

laboratorium voor grondmechanica delft

stichting waterbouwkundig laboratorium



9.1-114
postbus 69, 2600 AB delft
stieltjesweg 2, delft
telefoon 015-569223
telex: 38234 soil nl
postgiro: 234342
bank: mees en hope nv delft
rek.nr. 25.92.35.911
(giro: 6400)

BIBLIOTHEEK
Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Van der Burghweg
Postbus 5044, 2600 GA Delft
Tel. 015 - 699111

- 5 NOV. 1991

Stormvloedkering Oosterschelde
Samenvatting OSU proeven

September 1982, CO-406047/2



Samenvatting van het verslag:

"Pressures in sand from waves and caisson motion"

Engineering report for the Delft Hydraulics Laboratory,
the Netherlands, from the Environmental Fluid Dynamics
Laboratory Wave Research Facility, Oregon State University,
Corvallis, Oregon 97331, May 1977.

Inhoud

1. Doel van het onderzoek
2. Planning van het onderzoek
3. Realisatie
4. Resultaten
5. Evaluatie
6. Organisatie en uitvoering



1. Doel van het onderzoek

Bij het ontwerpen van de stormvloedkering in de Oosterschelde is allereerst gedacht aan de toepassing van doorlaatcaissons. Het was de bedoeling deze caissons pas bij stormvloedcondities te sluiten om de Oosterschelde te behoeden voor extreem hoge waterstanden. De geopende stand onder gematigder weersomstandigheden garandeerde dan voldoende eb en vloed beweging in de af te sluiten zeearm.

Van belang voor het ontwerp van de caisson-fundering is het variëren van de waterspanningen hierin ten gevolge van de buitengaatsse golfbeweging. Deze variaties worden veroorzaakt door twee mechanismen. Enerzijds fluktueert de potentiaal langs de zeebodem vóór de caissons; anderzijds alterneert de horizontale golfbelasting op de gesloten schuiven, waardoor de reaktiekrachten van de fundering variabel zijn.

In deze fase van het onderzoek voor de Oosterschelde stormvloedkering was de rekentechniek voldoende gevorderd om voor de hiervoor genoemde mechanismen apart predikties te doen. De vraag was echter wat voor invloed de mechanismen op elkaar zouden uitoefenen en in hoeverre ze optelbaar zouden zijn. Er is toen besloten een modelproef uit te voeren in een golfgoot. Het doel was het bepalen van de optelbaarheid van de beschouwde mechanismen en het controleren en verbeteren van de rekentechnieken. In Nederland was geen grote golfgoot aanwezig. In Amerika zijn twee instellingen, die over een golfgoot beschikken benaderd. Hiervan bleek de "Oregon State University (OSU)" geïnteresseerd te zijn in het uitvoeren van het onderzoek. De proeven zijn onder kontrakt uitgevoerd in opdracht van het "Waterloopkundig Laboratorium (WL)" voor de "Deltadienst van Rijkswaterstaat (DED)".

De begeleiding was in handen van het "Laboratorium voor Grondmechanica Delft (LGM)" en het "Waterloopkundig Laboratorium De Voorst (WLIV)".

Om de resultaten van de proeven te kunnen interpreteren, zijn er rekenmethoden uitgewerkt voor het maken van predikties. Voor het mechanisme met alleen een fluktuerende bodempotentiaal zijn er analytische modellen gemaakt, gebaseerd op de warmtevergelijking; voorts is het konsolidatieprogramma "SPONS" gebruikt.

Voor het mechanisme van de alternerende golfdrukken was het komputerprogramma "ELPLAST" gepland. Echter, tijdens de voorbereidingen bleek de rekentechniek van dit programma zover gevorderd te zijn, dat een gekombineerde aanpak van de mechanismen mogelijk was. Besloten is de gekombineerde berekeningen uit te voeren. Wegens tijdgebrek zijn de berekeningen voor alleen een "rocking caisson" weggelaten.



2. Planning van het onderzoek

De golfgoot van OSU is 89,61 m lang, 3,66 m breed en 4,57 m diep. In deze goot was de volgende modelopbouw gepland. Zie voor de juiste maatvoering bijlage A. De goot werd alleen over de zandhoogte van 1,50 m versmald tot ongeveer één derde van de breedte door twee stenen muurtjes. Dit had het voordeel dat er aanmerkelijk minder zand nodig was, meetapparatuur gemakkelijk aangebracht kon worden en dat er veel minder last ondervonden werd van de wandeffekten op de golf, die het twee-dimensionale karakter verstoren. Op het zandbed werd een caisson geplaatst tussen twee constructies die met de caisson de goot in twee delen splitsen. Achter de caisson was het water in rust. Voor de caisson werd met behulp van een golfschot een staande golf opgewekt.

