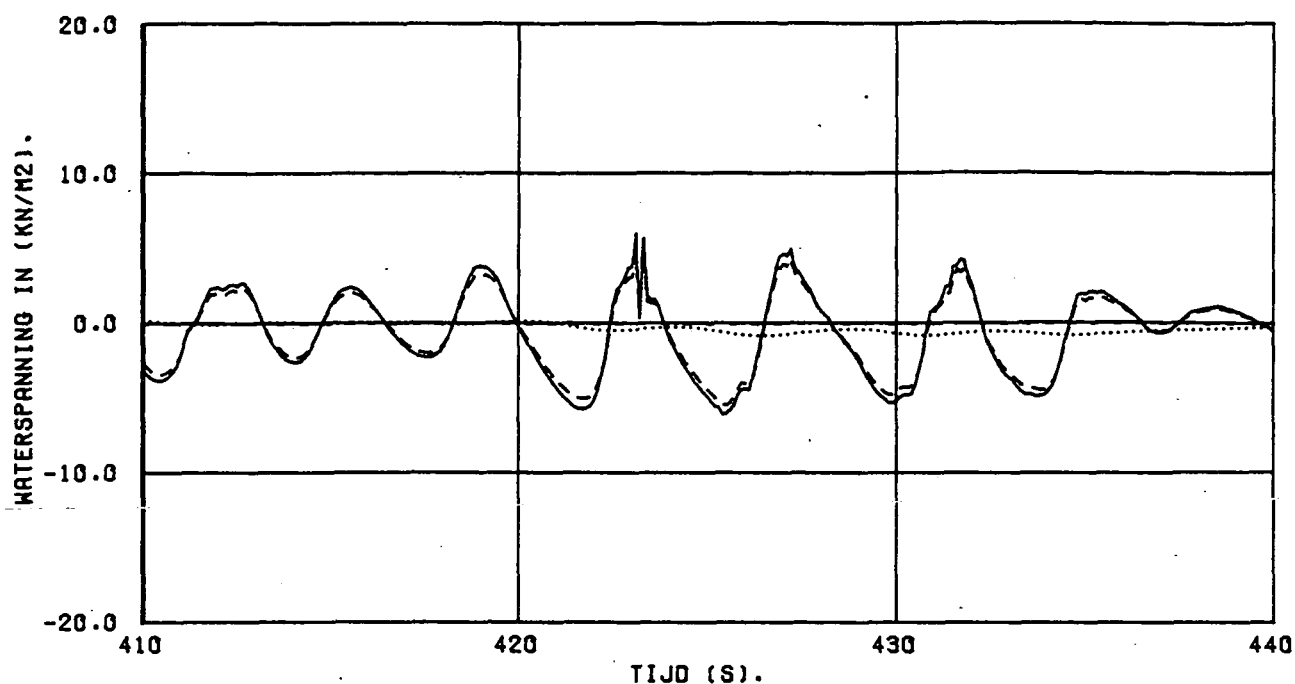
H_{gi} = 1.14 m T_p = 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 86

- - - - - WSM 19 Z= 2.112 m
 WSM 21 Z= 2.681 m
 - - - - - WSM 23 Z= 3.060 m
 _____ DRO 22 Z= 3.250 m



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.250 m.
 WESTZIJDE.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
 WATERSpanNING IN HET ZAND.

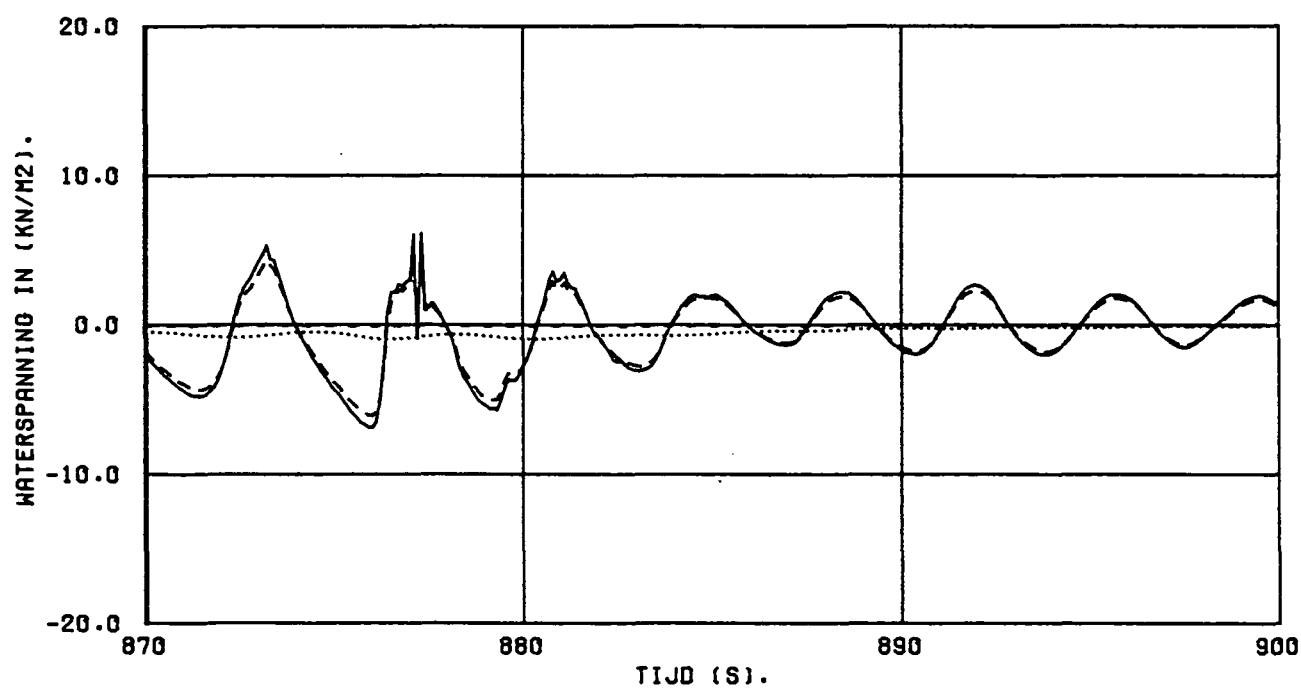
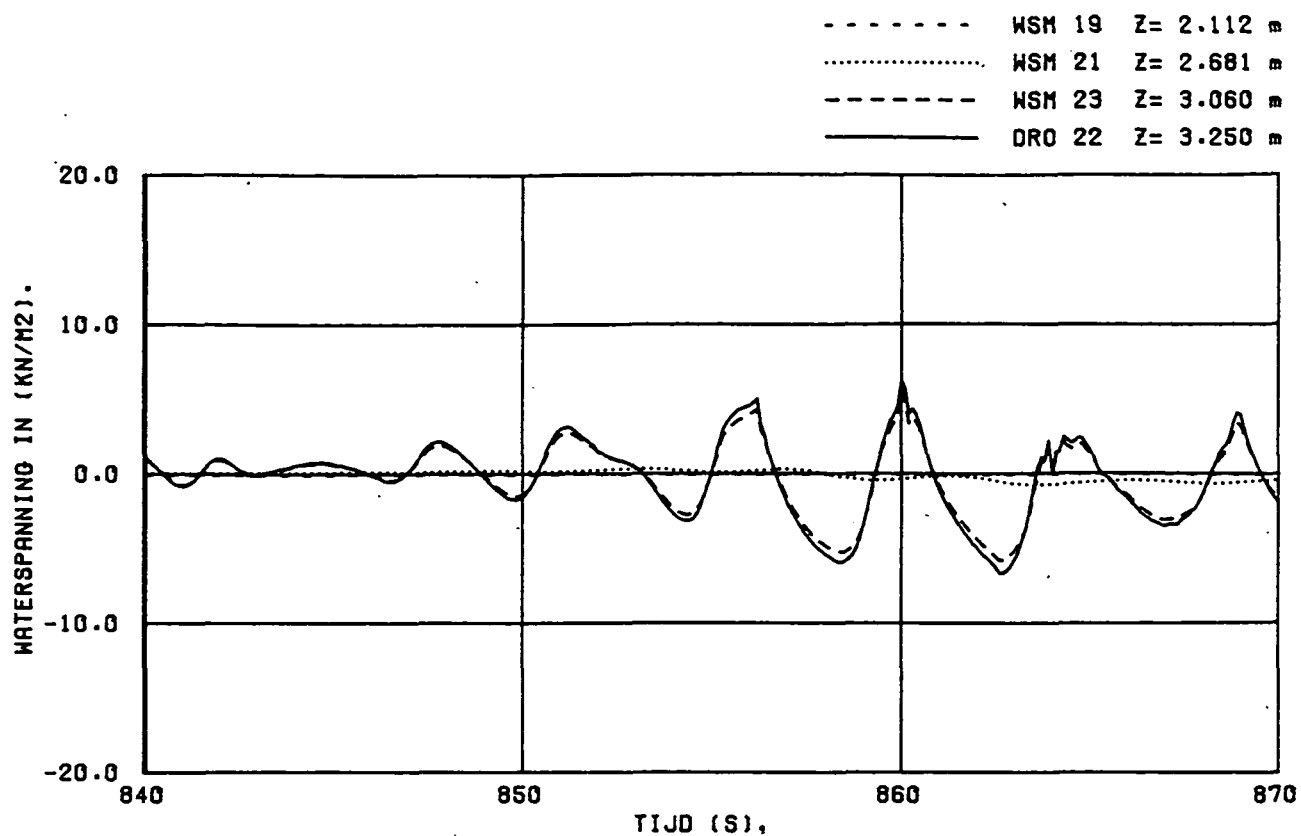
DGB10

$H_{s1} = 1.14$ m $T_p = 3.94$ s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 87



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.250 m.
WESTZIJDE.

VERWEKING_ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

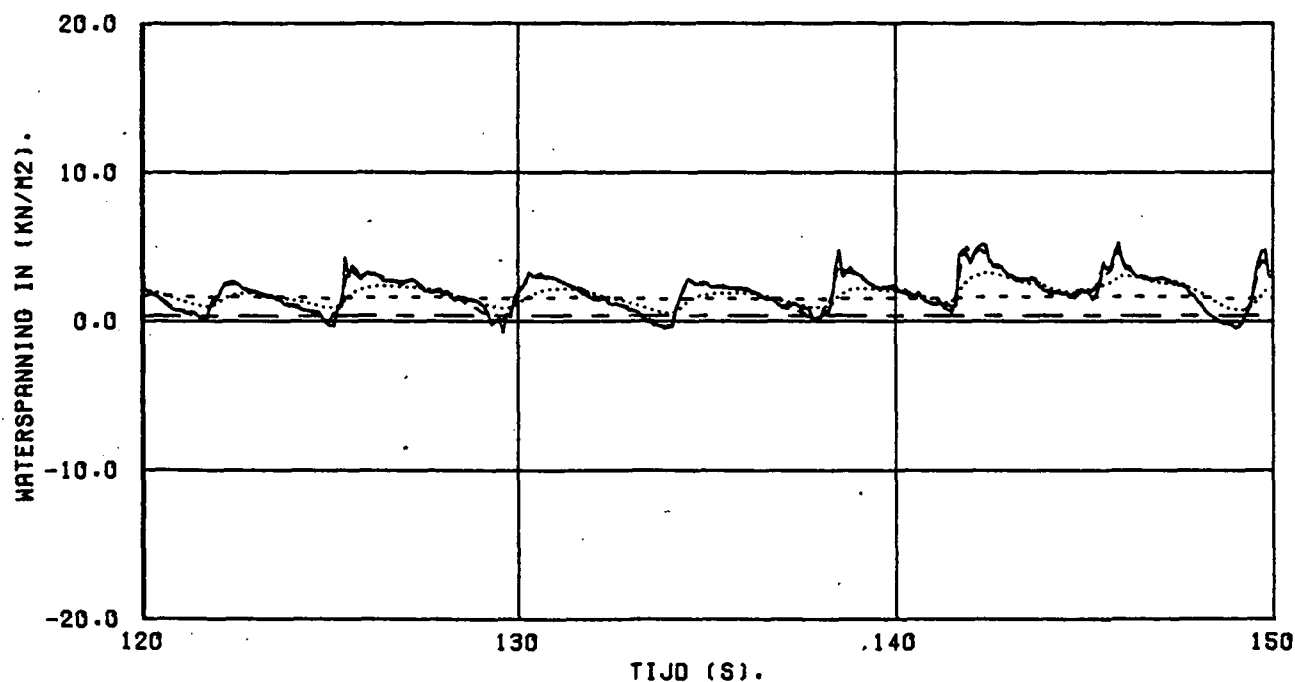
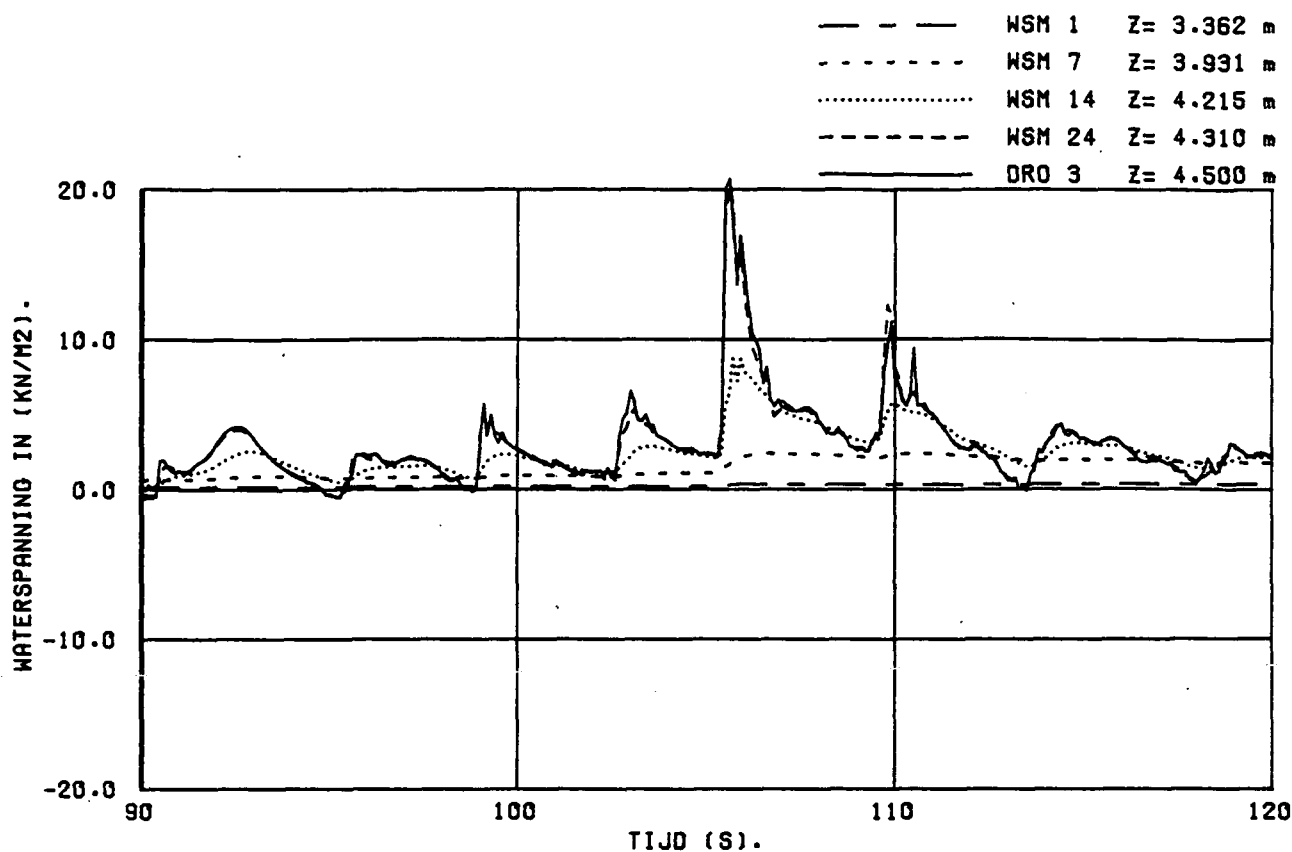
DGB10

H₉₁ = 1.14 m T_p = 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG.88



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.500 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

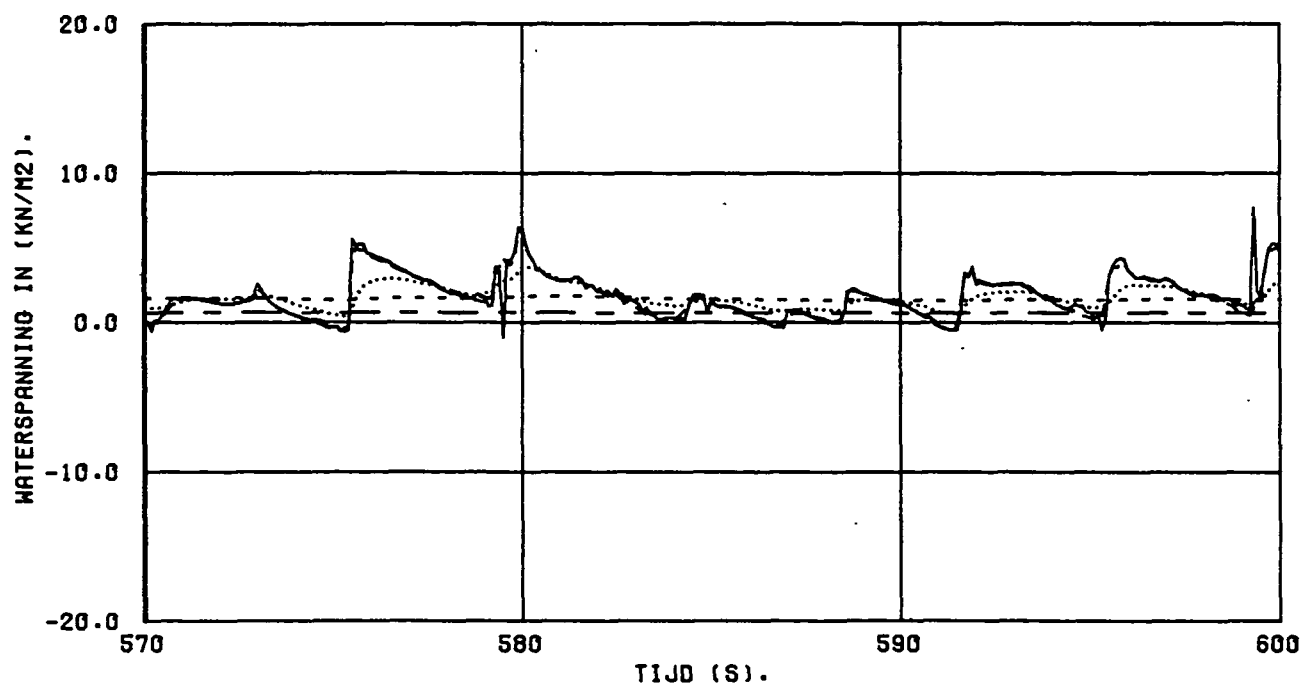
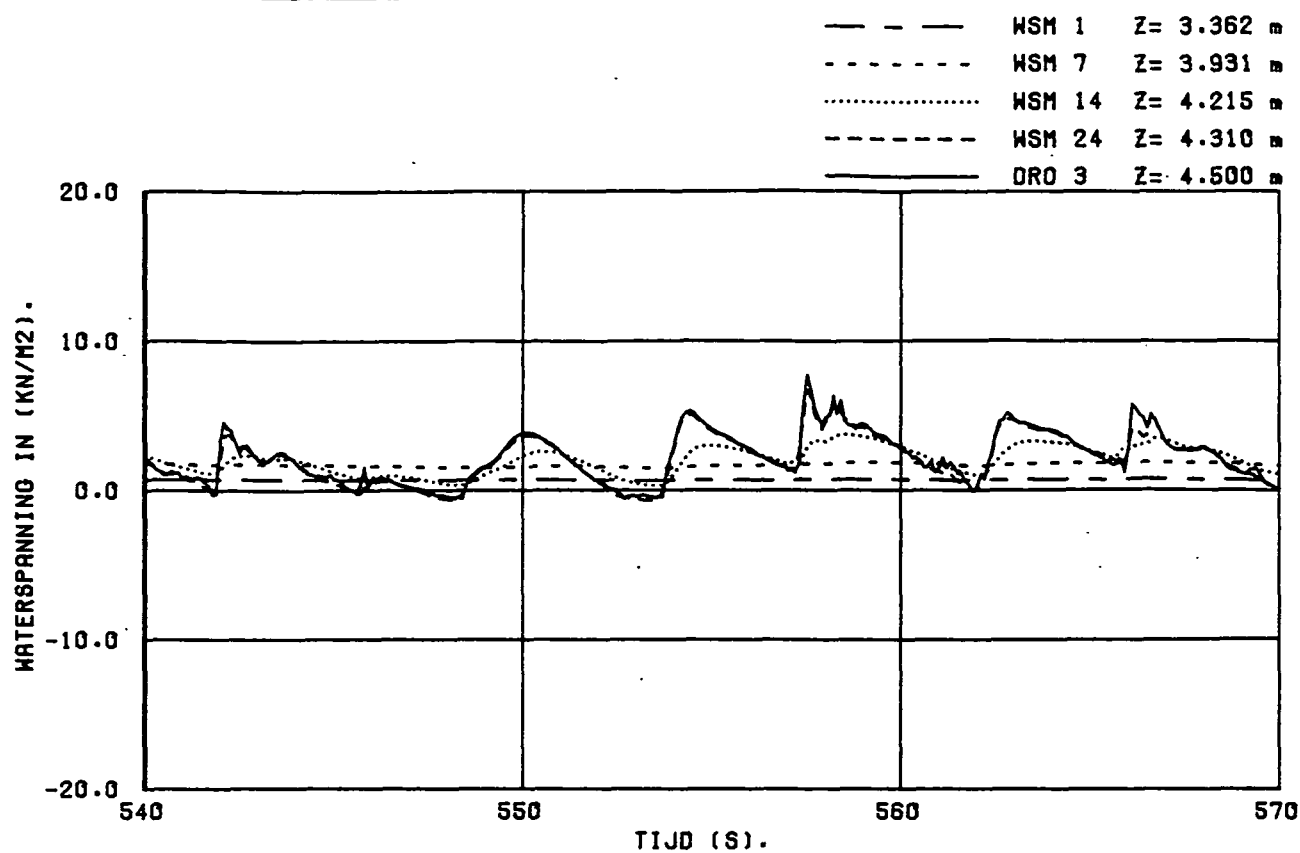
DGB12

H_{si} = 1.24 m T_p = 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 89



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.500 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGB12

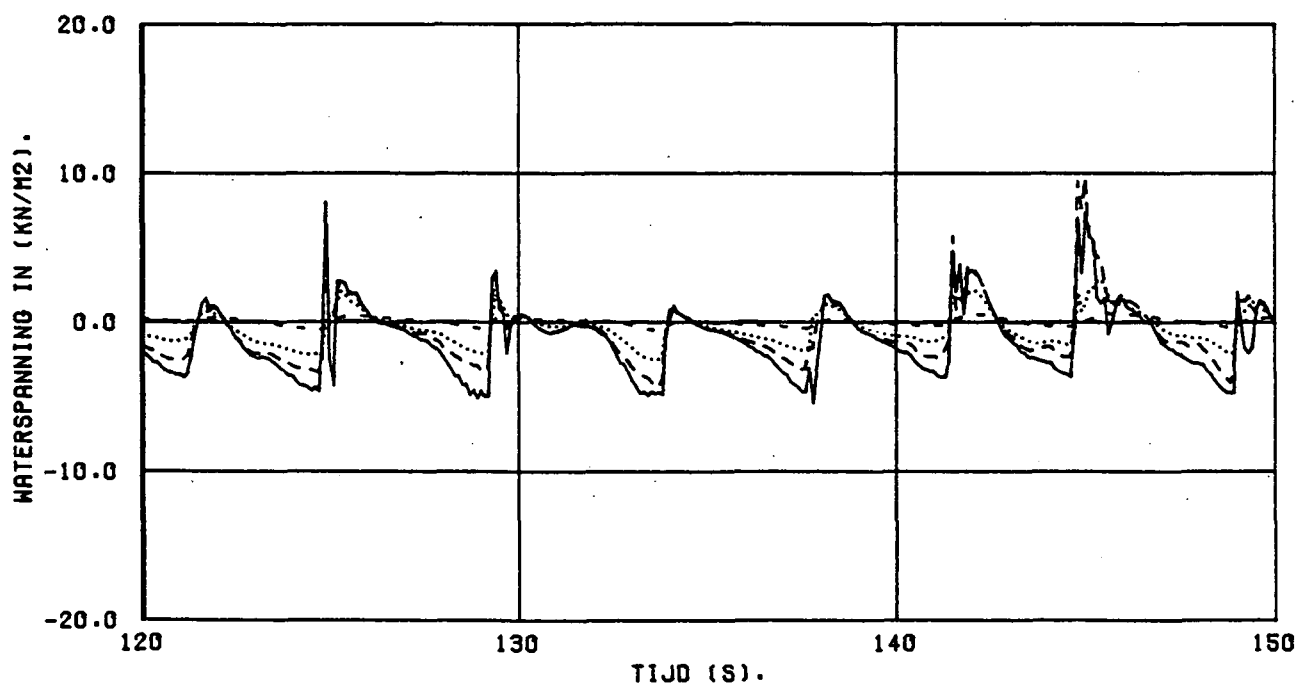
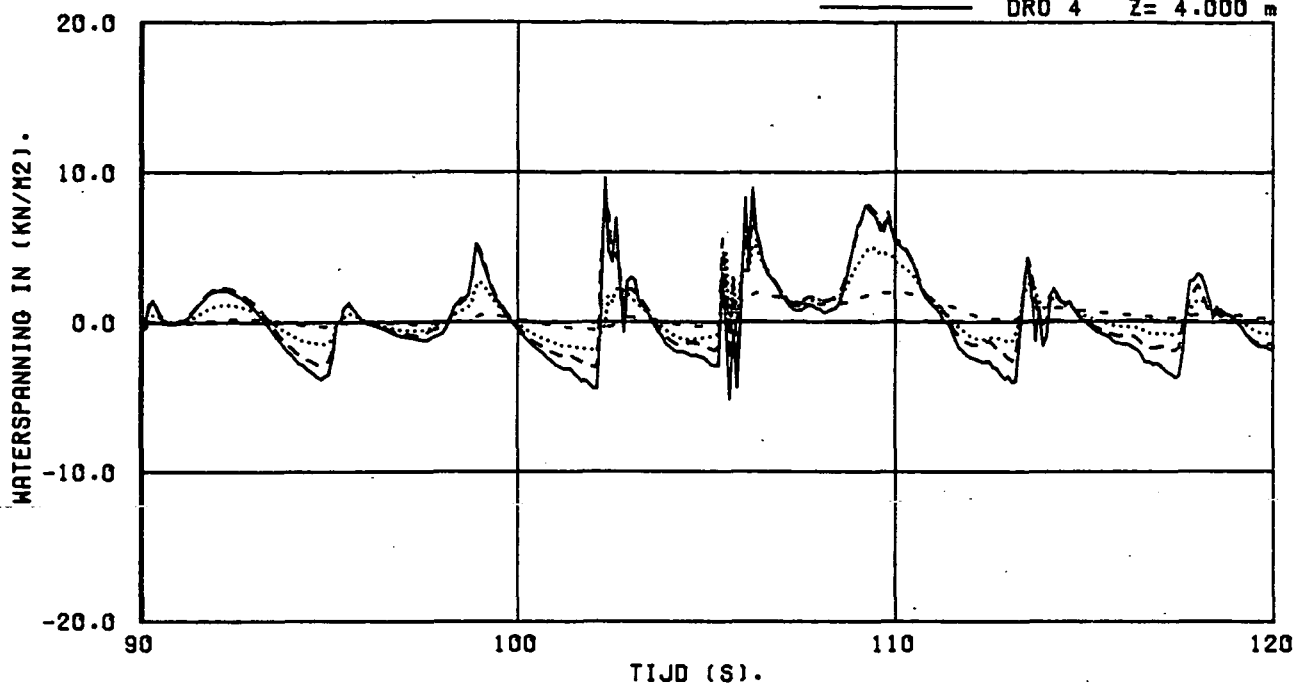
H_{si}= 1.24 m T_p= 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 90

---	WSM 2	Z= 2.862 m
- - -	WSM 8	Z= 3.431 m
.....	WSM 15	Z= 3.715 m
- - - - -	WSM 25	Z= 3.810 m
—————	DRO 4	Z= 4.000 m



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.000 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

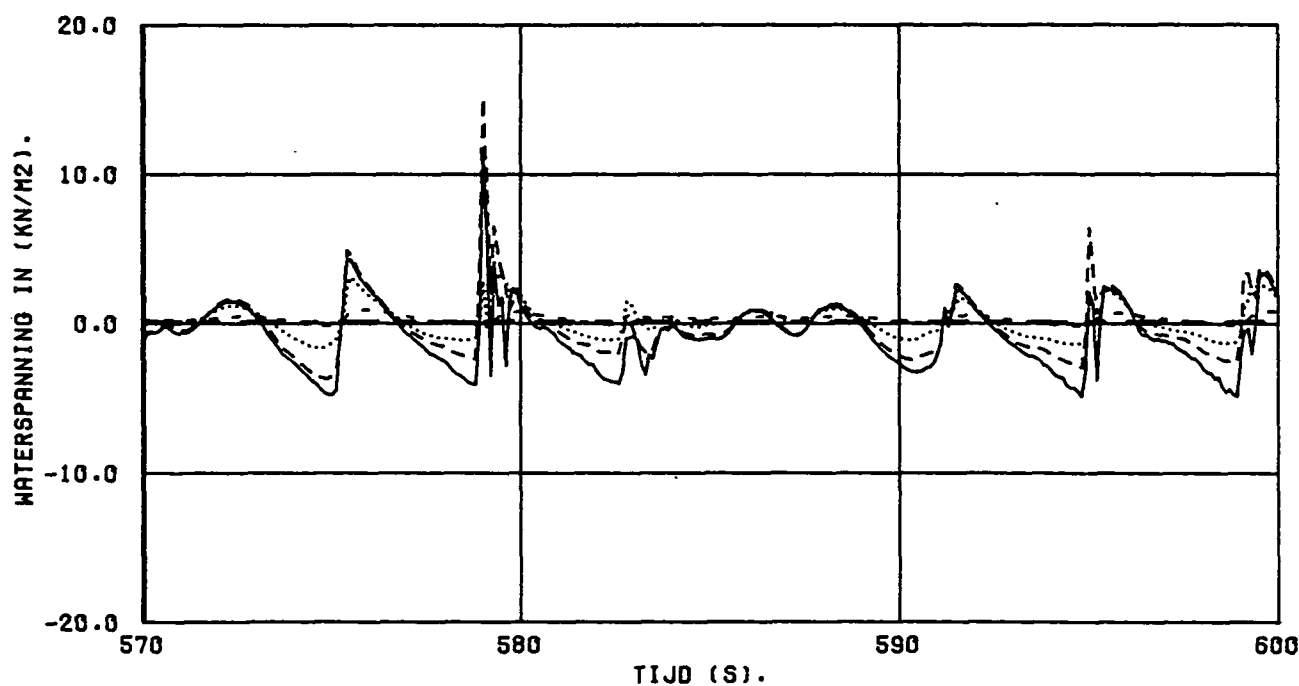
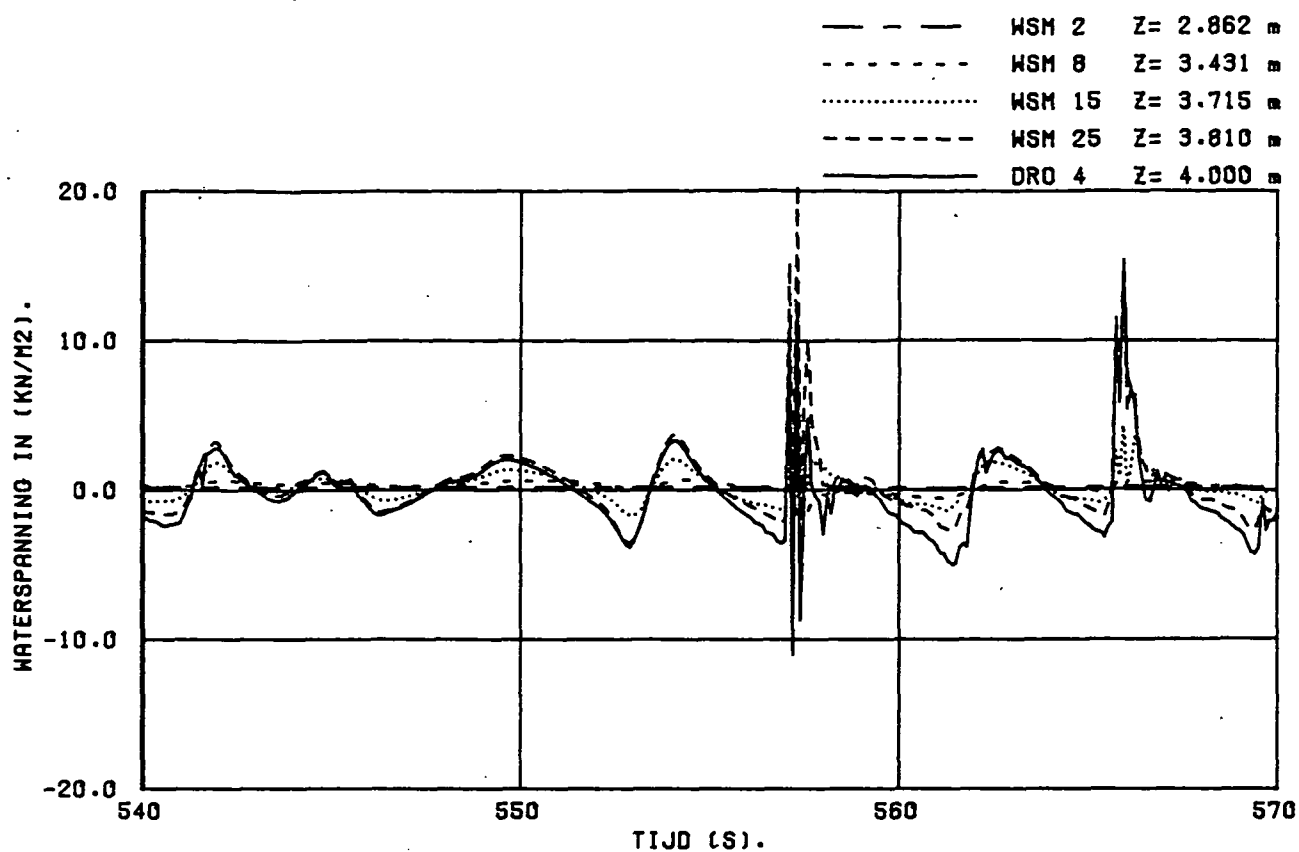
DGB12

H_{si}= 1.24 m T_p= 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 91



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.000 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

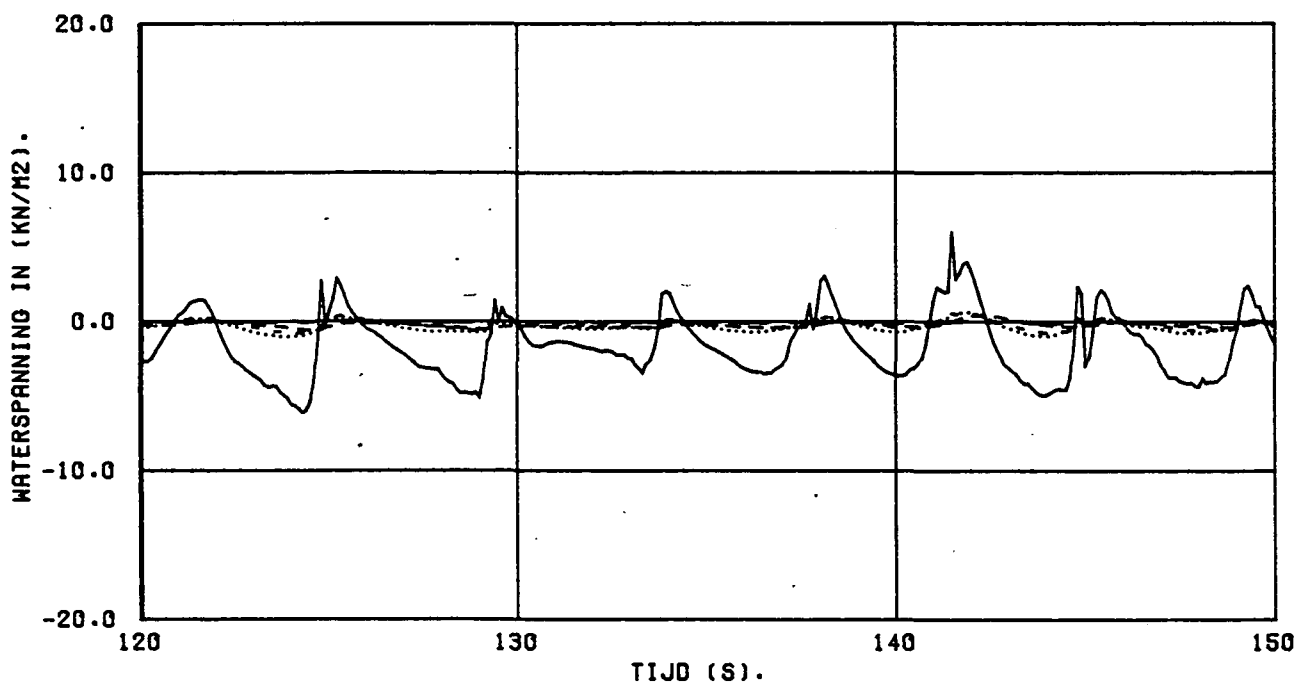
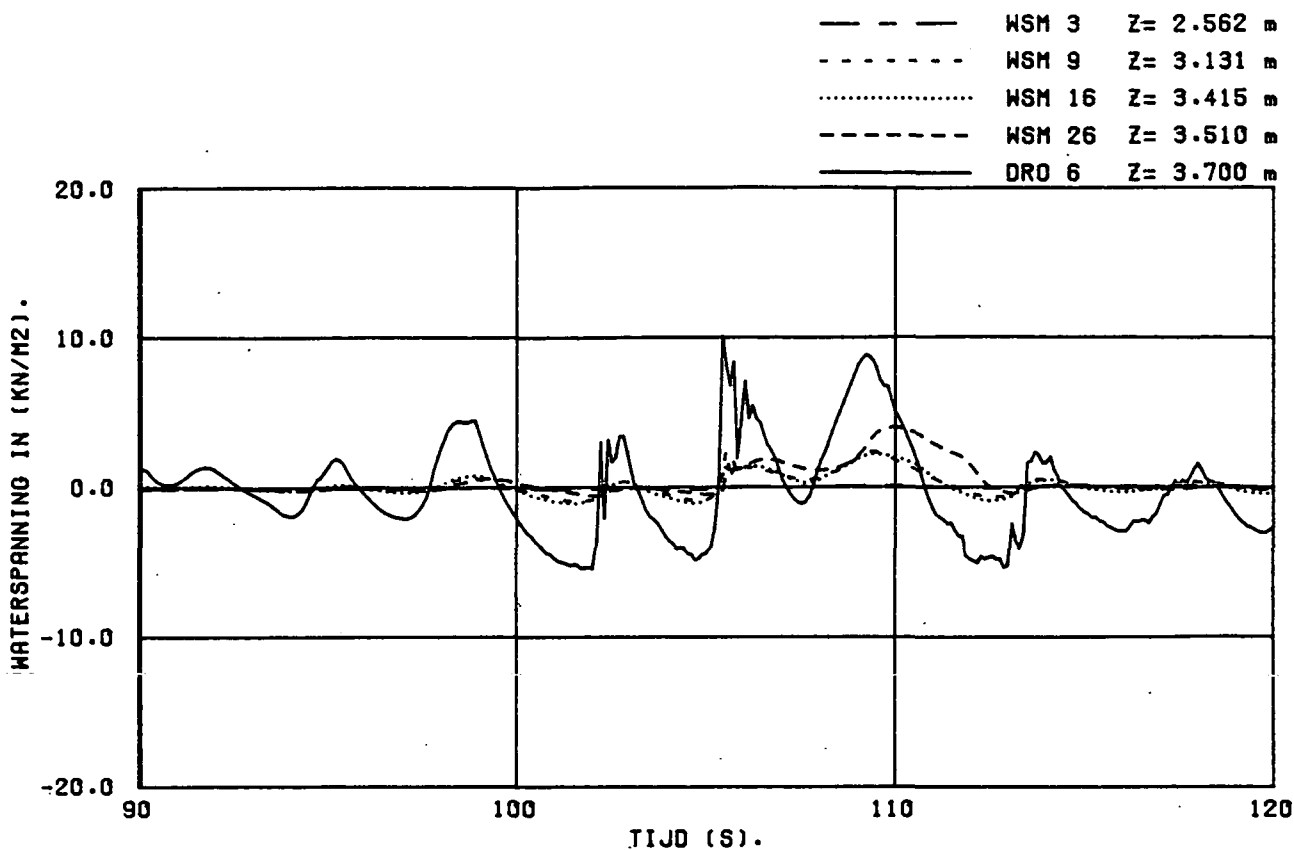
DGB12

H_{si}= 1.24 m T_p= 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

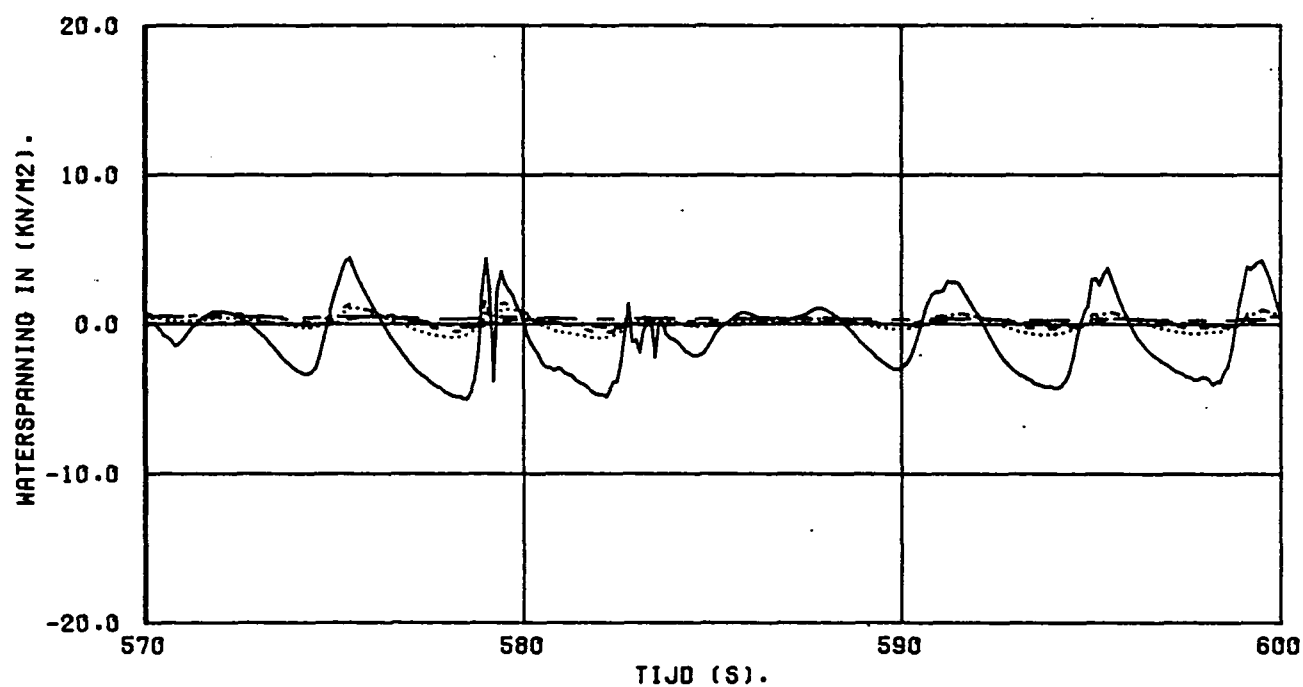
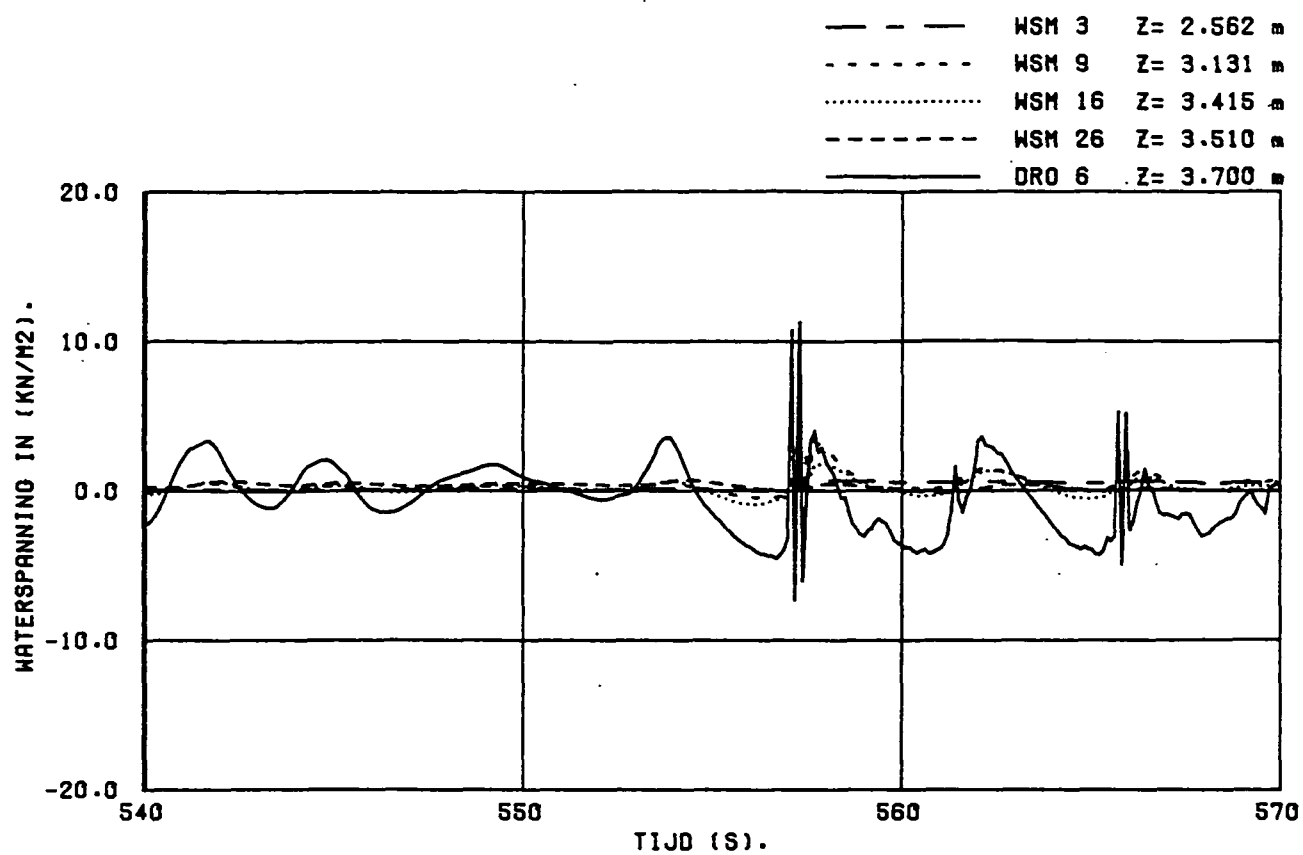
H 0122

FIG. 92



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.700 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN WATERSPANNING IN HET ZAND.	DGB12	
	H _{si} = 1.24 m T _p = 3.94 s	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA	H 0122	FIG.93



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.700 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGB12

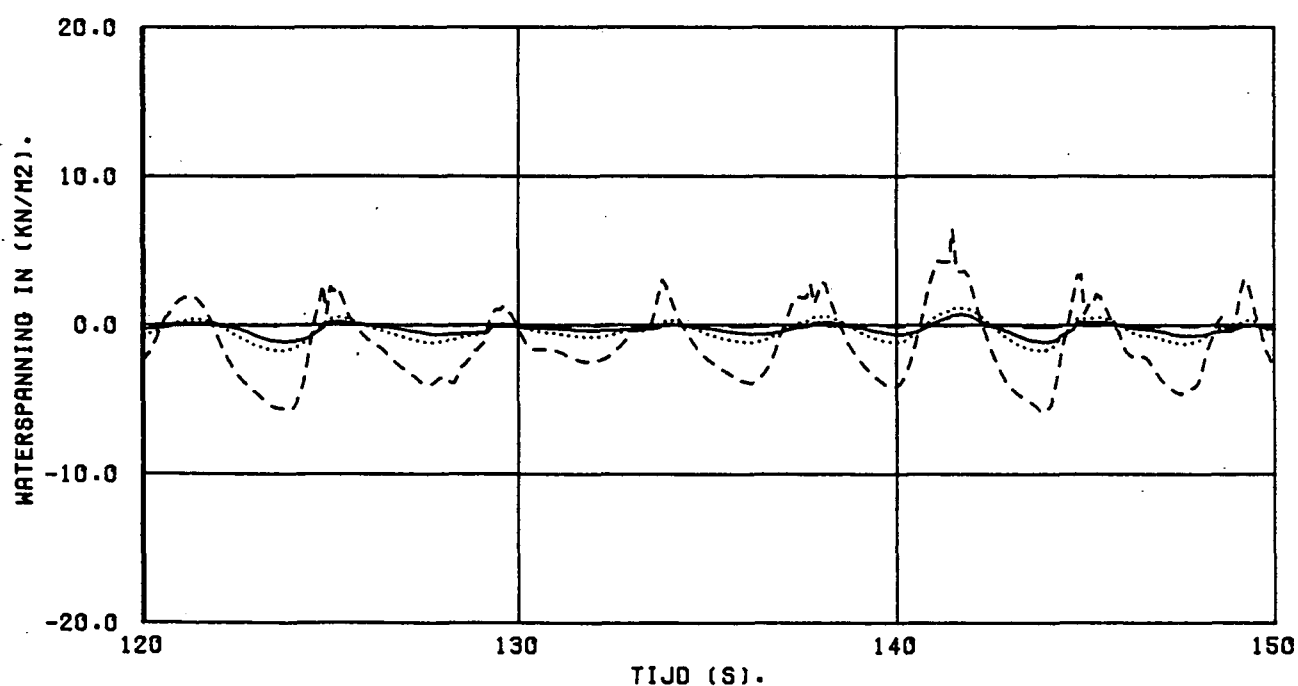
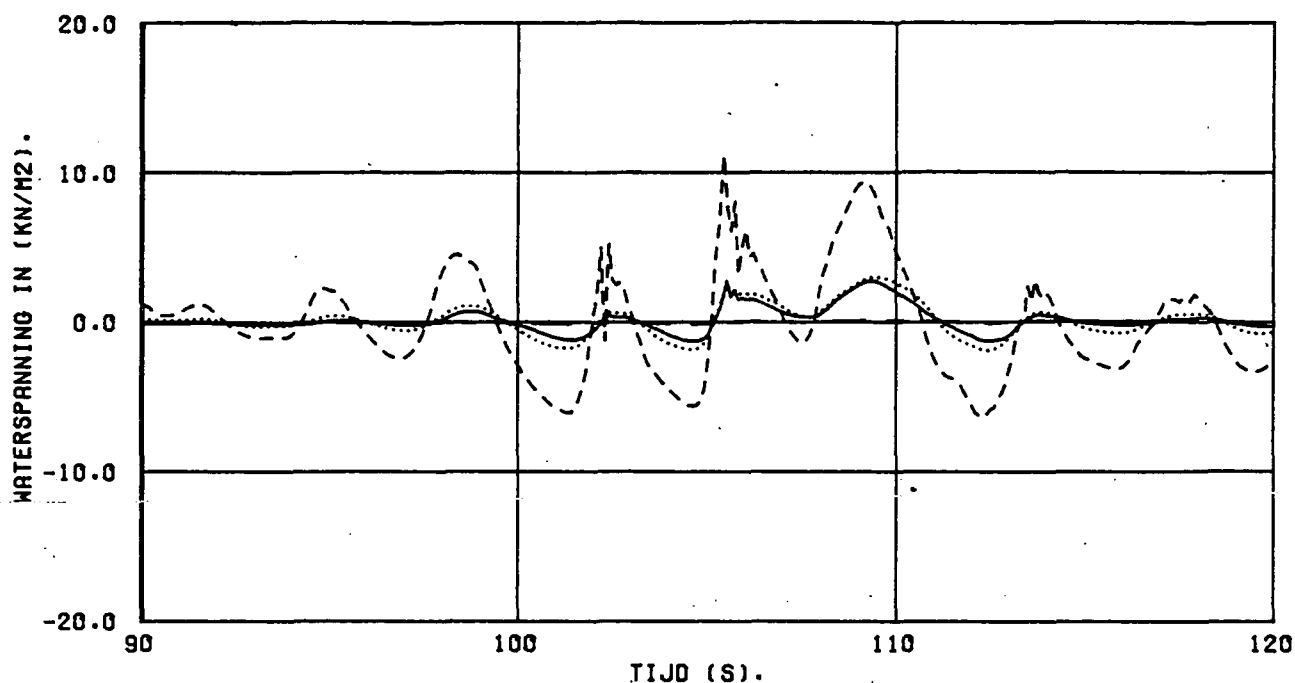
H_{si}= 1.24 m T_p= 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 94

