

Technische
Adviescommissie voor de
Waterkeringen

Werkgroep A, Belasting en Bekleding

Natuurmeting Gedrag taludbekleding bij storm





Opdrachtgever:
Rijkswaterstaat
Dienst Weg- en Waterbouwkunde, TAW-A2

Natuurmeting Gedrag taludbekleding bij storm

Bundeling van huidige kennis

A. Bezuijen, T.P. Stoutjesdijk

Augustus 1993



**GRONDMECHANICA
DELFT**

1. Rapport nr.	2. Serie nr. A2.93.47	3. Ontvanger catalogus nummer	
4. Titel en sub-titel Natuurmeting. Bundeling van huidige kennis.		5. Datum rapport augustus 1993	
		6. Code uitvoerende organisatie	
7. Schrijvers ir. T.P. Stoutjesdijk, ir. A. Bezuijen		8. Nr. rapport uitvoerende organisatie CO-341960/6	
9. Naam en adres opdrachtnemer GRONDMECHANICA DELFT Postbus 69 2600 AB DELFT		10. Projectnaam TAWA*STEENZ	
		11. Contractnummer DWW 667	
12. Naam en adres opdrachtgever RIJKSWATERSTAAT Dienst Weg- en Waterbouwkunde Postbus 5044 2600 GA DELFT		13. Type rapport eindrapport	
		14. Code andere opdrachtgever	
15. Opmerkingen projectbegeleider DWW: ir. B. Rigter			
16. Referaat In het kader van het onderzoek aan open taludbekledingen zijn metingen verricht onder stormomstandigheden. Dit rapport bundelt de hierbij opgedane kennis en ervaring. Daarnaast wordt het meetsysteem besproken en komen de voor- en nadelen van de methode aan bod. In de Appendices zijn de separate meetverslagen en de analyse van de metingen opgenomen.			
17. Trefwoorden taludbekleding, gezette steen, veldmeting, natuurmeting		18. Distributiesysteem op aanvraag	
19. Classificatie vrij toegankelijk	20. Classificatie deze pagina vrij toegankelijk	21. Aant. blz. 114	22. Prijs

INHOUD:	blz.:
1. SAMENVATTING EN CONCLUSIES	1
2. MEETMETHODE	5
3. RESULTATEN	7
4. VOOR- EN NADELEN	9

Appendix A:	Natuurmeting te Colijnsplaat en simulatie met STEENZET/1+
Appendix B1:	Plaatbekleding van open colloïdaal beton Meting van de belasting bij het proefproject Breskens
Appendix B2:	Korte weergave bevindingen natuurmeting Breskens, basaltonzetting
Appendix C1:	Natuurmeting Afsluitdijk en simulatie met STEENZET/1+
Appendix C2:	Golfdrukken op de Afsluitdijk Notities N675, A2.93.07 en A2.93.20

bladnummer : - 1 -
ons kenmerk: CO-341960/6
datum : augustus 1993

1. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

In de werkgroep TAW-A2 "Steenzettingen" ontstond enkele jaren geleden het idee dat, hoewel theorie en modelvorming omtrent taludbekledingen van gezette steen zich in een vergevorderd stadium bevonden, er nog te weinig bekend was van het gedrag van constructies in natuurlijke omstandigheden. De indruk bestond, dat over een aantal aspecten, zoals bijvoorbeeld afnemende doorlatendheid als gevolg van inzanding, nog onvoldoende bekend was. Omdat theorie hierover ontbrak werd besloten dit eerst maar eens 'in de natuur' te gaan meten.

Er werd een meetmethode ontwikkeld om 'in het veld' tijdens storm drukken op en onder de toplaag te meten. Nadat de methode operationeel was gemaakt is in een periode van twee jaar op drie locaties gemeten. Het doel van de 'natuurmetingen' kan als volgt worden geformuleerd:

- door het simultaan meten van drukken op de toplaag en waterspanningen in de filterlaag onder de blokken vaststellen van de belasting op de toplaag onder prototype-omstandigheden.
- het hieruit afleiden van de fysische eigenschappen, met name de leklengte van de constructie, met behulp van berekeningen met het model STEENZET/1+.
- het verifiëren van de geldigheid van de modellering.

In dit verslag worden de ervaringen met de natuurmetingen samengevat. Opgenomen zijn de verslagen van de natuurmetingen op de dijk nabij Colijnsplaat (Appendix A), op de zeedijk nabij Breskens (Appendix B1 en B2) en op de Afsluitdijk (Appendix C). Met deze metingen zijn de volgende ervaringen opgedaan:

1. De resultaten van de natuurmeting kunnen met behulp van STEENZET/1+ worden geanalyseerd. Hierbij dienen de gemeten golfdrukken op het talud als invoer (golfrandvoorwaarde). Het programma berekent vervolgens de reactie in de filterlaag (stijghoogte of druk) als functie van de ingevoerde constructie-eigenschappen. Deze berekende reactie wordt vergeleken met de gemeten waterspanning in het filter. Met deze procedure kan de grootte van de leklengte worden bepaald.
2. Met name in Colijnsplaat en Breskens bleken de bekledingen onderhevig aan verouderingsverschijnselen; door inzanding en biologische activiteit zijn de doorlatendheden van de constructie in de getijzone in sterke mate afgenomen. Op de Afsluitdijk bleek dit in mindere mate het geval. Waardoor dit verschil wordt veroorzaakt is nog onbekend.
3. Bij de zetting van Haringmanblokken in Colijnsplaat bleek de leklengte in de

bladnummer : - 2 -
ons kenmerk: CO-341960/6
datum : augustus 1993

getijzone dusdanig toegenomen dat al bij relatief kleine golven een belasting op de toplaag kan ontstaan die voldoende is om het gewicht van een los blok op te heffen. In de praktijk blijkt de zetting al jaren probleemloos te functioneren. Dit betekent, dat de sterkte van de zetting niet alleen gevormd wordt door het eigen gewicht van de blokken. Opvallend bij deze zetting is voorts de sterke variatie in doorlatendheden over de hoogte. Tussen de doorlatendheid van de toplaag in de getijzone en de doorlatendheid bovenaan het talud zit een factor 10.000 verschil.

4. Bij de meting op de dijk bij Breskens werden geen waterspanningen in de filterlaag gemeten, noch bij de zetting bestaande uit basalt, noch op het gedeelte met een bekleding van colloïdaal beton. De waterspanningsmeters bleken gedurende de gehele meting droog te hebben gestaan. Dit betekent, dat de freatische lijn in de filterlaag in ieder geval nog onder de laagst aangebrachte waterspanningsmeter (NAP + 2 m) moet zijn gebleven. Aangezien de hoogwaterstand aanzienlijk boven dit niveau kwam, is dit een aanduiding dat er een groot stijghoogteverschil over de toplaag mogelijk is ten gevolge van het getij.

Overigens bleek tijdens de uitvoering van de meting dat inzanding een snel proces kan zijn. De gaten die in de toplaag waren geboord ten behoeve van het plaatsen van de waterspanningsmeters werden gedurende één hoogwater open gelaten. Bij inspectie bleken de gaten tot op enkele centimeters onder de rand te zijn ingezand. Uit monsters van de filterlaag bleek, dat 5 tot 25 % van het filtermateriaal uit zand bestaat.

5. De Afsluitdijk heeft een bekleding die bestaat uit basalt (van NAP tot NAP + 1 m) en hoger op het talud uit basalt. De basalt is gezet op een puinlaag en de basalt op een uitvullaag van steenslag en een puinlaag. Dit verschil in opbouw veroorzaakt een scherpe overgang in doorlatendheden. Omdat de waterstand zich ongeveer ter hoogte van de overgang is er sprake van een sterke onderlinge beïnvloeding van de twee gedeelten. Dit maakt de analyse met STEENZET/1+ moeilijk, met name omdat rekenen met variërende filterdoorlatendheden in het huidige programma niet mogelijk is. Toch kon worden vastgesteld, dat de basaltzetting in de getijzone vermoedelijk een vrij lange leklengte heeft (geschat op 4 à 7 meter), terwijl de basaltzetting boven de overgang waarschijnlijk een leklengte heeft in de orde-grootte van 0,5 meter. In ieder geval in het gebied boven de overgang zijn geen bewijzen gevonden voor sterke inzanding van de constructie.

bladnummer : - 3 -
ons kenmerk: CO-341960/6
datum : augustus 1993

Als conclusies uit de metingen, en de analyse daarvan, zijn gevonden:

- de natuurmetingen hebben aangetoond, dat de eigenschappen van zettingen sterk kunnen afwijken van de bevindingen in modelproeven en theoretische overwegingen.
- omdat de methode nieuw is blijft de uitvoering van de meting grote aandacht vragen. Een meting kan alleen onder stormomstandigheden worden uitgevoerd. Het uitwerken en analyseren van de meting vraagt een zekere mate van expertise. Deze drie punten maken dat de methode vooralsnog niet geschikt is voor grootschalig gebruik, bijvoorbeeld in het kader van de toetsing van dijkbekledingen.
- De installatie van de meetopstelling kan verbeterd worden. Omdat tot nu toe de installatie steeds kort voor de storm is uitgevoerd is dit steeds haastwerk geweest. Overwogen kan worden om het merendeel van te voren te doen. De gaten in de toplaag kunnen vooraf worden geboord. Voorts kan een systeem worden ontwikkeld, waarbij ten behoeve van de plaatsing van de meetbalk stalen onderdelen op het talud worden bevestigd, zodat bij aankomst de meetbalk met enkele schroeven of een 'vastklik-systeem' kan worden bevestigd.
- Bij het analyseren van de metingen is de nulpuntsafwijking van de waterspanningsmeters een zwak punt gebleken. De meters vertonen een verlopende nulpuntsafwijking. Dit bezwaar kan worden opgeheven door ter plaatse met behulp van een eenvoudige procedure de nulpuntsafwijking vast te stellen. De procedure is dan, dat voor en na de meting de waterspanningsmeters tot een bekende hoogte worden ondergedompeld in een emmer met water. De uitlezing van de meter geeft dan een betrouwbare waarde voor het nulpunt van de meting, plus eventueel verloop tijdens de meting.
- STEENZET/1+ geeft ook bij grote leklengtes resultaten die de gemeten verschijnselen goed benaderen. Een punt van aandacht hierbij is de ligging van de freatische lijn. Bij lage doorlatendheden kan de freatische lijn in de filterlaag de wisseling van de buitenwaterstand niet volgen. Ook de invloed van voorafgaande condities, zoals stormopzet en getij kan zich doen gelden. In de STEENZET/1+ benadering wordt de ligging van de freatische lijn berekend. Als dit niet overeenkomt met de werkelijke ligging, dan zijn ook de rekenresultaten niet overeenkomstig de werkelijkheid. Aan dit aspect wordt aandacht besteed bij de metingen van getij en freatische lijn.
- het is geen vaste regel, dat inzanding bij elke zetting optreedt. Inzanding kan variëren tussen zeer snelle (Breskens) en zeer sterke inzanding (Colijnsplaat, getijzone) tot vrijwel geen inzanding (Colijnsplaat en Afsluitdijk hoger op het

bladnummer : - 4 -
ons kenmerk: CO-341960/6
datum : augustus 1993

talud).

- getuige de ervaring bij Breskens kan de ligging van de freatische lijn een belangrijke rol spelen. In dit verband wordt opgemerkt, dat de resultaten van de natuurmeting ook gebruikt kunnen worden om de ligging van de freatische lijn te bepalen. Hierop al nader worden ingegaan op een later dit jaar te verschijnen verslag over metingen van getijde en freatische lijn.
- doorlatendheden kunnen sterk variëren over de hoogte. Het is van belang voldoende gegevens te hebben omtrent deze variatie. Indien de overgang vrij abrupt is, wordt hierdoor ook de reactie op korte golven beïnvloed. Een variërende filterdoorlatendheid is in STEENZET/1+ moeilijk te modelleren.
- uitgaande van de veronderstelling, dat een pas geconstrueerde zetting een relatief grote toplaagdoorlatendheid heeft en vaak een korte lek lengte, wordt geconstateerd dat uit de natuurmetingen blijkt dat zettingen zeer ondoorlatend kunnen zijn. Dit gaat vaak samen met zeer grote lek lengtes. Overigens zijn beide extremen (zeer kleine zowel als zeer grote lek lengte) stabiel: een kleine lek lengte omdat er geen grote drukverschillen over de toplaag ontstaan, en een grote lek lengte omdat er onvoldoende water onder de aangevallen blokken kan toestromen om grote blokbeweging mogelijk te maken. Tussen deze uitersten ligt een gebied waarin schadegevoelige constructies worden gevonden.

bladnummer : - 5 -
ons kenmerk: CO-341960/6
datum : augustus 1993

2. MEETMETHODE

De natuurmeting bestaat uit het simultaan meten van de golfbelasting op het talud en de drukken onder de toplaag. De golfbelasting wordt gemeten met behulp van 12 drukopnemers. Deze drukopnemers zijn op een meetbalk gemonteerd die bestaat uit twee gedeelten van elk drie meter lang. Als een meting wordt uitgevoerd wordt de meetbalk op het talud vastgezet met bouten. De meetbalk is in het midden 10 cm hoger, zodat de meetkabels onder de meetbalk door kunnen worden gevoerd. Van de twaalf drukopnemers worden er enkele (één of twee) laag op de meetbalk gemonteerd. Deze opnemers geven een indruk van de inkomende golf. De overige meters zijn op korte (25 cm) van elkaar aangebracht, zodanig dat als de meetbalk onder water is verdwenen, het steile golffront bij golfterugloop, dat verantwoordelijk is voor de maximale verschildrukken over de toplaag, goed kan worden bemeten.

Om de drukken in de filterlaag te kunnen meten worden waterspanningsmeters gebruikt. Om deze meters te kunnen plaatsen worden naast de meetbalk met een kernboor gaten in de toplaag geboord. Door deze gaten worden waterspanningsmeters in de filterlaag aangebracht. De gaten worden vervolgens afgedicht met PUR-schuim. In totaal worden op deze manier drie of vier waterspanningsmeters aangebracht op verschillende hoogten.

Het data-aquisitie systeem bevindt zich in een meetbus. De stroomvoorziening voor het boren en het opslaan van de gegevens wordt verzorgd door een aggregaat. In principe volstaat het om eenmalig te meten als de meters droog staan. De uitslag van de meters in deze omstandigheid dienen als nul-referentie. De meetwaarden dienen tijdens de verwerking te worden gecorrigeerd voor deze nuluitslag. De overige metingen vinden plaats als de balk geheel of gedeeltelijk onder water is verdwenen. Een meting bestaat uit een periode van 80 seconden die met een frequentie van 25 Hz wordt bemonsterd. De meting wordt gedurende de getijperiode op een aantal tijdstippen herhaald. Dit is in eerste instantie om er zeker van te zijn dat de golfterugloop zich binnen het gebied bevindt waar de drukopnemers op het talud zijn gemonteerd. In een later stadium van het onderzoek werd echter meer de nadruk gelegd op het verloop van het freatisch niveau in het filter als functie van de wisseling in buitenwaterstand. Om dit te meten worden ook metingen verricht als de buitenwaterstand opkomt en als de waterstand daalt.

Het opbouwen van de meetopstelling vindt in principe plaats op een droog talud. Vervolgens worden bij hoogwater metingen verricht, en bij het volgende laagwater wordt de opstelling weer gedemonteerd. Deze procedure vereist, dat het talud

bladnummer : - 6 -
ons kenmerk: CO-341960/6
datum : augustus 1993

gedurende enkele uren droogvalt. Dit maakt, dat de methode meer geschikt is voor de Zeeuwsche situatie, waar dit inderdaad in de meeste gevallen klopt, dan voor de situatie op bijvoorbeeld de Afsluitdijk en in Friesland, waar de getijrange kleiner is en het talud tijdens storm slechts korte tijd droog staat.

bladnummer : - 7 -
ons kenmerk: CO-341960/6
datum : augustus 1993

3. RESULTATEN

De eerste natuurmeting werd uitgevoerd op de dijk nabij Colijnsplaat (zie appendix A). De dijk is bekleed met Haringmanblokken. Uit de metingen blijkt duidelijk, dat met name in de getijzone de doorlatendheden van filterlaag en toplaag sterk zijn afgenomen door inzanding en begroeiing. De gemeten golfhoogte bedroeg circa 30 cm. De reactie in de filterlaag was sterk gedempt ten opzichte van deze golf; de amplitude van de waterbeweging in de filterlaag bedroeg slechts 3 cm. Om de gemeten reactie in de filterlaag te kunnen narekenen met STEENZET/1+ moet een lek lengte van meer dan 10 meter worden ingevoerd. Met deze grote lek lengte ontstaan al bij kleine golven grote verschildrukken over de toplaag.

Uit berekeningen blijkt dan bij relatief kleine golven al blokbeweging te ontstaan. Overigens blijkt uit de berekeningen ook dat de zetting dan nog steeds stabiel is: de blokbeweging blijft zeer beperkt. Omdat de zetting zo ondoorlatend is, kan er vrijwel geen water onder het bewegende blok stromen. Hierdoor valt de druk onder het blok weg en stopt de blokbeweging.

Een tweede natuurmeting is uitgevoerd op de zeedijk ten westen van Breskens (zie appendix B). Er werden twee metingen verricht: één op het proefvak colloïdaal beton, en één op de ernaast gelegen zetting met basaltblokken. Het resultaat was tweemaal hetzelfde: hoewel er aanzienlijke golfwerking op het talud was, en de waterstand vrij hoog op het talud kwam, werden in het filter geen waterspanningen gemeten. De verklaring hiervoor is, dat de freatische lijn in de filterlaag het niveau van de onderste waterspanningsmeter niet heeft bereikt. Dit betekent tevens dat er een aanzienlijk verschil tussen binnen- en buitenwaterstand kan bestaan. Voor dit verschijnsel zijn meerdere verklaringen denkbaar.

1. De doorlatendheid van de toplaag is zo laag, dat er nauwelijks water in de filterlaag kan stromen. Dit is een zeer stabiele situatie, aangezien er als de buitenwaterstand hoog ligt dan de freatische lijn geen naar buiten gerichte overdrukken onder de toplaag ontstaan. Het is echter gevaarlijk als er, bijvoorbeeld omdat de zetting hoger op het talud doorlatender is, water van bovenaf het ondoorlatende deel van de zetting bereikt. Dit water kan niet door de toplaag wegstromen, en zal dus een overdruk onder de blokken kunnen veroorzaken.
2. De doorlatendheden van de toplaag en de filterlaag zijn dusdanig laag, dat het vullen en leeglopen van de filterlaag langzamer gaat dan is vereist om de variatie in buitenwaterstand te kunnen volgen.
3. Bij deze lage doorlatendheden is het niet meer gerechtvaardigd de doorlatend-

bladnummer : - 8 -
ons kenmerk: CO-341960/6
datum : augustus 1993

heid van het basismateriaal buiten beschouwing te laten. Als het filter bijvoorbeeld bestaat uit ingezand materiaal, en de kern van de dijk is van zand, dan zal er een niet te verwaarlozen hoeveelheid water in en uit het filter stromen, van en naar het basismateriaal. Naarmate het verschil tussen de freatische lijn en het polderpeil groter wordt neemt deze hoeveelheid toe.

De conclusie van deze meting was dan ook, dat bij zettingen met lage doorlatendheden bij de beschouwing van de stabiliteit rekening gehouden moet worden met de invloed van eb en vloed.

Op grond van de ervaringen in Colijnsplaat en Breskens, beide zettingen met een zeer ondoorlatende toplaag, werd de Afsluitdijk geselecteerd als derde locatie voor een natuurmeting (zie appendix C). Omdat er sprake was van een aanzienlijke windopzet bleek de installatie van de meetbalk en de waterspanningsmeters in dit geval een kritische factor. De meting is hierdoor duidelijk nadelig beïnvloed. Toch zijn er interessante resultaten. De leklengte van de constructie in de getijzone is vrij groot, dit ondanks de grote doorlatendheden die zijn gemeten. Aangetoond kan worden, dat de reactie in de getijzone mede bepaald wordt door de leklengte van de zetting boven de getijzone. Er is in dat geval sprake van een wederzijdse beïnvloeding. Dit volgt ook uit berekeningen met STEENZET/1+, als dit model wordt aangepast om te rekenen met een dergelijke overgang in doorlatendheden. Het is echter niet mogelijk gebleken aan te tonen dat het model voor dit geval correcte resultaten geeft. Het blijkt dat bij de analyse van de stabiliteit onder invloed van korte golven een variatie van de leklengte over de hoogte een belangrijke rol speelt. In de bestaande modellen kan hier niet mee gerekend worden.

bladnummer : - 9 -
ons kenmerk: CO-341960/6
datum : augustus 1993

4. VOOR- EN NADELEN

Aan iedere methode kleven een aantal voor- en nadelen. Als pluspunt van de natuurmeting wordt gezien, dat dit een directe methode is om de belasting op een steenzetting onder golfaanval in prototype te meten. Geconstateerd is, dat de methode op deze manier een goede indicatie geeft van de lek lengte van de constructie. Met deze lek lengte kan vervolgens geëxtrapoleerd worden naar andere golfbelastingen dan de gemeten. Zo kan de ontwerp golf doorgerekend worden en kan worden bepaald of de constructie onder die omstandigheden stabiel is of niet. In principe is de natuurmeting dus geschikt als toetsingsinstrument voor de zetting. Een nadeel hierbij is, dat slechts op een beperkt gedeelte van de zetting gemeten kan worden, namelijk alleen tot op dat niveau waar het water komt. Dit heeft tot gevolg, dat de eigenschappen van de zetting hierboven niet bepaald kunnen worden. Overigens lijkt het wel zo te zijn, dat de grootste verandering in eigenschappen in de getijzone plaatsvindt. Het hoogste punt waar de lek lengte bepaald kan worden kan dan dienen als een veilige aanname voor de zetting hoger op het talud. Een voordeel is, dat de methode geschikt is voor ieder type steenzetting. Bij de infiltratieproeven bijvoorbeeld kan het maximaal toe te voeren infiltratie-debiet een beperking betekenen ten aanzien van de toepasbaarheid. De natuurmeting kent dit soort beperkingen niet: er wordt inderdaad gewoon gemeten aan een 'natuurlijk' optredende situatie. Een evident nadeel van de methode is, dat de meting uitgevoerd moet worden onder stormomstandigheden. Dit heeft een aantal nadelige implicaties. Ten eerste kan de meting dus niet worden uitgevoerd als er geen storm is (of ten minste voldoende wind om golven van enige betekenis te genereren). Het wachten op een geschikte gelegenheid om te meten kan soms lang duren. Ten tweede is het niet aan te bevelen het systeem lange tijd van te voren te monteren, en dan te wachten op storm. De meters kunnen verlopen, het systeem kan beschadigd worden door vandalen of aangetast door de elementen. De installatie vindt dus plaats kort voor de meting. Dit heeft twee nadelen: een storm wordt meestal kort van tevoren voorspeld (de mobilisatietijd is kort) en de installatie vindt onder stormomstandigheden plaats. Om veilig te kunnen werken moet het talud droog staan tijdens de installatie. Mede omdat bij storm vaak sprake is van windopzet kan dit de toepasbaarheid van de methode beperken. De natuurmeting is opgezet als een meetsysteem dat de reactie van een zetting op korte golven meet. Een bijkomend voordeel is, dat door de meting op verschillende tijdstippen te herhalen, ook een schatting gemaakt kan worden van de ligging van de freatische lijn in het filter. Er wordt dan met andere woorden naar de reactie van de zetting op het getij. Naast de reactie van de zetting op korte golven en op lange

bladnummer : - 10 -
ons kenmerk: CO-341960/6
datum : augustus 1993

golven is het meetsysteem in principe ook geschikt om de reactie te meten op scheepsgolven. Dit is overigens nog niet in praktijk gebracht. De dimensionering van een zetting op scheepsgolven vindt nu plaats op basis van empirische formules van modelonderzoek (PIANC 1987). Toepassing van het meetsysteem van de natuurmeting zou hierop een belangrijke aanvulling kunnen betekenen.

Een probleem bij de interpretatie van de natuurmeting is, dat wel een lek lengte berekend wordt, maar dat daarmee nog niets bekend is over de individuele doorlatendheden van topklaag, filterklaag en uitvullaag. Om hier iets meer over te weten te komen, is het noodzakelijk dat de topklaagdoorlatendheid is gemeten, en dat er korrelverdelingen van het materiaal onder de blokken zijn. De natuurmetingen hebben duidelijk aangetoond, dat niet uitgegaan kan worden van de constructie-eigenschappen zoals deze op papier worden verwacht. Een andere manier om achter de doorlatendheden te komen, is een analyse van de ligging van de freatische lijn gedurende (een deel van) het getij. Deze ligging wordt immers ook bepaald door de doorlatendheden, echter door een iets ander verband. In feite is dit een stelsel met twee onbekenden (filterdoorlatendheid en topklaagdoorlatendheid) en twee gemeten grootheden (lek lengte uit de natuurmeting en lektijd uit analyse van de freatische lijn). Dit is in principe oplosbaar. Toch kan als nadeel van dit geheel worden aangemerkt, dat voor de analyse van de gegevens de nodige expertise vereist is. Complicerende factoren kunnen zijn dat de doorlatendheid van de teenconstructie vaak onbekend is, de invloed van variërende doorlatendheden over de hoogte vaak moeilijk is in te schatten en de analyse kan worden bemoeilijkt als er meerdere lagen onder de blokken aanwezig zijn, of als de doorlatendheid van het basismateriaal niet verwaarloosbaar is.

Appendix A:

Natuurmeting te Colijnsplaat en
simulatie met STEENZET/1+

CO-319330/5
oktober 1991

TALUDBEKLEDINGEN VAN GEZETTE STEEN
NATUURMETING TE COLIJNSPLAAT EN
SIMULATIE MET STEENZET/1+

CO-319330/5
oktober 1991
Std/Abg/talud

Opgesteld in opdracht van:
Rijkswaterstaat
Dienst Weg- en Waterbouwkunde

AFDELING WATERBOUWKUNDIGE CONSTRUCTIES
projectleider: ir. T. Stoutjesdijk
projectbegeleider: ir. A. Bezuijen
afdelingshoofd: ir. P. Lubking

bladnummer : - I -
ons kenmerk: CO-319330/5
datum : oktober 1991

INHOUD:	blz.:
1. ALGEMEEN	1
2. VERSLAG VAN DE METINGEN	2
3. UITWERKING VAN DE METINGEN	4
3.1 Geometrische eigenschappen	4
3.2 Gegevens van de golfmetingen	4
3.3 Resultaten van de berekeningen	6
3.4 Berekening met hogere golf	7
4. CONCLUSIES	8
REFERENTIES	10
BIJLAGEN	

bladnummer : - 1 -
ons kenmerk: CO-319330/5
datum : oktober 1991

1. ALGEMEEN

In het kader van het fundamenteel onderzoek naar het gedrag van steenzettingen is op locatie de golfdruk op een talud en de hierdoor geïnduceerde waterspanningen onder de blokken gemeten. De resultaten zijn opgeslagen met de bedoeling de resultaten te simuleren met het model STEENZET/1+. Hiermee kan de lek lengte van een zetting worden bepaald en vervolgens de te verwachten maximale verschildruk onder andere omstandigheden dan tijdens de meting. Tevens tonen de resultaten aan in hoeverre de huidige rekenmethoden geschikt zijn voor bestaande zettingen.

Dit rapport doet verslag van de metingen op de locatie "Colijnsplaat" van 25 september 1990 en de simulatie met het model STEENZET/1+.

bladnummer : - 2 -
ons kenmerk: CO-319330/5
datum : oktober 1991

2. VERSLAG VAN DE METINGEN

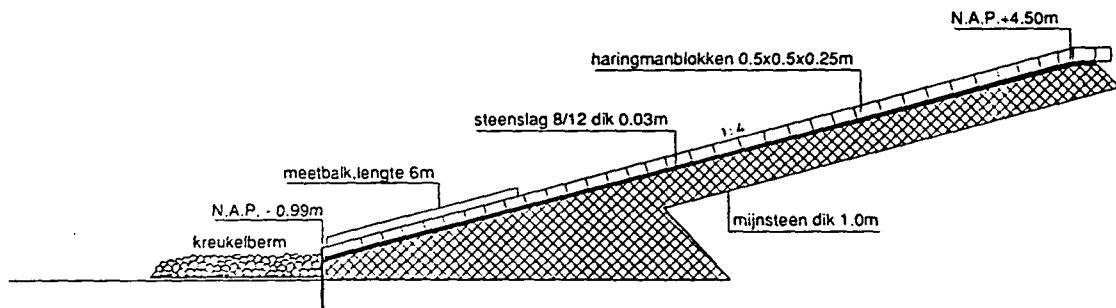
De natuurmeting te Colijnsplaat werd uitgevoerd tijdens een westerstorm, windkracht 8, afnemend tot windkracht 6 aan het einde van de meting.

De meetopstelling bestond uit een metalen balk van 6 meter lengte met daarop gemonteerd 12 golfdrukopnemers. De balk werd met bouten op de glooiing bevestigd. De snoeren die naar de datacomputer gaan liepen onder de balk door. Los van de meetbalk bestaat de mogelijkheid waterspanningsmeters te plaatsen.

Het plaatsen van de balk met meteropnemers en het aanbrengen van de waterspanningsmeters onder het talud werd door de stormomstandigheden niet gehinderd. De laagst geplande waterspanningsmeter kon echter niet worden aangebracht, omdat het water zich door de windopzet onvoldoende terugtrok.

De waterspanningsmeters werden onder de blokken aangebracht, nadat eerst met een kernboor een gat in de toplaag was gemaakt.

In figuur 1 is een overzicht gegeven van de geometrie ter plaatse, met de meetbalk.



Figuur 1. Geometrie en meetopstelling

Tijdens het aanbrengen van de waterspanningsmeters bleek al, dat de glooiing niet geheel homogeen was. Bij de hoog aangebrachte waterspanningsmeter verdween het voor het kernboren benodigde water snel in het talud, terwijl het water bij de lager geplaatste waterspanningsmeter meerdere minuten in het gat bleef staan.

bladnummer : - 3 -
ons kenmerk: CO-319330/5
datum : oktober 1991

Gedurende de periode van laagwater tot hoogwater werd ieder half uur een meting gedaan met een duur van 80 seconden en een samplefrequentie van 25 Hz. De golfdruk werd op 12 posities gemeten, en de waterspanning onder de blokken op 2 posities. De metingen vanaf 2 uur voor hoogwater waren het interessantst, omdat op dat moment de meetbalk geheel onder water verdwenen was. De metingen bij laagwater waren bedoeld als nulmetingen.

Tijdens de metingen bleek 1 waterspaningsmeter duidelijk defect. De laagst aangebrachte golfdrukopnemer gaf een opmerkelijk kleine amplitude en is derhalve niet bruikbaar.

Bij uitwerking van de nulpuntsmetingen bleken de golfdrukopnemers niet bruikbaar om nauwkeurig een nulpunt van de meters te bepalen. De reden hiervoor is de temperatuurgevoeligheid van de golfdrukopnemers. De gebruikte drukopnemers worden gecompenseerd voor de temperatuur, maar de gehele golfdrukopnemer bestaat uit een rubbermembraan, gespannen over een met olie gevulde ruimte. De drukopnemer is ook in deze ruimte geplaatst. Bij temperatuurswisselingen, bijvoorbeeld omdat de meter onder water komt, zal het rubber membraan vervormen en hierdoor de ruimte die de olie inneemt veranderen. Dit heeft invloed op de gemeten druk.

3. UITWERKING VAN DE METINGEN

3.1 Geometrische eigenschappen

De steenzetting op de dijk te Colijnsplaat bestaat uit een toplaag van Haringmanblokken. De blokken zijn 50 cm lang, 50 cm breed en 25 cm dik. Ze zijn gezet op een uitvullaagje van 3 cm dik bestaande uit steenslag. De filterlaag is 1 meter dik en bestaat uit mijnsteen. De helling van de glooiing is 1 : 4. Het gedeelte met de steenzetting loopt van NAP - 0,99 m tot NAP + 4,50 m.

Door de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat zijn op de locatie trekproeven, doorlatendheidsmetingen en een bepaling van de spleetbreedtes uitgevoerd. Tijdens deze werkzaamheden werd vastgesteld, dat het gedeelte van de zetting dat in de getijzone ligt een sterke begroeiing vertoonde en dat de spleten tussen de blokken gevuld waren met voornamelijk slibachtig materiaal. De doorlatendheid van de toplaag bleek hoger op het talud vrij groot te zijn, maar neemt naar beneden toe sterk af.