Voor het toepassen van een geschikte zandsoort kwamen verschillende Amerikaanse en ook Oosterschelde-zand in aanmerking. De keus is gevallen op het zogenaamde Hammond-zand. Dit zand benaderde redelijk de karakteristieken van Oosterschelde-zand en was economisch in aanschaf. Voor het verkrijgen van een homogeen zandbed werd besloten het bed eerst te fluïdiseren en dan te verdichten. Met een miniatuur dichtheidssonde en elektronische dichtheidsmeters kon dan de dichtheid vastgesteld worden. Gestreefd zou worden naar 2% boven de kritieke dichtheid. De meetraaien zijn aangegeven op bijlage B.

De belangrijkste grootte, die gemeten moest worden, was de waterspanning in de buurt van de caisson. Hiervoor zijn waterspanningsmeters en drukdozen gebruikt. De lokatie en nummering van de waterspanningsmeters is gegeven in bijlage B. Drie drukdozen waren aangebracht in het voorvlak van de caisson; drie andere aan het zandoppervlak in een knoop en buik en daartussen. Verder waren er nog vijf gronddrukdozen aangebracht in de bodem van de caisson om ook enig inzicht te krijgen in de grondspanningen. Tenslotte was er nog een voorziening getroffen om de horizontale verplaatsing van de caisson op enkele plaatsen vast te leggen.

Voor de verwerking van de meetgegevens is een pdp komputer 11/10E 03 RT 11 gebruikt. De gegevens zijn vastgelegd op deels 14 trk HP 3914 AFM analoge magnetische banden, deels op 7 trk digitale tapes. Van te voren is gecontroleerd of de banden, die eigendom van de opdrachtgever zouden worden, in Nederland gelezen en verwerkt konden worden.

In overeenstemming met het doel van het onderzoek waren er drie typen modelproeven gepland:

- één waarbij de verplaatsingen van de caisson werden verhinderd, zodat de golfdrukken niet via de caisson op de ondergrond werden overgebracht;
- één waarbij langs de bodem vóór de caisson een konstante waterspanning werd gehandhaafd, terwijl er tegen de caisson cyclische golfdrukken werkten;



- één waarbij de golfbeweging zowel de potentiaal langs de zandbodem als de reaktiekracht op de caissonbodem beïnvloedde.

Voor elk van deze proeven waren drie soorten golven met verschillende frekventies gepland. Omdat steeds één proef gereproduceerd zou worden, moesten er dus totaal twaalf proeven worden uitgevoerd.

Tijdens de voorbereiding rees er bij LGM het vermoeden dat het zandbed onder een golfdal wel eens zou kunnen gaan verweken. Door WLV zijn er toen enkele proefjes uitgevoerd, waarbij verweking niet werd geconstateerd.

Over de resultaten is gepubliceerd (Yamamoto et al 1978).



3. Realisatie

De verantwoording voor de uitvoering van de proeven overeenkomstig het kontrakt WL/OSU berustte bij OSU. OSU had zich daarbij verplicht de proeven te realiseren overeenkomstig het overeengekomen programma. Hierbij mochten eigen ideeën worden ingebracht, die de uitvoering ten goede zouden komen. Deze behoeften echter instemming van het WL.

Allereerst twijfelde OSU aan de haalbaarheid van de door WL aangegeven methode om staande golven op te wekken, waar gebruik wordt gemaakt van resonantie in de goot tussen golfschot en caisson. Daarom zijn van te voren met assistentie van WL een aantal proefjes gedaan in een schaalmodel van de OSU-goot. Hieruit bleek dat de methode toepasbaar was.

Om uitvoeringstechnische redenen heeft OSU een aantal wijzigingen op het ontwerp voorgesteld. De belangrijkste waren:

- vervanging van de stenen muurtjes door multiplex platen;
- gebruik van staal in plaats van beton voor de caisson.

Beide voorstellen hebben instemming van WL gekregen.