--- WSM 4 Z= 2.362 m
 — WSM 10 Z= 2.931 m
 WSM 17 Z= 3.215 m
 - - - WSM 27 Z= 3.310 m



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.500 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

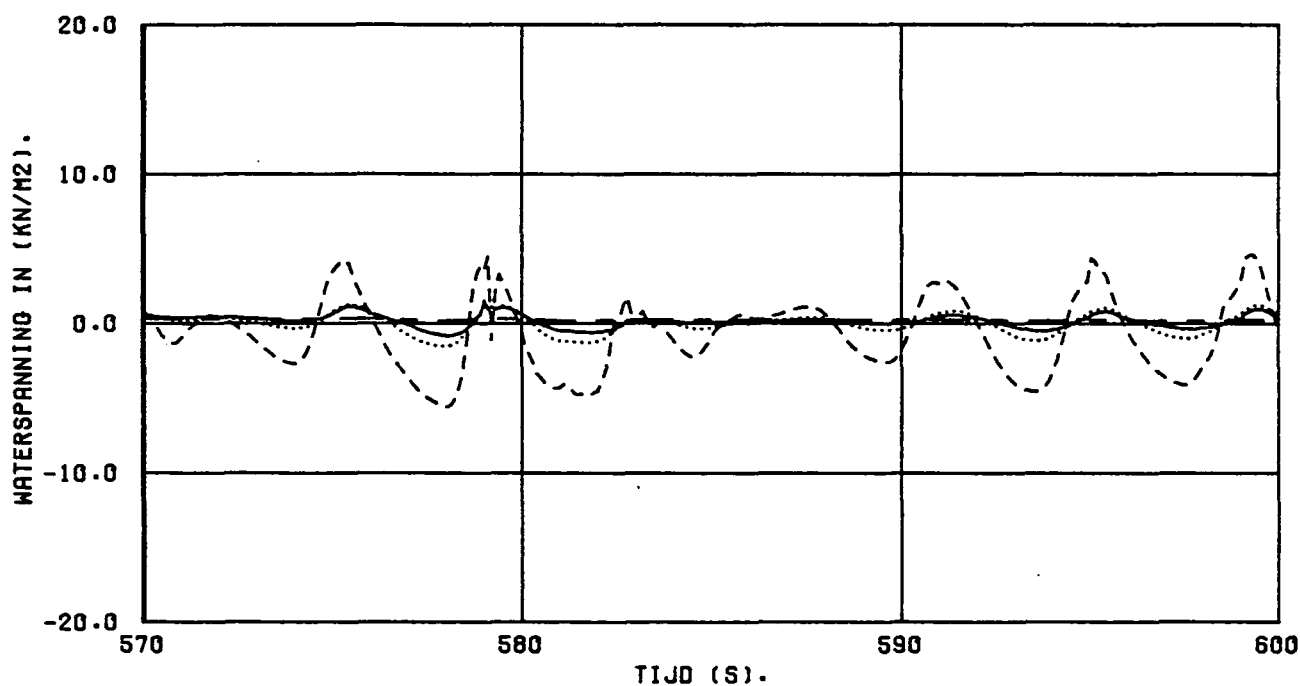
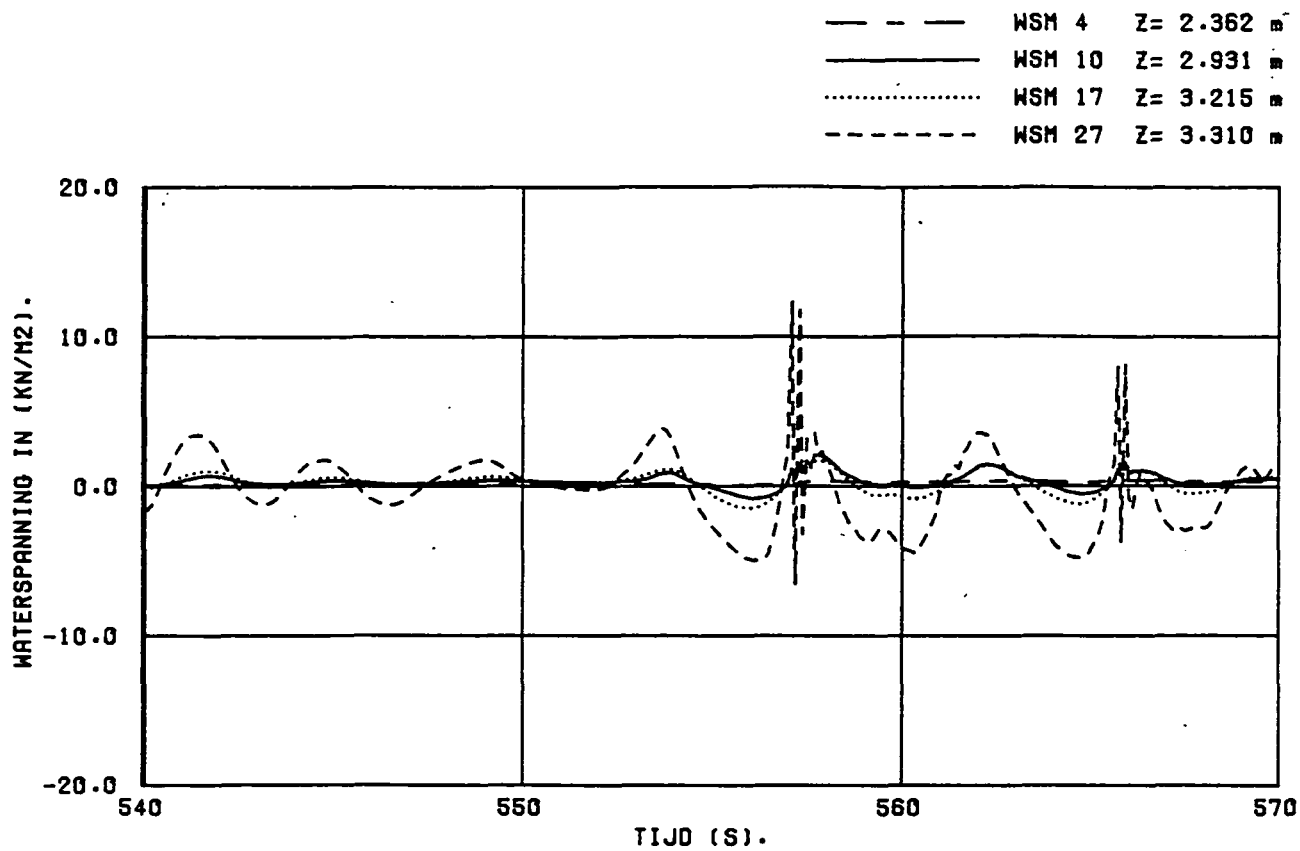
DGB12

H_{si} = 1.24 m T_p = 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 95



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.500 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

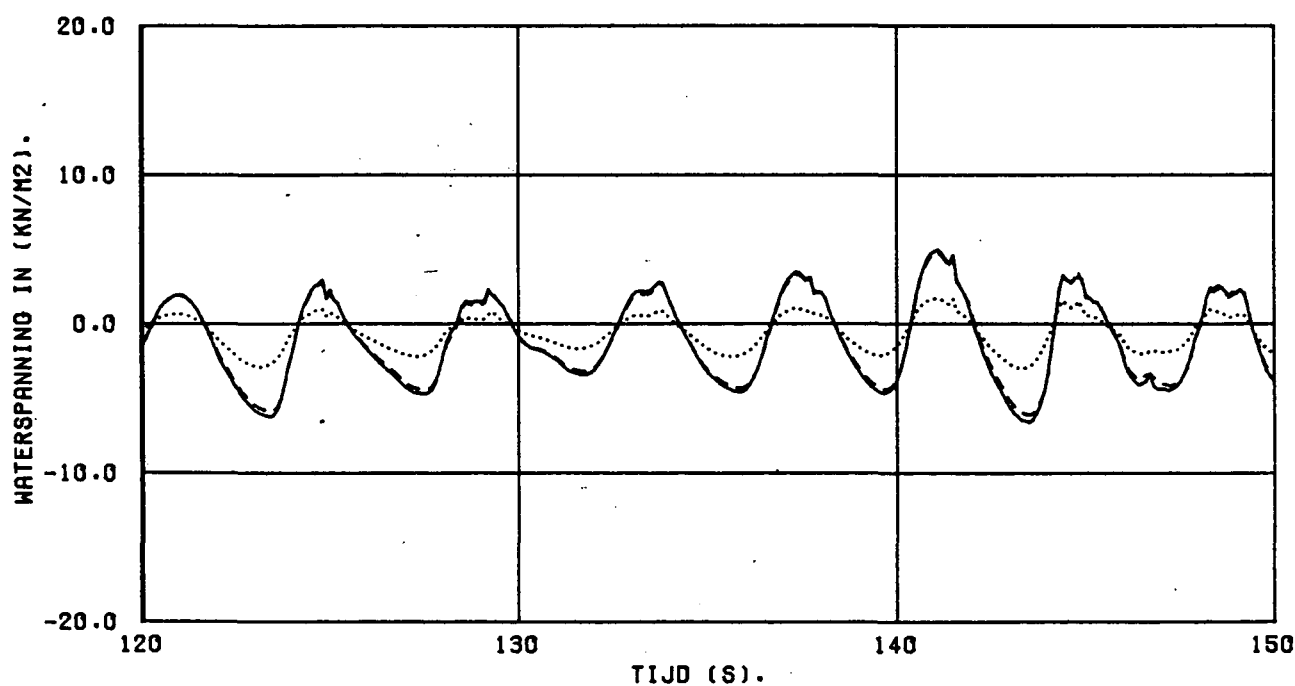
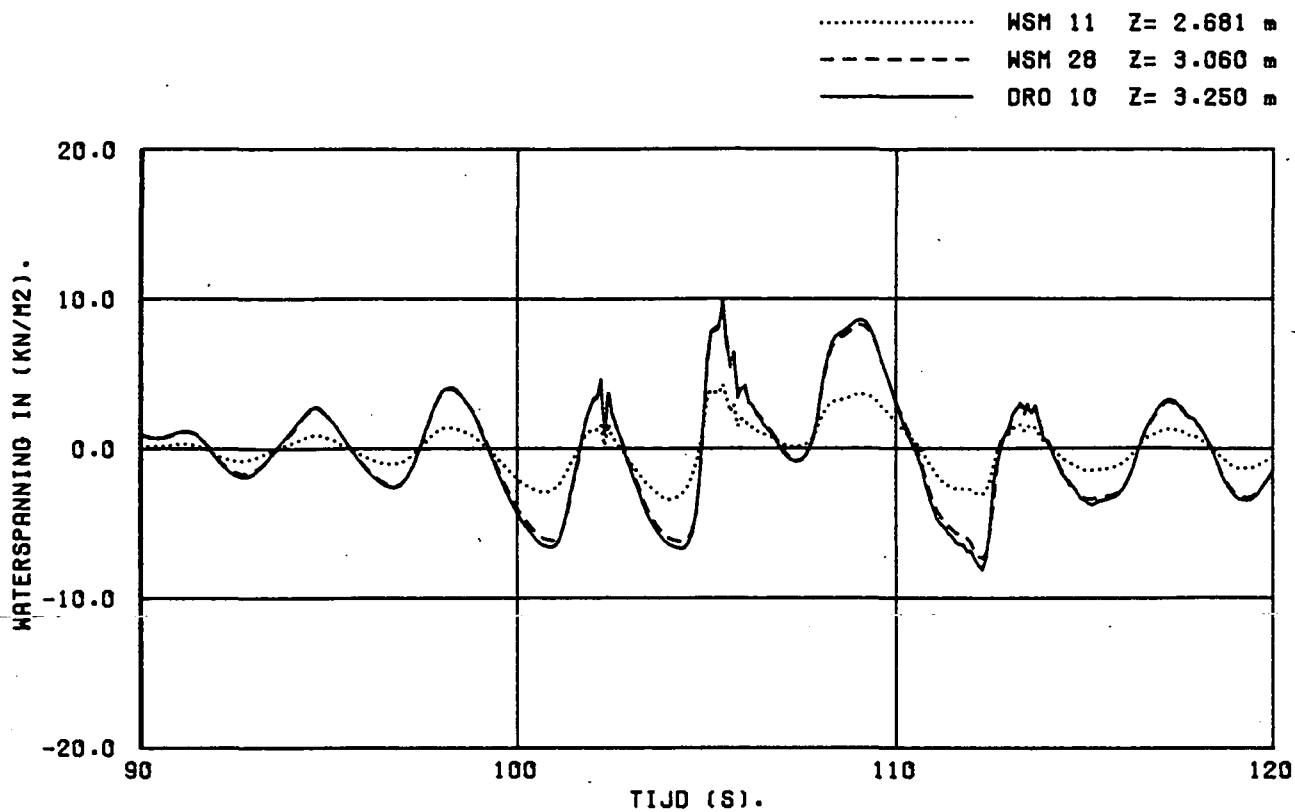
DGB12

H_{si}= 1.24 m T_p= 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 96



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.250 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
 WATERSpanNING IN HET ZAND.

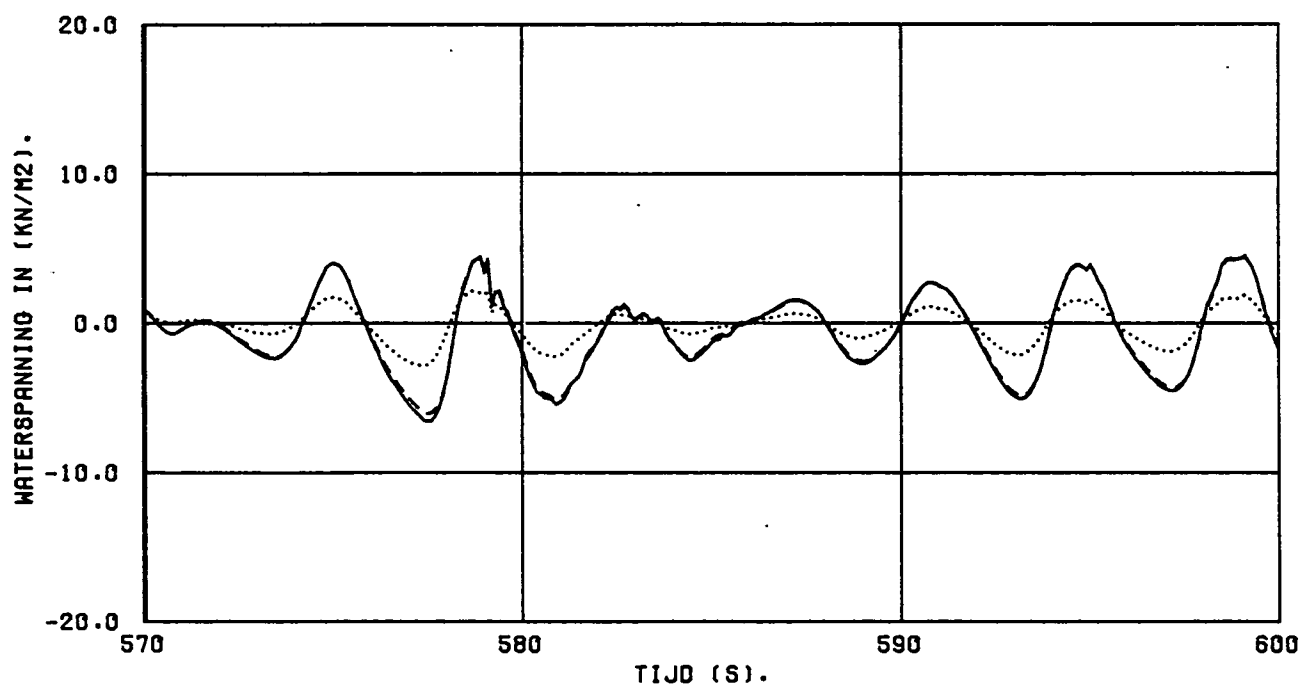
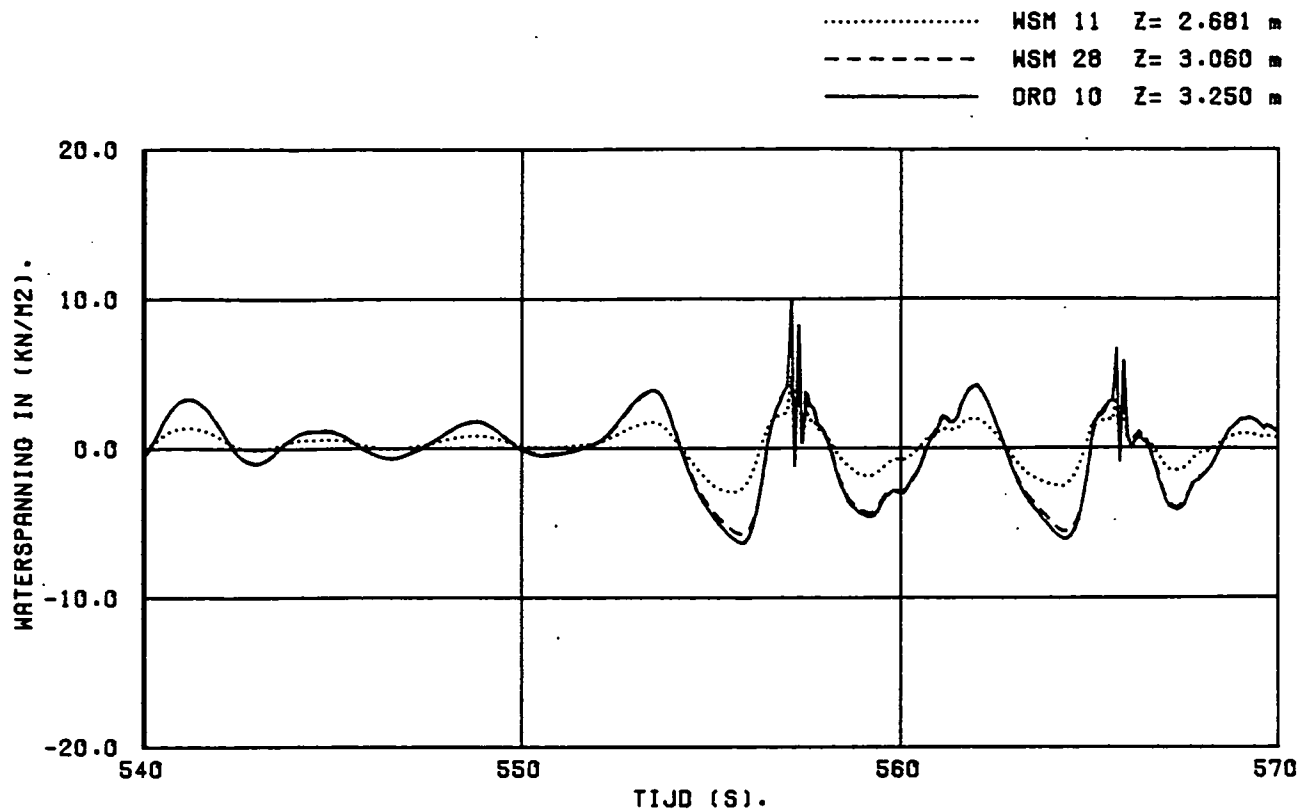
DGB12

H_{sl}= 1.24 m T_p= 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG.97



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.250 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
 WATERSPANNING IN HET ZAND.

DGB12

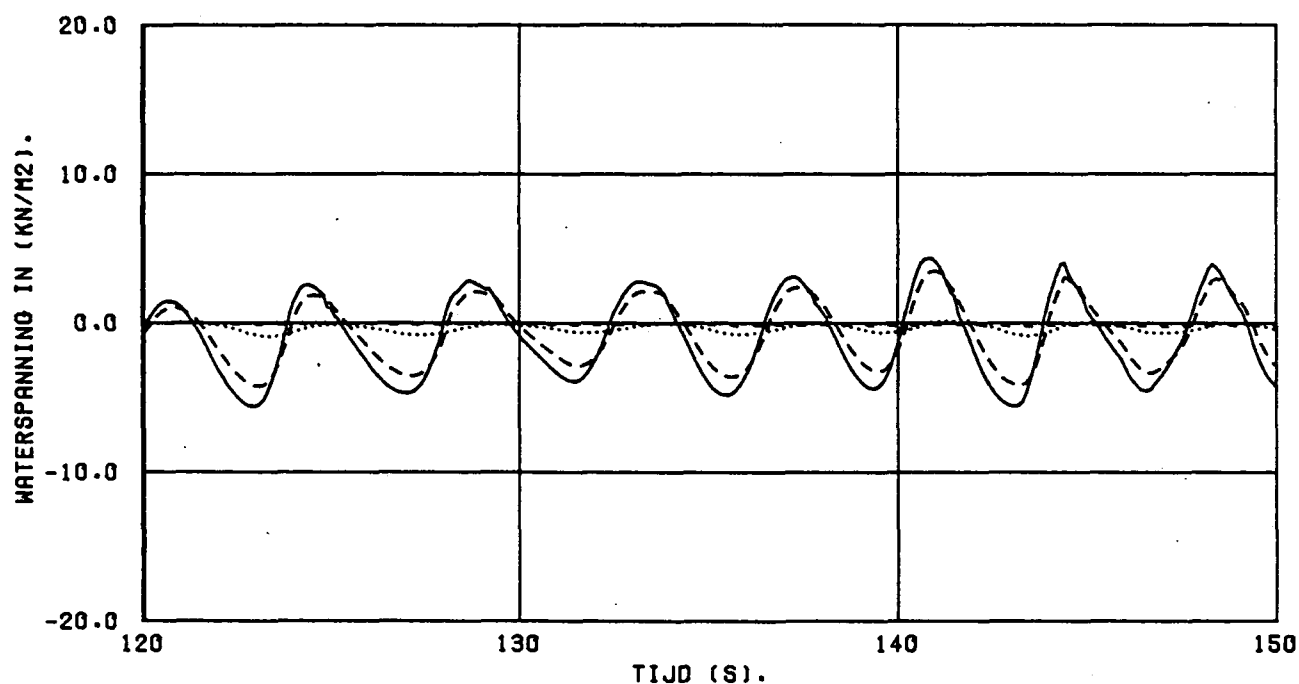
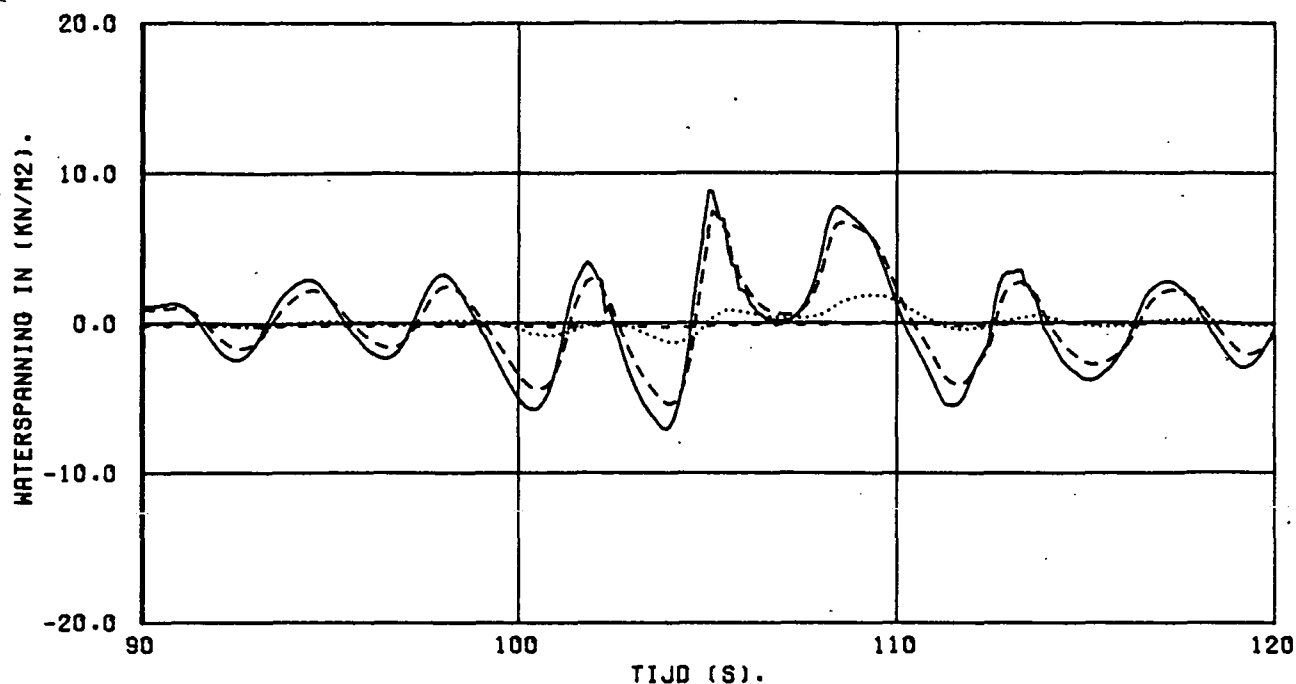
H_{si}= 1.24 m T_p= 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 98

- - - - - WSM 6 Z= 1.737 m
 WSM 12 Z= 2.306 m
 - - - - - WSM 31 Z= 2.685 m
 ————— DRO 13 Z= 2.875 m



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 2.875 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
 WATERSPANNING IN HET ZAND.

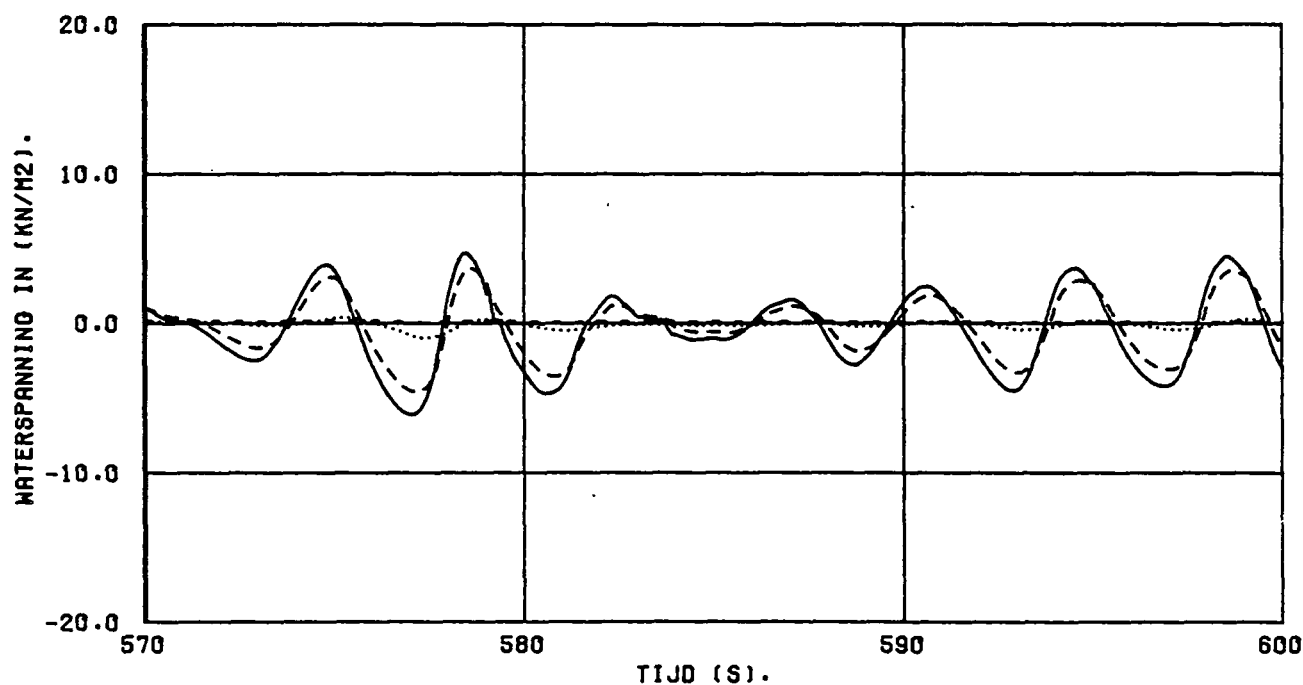
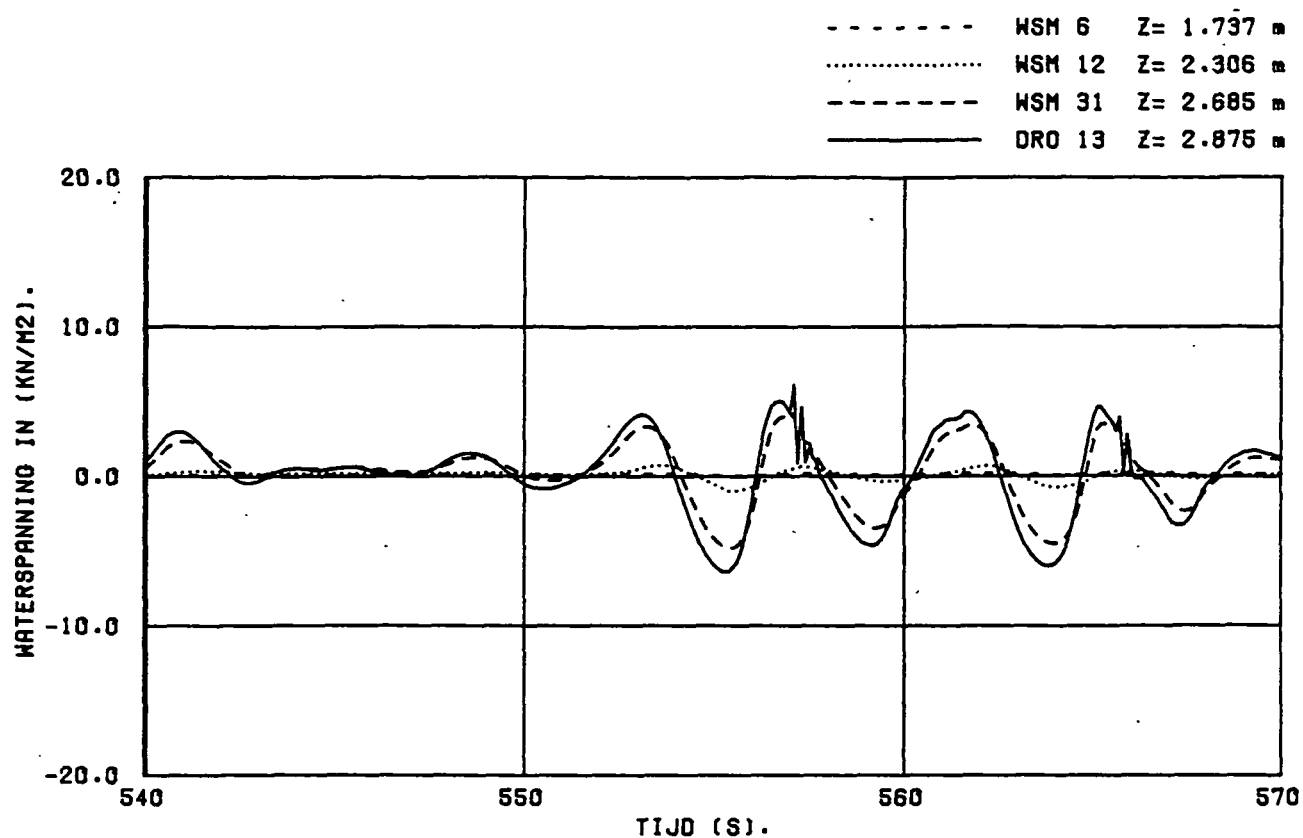
DGB12

$H_{si} = 1.24$ m $T_p = 3.94$ s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 99



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 2.875 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGB12

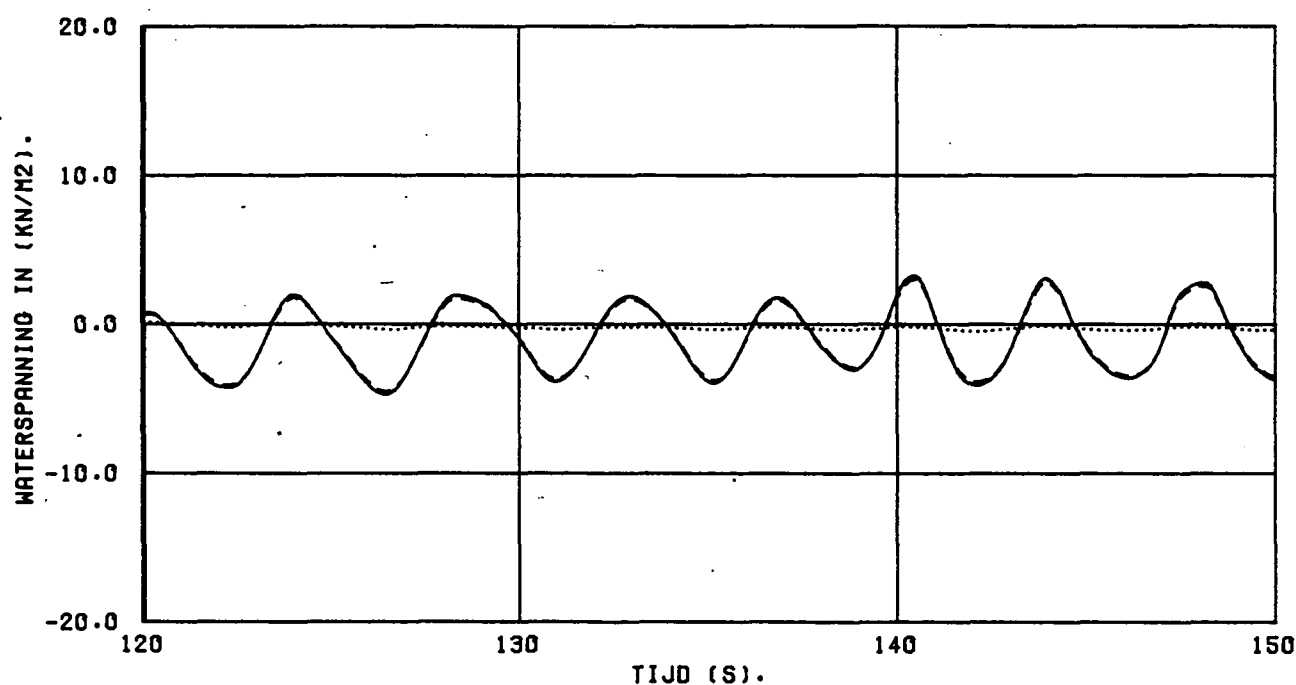
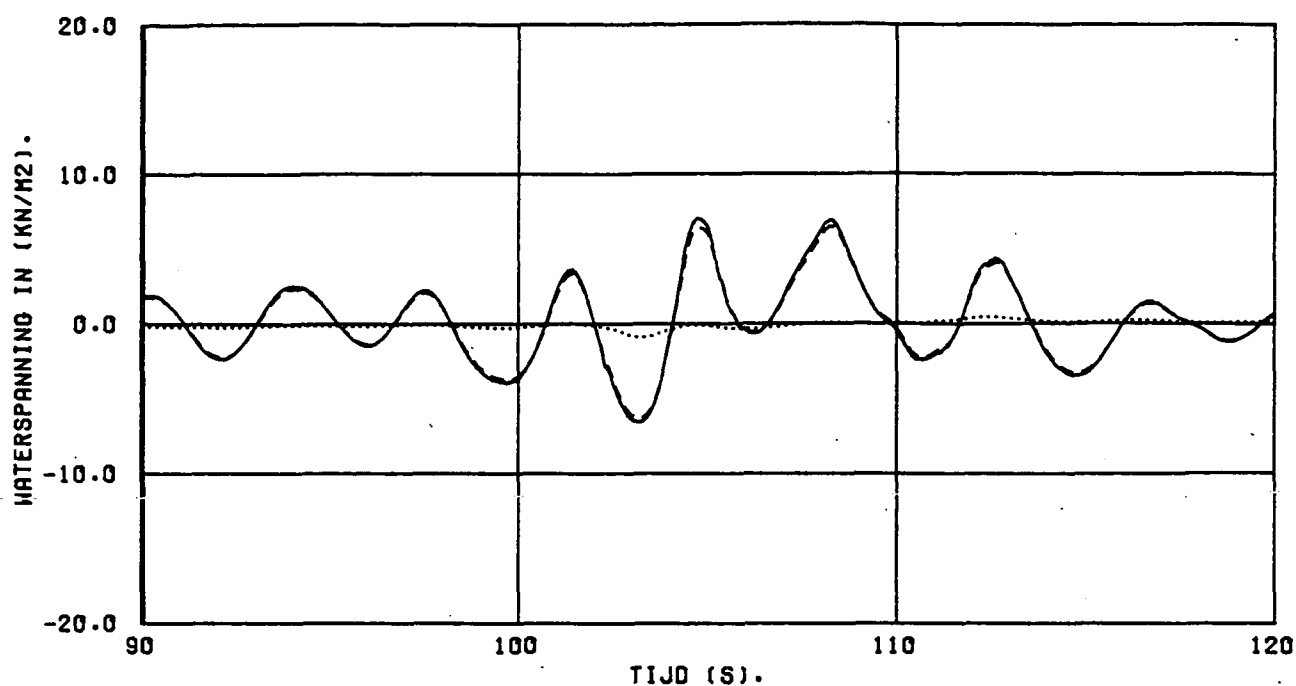
H_{si}= 1.24 m T_p= 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 100

..... WSM 13 Z= 1.681 m
 ----- WSM 35 Z= 2.060 m
 ————— DRO 17 Z= 2.250 m



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 2.250 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
 WATERSpanNING IN HET ZAND.

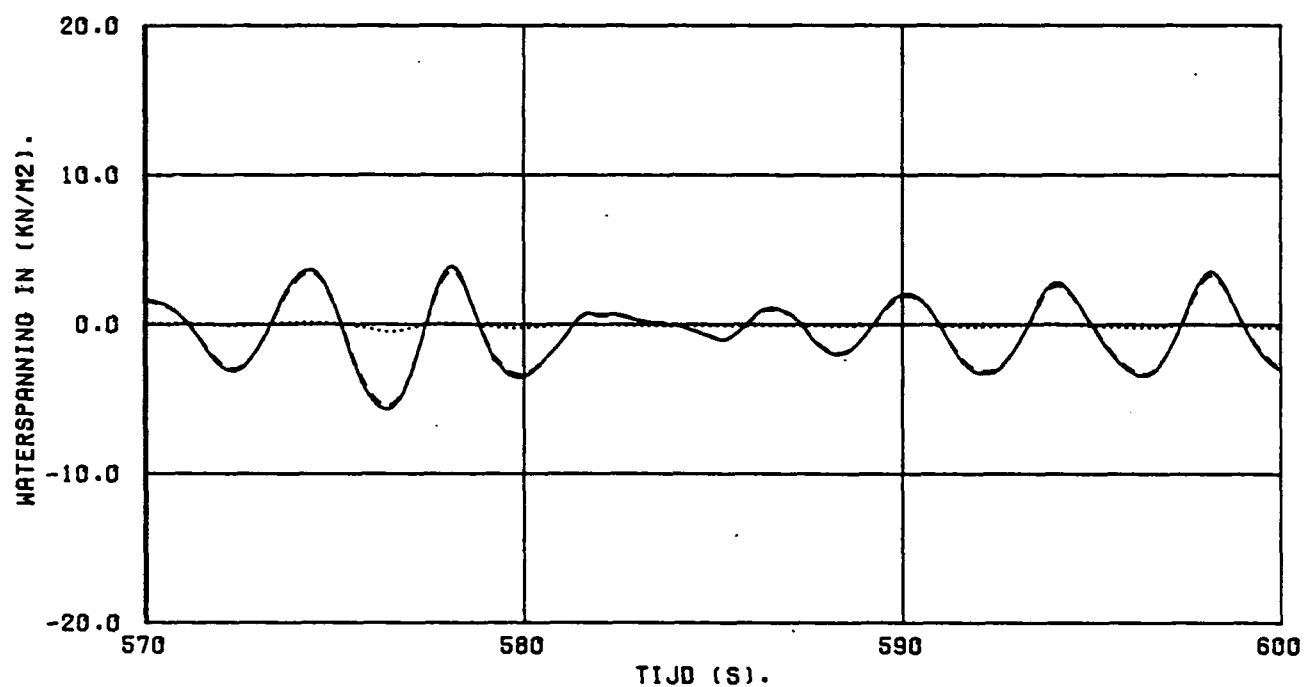
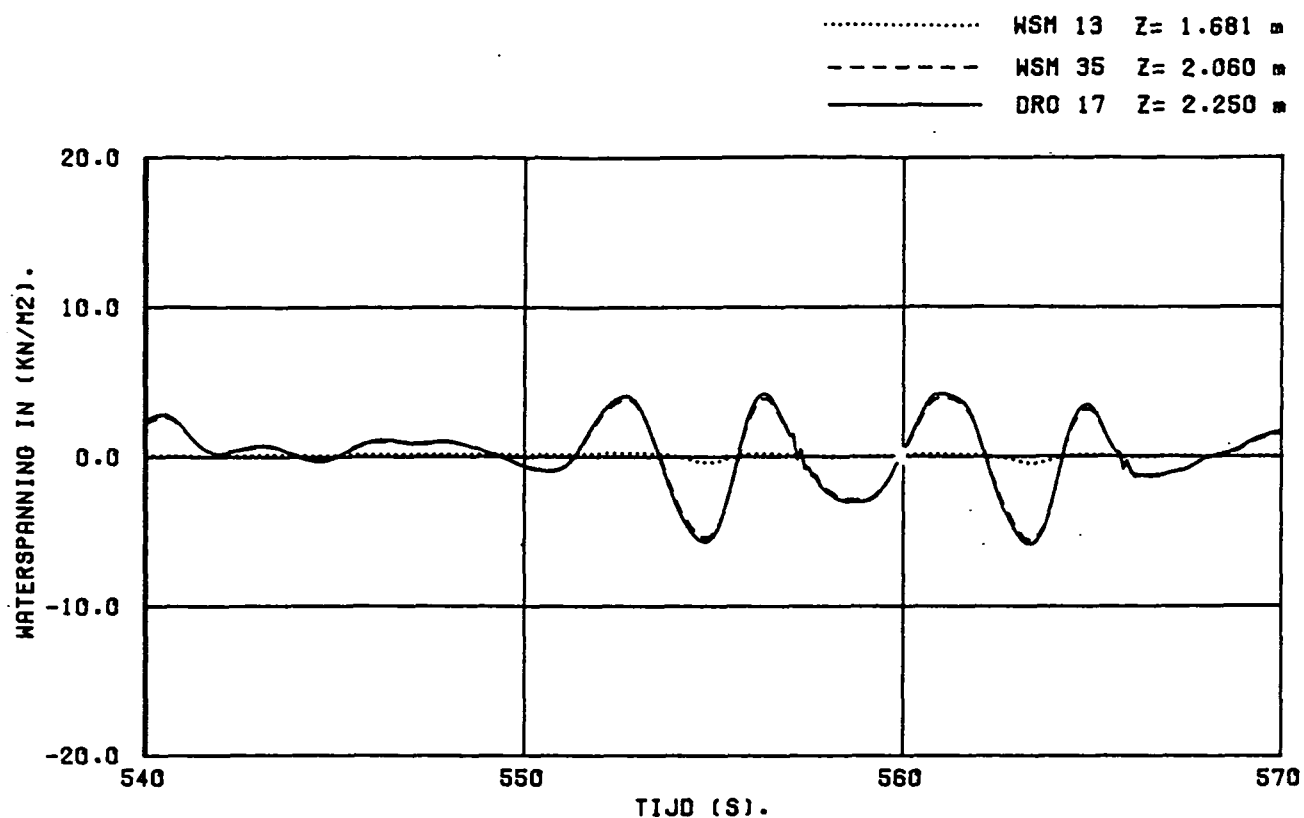
DGB12

H_{si} = 1.24 m T_p = 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 101



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 2.250 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
 WATERSPANNING IN HET ZAND.