3.2 Gegevens van de golfmetingen

De meetbalk was tegen de onderkant van de glooiing gelegd, dit wil zeggen op NAP - 0,99 m. Hiermee kan de hoogte van de meters ten opzichte van NAP worden vastgesteld. Er blijkt 1 golfdrukopnemer niet gewerkt te hebben, terwijl drie golfdrukopnemers een gemiddelde uitwijking hebben geregistreerd die duidelijk kleiner is dan die van de overige meters. Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van 8 golfdrukopnemers en 2 waterspanningsmeters. In tabel 3.1 zijn de gegevens van de meters opgenomen.

type	hoogte in m t.o.v. NAP
golfdrukopnemer	- 0,46
golfdrukopnemer	+ 0,42
golfdrukopnemer	+ 0,60
golfdrukopnemer	+ 0,66
golfdrukopnemer	+ 0,72
golfdrukopnemer	+ 0,80
golfdrukopnemer	+ 0,86
golfdrukopnemer	+ 0,92
waterspanningsmeter	+ 0,54
waterspanningsmeter	+ 0,80

Tabel 3.1. Gegevens van de meters

bladnummer : - 5 -
ons kenmerk: CO-319330/5
datum : oktober 1991

Omdat een aantal meters geen goede registratie heeft opgeleverd, zijn alleen de golfregistraties gebruikt vanaf het tijdstip waarop de balk vrijwel geheel onder water verdwijnt. Om 18.00 uur vallen alleen de bovenste meters af en toe even droog. De golfmetingen zijn relatief ten opzichte van het gemiddelde van een meter. De hoogte van de stilwaterlijn is verkregen door te kijken welke meter nog net droog valt. Hiermee kan dan de hoogte van de stilwaterlijn ten opzichte van de meter worden bepaald. Uit de golfregistraties zijn een paar perioden geselecteerd waarin een aantal redelijk uniforme golven achter elkaar is geweest. Van iedere periode kan een golfhoogte en een golfperiode worden bepaald. STEENZET/1+ is dusdanig aangepast, dat de golven kunnen worden ingelezen en verwerkt. Op deze wijze zijn de volgende berekeningen uitgevoerd.

tijdstip	waterstand	golfhoogte	golfperiode
18:00	NAP + 1,02 m	0,31 m	2,6 s
18:33	NAP + 1,29 m	0,34 m	2,2 s
19:00	NAP + 1,40 m	0,20 m	2,7 s
19:30	NAP + 1,45 m	0,14 m	2,3 s

Tabel 3.2. Golfgegevens voor de berekeningen

Er is geprobeerd een toplaagdoorlatendheid te simuleren die overeenkomt met de waarde van $k' = 5 * 10^{-7}$ m/s die bij de infiltratieproeven van de DWW is gevonden. Door DWW is de spleetbreedte bepaald op gemiddeld 1,62 mm. Om een toplaagdoorlatendheid te simuleren in dezelfde orde grootte als de gemeten toplaagdoorlatendheid moet de spleetbreedte echter veel kleiner gekozen worden. In tabel 3.3. staan de gegevens, die bij de berekeningen zijn gebruikt.

bladnummer : - 6 -
ons kenmerk: CO-319330/5
datum : oktober 1991

helling	1 : 4
onderkant talud	NAP - 0,99 m
bovenkant talud	NAP + 2,50 m
dikte blok	0,25 m
lengte blok	0,50 m
breedte blok	0,50 m
spleetbreedte	0,0006 m
Forcheimer coëfficiënt a'	$1,7 * 10^6$ s/m
Forcheimer coëfficiënt b'	$2,8 * 10^7$ s ² /m ²
dikte uitvullaag	0,03 m
D _{1,8} uitvullaag	0,0006 m
porositeit uitvullaag	0,30
dikte mijnsteenfilter	1,00 m
D _{1,8} mijnsteenfilter	0,0004 m
porositeit mijnsteenfilter	0,30
Forcheimer coëfficiënt a van filterlaag + uitvullaag	2565,4 s/m
Forcheimer coëfficiënt b van filterlaag + uitvullaag	6407,8 s ² /m ²

Tabel 3.3. Gegevens van de geometrie voor de berekeningen

De toplaagdoorlatendheid is door de DWV bepaald bij een verhang van 2. Met deze gegevens wordt de toplaagdoorlatendheid $k' = 5,9 * 10^{-7}$ m/s en de lek lengte van de constructie 13 m.

3.3 Resultaten van de berekeningen

De aandacht wordt geconcentreerd op de twee hoogtes waar zowel golf-drukopnemers op het talud als waterspanningsmeters onder de toplaag geplaatst zijn. In bijlagen 1 tot en met 8 zijn de stijghoogte op en onder de toplaag gegeven voor de twee hoogtes op de tijdstippen 18:00 uur, 18:33 uur, 19:00 uur en 19:30 uur. Ten gevolge van de zeer geringe doorlatendheid van de toplaag is de reactie onder de toplaag op de variatie in golfdruk op het talud zeer klein. Het stijghoogteverschil over het blok is daardoor vrijwel gelijk aan de amplitude van de golf.

In STEENZET/1+ wordt de golfdruk op het talud ingelezen en de reactie onder de toplaag berekend. Omdat het nulpuntsniveau van de waterspanningsmeters onder het talud nauwelijks is vast te stellen, wordt hier alleen gekeken naar de variatie van waterspanning ten opzichte van het gemiddelde, en niet naar de absolute waarde. Op deze wijze zijn de variaties van de gemeten en berekende waterspanningen onder het blok vergeleken. In bijlagen 9 tot en met 16 zijn de bijbehorende figuren gegeven.

bladnummer : - 7 -
ons kenmerk: CO-319330/5
datum : oktober 1991

3.4 Berekening met hogere golf

Er is een extra berekening uitgevoerd met een golfhoogte waarbij blokbeweging kan worden verwacht. Gekozen is voor een golfhoogte van 1 m bij een golfperiode van 4 sec. De resultaten zijn opmerkelijk. STEENZET geeft een overdruk onder het blok die ruim voldoende is om het blok te doen bewegen. Door de geringe doorlatendheid van top laag en filter kan er echter nauwelijks water toestromen, zodat de blokbeweging kleiner is dan 1 mm. ANAMOS heeft als beperking, dat niet gerekend kan worden met een karakteristieke diameter van het filtermateriaal kleiner dan 1 mm. Dit geeft een beperking van de grootste lek lengte waarmee kan worden gerekend. Een voordeel van ANAMOS is, dat er gerekend kan worden met inwasmateriaal tussen de spleten. Dit inwasmateriaal heeft een minimale karakteristieke diameter van 0,5 mm. Een berekening met de minimale karakteristieke diameters en met inwasmateriaal in de spleten resulteert in een lek lengte van 8,3 m. Bij deze lek lengte en een golfhoogte van 1 m wordt een blokbeweging gevonden van 12 mm.

4. CONCLUSIES

Het blijkt, dat de metingen goed met STEENZET/1+ gesimuleerd kunnen worden. Uit de resultaten van de berekeningen kan worden afgeleid, dat de zetting niet homogeen is: om de waterspanning op NAP + 0,5 m te simuleren is een zetting met een langere lek lengte nodig, dan bij de waterspanning op NAP + 0,8 m. In beide gevallen gaat het om een sterk verouderde zetting, met een zeer grote lek lengte (10 meter of meer). In feite is vastgesteld, dat het stijghoogteverschil over het blok bij deze zetting vrijwel gelijk kan worden gesteld aan de amplitude van de golf op het talud. Volgens de huidige rekenmethoden is een dergelijke zetting instabiel. Een berekening met een golfhoopte van 1 meter geeft blokbeweging. De blokbeweging is klein, omdat de toestroming van water onder het blok door de geringe doorlatendheid van het filter klein is. Over het algemeen zal onder ontwerpomstandigheden in het geheel geen blokbeweging worden toegestaan. Volgens de modellen faalt de constructie. In de praktijk blijkt de zetting, vanwege de grote klemming tussen de blokken en de geringe doorlatendheid van het filter al vele jaren probleemloos te functioneren. Uit de metingen en de berekeningen komt een beeld naar voren, waarin de zetting drie stadia doorloopt:

- direct nadat de zetting is geplaatst zijn toplaag en filter in principe net zo doorlatend als het ontwerp aangeeft. Hoewel er zettingen zijn die juist in de beginfase schadegevoelig zijn, zal de lek lengte in veel gevallen 1 m of minder bedragen. De golfdruk op het talud wordt in deze gevallen onder de toplaag gevolgd. Verschilddrukken die groot genoeg zijn om een blok te doen bewegen treden alleen op bij hoge golven. Bij zettingen, die direct na aanleg al een lek lengte groter dan 1 m hebben, en nog weinig klemming tussen de blokken, zal schade kunnen ontstaan bij minder hoge golven
- door verouderingsverschijnselen, zoals inzanden van het filter en de spleten tussen de blokken, neemt de lek lengte van de zetting toe, omdat de doorlatendheid van de toplaag door inzanding van de spleten relatief meer afneemt dan de doorlatendheid van het filter. De lek lengte zal nu tussen 1 m en 10 m in liggen. De golfdruk op het talud kan onder de toplaag in mindere mate gevolgd worden. Dit betekent enerzijds dat de verschilddrukken over de toplaag zullen toenemen, anderzijds zal er klemming tussen de blokken ontstaan die blokbeweging bemoeilijkt
- bij verdergaande veroudering (lek lengte groter dan 10 m) neemt de stabiliteit van de zetting alleen maar toe. De kracht die nodig is om een blok in beweging te krijgen is aanzienlijk groter dan het blokgewicht vanwege de klemming tussen de blokken. De grootte van de blokbeweging neemt af door de geringe toestroming van water onder de blokken.

bladnummer : - 9 -
ons kenmerk: CO-319330/5
datum : oktober 1991

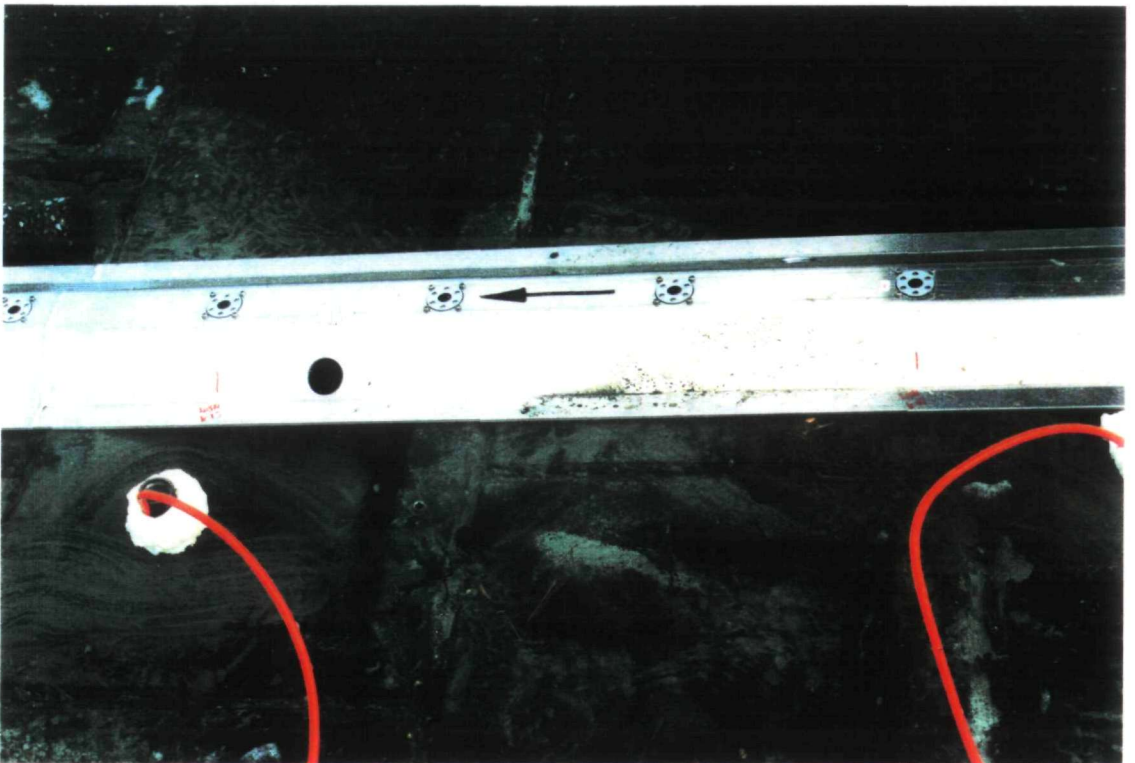
Hoe snel dit proces van veroudering in de praktijk zal verlopen is niet te zeggen. Op welk moment de zetting het minst stabiel is en hoe lang deze periode duurt is evenmin bekend.

bladnummer : - 10 -
ons kenmerk: CO-319330/5
datum : oktober 1991

REFERENTIES

1. Verslag eerste 'natuurmeting' op dijk bij Colijnsplaat, Grondmechanica Delft, A. Bezuijen, oktober 1990
2. Tussentijdse rapportage eerste meetcampagne natuurmetingen op locatie Noord Beveland, april t/m juni 1990, Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, A. Flooster, juli 1990

BIJLAGEN



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

d.d.
Oktober '91

get.
Weg

NATUURMETING COLIJNSPLAAT

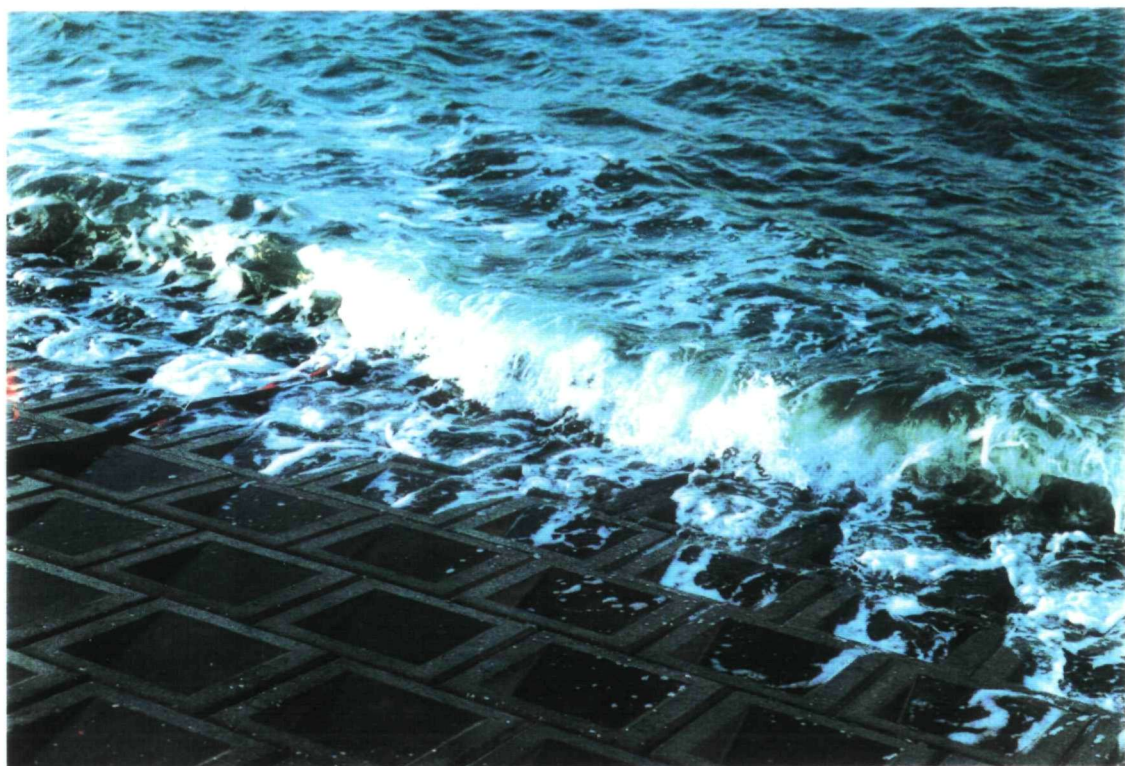
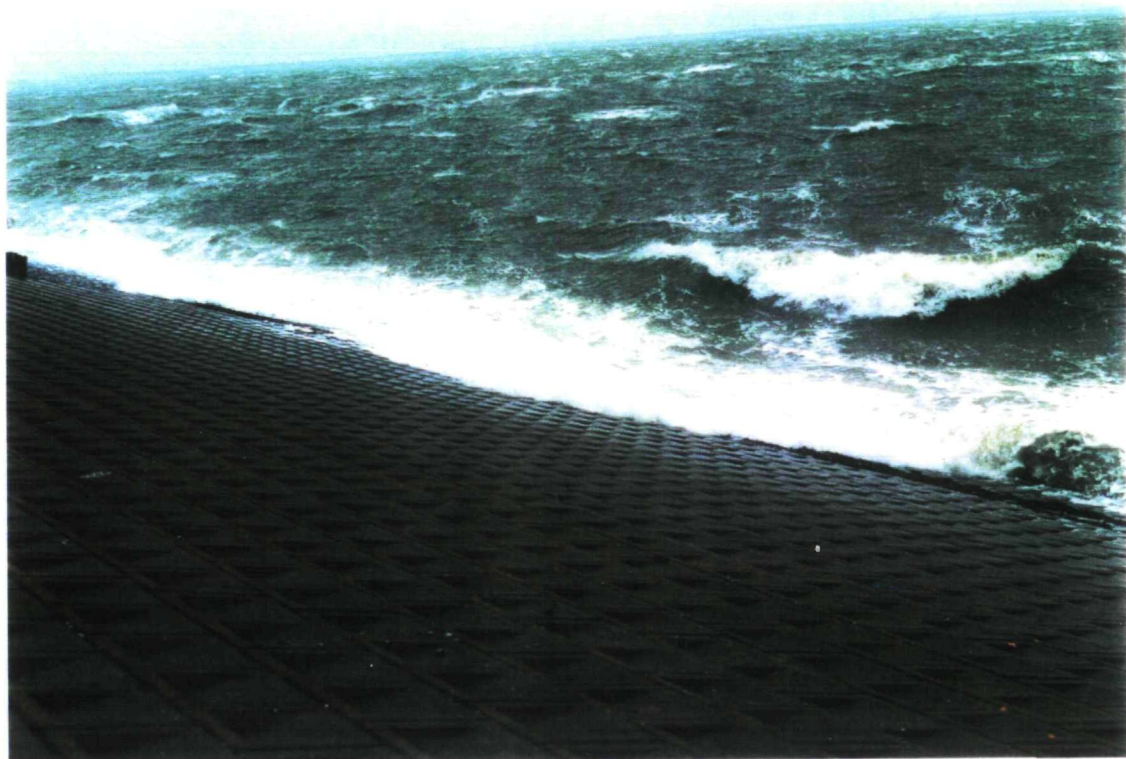
CO-319330

gez.

SITUATIE EN MEETOPSTELLING

BIJL. 1

form.
A4



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

d.d.
Oktober '91

get.
Weg

NATUURMETING COLIJNSPLAAT

CO-319330

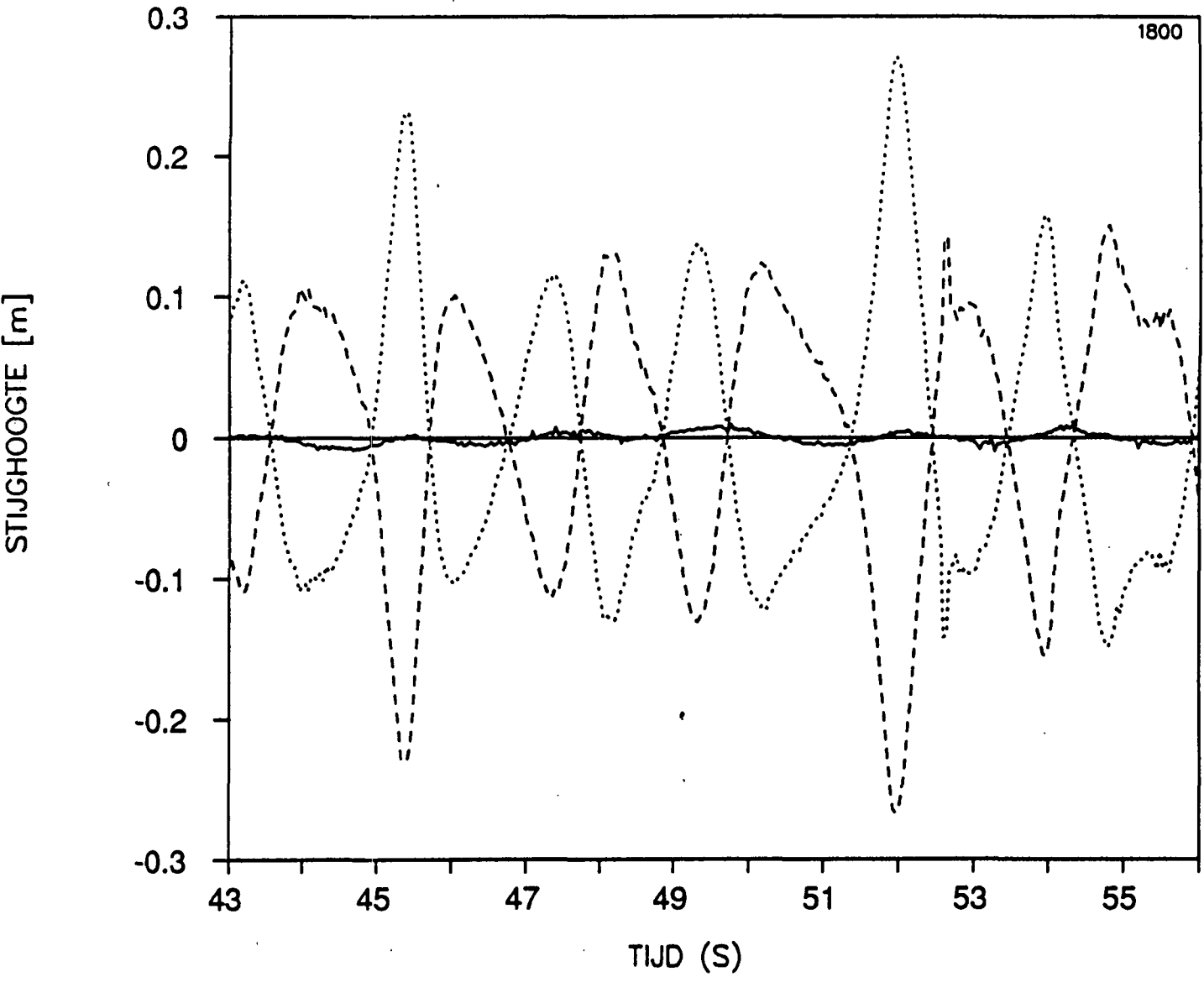
gez.

IMPRESSIE METINGEN

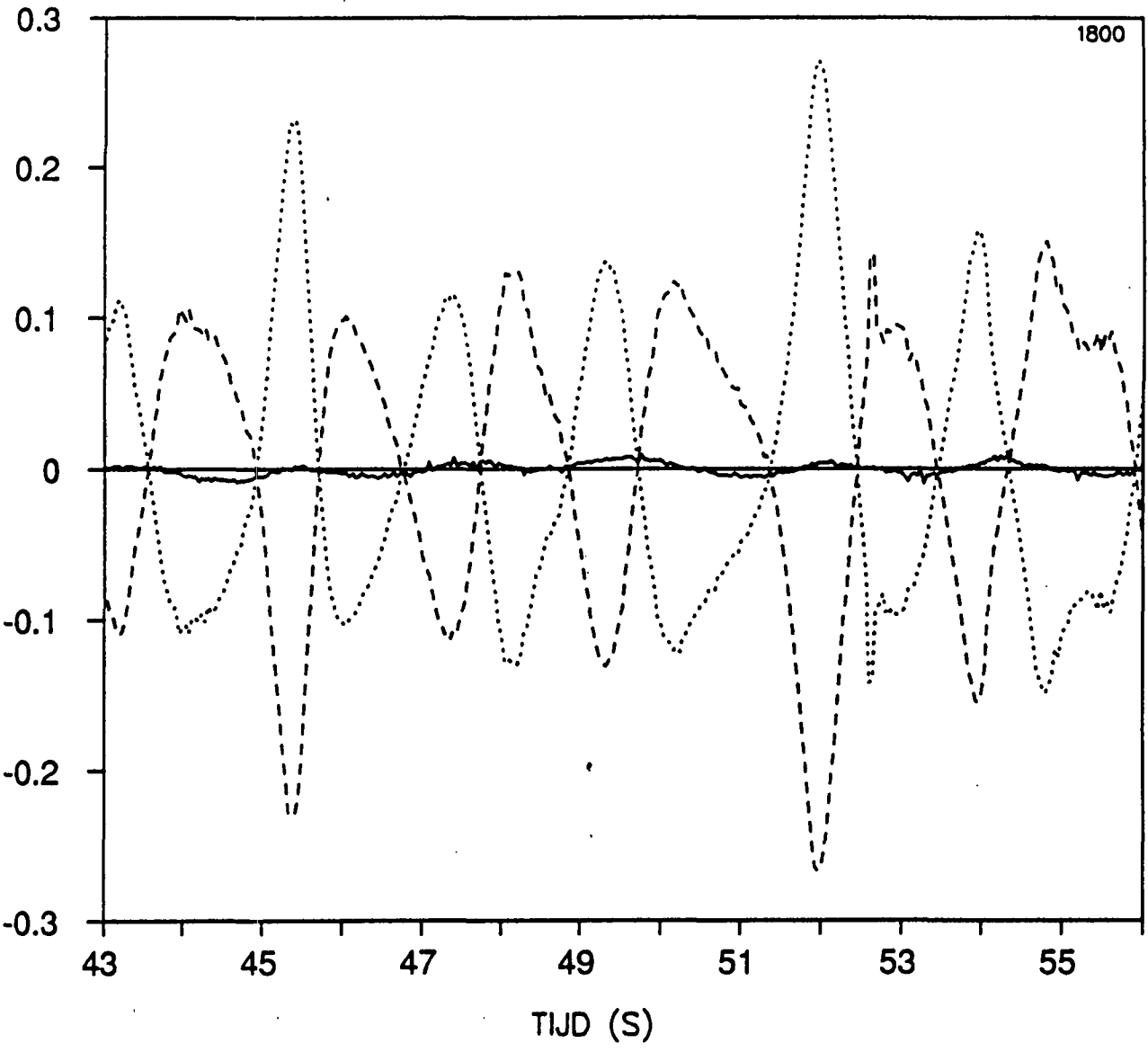
BIJL. 2

form.

A4



STIJGHOOGTE [m]



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Teleex 38224 scd nl

GEMETEN DRUK OP EN ONDER DE TOPLAAG
WATERSpanNINGSMETER OP N.A.P. +0.5m
TIJDSTIP: 18.00uur

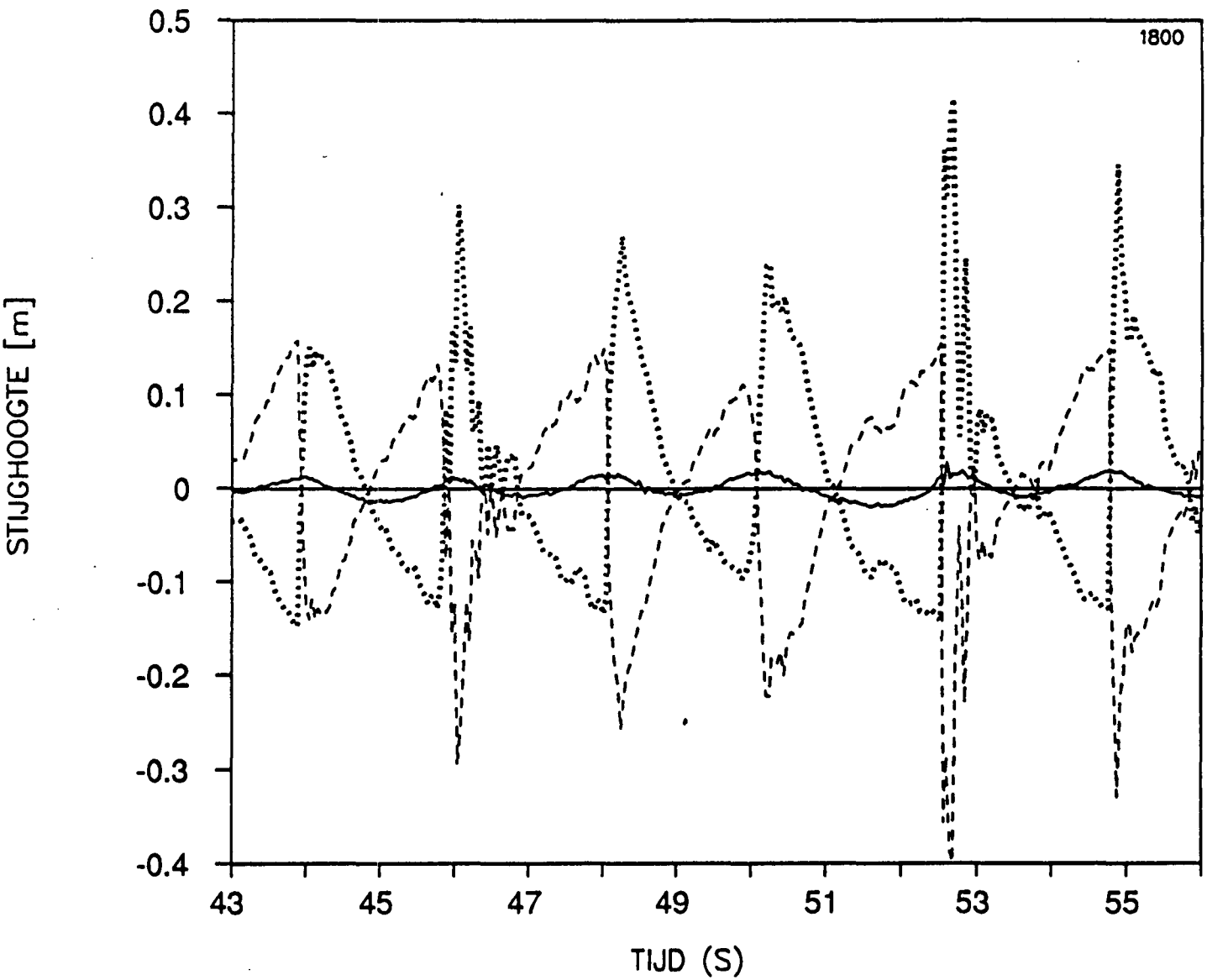
Oktober '91

CO-319330


BIL. 3

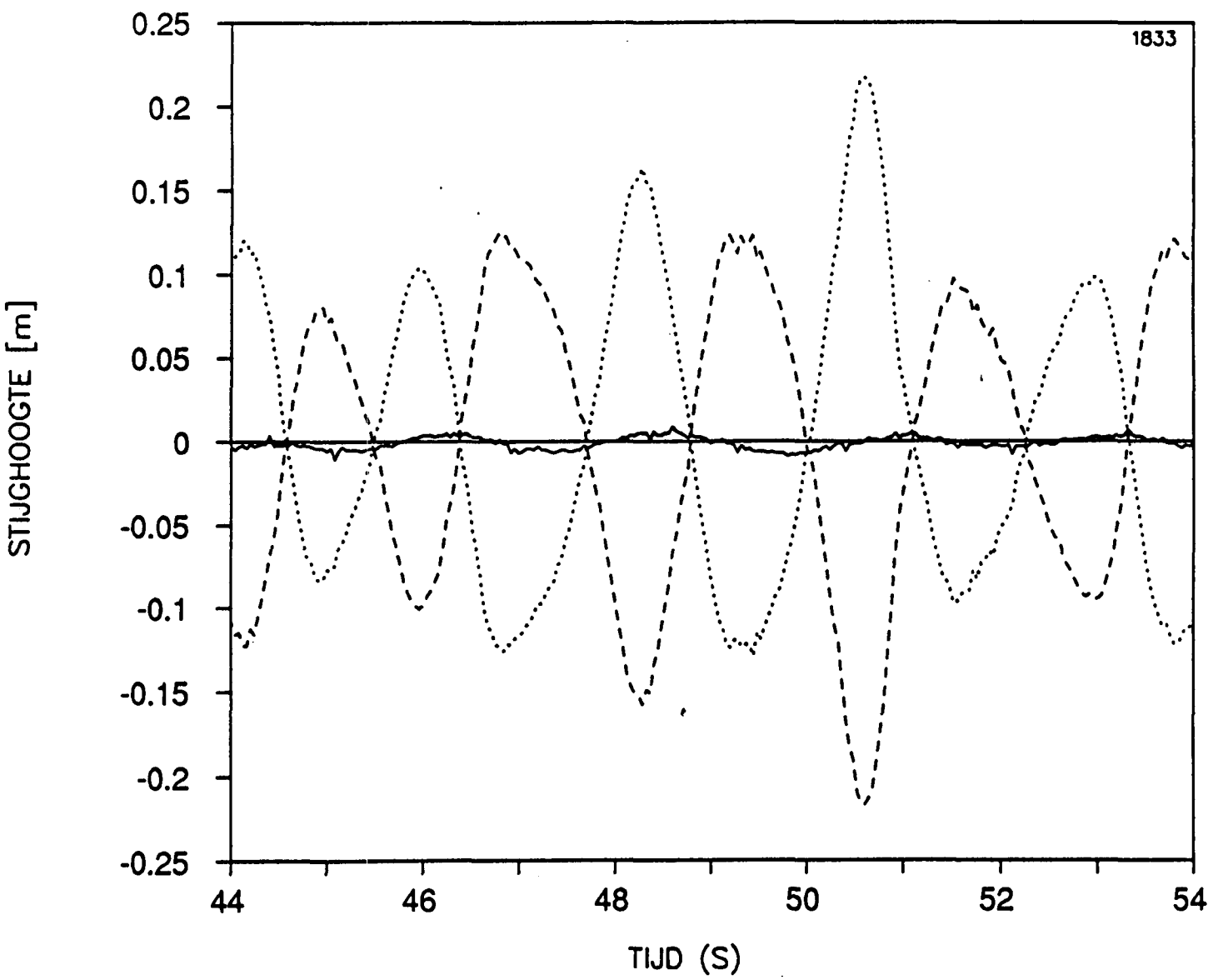
Weg

A4



..... DRUKOPNEMER ——— WATERSpanNING - - - - - VERSCHILDRIJK

 GRONDMechANICA DELFT		Postbus 69, 2600 AB Delft Telefoon (015) 69 35 00	Telefax (015) 61 08 21 Teleex 38224 scil nl
GEMETEN DRUK OP EN ONDER DE TOPLAAG WATERSpanNINGSMETER OP N.A.P. +0.8m			
TIJDSTIP: 18.00uur			
d.d. Oktober '91		get. Weg	
CO-319330		form. A4	
BIJL. 4			



STIJGHOOGTE [m]

1833

44 46 48 50 52 54

TIJD (S)