OSU heeft zelf fluïdisatie en verdichtingsapparatuur ontworpen en gebouwd. Dit is gedaan aan de hand van de apparatuur, die bij LGM in gebruik is.

De bepaling van de dichtheid van het zandbed is gepaard gegaan met grote moeilijkheden. Enerzijds hebben door WLV ontwikkelde dichtheidsmeters, die in de houten wanden in de goot waren ingebouwd, een niet consistent signaal afgegeven. Deze metingen waren dan ook onbruikbaar. Anderzijds bleek de verwerking van de metingen met de door LGM ontwikkelde elektrische dichtheidssonde door het ontbreken van een goede ijklijn voor het "Hammond" zand, niet tot aanvaardbare resultaten te leiden. Na vaststelling van een ijklijn voor het "Hammond-sand" in het LGM en toepassing van deze ijklijn op de meetresultaten bleven de afgeleide dichtheden onwaarschijnlijk hoog.

In verband met deze moeilijkheid werden metingen met een nucleaire sonde uitgevoerd (Type Troxler) op het zandbed in de goot. Deze metingen leverden veel lagere waarden voor de dichtheid op.

Mede door het ontbreken van een adequate en bekwame ondersteuning door de grondmechanische afdeling van OSU zijn er met betrekking tot de dichtheid van het zand in de goot onzekerheden gebleven.

Het test-programma is gegeven in tabel I. Hieruit blijkt dat er dertien proeven zijn uitgevoerd in plaats van twaalf en dat het proef-type 'caisson vrij, filter afgesloten' niet gereproduceerd is. De reden was de wens om nog enkele proeven 'caisson vrij, filter open' uit te voeren in verband met de verbeterde versie van ELPLAST voor de berekening van de waterspanningen.



4. Resultaten

Resultaten van de metingen in de golfgoot van de Oregon State University.

De volgende symbolische namen zijn gebruikt voor de meetapparatuur:

WSA : golfhoogtemeter in buik	(m	waterkolom)
WSN : golfhoogtemeter in knoop	(m	")
WPN : waterspanningsmeter	(cm	")
CWPM: caisson drukdoos	(m	")
DWPN: drukdoos op zandoppervlak	(m	")
SPM : grond drukdoos	(cm	")
CD : caisson verplaatsingsmeter	(cm)	

Voor de nummers wordt verwezen naar de lokatie van de meetinstrumenten op bijlage B.

In tabel II zijn de top/dal-waarden, gemiddeld over 10 succesieve golven, weergegeven voor de verschillende tests.

Op de bijlagen C1, C2, C3 en C4 zijn de gemiddeld gemeten top/dal-waarden van de waterspanningen uitgezet in de vorm van contourlijnen. Tevens zijn aangegeven de topwaarden van de waterspanningsmeters in de voorzijde van de caisson (CWPM) en de top/dal-waarden van de gronddrukdozen in de caissonbodem op het zandoppervlak (SPM). De horizontale cyclische beweging is bijgeschreven bij de verplaatsingsmeter (CD).

Bij test 3 en test 7 zijn ook resultaten van berekeningen tussen-gevoegd ter vergelijking. De berekening bij test 7 is uitgevoerd met het grondwaterstromingsprogramma SEEP, waarbij geen demping wordt beschouwd (semi-stationaire potentiaalstroming).

Er zijn analytische berekeningen gemaakt, waarbij de invloed van de golflengte is bestudeerd en de invloed van de dikte van het zandpakket; zie bijlage D. Voor beide berekeningen is uitgegaan van quasi-stationaire potentiaalstroming. De overeenkomst van de analytische berekening met de uitkomst van SEEP is binnen 0,1%.

Op bijlage E staan de resultaten vermeld van berekeningen van de stroming, waarbij volume-demping is geïntroduceerd (samendrukbare poriënvloeistof of elastische volumeberging in het zandpakket). Er zijn berekeningen uitgevoerd met het consolidatieprogramma SPONS volgens de theorie van Biot en berekeningen volgens de warmtevergelijking.

Met het programma ELPLAST is het mogelijk om ook nog speciale spanning/rek-relaties in te voeren. De resultaten van berekeningen, uitgevoerd met dit programma, zijn vermeld op bijlagen F1 t/m F5.