DGB12

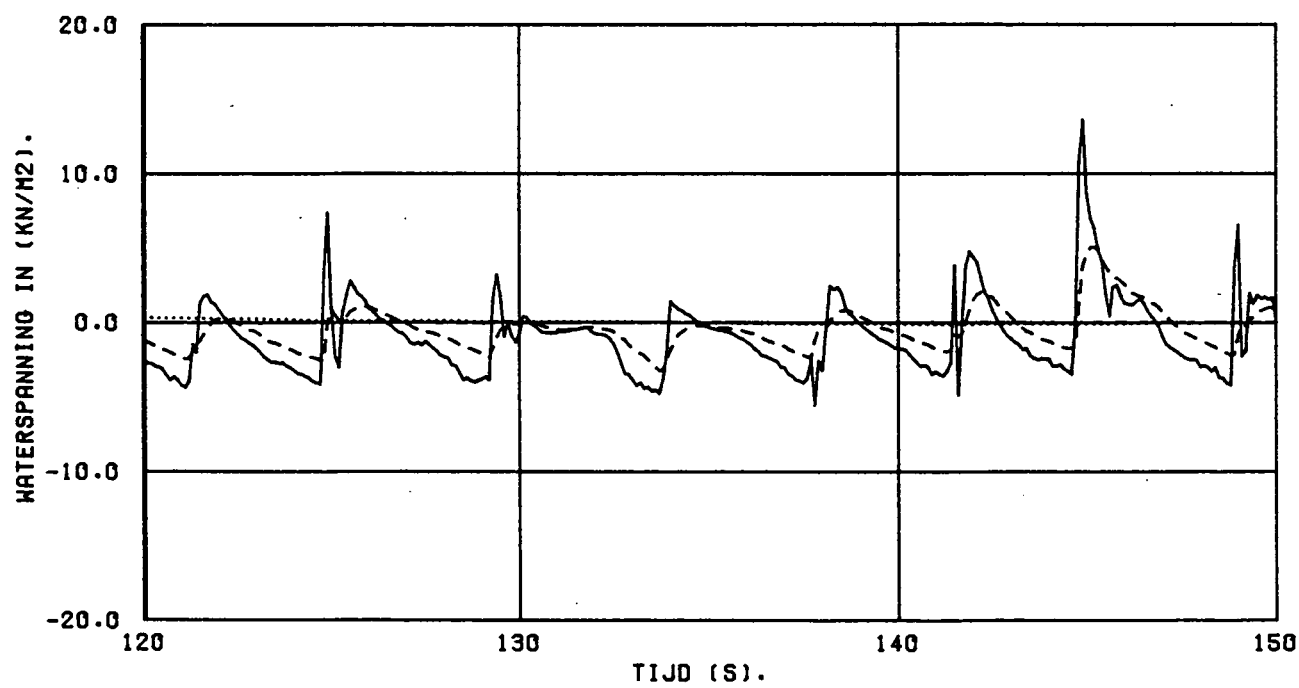
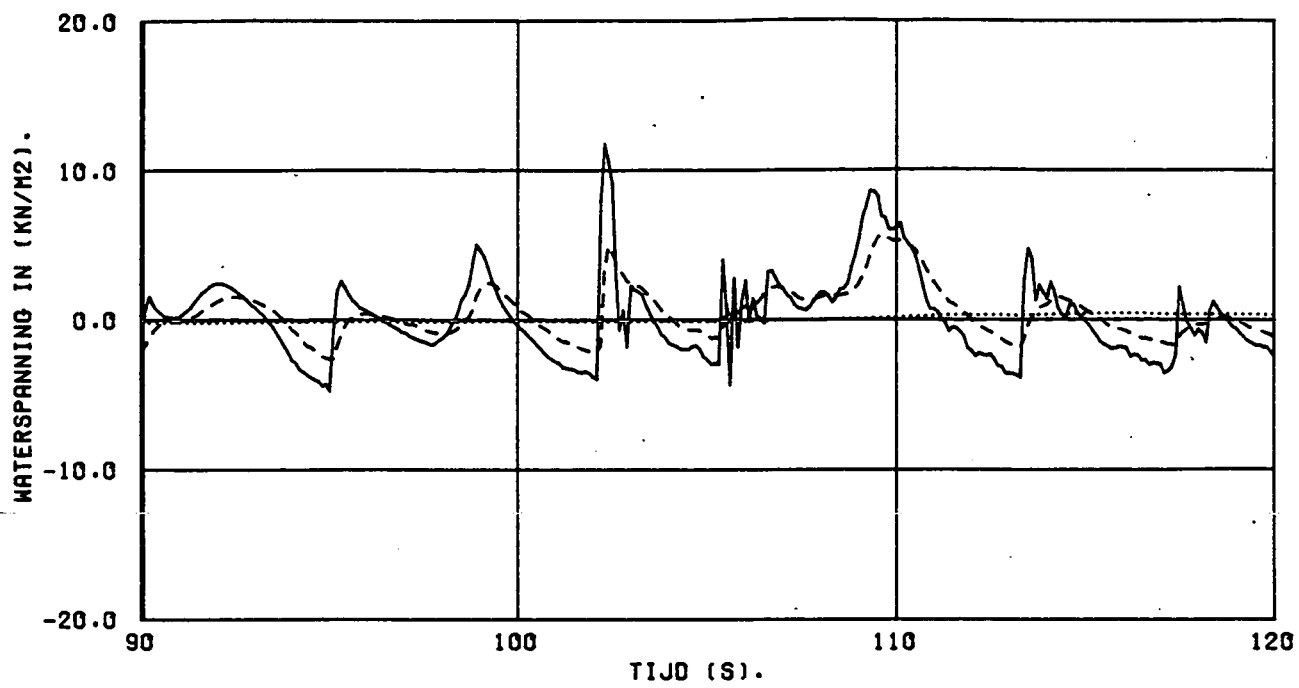
H_{si}= 1.24 m T_p= 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

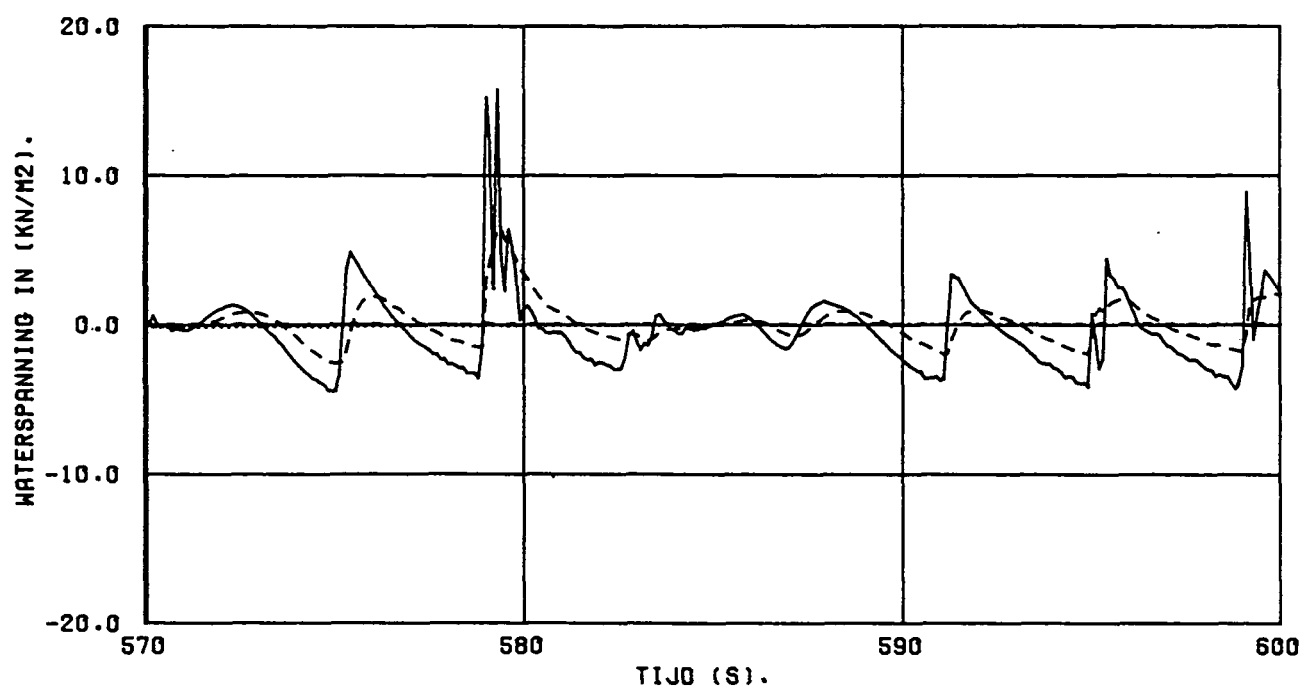
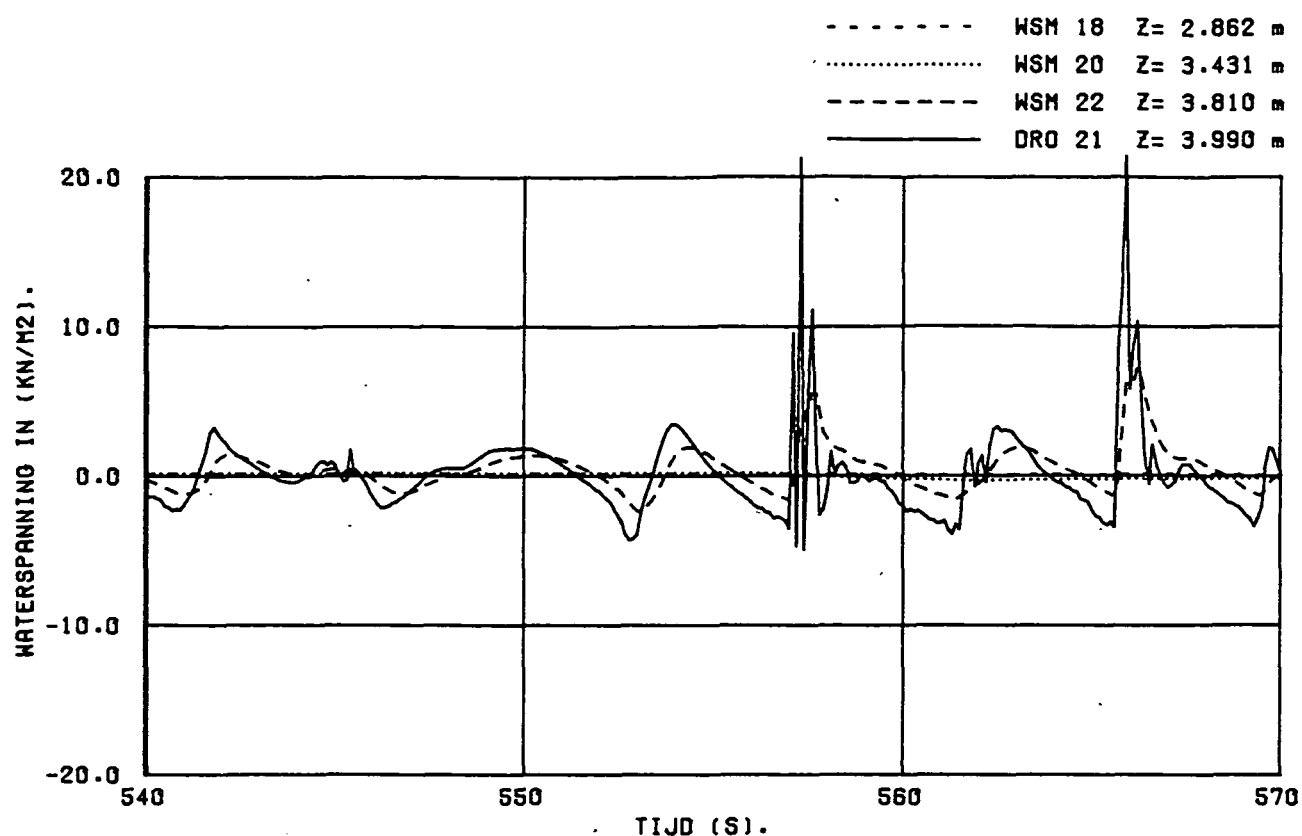
FIG. 102

- - - - - WSM 18 Z= 2.862 m
 WSM 20 Z= 3.431 m
 - - - - - WSM 22 Z= 3.810 m
 _____ DRO 21 Z= 3.990 m



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.990 m.
 WESTZIJDE.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN WATERSpanNING IN HET ZAND.	DGB12	
	H _{si} = 1.24 m T _p = 3.94 s	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA	H 0122	FIG. 103



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.990 m.
WESTZIJDE.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

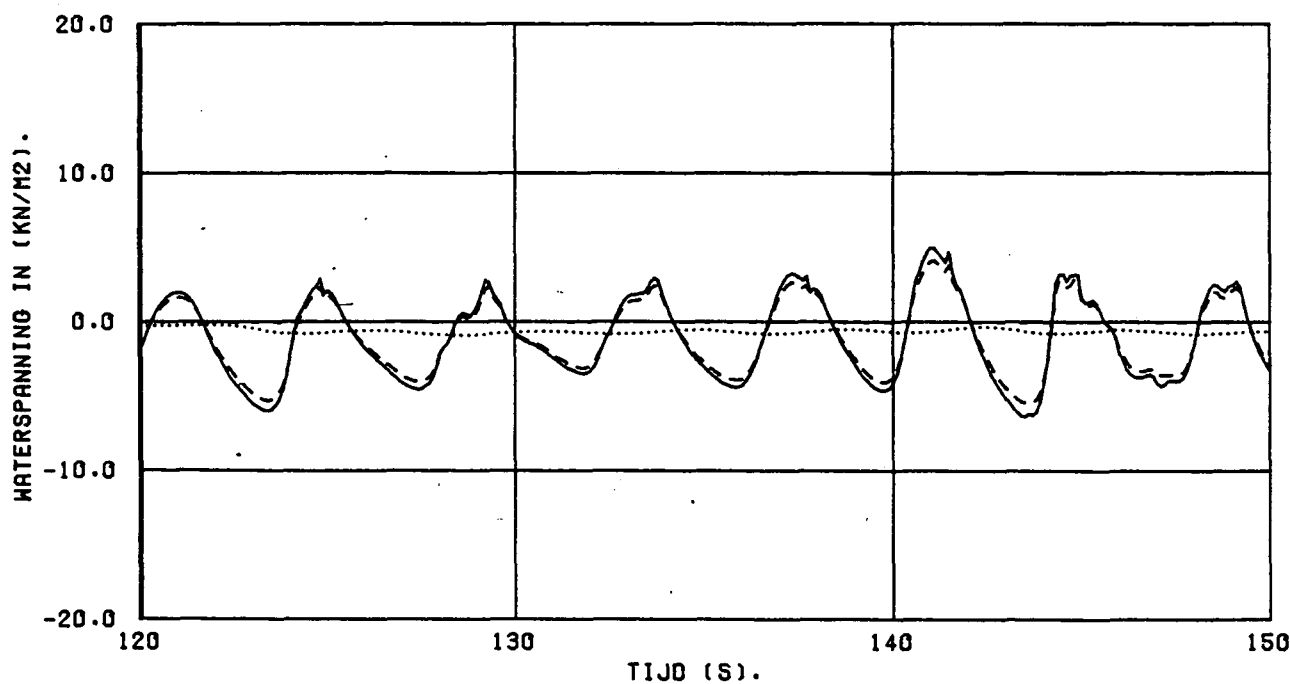
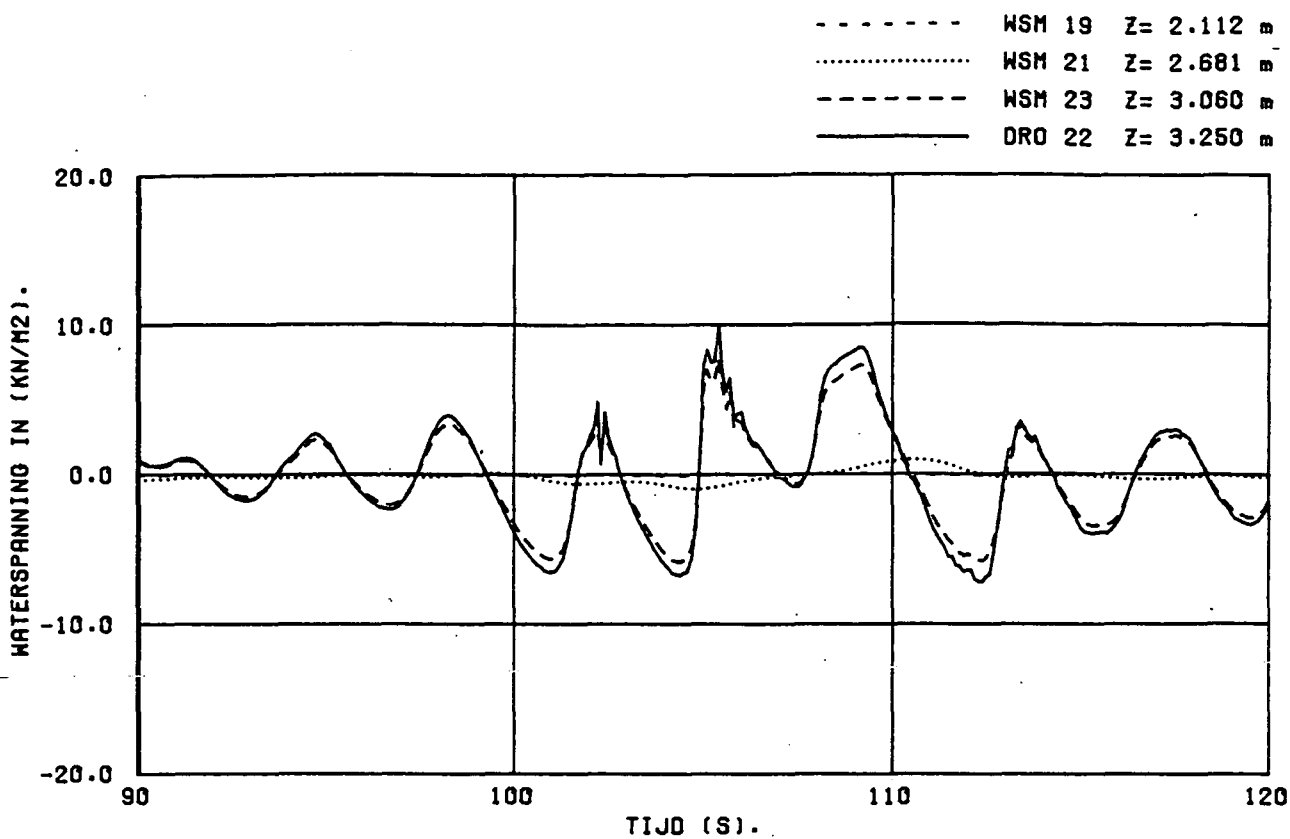
DGB12

H_s = 1.24 m T_p = 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONOMECHANICA

H 0122

FIG. 104



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.250 m.
WESTZIJDE.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

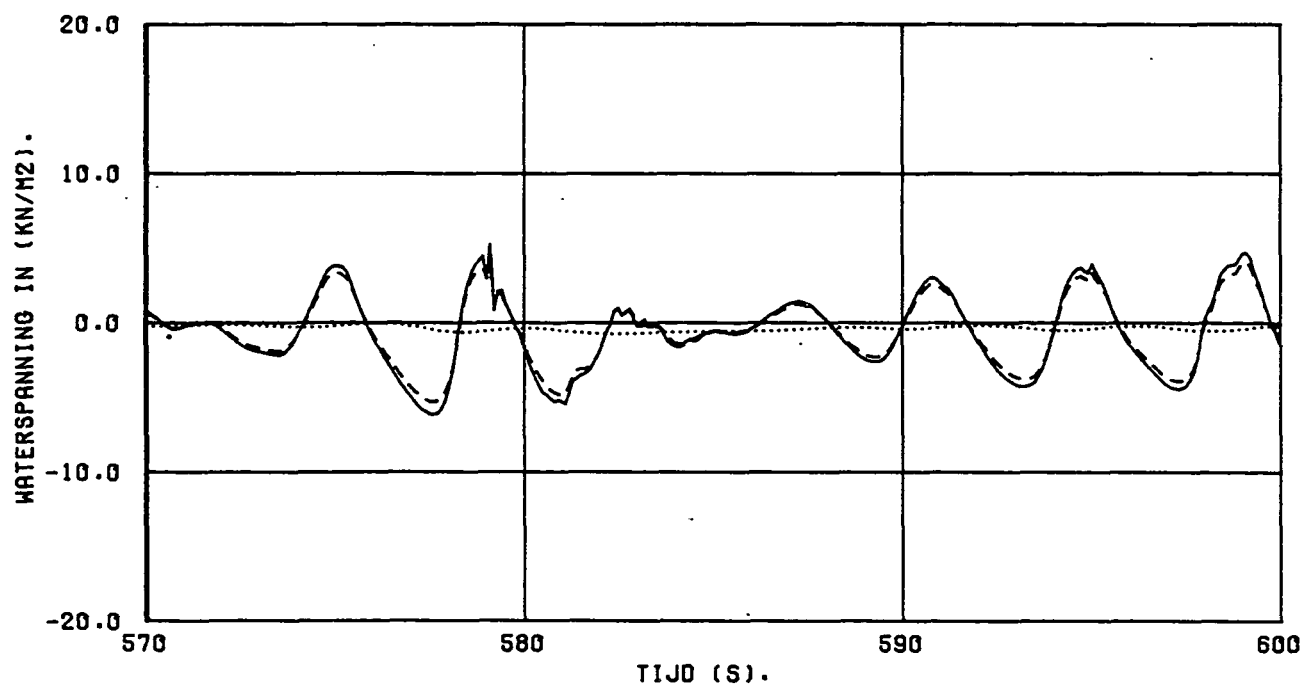
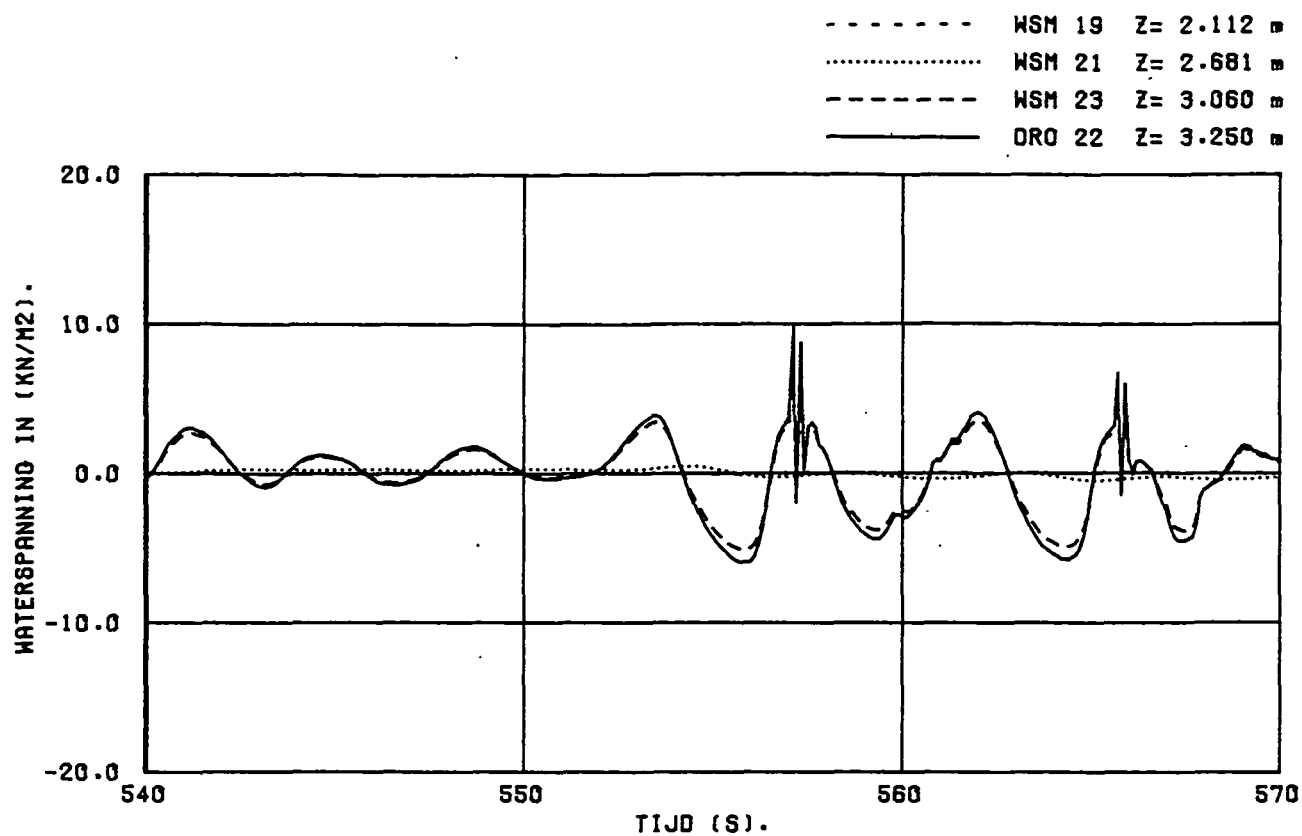
DGB12

H_{si}= 1.24 m T_p= 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 105



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.250 m.
WESTZIJDE.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

DGB12

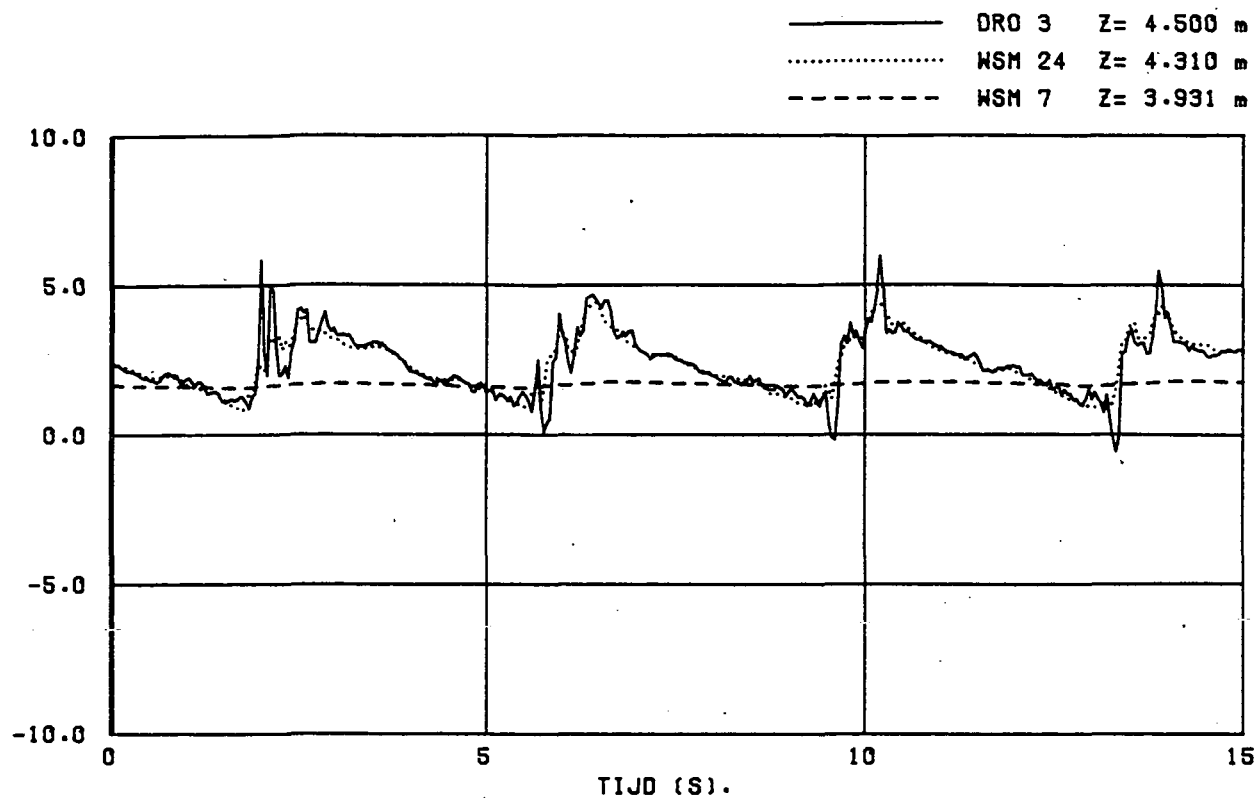
H_{si} = 1.24 m T_p = 3.94 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

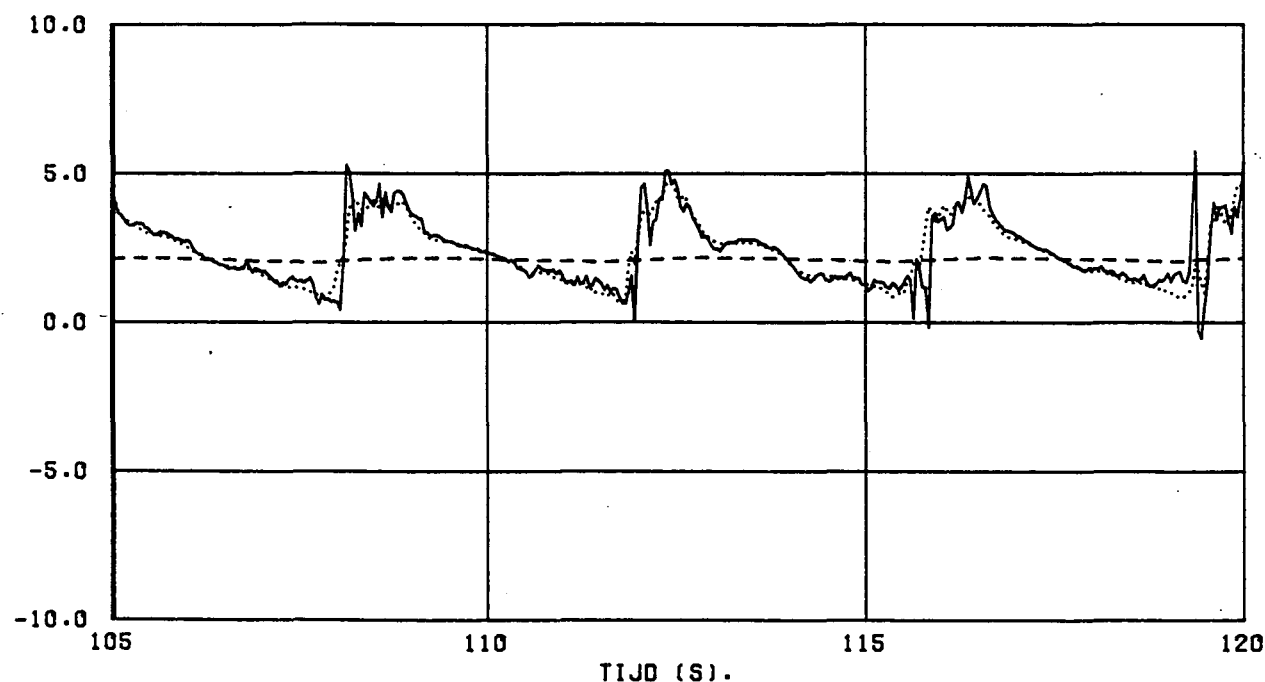
H 0122

FIG. 106

WATERSPANNING IN (KN/M2).



WATERSPANNING IN (KN/M2).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.50 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

DGB11

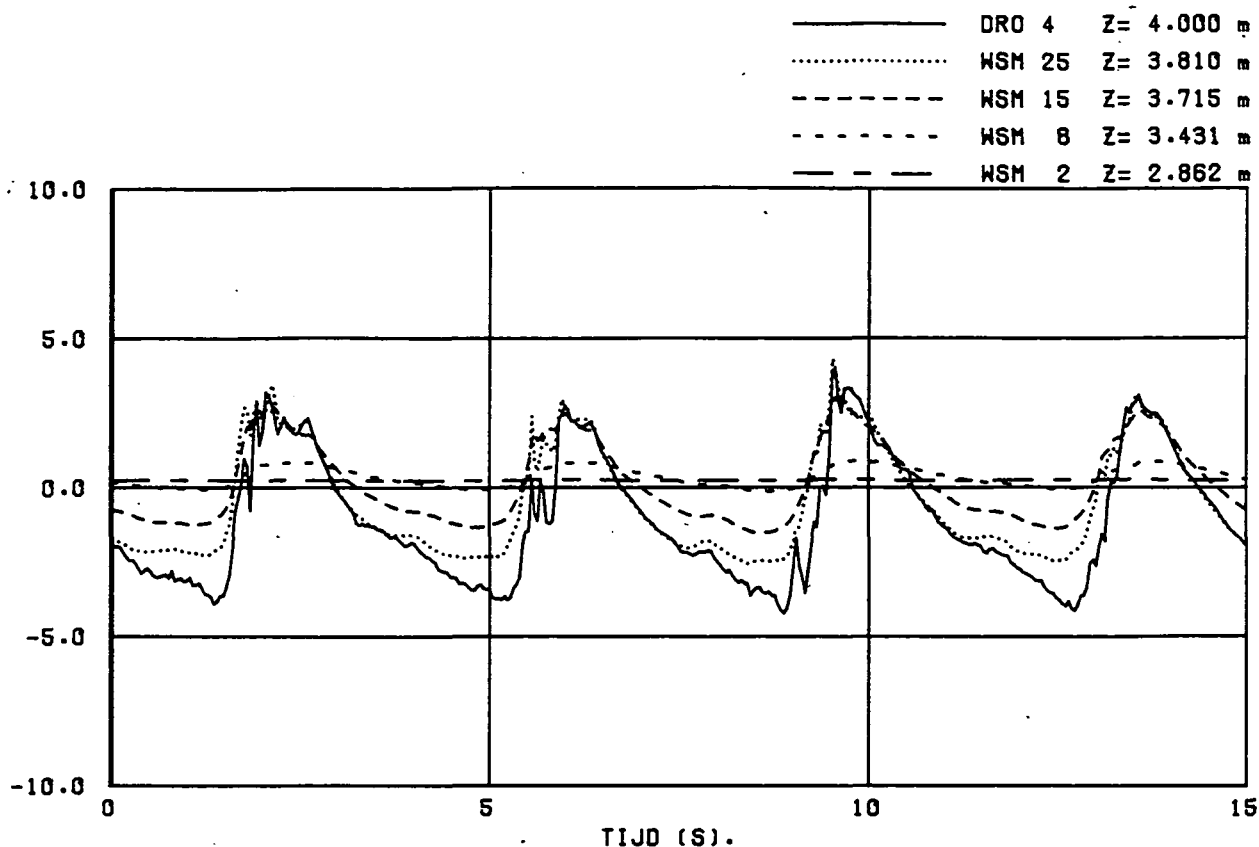
H= 1.054 m T= 3.79 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

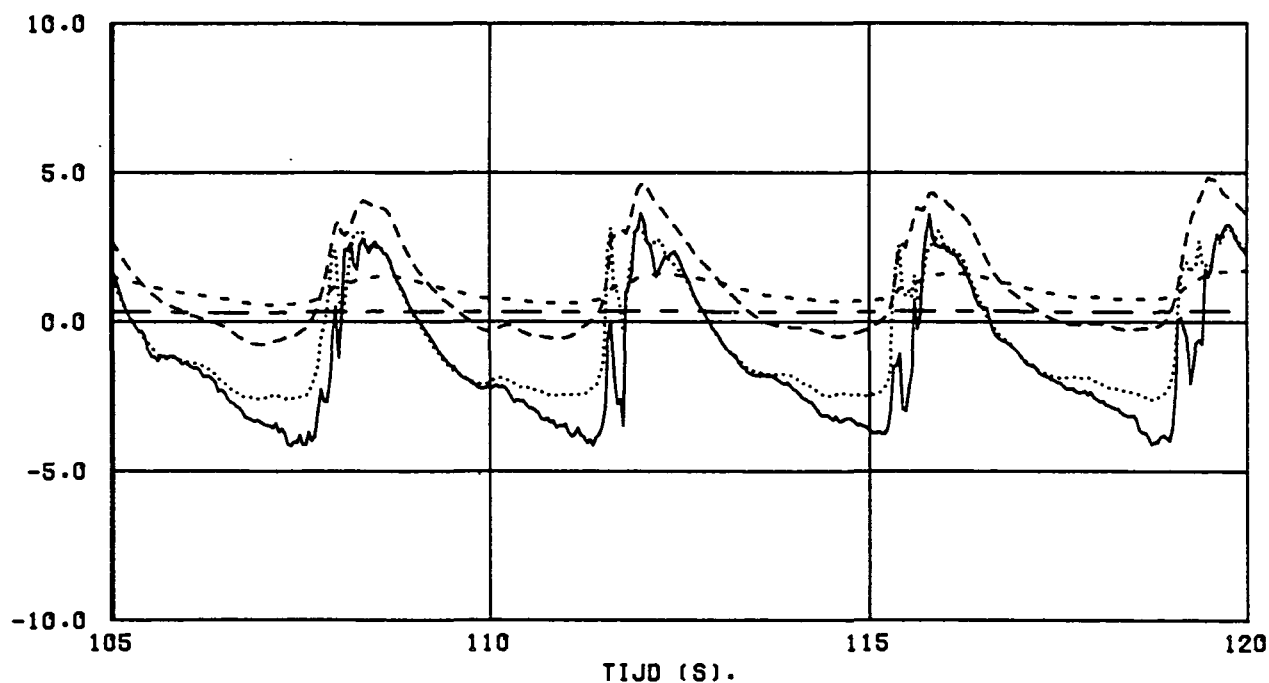
H 0122

FIG.107

WATERSPANNING IN (KN/M²).



WATERSPANNING IN (KN/M²).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.00 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

DGB11

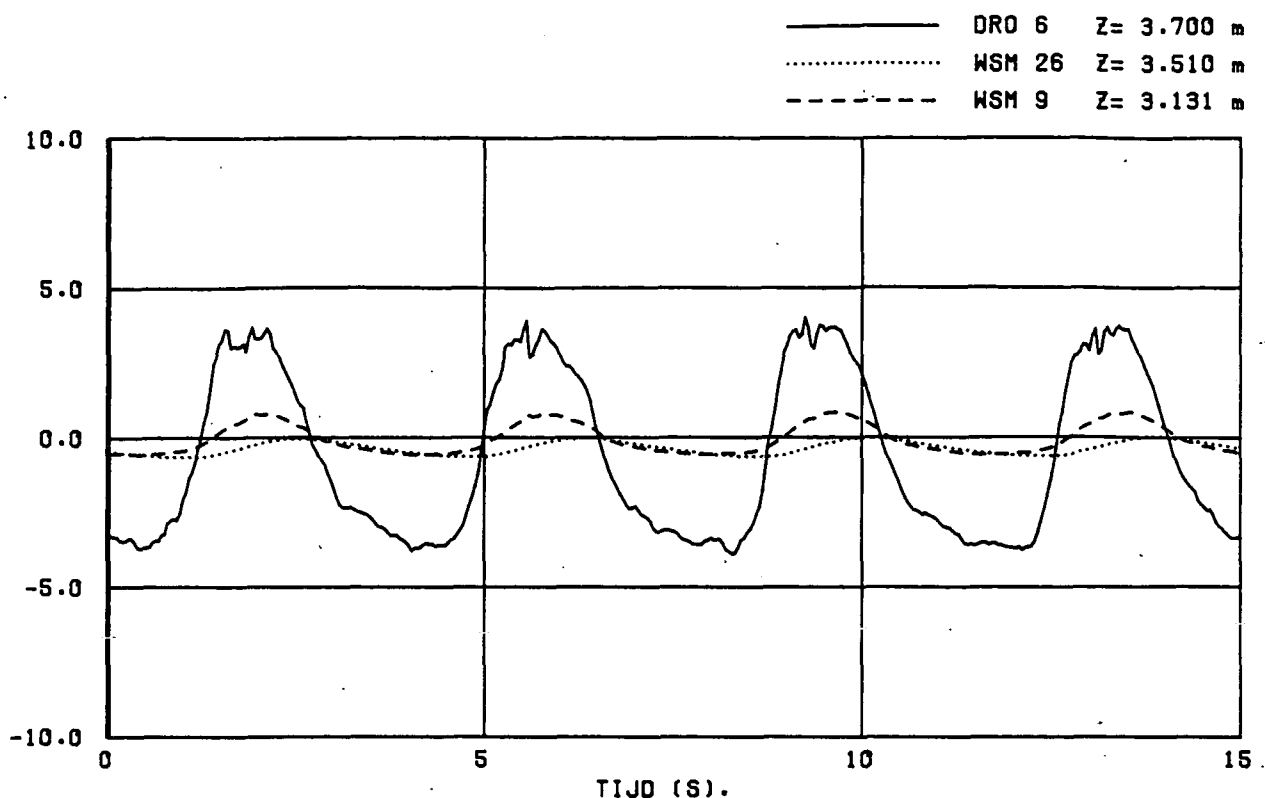
H= 1.054 m T= 3.79 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

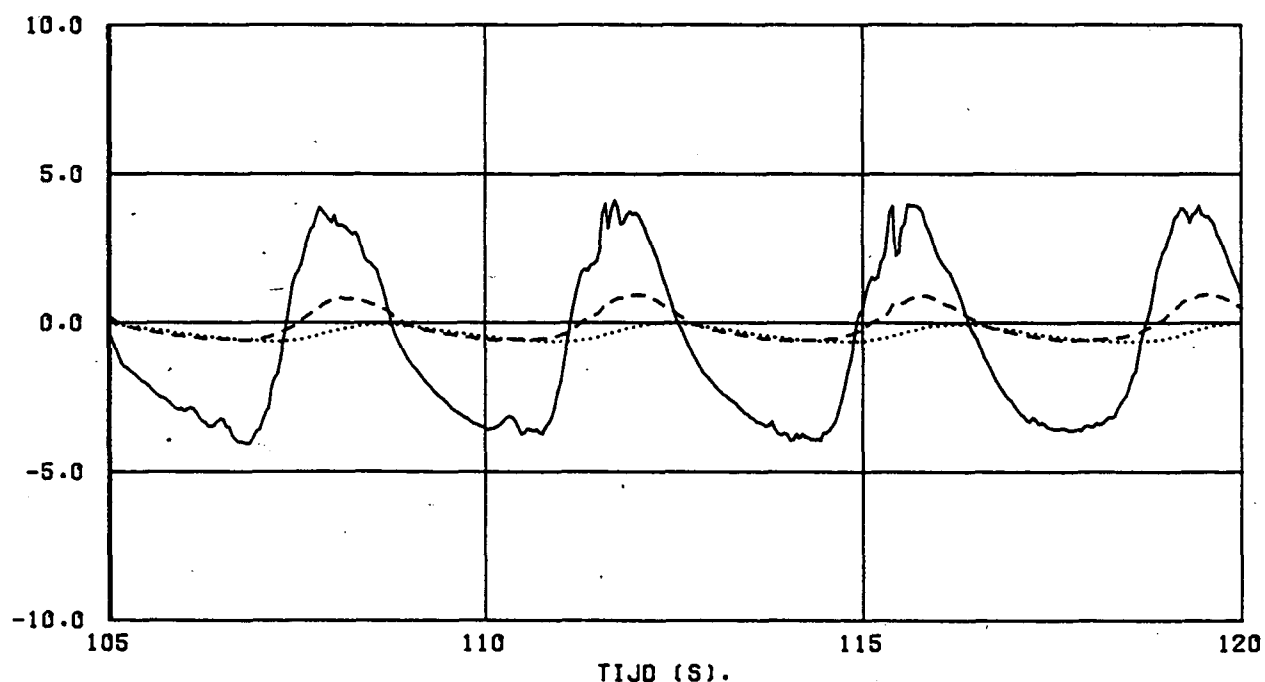
H 0122

FIG. 108

WATERSpanNING IN (KN/M²).



WATERSpanNING IN (KN/M²).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.70 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZÉTTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGB11

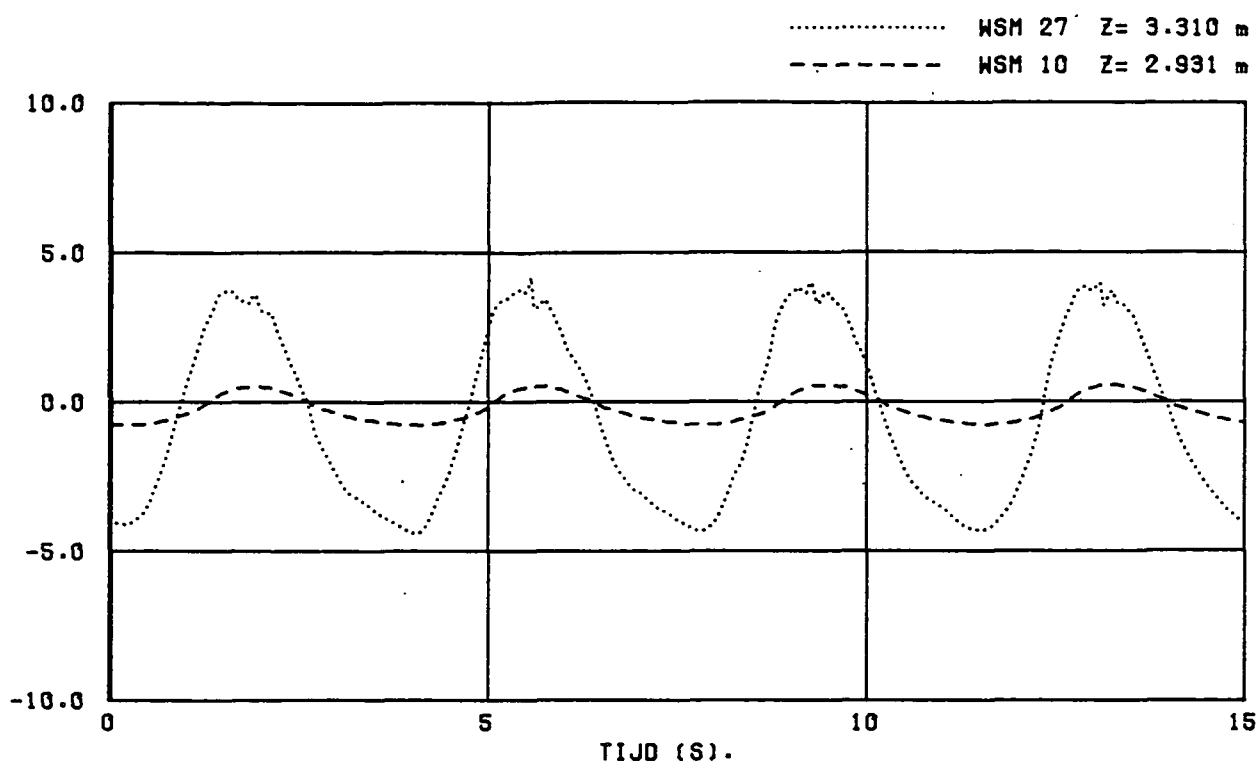
H= 1.054 m T= 3.79 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

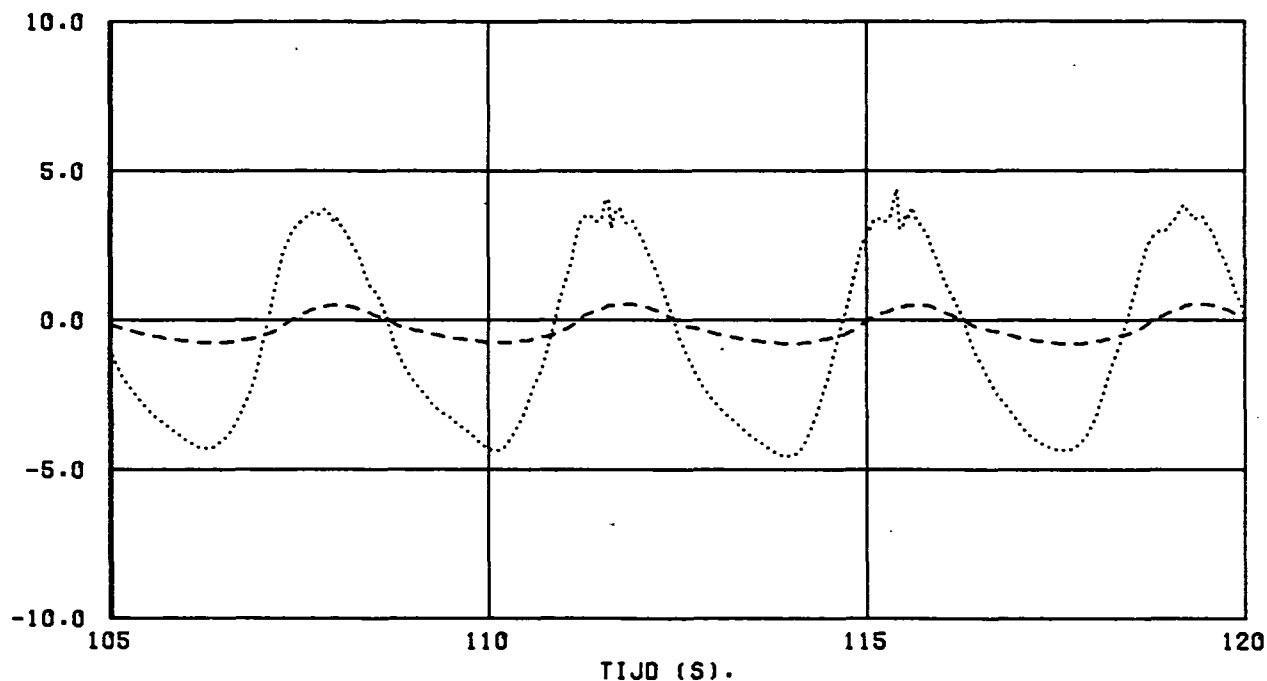
H 0122

FIG.109

WATERSpanning IN (KN/M2).



WATERSpanning IN (KN/M2).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.50 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
 WATERSpanning IN HET ZAND.

DGB11

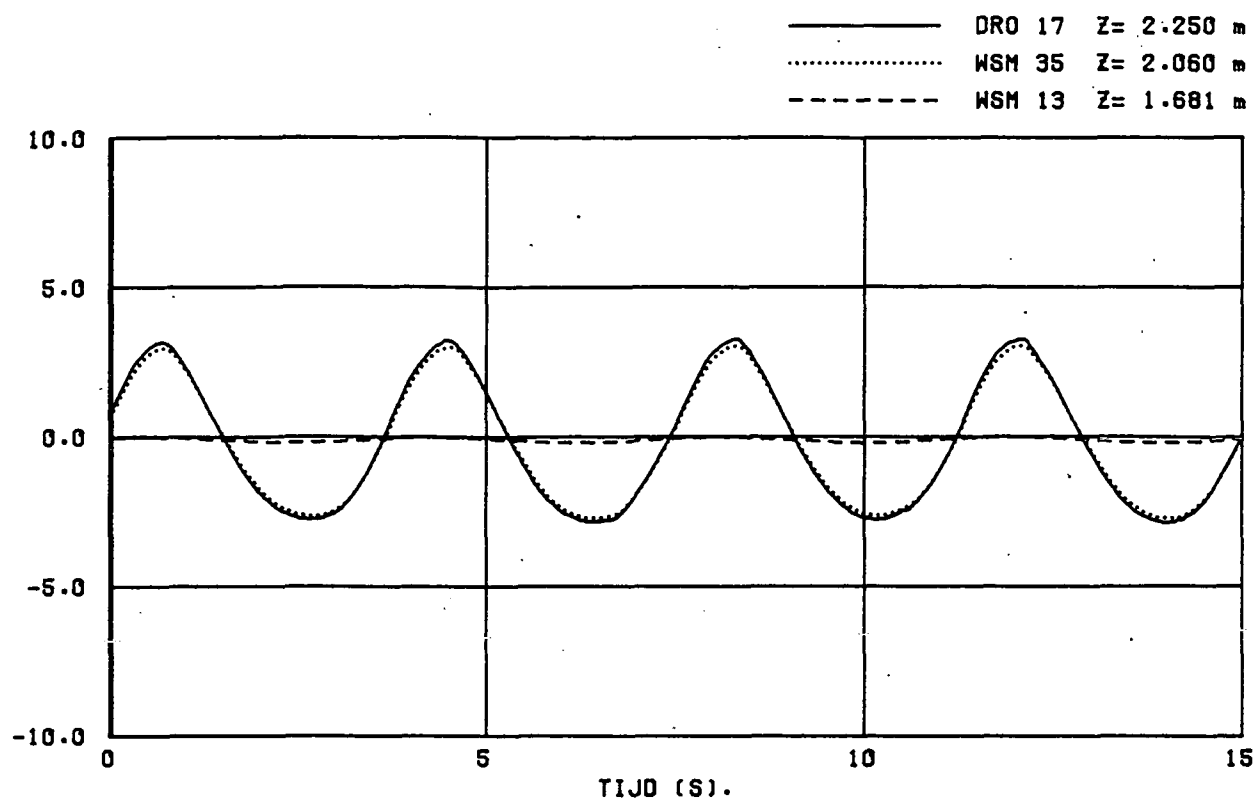
H= 1.054 m T= 3.79 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

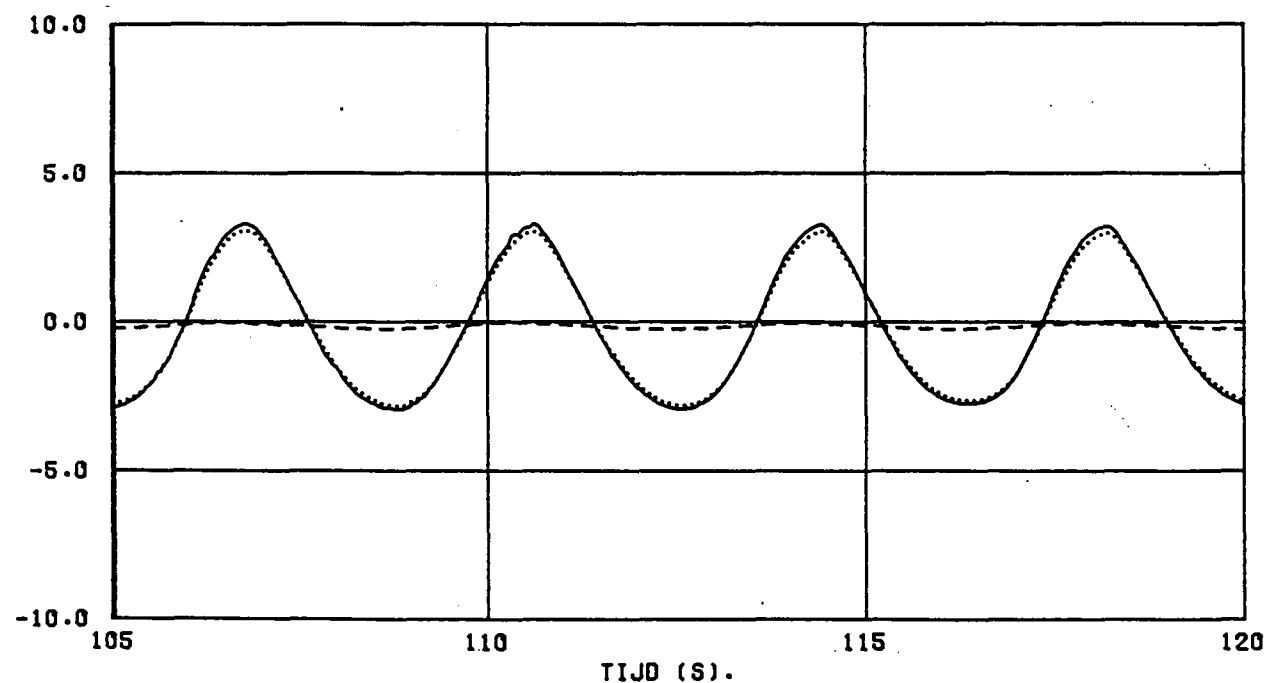
H 0122

FIG.110

WATERSpanNING IN (KN/M²).