----- DRUKOPNEMER ——— WATERSPANNING VERSCHILDRUK



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Teleex 38234 ecd nl

GEMETEN DRUK OP EN ONDER DE TOPLAAG
WATERSPANNINGSMETER OP N.A.P. +0.5m

TIJDSTIP: 18.33uur

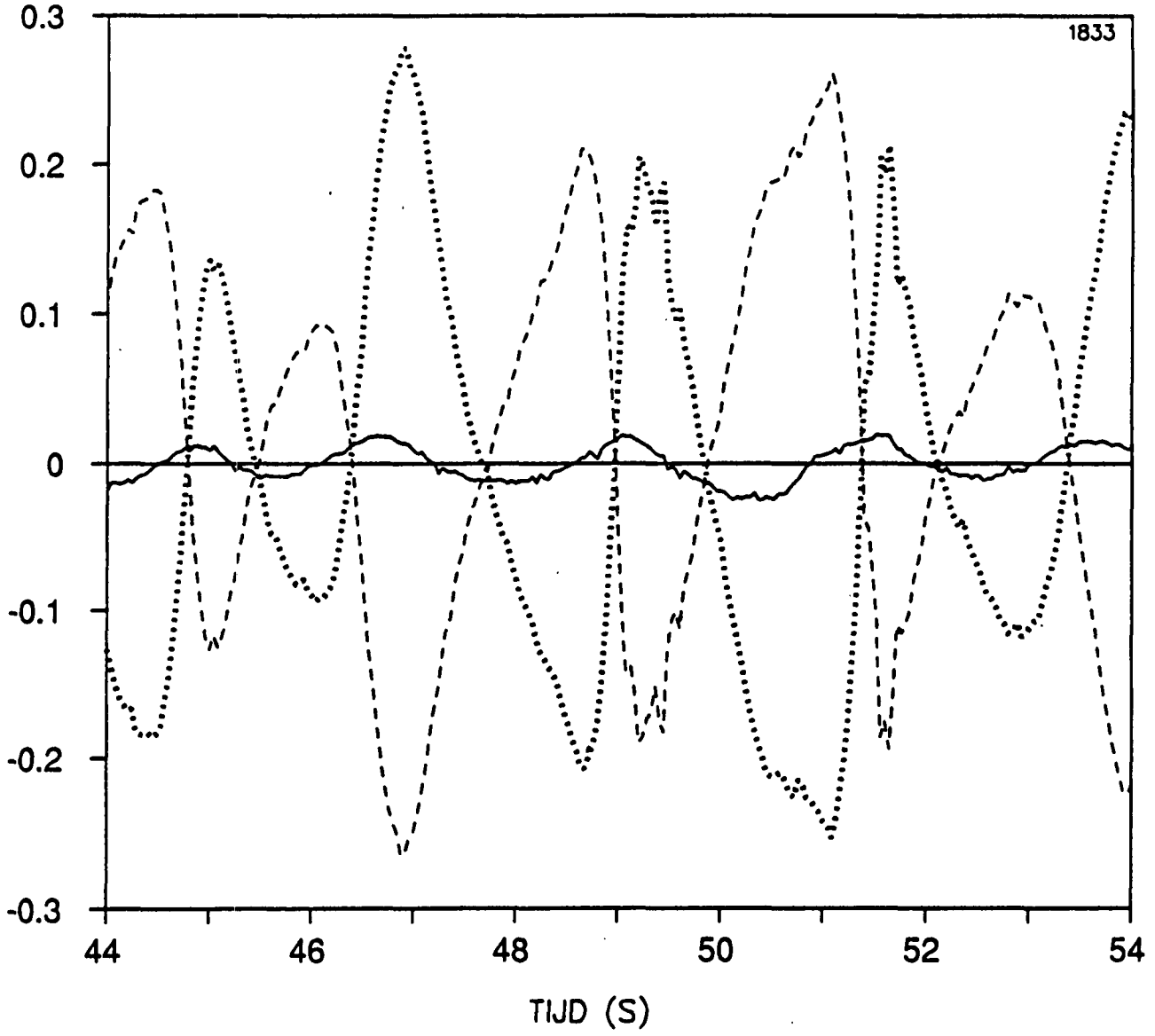
d.d. Oktober '91

CO-319330

BIJL. 5

gek. Weg

form. A4



STIJDHOOGTE [m]

1833

..... DRUKOPNEMER — WATERSpanNING - - - - - VERSCHILDRUK



GRONDMechANICA
DELFT

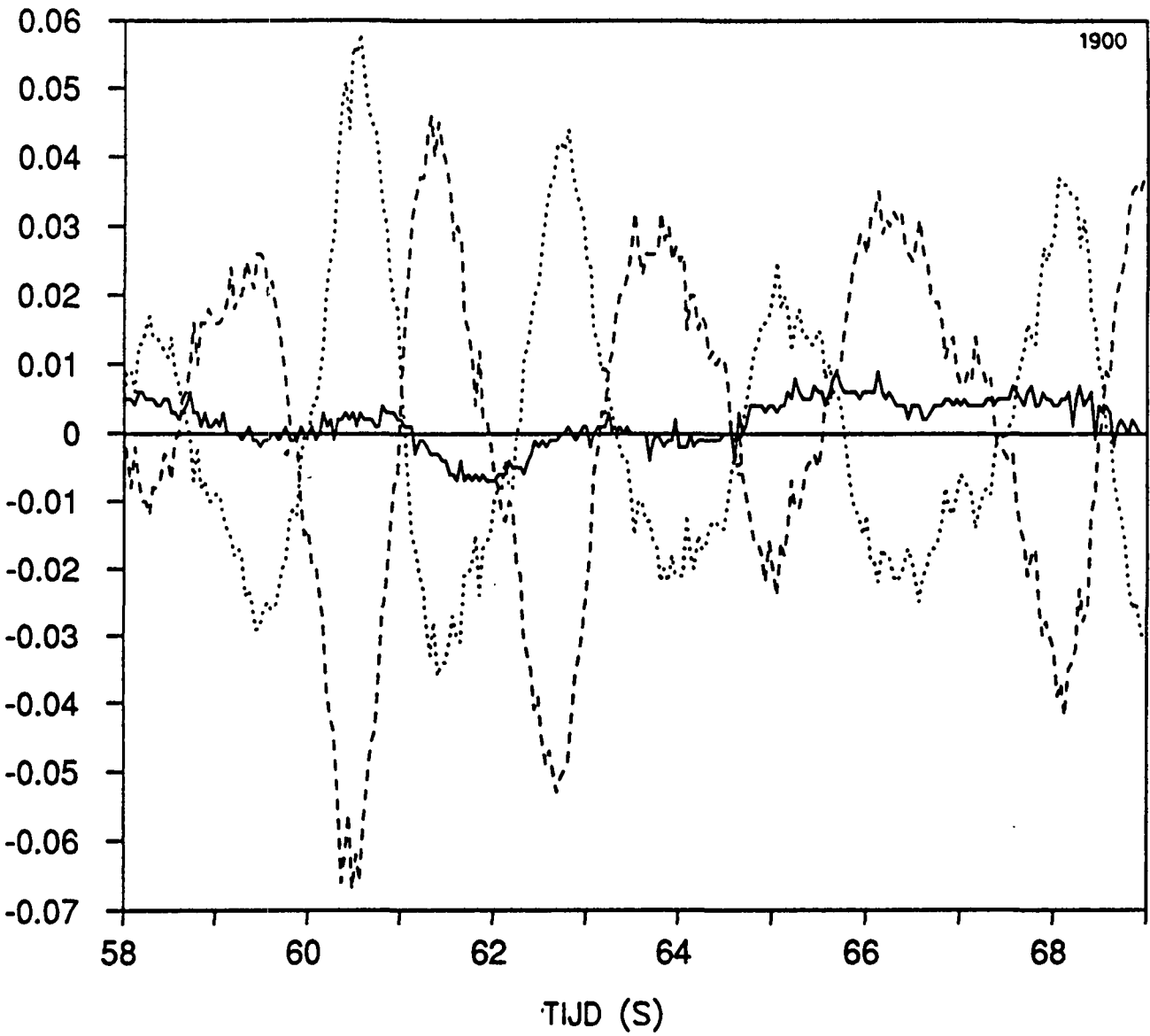
Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Teleex 38234 soil nl

GEMETEN DRUK OP EN ONDER DE TOPLAAG
WATERSpanNINGSMETER OP N.A.P. +0.8m

TIJDSTIP: 18.33uur

gek.	Oktober '91	d.d.
gek.	CO-319330	
form.	BIJL. 6	
A4		



STIJGHOOGTE [m]

----- DRUKOPNEMER ——— WATERSPANNING VERSCHILDRIJK



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 95 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 sol nl

d.d.
Oktober '91

gbl.
Weg

CO-319330

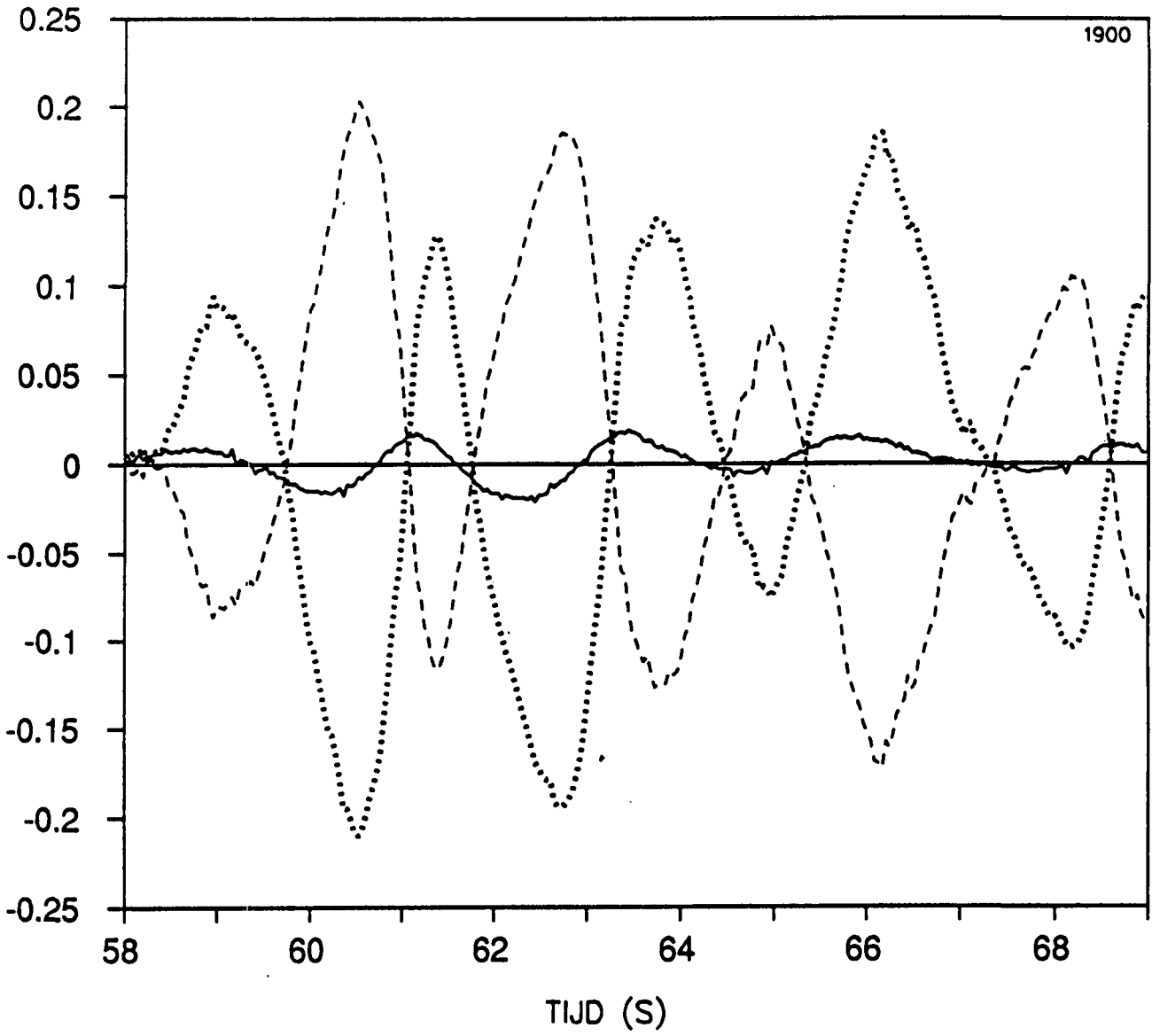
gax.

BIL. 7

form.
A4

GEMETEN DRUK OP EN ONDER DE TOPLAAG
WATERSPANNINGSMETER OP N.A.P. +0.5m

TIJDSTIP: 19.00uur



..... DRUKOPNEMER ——— WATERSPANNING - - - - - VERSCHILDRUK



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38224 sol nl

GEMETEN DRUK OP EN ONDER DE TOPLAAG
WATERSPANNINGSMETER OP N.A.P. +0.8m

TIJDSTIP: 19.00uur

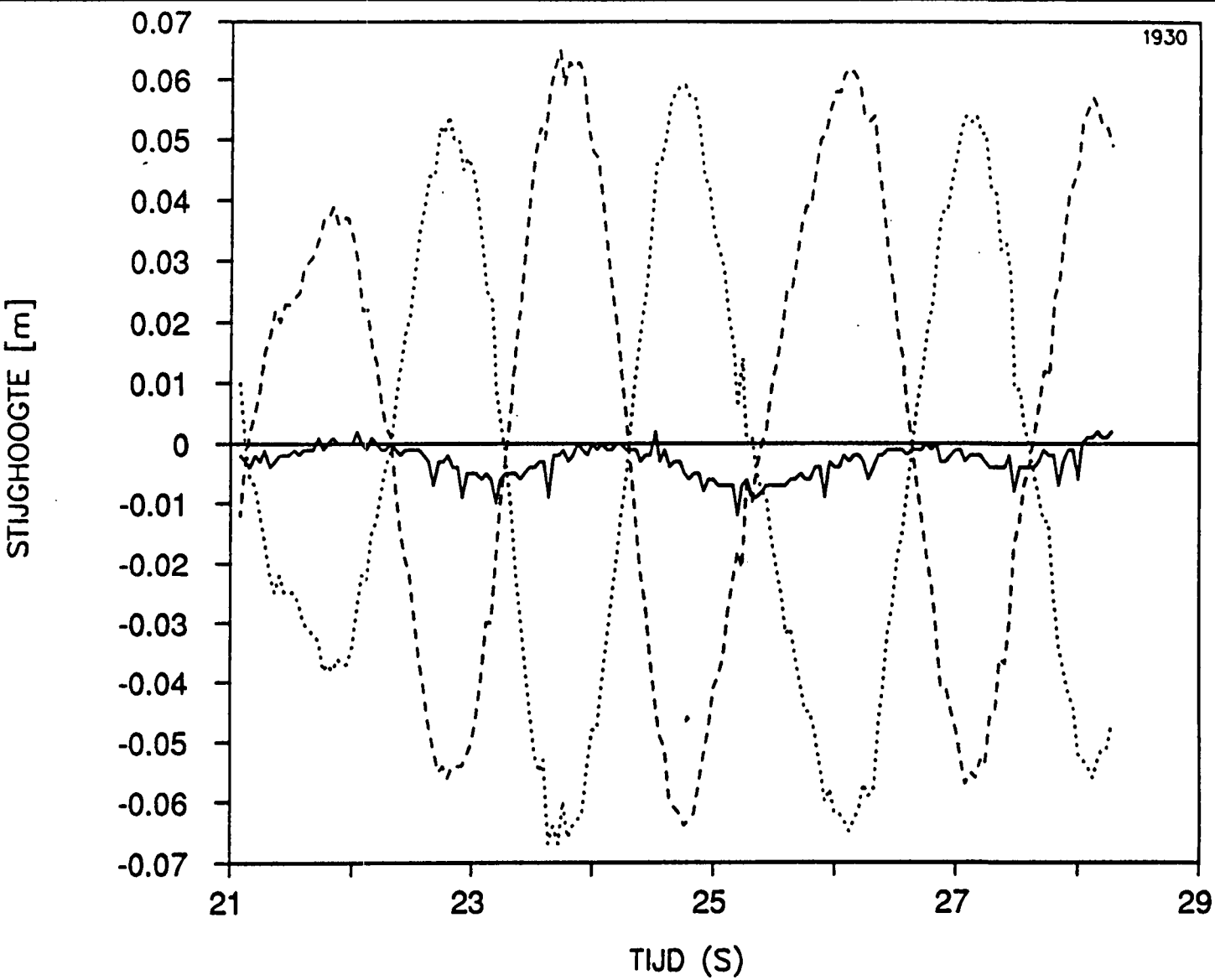
d.d.
Oktober '91

CO-319330

BIJL. 8

get.
Weg

gez.
A4



----- DRUKOPNEMER ——— WATERSPANNING VERSCHILDRUK



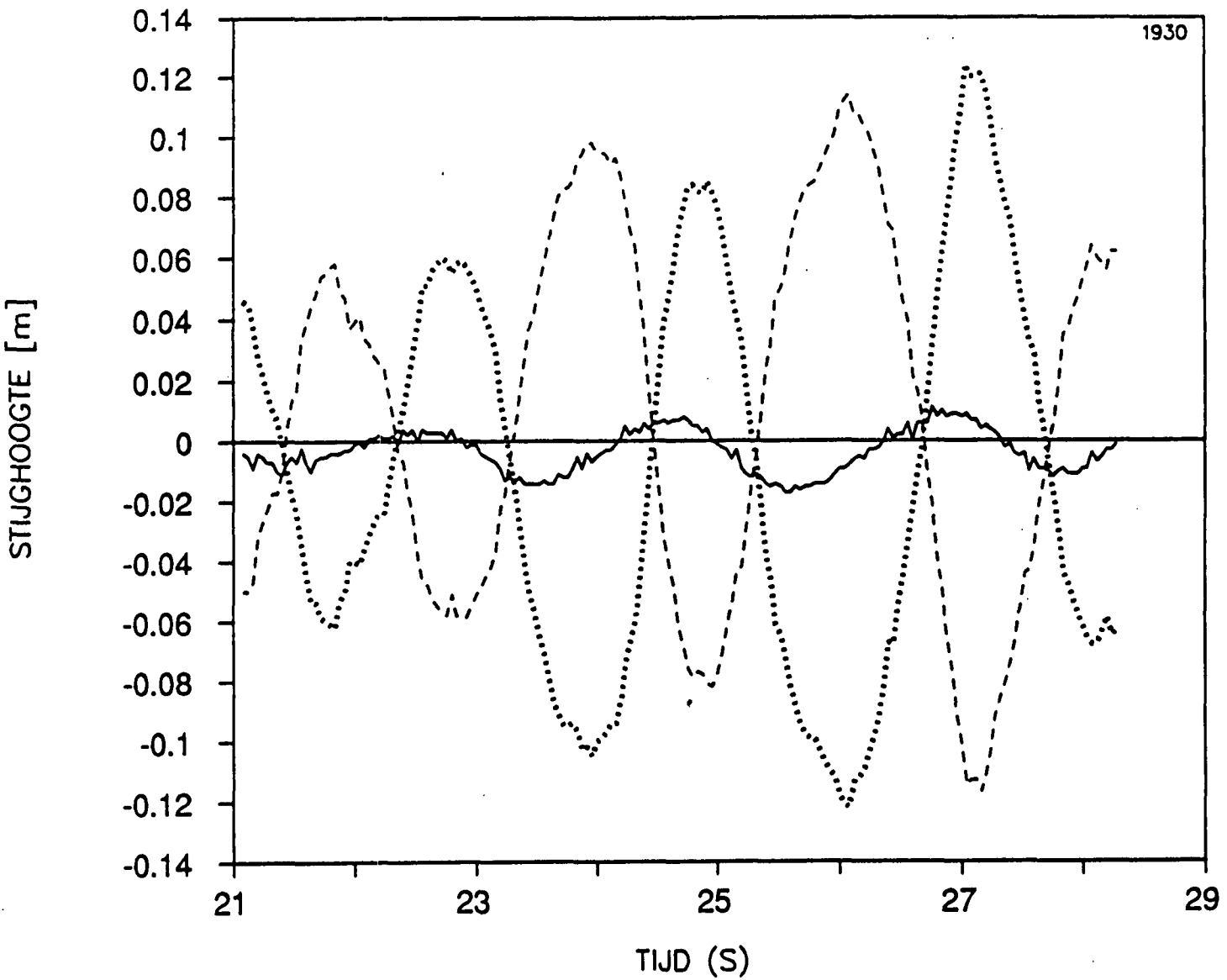
GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 scil nl

GEMETEN DRUK OP EN ONDER DE TOPLAAG
WATERSPANNINGSMETER OP N.A.P. +0.5m
TIJDSTIP: 19.30uur

Oktober '91	gok.
CO-319330	Weg
BIJL. 9	form.
A4	gok.



STIJGHOOGTE [m]

TIJD (S)

..... DRUKOPNEMER ——— WATERSpanNING - - - - - VERSCHILDRUK



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38224 scd nl

d.d.
Oktober '91

CO-319330

BIJL. 10

get.
Weg

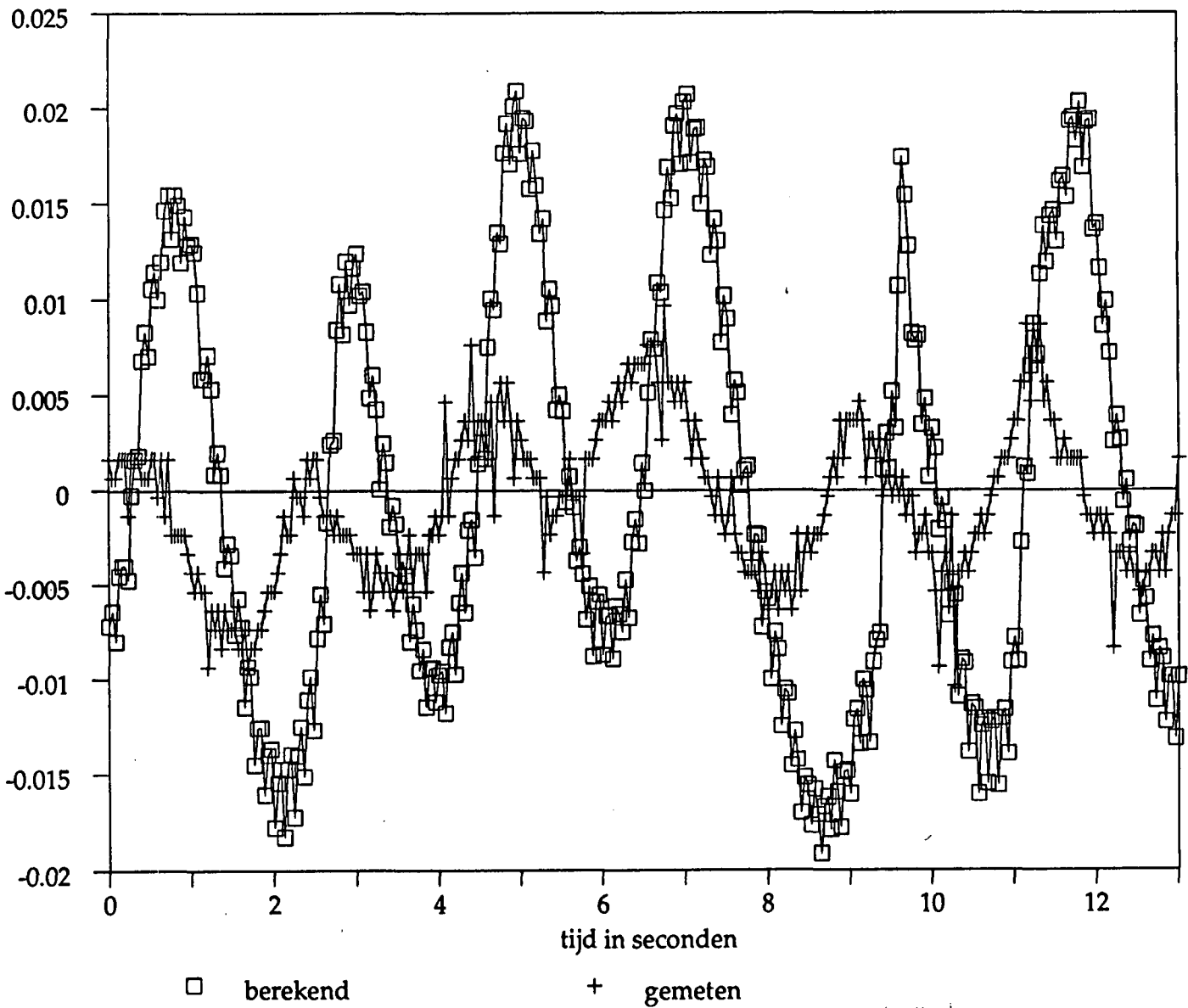
get.
A4

GEMETEN DRUK OP EN ONDER DE TOPLAAG
WATERSpanNINGSMETER OP N.A.P. +0.8m

TIJDSTIP: 19.30uur

Variatie in stijghoogte

waterspanningsmeter NAP + 0.5 m



Variatie in stijghoogte in meters



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Teleex 38224 soil nl

Oktober '91

Weg

CO-319330

gez.

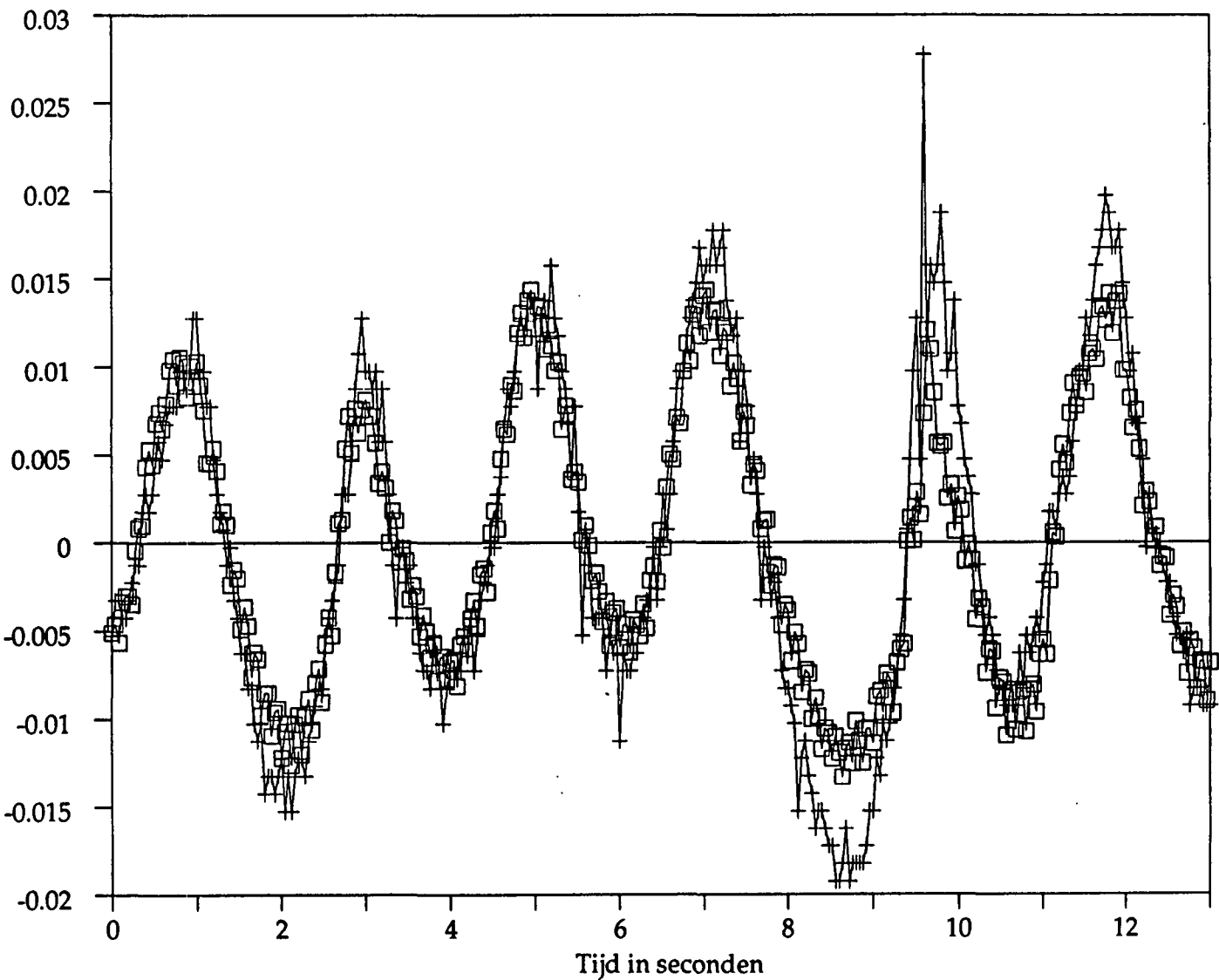
SIMULATIE STIJGHOOGTE ONDER DE TOPLAAG
WATERSPANNINGSMETER OP N.A.P. +0.5m
TIJDSTIP: 18.00uur

BIJL. 11

A4
form.

Variatie in waterspanning

waterspanningsmeter op NAP + 0.8 m



Variatie in stijghoogte in meters



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 scil nl

SIMULATIE STIJGHOOGTE ONDER DE TOPLAAG
WATERSPANNINGSMETER OP N.A.P. +0.8m

TIJDSTIP: 18.00uur

Oktober '91

Weg

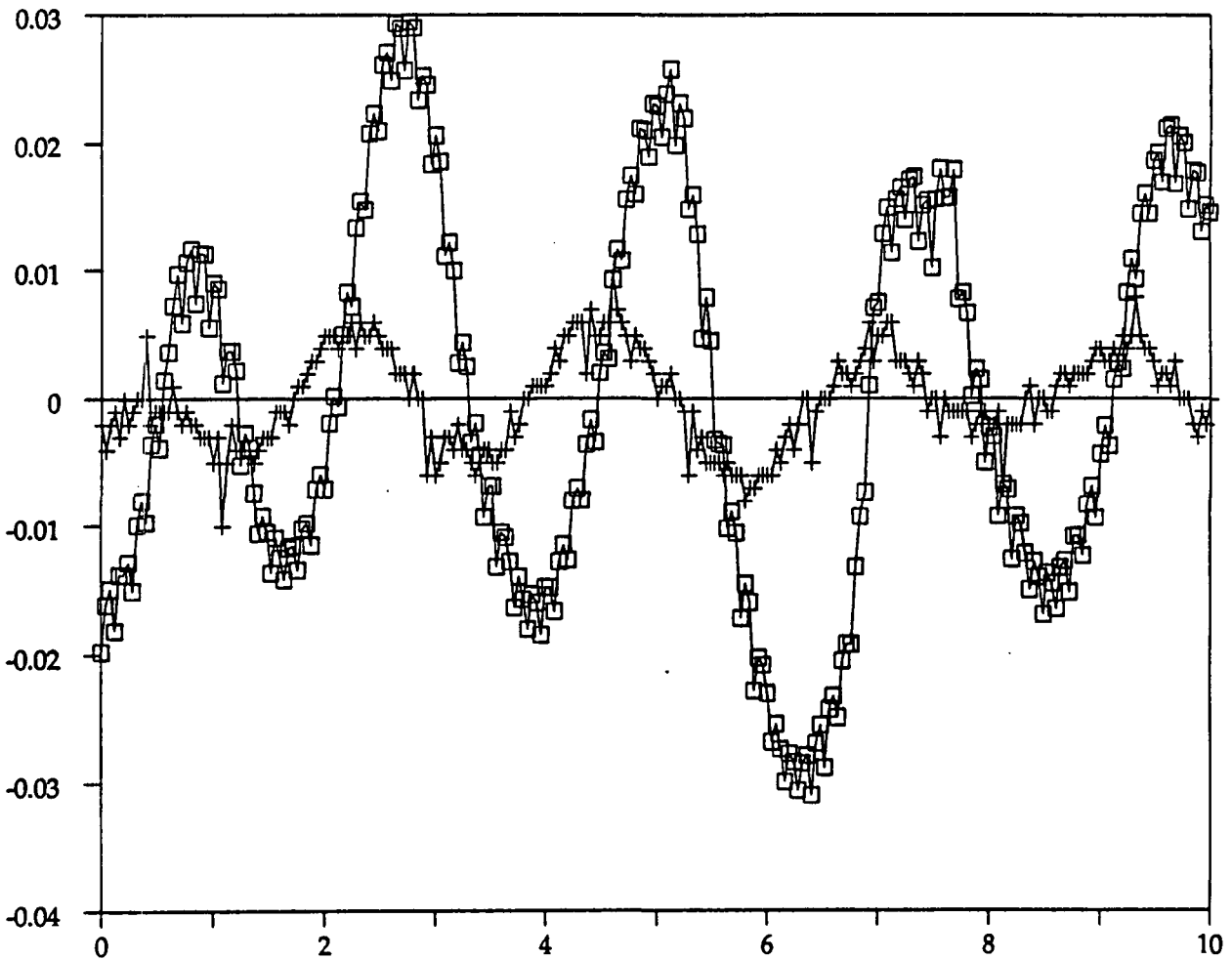
CO-319330

BIJL. 12

A4

Variatie in stijghoogte

waterspanningsmeter op NAP + 0.5 m



Variatie in stijghoogte in meters



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 scil nl

SIMULATIE STIJGHOOGTE ONDER DE TOPLAAG
WATERSPANNINGSMETER OP N.A.P. +0.5m

TIJDSTIP: 18.33uur

Oktober '91

CO-319330

BIJL. 13

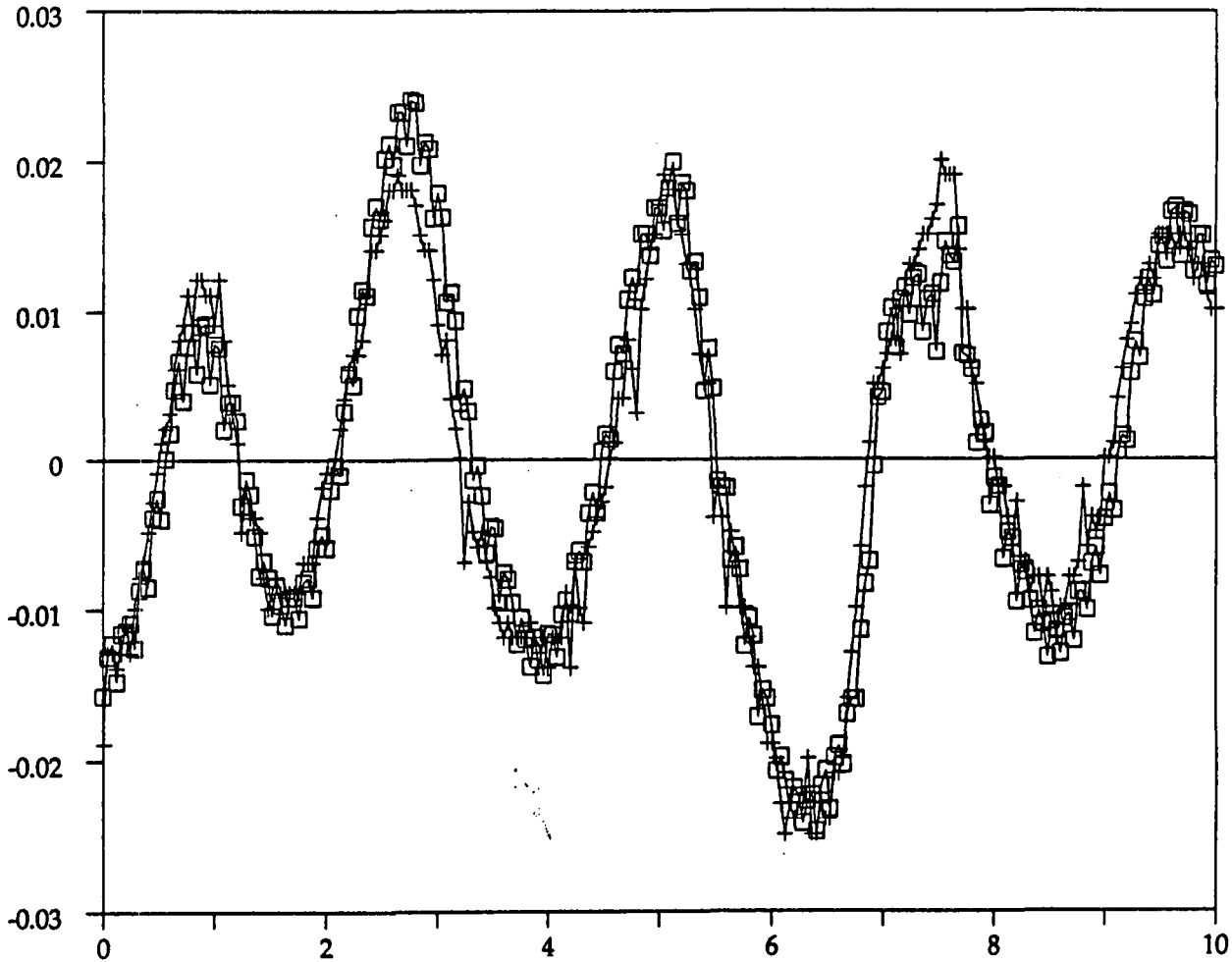
Weg

form.