5. Evaluatie

A. Voor een onbeweeglijk caisson (situatie III, tabel I)

De berekening van deze situatie is uitgevoerd voor verschillende aannamen van het stromingsmodel. Allereerst werd verondersteld, dat de veranderingen in het stromingsveld zich momentaan aanpasten aan de tijdsafhankelijke randvoorwaarden (semi-stationaire stroming). De amplituden onder de caisson zijn berekend voor verschillende golftypen, voor verschillende caisson-afmetingen en verschillende dikten van het zandbed (zie bijlage D). Door de onsamendrukbaarheid strekt de invloed van waterspanningen aan de rand zich ver uit. De amplituden van de reacties onder de caisson zijn altijd groter dan in een situatie, waarbij damping optreedt.

Om nu ook vertraging en damping door tijdelijke waterberging in rekening te brengen, is verondersteld, dat de volumerek en de waterdruk evenredig zijn. Dit leidt tot een model, waarin de stromingsrelatie analoog is aan de warmtevergelijking. Het feit, dat het poriënwater een lineaire samendrukbaarheid bezit, is in dit model verwerkt.

Het oplossen van deze relatie voor de gestelde fluktuierende randkondities leidt tot een gemengd randvoorwaarde probleem, waarvan de oplossing is weergegeven op bijlage E. Duidelijk is het verschil tussen de isochronen voor de opkomende en neergaande situatie voor dezelfde golfstand te zien.

Er is hier sprake van een faseverschuiving (vertraging) en amplitude damping. Voor het Oosterschelde-zand is de dempingsfaktor, die bij deze warmtevergelijking hoort, groot. Dit leidt tot grote vertraging en damping, die niet reëel lijken te zijn.

Er moet een stromingsrelatie worden gekozen, die fysisch consistent is met de vervormingen van het korrelskelet van het zandbed, zoals bijvoorbeeld de theorie van Biot, waarbij de spannings-rek relaties lineair zijn verondersteld. Slechts voor speciale randvoorwaarden is er dan nog analytisch een oplossing te vinden. Met het computerprogramma SPONS (LGM), gebaseerd op de Biot theorie en lineaire spannings-rek relaties is voor de bij OSU gedane proeven met de gekozen golfvorm een numerieke berekening uitgevoerd, waarvan de resultaten op bijlage E zijn vermeld. De damping en vertraging zijn gering. Bij deze berekeningen is er geen lucht aanwezig in het poriënwater.

Op bijlage G zijn alle amplituden uitgezet voor dezelfde (genormaliseerde) golfhoogte voor tests 5 tot en met 8 (vast caisson) en de uitgevoerde berekeningen. De semi-stationaire potentiaal stroming is een bovengrens, de warmte vergelijking een ondergrens. De Biot oplossing ligt boven alle metingen.



Er is meer demping aanwezig dan op grond van de eigenschappen van het zand kan worden gevonden.

Hiervoor kunnen een aantal oorzaken worden onderkend:

- de berekening is uitgevoerd voor onsamendrukbaar water, terwijl in een later stadium het water ongeveer 2% lucht bleek te bevatten;
- de zijschotten, waarmee de goot versmald werd, waren gemaakt van multiplex. De stijfheid hiervan is ongetwijfeld niet voldoende geweest om een vlakke vervormingstoestand te veronderstellen;
- ook de caisson had onvoldoende stijfheid, zodat een goede aansluiting met het zandbed twijfelachtig is.

Het is niet eenvoudig de invloed van deze oorzaken kwantitatief aan te wijzen in de metingen. Is bijvoorbeeld het feit dat de potentiaallijnen onder de vaste caisson veel meer horizontaal lopen dan verwacht toe te schrijven aan de flexibiliteit van de zijwanden. Om dit te kunnen beantwoorden, zijn meer studie en meer berekeningen nodig.

Voor de achterzijde onder de caisson is een oorzaak van de gemeten lage amplituden (zelfs lager dan de warmtevergelijking!) waarschijnlijk te zoeken in de vorm van de caisson: een L-vormige balk met een korte schoorsteen. Als het achterdeel ook maar iets meeveert, is de cyclische waterspanning al aanzienlijk verminderd. Ook de resultaten van de gronddrukdozen (SPM in test 5, 6, 7 en 8 op bijlagen C2 en C3) wijzen op deze ongelijkmatige spanningsverdeling onder de caisson.