WATERSpanNING IN (KN/M²).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 2.25 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGB11

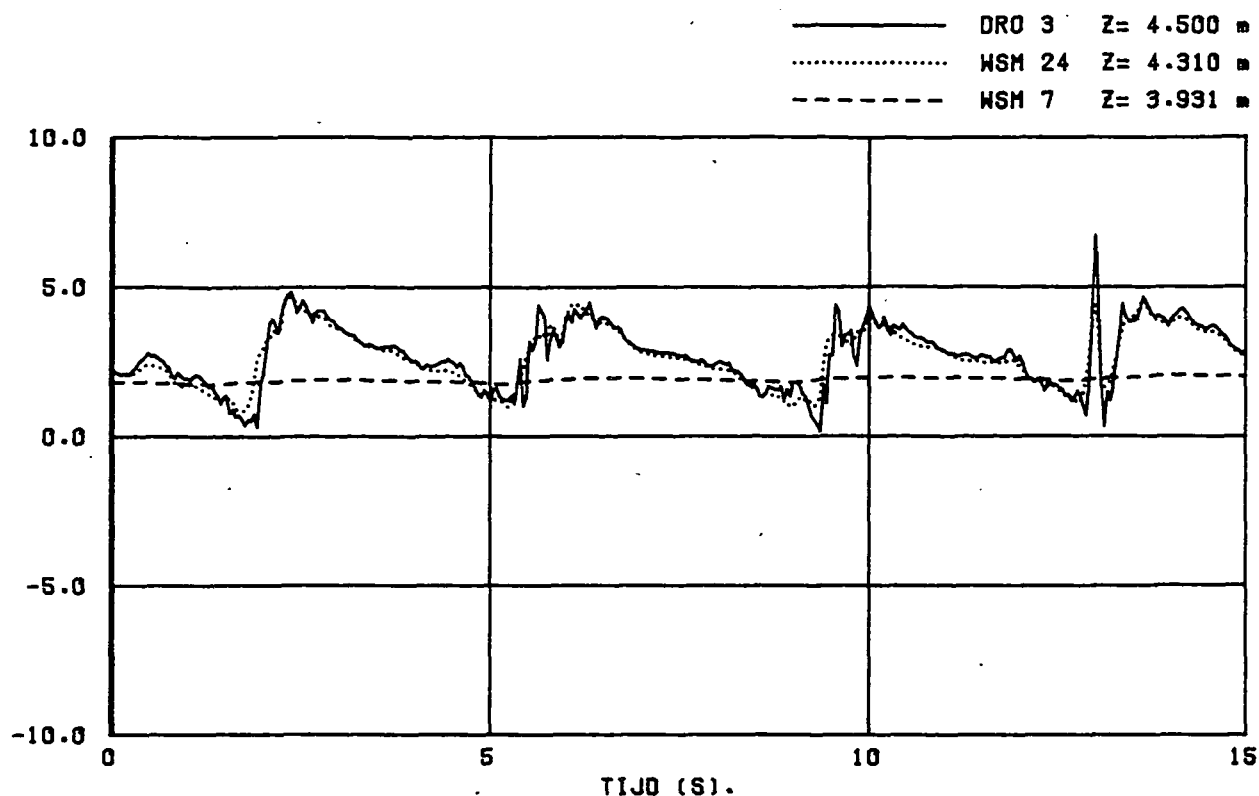
H= 1.054 m T= 3.79 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

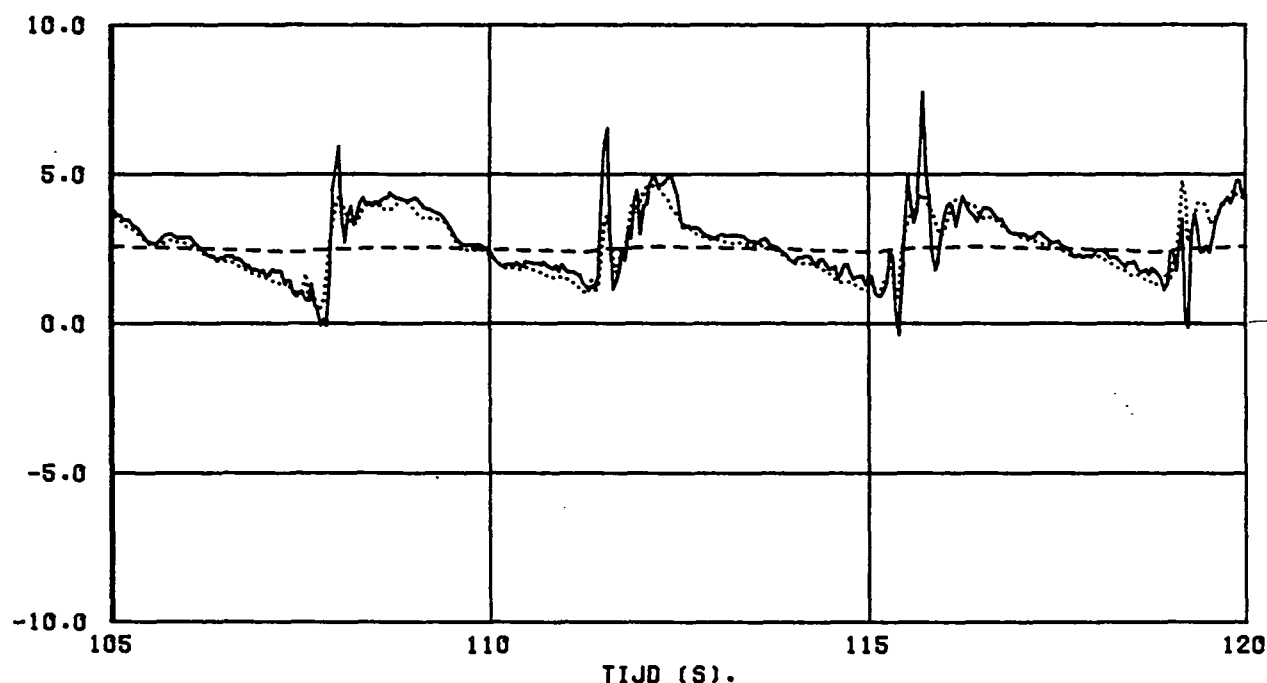
H 0122

FIG. 111

WATERSpanNING IN (KN/M2).



WATERSpanNING IN (KN/M2).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.50 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGB13

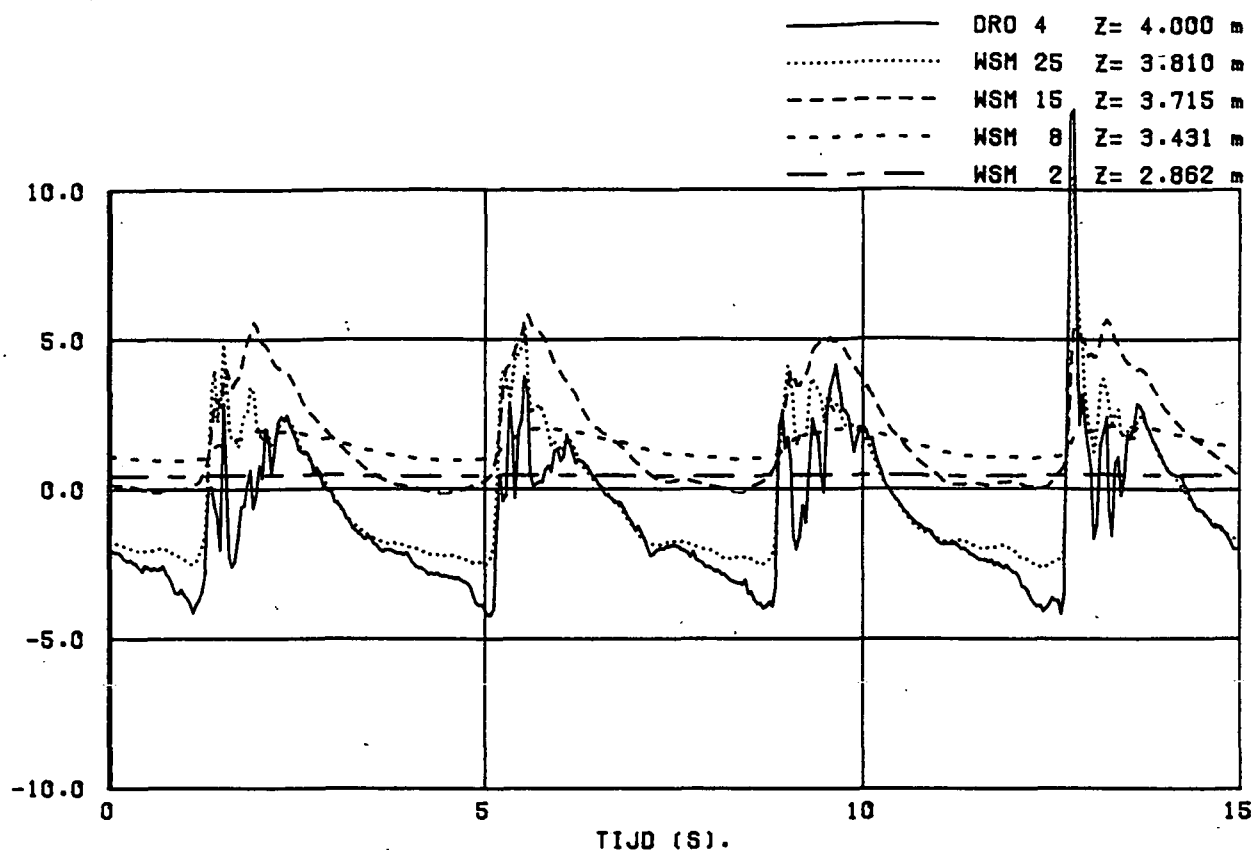
H= 1.231 m T= 3.79 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

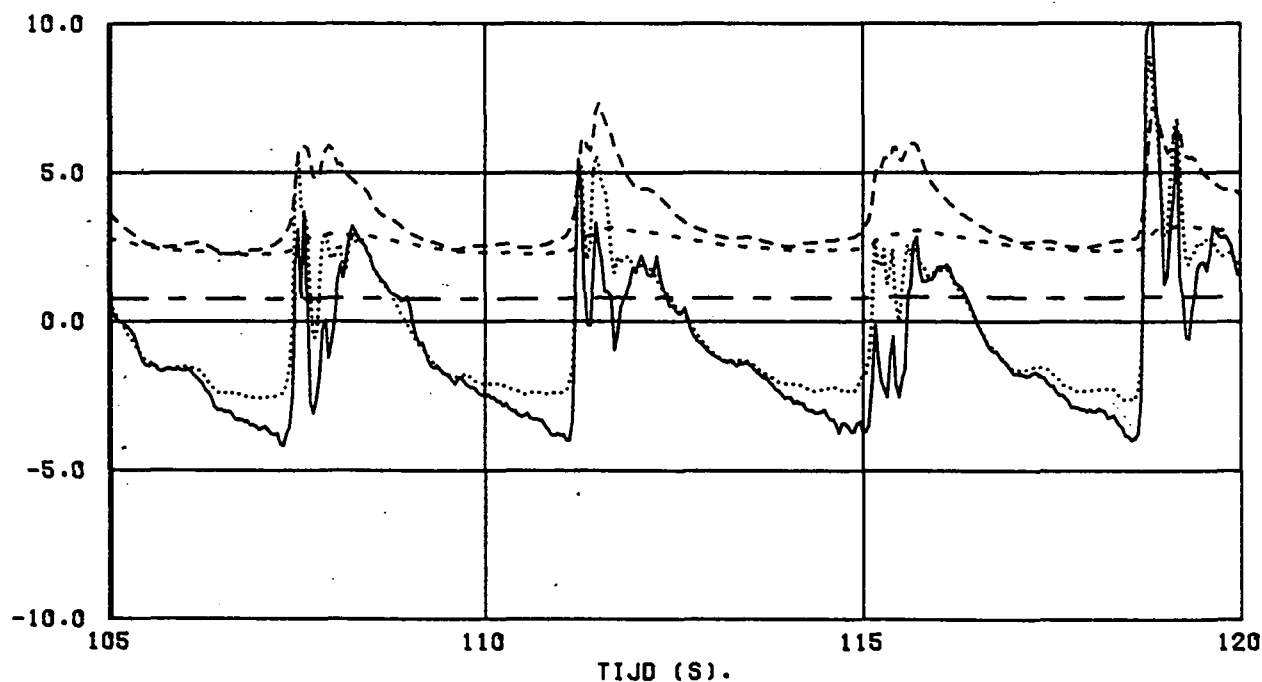
H 0122

FIG. 112

WATERSPANNING IN (KN/M2).



WATERSPANNING IN (KN/M2).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.00 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

DGB13

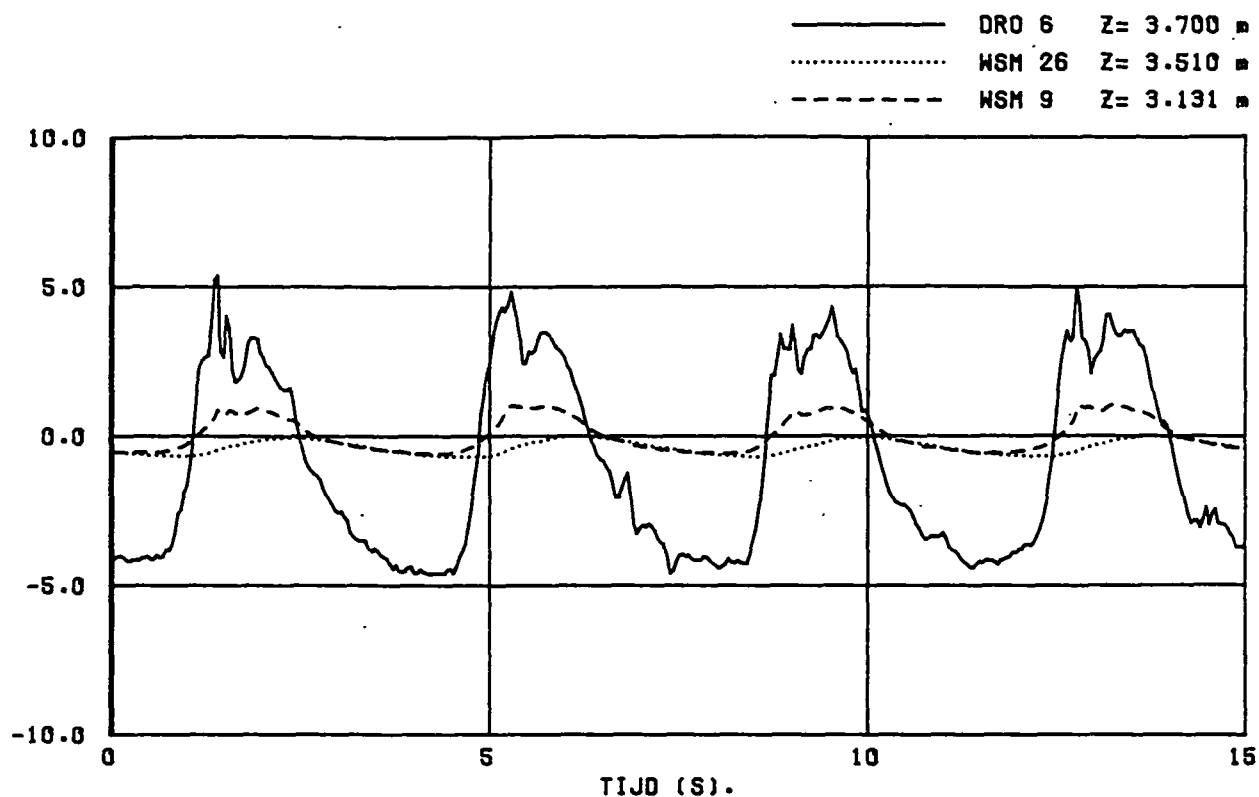
H= 1.231 m T= 3.79 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

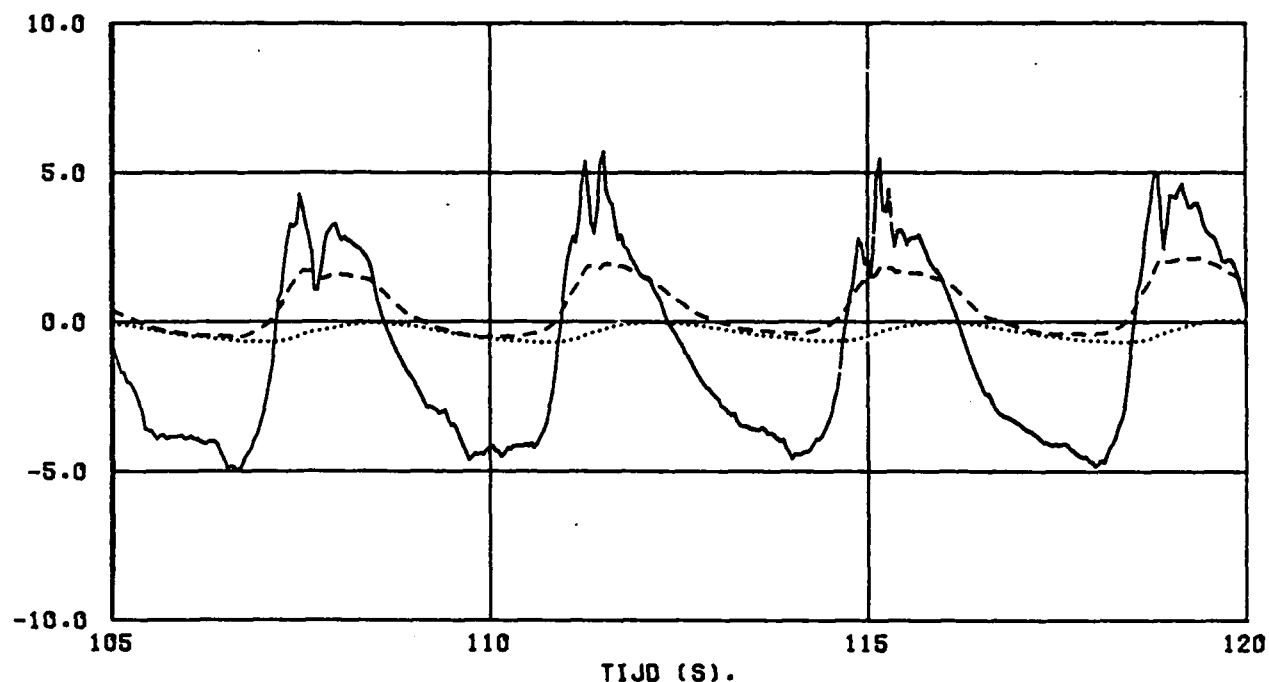
H 0122

FIG. 113

WATERSpanning IN (KN/M²).



WATERSpanning IN (KN/M²).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.70 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanning IN HET ZAND.

DGB13

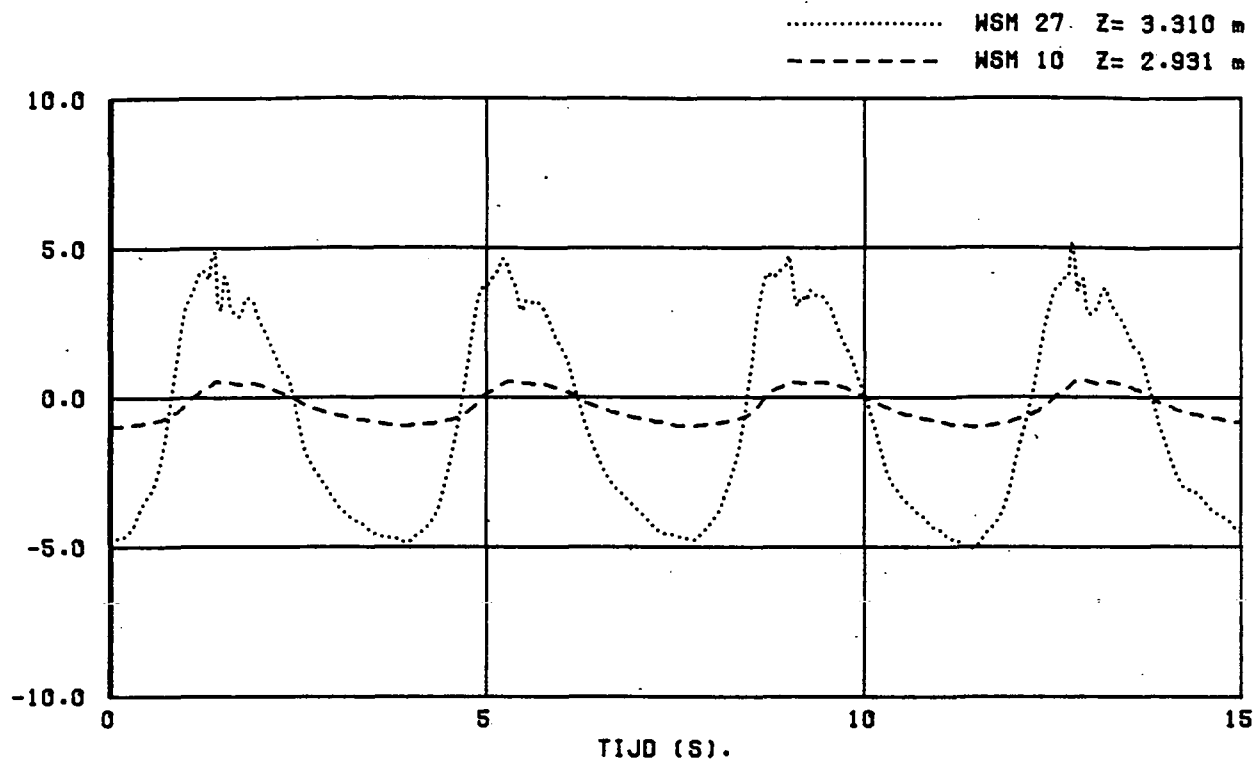
H= 1.231 m T= 3.79 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

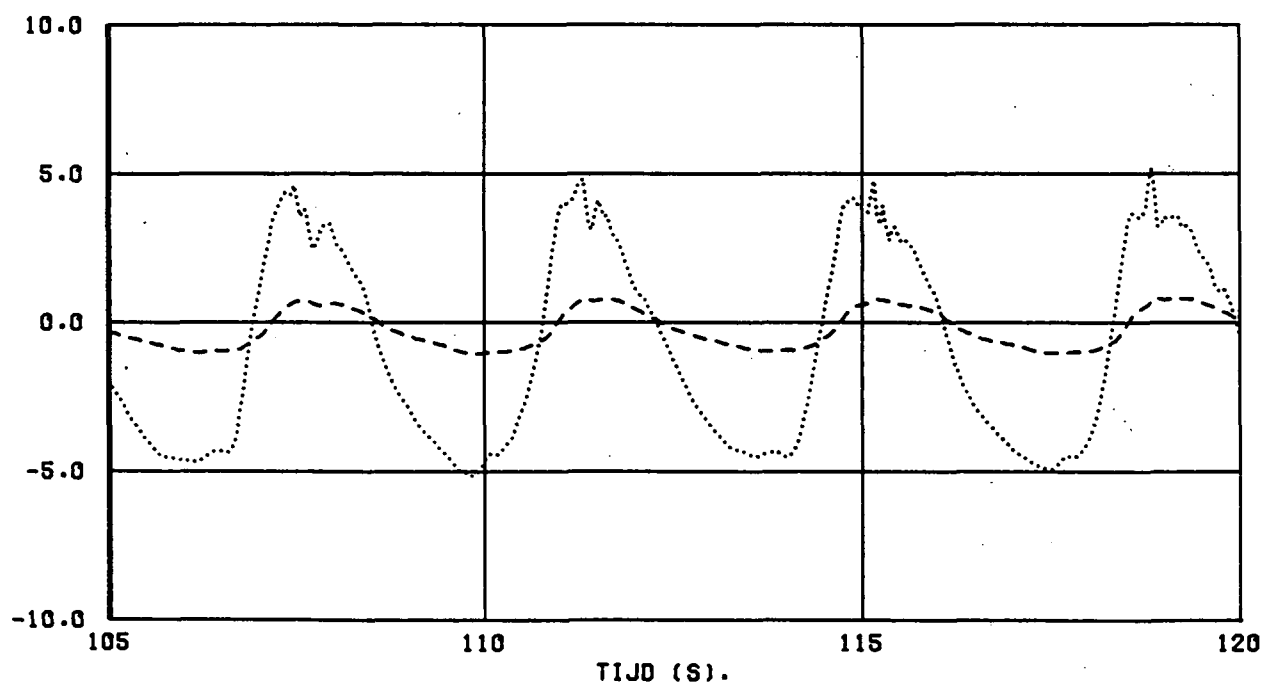
H 0122

FIG. 114

WATERSpanNING IN (KN/M²).



WATERSpanNING IN (KN/M²).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.50 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGB13

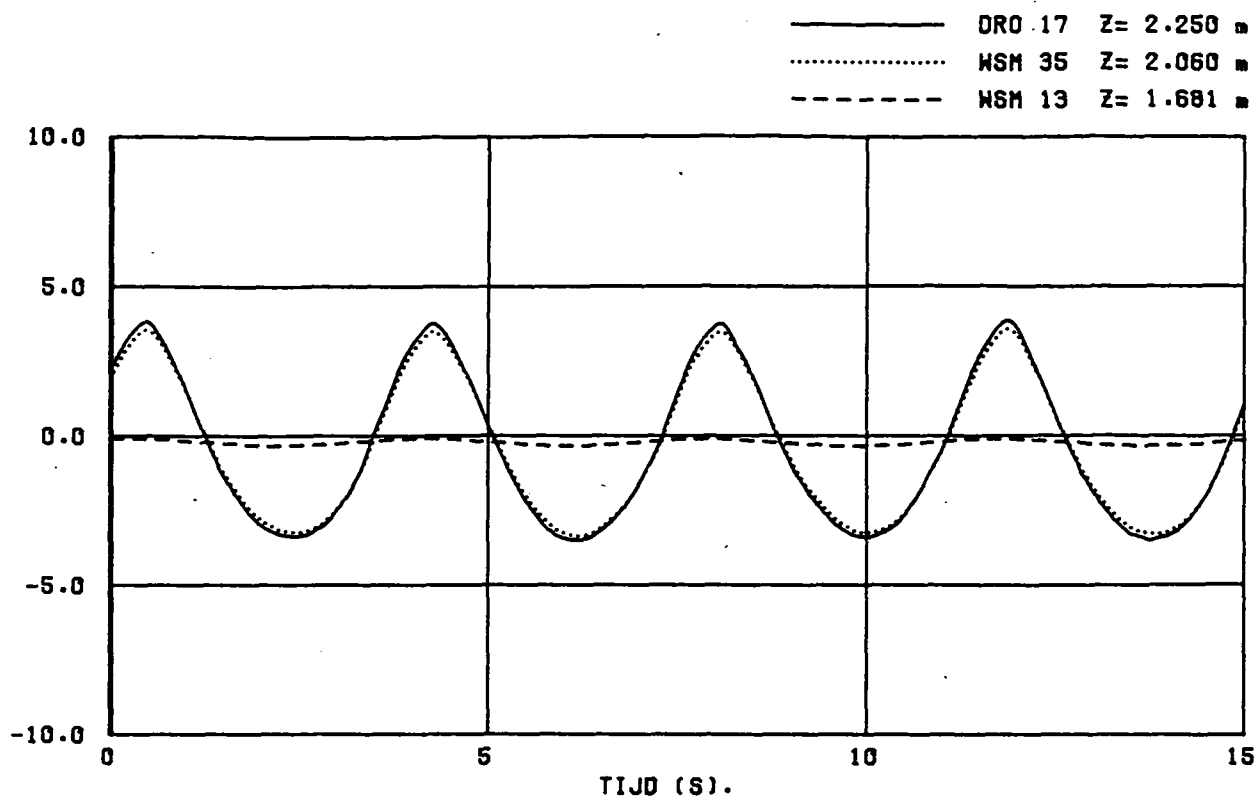
H= 1.231 m T= 3.79 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

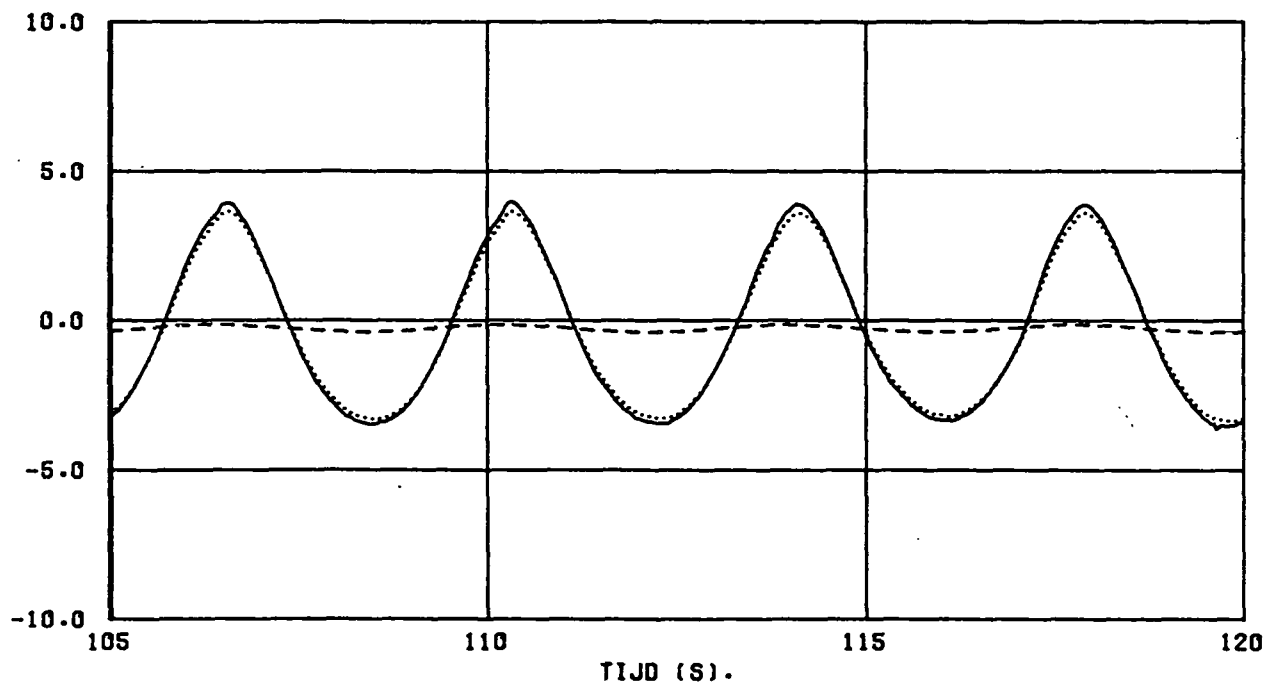
H 0122

FIG.115

WATERSPANNING IN (KN/M²).



WATERSPANNING IN (KN/M²).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 2.25 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

DGB13

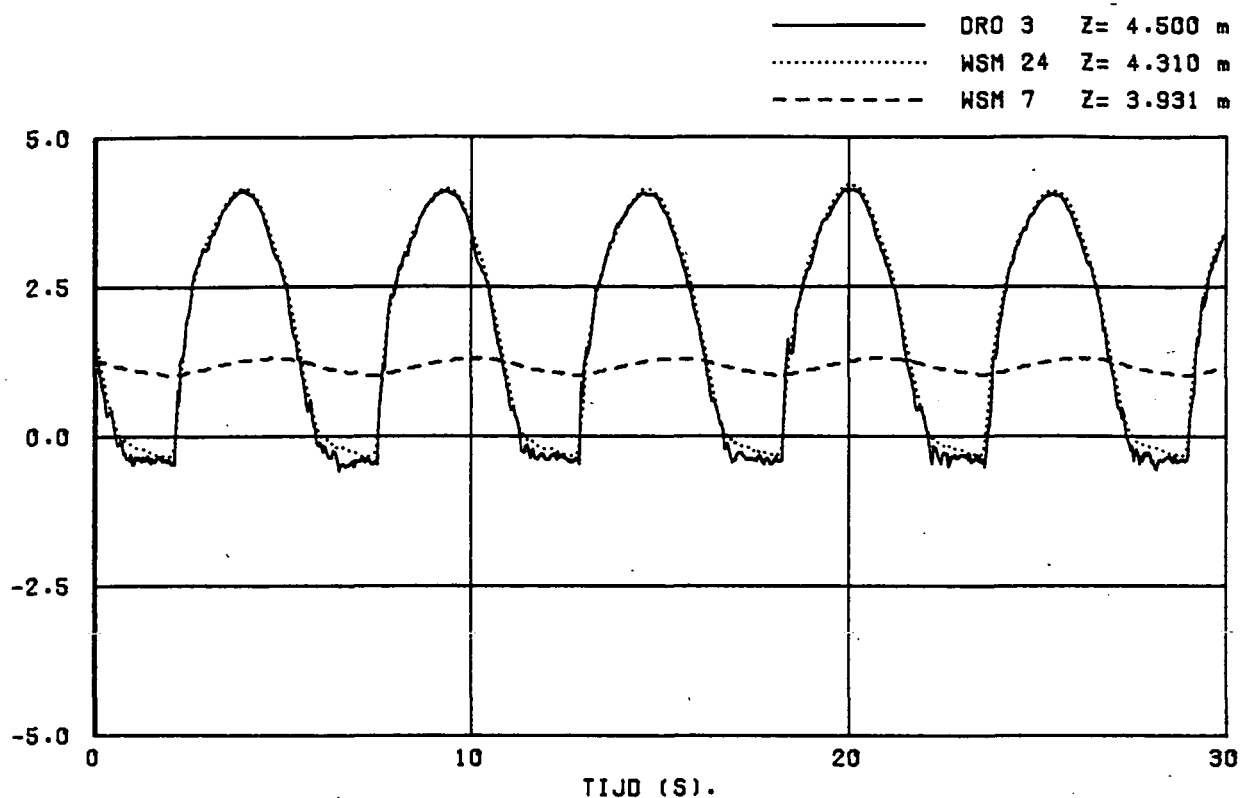
H= 1.231 m T= 3.79 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

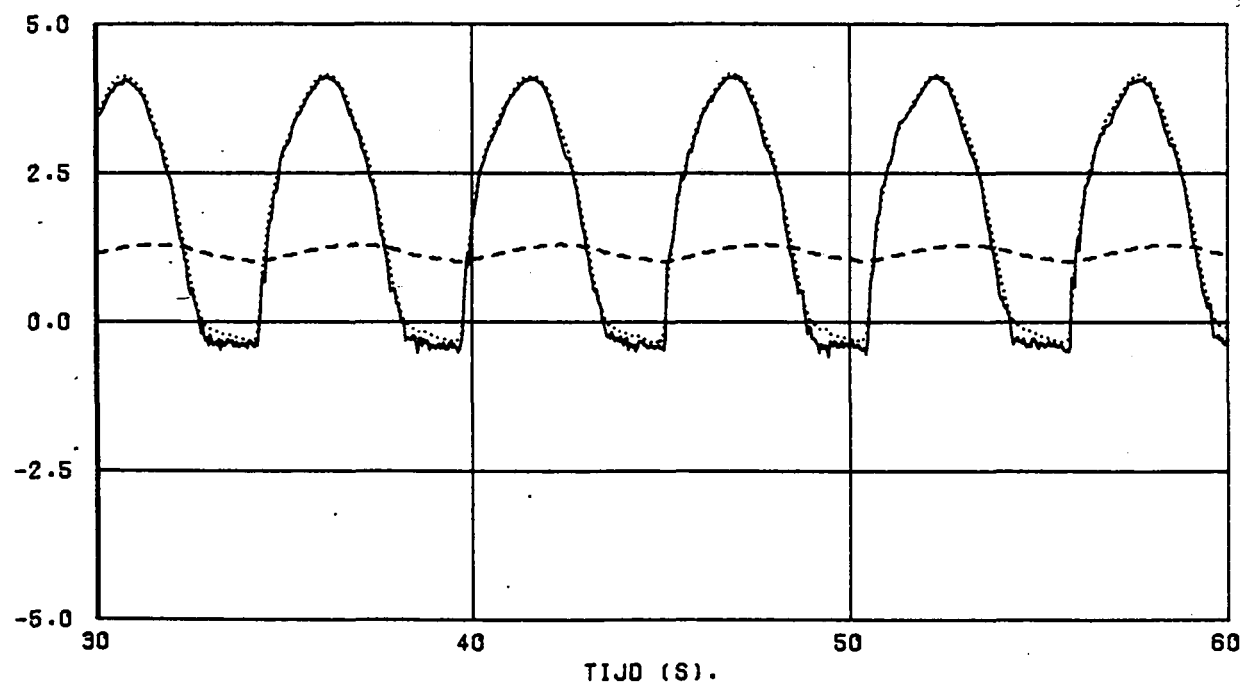
H 0122

FIG.116

WATERSPANNING IN (KN/M²).



WATERSPANNING IN (KN/M²).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.50 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

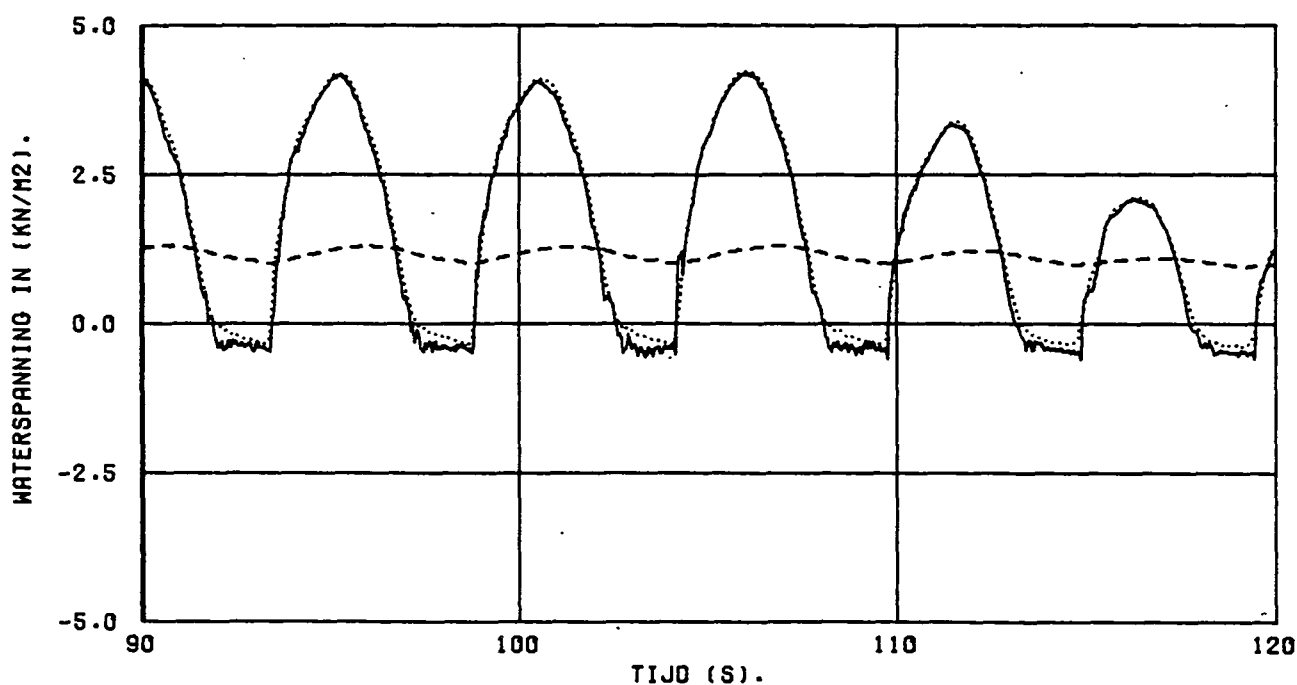
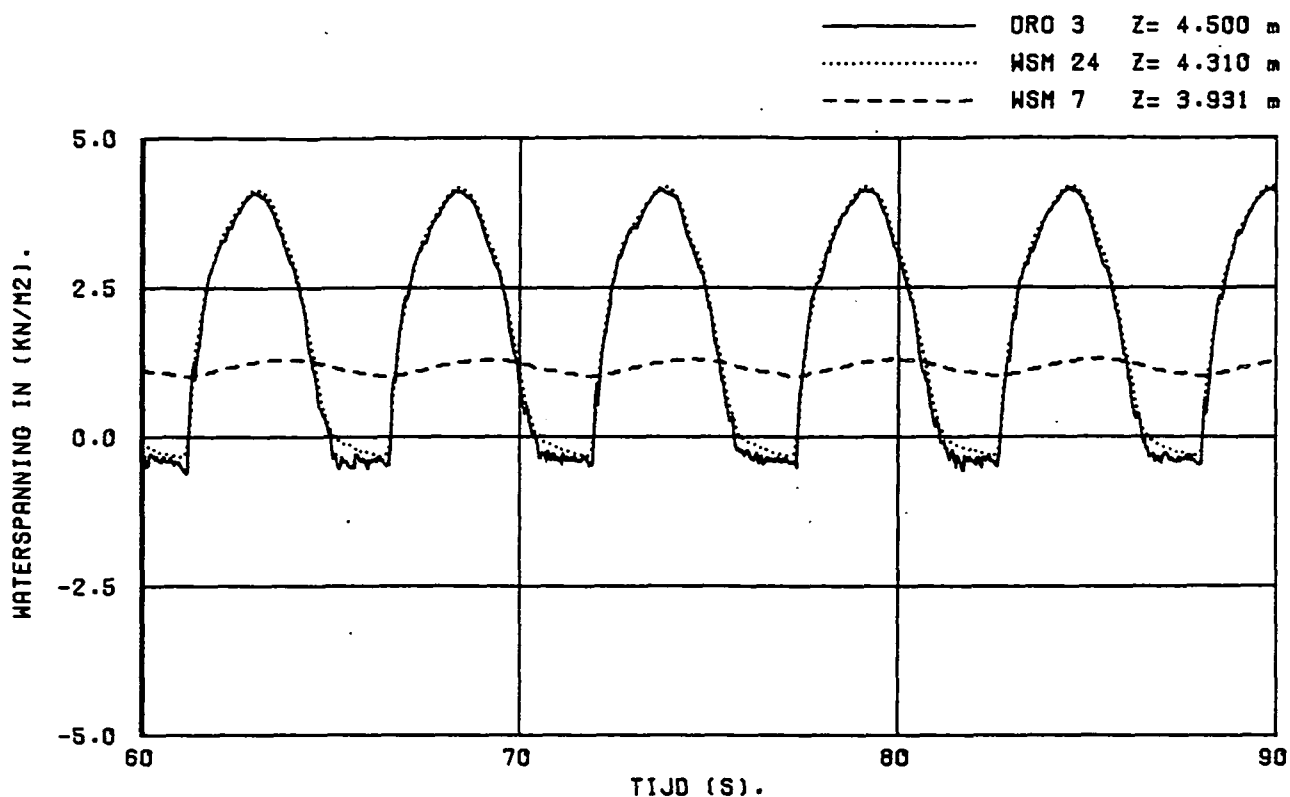
DGB16

H= 0.468 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 117



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.50 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

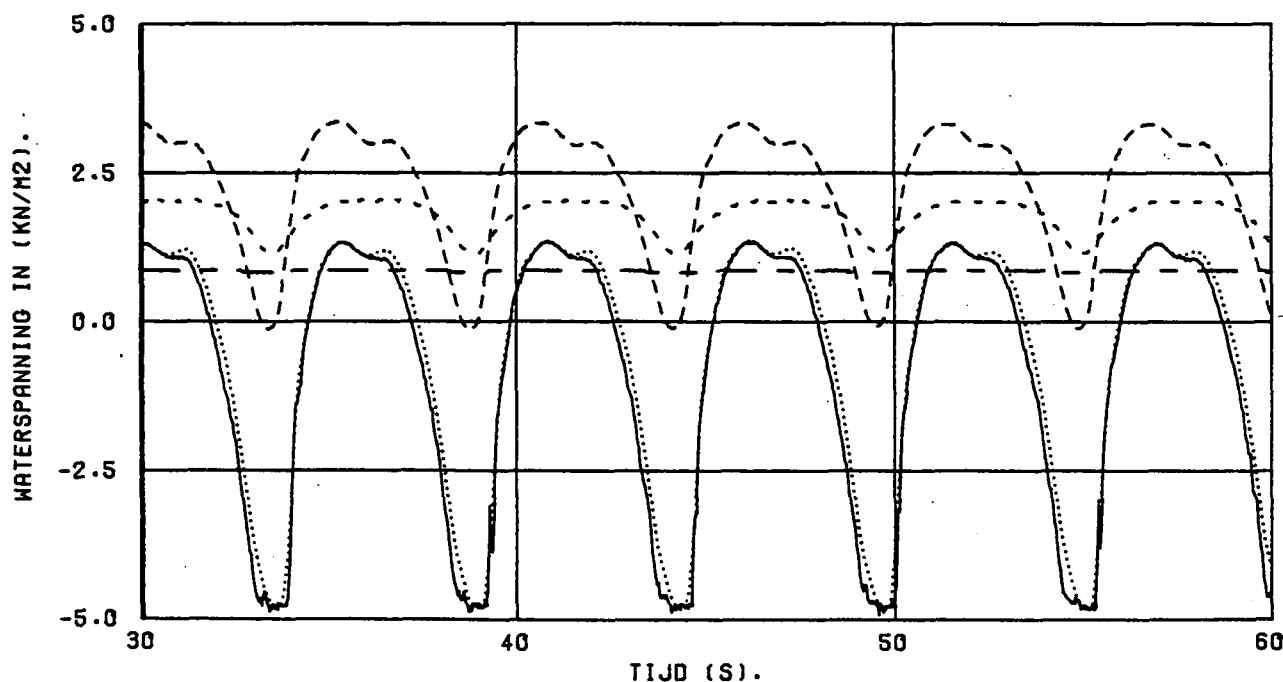
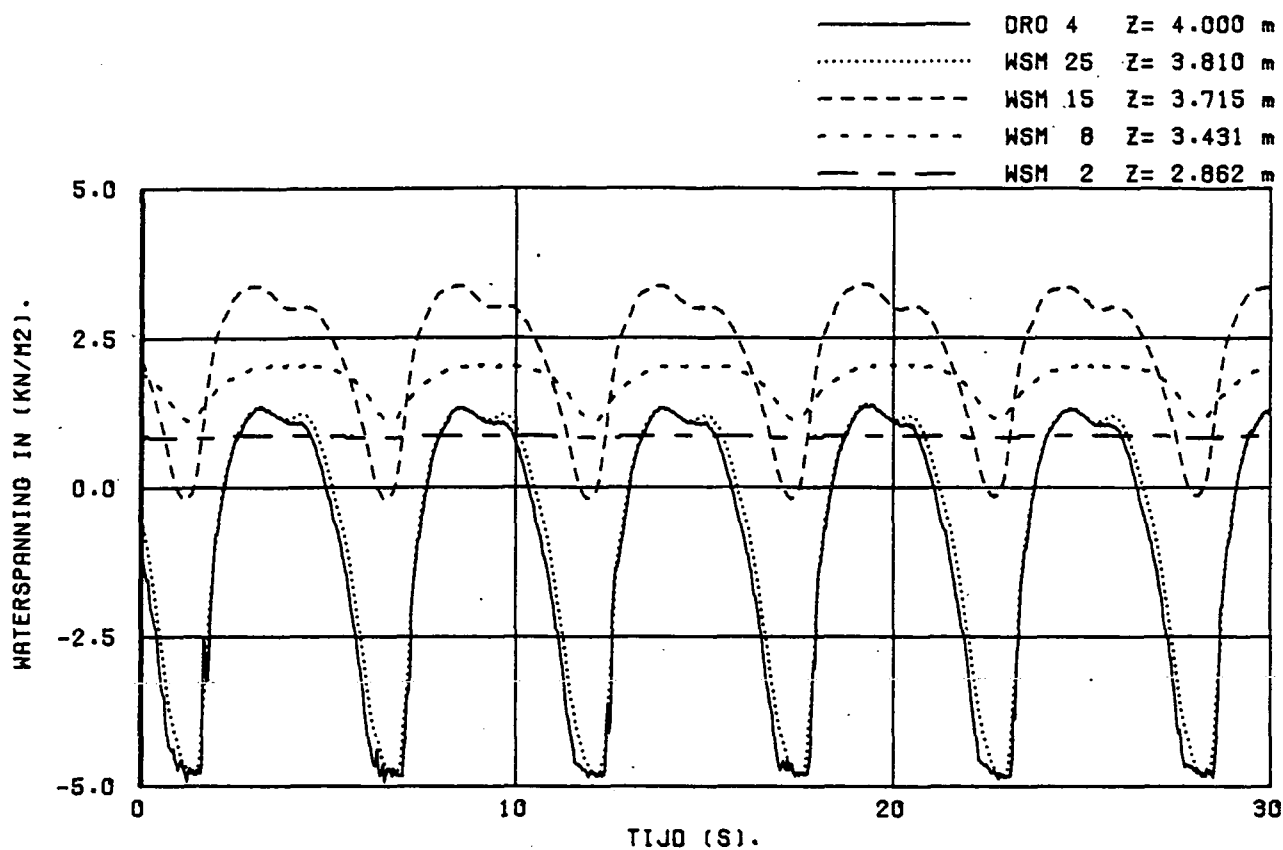
DGB16

H= 0.468 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG.118



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.00 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