A4

Variatie in waterspanning

Waterspanningsmeter op NAP + 0.8 m



Variatie in stijghoogte in meters



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 scil nl

SIMULATIE STIJGHOOGTE ONDER DE TOPLAAG
WATERSPANNINGSMETER OP N.A.P. +0.8m

TIJDSTIP: 18.33uur

Oktober '91

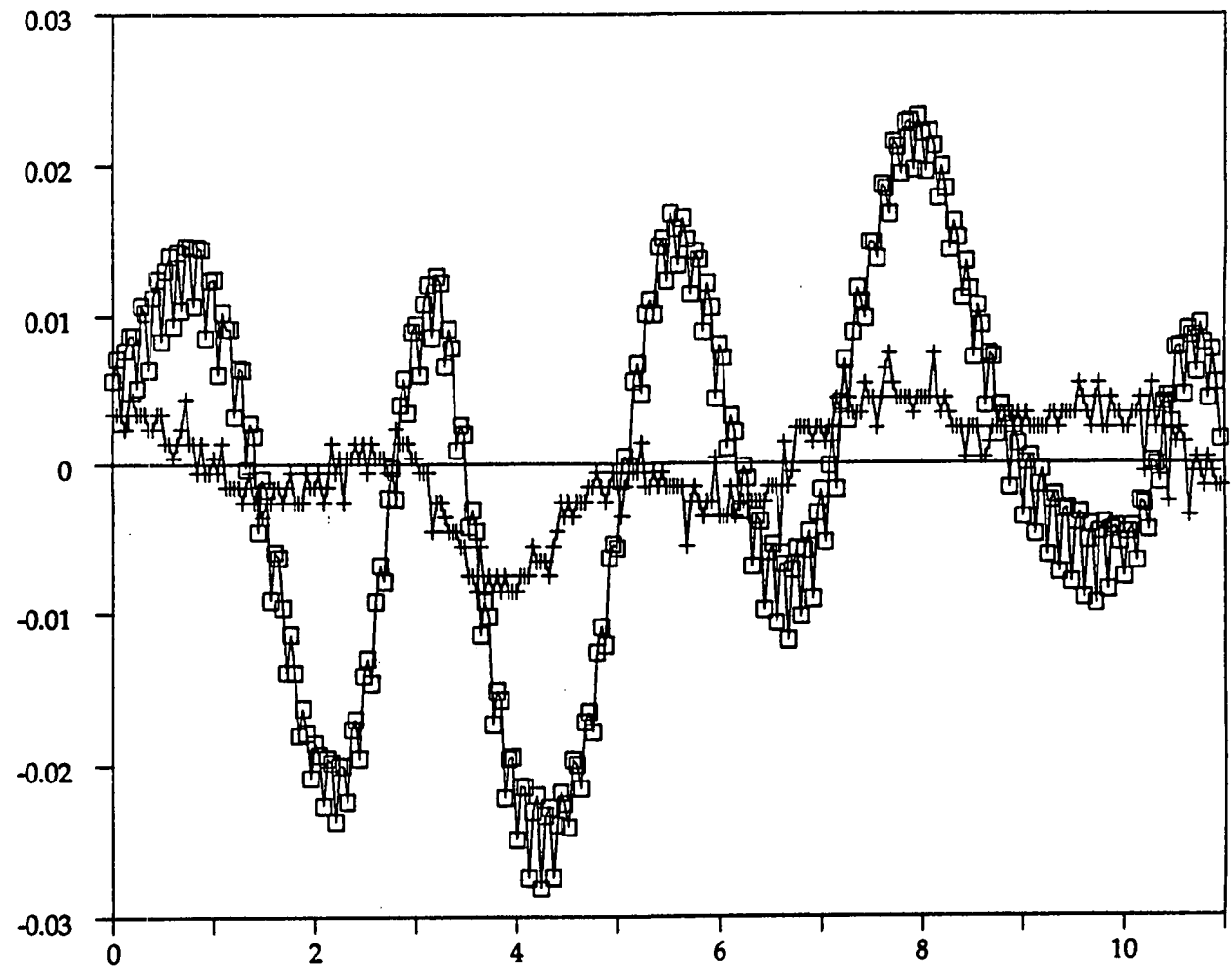
CO-319330

BIJL. 14

Weg

A4

Variatie in stijghoogte
waterspanningsmeter op NAP + 0.5 m



□ berekend + gemeten

Variatie in stijghoogte in meters



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69 2600 AB Delft Telefax (015) 61 08 21
Telefoon (015) 69 35 00 Telex 38234 scd nl

Oktober '91 **Weg**

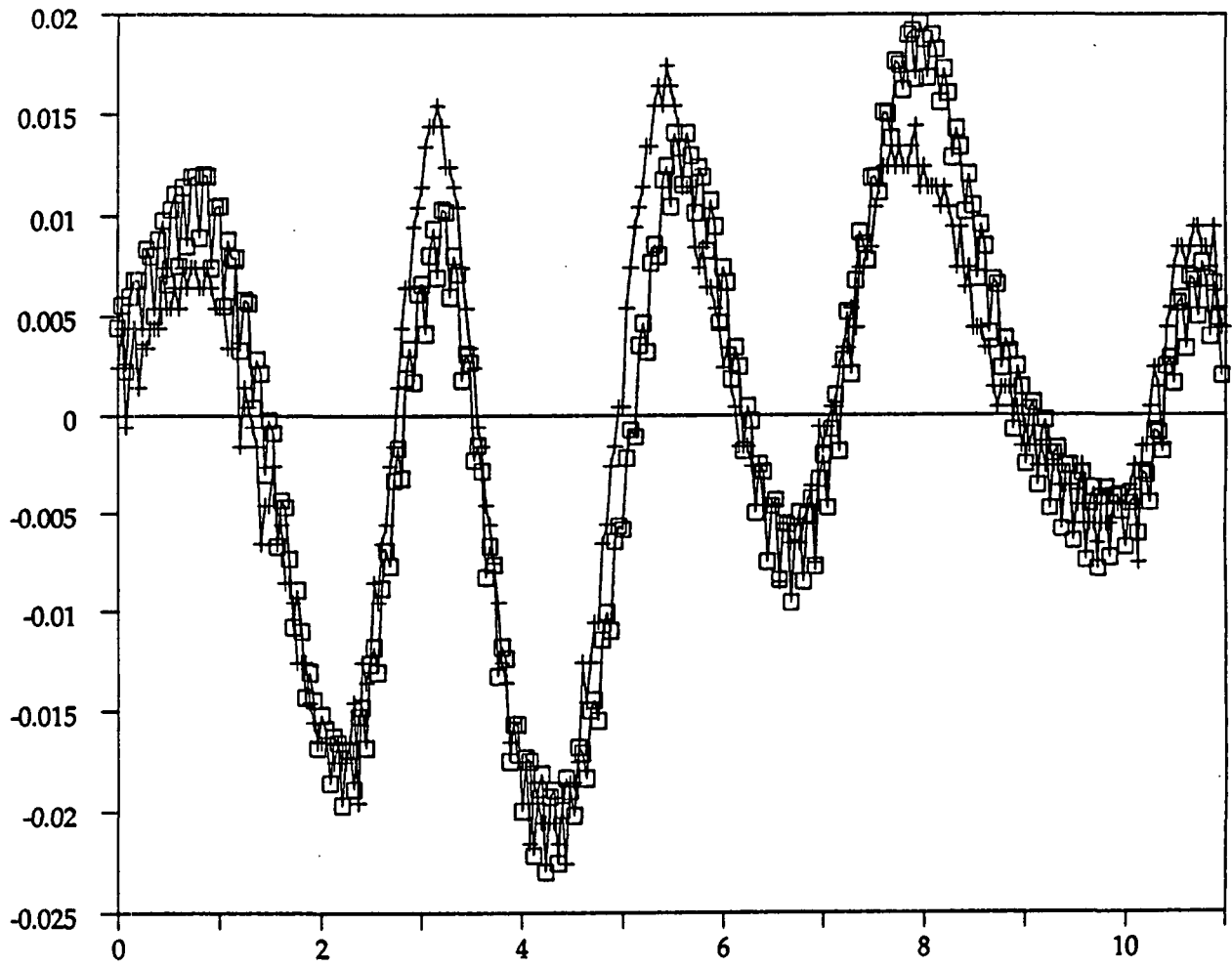
SIMULATIE STIJGHOOGTE ONDER DE TOPLAAG
WATERSPANNINGSMETER OP N.A.P. + 0,5m

TIJDSTIP: 19.00uur

CO-319330 **BIJL. 15** **A4**

Variatie in waterspanningen

Waterspanningsmeter op NAP + 0.8 m



Variatie in stijghoogte in meters

Tijd in seconden

□ berekend

+ gemeten



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38224 scil nl

SIMULATIE STIJGHOOGTE ONDER DE TOPLAAG
WATERSPANINGSMETER OP N.A.P. +0.8m

TIJDSTIP: 19.00uur

d.d.
Oktober '91

CO-319330

BIJL. 16

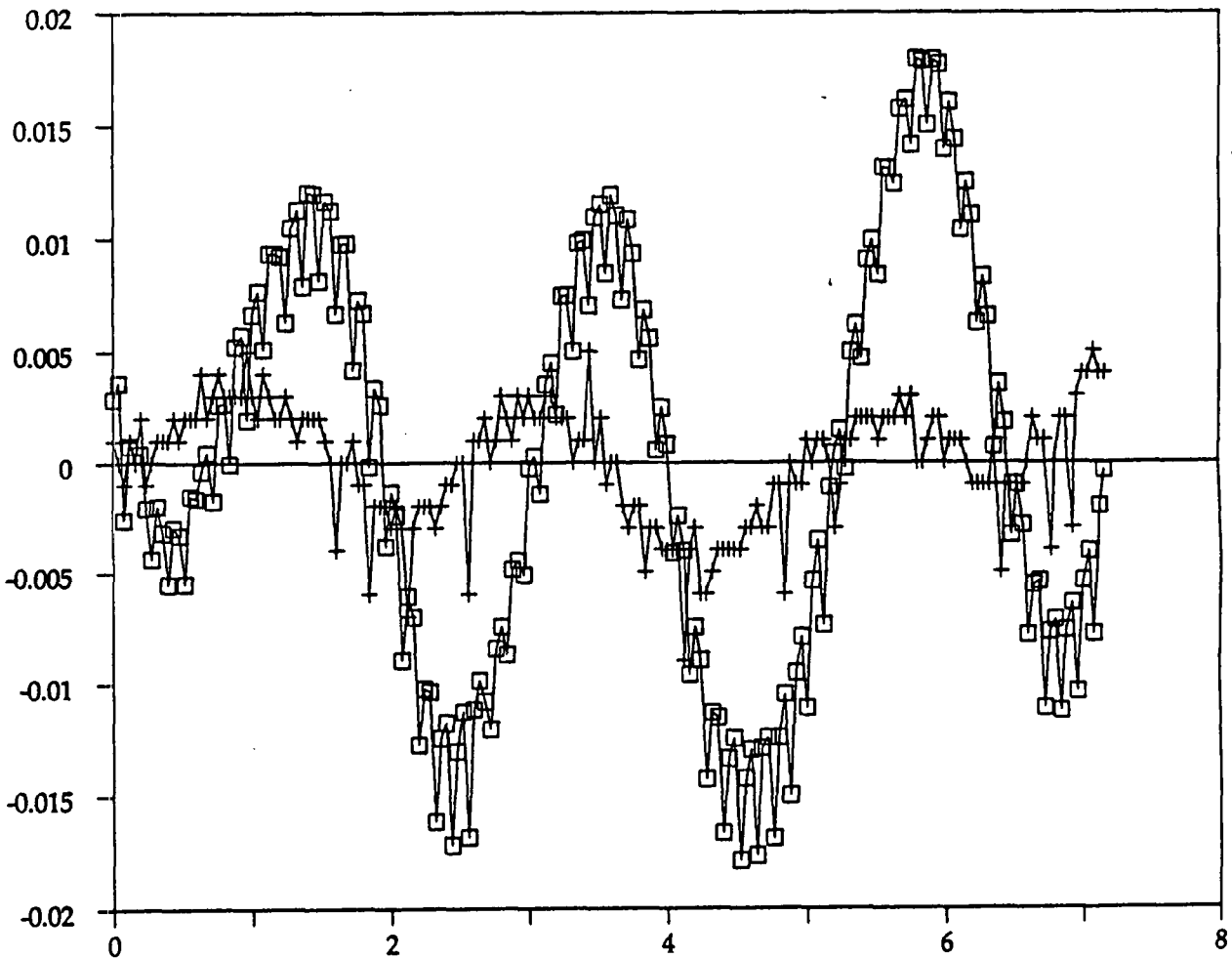
gaf.
Weg

gez.

form.
A4

Variatie in stijghoogte

Waterspanningsmeter op NAP +0.5 m



Variatie in stijghoogte in meters



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 39234 scil nl

SIMULATIE STIJGHOOGTE ONDER DE TOPLAAG
WATERSPANNINGSMETER OP N.A.P. +0.8m

TIJDSTIP: 19.33uur

d.d.
Oktober '91

CO-319330

BIJL. 17

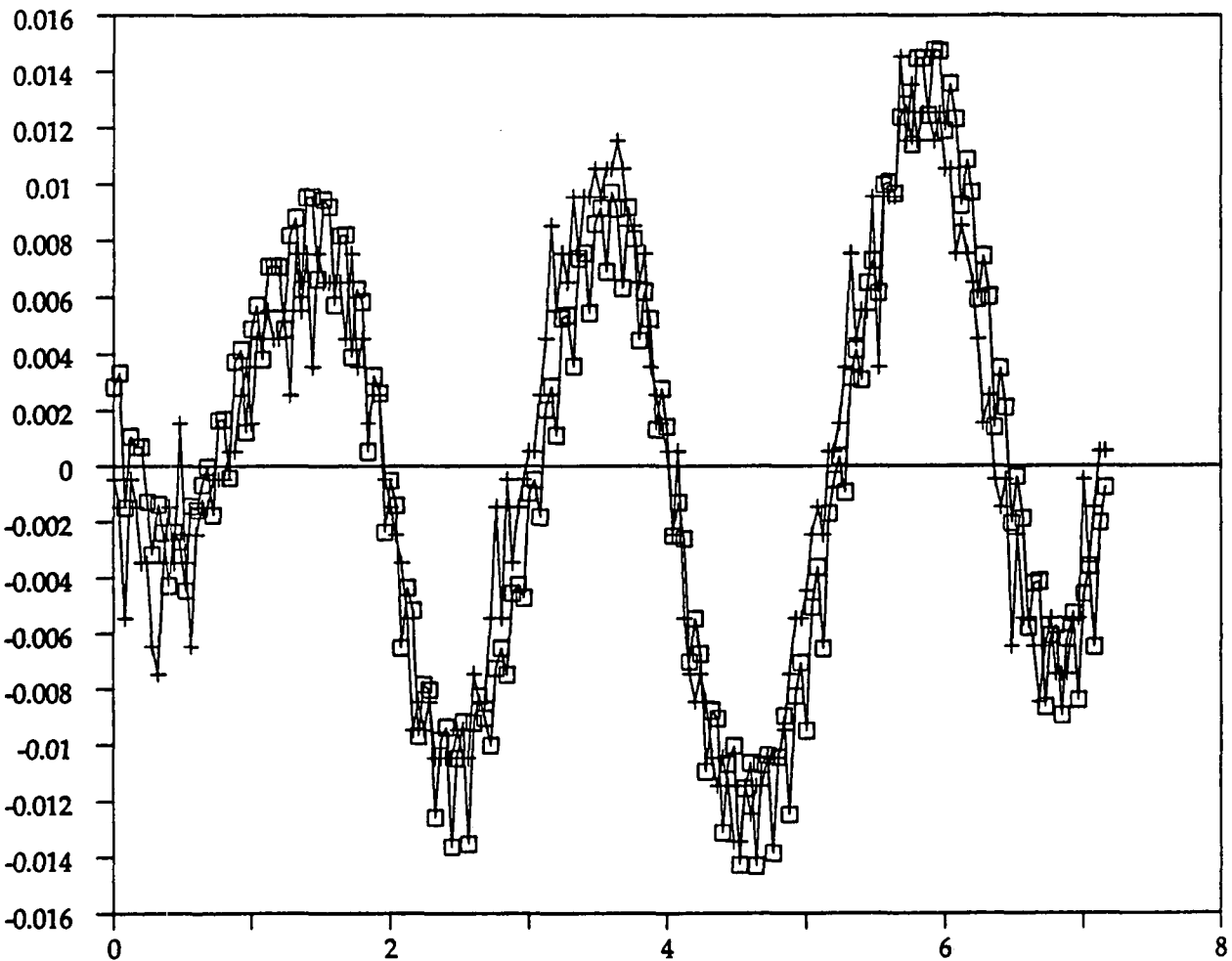
get.
Weg

get.
A4

Variatie in waterspanning

waterspanningsmeter op NAP + 0.8 m

Variatie in stijghoogte in meters



□ berekend

+ gemeten



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38224 soil nl

SIMULATIE STIJGHOOGTE ONDER DE TOPLAAG
WATERSPANNINGSMETER OP N.A.P. +0.8m

TIJDSTIP: 19.33uur

d.d.
Oktober '91

CO-319330

BIJL. 18

get.
Weg

get.
A4

Appendix B1:

Plaatbekleding open colloïdaal beton
Meting van de belasting proefproject Breskens

CO-318500/5
januari 1992

PLAATBEKLEDING VAN OPEN COLLOIDAAL BETON
meting van de belasting bij
het proefproject Breskens

CO-318500/5
januari 1992
Bez/318500

In opdracht van:
CUR
Postbus 420
2800 AK GOUDA

en

Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Postbus 5044
2600 GA DELFT

AFDELING WATERBOUWKUNDIGE CONSTRUCTIES
projectleider: ir. A. Bezuijen
afdelingshoofd: ir. P. Lubking

bladnummer : - 1 -
ons kenmerk: CO-318500/5
datum : januari 1992

INHOUDSOPGAVE:		blz.
1.	INLEIDING	1
2.	TOESTAND PROEFVAK	2
3.	MEETPROCEDURE	3
4.	PROEFOMSTANDIGHEDEN	4
5.	MEETRESULTATEN	5
6.	DISCUSSIE NATUURMETINGEN	6
7.	BEPALINGEN NA HET OPBREKEN VAN HET PROEFVAK	8
8.	CONCLUSIES	11
	REFERENTIES	12
	BIJLAGEN	
	FOTOBLAGEN	

bladnummer : - 2 -
ons kenmerk: CO-318500/5
datum : januari 1992

BIJLAGEN:

- Bijlage 1. Locatie proefvak
- Bijlage 2. Dwarsdoorsnede proefvak
- Bijlage 3. Gemeten golfdrukken onderste 6 drukopnemers
- Bijlage 4. Golfdrukken en waterspanningen op dezelfde positie
- Bijlagen 5 t/m 13. Korrelverdelingen filterlaag
- Bijlage 14. Monster colloïdaal beton in bak voor doorlatendheidsproeven
- Bijlage 15. Resultaten doorlatendheidsproeven colloïdaal beton
-
- Fotoblad 1. Aanbrengen meetopstelling
- Fotoblad 2. Detail meetbalk en waterspanningsopnemers
- Fotoblad 3. Erosie bij overgang naar basalt en inzanding
- Fotoblad 4. Detailopnamen proefvak
- Fotoblad 5. Golfbelasting gedurende de meting
- Fotoblad 6. Colloïdaal beton uit toplaag
- Fotoblad 7. Colloïdaal beton uit toplaag
- Fotoblad 8. Colloïdaal beton in bak voor doorlatendheidsmeting

bladnummer : - 1 -
ons kenmerk: CO-318500/5
datum : januari 1992

1. INLEIDING

In 1990 geeft de CUR opdracht aan Grondmechanica Delft voor het uitvoeren van golfdruk- en waterspanningsmetingen op het proefvak met open colloïdaal beton in Breskens. Deze metingen zijn 17 april 1991 uitgevoerd. Het doel van deze metingen is de belastingen op het colloïdaal beton in het veld te meten, zodat deze vergeleken kunnen worden met de resultaten van modelonderzoek en theoretische modelvorming. Dezelfde meting is één dag later uitgevoerd op de naast het proefvak gelegen basalt glooiing. Door de resultaten van beide metingen te vergelijken ontstaat ook de mogelijkheid de beide typen taludverdediging te vergelijken.

In dit rapport wordt een beschrijving gegeven van de toestand van het proefvak tijdens de meting. Tevens wordt de meting beschreven en de resultaten. Het geheel wordt afgesloten met conclusies. In de zomer van 1991 is het proefvak opgebroken. Toen zijn enkele monsters genomen van het colloïdaal beton en de filterlaag (fosforslakken). Van de monsters in de filterlaag is de korrelverdeling bepaald. De resultaten van deze bepalingen, die zijn uitgevoerd in opdracht van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat, zijn eveneens in dit rapport opgenomen.

bladnummer : - 2 -
ons kenmerk: CO-318500/5
datum : januari 1992

2. TOESTAND PROEFVAK TIJDENS METING

De locatie van het proefvak is weergegeven in bijlage 1. Een dwarsdoorsnede is gegeven in bijlage 2. In deze bijlage is ook de meetopstelling aangegeven. Een overzicht van het proefvak met de meetopstelling is te zien op fotoblad 1. Een detail van de meetbalk met de zetting daar ter plaatse op fotoblad 2.

Het proefvak was in de tijdzone dicht begroeid met algen. Onder de algen leek het geheel dichtgeslibd met zand en fijn materiaal. Op de bovenste laag materiaal waren duidelijk erosie-verschijnselen zichtbaar. Het colloïdaal beton was van de bovenste laag stenen af geërodeerd, zie fotobladen 3 en 4. Op sommige plaatsen waren duidelijk diepere erosiegeulen zichtbaar. Hier en daar waren deze opgelapt. Volgens de lokale beheerder zijn de diepere erosiegeulen ontstaan op de overgang tussen twee lagen colloïdaal beton. Ook bij de overgang basalt - colloïdaal beton was op één plaats een wat diepere erosiegeul. Het geheel, met de verroeste pijpjes op regelmatige afstanden, maakte een wat verformfaaide indruk.

Verder was duidelijk dat de toplaag sterk was dichtgeslibd. De doorlatendheid was hierdoor sterk afgenomen. Bij eb bleef er nog gedurende langere tijd water op het talud staan. In één geval is een ruwe schatting gemaakt van de doorlatendheid door te controleren hoeveel het water in 10 minuten zakte (langer was niet mogelijk omdat het daarna begon te regenen). Het bleek dat in 10 minuten het water-niveau orde 1 mm zakte. Er van uitgaande dat het colloïdaal beton met water verzadigd is, komt dat overeen met een doorlatendheid van $2 * 10^{-6}$ m/s.

bladnummer : - 3 -
ons kenmerk: CO-318500/5
datum : januari 1992

3. MEETPROCEDURE

Voor de meting is bij laag water de meetbalk geplaatst op de glooiing, zie bijlage 2 en fotoblad 1. In deze balk zijn 12 golfdrukmeters geplaatst. Naast drie van de golfdrukopnemers is met waterspanningsmeters de druk onder de bekleding gemeten. Zowel de drukopnemers als de waterspanningsmeters zijn voor het begin van de meting in het laboratorium geijkt. Voor de plaatsing van de waterspanningsmeters is met een kernboor een gat in het colloïdaal beton geboord.

Rond hoogwater zijn elk kwartier, gedurende 80 seconden de golfdrukken en waterspanningen gemeten. De meetgegevens zijn vastgelegd met een sample-frequentie van 25 Hz met behulp van een op een MS-DOS computer gebaseerd meetsysteem.

Het data-aquisitie systeem stond opgesteld in een meetbus. De stroomvoorziening werd verzorgd door een aggregaat.

De meetbalk is zodanig geplaatst dat bij hoogwater de meeste drukopnemers zich juist onder de maximaal teruggetrokken golf bevinden. Het golf front, dat maatgevend is voor de belasting op de zetting wordt dan goed vastgelegd. Bijlage 2 toont de positie van de golfdrukopnemers. Eén golfdrukopnemer is onder aan de balk geplaatst; op deze diepte kan deze opnemer een indicatie geven over de golfhoogte.

bladnummer : - 4 -
ons kenmerk: CO-318500/5
datum : januari 1992

4. PROEFOMSTANDIGHEDEN

De lokatie van het proefvak is weergegeven in bijlage 2. De proeven zijn uitgevoerd bij een krachtige noordwest- tot noordenwind, windkracht 6 à 7. Het verwachte astronomisch getij zou een maximale waterstand opleveren van 2,87 m. Door de wind was een hogere waterstand te verwachten. Bij deze wind en waterstand wordt het gehele talud colloïdaal beton belast. De golfoploop reikt tot op de berm. Fotoblad 5 toont de belasting bij hoogwater. De golfbelasting tijdens de meting was zo sterk dat de meetstreng tussen de meetbalk en de meetbus werd losgetrokken uit de bevestigingen. Door de streng aan de meetbus vast te binden kon voorkomen worden dat deze werd beschadigd.

bladnummer : - 5 -
ons kenmerk: CO-318500/5
datum : januari 1992

5. MEETRESULTATEN

De golfdrukken, gemeten met de onderste 6 waterspanningsmeters, zijn weergegeven in bijlage 3. De druk is weergegeven in meters waterkolom. De resultaten zijn niet gecorrigeerd voor de offset van de drukopnemers. De weergegeven amplitudes zijn dus correct; de gemiddelde waarde kan iets anders zijn. De amplitude van de onderste drukopnemer (de bovenste lijn in deze bijlage) geeft de orde-grootte van de golfbelasting. Deze is ongeveer 0,8 m. Bijlage 4 toont de resultaten van de golfdrukopnemers 7, 9 en 11 en de bijbehorende waterspanningsmeters (ook hier is nog niet gecorrigeerd voor nulpuntsafwijkingen van de drukopnemers). Wel is duidelijk dat er vrijwel continu water op het talud stond, ook bij de bovenste drukopnemer (wanneer er geen water op het talud staat, geeft de drukopnemer een rechte lijn, na een nulpuntscorrectie moet die lijn overeenkomen met een druk gelijk aan nul).

De gemeten waterspanningen geven een merkwaardig resultaat: er is geen enkele fluctuatie te zien. De in bijlage 4 gegeven resultaten voor de waterspanningsmeters zijn net als de golfdrukopnemers niet gecorrigeerd. Voor de gemiddelde waarden is deze correctie wel uitgevoerd. Het blijkt dat de gecorrigeerde waterspanningen overeenkomen met nul meter waterkolom, er wordt dus geen waterspanning gemeten. De netto belasting door de golven is dus altijd het talud in gericht. Er is dus op de plaatsen waar is gemeten geen gevaar dat de toplaag door verschildrukken van het talud wordt afgedrukt.

Dezelfde meting als hierboven beschreven is één dag later uitgevoerd op de naastliggende basaltonglooiing. De beschrijving van deze meting valt buiten het kader van dit rapport. Hier wordt slechts het resultaat gemeld: ook onder de basaltonglooiing zijn geen naar buiten gerichte waterspanningen gevonden.

Deze resultaten waren aanleiding om de betrouwbaarheid van de waterspanningsmeters nader te onderzoeken. Tussen de meting op de glooiing van colloïdaal beton en die van basaltonglooiing zijn de waterspanningsmeters onder water gedompeld; daarbij bleek dat ze goed functioneerden.

Numerieke simulatie van de hier gevonden resultaten met STEENZET/1 is zinloos. In STEENZET/1 wordt er vanuit gegaan dat de doorlatendheid van de toplaag zo hoog is dat de freatisch lijn min of meer de waterstand volgt.

bladnummer : - 6 -
ons kenmerk: CO-318500/5
datum : januari 1992

6. DISCUSSIE NATUURMETINGEN

De meetresultaten wijken af van de resultaten van de eerste natuurmeting in Colijnsplaat op een glooiing van Haringmanblokken. Daar werden wel duidelijk naar buiten gerichte verschildrukken over de blokken gemeten.

De meest voor de hand liggende reden waarom dat hier niet het geval is, is de volgende.

In dit geval blijkt de toplaag erg ondoorlatend (orde $2 \cdot 10^{-6}$ m/s). Water dat op het talud staat zal dus maar langzaam doordringen in het dijklichaam. Dit heeft töt gevolg dat de freatische lijn in de filterlaag nauwelijks zal stijgen. Aangezien alle drie de waterspanningsmeters meer dan 2 m boven het gemiddeld waterniveau (NAP) waren geplaatst, heeft de freatische lijn in het filter de waterspanningsmeters gewoon niet bereikt.

Tijdens de meting van Colijnsplaat zijn wel waterspanningen in de filterlaag gemeten, omdat daar de waterspanningsmeters lager geplaatst waren en daar het bovenste gedeelte van de toplaag een grotere doorlatendheid heeft. Hier in Breskens is de doorlatendheid van de colloïdaal beton- en de basaltonglooiing klein en hoger op het talud bevond zich een geheel ondoorlatende asfaltglooiing.

De kleine toplaagdoorlatendheid wordt zeer waarschijnlijk veroorzaakt door het dichtslibben van de toplaag. Tijdens de meting bleek dat bij deze zetting vanaf het voorland zeer veel fijn materiaal wordt aangevoerd. Bij de voorbereiding van de meting op het colloïdaal beton zijn namelijk tegelijk de kernboorgaten gemaakt voor de meting op de basaltong. Deze gaten zijn voordat ze daadwerkelijk zijn gebruikt afgedicht met doeken. Deze doeken hebben in de gaten gezeten gedurende de tijd van het hoogwater dat de meting op het colloïdaal beton is uitgevoerd en gedurende het hoogwater in de daarop volgende nacht. Fotoblad 3 toont één van de doeken toen deze na die twee hoogwaters uit het gat werd gehaald en toont duidelijk de sporen van inzanding. De zeer snelle inzanding bleek nog duidelijker na afloop van de meting op de basaltong. Volgens afspraak met de beheerder zouden alle gemaakte gaten na afloop van de meting volgestort worden met beton, ook de kernboorgaten in het colloïdaal beton. Dat laatste bleek echter (ook in de ogen van de beheerder) niet meer nodig. Gedurende het ene hoogwater, waarin de meting op de basaltong werd uitgevoerd, bleken de gaten in het colloïdaal beton tot enkele cm' onder de rand volgeslibd.