B. Voor een vrij caisson (situatie I)

Met het programma ELPLAST, waarmee niet-lineaire consolidatie kan worden berekend, is voor test 12 (zwaardere caisson) een prediktie gemaakt, waarbij (helaas) niet alle uitgangspunten gelijk waren afgestemd. De test is uitgevoerd voor een frekwentie van .220 ($T = 4.55$ s), terwijl de berekening is gemaakt voor een frekwentie van .155 ($T = 6.45$ s).

Op bijlagen F1 t/m F5 zijn de waterspanningen vergeleken met de gemeten waarde, zoals die in het O.S.U.-verslag staan vermeld.

De tendens is hetzelfde onder de voorkant van de caisson. Hierbij moet worden opgemerkt, dat door het frekwentie-verschil de consolidatieperiode (de lengte van het golfdal) in de berekening langer is, waardoor de onderdrukken in de waterspanningen grotere waarden bereikten. Aan de achterzijde zijn de berekende waterspanningen groter dan de gemeten waarden en als mogelijke oorzaak wordt hiervoor de onvoldoende stijfheid van de caisson aangemerkt.



Over de verplaatsingen valt weinig te zeggen, gezien het geringe aantal meetresultaten. Bovendien zijn de meeste meetresultaten zorgelijk; zij zijn alles behalve overeenkomstig een twee-dimensionaal vervormingspatroon.

Uit de ELPLAST berekening volgt ter plaatse van de caisson verplaatsingsmeter (CD) een amplitude van 0,25 cm (0,20 cm door rotatie en 0,05 cm door horizontale verplaatsing).

Op bijlage G zijn alle waarnemingen (amplituden) en de ELPLAST resultaten opgenomen, zoals die onder de caisson optreden. Met ELPLAST is een variant berekend, waarbij de samendrukbaarheid van het water met een faktor 30 was gereduceerd (overeenkomstig 2% lucht in het water). Het is opmerkelijk, dat deze aanname goed overeenkomt met de metingen aan de voorzijde van de caisson. Vooral ook als men het volgende in oogenschouw neemt.

Ter plaatse van WPM4 werd steeds een grote waterspanning alsook een grote gronddruk geregistreerd. Op dit punt is de schoorsteun van de caisson voorwand afgestempeld. Een eenvoudige sterkteberekening toont, dat de schoorkracht een aanzienlijke invloed heeft op de vervormingen van de caisson bodemplaat (twee profielen en een stalen plaat van 2 cm) ter plaatse van WPM4. Het is zeer te betreuren, dat WPM5 gedurende alle tests heeft geweigerd enig respons te geven, waardoor een berere schatting van de invloed van de caisson-konstruktie, op de meetresultaten mogelijk zou zijn geweest. Ook alle gronddrukmetingen (SPM) van tests 1, 2, 3, 4, 9, 10 en 11 vertonen een duidelijk ongelijkmatige spanningsverdeling, ofschoon de reproductie van deze signalen nergens op lijkt. Wat er in test 12 (en 13) is gedaan, waardoor dit effect plotseling verdwenen is, is in het O.S.U. verslag niet gemeld.

Aan de achterzijde van de caisson zijn lagere waarden geregistreerd dan gemeten. De berekening vertoont wel dezelfde tendens. Het relatief flexibele achtereind van de caisson in de meting is waarschijnlijk weer de oorzaak.

C. Voor de situatie met een gesloten filter (situatie II)

Het was de bedoeling om met een afgesloten filter aan de voorzijde van de caisson de waterspanningen, zoals die ontstaan door de caisson-bewegingen alleen, te bestuderen.

De hoop bestond, dat een eenvoudige optelling mogelijk was:

$$\text{situatie I} = \text{situatie II} + \text{situatie III}$$

Het is duidelijk, dat voornoemde verstoringen in de meetresultaten de juistheid van deze optelling niet laten interpreteren. In de gronddrukmetingen blijkt weer de invloed van de schoorsteun in de vorm van een ongelijkmatige spanningsverdeling (tests 9, 10 en 11). Er zijn voor deze situatie geen berekeningen uitgevoerd.



Resumé - Konklusies ten aanzien van de waterspanningen

De metingen zijn beïnvloed door:

- lucht in het water (2%, stijfheidsreduktiefactor = 30);
- flexibiliteit in de zijschotten van het zandbed;
- flexibiliteit van de caisson;
- onjuiste konstruktie van de caisson.

De interpretatie is bemoeilijkt door:

- bovenvermelde invloeden;
- onbetrouwbare dichtheidsmetingen;
- onbetrouwbare verplaatsingsmetingen.