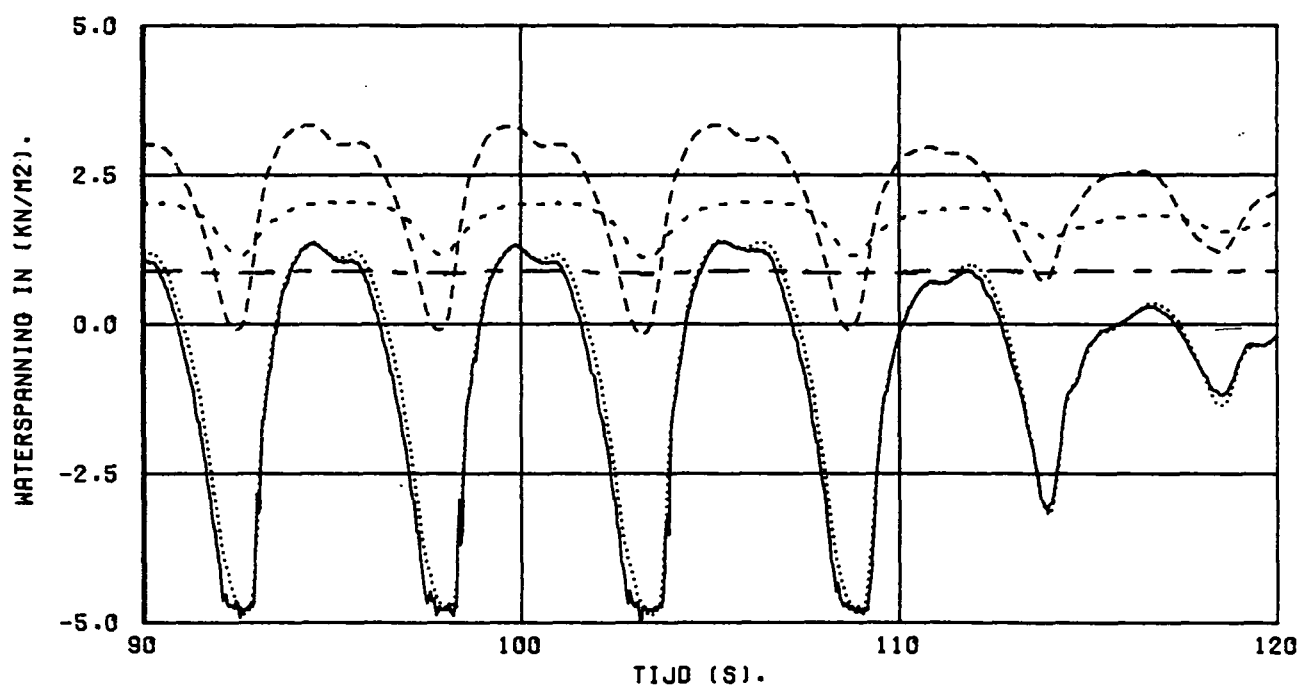
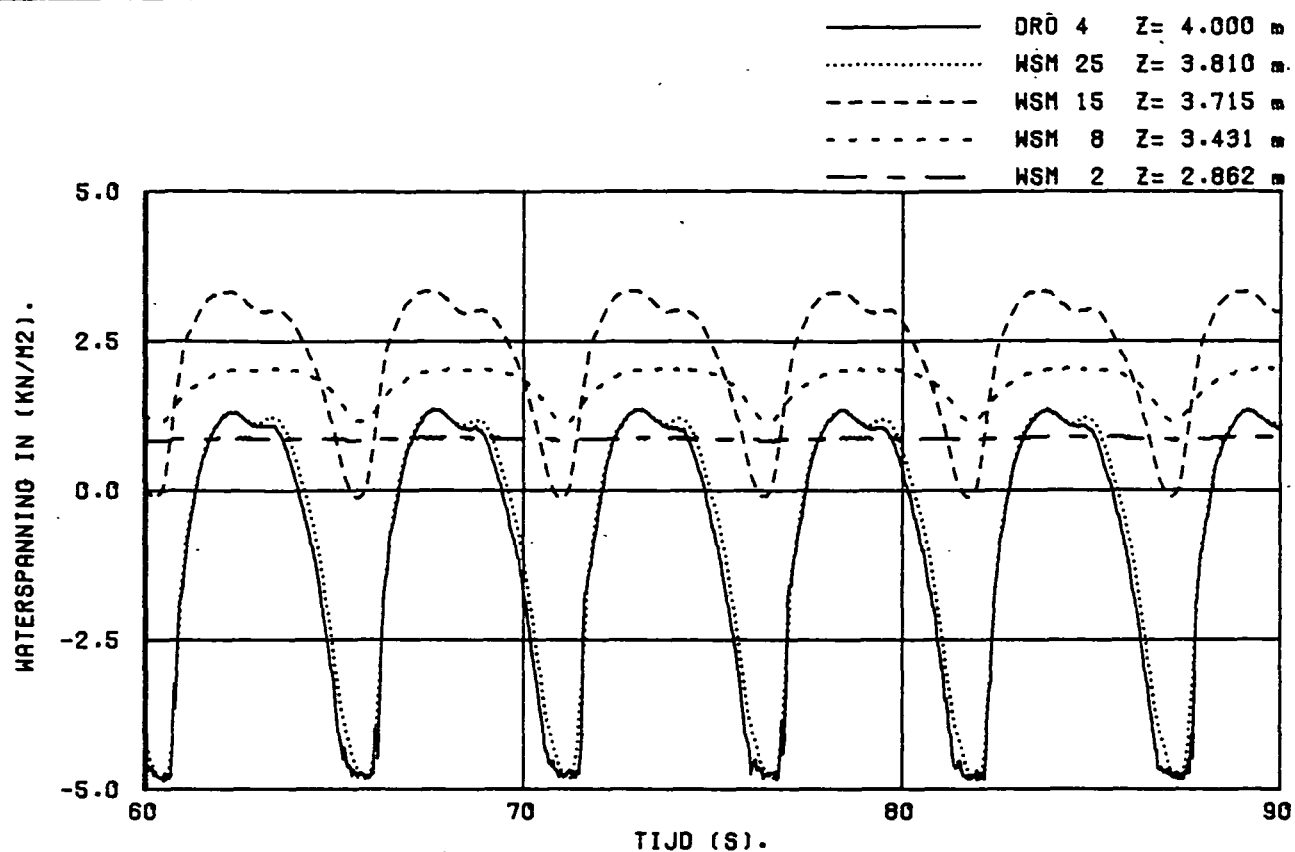
DGB16

H= 0.468 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 119



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.00 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

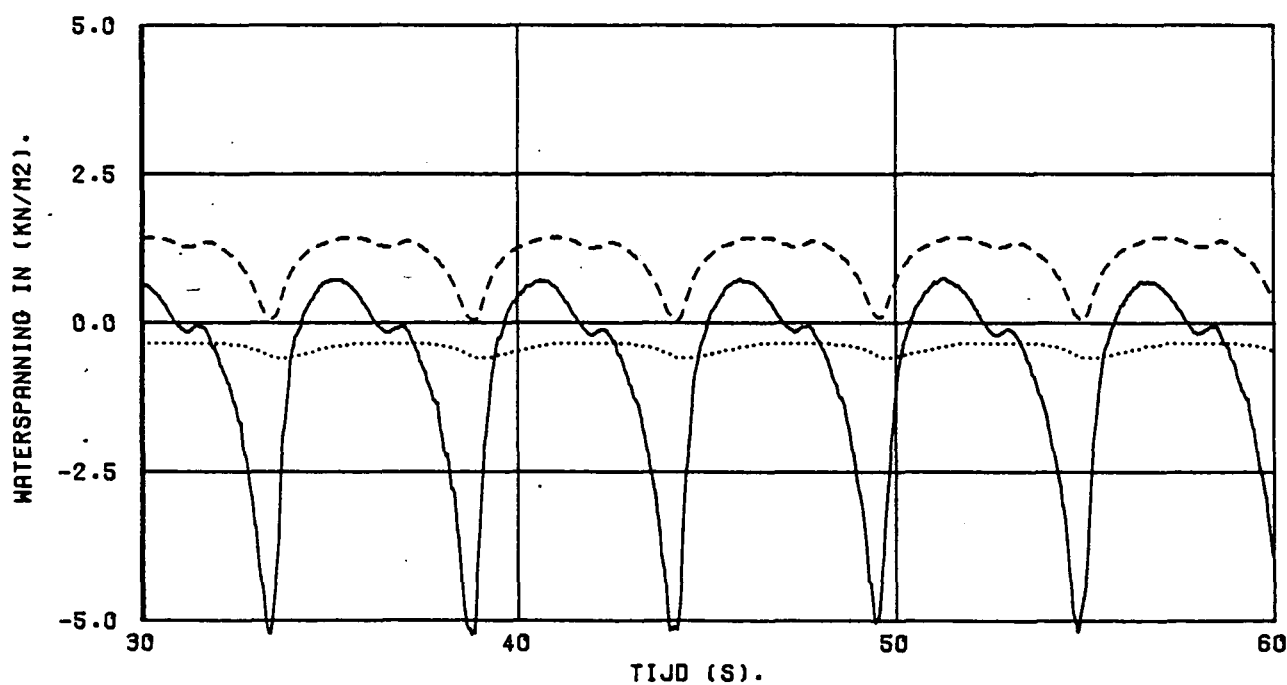
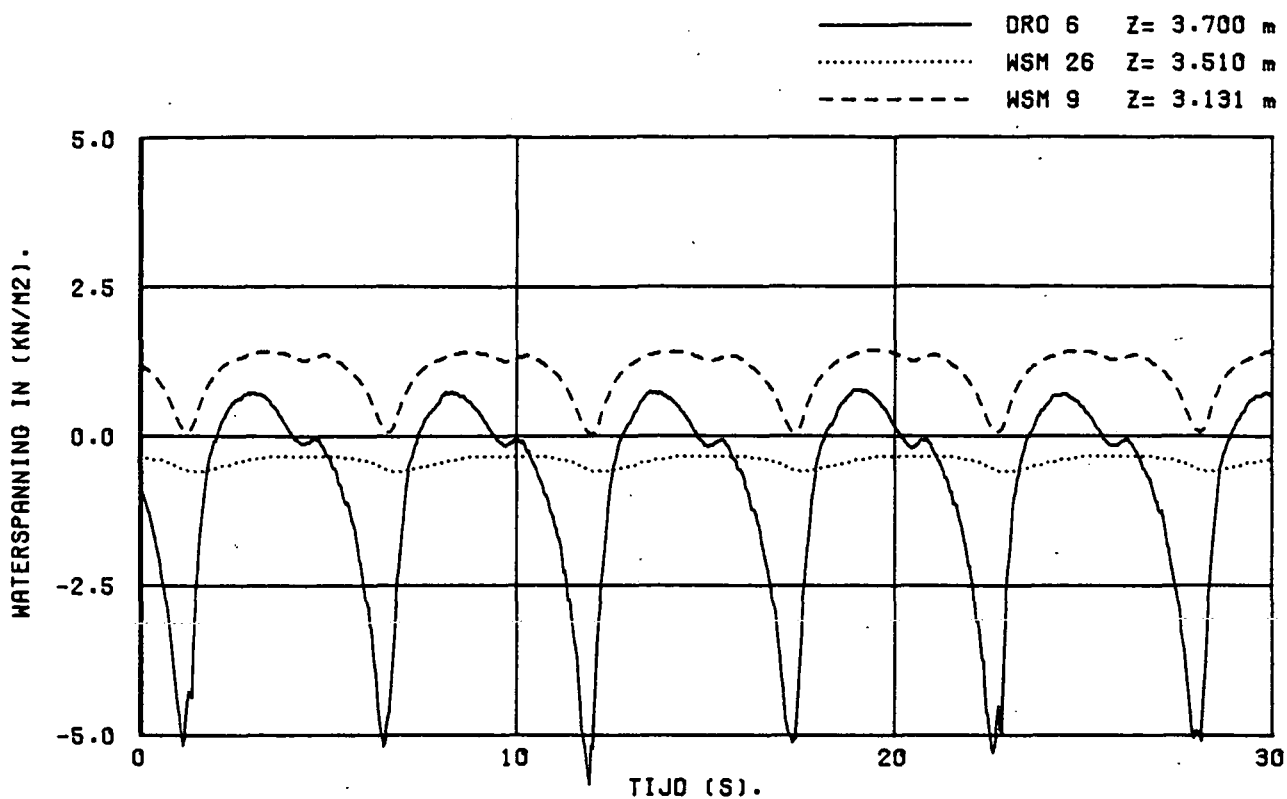
DGB16

H= 0.468 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 120



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.70 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

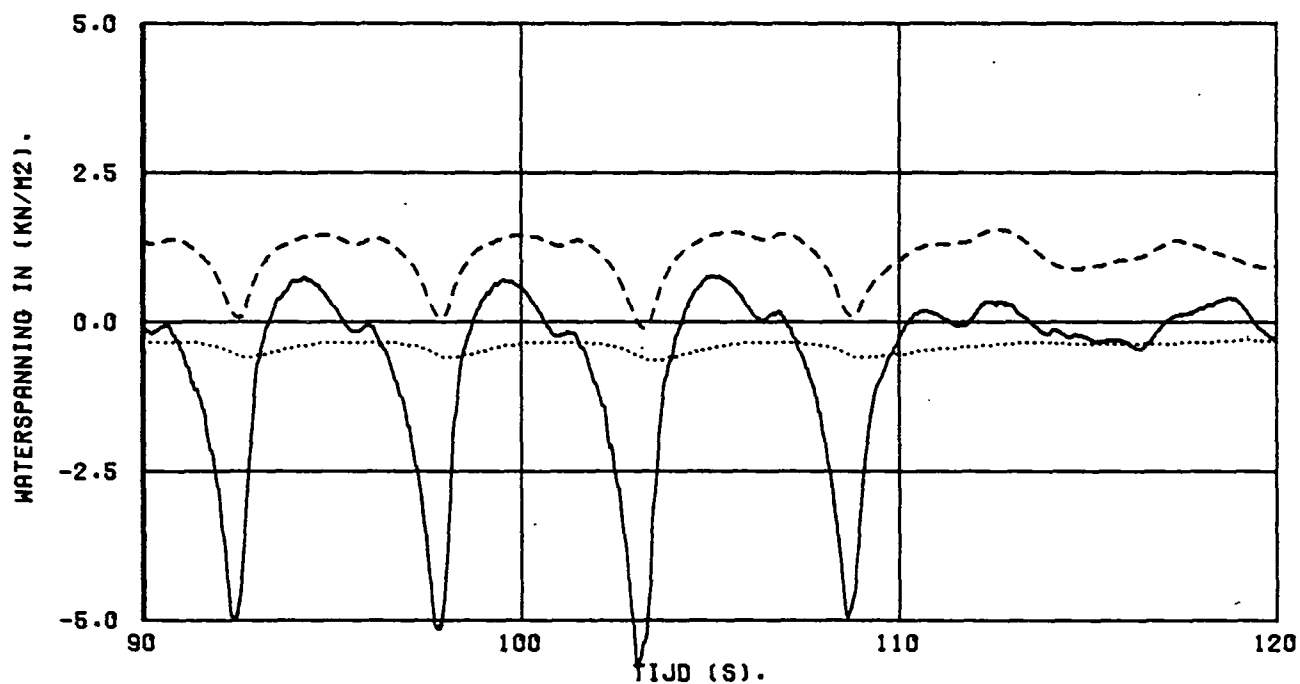
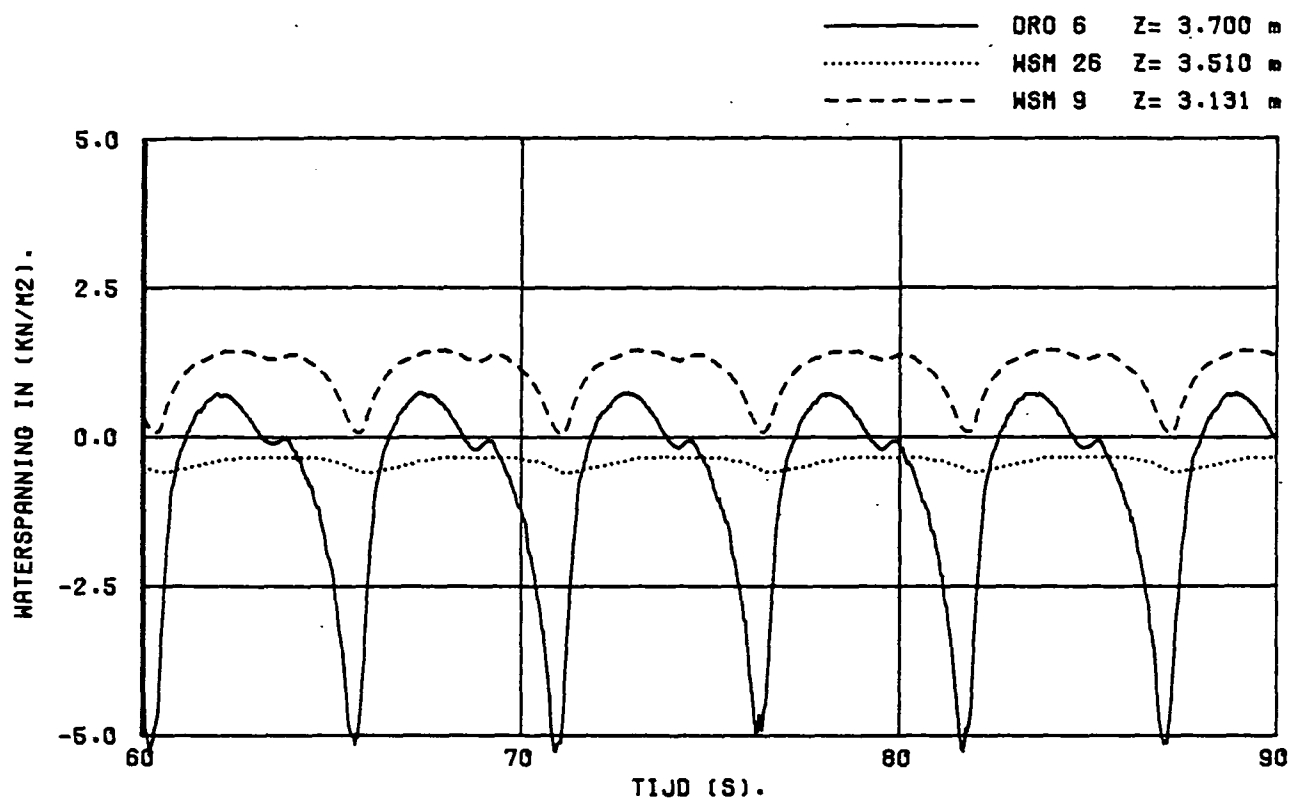
DGB16

H= 0.468 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 121



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.70 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGB16

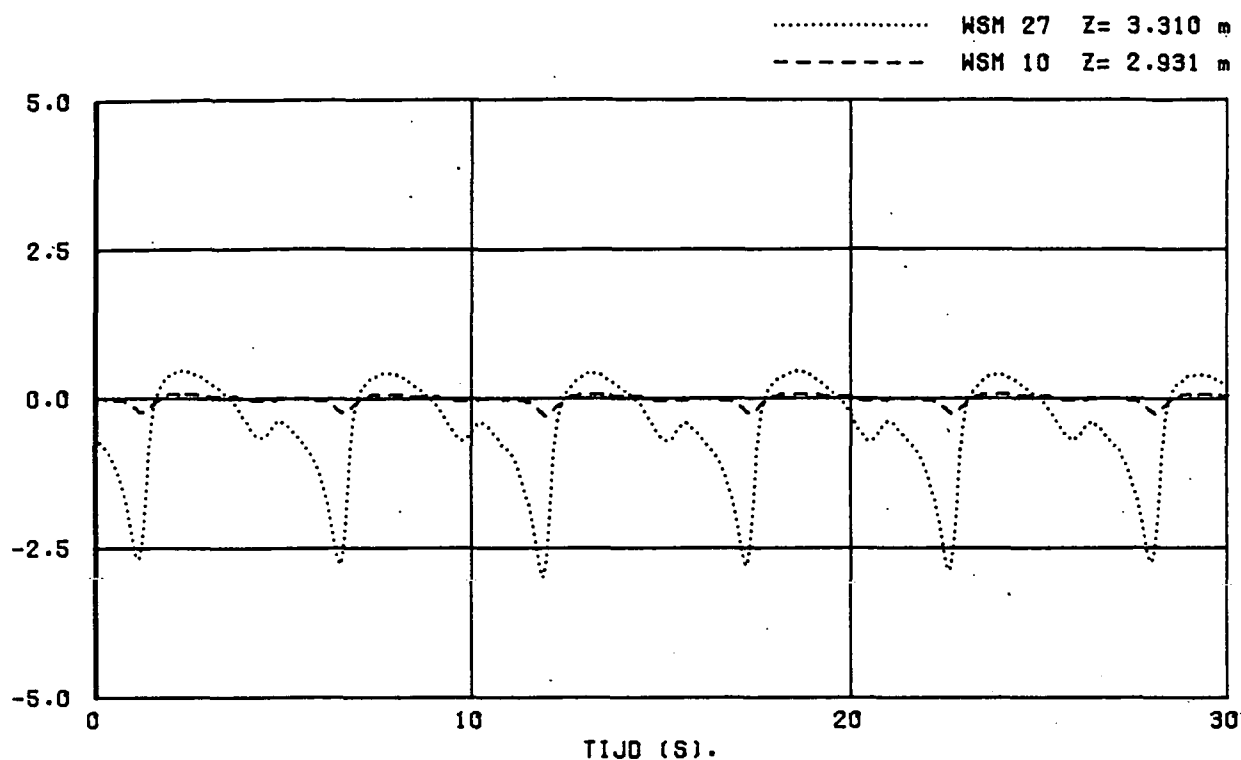
H= 0.468 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

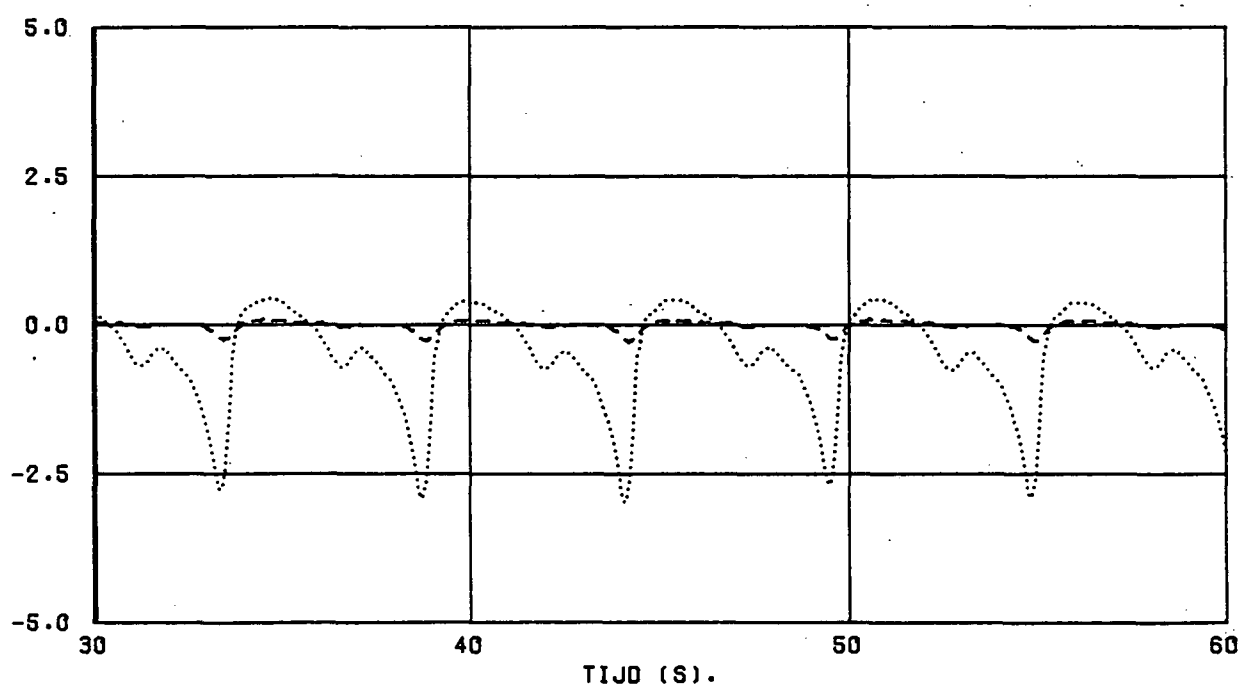
H 0122

FIG. 122

WATERSPANNING IN (KN/M²).



WATERSPANNING IN (KN/M²).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.50 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
 WATERSPANNING IN HET ZAND.

DGB16

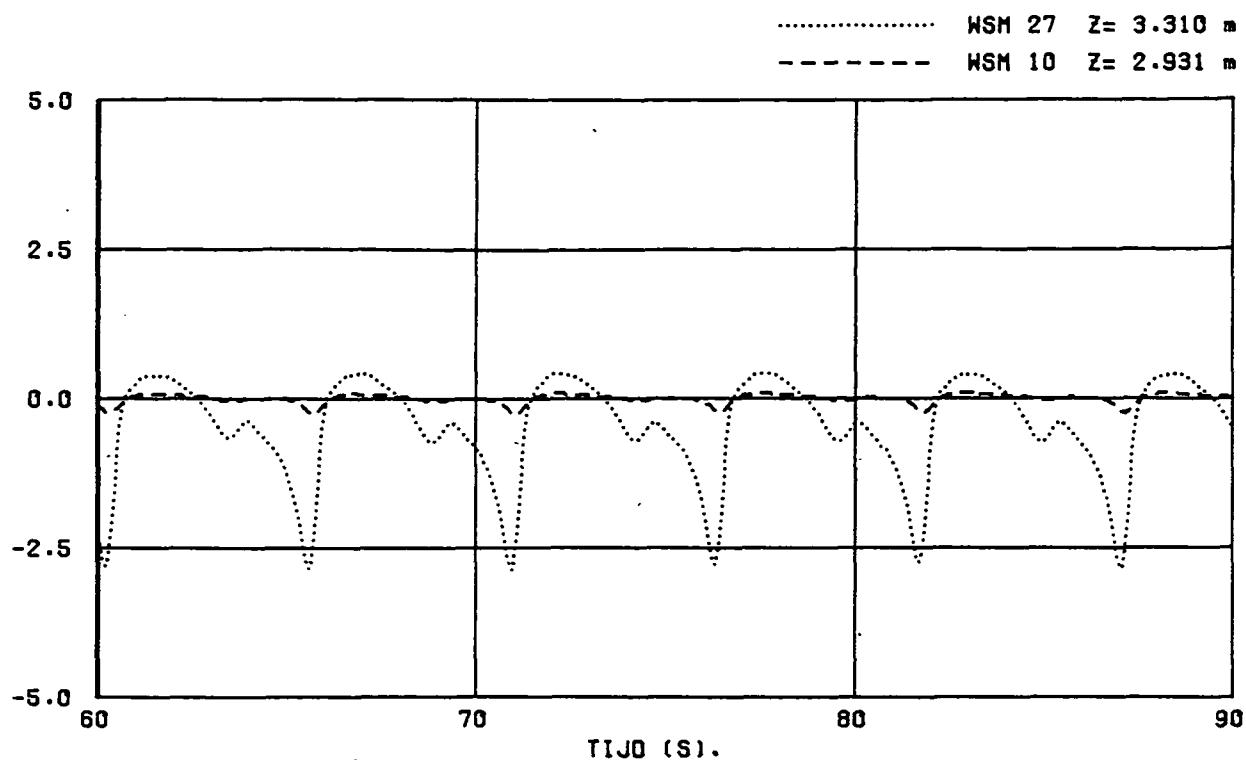
H= 0.468 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

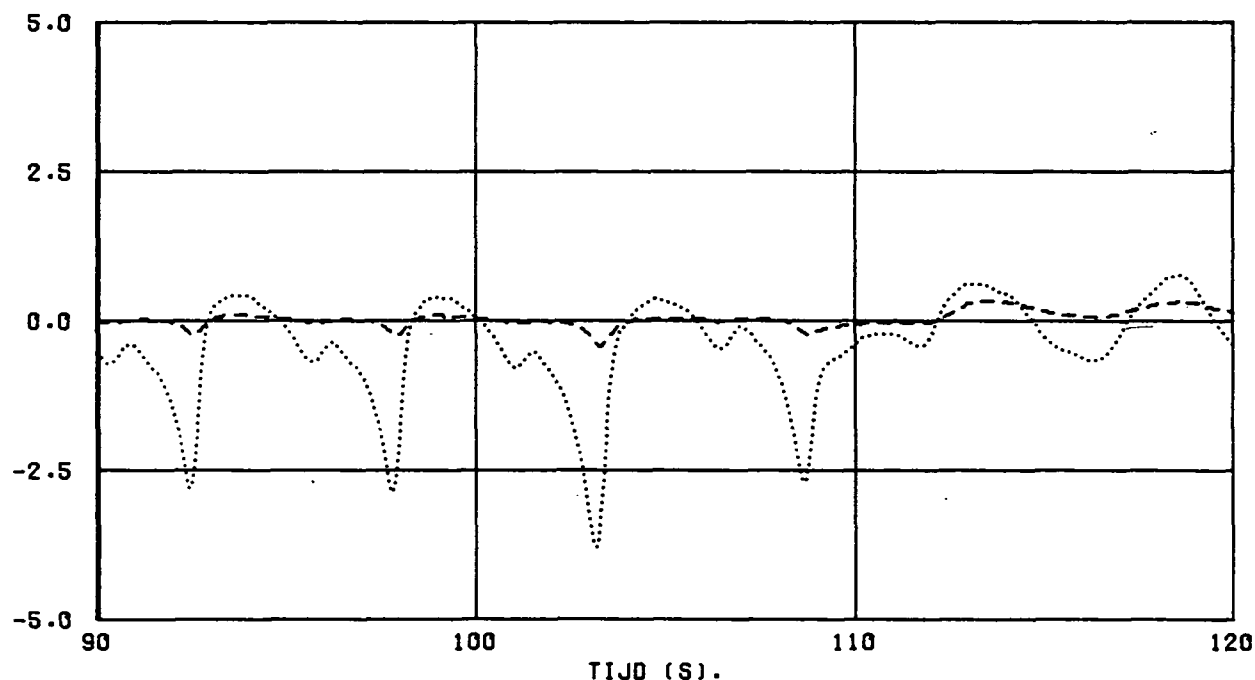
H 0122

FIG. 123

WATERSpanNING IN (KN/M2).



WATERSpanNING IN (KN/M2).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.50 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

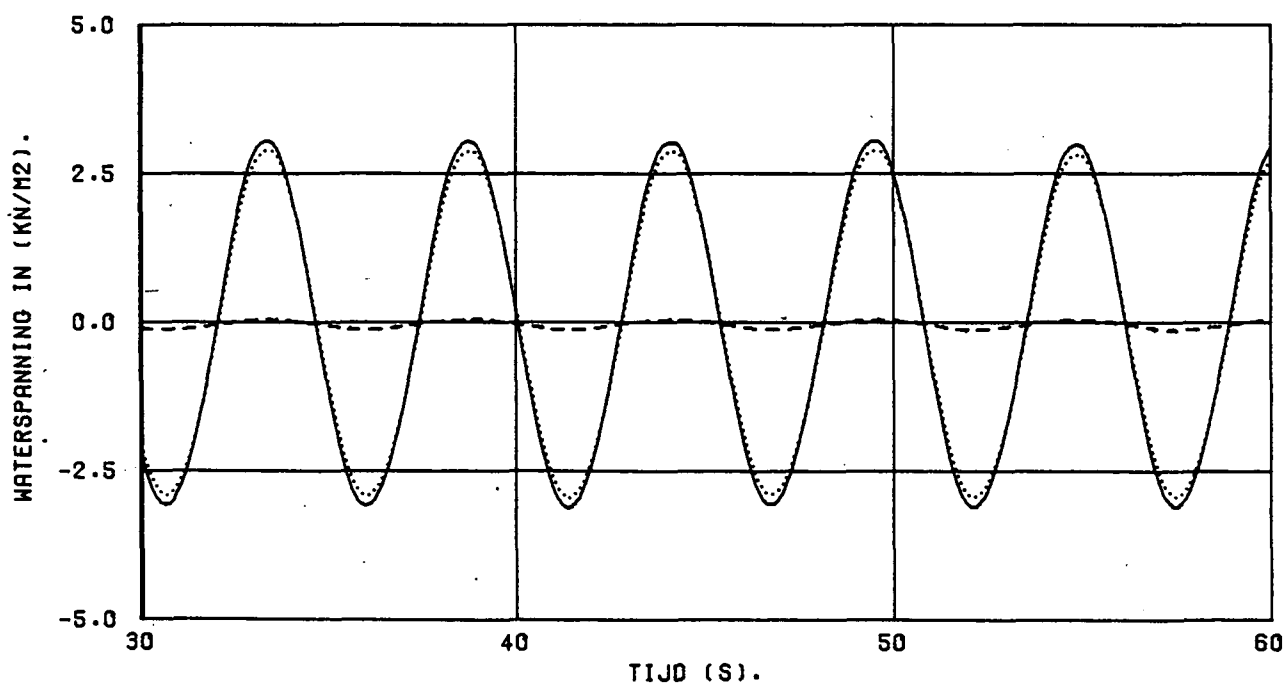
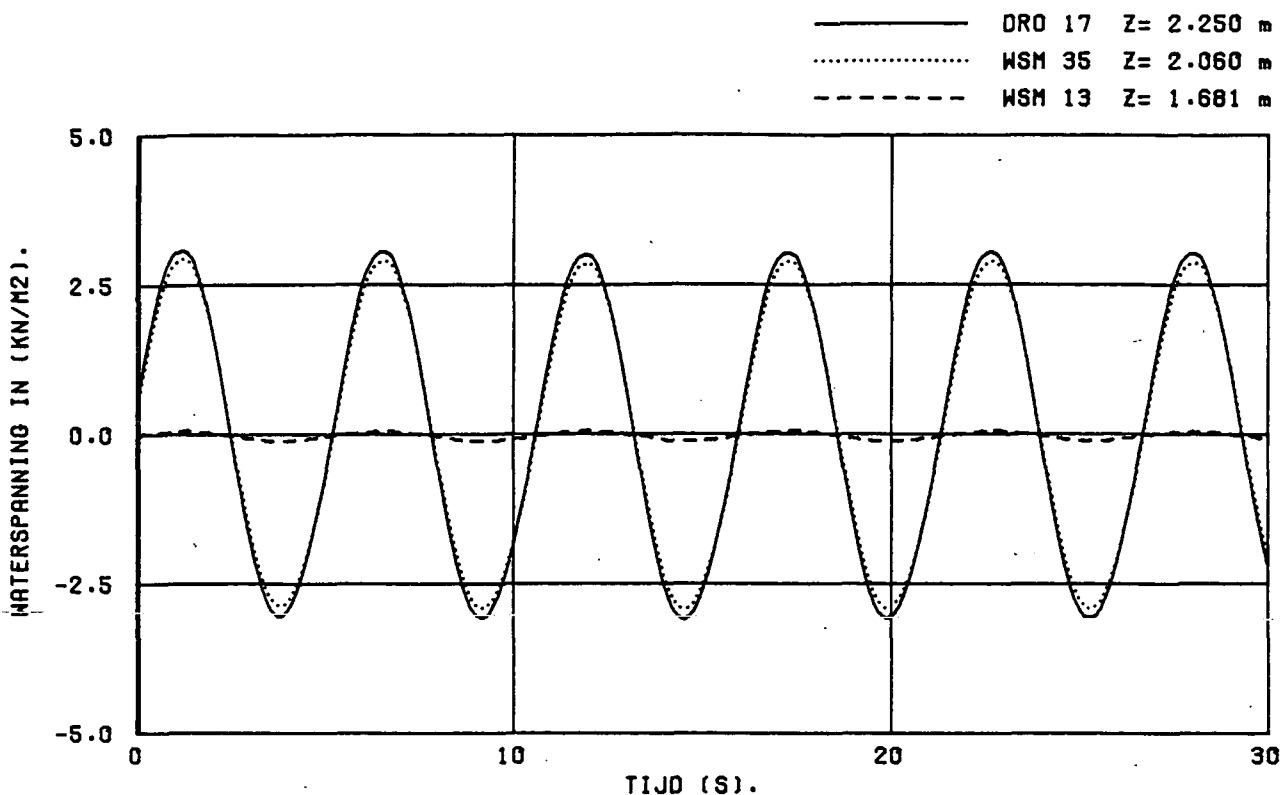
DGB16

H= 0.468 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG.124



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 2.25 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

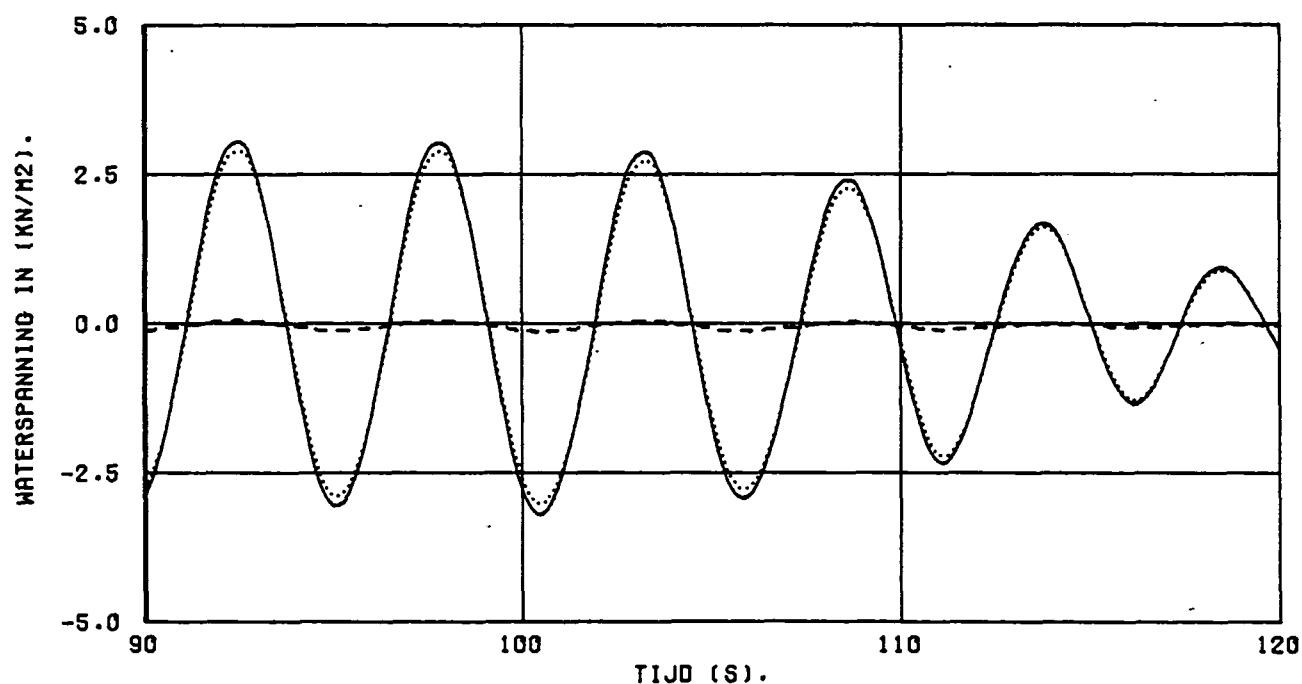
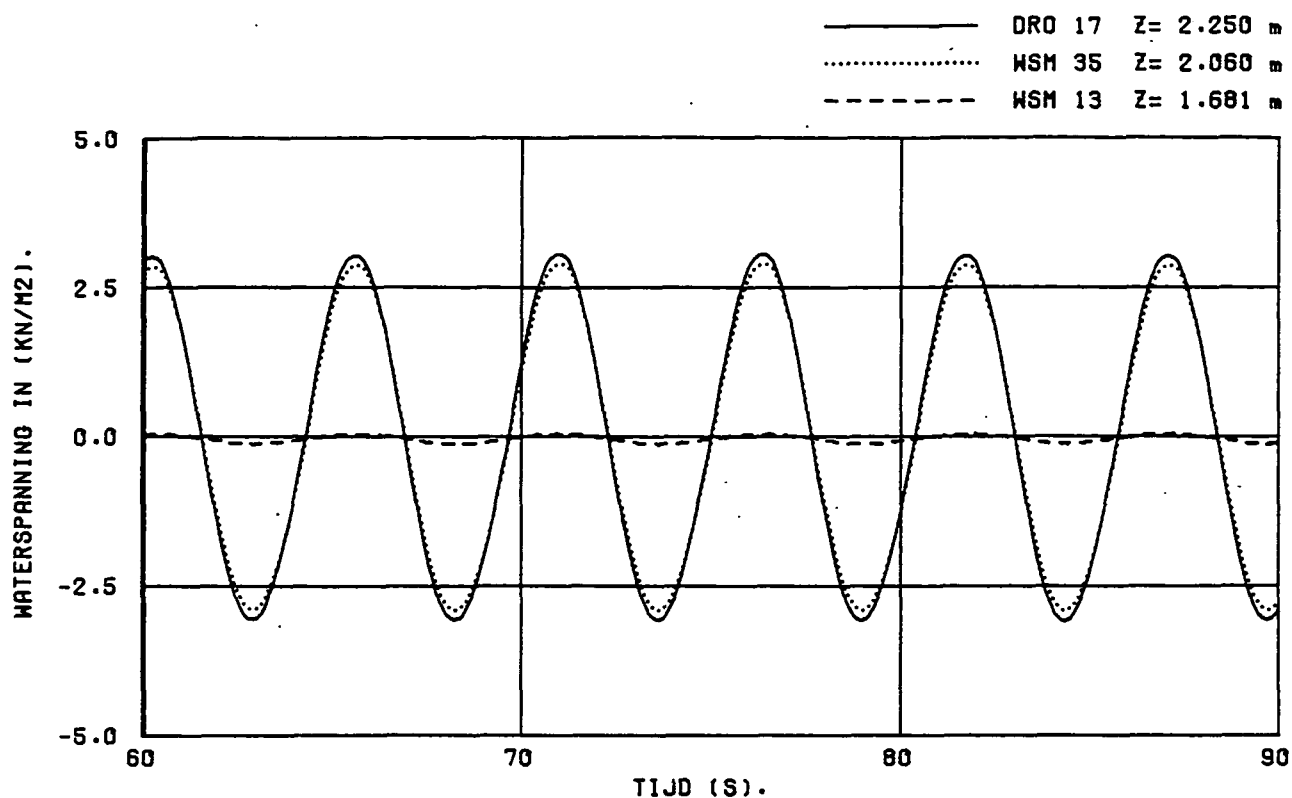
DGB16

H= 0.468 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 125



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 2.25 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

DGB16

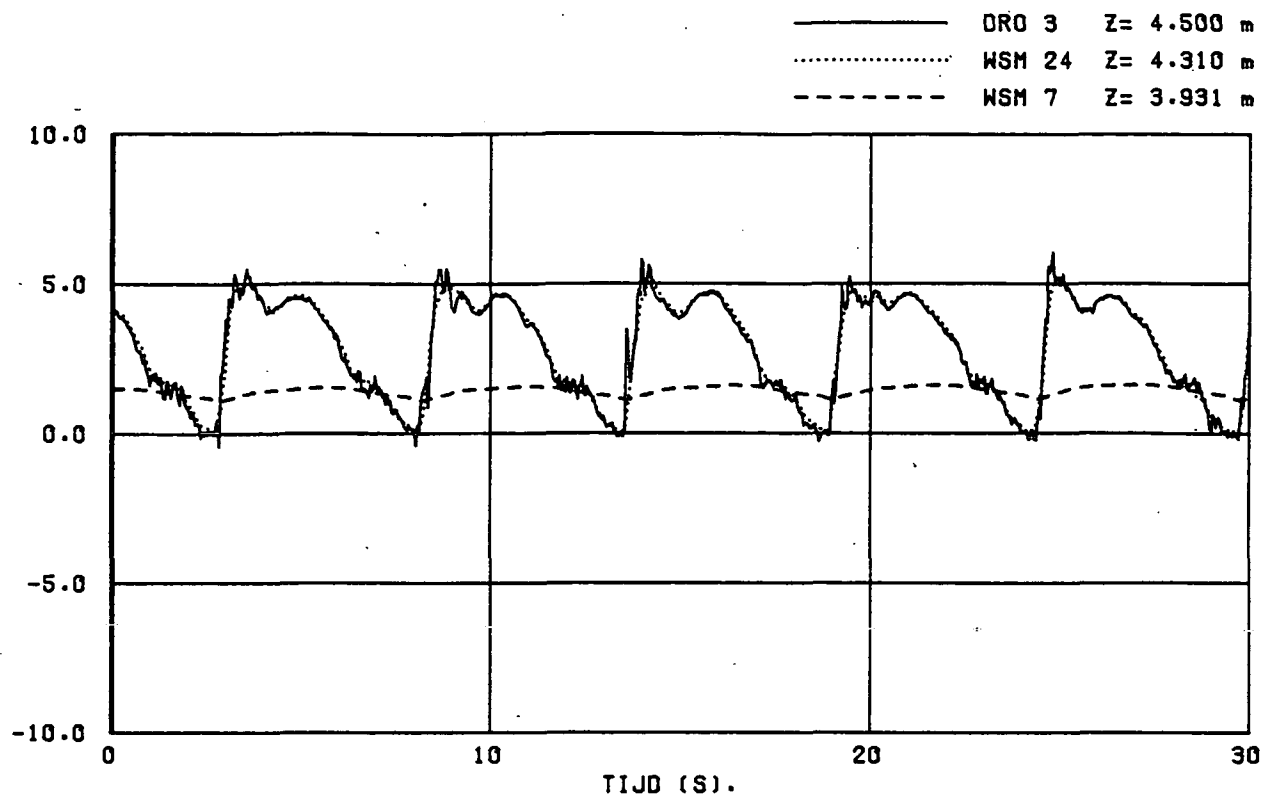
H= 0.468 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

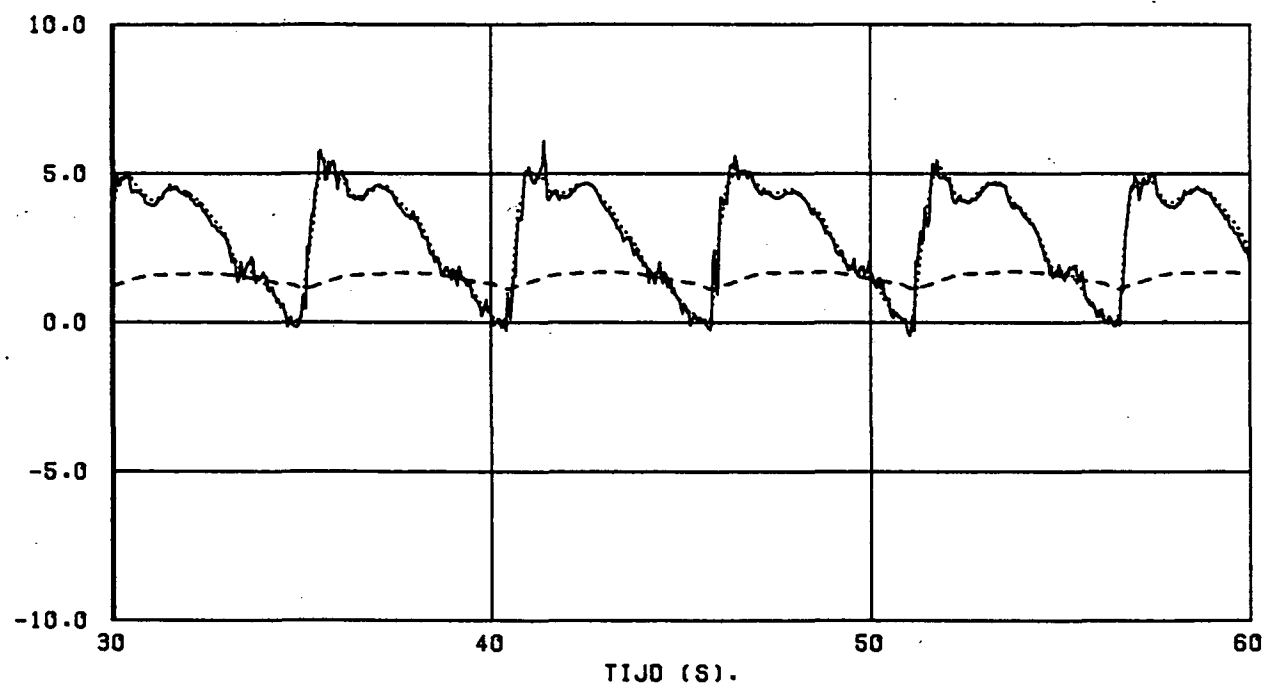
H 0122

FIG. 126

WATERSPANNING IN (KN/M2).



WATERSPANNING IN (KN/M2).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.50 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

DGB17

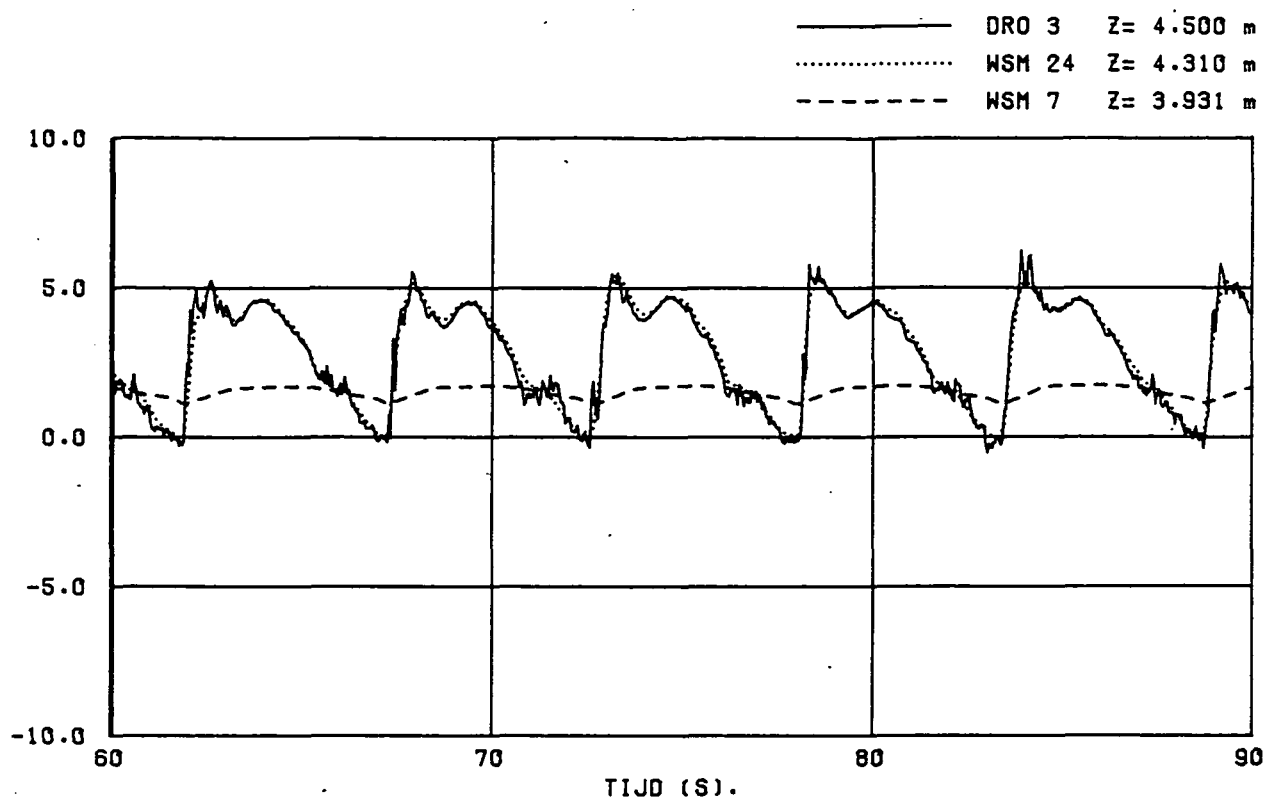
H= 0.938 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

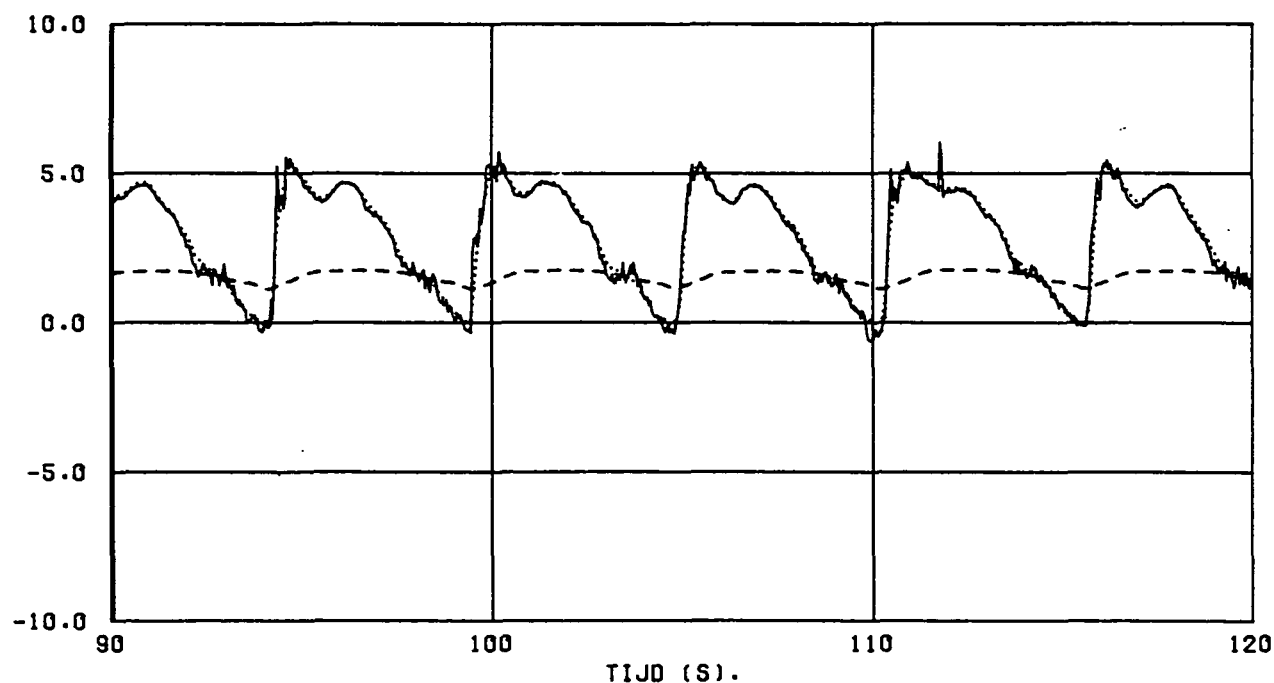
H 0122

FIG. 127

WATERSPANNING IN (KN/M2).