Wel dient te worden opgemerkt dat, zelfs al wordt dichtslibben verondersteld, de gevonden doorlatendheden nog klein zijn. De korreldiameter van het zand op de vooroever is op dit moment nog onbekend, maar de verwachte doorlatendheid zal variëren van 10^{-5} m/s voor fijn zand tot

bladnummer : - 7 -
ons kenmerk: CO-318500/5
datum : januari 1992

enkele malen 10^{-4} m/s voor grover zand. Nu werd, zij het met een onnauwkeurige methode, een doorlatendheid gevonden die bijna een orde lager is dan de laagste waarde. Hiervoor zijn twee mogelijkheden:

- behalve met zand worden de spleten ook gevuld met zeer fijn materiaal, silt en klei, waardoor de doorlatendheid afneemt
- volgens drs. G.A.M. Kruse van Grondmechanica Delft moet men in een zo voedselrijke omgeving als op de grens tussen water en land ook veel biologische activiteit verwachten. Tenminste één van de in deze omstandigheden levende microben zou slijm afscheiden, waardoor de doorlatendheid afneemt.

Concluderend kan dus worden opgemerkt dat van de open structuur van het colloïdaal beton niet veel meer over is. Maar voor de omstandigheden bij het proefvak is dit eerder een voordeel dan een nadeel. Volgens de bevindingen van het steenzettingenonderzoek, zie bijvoorbeeld Bezuijen et al (1990), moet de toplaag van een taludverdediging open zijn om te voorkomen dat het water achter de toplaag grote naar buiten gerichte verschildrukken uitoefent op de toplaag. De resultaten van deze metingen tonen, toch enigszins onverwacht, een nieuwe mogelijkheid. De toplaag dient zo dicht gemaakt te worden dat de waterstand daarachter altijd voldoende laag blijft.

Dit is echter geen middel tegen alle kwalen. Hier levert de ondoorlatende toplaag geen probleem, omdat de teen van het talud zich op NAP bevindt. In situaties waar de teen significant lager is aangebracht moet men bij een dergelijke ondoorlatende toplaag bedacht zijn op verschildrukken die kunnen ontstaan onder invloed van eb en vloed. Bij eb kan de freatische lijn ook nog steeds in de buurt van NAP staan, met als gevolg dat de toplaag van de glooiing wordt gedrukt.

bladnummer : - 8 -
ons kenmerk: CO-318500/5
datum : januari 1992

7. BEPALINGEN NA HET OPBREKEN VAN HET PROEFVAK

Na het opbreken van het proefvak zijn 10 monsters nader onderzocht, 9 monsters bestonden uit materiaal uit de filterlaag en 1 monster (monster nr. 2) was een stuk colloïdaal beton uit de toplaag. De monsters uit de filterlaag zijn op drie verschillende diepten, op drie verschillende plaatsen genomen; de verdeling is weergegeven in onderstaande tabel, met het bijbehorende bijlagennummer.

positie op talud	monster nr.	bijlagenr.
bij de teen van het proefvak		
juist boven zandlaag	1	5
midden filterlaag	2	6
onder colloïdaal beton	4	7
midden proefvak		
juist boven zandlaag	5	8
midden filterlaag	6	9
onder colloïdaal beton	7	10
bovenkant proefvak		
juist boven zandlaag	8	11
midden filterlaag	9	12
onder colloïdaal beton	10	13

Tabel 1. Posities waar de filterlaag is bemonsterd en correponderend monster en bijlagennummer

Van monsters 1, 2 en 4 t/m 10 is de korrelverdeling bepaald. De resultaten hiervan zijn gegeven in de bijlagen 5 t/m 13. Monster 3 is droog gezaagd, waarbij er een hoekje uit het monster is verwijderd (bij zagen met een koelvloeistof was de fijne fractie uit het colloïdaal beton gespoeld). Daarna is het monster gefotografeerd, zie fotobladen 6 en 7 en is de doorlatendheid bepaald.

In de korrelverdelingen zijn duidelijk twee materialen te onderscheiden. In het Engels heet een dergelijke korrelverdeling "gap graded", waarbij de gap slaat op het niet aanwezige materiaal, in dit geval korrels tussen de 0,4 en 8 mm. Hier is het oorspronkelijke materiaal met een korreldiameter groter dan 8 mm volgeslibd met zand met een korreldiameter kleiner dan 0,4 mm en een d_{50} van ongeveer 200 μm . De monsters 2 en 4 hebben een geheel vergelijkbare korrelverdeling. Monster 1, gestoken aan de teen van het talud onderin de filterlaag,

bladnummer : - 9 -
ons kenmerk: CO-318500/5
datum : januari 1992

geeft een steilere dan de korrelverdeling van het oorspronkelijke materiaal. Deze bevat ook minder zand. De monsters 2 en 4 bestaan voor ongeveer 15 gewichtsprocenten uit zand en monster 1 bevat slechts 5% zand. Alle overige monsters bevatten ongeveer 25% zand. Een mogelijke verklaring voor het verschil in de zandfracties is het verhang in de filterlaag. Voor inzanding van de filterlaag is een zeker hydraulisch verhang noodzakelijk, om de zandkorrels te transporteren. Aan de teen van het talud en zeker onderin de filterlaag is het verhang in de filterlaag klein. Blijkbaar zo klein, dat het verhang onvoldoende is om zandtransport mogelijk te maken. Op die plaats is dan ook de filterlaag het minste ingezand. Bij vergelijkbare bepalingen in Wierum (Friesland), (Grondmechanica Delft, 1990) is ook gevonden dat bij de teen van het talud het percentage zand lager is dan hoger op het talud. Overigens zouden meer metingen noodzakelijk zijn om te zien of dit verschil in inzanding over de hoogte van het talud een algemene trend is.

Geen van de monsters bevatte een meetbare hoeveelheid slib.

Het zandpercentage in monster 2 en 4 duidt op een vrijwel volledig inzanden van het filter. Bij monster 1 zou nog holle ruimte tussen de grove korrels aanwezig moeten zijn. Echter de gevonden zandpercentages in de overige mo

nsters duiden er op dat het ingezande zand een dichte pakking heeft. Het gevonden zandpercentage is alleen mogelijk wanneer de porositeit van de mijnsteen oorspronkelijk ongeveer 0,4 geweest is en het zand nu ook een porositeit van ongeveer 0,4 heeft. Meer gebruikelijk is het om voor een breed gegradeerd materiaal als mijnsteen een porositeit van 0,3 aan te houden. Als dat het geval is, is het gevonden zandpercentage alleen te verklaren door aan te nemen dat de filterlaag op sommige plaatsen zoveel is ingezand, dat het volume van de filterlaag is toegenomen.

Uit de foto's van het stuk colloïdaal beton van de top laag blijkt dat dit ook geheel, door en door is ingezand. Op foto 6 zijn de zaagsneden nauwelijks zichtbaar. Dit duidt erop dat over de gehele zaagsnede het materiaal was ingezand.

De doorlatendheidsbepaling van de top laag is uitgevoerd door het beschikbare stuk colloïdaal beton te plaatsen in een plastic bak en de zijranden af te dichten met klei, zie foto 8. Bijlage 14 geeft aan hoe het monster in de bak was geplaatst.

Twee soorten proeven zijn uitgevoerd. Een 'constant head' proef waarbij een constant stijghoogteverschil werd opgelegd en het debiet werd gemeten en een 'falling head' proef waarbij werd gemeten hoeveel het waterniveau in de bak zakt in een bepaalde tijd, zie bijlage 15. De uitwerking van de meting wordt enigszins bemoeilijkt door het feit dat de dikte van het monster niet overal constant is, zie bijlage 14. Uitgaande van een lineaire toename in de dikte van 12 tot 18 cm blijken de doorlatendheidsmetingen te interpreteren als zijnde voor een mon-

bladnummer : - 10 -
ons kenmerk: CO-318500/5
datum : januari 1992

ster met een dikte van 12 cm, wanneer de daaruit gevonden doorlatendheid wordt vermenigvuldigd met 1,23. Daarbij is uitgegaan van een constant stijghoogteverschil over het monster. Met dit gegeven en de in bijlage 15 gegeven proefresultaten is de doorlatendheid te berekenen, wat leidt tot:

- Constant head proef $k = 4,6 * 10^{-5}$ m/s
- Falling head proef $k = 1,0 * 10^{-4}$ m/s

Deze waarden bevestigen dat het colloïdaal beton geheel is ingezand. Bij de eerste proef vond er enige uitspoeling plaats. Dit verklaart waarom de gemeten doorlatendheid bij de tweede proef, de falling head proef wat groter is.

De korrelverdelingen en de foto's van de toplaag bevestigen de resultaten van eerdere waarnemingen en de in dit rapport beschreven natuurmeting.

Bij deze zetting zijn zowel toplaag als filterlaag ingezand.

8. CONCLUSIES

Aan de hand van de uitgevoerde metingen zijn de volgende conclusies mogelijk:

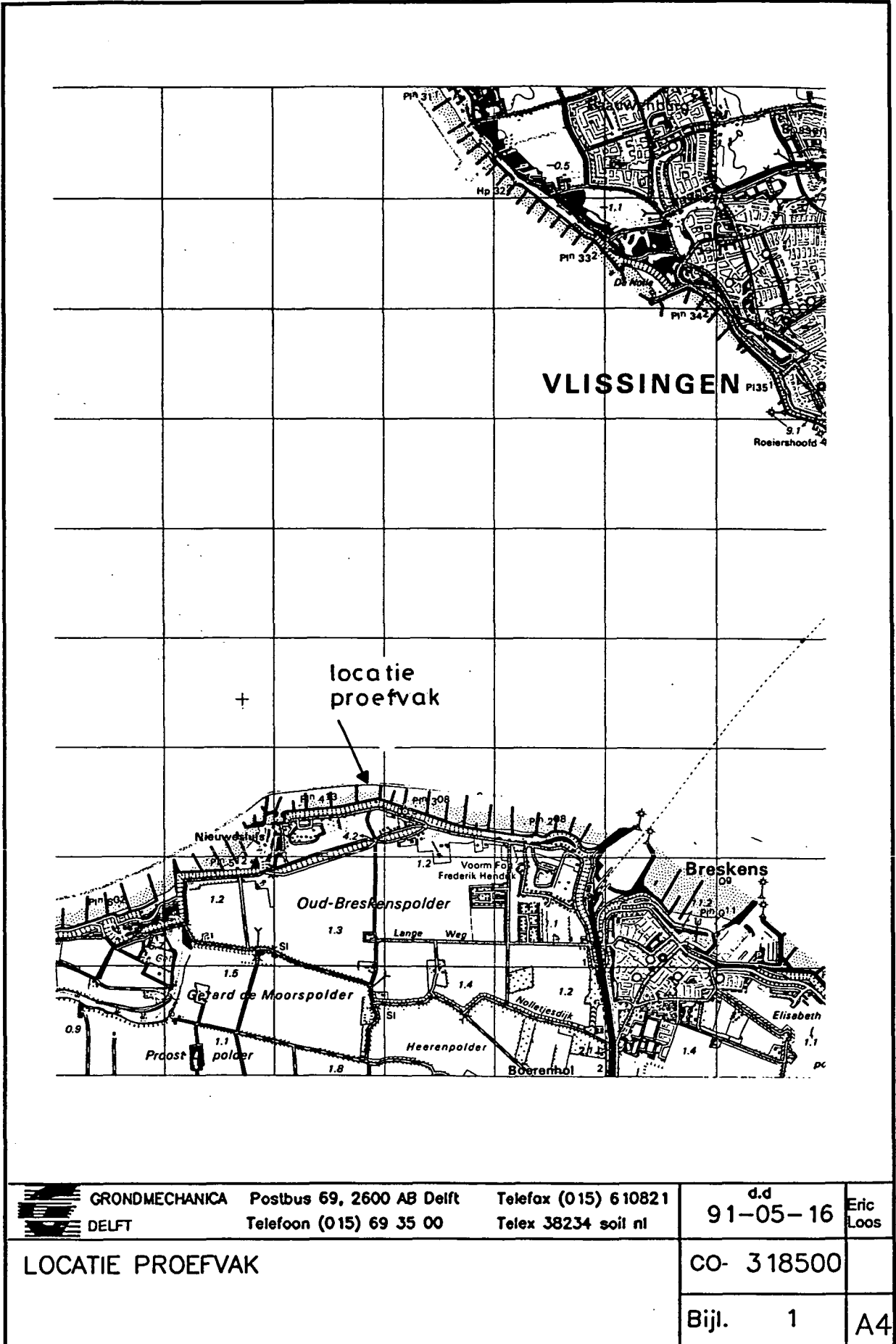
- Voor het hier beschouwde proefvak is het beter te spreken van colloïdaal beton dan van open colloïdaal beton. De doorlatendheid is van dezelfde grootte-orde als die van zand.
- De oorzaak van deze lage doorlatendheid is het dichtslibben van de openingen, mogelijk in combinatie met biologische activiteit.
- De lage doorlatendheid is niet specifiek voor colloïdaal beton. Een daarnaast gelegen glooiing van basalt on toonde een vergelijkbaar lage doorlatendheid. Aangezien op andere plaatsen soms wel heel open glooiingen aangetroffen worden, wordt dit waarschijnlijk veroorzaakt door de locatie. Bij de nu onderzochte locatie is veel materiaal aanwezig om dichtslibben van de glooiing te veroorzaken.
- De lage doorlatendheid van de toplaag leidt in dit geval niet tot gevaarlijke naar buiten gerichte overdrukken. De doorlatendheid is in dit geval zo laag dat de freatische lijn waarschijnlijk nauwelijks boven de teen van het talud komt. De waterspanning aan de onderkant van de zetting is dus nul meter waterkolom.
- Een dergelijke constructie met een zeer lage toplaagdoorlatendheid zal in het algemeen een zetting opleveren met een grotere stabiliteit dan de situatie, direct na aanleg met een nog grotere doorlatendheid van de toplaag. Het is dus niet onlogisch om in het ontwerp de situatie juist na aanleg te beschouwen, temeer omdat bij voorbaat niet vaststaat of, en zo ja binnen welke termijn de zetting zal dichtslibben. Overigens dient bij een dergelijk lage doorlatendheid ook onderzocht te worden in hoeverre ook eb en vloed invloed hebben op de stabiliteit.


bladnummer : - 12 -
ons kenmerk: CO-318500/5
datum : januari 1992

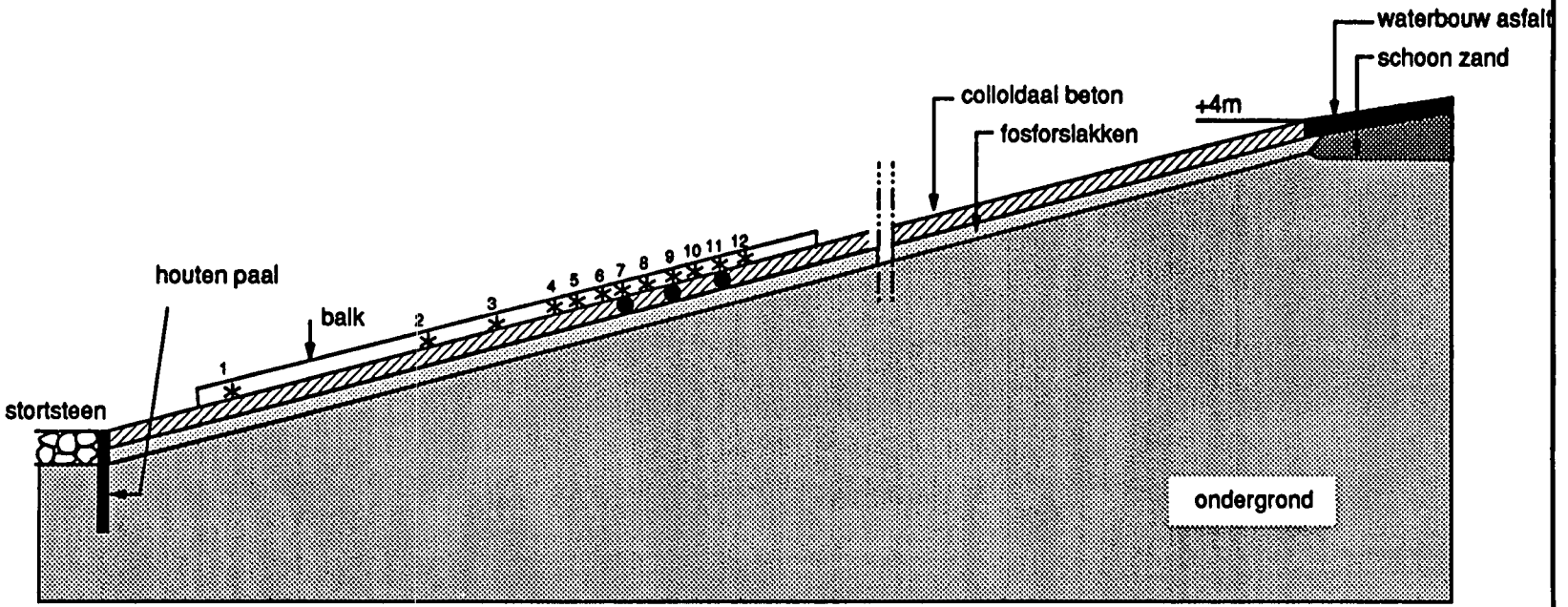
REFERENTIES

Bezuijen A., Burger A.M., Klein Breteler M.	1990	Taludbekleding van gezette steen Samenvatting van onderzoeksresultaten 1980-1988 Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat
Grondmechanica Delft	1990	Monstername Wierum Rapport CO-320160/3, november


Bijlagen



 GRONDMEECHANICA DELFT	Postbus 69, 2600 AB Delft Telefoon (015) 69 35 00	Telefax (015) 6 10821 Telex 38234 soil nl	d.d.	Eric Loos
			91-05-16	
LOCATIE PROEFVAK			CO- 318500	
			Bijl. 1	A4



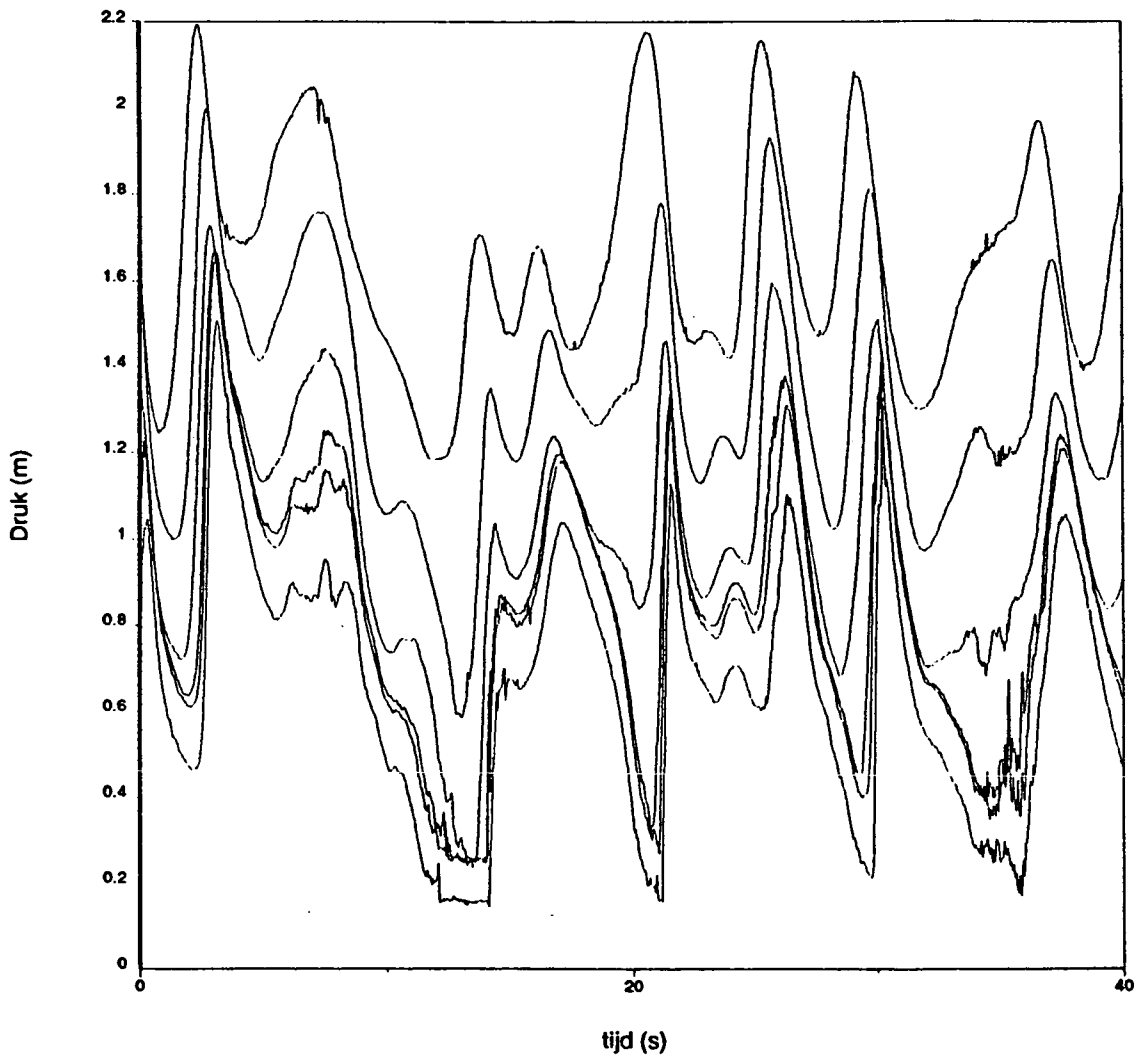
- * 1 = drukopnemer (12 stuks)
- = waterspanningsmeters


GRONDMECHANICA
 Posibus 69, 2600 AB Delft
 Delft
 Telefoon (015) 69 35 00
 Telefax (015) 6 1082 1
 Tele 38234 soil nl

DWARSDOORSNEDE PROEFVAK

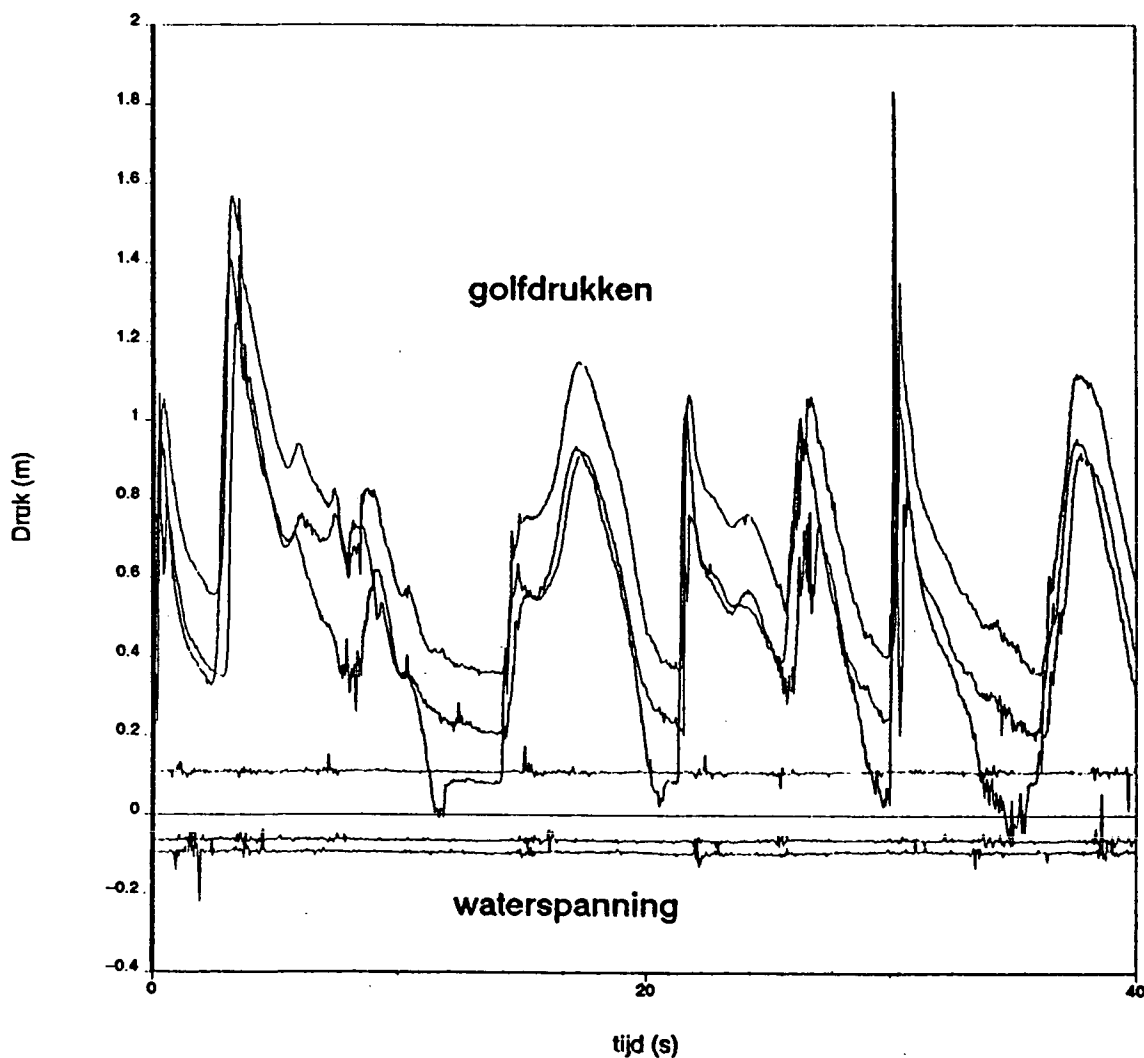
Bijl.	2	A4	d.d.	91-05-16	Eric Loos
			CO-	318500	


Meting Breskens
Golfdrukken op colloidaal beton



 GRONDMECHANICA DELFT	Postbus 69, 2600 AB Delft Telefoon (015) 69 35 00	Telefax (015) 610821 Telex 38234 soil nl	d.d 91-05-16	Eric Loos
			GEMETEN GOLFDRIJVEN ONDERSTE 6 DRUK- OPNEMERS	CO- 318500

**Meting Breskens colloidaal beton
Golfdrukken en waterspanningen**



 GRONDMECHANICA DELFT	Postbus 69, 2600 AB Delft Telefoon (015) 69 35 00	Telefax (015) 610821 Telex 38234 soil nl	d.d. 91-05-16	Eric Loos
	GOLFDRIJEN EN WATERSPANNINGEN OP DEZELFDE POSITIE		CO- 318500	Bijl. 4 A4

KORRELVERDELINGSDIAGRAM

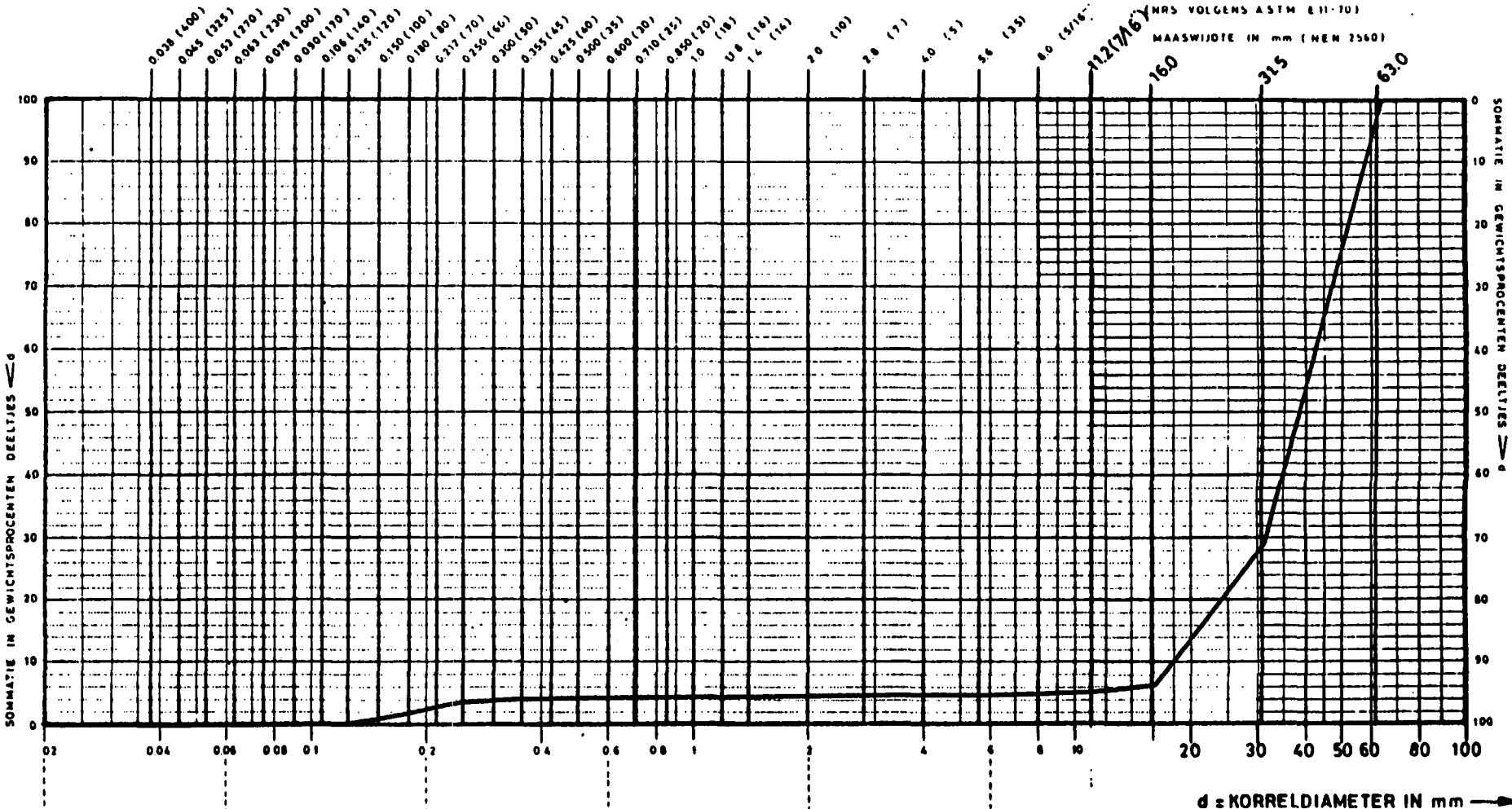
NATURMETING BRESKENS



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Tele: 38234 soil.nl



GROF		FIJN		MIDDEL		GROF		FIJN		MIDDEL		GROF	
ZAND						GRIND							

BORING	MONSTER	DIEPTE IN	0 - m	0 m - MV	0 m - N.A. P	0 m - BODEM
-	1	-				

BIL. 5
CO - 318500
A.7

91-08-15
p.d.
p.c.
p.t.

SOMMATE IN GEWICHTSPROCENTEN DEELTJES

MAASWIJDTE IN mm (NEN 2560)
NRS VOLGENS ASTM E11-70

d ± KORRELDIAMETER IN mm

KORRELVERDELINGSDIAGRAM

NATUURMETING BRESKENS



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soft nl

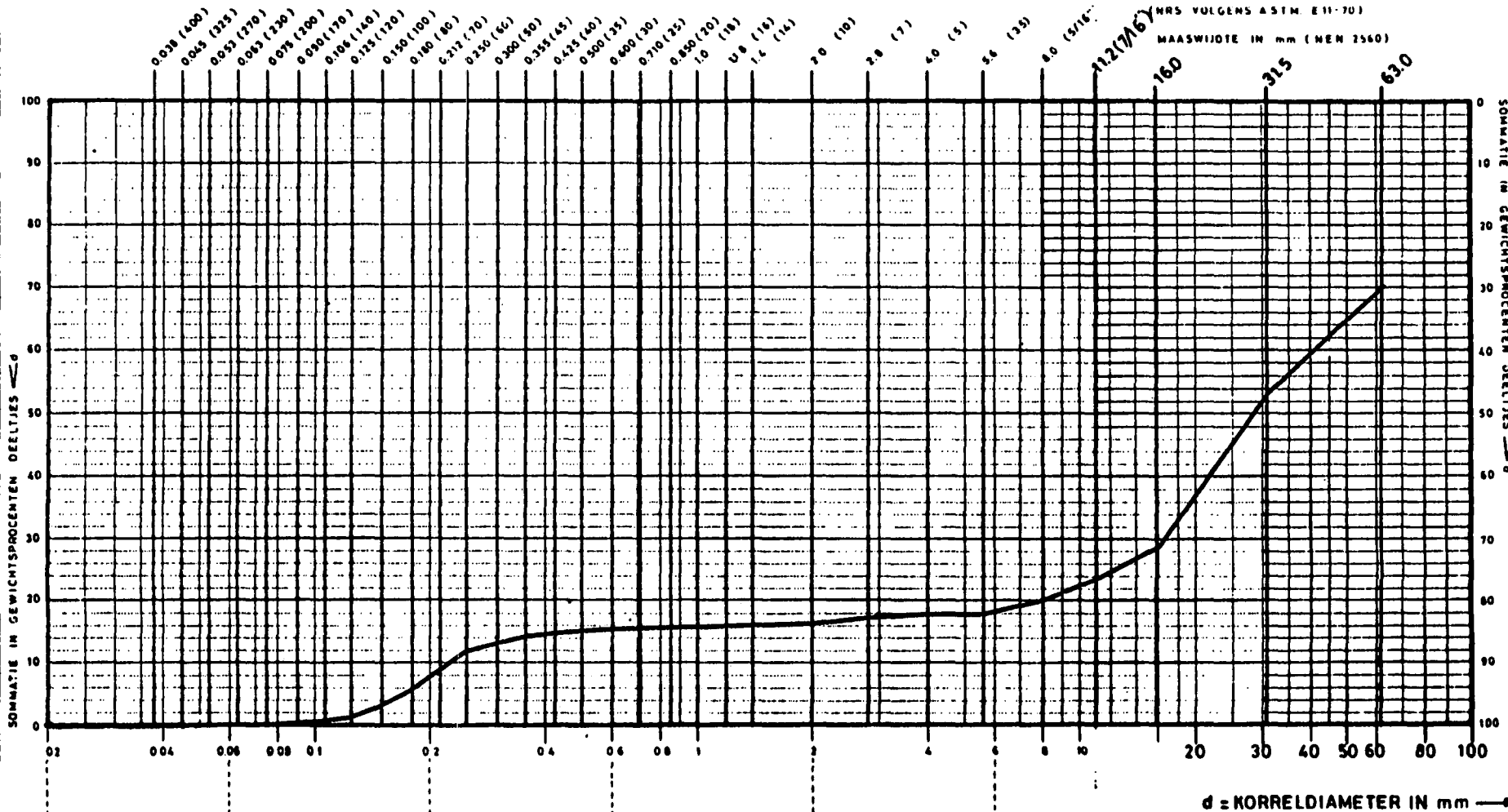
BIJL. 6

CO - 318500

A.4

91-08-15

sec.



GRUF	FIJN	MIDDEL	GROF	FIJN	MIDDEL	GRUF
ZAND			GRIND			

BORING	MONSTER	DIEPTE IN	0 - m	0 m - MV	0 m - N.A. P.	0 m - BODEM
1	2	-				

KORRELVERDELINGSDIAGRAM

NATUURMETING BREKENS



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

BIL. 7

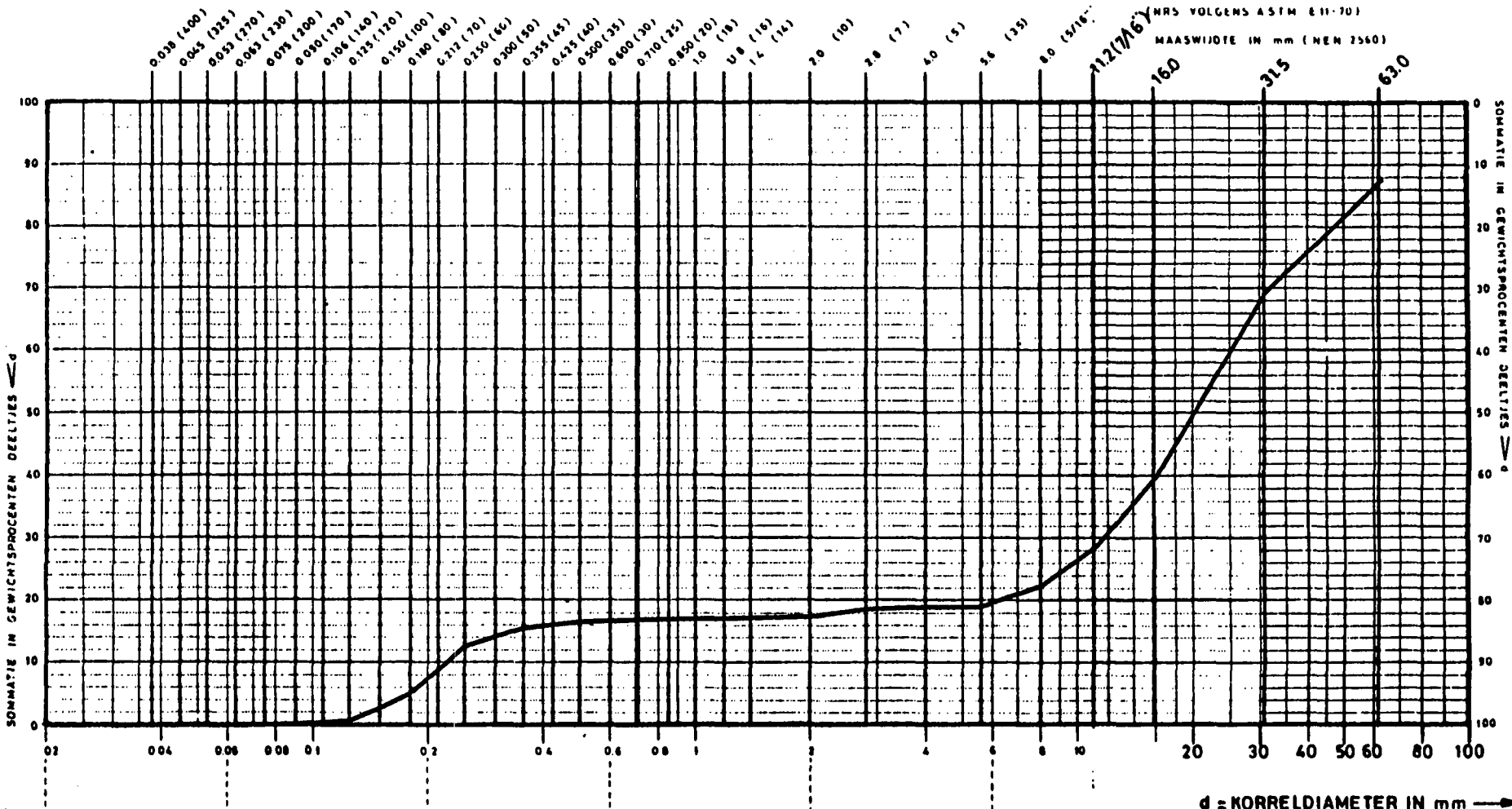
CO - 318500

A.4

91-08-15

d.d.

get.



GRUF	FIJN	MIDDEL	GRUF	FIJN	MIDDEL	GRUF
ZAND			GRIND			

BORING	MONSTER	Diepte in	○ - m	○ m - MV	○ m - N.A. P.	○ m - BODEM
-	4	-				

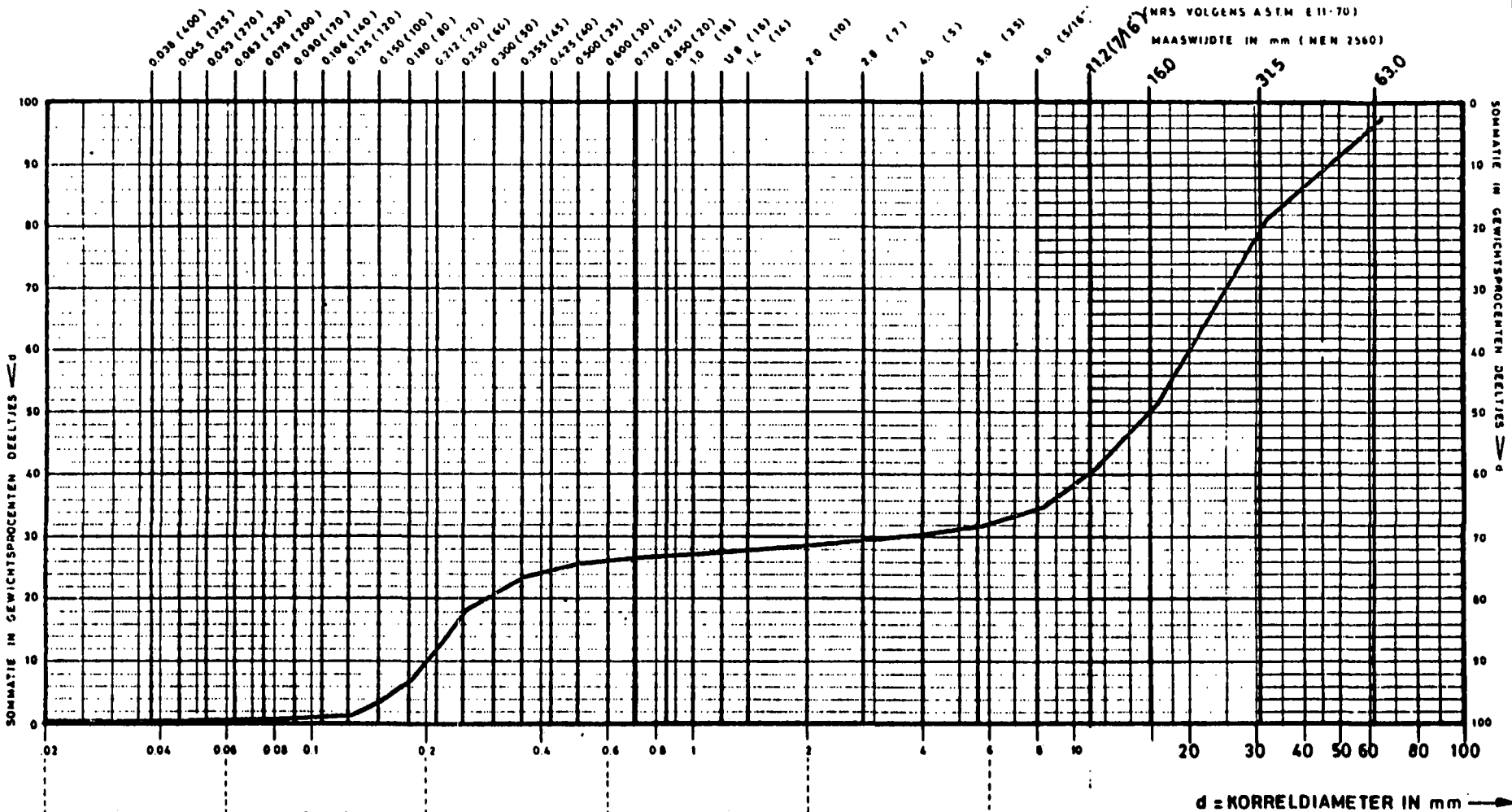
**PROEFVAK COLLOIDAL BETON
BRESKENS
KORRELVERDELINGSDIAGRAM**



**GRONDMECHANICA
DELFT**

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl



GROF		FIJN		MIDDEL		GROF		FIJN		MIDDEL		GROF	
ZAND						GRIND							

BORING	MONSTER	Diepte in 0 - m	0 m - MV	0 m - N.A. P	0 m - BODEM
	5				

91-11-04
CO-318500
BIJL. 8
A 4

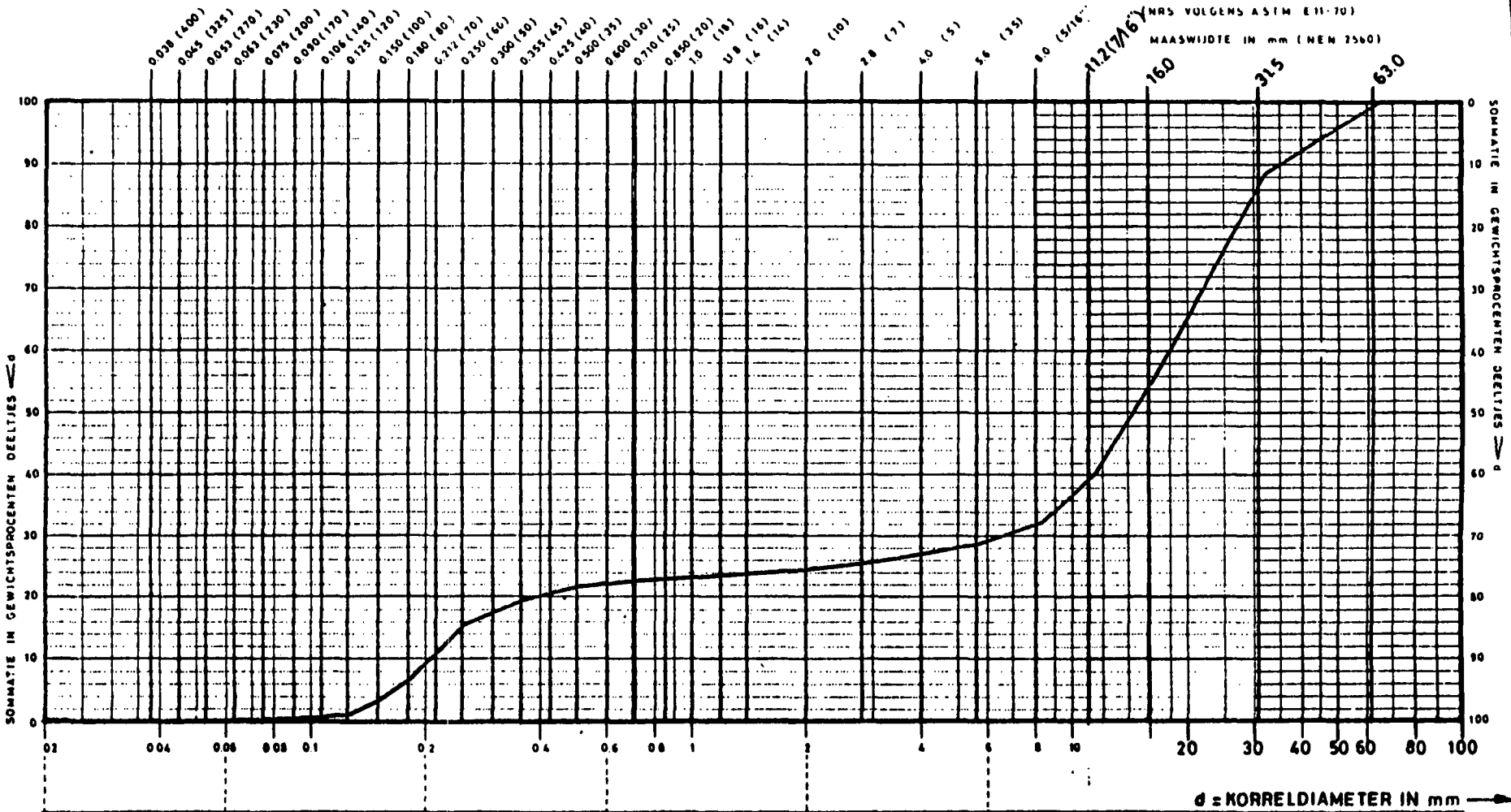
KORRELVERDELINGSDIAGRAM
BRESKENS
PROEFVAK COLLOIDAL BETON



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
 Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
 Telex 38234 soil nl



GRUF	FIJN	MIDDEL	GROF	FIJN	MIDDEL	GRUF
ZAND			GRIND			

BORING	MONSTER	DIEPTE IN	○ - m	○ m - MV	○ m - N.A. P	○ m - BODEM
	7					

91-11-04
CO-318500
BIJL. 10
A4

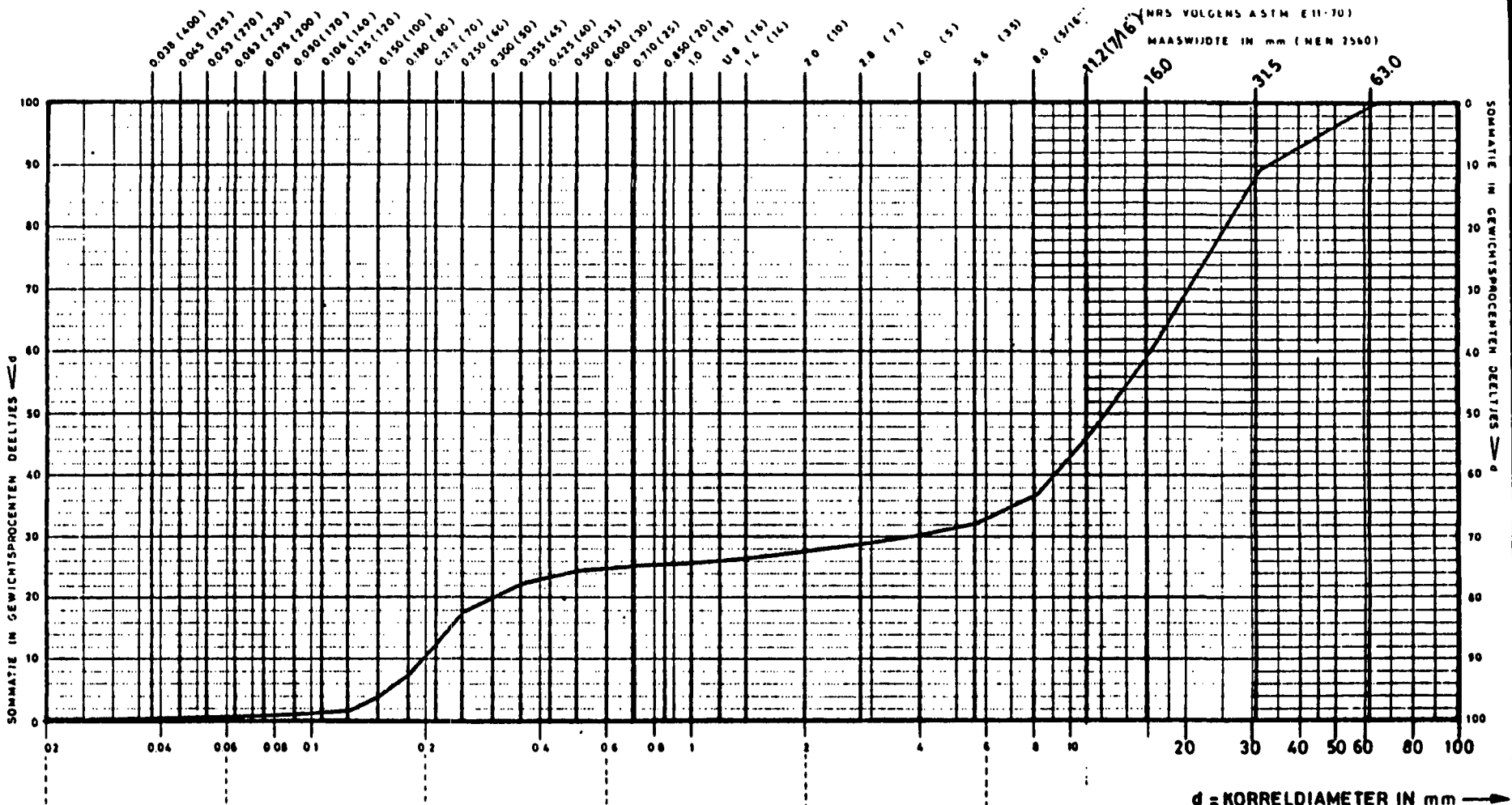
**PROEFVAK COLLOIDAL BETON
BRESKENS
KORRELVERDELINGSDIAGRAM**



GRONDMEECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl



GRUF	FIJN	MIDDEL	GRUF	FIJN	MIDDEL	GRUF
ZAND			GRIND			

BORING	MONSTER	DIEPTE IN	○ - m	○ m - MV	○ m - N.A. P.	○ m - BODEM
	8					

BILJ. 11	CO-318500	91-11-04	get.
A 2			get.

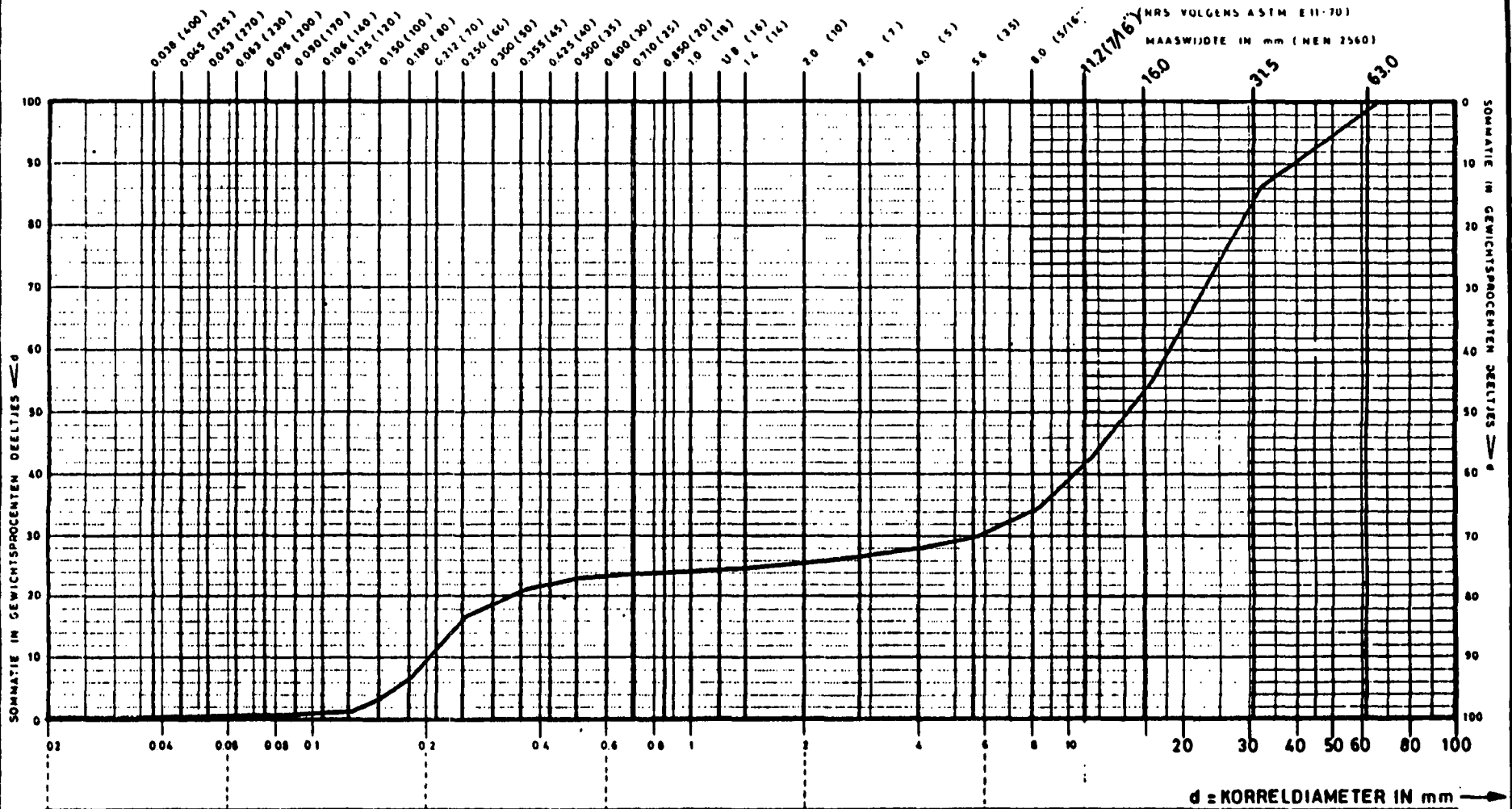
KORRELVERDELINGSDIAGRAM
BRESKENS
PROEFVAK COLLOIDAL BETON



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
 Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
 Telex 38234 soil nl



GRUF	FIJN	MIDDEL	- GRUF	FIJN	MIDDEL	GRUF
ZAND			GRIND			

BORING	MONSTER	DIEPTE IN	○ - m	○ m - MV	○ m - N.A. P	○ m - BODEM
	8					

91-11-04
 d.d.
CO-318500
 g.c.
BIL. 12
 g.c.
A.4.

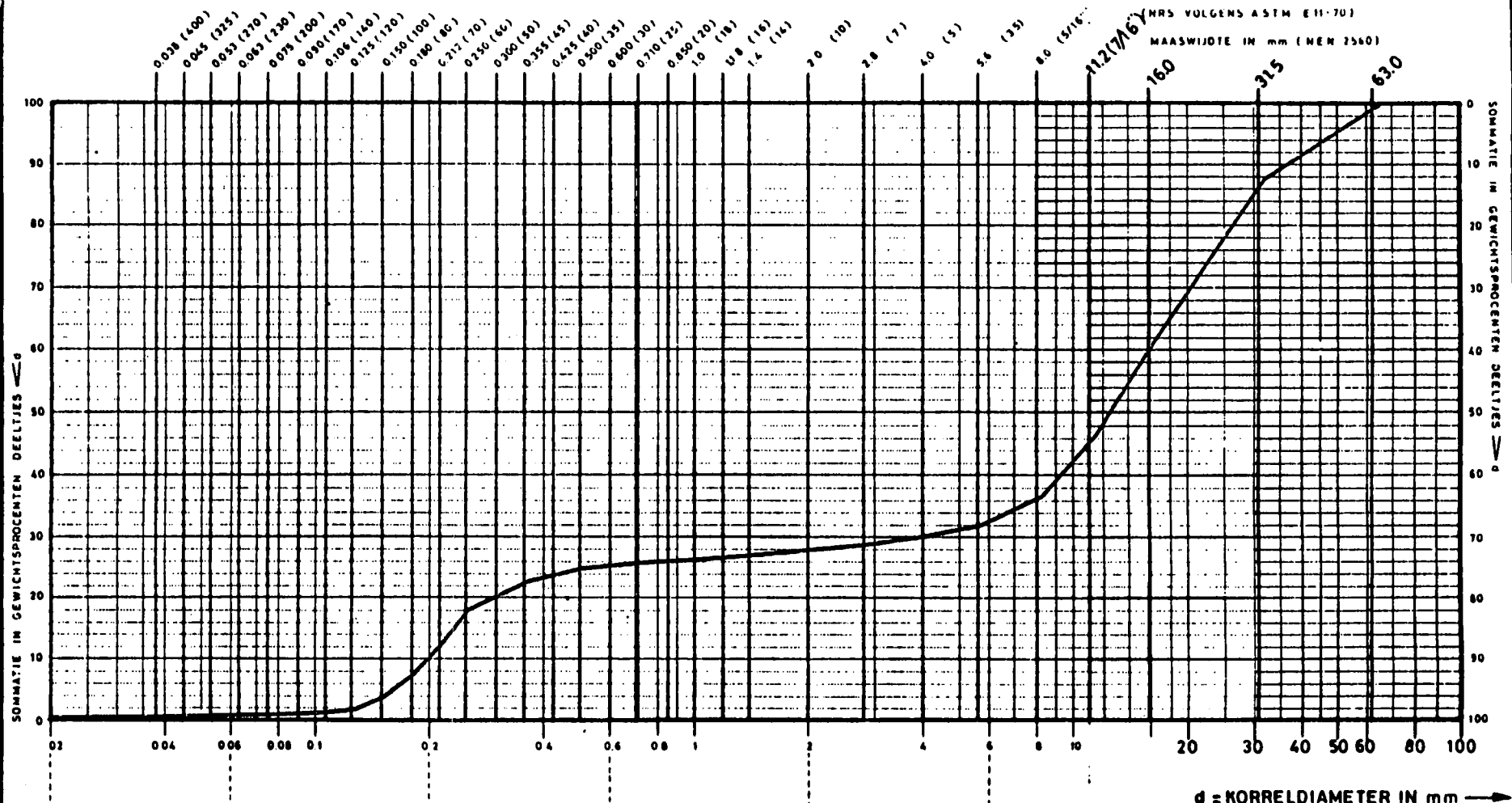
**PROEFVAK COLLOIDAL BETON
BRESKENS
KORRELVERDELINGSDIAGRAM**



**GRONDMECHANICA
DELFT**

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

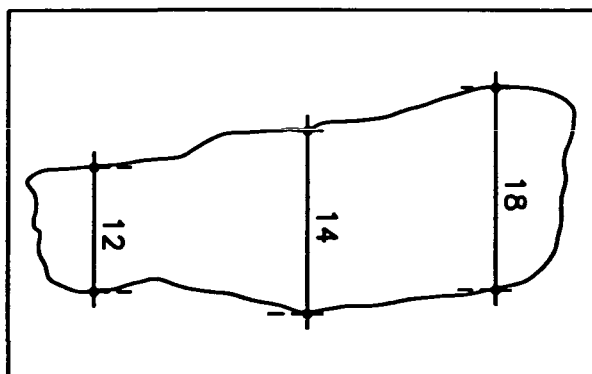
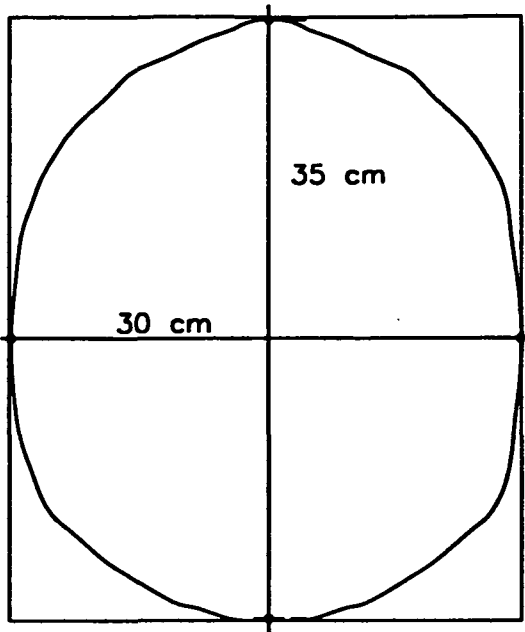
Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 sgh nl




GRUF	FIJN	MIDDEL	GROF	FIJN	MIDDEL	GRUF
ZAND			GRIND			

BORING	MONSTER	DIEPTE IN	○ - m	○ m - MV	○ m - N.A. P.	○ m - BODEM
	10					

91-11-04 d.s.
CO - 318500
BIJL. 13
A4 get. / get.




GRONDMEECHANICA Postbus 69, 2600 AB Delft Telefax (015) 610821
DELFT Telefoon (015) 69 35 00 Telex 38234 soil nl

d.d.
 92-01-24 Eric
 Loos

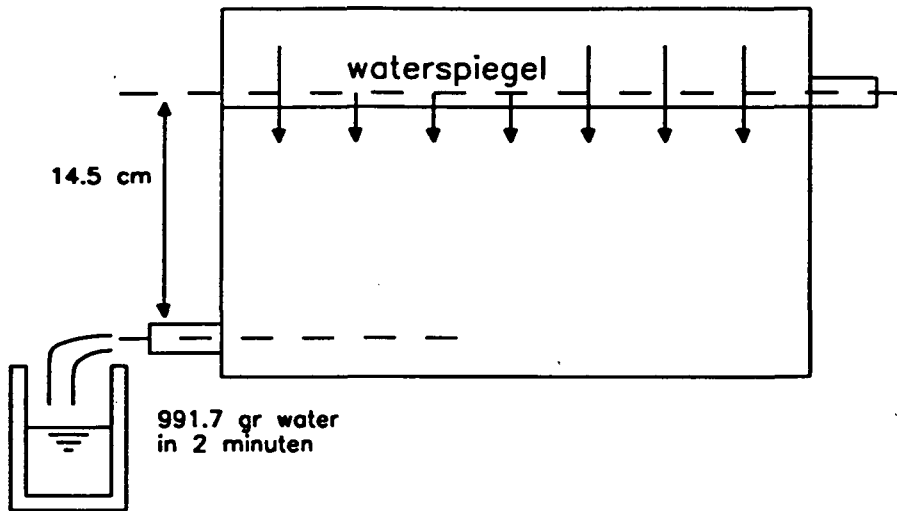
MONSTER COLLOIDAALBETON IN BAK VOOR
 DOORLATENDHEIDSPROEVEN, ZIE OOK FOTO 8

CO- 318500

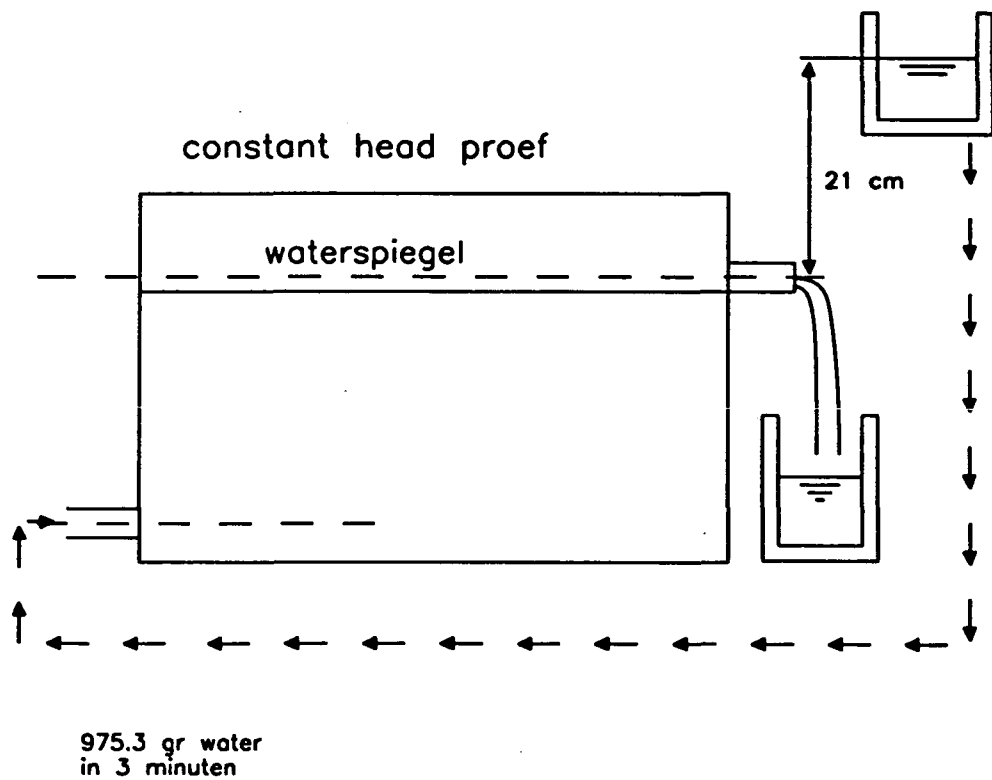
Bijl. 14

A4

falling head proef



constant head proef



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 610821
Telex 38234 soil nl

d.d.
92-01-24

Eric
Loos

RESULTATEN DOORLATENDHEIDSPROEVEN
COLLÖIDAALBETON

CO- 318500

Bijl. 15

A4

Foto's



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 6 1082 1
Telex 38234 soil nl

d.d
91-05-16

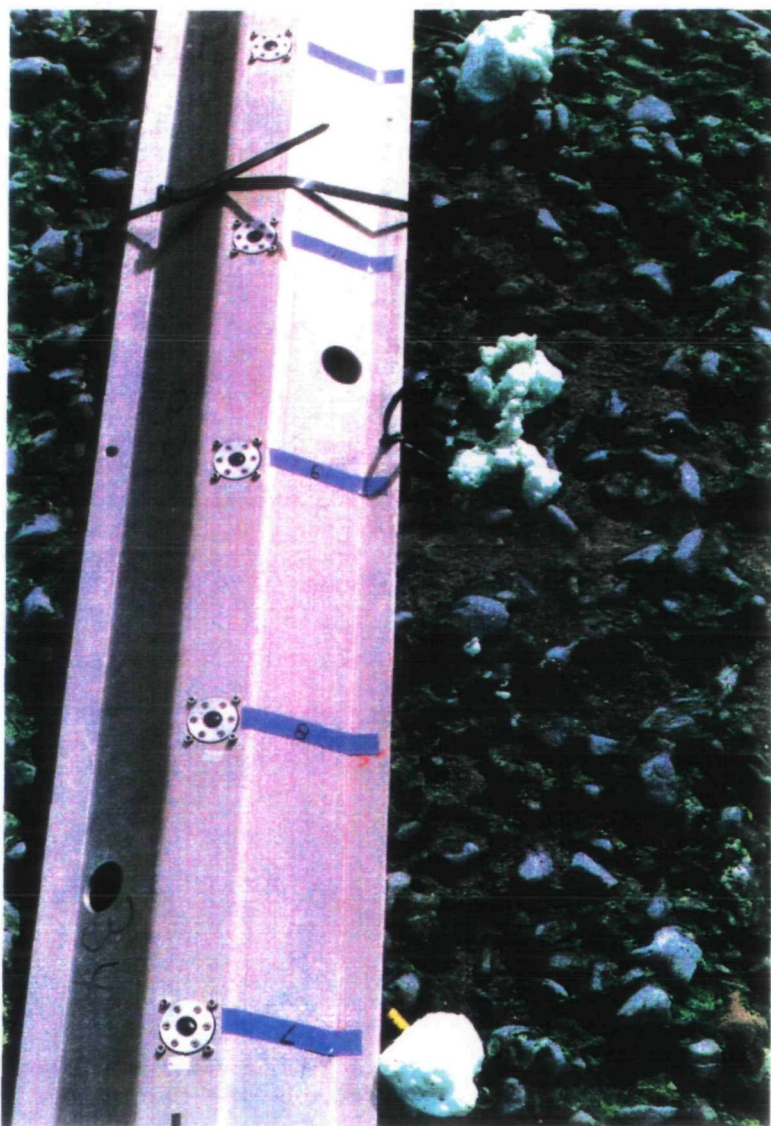
Eric
Loos

AANBRENGEN MEETOPSTELLING

CO- 318500

Foto 1

A4



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 610821
Telex 38234 soil nl

d.d.
91-05-16

Eric
Loos

DETAIL MEETBALK EN WATERSPANNINGSOPNEMERS

CO- 318500

Foto 2

A4



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 610821
Telex 38234 soil nl

d.d.
91-05-16

Eric
Loos

EROSIE BIJ OVERGANG NAAR BASALTON EN
INZANDING

CO- 318500

Foto 3

A4



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 610821
Telex 38234 soil nl

d.d
91-05-16

Eric
Loos

DETAILOPNAMEN PROEFVAK

CO- 318500

Foto 4

A4



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 6 10821
Telex 38234 soil nl

d.d.
91-05-16

Eric
Loos

GOLFBELASTING GEDURENDE DE METING

CO- 318500

Foto 5

A4



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 610821
Telex 38234 soil nl

d.d.
91-05-16

Eric
Loos

COLLOÏDAALBETON UIT TOPLAAG

CO- 318500

Foto 6

A4



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 610821
Telex 38234 soil nl

d.d
91-05-16

Eric
Loos

COLLOÏDAALBETON UIT TOPLAAG

CO- 318500

Foto 7

A4



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 6 10821
Telex 38234 soil nl

d.d
92-01-24

Eric
Loos

MONSTER COLLÖIDAALBETON IN BAK VOOR
DOORLATENDHEIDSMETING

co- 318500

Foto 8

A4

Appendix B2:

Korte weergave bevindingen natuurmeting
Breskens, Basaltonzetting

CO-340660
augustus 1993

bladnummer : - 1 -
ons kenmerk: CO-319330
datum : augustus 1993

KORTE WEERGAVE BEVINDINGEN NATUURMETING TE BRESKENS, BASALTONBEKLEDING

1. Inleiding

Op 18 april is de tweede natuurmeting verricht op de zeedijk van Breskens. De opdracht voor deze werkzaamheden was afkomstig van Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde. De meting werd verricht op het gedeelte grenzend aan het proefvak colloïdaal beton, waar een dag eerder al eenzelfde type meting was uitgevoerd in opdracht van de CUR. Het idee achter het twee maal op korte afstand van elkaar uitvoeren van een natuurmeting was, dat op deze manier een goede vergelijking van het gedrag van colloïdaal beton onder belasting en dat van basalt onder vergelijkbare omstandigheden zou kunnen worden vergeleken. Daarom ook is de meetopstelling in beide proefvakken identiek geweest, zodat hiervoor naar het verslag van de meting op het colloïdaal beton kan worden verwezen. In deze notitie wordt kort ingegaan op de ervaringen opgedaan tijdens de meting op de basalt.