WATERSPANNING IN (KN/M2).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.50 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

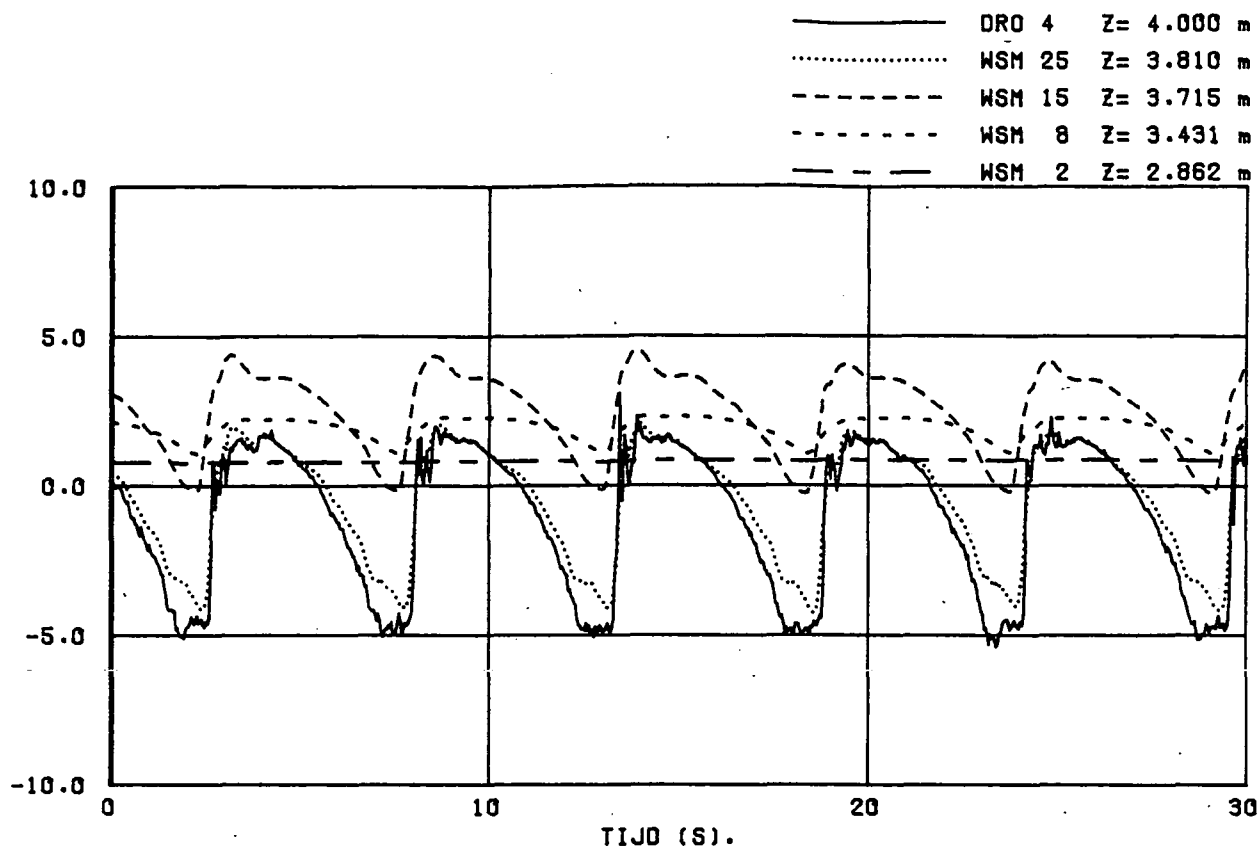
DGB17

H= 0.938 m T= 5.37 s

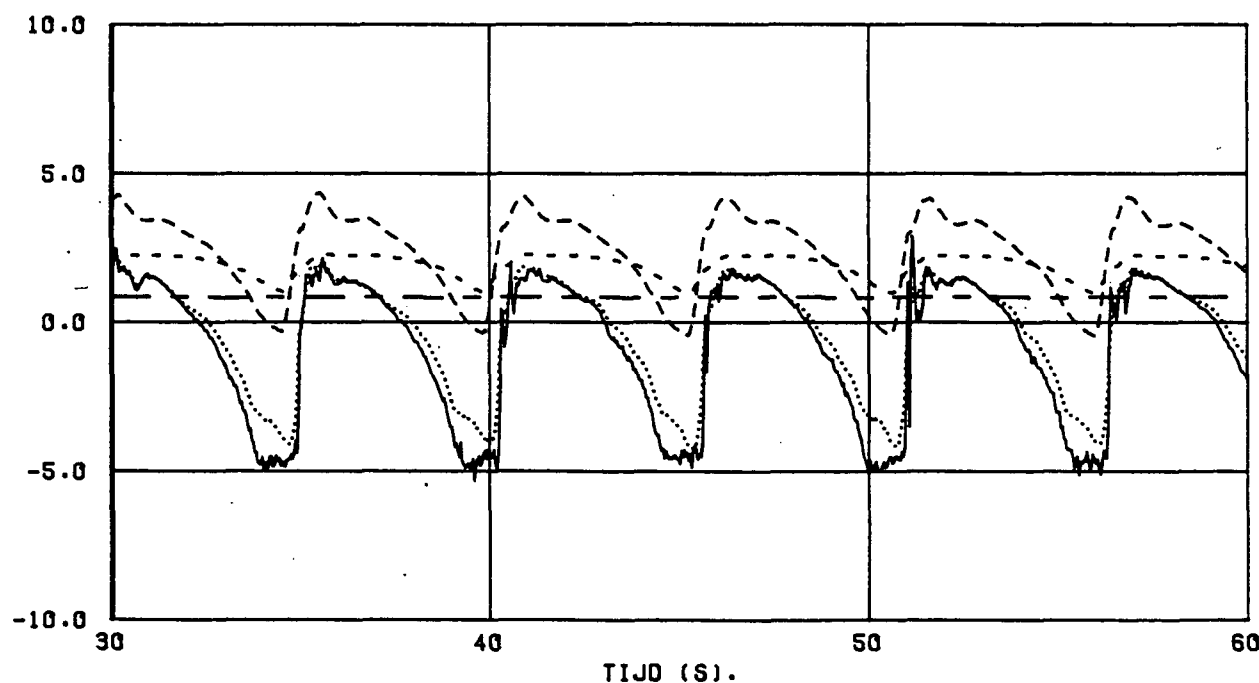
H 0122

FIG. 128

WATERSpanNING IN (KN/M2).



WATERSpanNING IN (KN/M2).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.00 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGB17

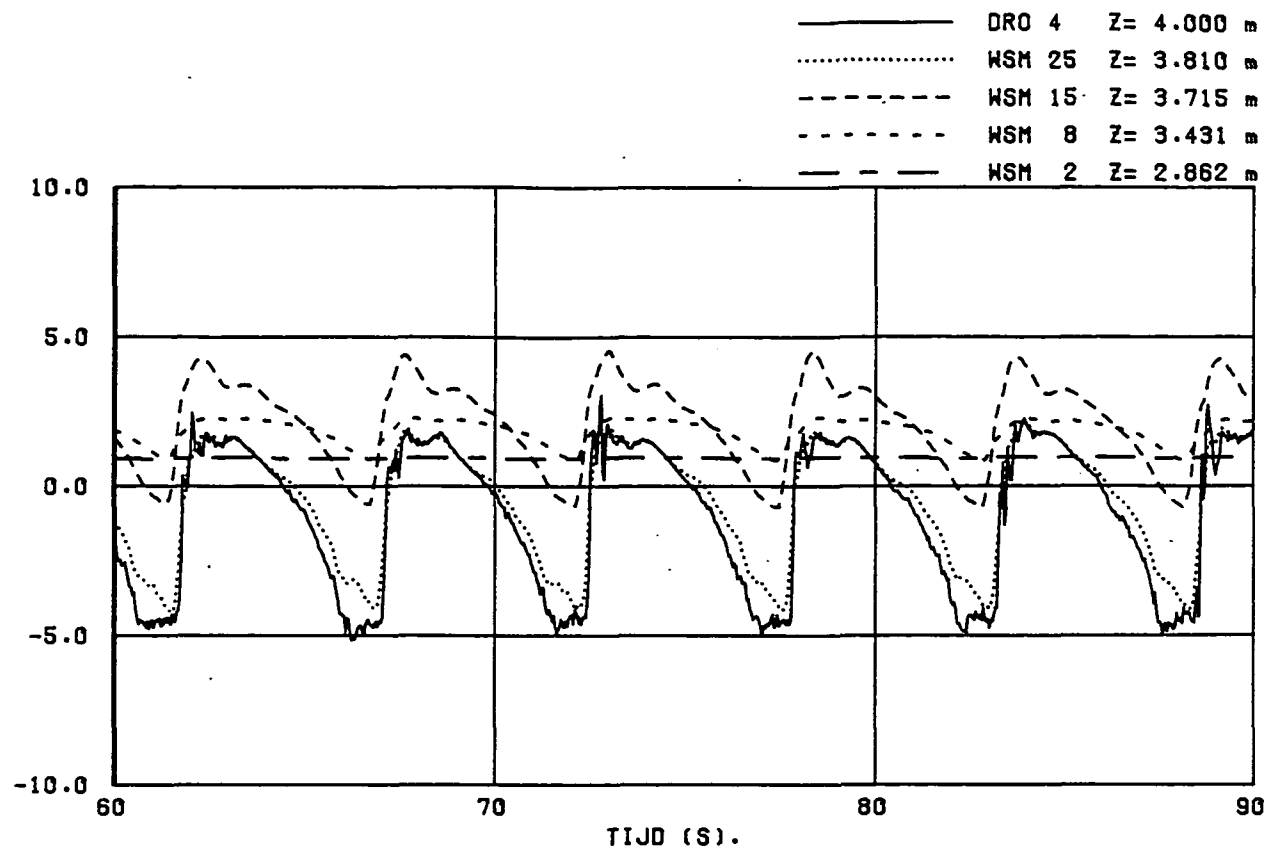
H= 0.938 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

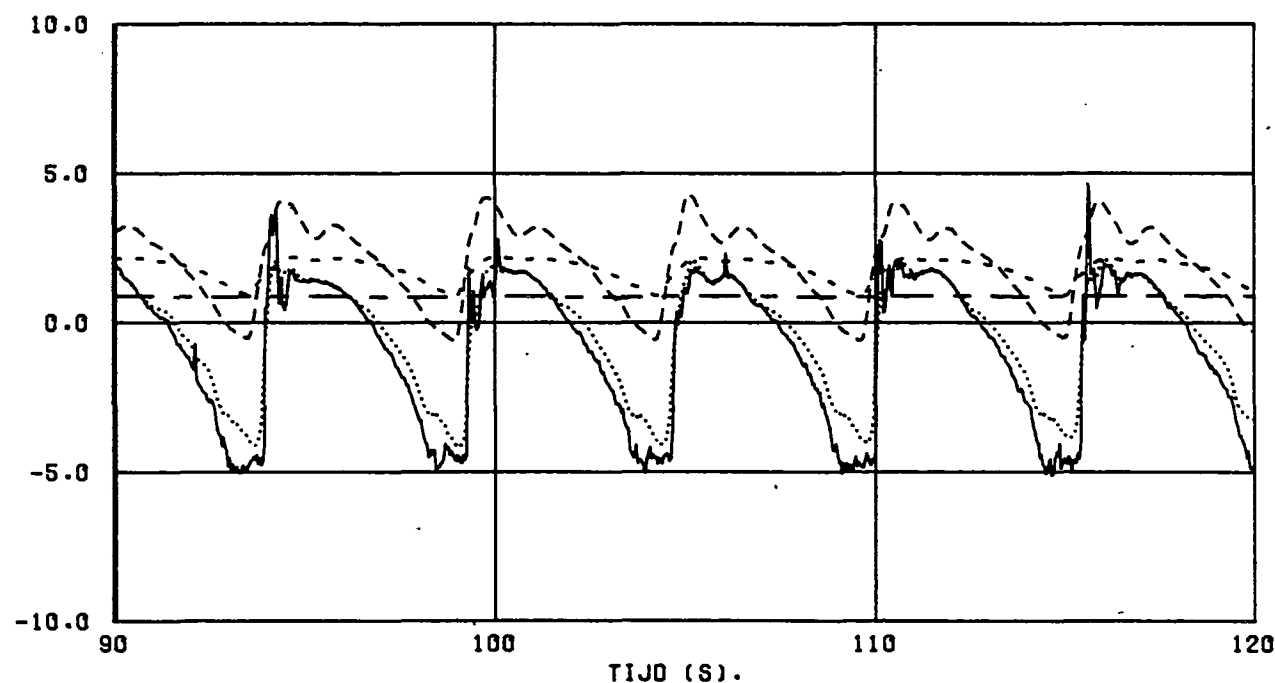
H 0122

FIG. 129

WATERSpanNING IN (KN/M²).



WATERSpanNING IN (KN/M²).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.00 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGB 17

H= 0.938 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

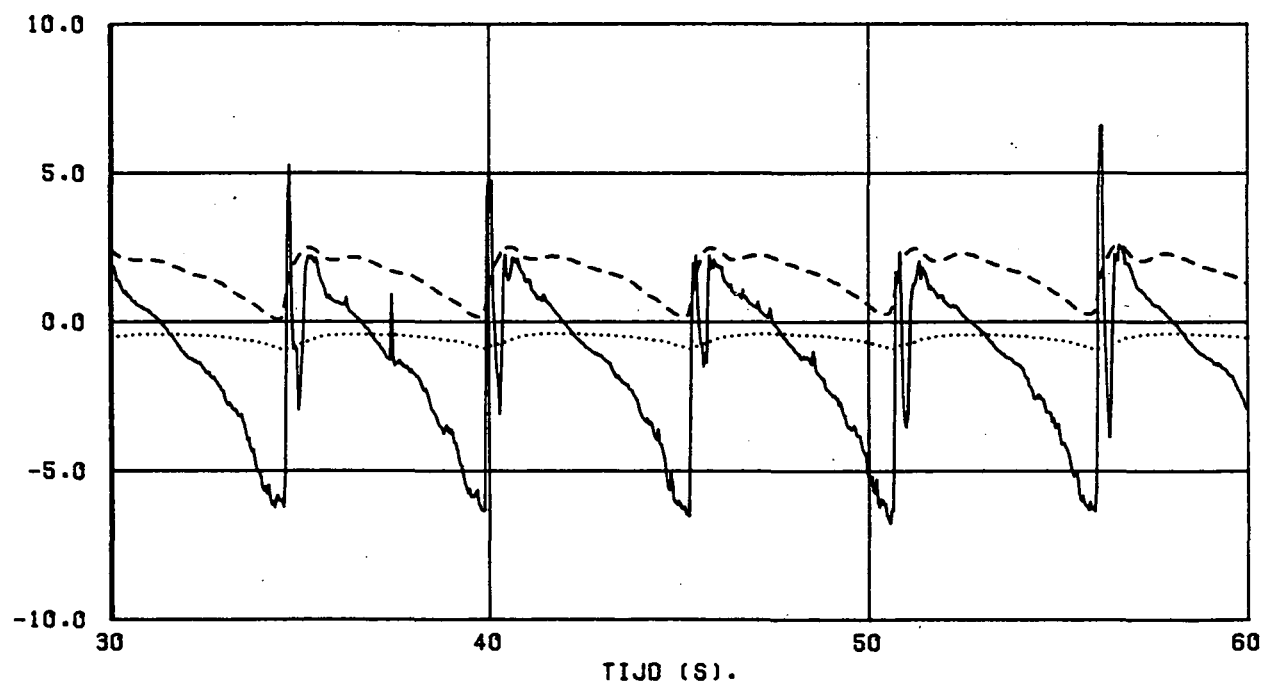
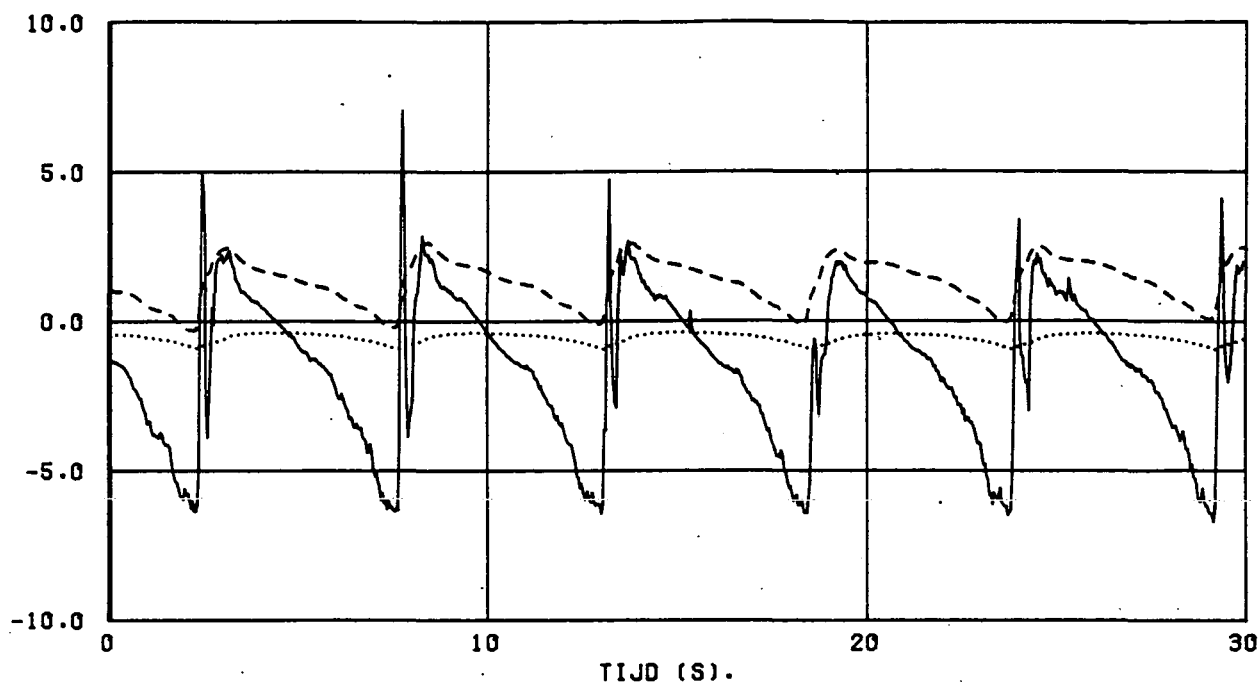
H 0122

FIG.130

WATERSpanNING IN (KN/M²).

WATERSpanNING IN (KN/M²).

— DRO 6 Z= 3.700 m
 WSM 26 Z= 3.510 m
 - - - WSM 9 Z= 3.131 m



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.70 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
 WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGB17

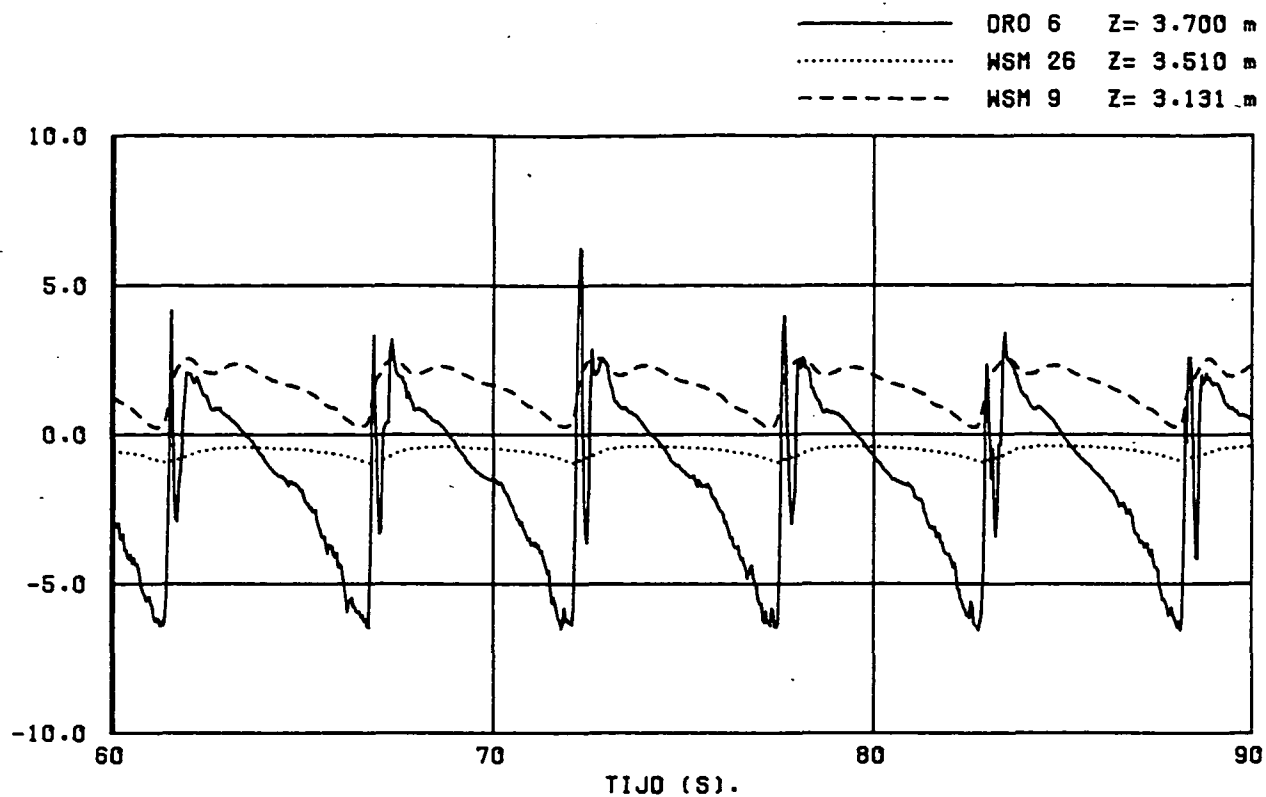
H= 0.938 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

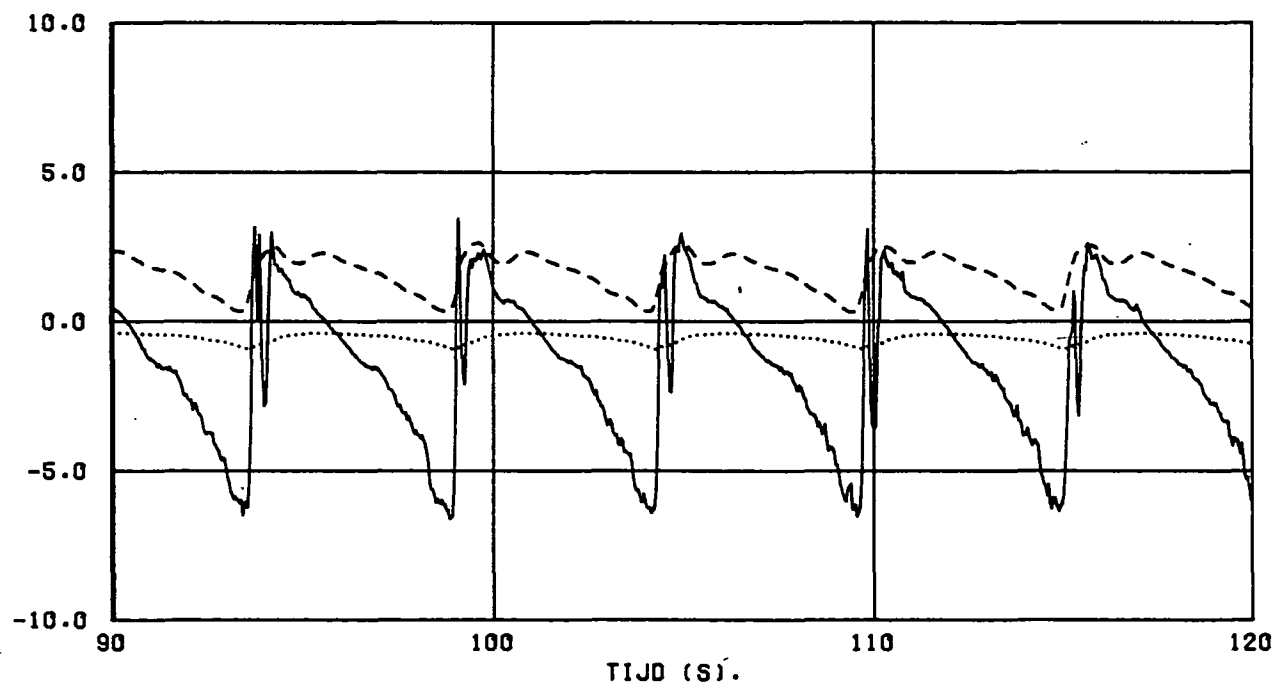
H 0122

FIG. 131

WATERSpanNING IN (KN/H2).



WATERSpanNING IN (KN/H2).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.70 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGB17

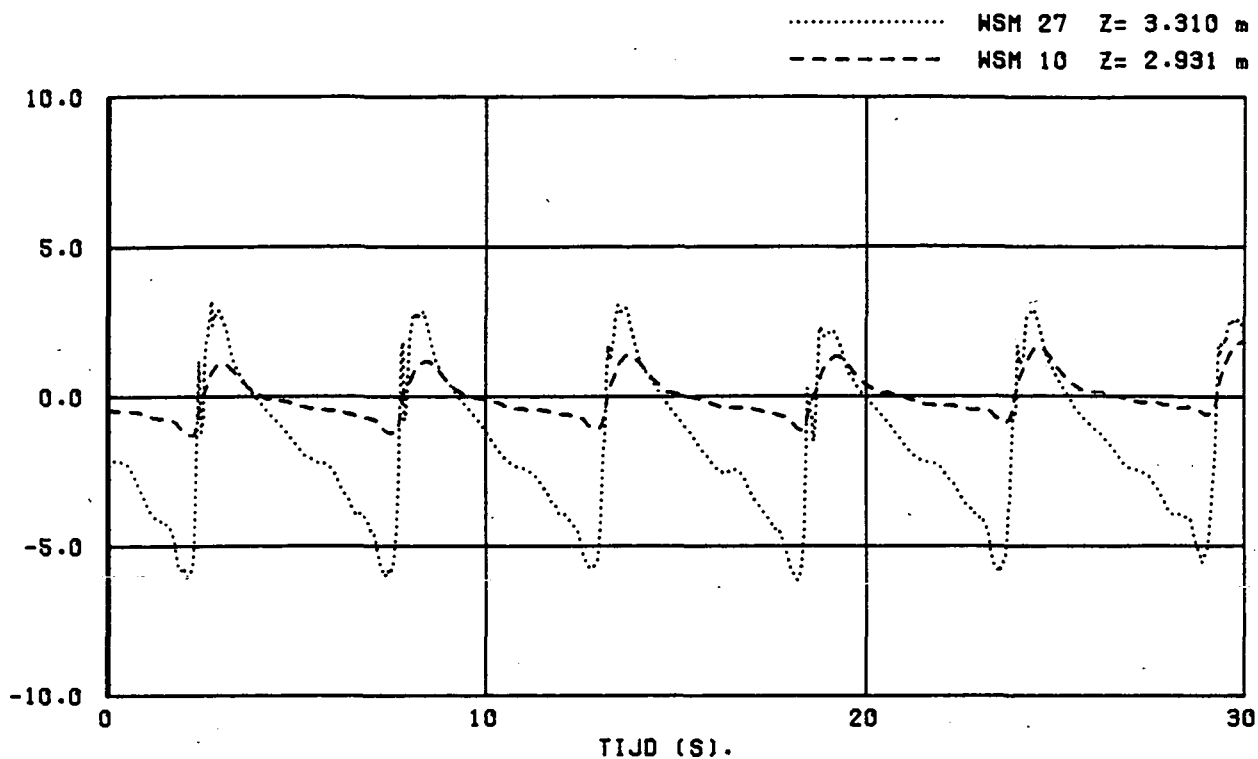
H= 0.938 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM. VOOR GRONDMECHANICA

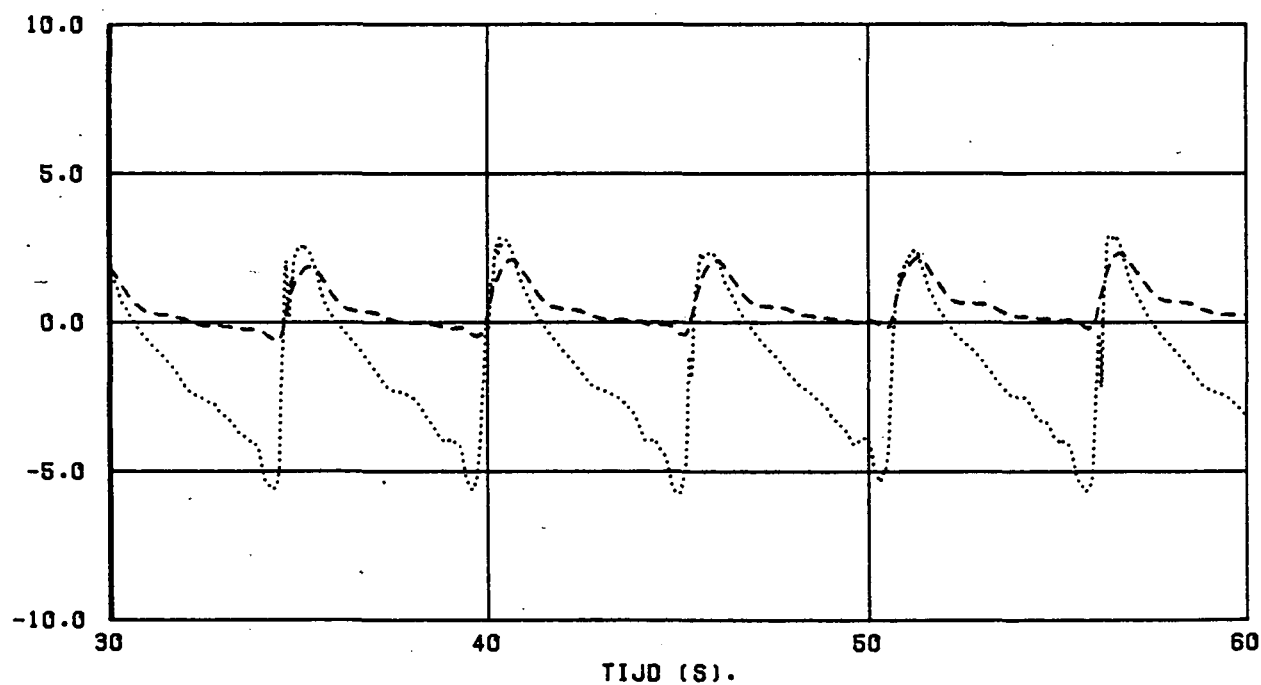
H 0122

FIG. 132

WATERSpanNING IN (KN/M²).



WATERSpanNING IN (KN/M²).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.50 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGB17

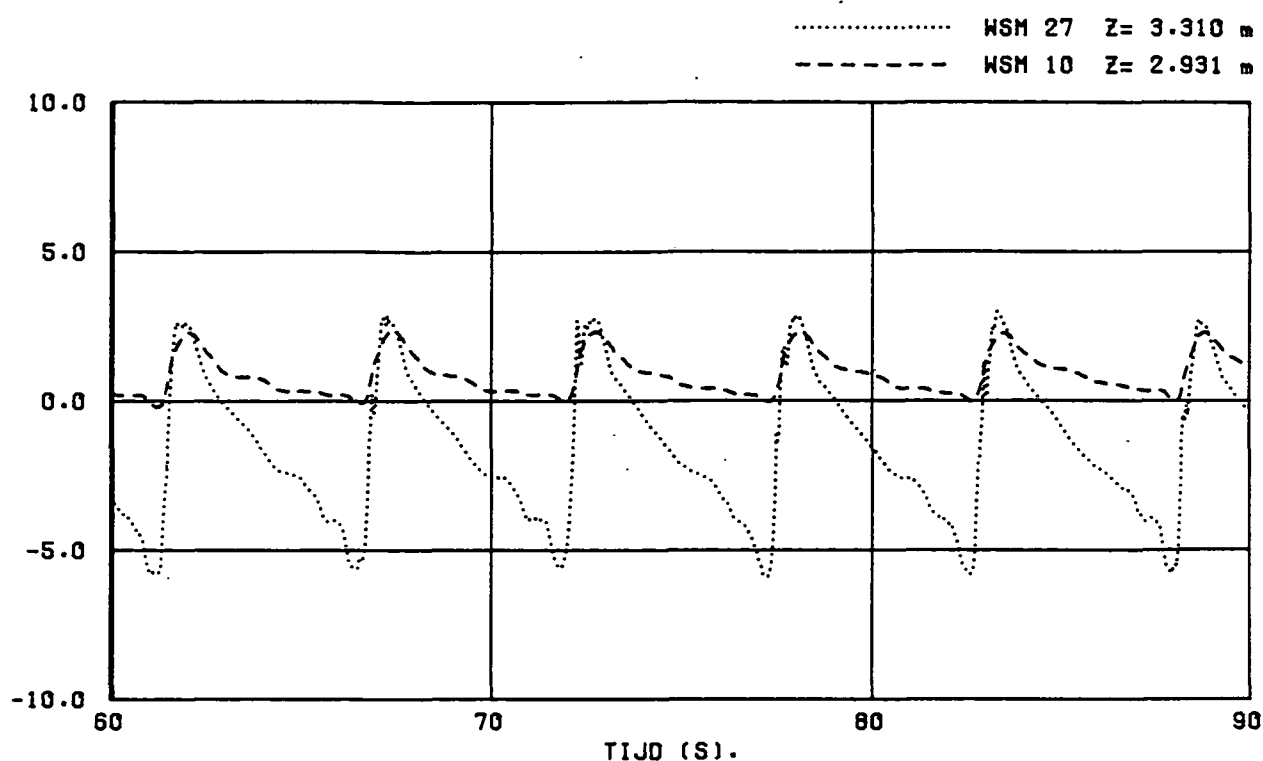
H= 0.938 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

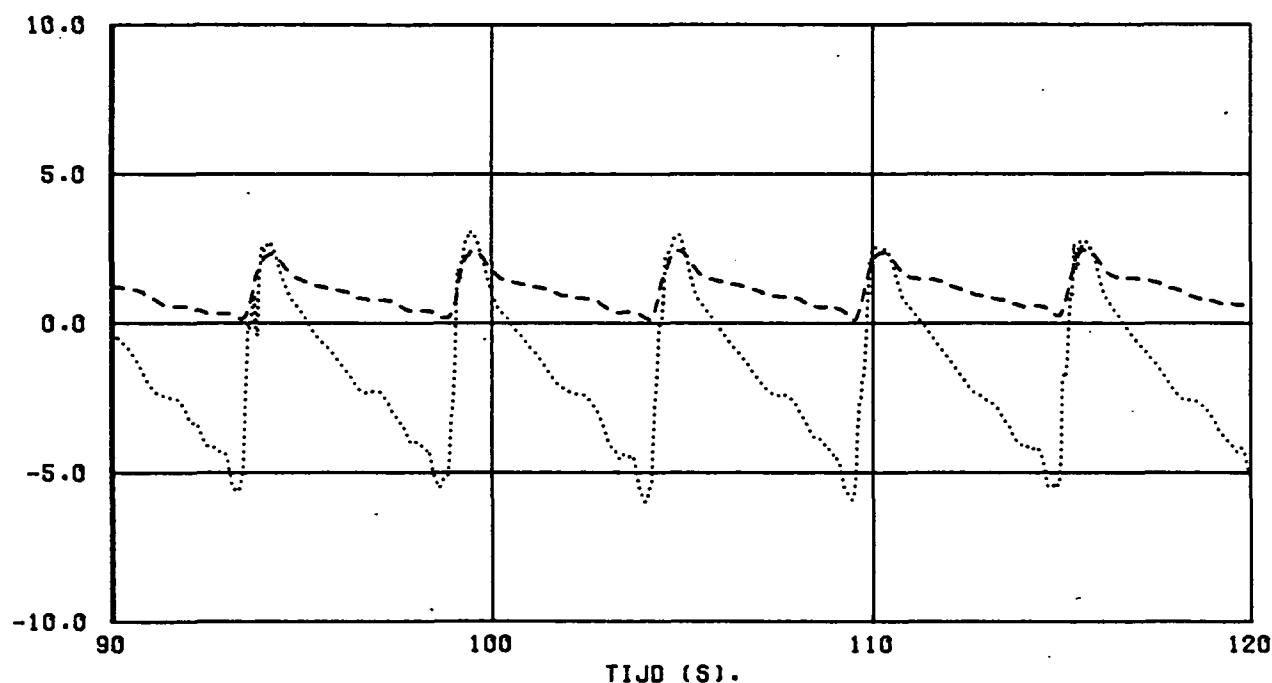
H 0122

FIG. 133

WATERSPANNING IN (KN/M²).



WATERSPANNING IN (KN/M²).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.50 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

DGB17

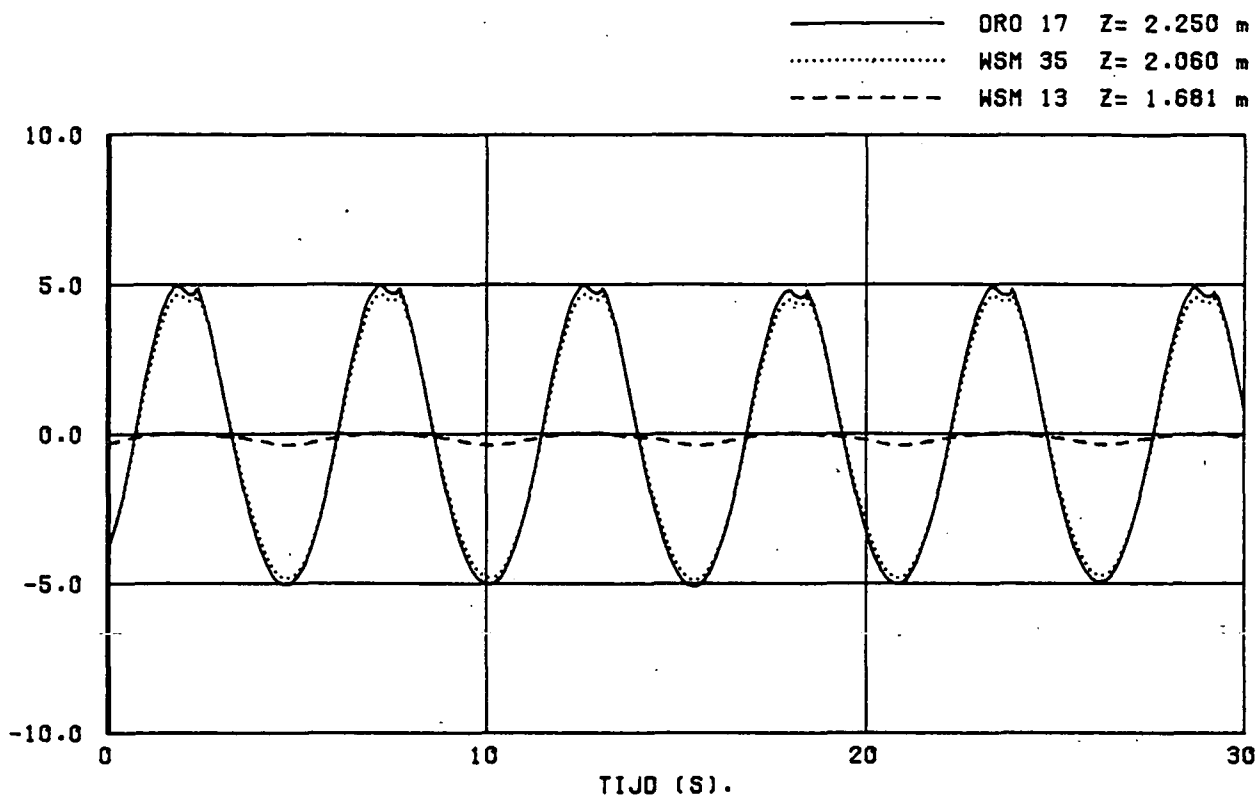
H= 0.938 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

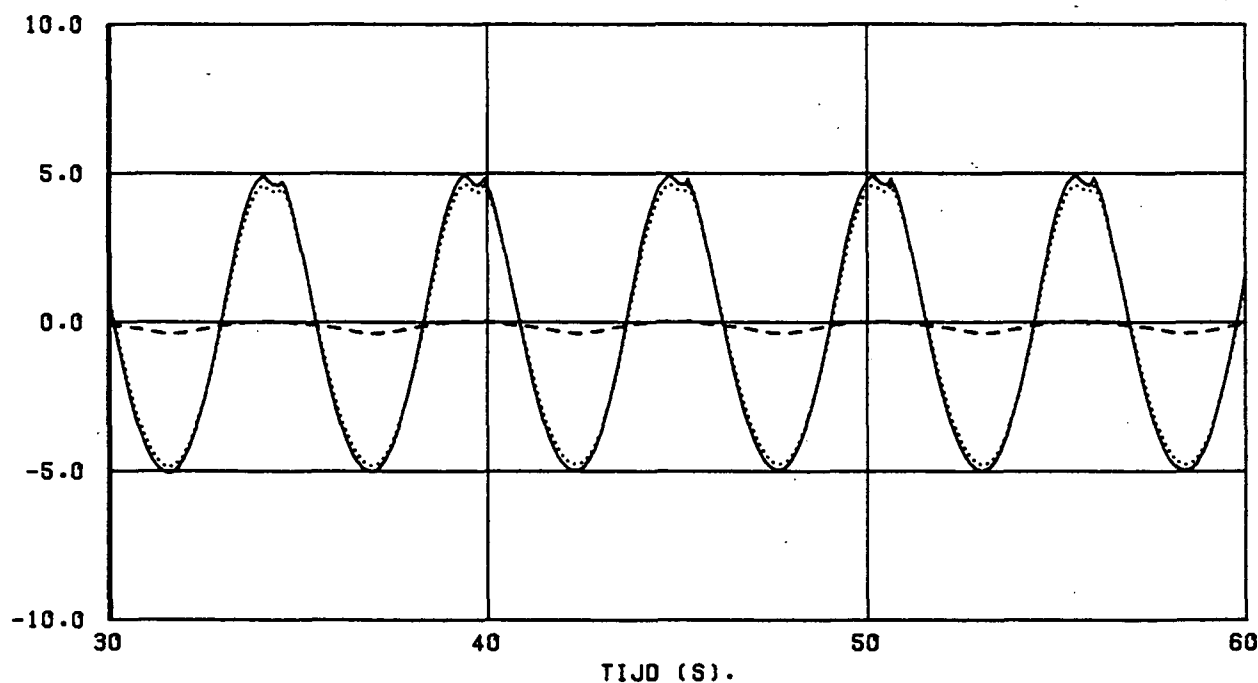
H 0122

FIG. 134

WATERSPANNING IN (KN/H2).



WATERSPANNING IN (KN/H2).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 2.25 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

DGB17

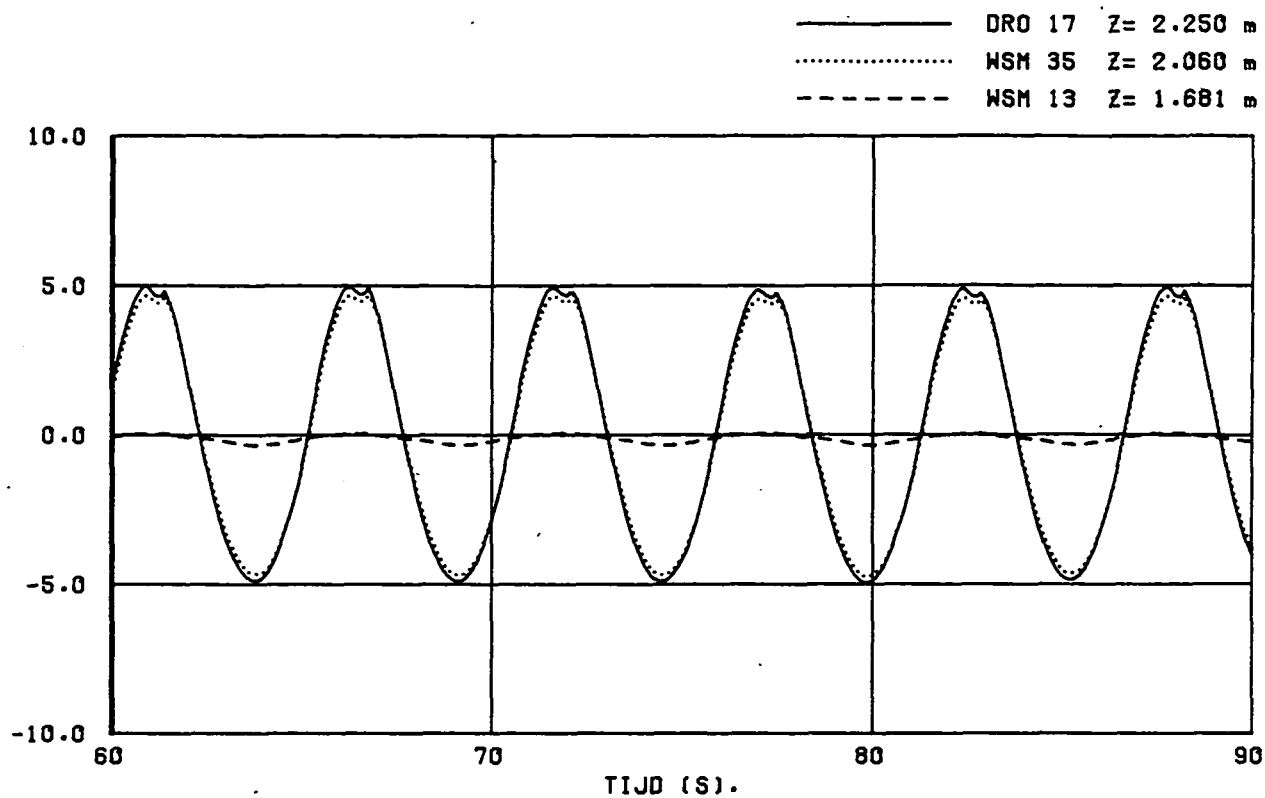
H= 0.938 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

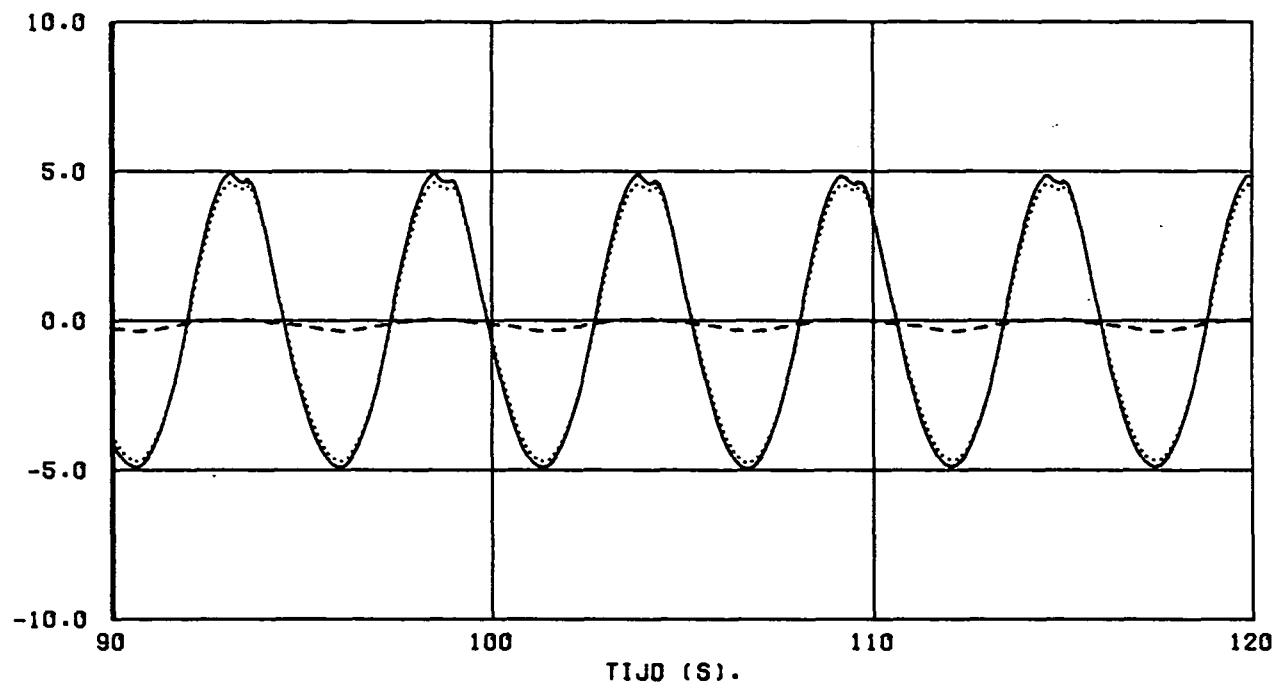
H 0122

FIG. 135

WATERSpanning in (KN/M²).



WATERSpanning in (KN/M²).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 2.25 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanning in HET ZAND.