2. Toestand proefvak tijdens meting

Voor de locatie van de meting kan worden verwezen naar bijlage 1 van appendix B.1. De meting op het basalt is verricht juist ten westen van het proefvak colloïdaal beton. De opbouw van het dijklichaam en bekleding is eveneens identiek (zie bijlage 2, appendix B.1) met dien verstande dat de toplaag niet bestaat uit colloïdaal beton maar uit basaltzuilen. De spleten tussen de basaltzuilen waren waarneembaar gevuld met zand. Naar verwachting is de doorlatendheid van de toplaag dan ook laag geweest, waarschijnlijk vergelijkbaar met die van het colloïdaal beton (ongeveer $2 \cdot 10^{-6}$ m/s). Tijdens de meting bleef er water in de spleten staan, steeds nadat het talud door golfploop werd bevochtigd. Dit water zakte voor het oog nauwelijks waarneembaar weg in het talud. Bij eb stond er nog steeds water in de spleten. Het talud zag hier en daar enigszins groen, maar er was geen sprake van een sterke algengroei, zoals dat het geval was bij het colloïdaal beton.

3. Resultaat meting

Voor wat betreft de meetprocedure wordt verwezen naar hoofdstuk 3 van appendix B.1. In deze appendix wordt ook al kort melding gemaakt van het resultaat van de meting op de basaltbekleding. De meting is uitgevoerd bij een windkracht 6 à 7. Er was sprake van een aanzienlijke golfwerking op het talud. Hoewel de waterstand vrij hoog moet zijn geweest tijdens de meting, vanwege het verwachte astronomisch getij vermeerderd met windopzet, gaven de waterspanningsmeters in de filterlaag te zien, dat er in het filter geen druk werd opgebouwd. Met andere woorden, de waterspanning in de filterlaag was nul; er was geen water aanwezig. Dit betekent, dat de stijging van de buitenwaterstand niet is gevolgd door de freatische lijn in de filterlaag. De buitenwaterstand heeft het niveau van NAP + 3 m vermoedelijk wel overschreden. De freatische lijn in de filterlaag heeft het niveau van de onderste waterspanningsmeter op circa NAP + 2 m echter niet bereikt.

4. Discussie

Er is dus kennelijk sprake van een duidelijk amplitudeverschil van de waterbeweging op het talud, en de waterbeweging in het filter onder de toplaag. Hiervoor zijn diverse verklaringen. Enerzijds kan gerust worden verondersteld, dat de toplaag van basalt een geringe doorlatendheid heeft gehad. Dit betekent, dat er per tijdseenheid weinig water door de toplaag heen in de filterlaag kan

bladnummer : - 2 -
ons kenmerk: CO-319330
datum : augustus 1993

stromen. Als de buitenwaterstand in deze situatie snel stijgt, dan zal de hoeveelheid water, die benodigd is voor een even snelle stijging van de freatische lijn in het filter, niet geleverd kunnen worden. In deze redenering wordt overigens verondersteld, dat dit water niet via de teenconstructie of via het basismateriaal van de dijk kan worden toegevoerd. Het filter wordt als een geïsoleerd systeem beschouwd waaraan alleen water kan worden toegevoerd door de toplaag heen.

Een andere verklaring voor het feit, dat de freatische lijn in de filterlaag duidelijk lager is gebleven dan verwacht kan worden gevonden door een geheel andere aanname te doen. Het kan immers ook zo zijn, dat het basismateriaal, in het geval van Breskens vermoedelijk zand, een doorlatendheid heeft die is te vergelijken met die van de filterlaag. In dat geval ontstaat er een uitwisseling van water tussen filterlaag en basismateriaal. Tegelijkertijd ontstaat de situatie, dat de waterstand in het filter niet te veel kan verschillen van de freatische lijn in de rest van het dijklichaam. Er zal, in deze veronderstelling aanzienlijk meer water worden toegevoerd, dan alleen het water dat door de toplaag heen kan stromen. Omdat dit water echter over het gehele dijklichaam wordt verspreid, en niet alleen in de filterlaag terecht komt, blijft de waterstand onder de toplaag op een laag niveau.

Appendix C1:

Natuurmeting Afsluitdijk en
simulatie met STEENZET/1+

CO-319330/6
maart 1993

OPEN TALUDBEKLEDINGEN
NATUURMETING AFSLUITDIJK EN
SIMULATIE MET STEENZET/1+

CO-319330/6
augustus 1993

Opgesteld in opdracht van:
Rijkswaterstaat
Dienst Weg- en Waterbouwkunde

AFDELING GRONDCONSTRUCTIES
Projectleider: ir. T. P. Stoutjesdijk
Projectbegeleider: Ir. A. Bezuijen
Afdelingshoofd: Ir. J. A. van Twillert

INHOUD:	blz.:
1. ALGEMEEN	1
2. VERSLAG VAN DE METINGEN	2
2.1 Inleiding	2
2.2 Voorbereiding en installatie	2
2.3 Verloop van de meting	3
2.4 Conclusie	4
3. UITWERKING VAN DE METINGEN	5
3.1 Inleiding	5
3.2 Geometrie	5
3.3 Plaatsbepaling van de meters	7
3.4 Omrekenen meetwaarden in stijghoogtes	8
3.5 STEENZET-berekeningen korte golven	9
3.6 Nadere analyse	10
4. SAMENVATTING EN CONCLUSIES	14
REFERENTIES	15
BIJLAGEN	

bladnummer : - 1 -
ons kenmerk: CO-341960/6
datum : augustus 1993

1. ALGEMEEN

Op 12 november 1992 heeft de derde in de serie 'natuurmetingen' plaatsgevonden. Locatie was ditmaal de Afsluitdijk. Het doel van de meting was het simultaan meten van golfbelasting op de toplaag en de reactie hierop in de vorm van waterspanningen in de filterlaag. Op deze manier kan de verschildruk over de toplaag direct worden gemeten. Anderzijds zijn de metingen bruikbaar om de ontwikkelde rekenmodellen te toetsen.

Bij het uitwerken van de metingen is er van uit gegaan, dat de ligging van de freatische lijn in het filter niet van invloed is op de meting, met andere woorden, de ligging van de freatische lijn is conform de gebruikte aanname in het STEENZET/1+ programma. In dit programma wordt de ligging van de freatische lijn bepaald door met behulp van de gemiddelde druk op het talud gedurende een golfperiode te berekenen bij welke hoogte van de freatische lijn er geen water meer in of uit de zetting stroomt. Dit heeft tot gevolg dat in de berekening de freatische lijn gewoonlijk iets boven de stilwaterlijn ligt. In de praktijk is gebleken, dat dit nogal eens anders kan zijn. In het kader van onderzoek naar de ligging van de freatische lijn als functie van het getij wordt voor de Afsluitdijk onderzocht of de aanname terecht is. Dit zal in een ander rapport worden beschreven. Overigens is de verwachting, gezien de grote toplaagdoorlatendheid, dat deze aanname niet onredelijk is.

In dit rapport wordt verslag gedaan van de meting, en wordt bekeken of de meetresultaten (alleen korte golven) kunnen worden gesimuleerd met STEENZET/1+. Uit de simulatie volgt de lek lengte van de constructie. Gezien de problemen bij de installatie van de waterspanningsmeters worden de waterspanningsmetingen op hun betrouwbaarheid getoetst.

bladnummer : - 2 -
ons kenmerk: CO-341960/6
datum : augustus 1993

2. VERSLAG VAN DE METINGEN

2.1 Inleiding

Na twee eerdere metingen, in Colijnsplaat en Breskens, is op 12 november 1992 de derde natuurmeting op de locatie Afsluitdijk uitgevoerd. In dit hoofdstuk wordt verslag gedaan van de omstandigheden en bevindingen tijdens de meting. In het volgende hoofdstuk worden de metingen uitgewerkt.

2.2 Voorbereiding en installatie

Bij het uitwerken van de meting die in Colijnsplaat was uitgevoerd bleek, dat de golfwerking op het talud slechts een zeer geringe reactie in de filterlaag teweegbracht. Bovendien bleek de freatische lijn in het filter achter te lopen bij de buitenwaterstand. Beide verschijnselen zijn te wijten aan de geringe doorlatendheid van de toplaag en de filterlaag.

Nadat de meting in Breskens was uitgevoerd, bleek dat de doorlatendheid van de toplaag ter plaatse zelfs zo gering was, dat er onder het talud geen water werd gemeten.

Voor de derde natuurmeting werd daarom gezocht naar een locatie waar de toplaag een grotere doorlatendheid vertoonde. De Afsluitdijk voldoet hieraan; de doorlatendheidsmetingen [lit. 1] laten een toplaagdoorlatendheid van circa $5 \cdot 10^{-3}$ m/s zien. De plaats van de locatie is aangegeven in bijlage 1. Nadeel van de locatie was, dat het astronomisch getij betrekkelijk gering is (van NAP - 1 m tot NAP + 1 m). De teen van het talud ligt ongeveer op NAP. De meetbalk is zes meter lang, het talud 1 : 3, zodat de bovenkant van de meetbalk op NAP + 2 m komt te liggen. De bedoeling is, dat tijdens de meting de meetbalk geheel onder water verdwijnt. Er is dus een windopzet van ongeveer een meter nodig. Dit betekent echter ook, dat bij laagwater het talud nauwelijks droogvalt.

Dit bemoeilijkt de installatie van de meetopstelling. Daarom is besloten de gaten in de toplaag grotendeels vooraf te boren. Tijdens de installatie, een dag voor de meting, bleek het talud nauwelijks voldoende droog te vallen om de gaten te kunnen voltooiën en de waterspanningsmeters in de filterlaag te kunnen aanbrengen. Een probleem hierbij was, dat er voortdurend water het talud opliep. Het PUR-schuim, dat ter afdichting in de gaten wordt gespoten, kreeg hierdoor slechts beperkt de kans om uit te harden.

Bij het volgende laag water, 's nachts om vier uur, werd de meetbalk geïnstalleerd. De windsnelheid en de windopzet waren op dat moment groot. Het onderste deel

bladnummer : - 3 -
ons kenmerk: CO-341960/6
datum : augustus 1993

van de meetbalk kon ondanks waterstand en golfoploop vrij redelijk worden vastgezet. Op het moment dat het bovenste deel werd gemonteerd was het onderste deel al onder water verdwenen. Het bovenste deel bleek later zo'n 15 cm onder het andere deel te zijn aangebracht. Met behulp van bouten in het talud en draden werd het bovenste deel zo snel mogelijk gemonteerd. Om 6 uur 56 werd de eerste meting gedaan. De meetbalk was op dat moment bij golfoploop al geheel onder water. In bijlage 2 is met behulp van een tweetal foto's een indruk gegeven van de meetinstallatie.

2.3 Verloop van de meting

De meting vond plaats tijdens storm, wind W tot NW 8 Beaufort. In totaal zijn gedurende 7 uur metingen verricht. Dit is vanaf het moment dat de installatie voltooid was, tot het volgende laagwater. Al vrijwel vanaf het begin van de metingen verdween de meetbalk bij iedere golf volledig onder water. Eén waterspanningsmeter gaf hierbij slechte resultaten te zien. Bij de hoogste waterstand kwam slechts een klein gedeelte van de meetbalk boven water bij golfterugloop. Aan het einde van de meting was de bovenkant van de stortsteenlaag voor het talud net zichtbaar. Er was tijdens de metingen duidelijk sprake van schuine golfaanval (zie ook bijlage 3). Bij visuele beoordeling kwamen de golven onder een hoek van circa 30 ° met de dijk aan. Afwisselend kwamen golven voor die met een witte schuimkraag tegen het talud aanliepen zonder te breken, en golven die braken en daarbij flinke golfklappen te zien gaven. Een indruk hiervan wordt verkregen uit de foto's in bijlage 3. Het water verdween bij golfterugloop redelijk snel (enkele seconden) in het talud. De spleten zijn voor zover te zien nauwelijks ingezand. De voegvulling in de spleten is verdwenen tot ongeveer 15 cm onder de bovenkant van de steen.

Tijdens de meting, bij afgaand water, bleek het bovenste deel van de meetbalk een stuk omhoog gedrukt te zijn. Aan de bovenkant lag de meetbalk na afloop van de meting zo'n 10 cm hoger, in het midden zo'n 5 cm, terwijl de onderkant van de meetbalk redelijk was blijven liggen. De kabels die eigenlijk onder de meetbalk horen te liggen waren hier onder vandaan gedrukt door het scheef inkomende water. Eén kabel, van de onderste waterspanningsmeter, is tijdens de meting afgebroken. De overige kabels bleven intact.

Voor het opbreken van de meetopstelling is getracht na te gaan hoe goed de afdichting van de gaten in het talud met PUR-schuim was door er water bovenop te gieten. Er kon worden gezien of dit water bleef staan, terwijl tegelijkertijd gemeten werd of de waterspanningsmeters een reactie vertoonden. In de bovenste twee gaten liep het water weg, in het een na bovenste vrij snel, maar langzamer dan het water in de

bladnummer : - 4 -
ons kenmerk: CO-341960/6
datum : augustus 1993

spleten tussen de blokken wegzakte. In het onderste gat bleef het water staan. De waterspanningsmeters vertoonden geen reactie. Dit kan echter ook veroorzaakt worden doordat de hoeveelheid water te klein is geweest om druk in het filter op te bouwen. In hoeverre de afdichting van invloed is geweest op de resultaten wordt in het volgende hoofdstuk geanalyseerd.

De grootst gemeten golfhoogtes op het talud liggen in de orde van 60 à 70 cm. Bij de gemeten reactie in het filter trad duidelijk verschil op in de reactie van de onderste waterspanningsmeter en de twee waterspanningsmeters hoger op het talud. Dit verschil in reactie kan twee redenen hebben. Ten eerste zit de onderste waterspanningsmeter in het dagelijks getijgebied, en dus kunnen de doorlatendheden minder zijn. De andere twee meters zitten boven het getijgebied. De doorlatendheidsmetingen, uitgevoerd door FUGRO, gaven hier een zeer grote doorlatendheid te zien. De metingen kunnen dus gewoon goed zijn. Het kan echter ook, dat de afdichting van de bovenste twee waterspanningsmeters onvoldoende is geweest, en dat er als het ware een open verbinding is ontstaan. Omdat de doorlatendheid van de gaten met PUR-schuim kleiner is dan de doorlatendheid van de spleten zou de invloed echter niet heel groot mogen zijn.

2.4 Conclusie

De derde natuurmeting is verricht onder vrij moeilijke omstandigheden. De indruk bestaat, dat de drukopnemers alle goed hebben gefunctioneerd, hoewel de exacte hoogteligging van de meetbalk gedurende de meting voor enige problemen kan zorgen bij de analyse.

De waterspanningsmeters hebben minder goed gewerkt. Eén kabel is afgebroken gedurende de meting, een andere meter geeft twijfelachtige resultaten, terwijl twee van de vier gaten in het talud enige lek vertonen. Analyse van de resultaten moet aangeven welk deel van deze metingen betrouwbaar is.

bladnummer : - 5 -
ons kenmerk: CO-341960/6
datum : augustus 1993

3. UITWERKING VAN DE METINGEN

3.1 Inleiding

Door FUGRO [lit. 1] zijn doorlatendheidsmetingen uitgevoerd op de Afsluitdijk. De toplaag van basaltblokken bleek hierbij een vrij grote doorlatendheid te bezitten. Om de metingen goed te kunnen analyseren moet eigenlijk eerst het verloop van het getij en het verloop van de freatische lijn in het filter vastgesteld worden. Dit is een indicatie van de grootte van de lektijd. Indien de freatische lijn anders is dan wordt aangenomen in STEENZET/1+, dan heeft dit invloed op de berekende reactie in de filterlaag op de korte golven. Gezien de geconstateerde grote doorlatendheid van de toplaag is overigens de verwachting, dat de freatische lijn de buitenwaterstand goed zal kunnen volgen. In dit rapport wordt daarom uitgegaan van de veronderstelling, dat er geen aanleiding is om af te wijken van de STEENZET/1+ benadering. In een later stadium zal deze veronderstelling worden getoetst.

In dit hoofdstuk wordt aandacht besteed aan achtereenvolgens:

- de geometrische eigenschappen
- de plaatsbepaling van de meters
- het omrekenen van meetwaarden in stijghoogtes t.o.v NAP
- vervolgens kan de gemeten reactie in de filterlaag gesimuleerd worden met STEENZET/1+. Hieruit volgt een indicatie voor de leklengte.
- analyse van de geldigheid van de resultaten.

3.2 Geometrie

Voor een indruk van de geometrie wordt verwezen naar bijlage 4. Uit het rapport over trekproeven en doorlatendheidsmetingen [lit. 1] en een RWS-notitie over de proefvakken basalt [lit.2] kunnen de voornaamste geometrische eigenschappen worden gehaald. Deze zijn samengevat in tabel 3.1. Er is enige verwarring omtrent de opbouw van de filterconstructie. In het FUGRO-rapport wordt aangegeven dat de filterlaag over de gehele hoogte bestaat uit een uitvullaag van steenslag 20/50 met daaronder twee vlijlagen. In de RWS-notitie wordt gesproken over een puinlaag onder de basalt, terwijl onder de basalt op de bestaande puinlaag een laag steenslag 20/50 is verwerkt. Vooralsnog wordt van deze opbouw uitgegaan. De doorlatendheid van de toplaag is gemeten. De resultaten zijn weergegeven in tabel 3.2.

bladnummer : - 6 -
 ons kenmerk: CO-341960/6
 datum : augustus 1993

Grootheid	Waarde	Bron
Helling	1 : 3 (gemiddeld 1 : 3,8)	lit. 1
Teen talud	NAP + 0,06 m	lit. 1
Top talud	NAP + 7,75 m	lit. 1
Lengte/breedte blok	0,25 m	lit. 1
Dikte blok	0,40 m (basalton) 0,30/0,40 m (basalt)	lit. 1
Spleetbreedte	0,006 m	lit. 1
Voegvulling	staalslakken 10/40	lit. 2
Soortelijke massa blokken	2900 kg/m ³	lit. 1
Uitvullaag (alleen onder basalton)	steenslag 20/50	lit. 2
Dikte uitvullaag	0,10 m	lit. 2
Filterlaag	puin	lit. 2
Dikte filterlaag	0,20 m (basalton) 0,30 m (basalt)	lit. 2

Tabel 3.1. Geometrische eigenschappen

Hoogte [m + NAP]	bekleding	k laminair [m/s]	k turbulent [m/s]
4,00	basalton	0,0038	0,0053
2,60	basalton	0,0033	0,0046
2,40	basalton	0,0044	0,0061
1,25	basalt	0,0040	0,0054

Tabel 3.2. Gemeten doorlatendheid toplaag

bladnummer : - 7 -
ons kenmerk: CO-341960/6
datum : augustus 1993

De doorlatendheid van de spleten zal grofweg een factor 20 groter zijn. Gegeven deze grote doorlatendheid zal de stroming door de toplaag voornamelijk turbulent van karakter zijn. Er zijn geen grote verschillen over de hoogte. De doorlatendheid van de toplaag wordt derhalve geschat op $5,4 \cdot 10^{-3}$ m/s bij een verhang van 1,88. Gebruikelijk is om de toplaagdoorlatendheid weer te geven bij een verhang van 1. Als de stroming volledig laminair wordt aangenomen wordt de gelineariseerde toplaagdoorlatendheid $7,4 \cdot 10^{-3}$ m/s. Bij de proeven op basalt bleek het infiltratiewater op een niveau van circa NAP + 0,90 m uit het talud te treden. Dit zou kunnen duiden op een overgang in doorlatendheden. Het niveau komt ongeveer overeen met de overgang van basalt naar basaltzuilen. Deze overgang ligt iets boven gemiddeld hoogwater. Van het getijgebied zijn geen doorlatendheidsmetingen.

3.3 Plaatsbepaling van de meters

Bij het bepalen van de positie van de meters is uitgegaan van de veronderstelling dat de onderkant van de balk op NAP + 0,06 m ligt. De balk is 10 cm hoog. De bovenkant van de balk is door de golfdrukken 10 cm omhooggedrukt, terwijl de onderkant van de balk op zijn plaats is gebleven. Het bovenste deel van de balk is 15 cm omlaag geschoven. Met deze gegevens is de plaatsbepaling van de drukopnemers op de meetbalk uitgevoerd.

De positie van de gaten in het talud ten opzichte van de meetbalk is gemeten. De dikte van de basaltblokken is 40 cm. Aangenomen is dat de basaltblokken verlopen van 30 cm dikte bij de teen tot 40 cm bij de overgang naar basalt. Voorts wordt verondersteld, dat de gaten precies loodrecht op het talud zijn geboord, en dat de hoogteligging van de meters precies overeenkomt met de onderkant van een blok. Op deze wijze wordt de positie van de meters als weergegeven in tabel 3.3.

bladnummer : - 8 -
ons kenmerk: CO-341960/6
datum : augustus 1993

Opnemer	Type	Horizontale afstand [m t.o.v. teen]	Verticale afstand [m+-NAP]
1	DRO	0,11	0,20
2	DRO	1,05	0,54
3	DRO	2,00	0,87
4	DRO	2,23	0,95
5	DRO	2,47	1,04
6	DRO	2,70	1,12
7	DRO	2,94	1,20
8	DRO	3,18	1,28
9	DRO	3,41	1,37
10	DRO	3,65	1,45
11	DRO	3,88	1,53
12	DRO	4,12	1,62
13	WSM	4,06	0,99
14	WSM	3,62	0,84
15	WSM	3,16	0,69
16	WSM	1,20	0,10

Tabel 3.3. Positie van de meters

In bijlage 5 is dit weergegeven in tekening. Vastgesteld werd, dat waterspanningsmeter 13 onbetrouwbare resultaten heeft gegeven. Van waterspanningsmeter 16 is halfweg de metingen de draad afgebroken.

bladnummer : - 9 -
ons kenmerk: CO-341960/6
datum : augustus 1993

3.4 Omrekenen meetwaarden in stijghoogtes

De meetwaarden stellen een druk in meters waterkolom voor. Dit moet voor de interpretatie worden gecorrigeerd, totdat de stijghoogte in meters ten opzichte van NAP verkregen wordt. Hiervoor is de volgende formules gebruikt:

$$\phi = DRO(\text{cq. WSM}) + NC + PL$$

waarin: ϕ = stijghoogte in m + NAP
DRO = meetwaarde van drukopnemer in meter waterkolom
WSM = meetwaarde van waterspanningsmeter in meter waterkolom
NC = nulpuntscorrectie in meter waterkolom
PL = plaatshoogte van de meter

De nulpuntscorrectie is de waarde die de meter aangeeft als er geen water boven de meter aanwezig is. Omdat alle meters, behalve drukopnemer 1 en waterspanningsmeter 16, tijdens de meetperiode droogvielen kan de nulpuntscorrectie worden afgelezen uit de registratie als de meter droog staat.

Omdat de bovenste drukopnemers gedurende een gedeelte van de tijd droogvallen, maar de meter zich op enige hoogte boven het talud bevindt, wordt een gemiddelde druk gevonden die ongeveer gelijk is aan de plaatshoogte van de meter. Dit is een fout waarvoor in de meetregistraties een aanvullende correctie is gepleegd. Als de meter droogvalt, wordt de bovenzijde van het talud aangehouden, in plaats van de plaatshoogte van de meter.

3.5 STEENZET-berekeningen met korte golven

Het is gebruikelijk in STEENZET of in ANAMOS-sommen gebruik te maken van een constructie met een gelijke leklengte en gelijke doorlatendheden over de gehele hoogte. Dit blijkt in dit geval om twee redenen niet te voldoen:

- er is een overgang van zowel topklaag- als filteropbouw in het gebied waar de golven zich bevinden. Het is dan ook onmogelijk een leklengte te vinden die alle drie registraties van waterspanningen in het filter juist weergeeft. Goede resultaten worden gevonden voor de laagst geplaatste waterspanningsmeter (basalt, getijgebied) bij een constructie met een leklengte van 4 à 7 m over de gehele hoogte, en voor de daarboven geplaatste meters (basalton) bij een leklengte van 0,4 à 0,6 m over de gehele hoogte. Deze resultaten kunnen ook

bladnummer : - 10 -
ons kenmerk: CO-341960/6
datum : augustus 1993

worden afgelezen in bijlage 8. Let wel: de rekenresultaten zijn afkomstig van twee afzonderlijke berekeningen: één met een lek lengte van 0,5 m om het basaltongedeelte te beschrijven, en één met een lek lengte van 7 meter om de waterspanningsmeter onder het basalt te simuleren.

- de gemeten reactie treedt in één enkele zetting op en zou dus ook in één som nagerekend moeten worden. Als dit niet wordt gedaan, dan wordt een eventuele wederzijdse beïnvloeding van het meer doorlatende en het minder doorlatende gedeelte van de zetting niet meegerekend. De bepaalde lek lengtes kunnen dan onjuist zijn.

In de volgende paragraaf wordt deze problematiek nader belicht.

3.6 Nadere analyse

Omdat er in dit geval kennelijk sprake is van een vrij groot verschil in lek lengte over een korte afstand, en de golfbeweging juist in de buurt van deze overgang plaatsvindt, is er ook sprake van wederzijdse beïnvloeding. Dit wordt bevestigd door het feit dat bij verschillende waterstanden ook enige verschuiving in berekende lek lengte plaatsvindt.

De gemeten drukken kunnen vrij goed gesimuleerd worden in een systeem waarbij de gehele constructie één lek lengte heeft. Het basaltongedeelte heeft dan echter een kleine en de basaltbekleding een grote lek lengte. Echter, de gemeten drukken in de filterlaag treden in één constructie op, waarbij de lek lengte over de hoogte varieert. De invloed van deze variatie moet in de berekening worden meegenomen. Als alle drie gemeten waterspanningsmeters in één berekening correct benaderd kunnen worden, dan is de berekening succesvol. Zo niet, dan moet geconstateerd worden, dat of model of meting niet klopt.

Met behulp van een kleine ingreep is STEENZET/1+ geschikt gemaakt om met een variabele toplaagdoorlatendheid te rekenen. De filterdoorlatendheid kon niet worden gevarieerd. Dit vereiste een te grote programmatische aanpassing. De overgang in doorlatendheid van de toplaag is op de grens tussen basalt en basaltbekleding gelegd. Vervolgens zijn berekeningen gemaakt, waarin de lek lengte van het onderste deel van de zetting (basalt) is gevarieerd. Voor het bovenste deel van de zetting is in alle berekeningen een lek lengte van 0,5 m aangehouden. De uitkomsten van de berekening zijn met de metingen vergeleken.

bladnummer : - 11 -
ons kenmerk: CO-341960/6
datum : augustus 1993

De resultaten van een aantal berekeningen met verschillende lek lengtes is te zien in bijlage 6.

Hierbij is voor een presentatie gekozen die op het eerste gezicht misschien niet direct duidelijk is, maar bij nadere bestudering veel informatie bevat.

Uitgezet op de x-as is de hoogte ten opzichte van NAP van de onderkant van het blok. Op de y-as staat de standaardafwijking van de berekende stijghoogtes op die hoogte. Dit is een maat voor de amplitude van de waterbeweging in het filter. Ter vergelijking is in de figuur tevens de standaardafwijking gegeven van de waterbeweging op het talud en van de meetregistraties.

Deze presentatie wijkt af van de traditionele benadering. Gewoonlijk wordt uitgegaan van een benadering waarbij wordt uitgegaan van de verdeling van de stijghoogte in de filterlaag over de hoogte van de zetting. Deze stijghoogte is op ieder moment afhankelijk van de stijghoogteverdeling van de golf op het talud. Door de lek lengte te variëren wordt een andere stijghoogteverdeling berekend. Als de gemeten en berekende stijghoogteverdeling overlappen, wordt de juiste lek lengte gehanteerd. Door de stijghoogteverdeling te representeren in de vorm van standaardafwijkingen van de stijghoogte gedurende een golfperiode wordt deze redenering in feite geëxtrapoleerd. Verondersteld wordt, dat als de stijghoogteverdeling bij een bepaalde lek lengte juist wordt berekend, dit voor ieder moment gedurende de golf zo moet zijn. Als de stijghoogteverdeling op ieder moment van de golf klopt, moeten ook de standaardafwijkingen van de signalen in de tijd gelijk zijn. Het voordeel van deze wijze van presenteren is, dat in 1 figuur de resultaten van een gehele golfperiode worden weergegeven.

Er kunnen in de figuur in bijlage 6 een aantal situaties worden onderscheiden:

1. de uitgangssituatie: de lek lengte is circa 6 m in het getijgebied en circa 0,5 m erboven. Duidelijk is, dat de reactie in het getijgebied onvoldoende gedempt is.
2. daarom is een geval met een zeer grote lek lengte (circa 50 m) in het getijgebied doorgerekend. Nu ontstaat de situatie, dat het onderste deel van de zetting als een soort 'zuiger' reageert: omdat er geen water in of uit de zetting kan stromen wordt de reactie in het filter net boven de overgang onverminderd voortgezet.
3. als de zetting in het getijgebied een korte lek lengte heeft, bijvoorbeeld even groot als boven het getijgebied (lek lengte 0,5 m), dan wordt de grootste reactie gevonden.
4. uitgaande van deze korte lek lengte (zie bijlage 6) wordt de amplitude van de reactie in de filterlaag in de getijzone kleiner bij een afnemende lek lengte. Bij

bladnummer : - 12 -
ons kenmerk: CO-341960/6
datum : augustus 1993

een lek lengte van circa 2,5 m is het minimum echter bereikt. Vervolgens blijkt de reactie bij verder afnemende lek lengte weer toe te nemen: het 'zuiger'-mechanisme gaat meespelen.

De belangrijkste conclusie die kan worden getrokken uit de figuur in bijlage 6 is, dat als de zetting wordt opgedeeld in twee stukken met verschillende lek lengte er geen combinatie te vinden is die zowel de reactie van de zetting in de getijzone als de reactie in de zone daarboven tegelijkertijd juist voorspelt. Als de overgang in doorlatendheid meer geleidelijk verloopt (de zetting wordt opgedeeld in meer dan twee stukken) dan heeft dit invloed, maar er wordt nog steeds geen oplossing gevonden. Hiervoor zijn de volgende verklaringen denkbaar:

- a. de gaten voor de bovenste twee waterspanningsmeters zijn niet voldoende afgedicht geweest. Dit heeft de meting beïnvloed. Als de invloed niet te groot is, dan is er sprake van een plaatselijk grotere toplaagdoorlatendheid. De berekende lek lengte is dan te klein. Er kan ook sprake zijn van een doorgaande verbinding. De waterspanningsmeter reageert dan vooral op de druk op de toplaag. De meting is dan onbruikbaar.
- b. er is een overgang in doorlatendheid in de filterlaag. Er is dan effectief sprake van twee duidelijk onderscheiden delen van de zetting. Het is onvoldoende om alleen de doorlatendheid van de toplaag te variëren.

Hypothese b. lijkt in eerste instantie een 'gezochte' oplossing. Toch zijn er voldoende aanwijzingen om dit aannemelijk te maken. De belangrijkste hiervan is de beschrijving van de opbouw van de Afsluitdijk, afkomstig van de Dienstkring Afsluitdijk van RWS. Hieruit blijkt, dat de zetting oorspronkelijk tot NAP + 2 m heeft bestaan uit zuilenbasalt op een puinlaag. Deze zuilenbasalt is in 1978 opgenomen en vervangen door metaalslakkenbeton (basalton met metaalslakken als toeslag). In de beschrijving is terug te vinden, dat "op de bestaande puinlaag een laag steenslag 20/40 mm werd verwerkt". Deze laag steenslag is derhalve onder de basalt niet aanwezig. Dit verklaart waarom er in de filterlaag een overgang in doorlatendheid wordt gevonden. Een verdere indicatie hiervoor is, dat bij de doorlatendheidsproeven werd geconstateerd, dat het water ter plaatse van de overgang basalton-basalt uit de zetting trad. Er is voldoende reden om de resultaten van de bovenste twee waterspanningsmeters niet op voorhand af te keuren. Omtrent de vraag in hoeverre lek door de gaten de meting heeft beïnvloed kan het volgende worden opgemerkt:

- de gaten in de toplaag voor de waterspanningsmeters bleken duidelijk minder doorlatend dan de gaten tussen de blokken

bladnummer : - 13 -
ons kenmerk: CO-341960/6
datum : augustus 1993

- de drukvariaties van de bovenste twee waterspanningsmeters verschillen niet in fase van de berekende variaties bij de bepaalde leklengte (zie bijlage 7). Op zichzelf komt de gemeten reactie dus overeen met hetgeen verwacht wordt bij een zetting met deze leklengte. Bovendien reageren de waterspanningsmeters niet instantaan op de drukken van de bijbehorende drukopnemers op het talud (zie bijlage 8). Er lijkt derhalve geen doorgaande verbinding tussen de buitenzijde van de zetting en de waterspanningsmeters te hebben bestaan.

Het lijkt plausibel, dat de meting van de waterspanningsmeters, ook in de basaltontzetting, redelijke resultaten heeft gegeven. Het is mogelijk dat de gevonden leklengte boven de overgang van basalt naar basalton iets te klein is.

bladnummer : - 14 -
ons kenmerk: CO-341960/6
datum : augustus 1993

4. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Met de gegevens van drukmetingen op de toplaag en waterspanningsmetingen in de filterlaag is getracht na te gaan wat de lek lengte is van de steenzetting op de Afsluitdijk. Hiertoe zijn met STEENZET/1+ berekeningen gemaakt. Op grond van deze berekeningen kan worden geconcludeerd, dat de lek lengte van het onderste deel van de zetting, dat bestaat uit basalt op een puinlaag, een lek lengte heeft in de grootte-orde van 4 à 7 meter.

Analyse van de metingen op het daarboven gelegen gedeelte, met een basalt onzetting op steenslag op puin, maakt aannemelijk dat er een overgang in doorlatendheden en in grootte van de lek lengte is. De lek lengte van de basalt onzetting ligt dan in de orde grootte 0,4 à 0,6 meter. De mogelijkheid om de resultaten te verifiëren in een STEENZET/1+ berekening, waarin zowel de toplaag doorlatendheid als de filter doorlatendheid bij de overgang basalt naar basalt on wordt gevariëerd, vereist een dusdanig grote wijziging in het programma dat hiervan voorlasnog is afgezien. Soortgelijke berekeningen, waarbij alleen de toplaag doorlatendheid wordt gevariëerd over de hoogte bleken niet succesvol. Overigens bleek, als de stilwaterlijn zich in de buurt van de overgang bevindt, de invloed van een overgang in toplaag doorlatendheid op de resultaten zeer groot.

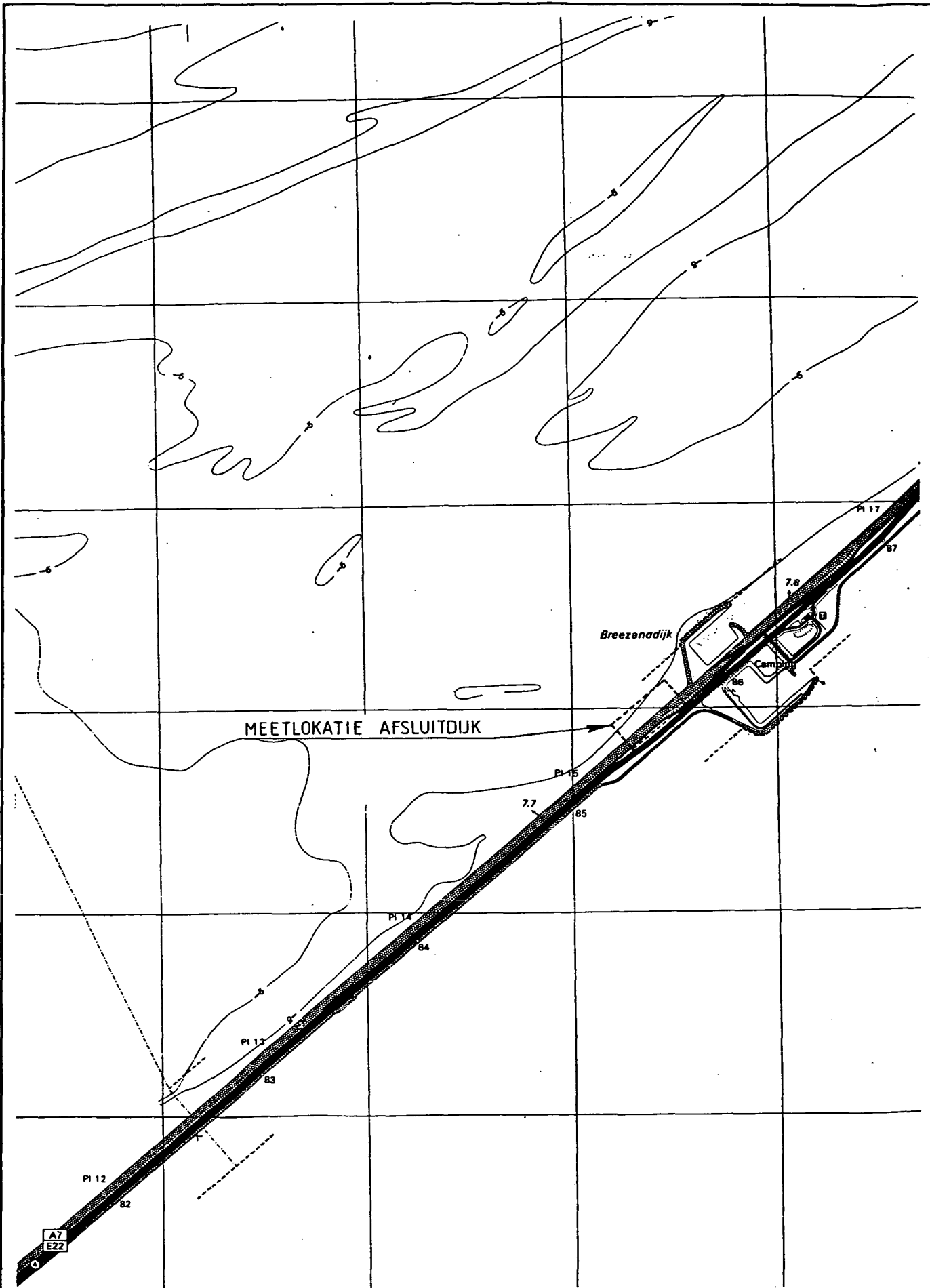
Bij beide gaten, die in de basalt onzetting waren aangebracht en waaronder zich waterspanningsmeters bevonden, werd enige lek geconstateerd. Dit kan de meetresultaten hebben beïnvloed. Op basis van een vergelijking tussen de registratie van de waterspanningsmeters en de erboven gelegen drukopnemers op het talud, wordt verwacht dat deze beïnvloeding de meting niet onbruikbaar heeft gemaakt. In de studie naar de ligging van de freatische lijn onder invloed van de geregistreerde golfdrukken zal in het geval van de meting op de Afsluitdijk aan dit vraagstuk de nodige aandacht moeten worden besteed.

bladnummer : - 15 -
ons kenmerk: CO-341960/6
datum : augustus 1993

REFERENTIES

1. Natuurmetingen op de afsluitdijk ten behoeve van steenzetonderzoek. Basalt-onzuilen. FUGRO-rapport M-0067, oct. 1991
2. Proefvakken basalton, RWS-notitie, Gegevens afkomstig van Dienstkring Afsluitdijk

BIJLAGEN



**GRONDMECHANICA
DELFT**

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 6935 00

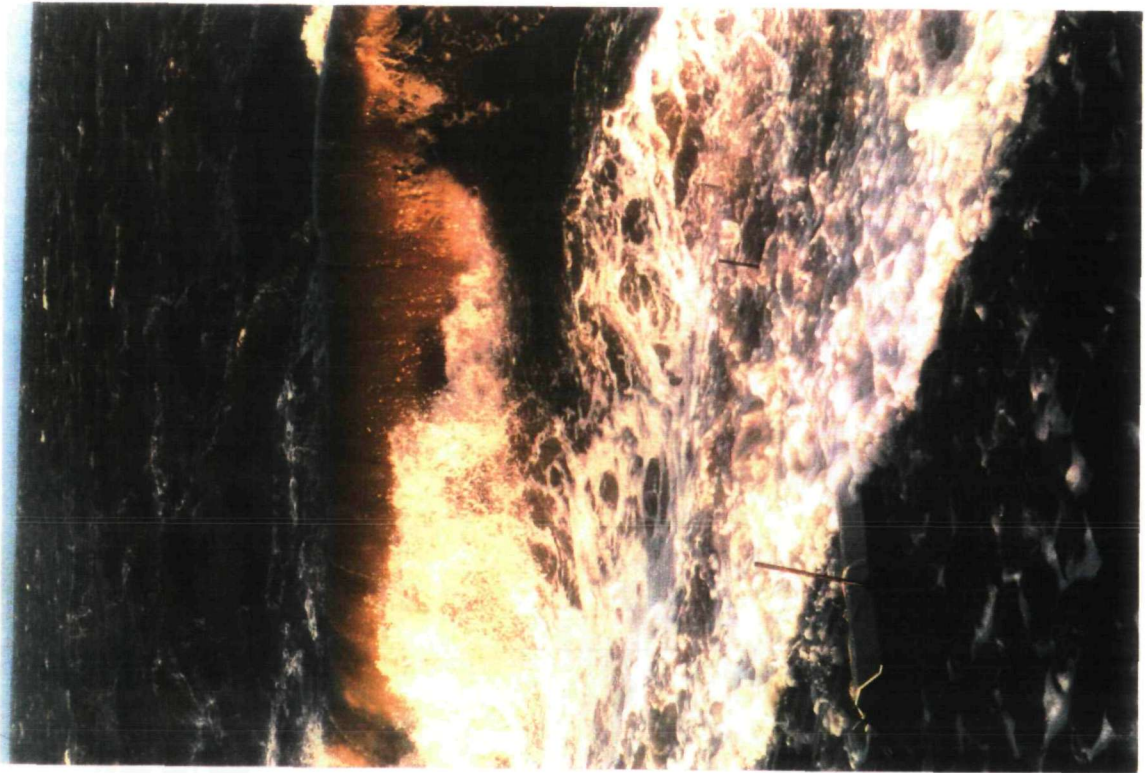
Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

d.d. **JAN '93** get. **WEG**

MEETLOCATIE AFSLUITDIJK
(BRON: FUGRO M - 0067 - 1)

CO - 319330 gez.

BIJL. 1 form. **A4**



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

FOTO'S VAN MEETBALK

d.d.
MAART '93

get.
WEG

CO - 319330

gez.

BIJL. 2

form.

A4



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

d.d.
MAART '93

get.
WEG

SCHEVE GOLFAANVAL / BEREKENDE GOLF

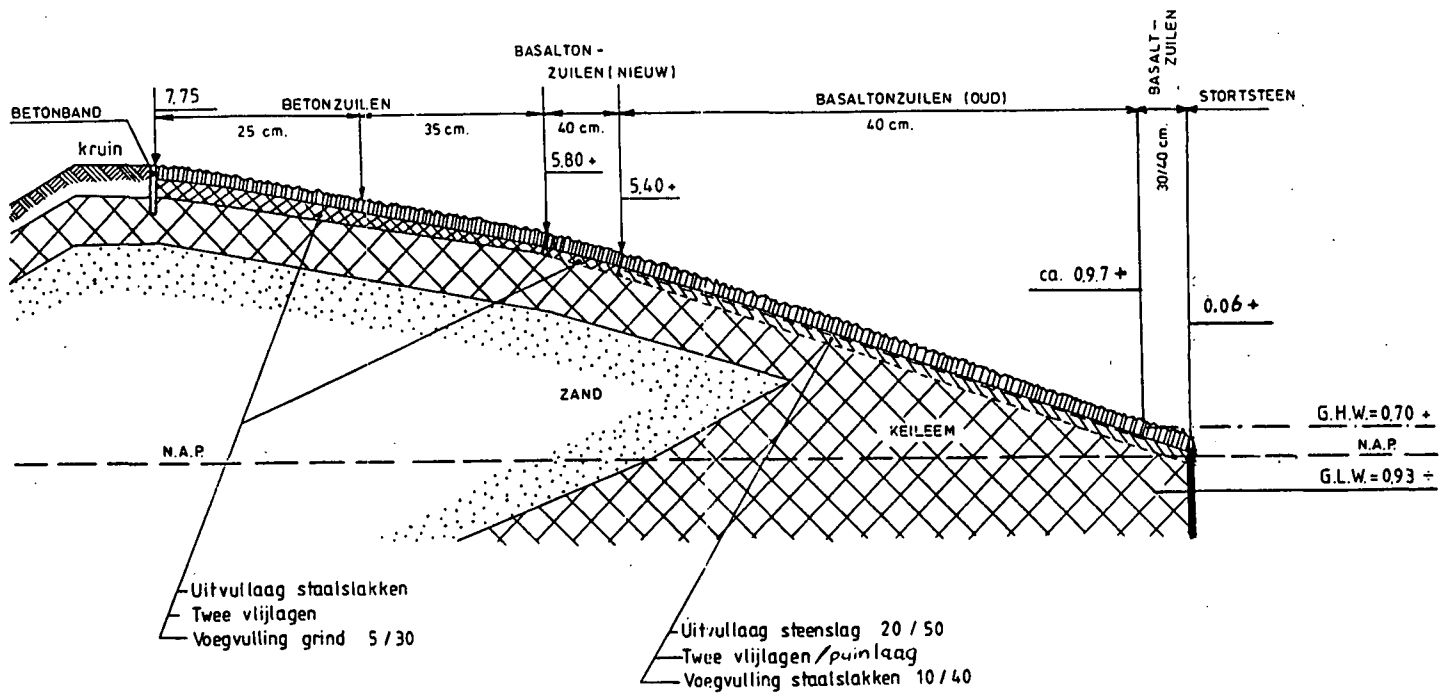
CO - 319330

gez.

BIJL. 3

form.

A4



GRONDMEECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

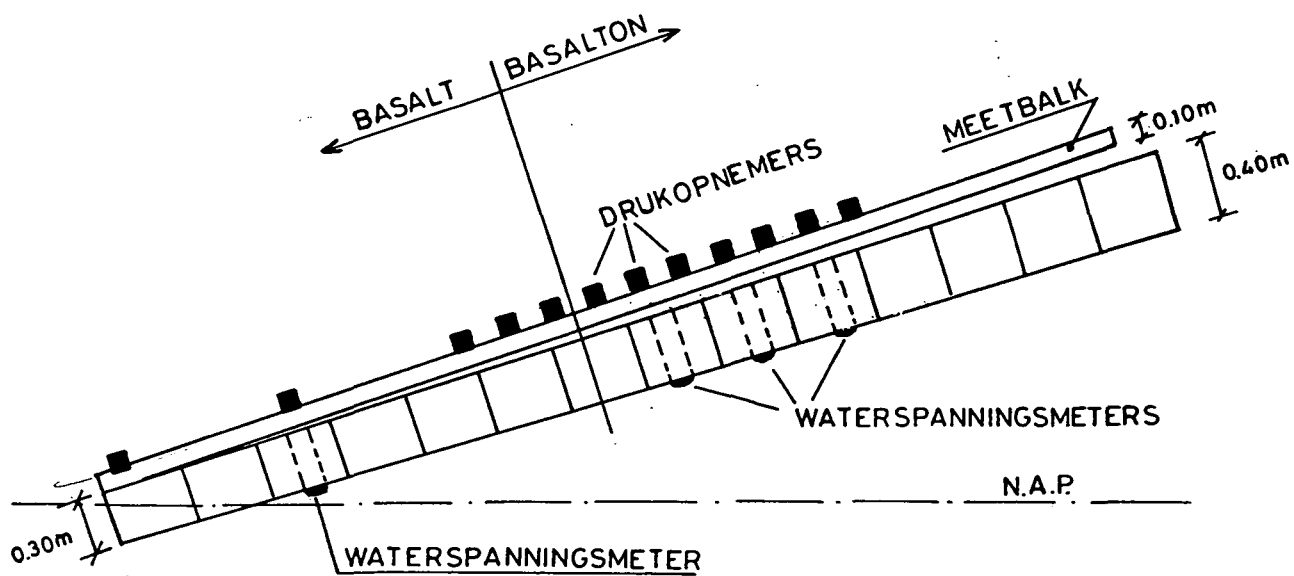
Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

DWARSDOORSNEDE AFSLUITDIJK
(BRON: FUGROM - 0067 - 3/5)

BIJL. 4

d.d.
JAN. '93
CO - 319330

get.
WEG
A4



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

d.d.
JAN.'93

get.
WEG

POSITIE METERS, AFSLUITDIJK

CO - 319330

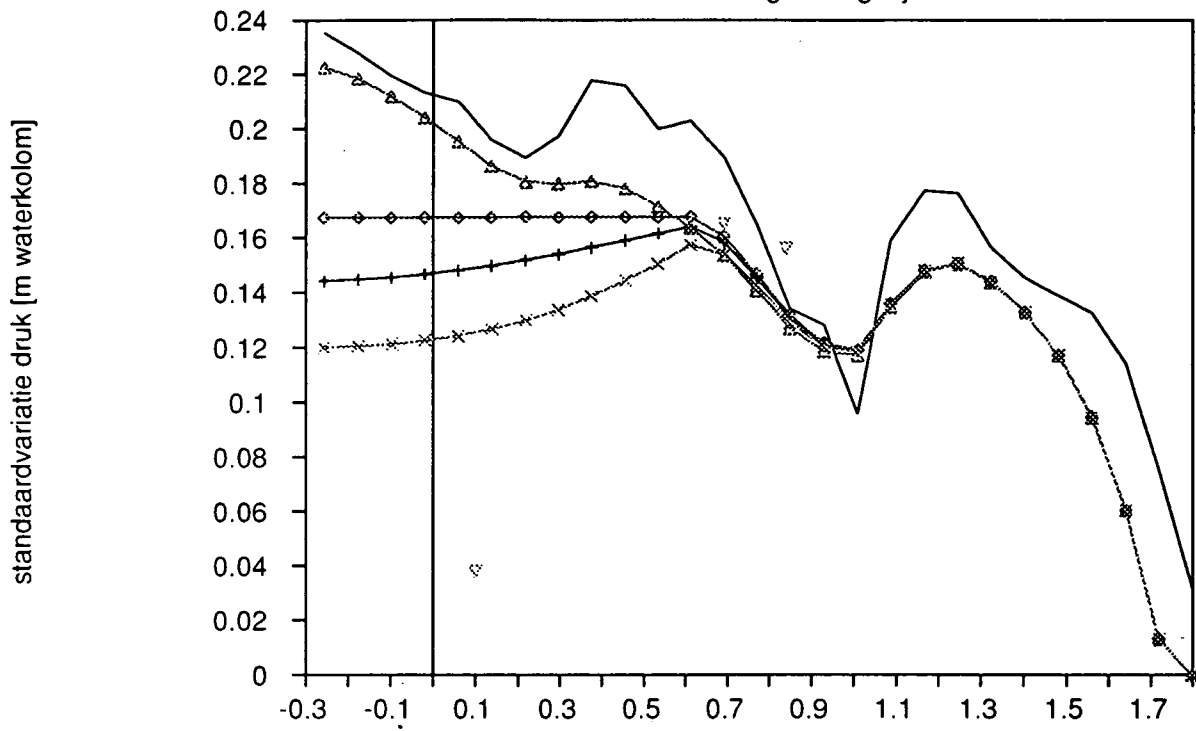
gez.

BIJL. 5

form.


A4

Standaardvariatie van berekende drukken verschillende lek lengtes in getijzone



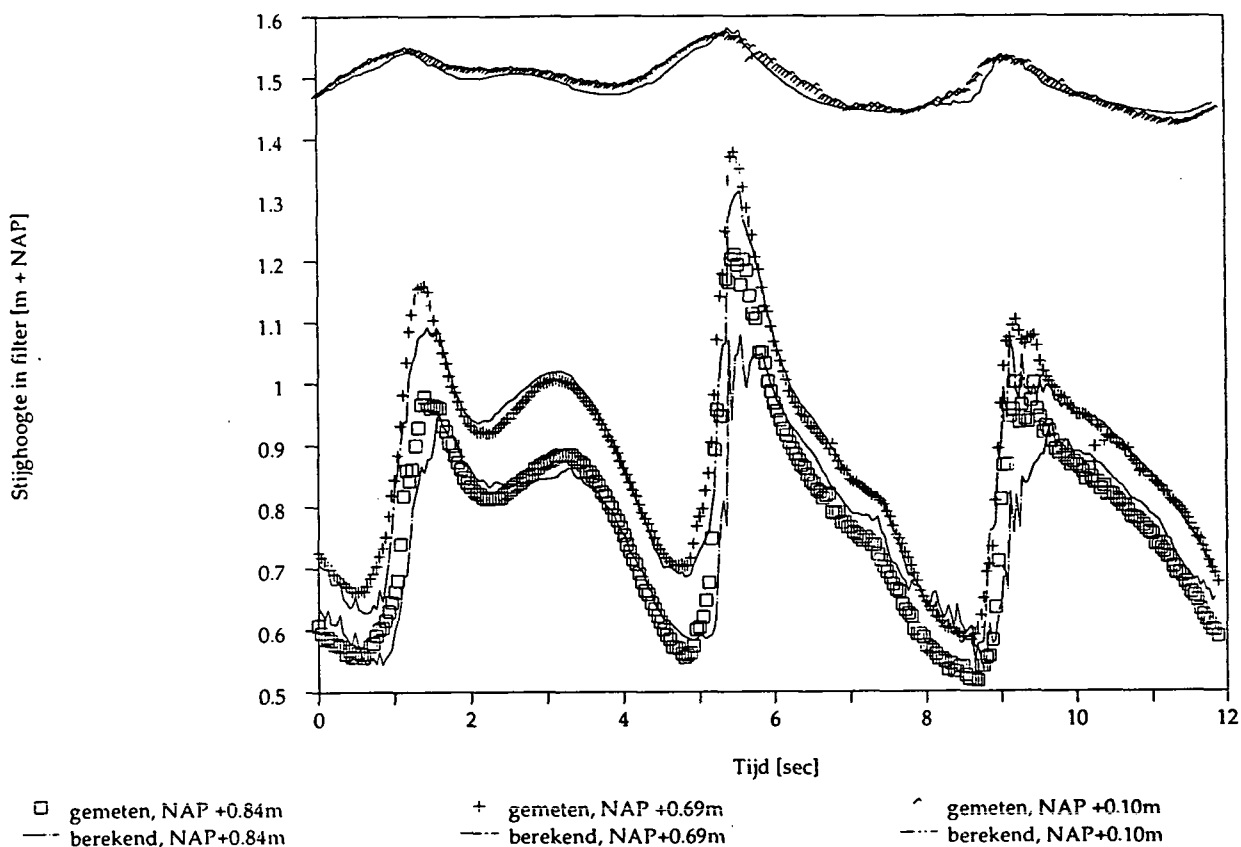
Hoogte onderkant blokken [m + NAP]

— druk op talud + druk lek lengte 5.6m ◇ druk lek lengte 50 m
 ▲ druk lek lengte 0.5m × druk lek lengte 2.7m ▼ gemeten druk filter

 GRONDMECHANICA DELFT	Postbus 69, 2600 AB Delft Telefoon (015) 69 35 00	Telefax (015) 61 08 21 Telex 38234 soil nl	d.d. MAART '93	get. WEG
STANDAARDVARIATIES UIT BEREKENING			CO - 319330	gez.
LEKLENGTE BASALTON 0.5m LEKLENGTE BASALT VARIABEL			BIJL. 6	form. A4

Vergelijking meting en berekening

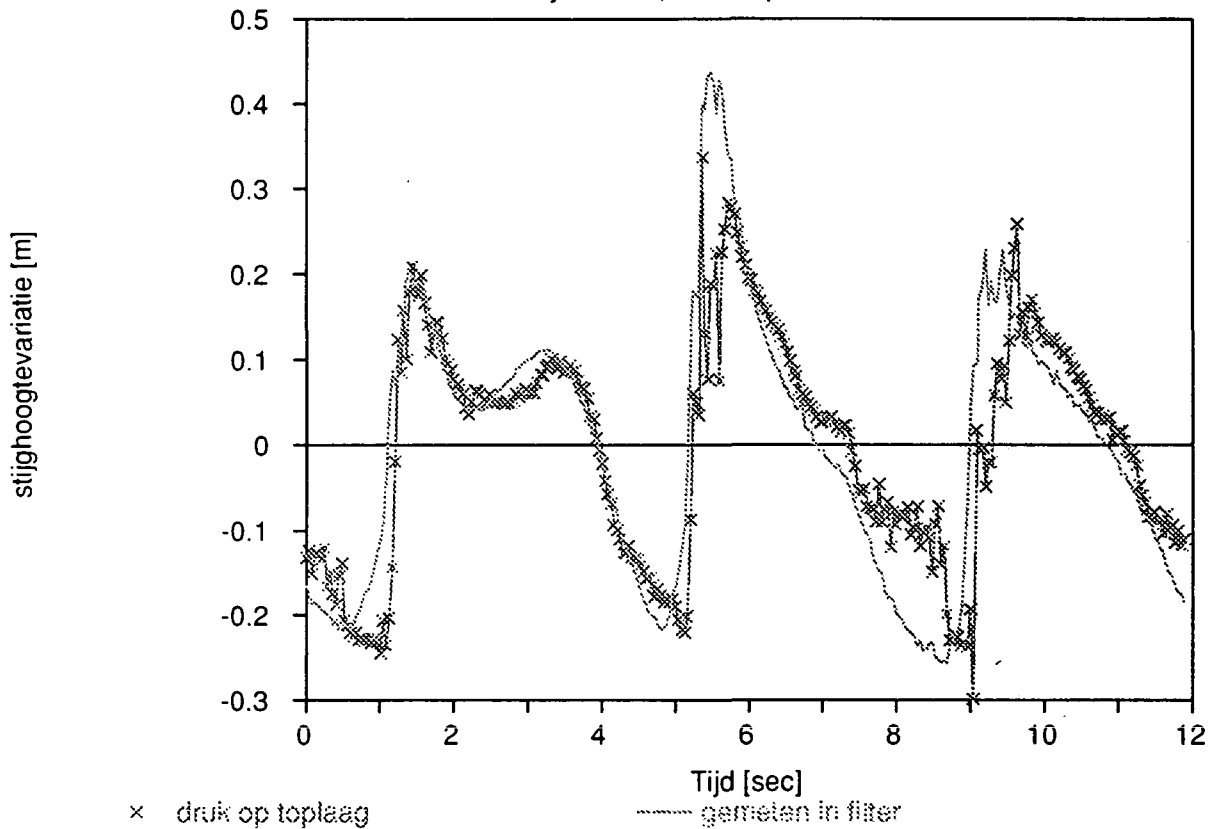
Tijd 09h19



GRONDMECHANICA DELFT	Postbus 69, 2600 AB Delft Telefoon (015) 69 35 00	Telefax (015) 61 08 21 Telex 38234 soil nl	d.d. MAART '93	gez. WEG
GEMETEN EN BEREKENDE REACTIE IN FILTER LEKLENGTE BASALT 7m LEKLENGTE BASALTON 0.5m			gez. CO - 319330	form. A4
			BIJL. 7	

Vergelijk druk op toplaag en in filter

Tijd 09h19, WSM op NAP + 0.84 m



**GRONDMECHANICA
DELFT**

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

d.d.
MAART '93

get.
WEG

DRUKVARIATIE OP TOPLAAG EN IN FILTERLAAG (GEMETEN)

CO - 319330

gez.

BIJL. 8

form.
A4

Appendix C2:

Notitie N675: Golfdrukken op de Afsluitdijk
Waterloopkundig Laboratorium, 02-03-1993

Notitie A2.93.07: Golfdrukken op de Afsluitdijk
Grondmechanica Delft, 05-04-1993

Notitie A2.93.20: Verhouding tussen gemeten drukken
en inkomende golfhoogte
Waterloopkundig Laboratorium, 25-05-1993

Golfdrukken op de Afsluitdijk (herzien)

Onderzocht zijn de hoogte en de helling van het stijghoogtefront op de Afsluitdijk ter plaatse van Breezanddijk. Het te verwachten golfklimaat op de Waddenzee is vastgesteld met de methode die is beschreven in het "Handboek voor dimensionering van gezette taludbekledingen" voor twee licht verschillende windrichtingen.

Voor het astronomisch getij is een waterstand van 2 m boven laag-laagwaterspring (=kaartdiepte) aangehouden; bovendien is met een windopzet van 1 m gerekend. Dit resulteert in een waterdiepte voor de dijk van gemiddeld 4 m tot 5 m.

Door het onregelmatige bodempatroon is de strijklengte lastig vast te stellen. De beperkte diepte op de platen geeft een beperking van de golfhoogte tot het moment dat de golven op dieper water komen. Bij een waterdiepte = 2 m op de platen is - bij een strijklengte van 10 km - de golfhoogte ongeveer 0.6 m; bij een waterdiepte = 3 m is de golfhoogte 0.8 m. Vervolgens neemt de golfhoogte toe op het diepere water. De aan te houden waarde van de strijklengte heeft een waarde tussen 10 km en 15 km. Bij de genoemde waterdiepten is de toename van de golfhoogte bij langere strijklengte marginaal; zie bijvoorbeeld Figuur 42 in het Handboek.

De volgende waarden zijn berekend voor een strijklengte van 15 km:

$$\begin{aligned} \text{A. } d = 4 \text{ m: } H_s &= 0.99 \text{ m} \\ T_p &= 3.94 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{B. } d = 5 \text{ m: } H_s &= 1.11 \text{ m} \\ T_p &= 4.07 \text{ s} \end{aligned}$$

Hoogte en helling van het stijghoogtefront worden berekend voor de volgende waarden:

$$H_s = 1.0 \text{ m} \quad T_p = 4.0 \text{ s}$$

De taludhelling ter plaatse is 1 : 3.6. Met de gegeven waarden wordt berekend:

$$\begin{aligned} \text{stijghoogte } \phi_B &= 0.92 \text{ m} \\ \text{helling front } \Theta &= 42^\circ \end{aligned}$$

met de restrictie, dat de maximale waarde voor de significante golfhoogte overeenkomt met de helft van de waterdiepte. De waterdiepte ter plaatse van de teen is ongeveer 1.50 m. Het is wellicht mogelijk, dat de significante golfhoogte op korte afstand voor de teen ongeveer 1 m is. De piekperiode wordt redelijk voorspeld.

De voorspelling in notitie N 675 van stijghoogte en helling front komen overeen met de gemeten minimum waarden. Het is ook mogelijk om een voorspelling te doen op basis van de in de tabel gegeven waarden voor de gemeten significante golfhoogte en piekperiode. Hieruit volgt voor de stijghoogte een waarde ϕ_b van 0.80 m en voor de helling van het front θ een waarde van 40 °. De gemeten golf op het maatgevende tijdstip heeft over het algemeen een grotere stijghoogte en een steiler front. In dit geval wordt de maatgevende golfconditie, bepaald op basis van de methode uit het Handboek, onderschat.

Conclusie: $H_s = 2,1$ ·druk golfhoogte.

De significante golfhoogte wordt daardoor 1,1 m, ipv 0,8 m.

Opgemerkt moet worden dat dit resultaat niet zo nauwkeurig is.