DGB17

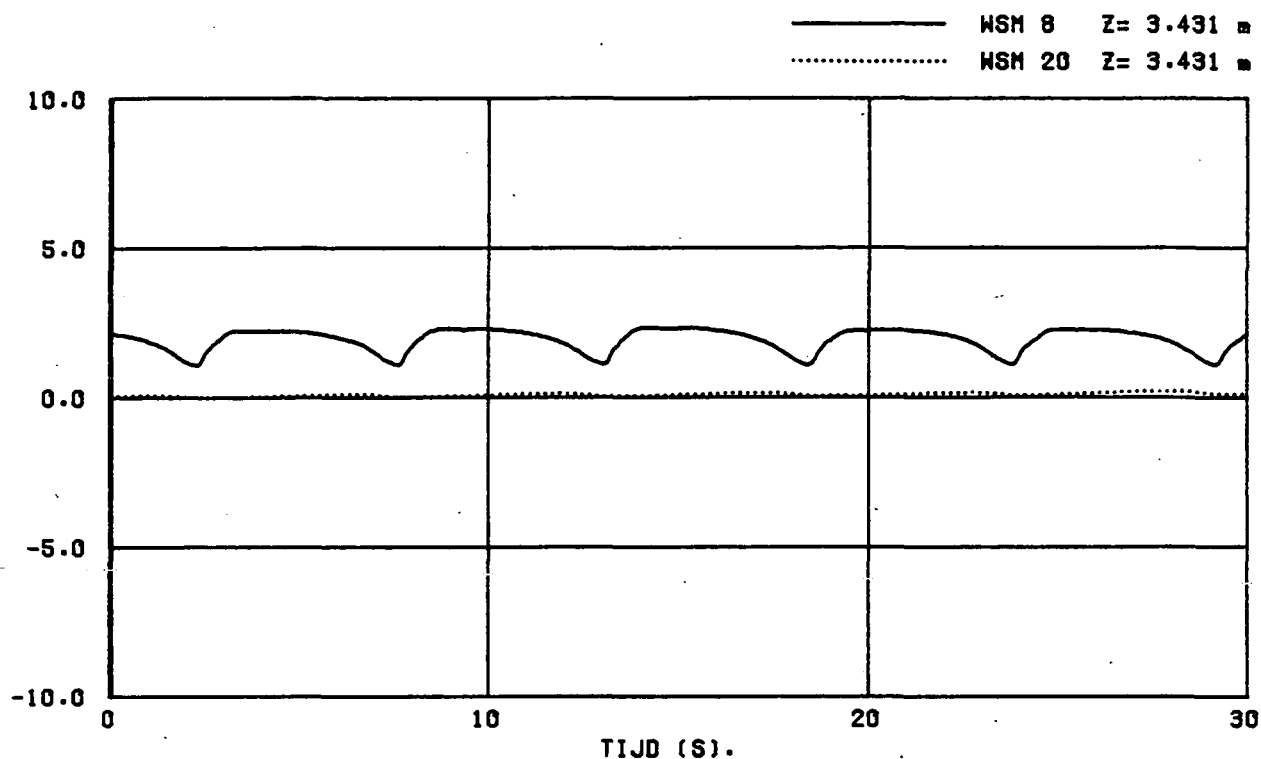
H= 0.938 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

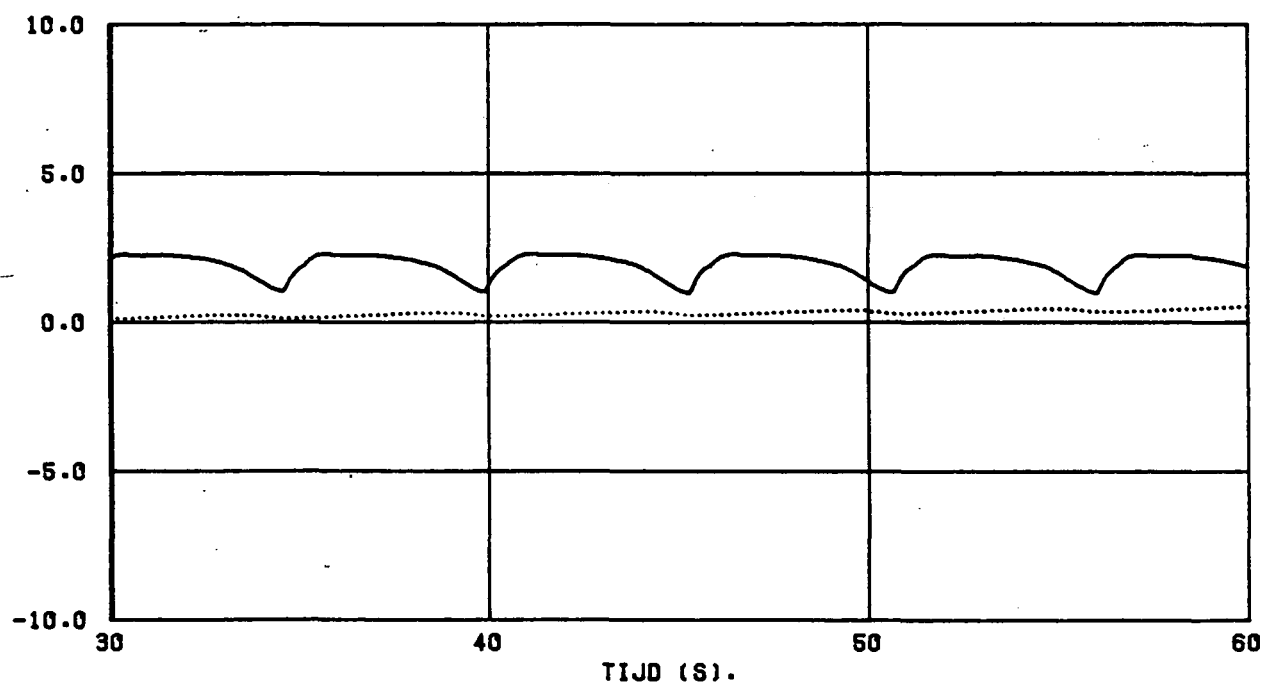
H 0122

FIG. 136

WATERSpanNING IN (KN/M²).



WATERSpanNING IN (KN/M²).



VERGELIJKING OOSTZIJDE ("LOSGEPAKT")
MET WESTZIJDE ("MEDIUM LOS").

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGB17

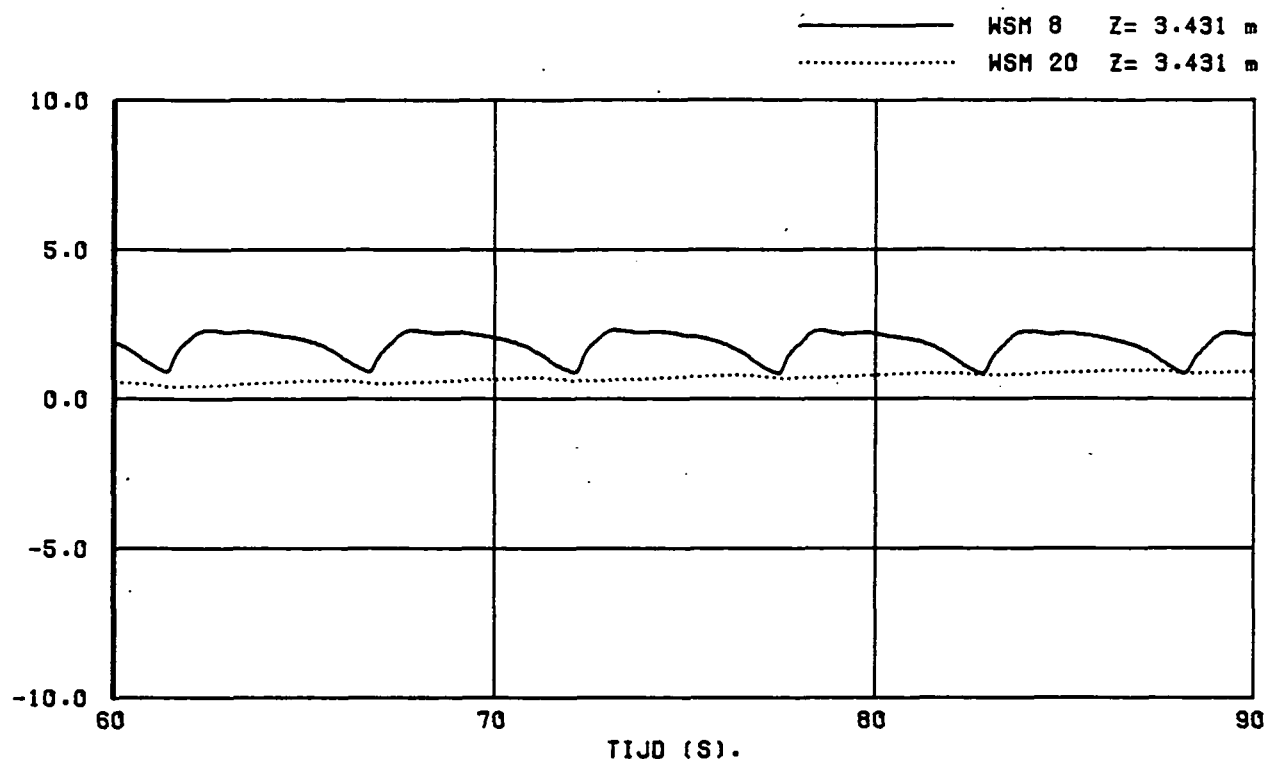
H= 0.938 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

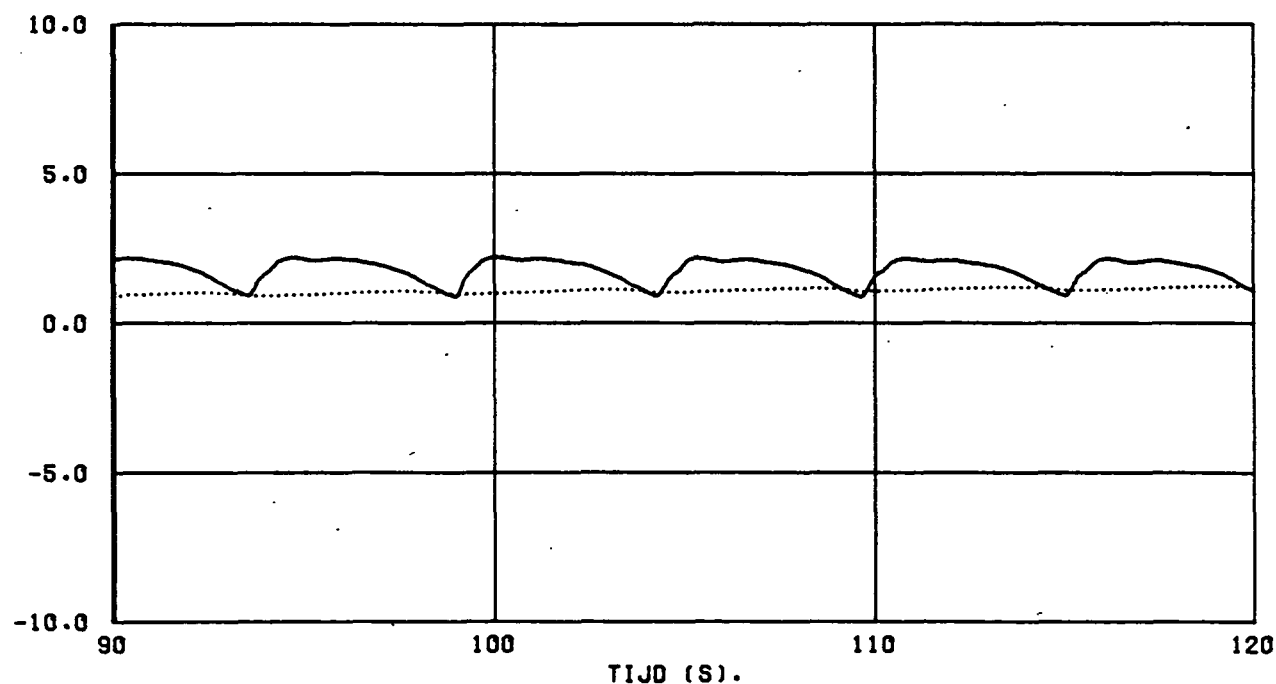
H 0122

FIG.137

WATERSpanNING IN (KN/M²).



WATERSpanNING IN (KN/M²).



VERGELIJKING OOSTZIJDE ("LOSGEPAKT")
MET WESTZIJDE ("MEDIUM LOS").

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGB17

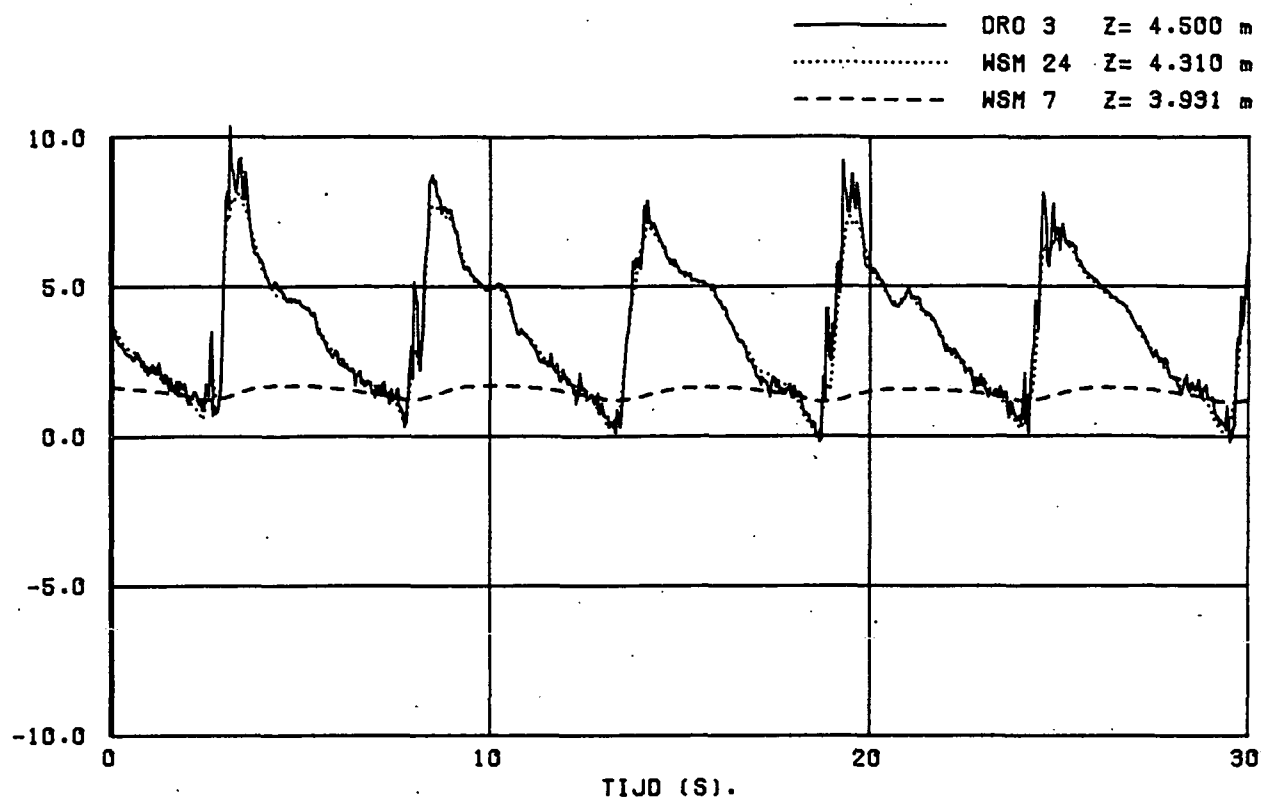
H= 0.938 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

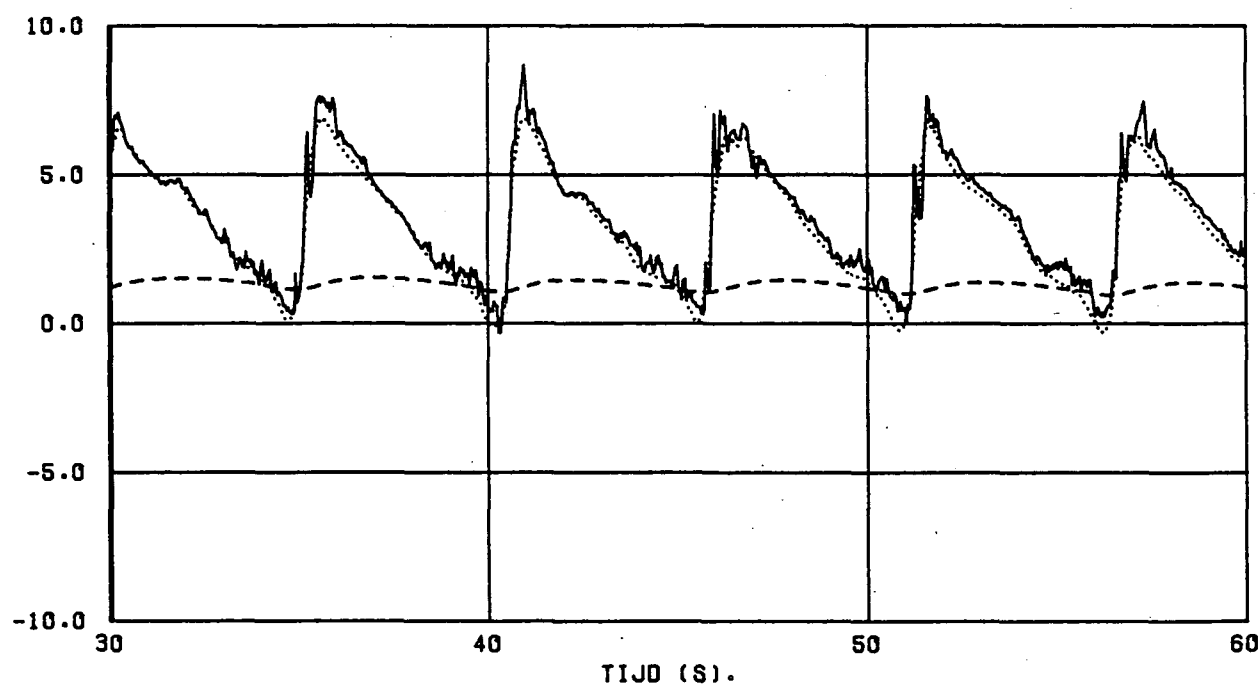
H 0122

FIG.138

WATERSpanNING IN (KN/M2).



WATERSpanNING IN (KN/M2).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.50 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGB18

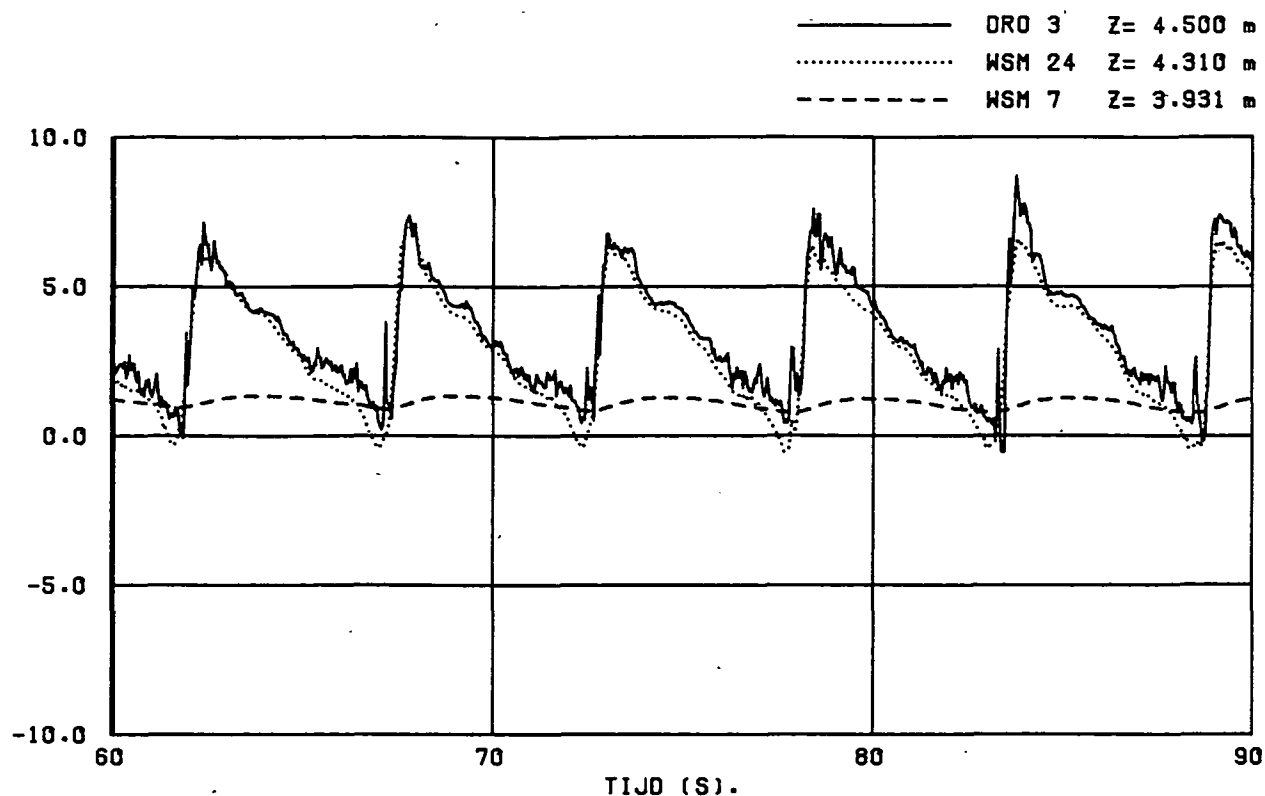
H= 1.382 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

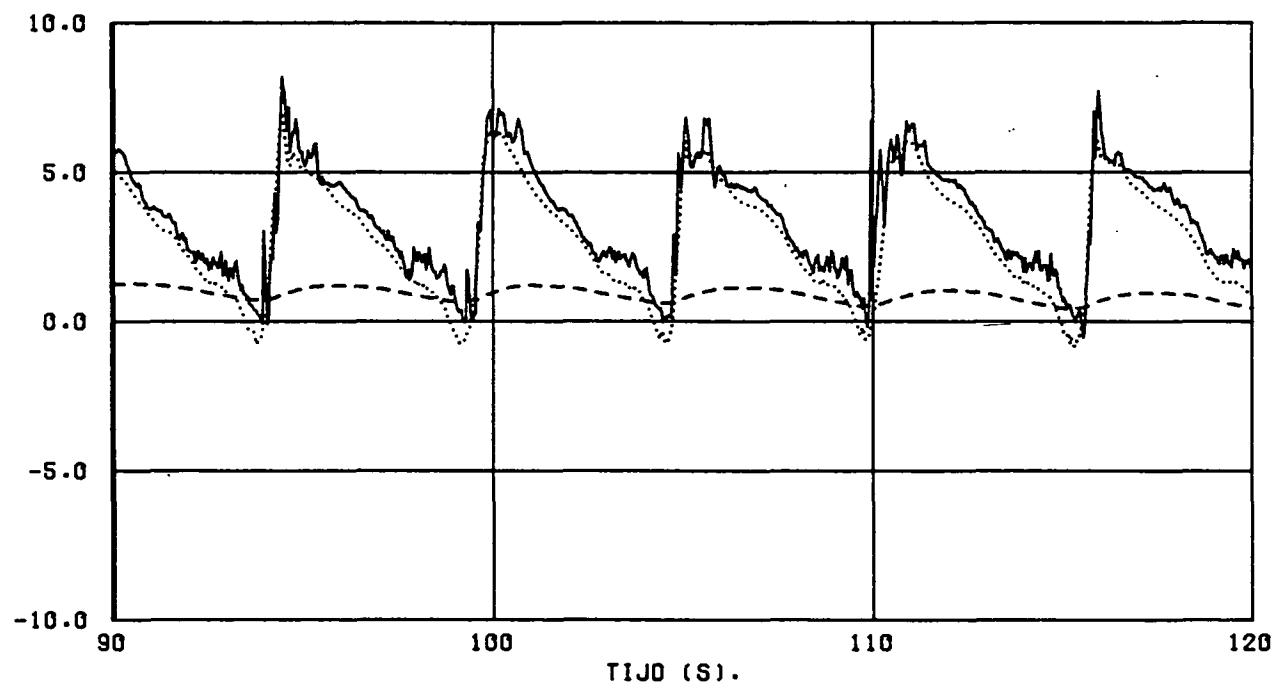
H 0122

FIG. 139

WATERSPANNING IN (KN/M²).



WATERSPANNING IN (KN/M²).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.50 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

DGB18

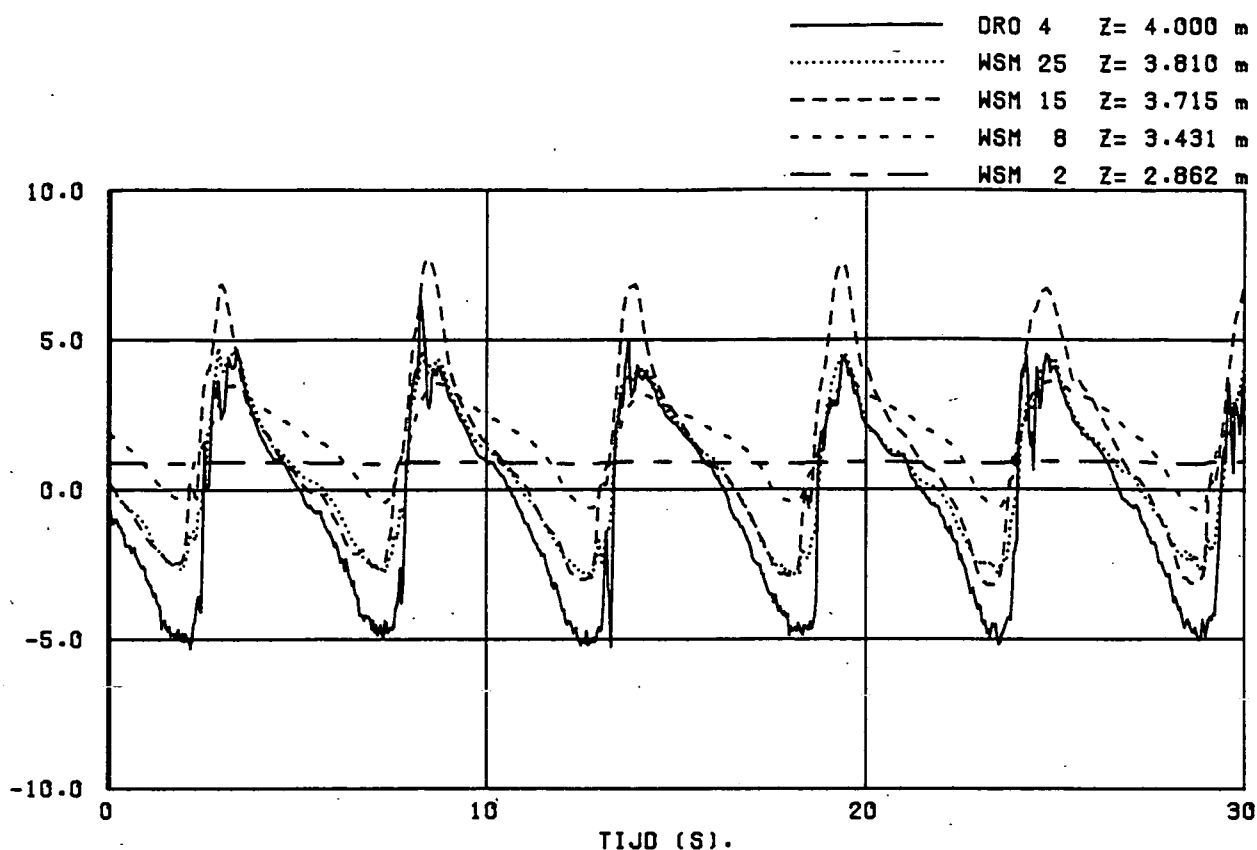
H= 1.382 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

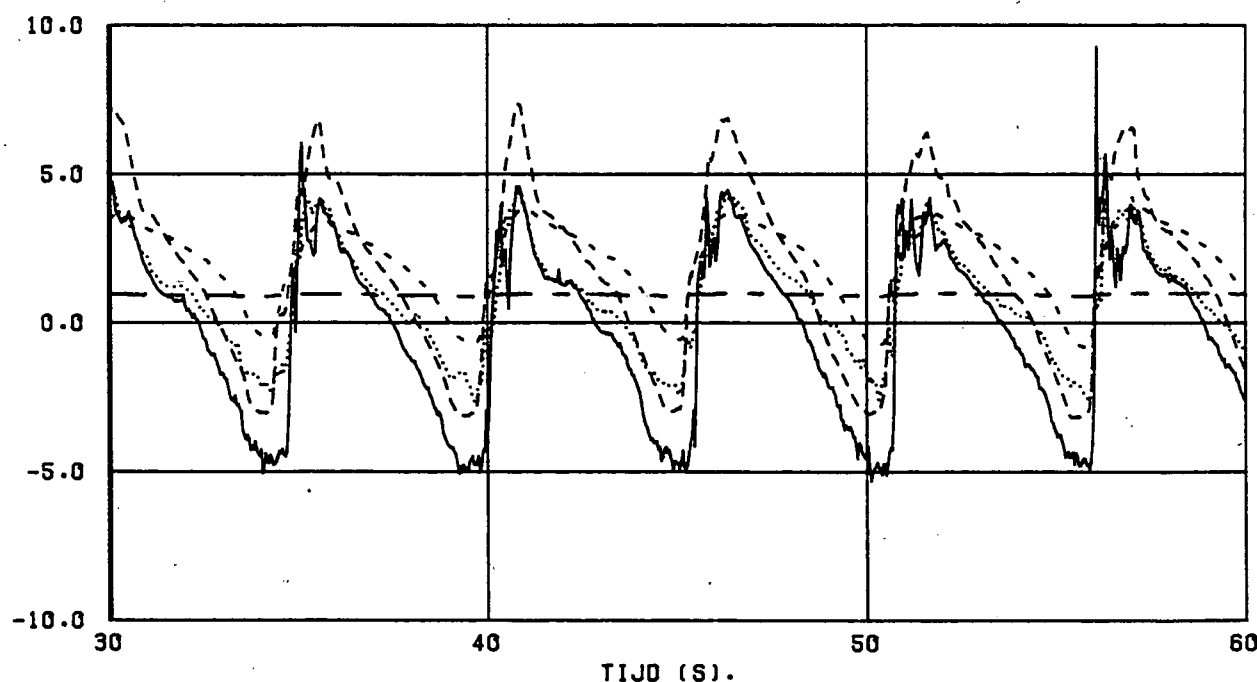
H 0122

FIG.140

WATERSpanNING IN (KN/M²).



WATERSpanNING IN (KN/M²).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.00 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGB18

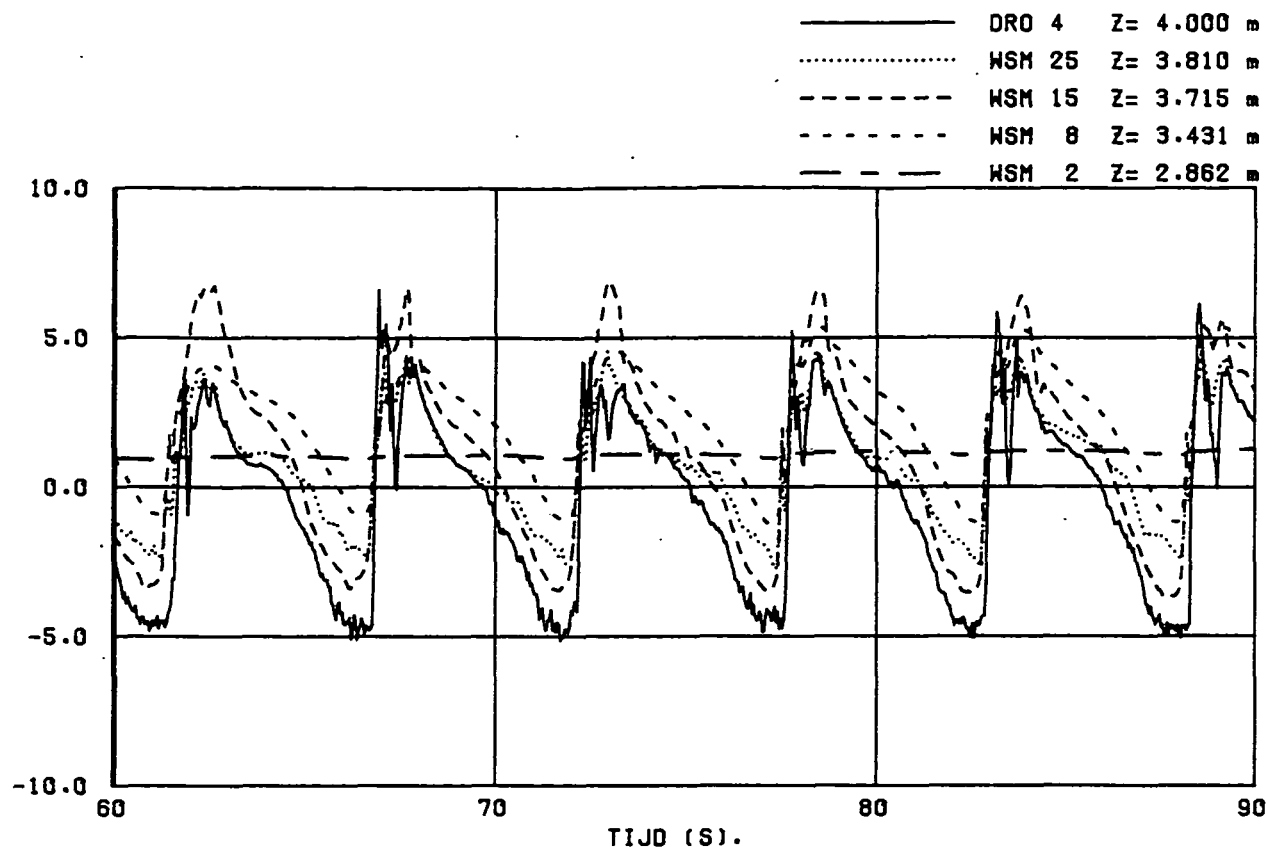
H= 1.382 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

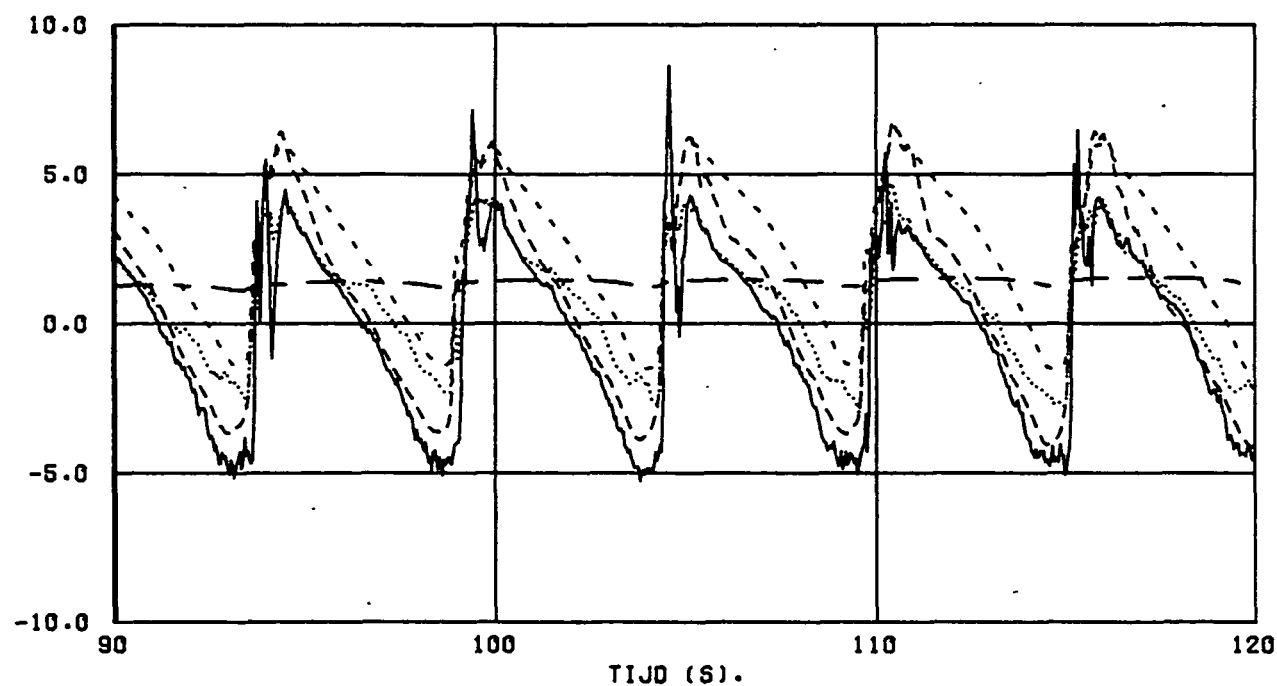
H 0122

FIG. 141

WATERSPANNING IN (KN/M²).



WATERSPANNING IN (KN/M²).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 4.00 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSPANNING IN HET ZAND.

DGB18

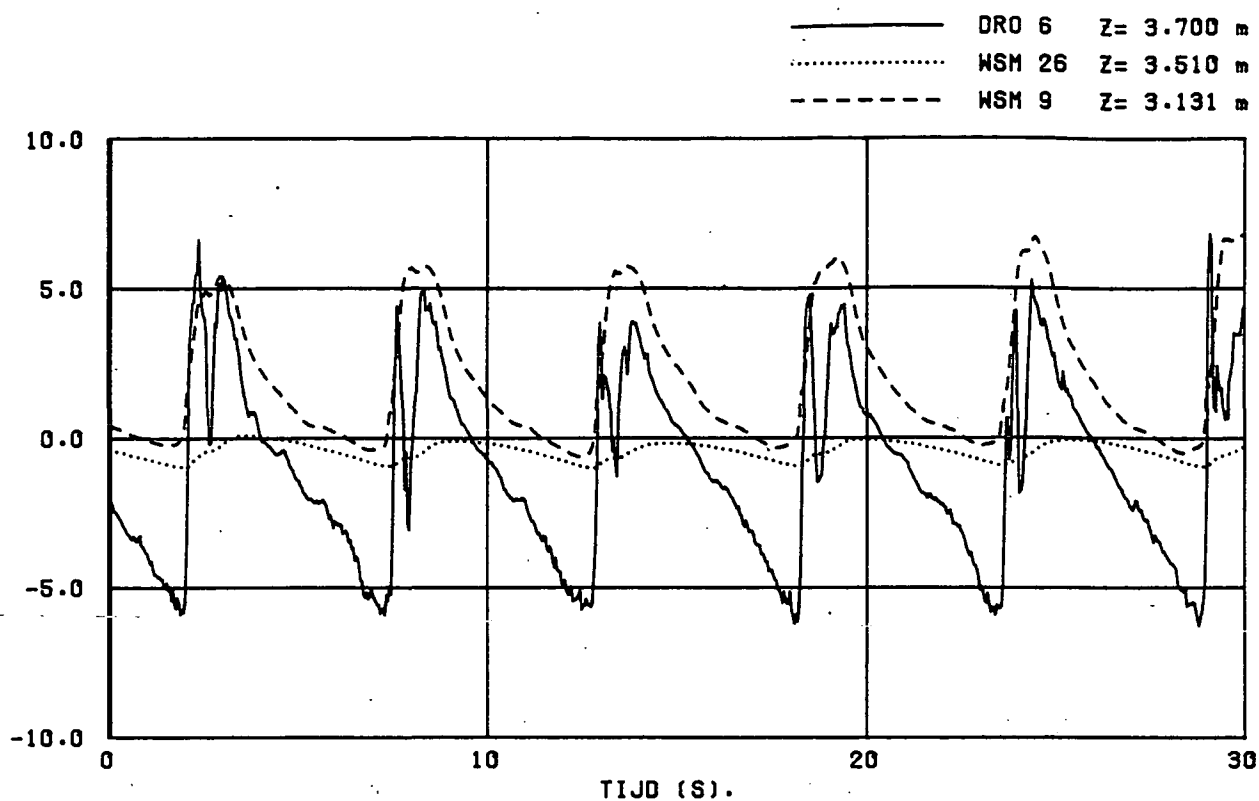
H= 1.382 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

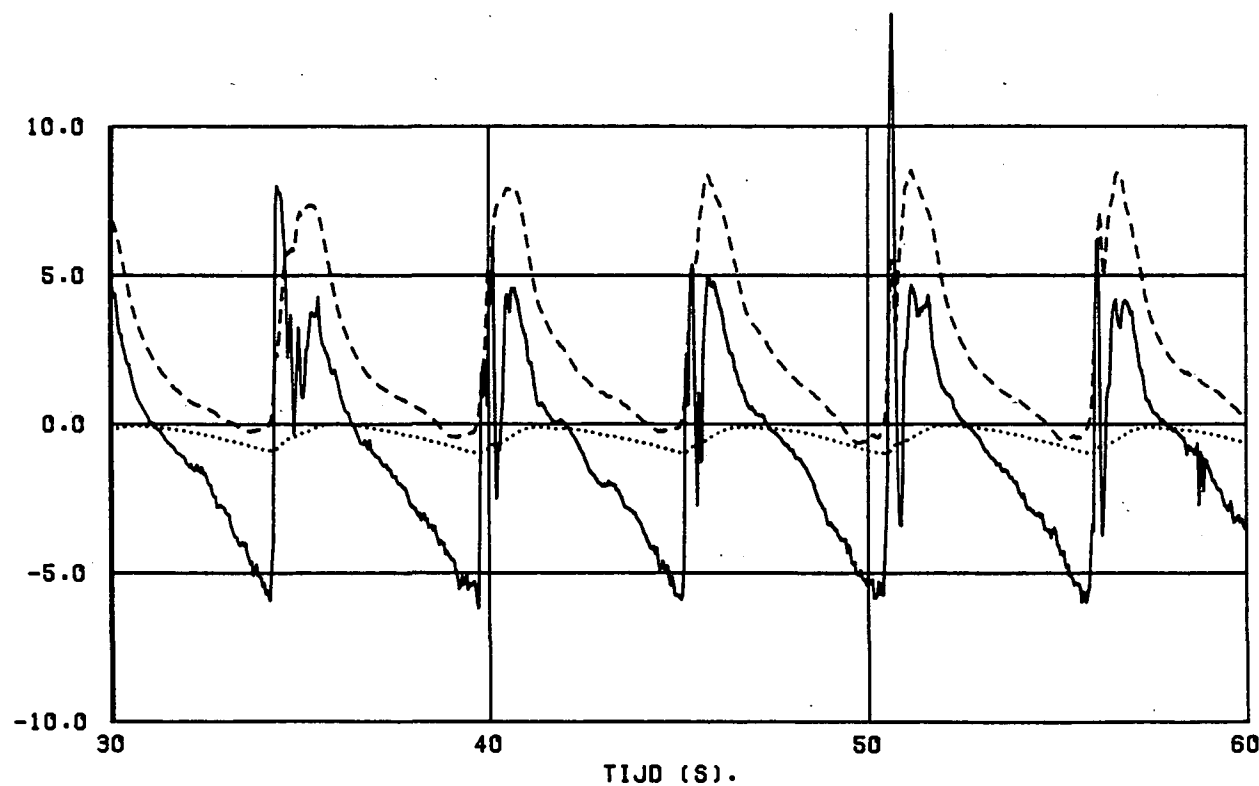
H 0122

FIG. 142

WATERSpanning IN (KN/M2).



WATERSpanning IN (KN/M2).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.70 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanning IN HET ZAND.

DGB18

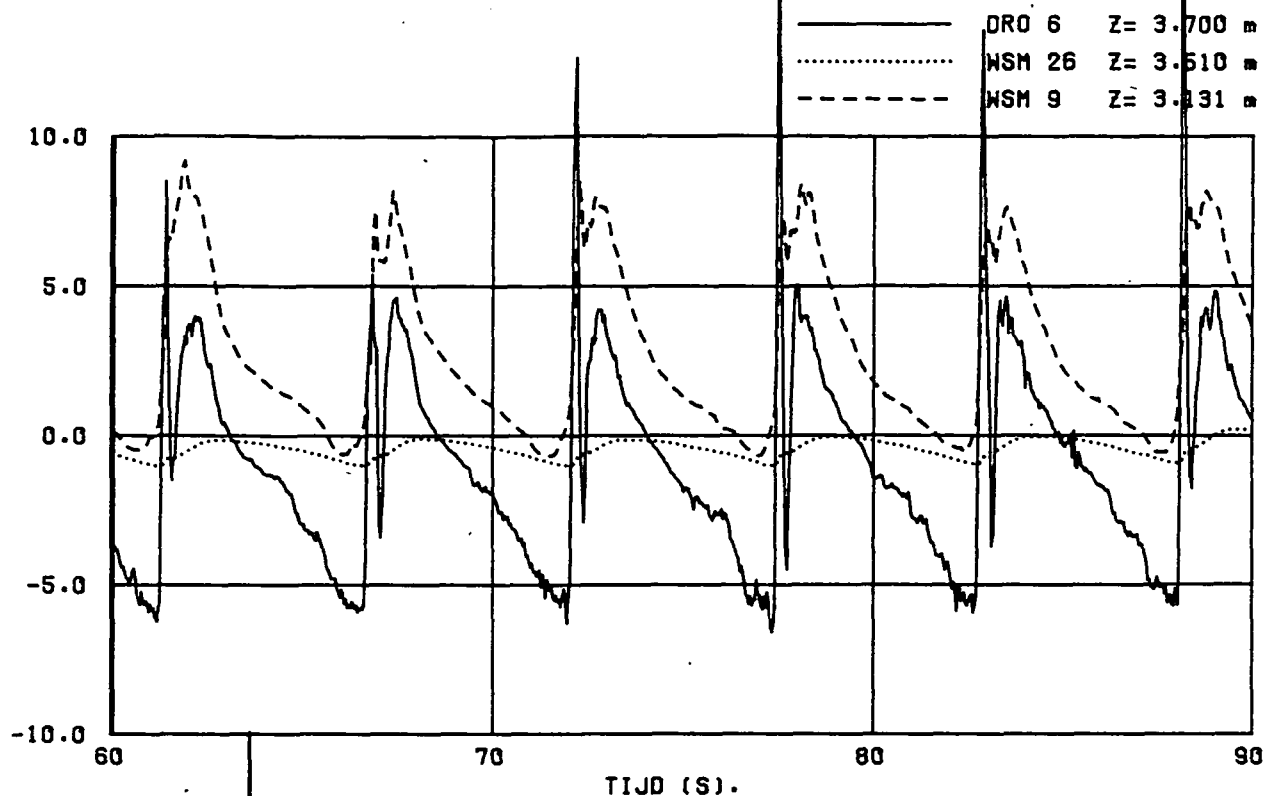
H= 1.382 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

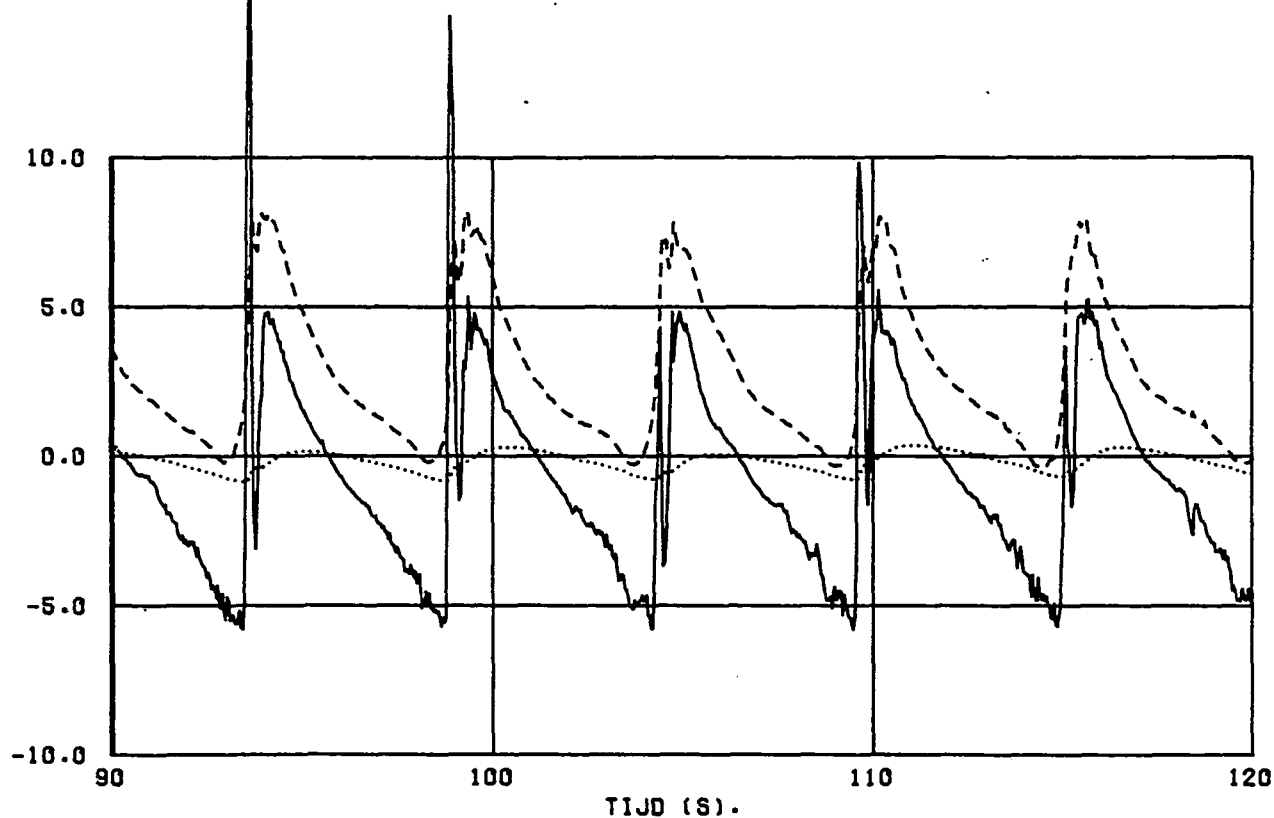
H 0122

FIG. 143

WATERSpanning IN (KN/M2).



WATERSpanning IN (KN/M2).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.70 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanning IN HET ZAND.

DGB18

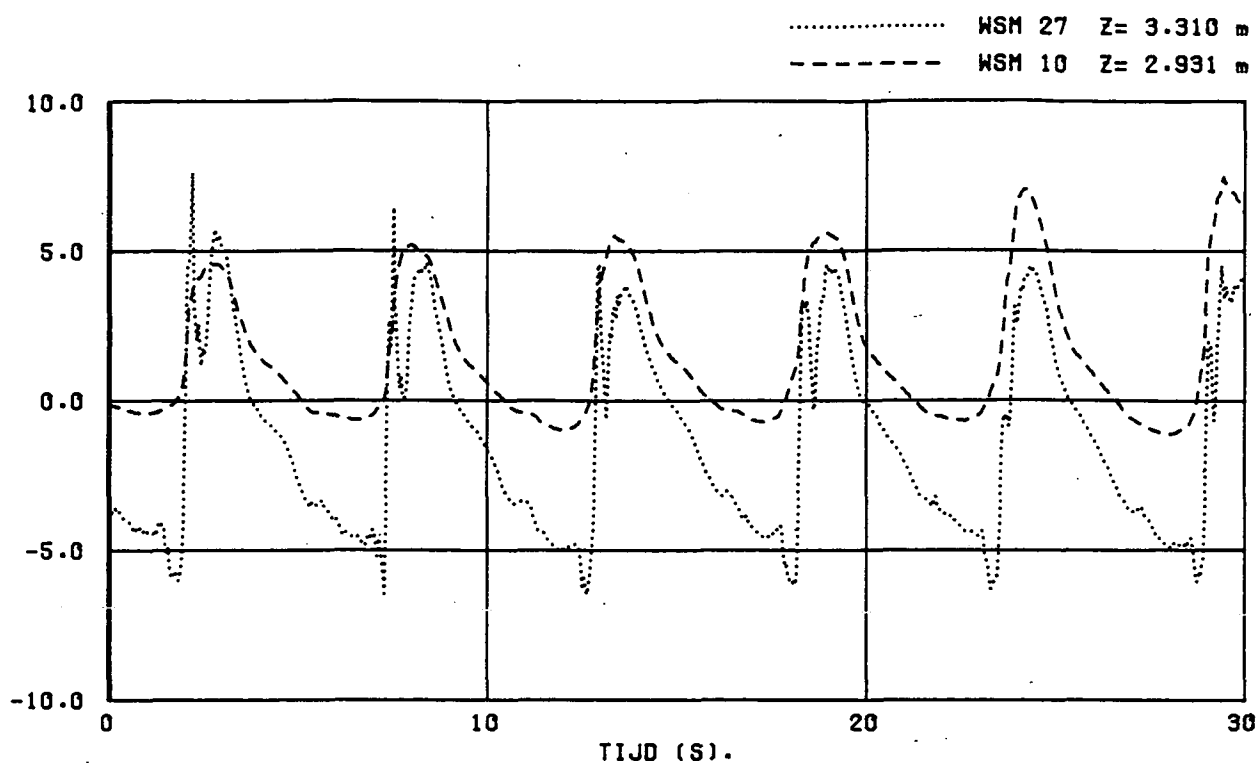
H= 1.382 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

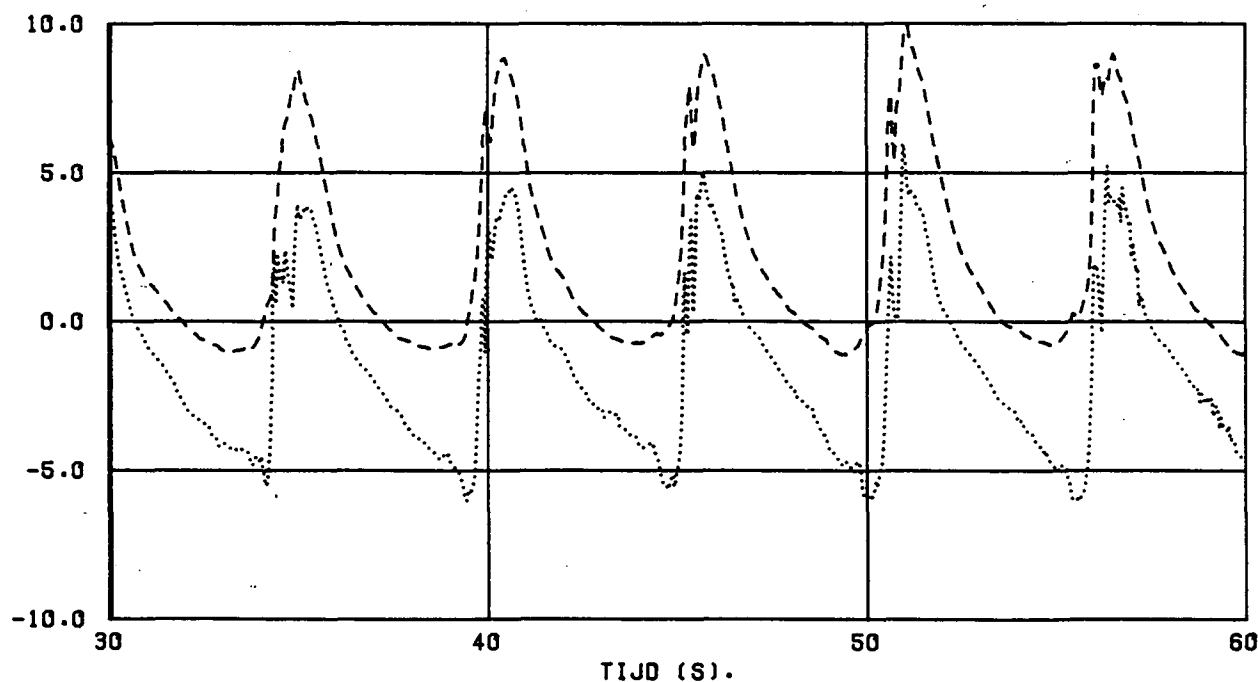
H 0122

FIG. 144

WATERSPANNING IN (KN/M²).



WATERSPANNING IN (KN/M²).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.50 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
 WATERSPANNING IN HET ZAND.

DGB18

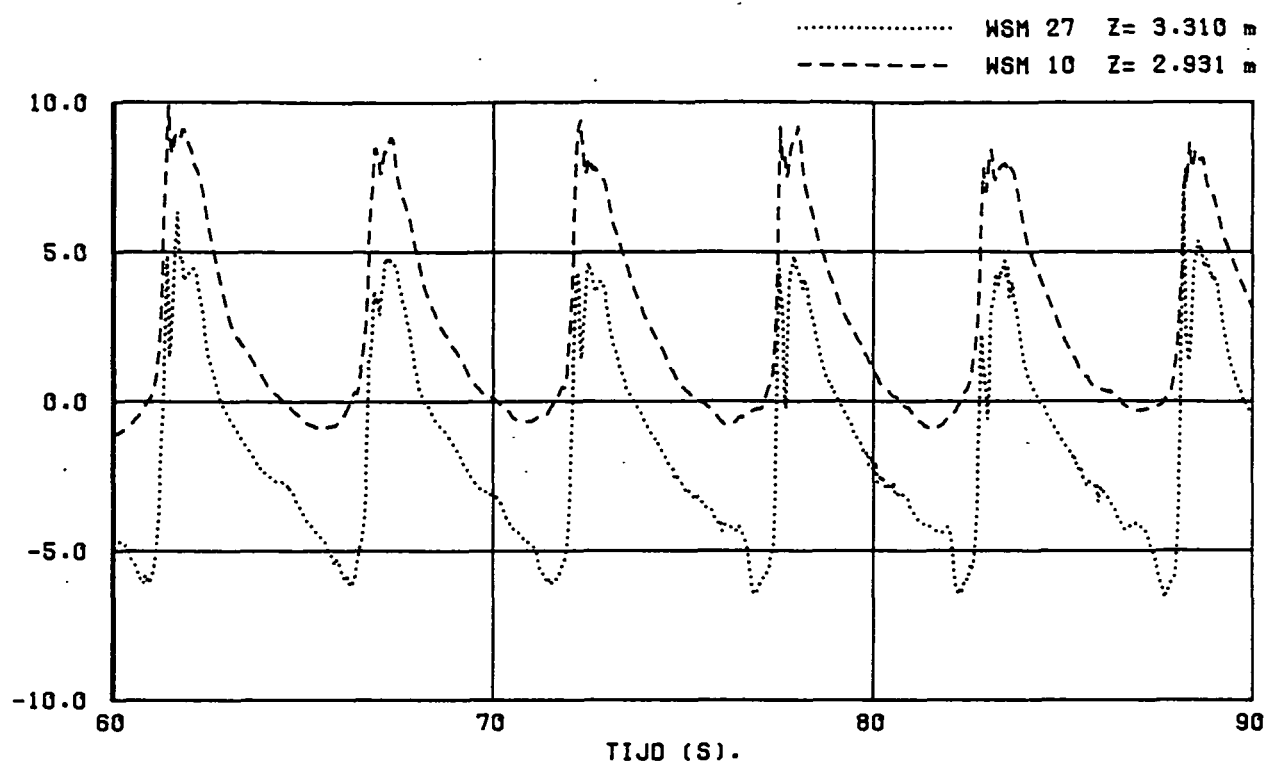
H= 1.382 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

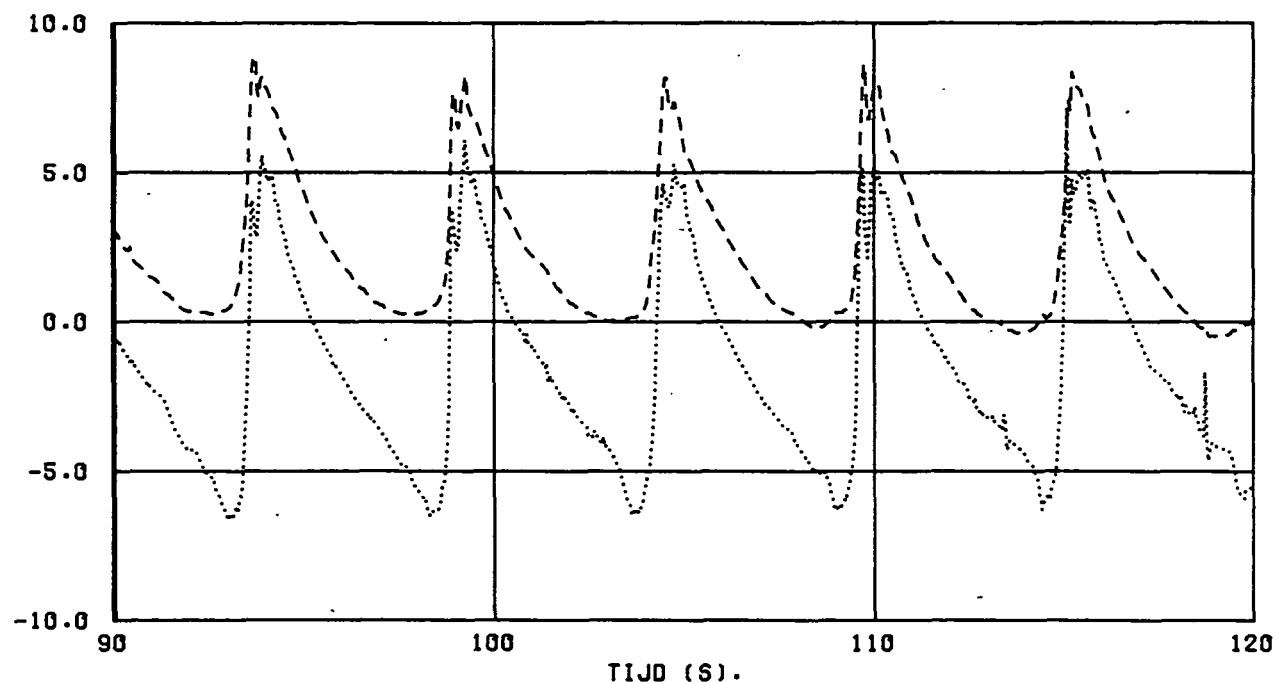
H 0122

FIG. 145

WATERSpanNING IN (KN/M²).



WATERSpanNING IN (KN/M²).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 3.50 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGB18

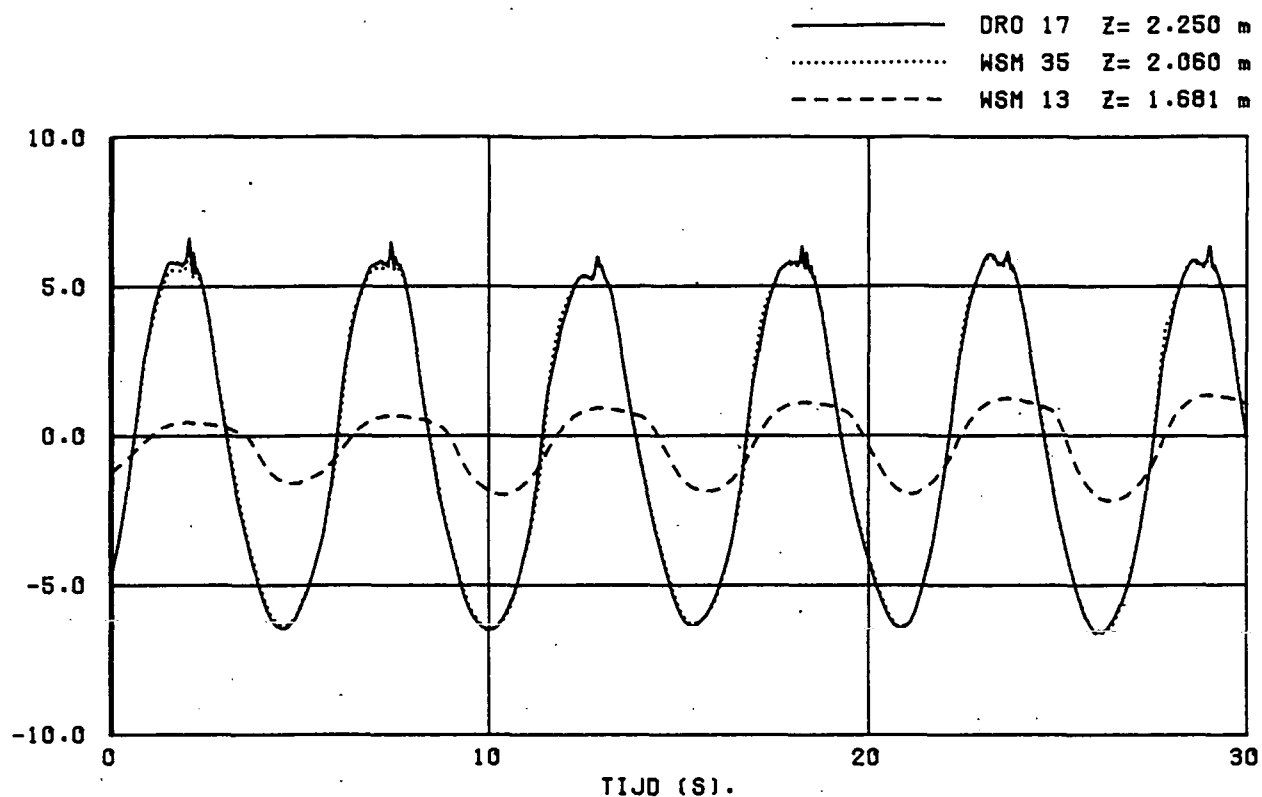
H= 1.382 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONOMECHANICA

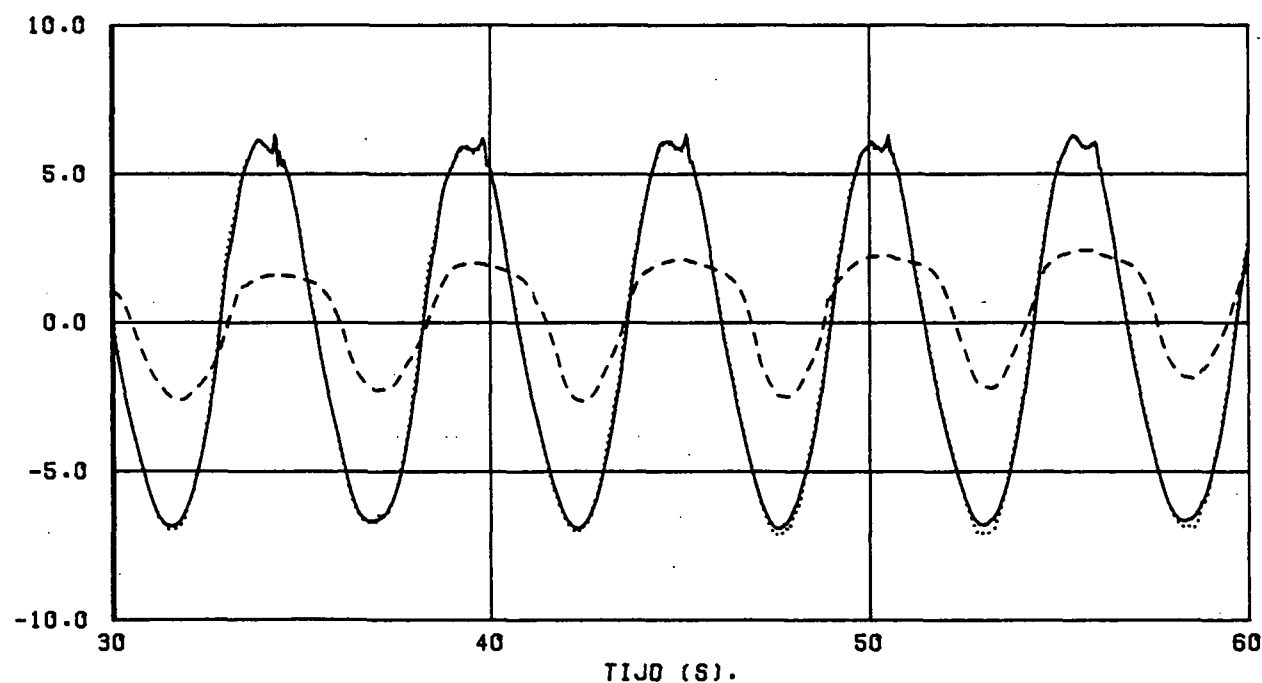
H 0122

FIG. 146

WATERSpanNING IN (KN/M²).



WATERSpanNING IN (KN/M²).



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 2.25 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

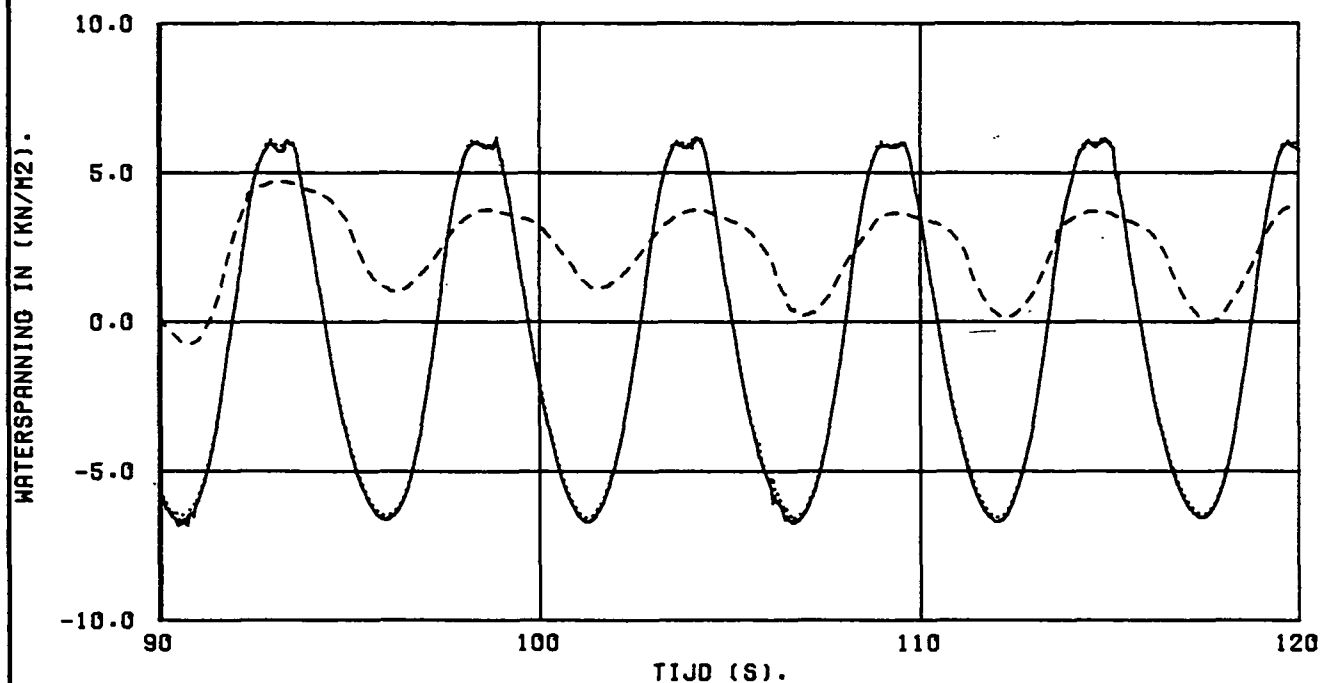
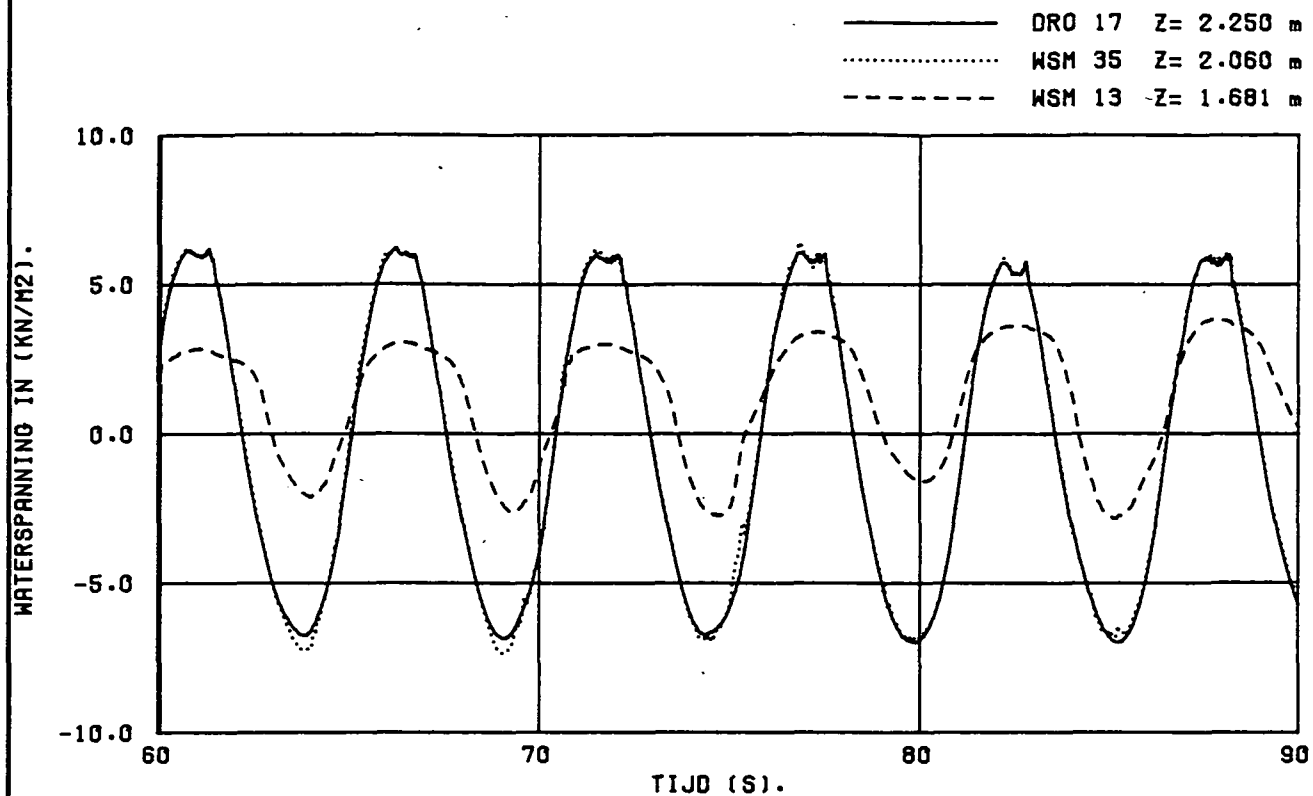
DGB18

H= 1.382 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 147



MEETRAAI LOODRECHT OP TALUD Z= 2.25 m.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGB18

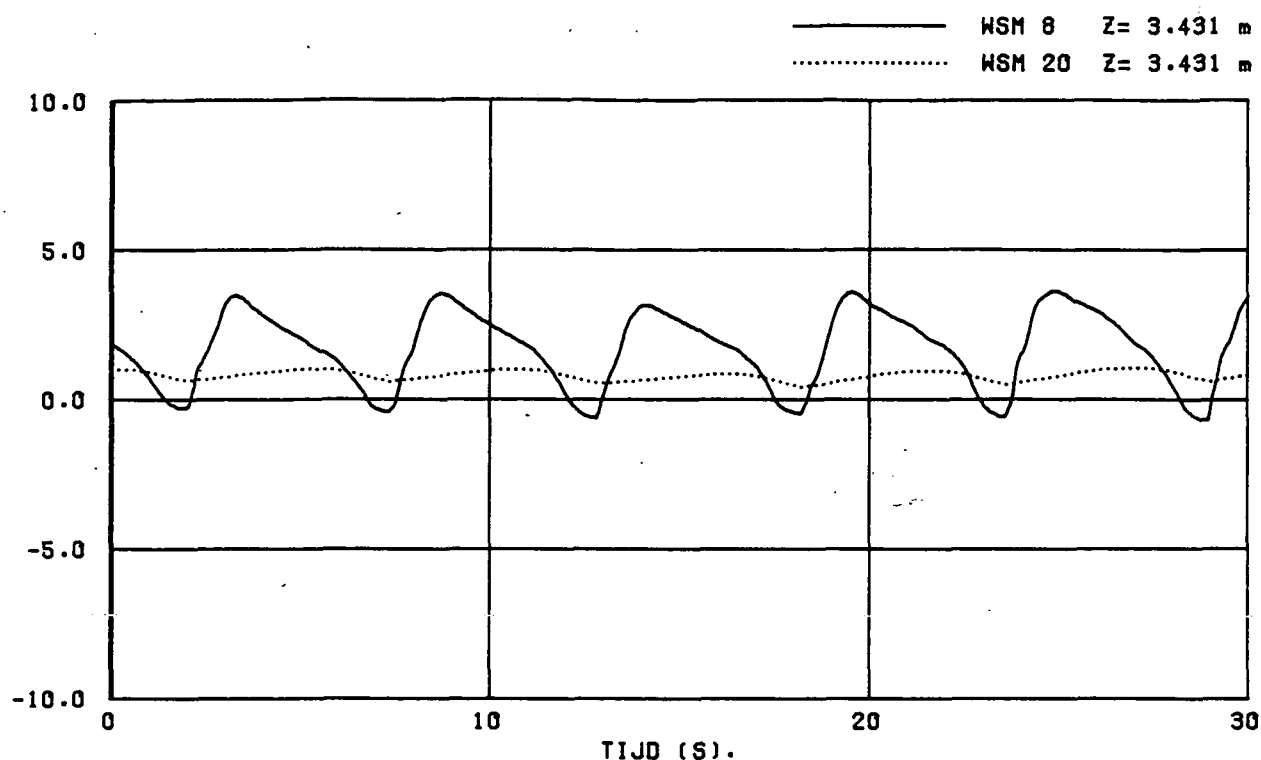
H= 1.382 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

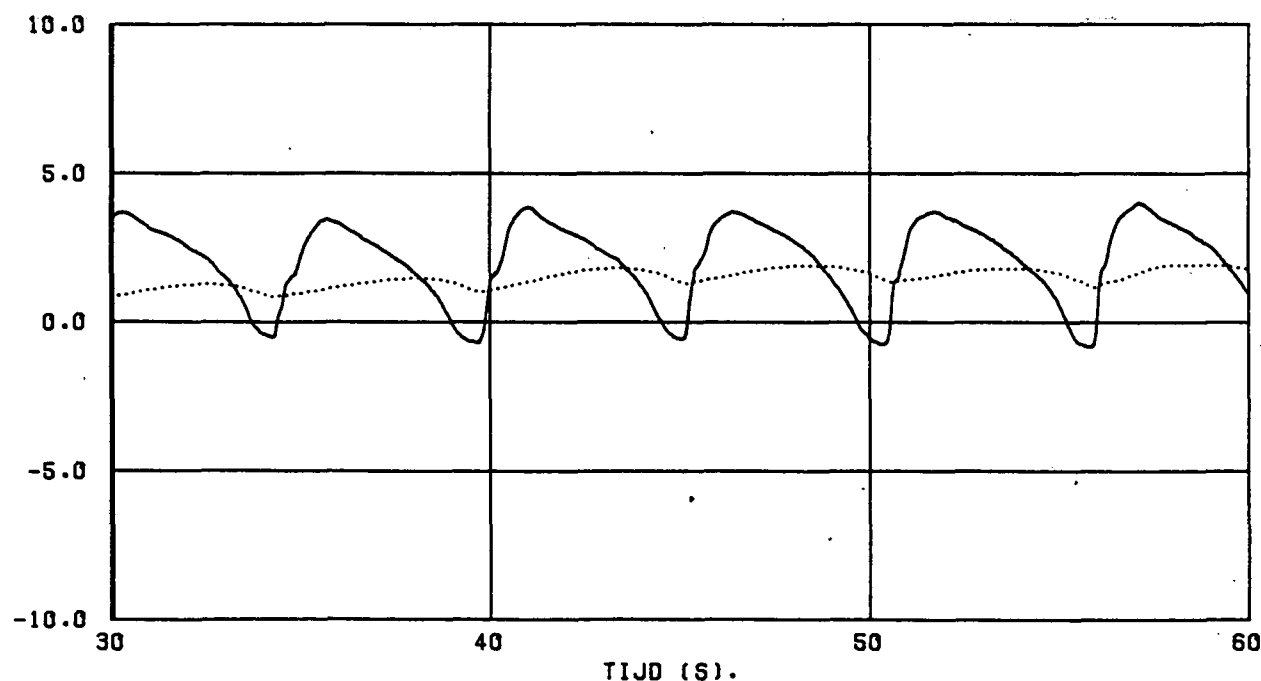
H 0122

FIG. 148

WATERSPANNING IN (KN/M²).



WATERSPANNING IN (KN/M²).



VERGELIJKING OOSTZIJDE ("LOSGEPAKT")
 MET WESTZIJDE ("MEDIUM LOS").

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
 WATERSPANNING IN HET ZAND.

DCB18

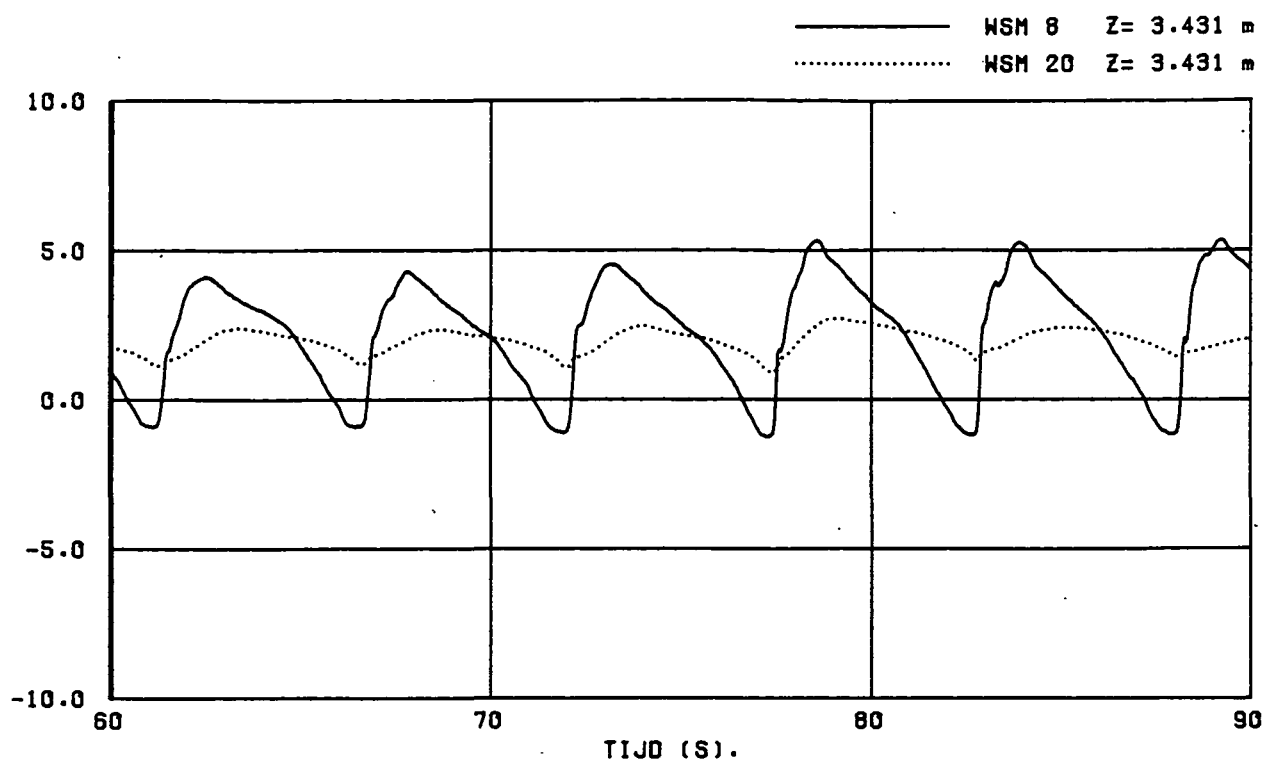
H= 1.382 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

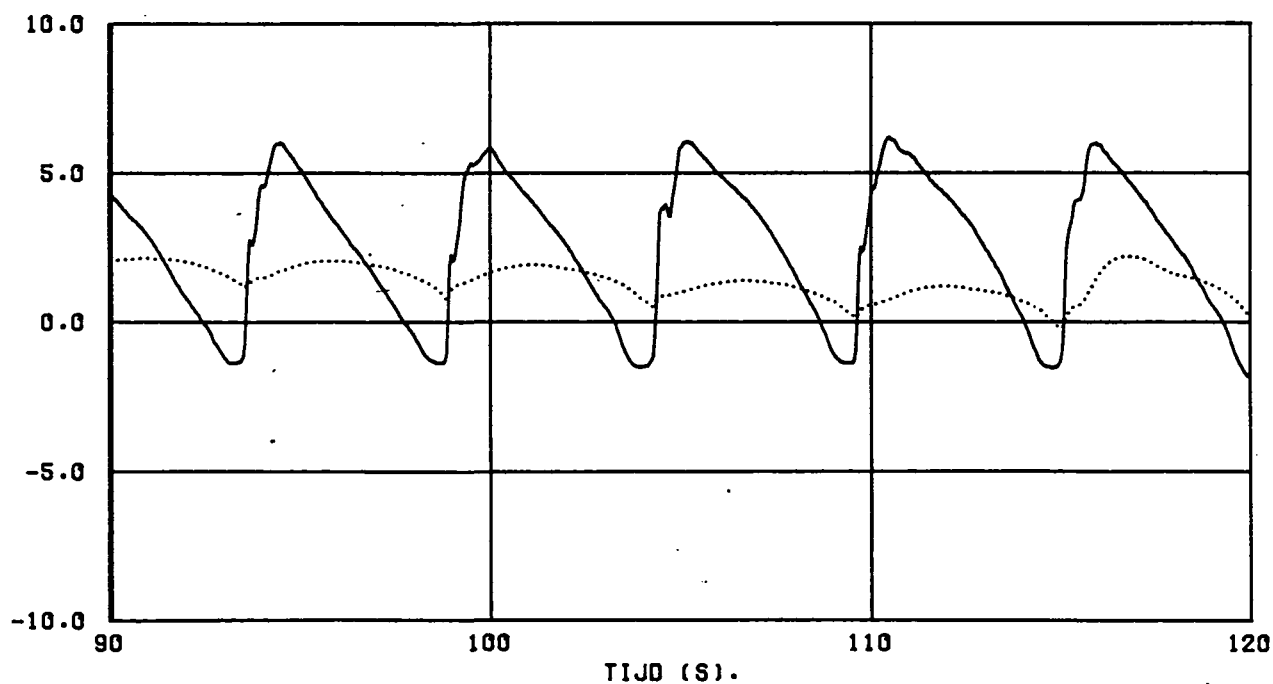
H 0122

FIG. 149

WATERSpanNING IN (KN/M²).



WATERSpanNING IN (KN/M²).



VERGELIJKING OOSTZIJDE ("LOSGEPAKT")
MET WESTZIJDE ("MEDIUM LOS").

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGB18

H= 1.382 m T= 5.37 s

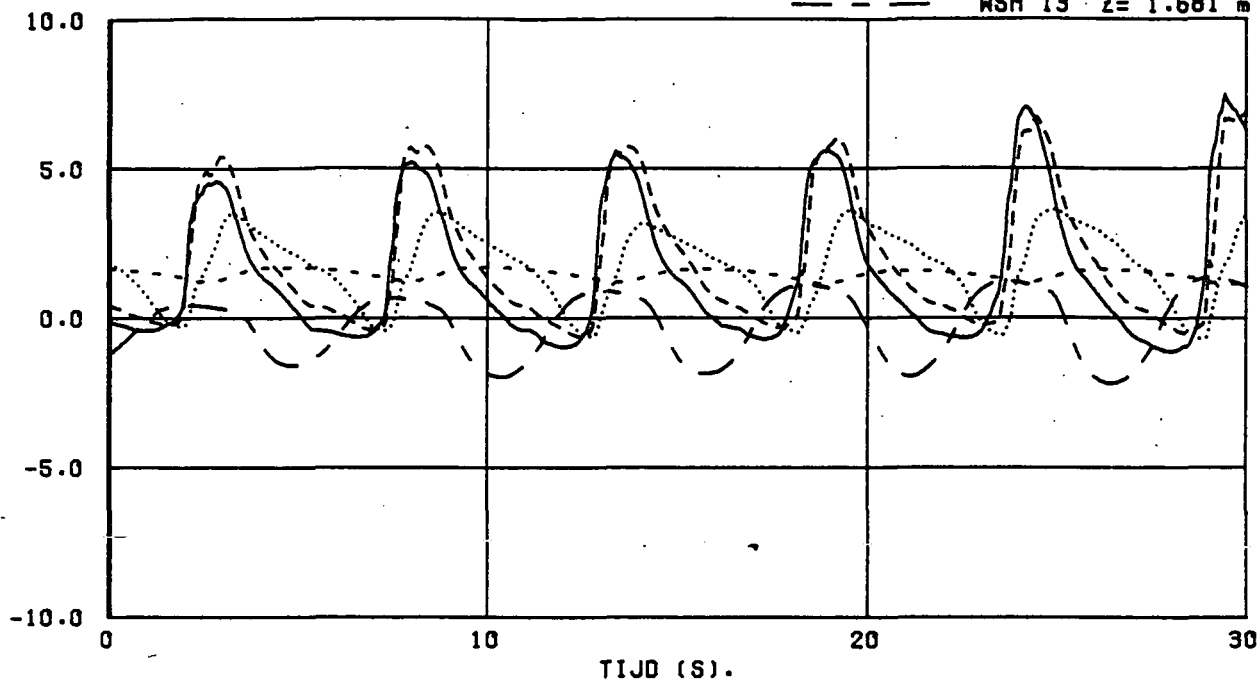
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

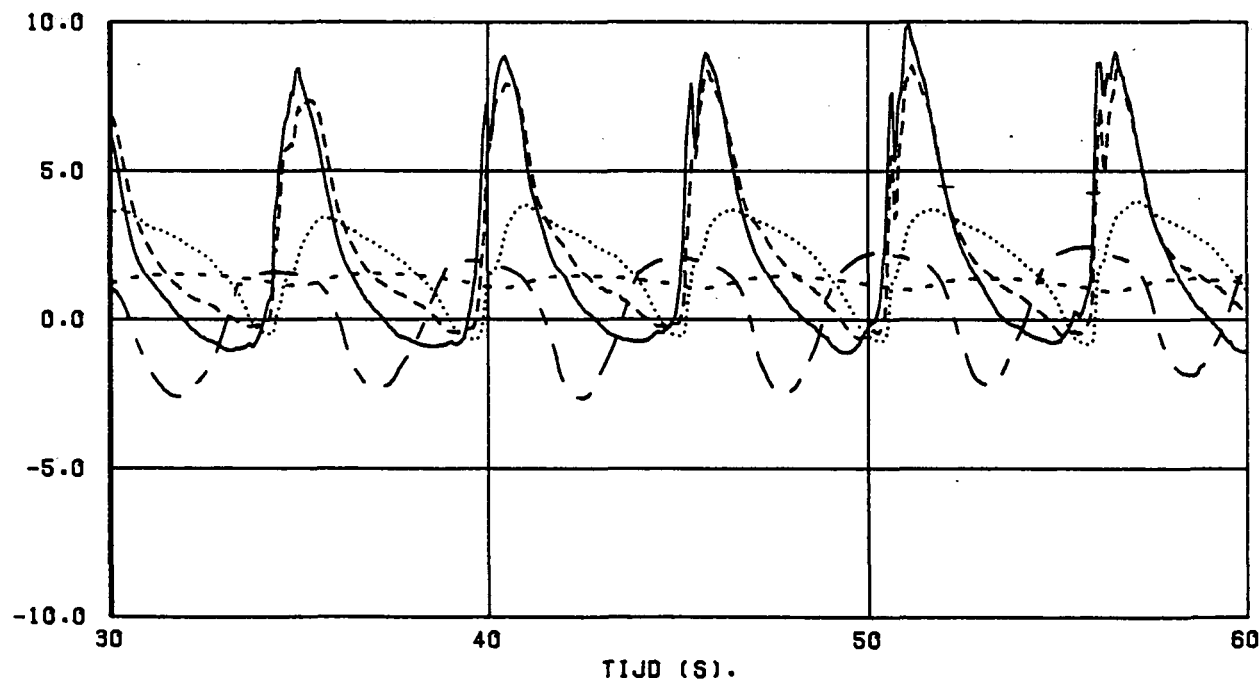
FIG. 150

WATERSpanNING IN (KN/M2).

- - - - - WSM 7 Z= 3.931 m
 WSM 8 Z= 3.431 m
 - - - - - WSM 9 Z= 3.131 m
 _____ WSM 10 Z= 2.931 m
 - - - - - WSM 13 Z= 1.681 m



WATERSpanNING IN (KN/M2).



MEETRAAI EVENWIJDIG AAN TALUD,
 0.40 m ONDER ZANDOPPERVLAK.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
 WATERSpanNING IN HET ZAND.

DGB 18

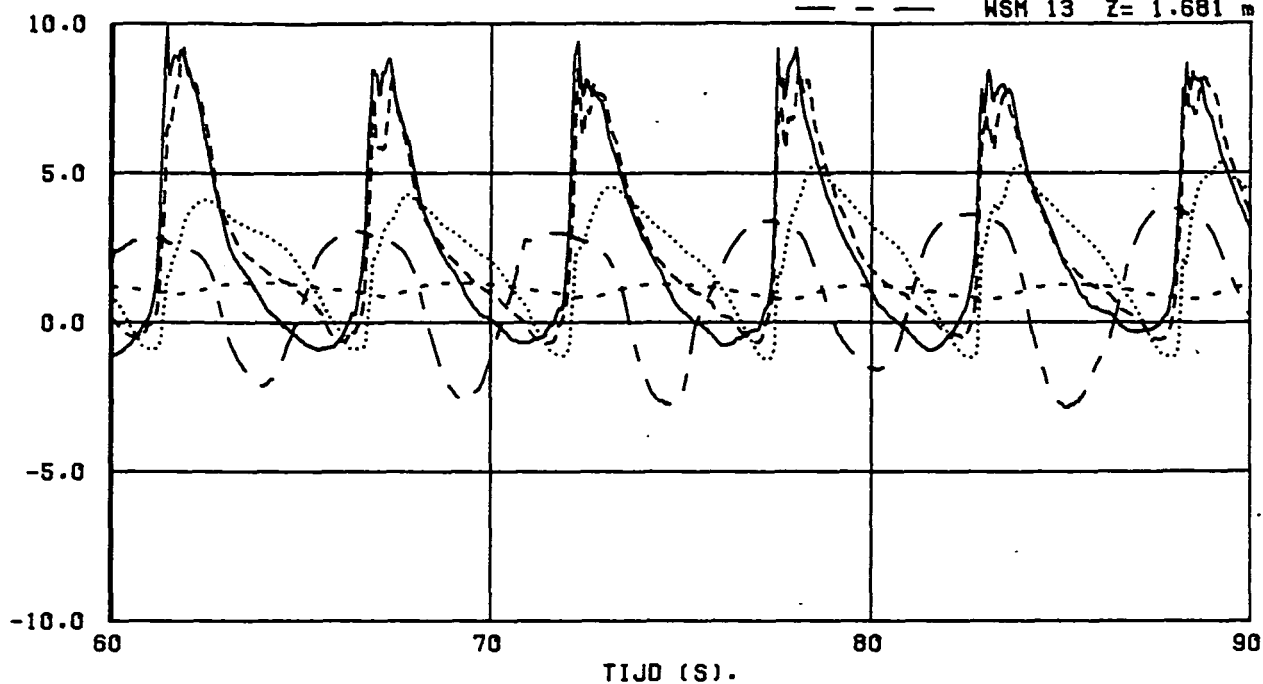
H= 1.382 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

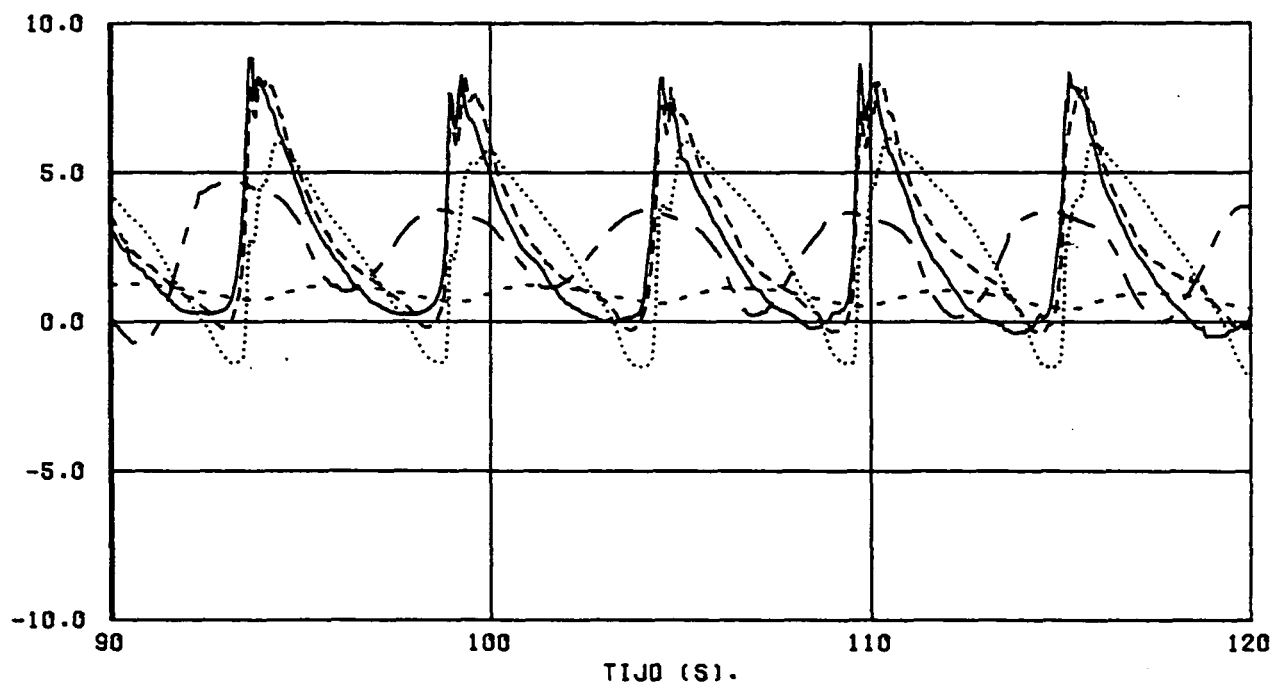
H 0122

FIG. 151

WATERSpanNING IN (KN/M²).



WATERSpanNING IN (KN/M²).



MEETRAAI EVENWIJDIG AAN TALUD,
0.40 m ONDER ZANDOPPERVLAK.

VERWEKING ZAND ONDER STEENZETTINGEN
WATERSpanNING IN HET ZAND.

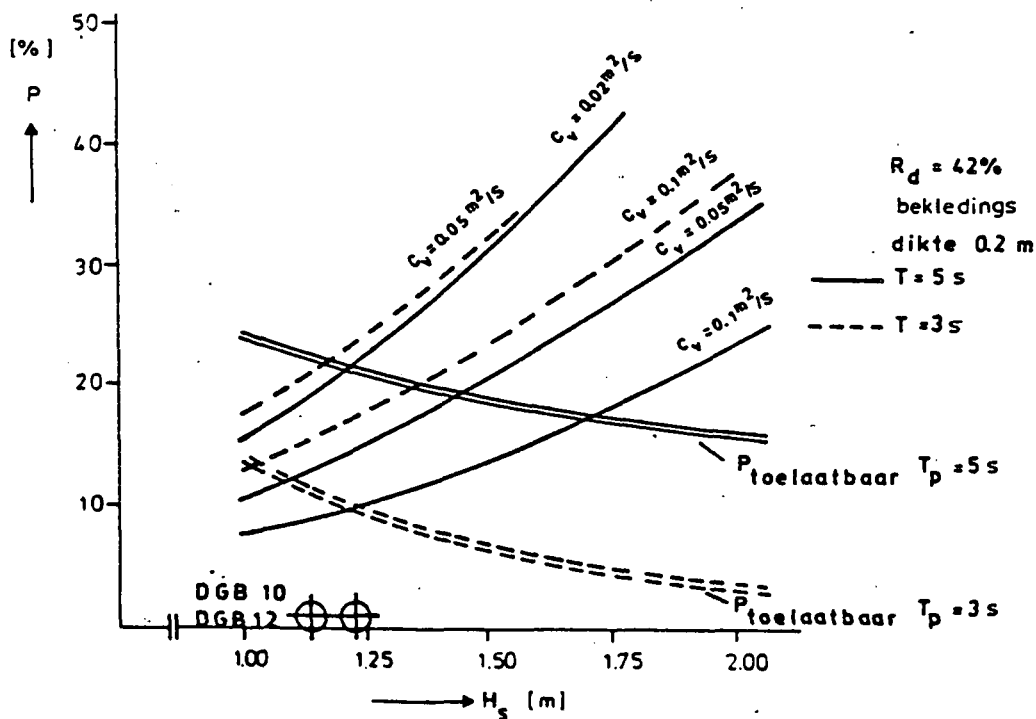
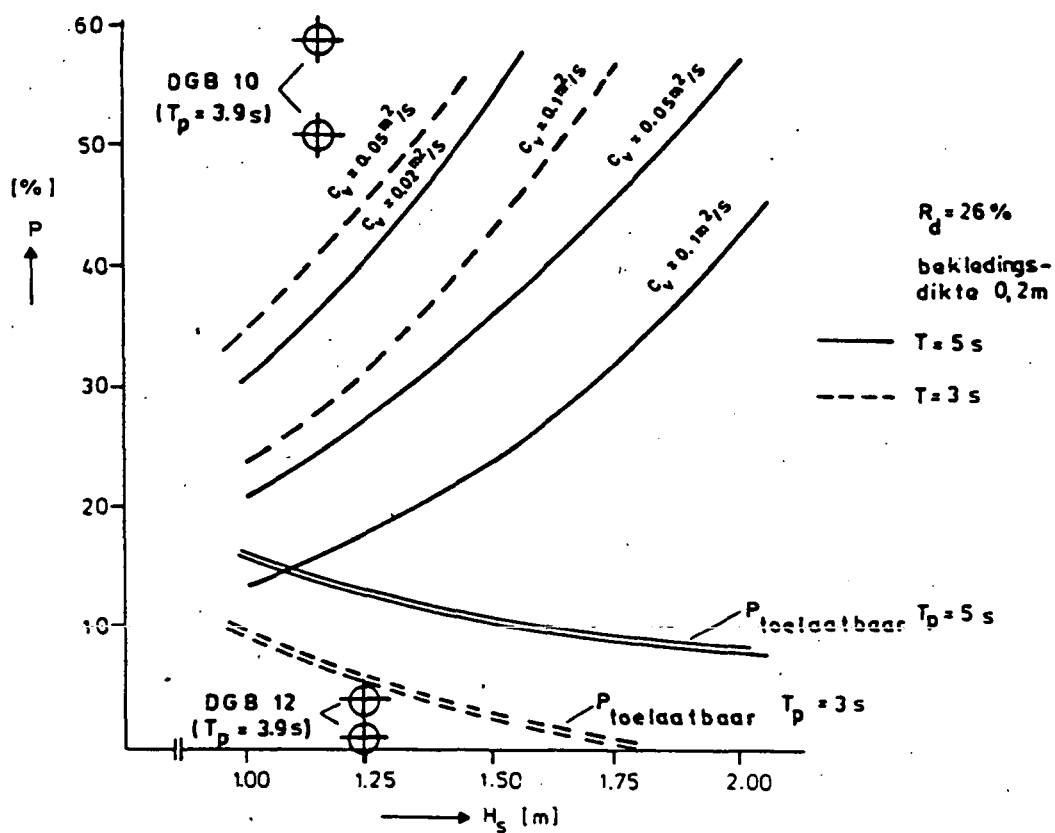
DGB18

H= 1.382 m T= 5.37 s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

H 0122

FIG. 152



VEGELIJKING PROEFRESULTATEN MET RELATIE
 H_s -WATERSPANNING VOLGENS VOORLOPIGE
 ONTWERPCRITERIA (1)

d.d.
 86-10-06
 CO 416751

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
 LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

FIG. 153