Als men rekening houdt met de genoemde effecten dan blijkt er een redelijke overeenstemming met de ELPLAST-berekening te zijn voor de situatie met het vrij bewegende caisson.

Voor een vast caisson is uit de analytische en numerieke berekeningen gebleken, dat de demping en de vertraging over de 4 meter caisson-bodem welhaast te verwaarlozen is, mits er geen lucht in het water zit.



6. Beoordeling van organisatie en uitvoering

Uit het vorige hoofdstuk is gebleken, dat de eigenlijke doelstellingen van de proef niet werden bereikt. De oorzaken daarvan kunnen het gevolg zijn geweest van onvolkomenheden in de uitvoering van de proeven. Het mag echter niet uitgesloten worden geacht dat de vooronderstellingen die bij de opzet van de proef werden gemaakt, zo ver van de werkelijkheid afliggen dat ook bij een foutloze uitvoering geen uitspraak zou kunnen worden gedaan over het al dan niet bereikt hebben van de doelstelling, die simpel gesteld was: "na te gaan of sommatie van de uitkomsten van gescheiden berekeningen over de invloed van golfkrachten op de waterspanningen toelaatbaar is".

Uit de analyse van de oorzaken van de geconstateerde onvolkomenheden blijkt, dat deze vooral moeten worden gezocht in een onjuiste inschatting van de organisatie met betrekking tot de begeleiding en de uitvoering van de proeven op een zo ver van de belanghebbenden gelegen lokatie.

Ten aanzien van beide aspecten is de kommunikatie te optimistisch beoordeeld, terwijl op grond van de verschillende interesse-sferen van opdrachtgever en uitvoerder juist deze verbindingschakel zwaar had moeten worden benadrukt.

Hoe is immers de situatie in zo'n geval:

Aan de ene kant de Nederlandse belanghebbende partij RWS-WL-LGM, die noodgedwongen een proef moet uitbesteden. Zij doet dit door op basis van een nauwkeurig programma - een soort bestek dus - en voor een vastgestelde prijs een kontrakt aan te gaan met uitvoerende partij OSU.

Aan de andere kant de uitvoerende partij OSU, die het kontrakt aanvaardt, maar nauwelijks voeling heeft met de achtergrond van de proef, die werd gevormd door de funderingsproblematiek bij het ontwerp van de stormvloedkering.

De afstand tussen beide partijen is zodanig groot dat slechts sporadisch rechtstreeks contact kon worden gehouden. Er was althans niet voorzien in een kontakt van een meer continu karakter.

Wat is er mis gegaan of kon er mis gaan:

- Het uitbesteden van een research-proef van een hoge moeilijkheidsgraad in de vorm van een kontrakt bergt in zich de kans op een te afstandelijke begeleiding, vooral als de afstand ook nog groot is.
- Het overdragen van een proefprogramma aan derden in de vorm zoals dat met OSU is gebeurd, heeft bijna onvermijdelijk als gevolg het wat op de achtergrond raken van de belangstelling voor de proef bij de uitbestedende partij. De grote afstand zal hierbij zeker ook een rol spelen.



- Een foutieve inschatting van de kwaliteit en de ervaring van de uitvoerder OSU, vooral daar waar het de grondmechanische aspecten betrof.
In dit verband moet ook worden vermeld dat de eigen interesse-sfeer van wetenschappelijke OSU-medewerkers meer accent verkregen dan gewenst. De zorgvuldigheid bij de inrichting en uitvoering van de proeven kreeg daardoor onvoldoende aandacht.
- Het scheppen van mogelijkheden voor alternatieven - weliswaar met toestemming - als opgenomen in het kontrakt met OSU vereist een geregeld direkt en persoonlijk kontakt tussen opdrachtgever en uitvoerder. Nu dit geregelde direkte kontakt er niet was in de belangrijke voorbereidende fase van het onderzoek kon onmogelijk een goede beoordeling worden gemaakt van de voor-gelegde alternatieven met betrekking tot de inrichting van de proef.
- Het kontraktueel vastleggen van de kosten voor een proevenprogramma van een hoge moeilijkheidsgraad als in dit geval brengt met zich mee dat de speelruimte voor OSU om zich dieper in bepaalde problemen in te werken, gering was. Bovendien zullen alternatieven meestal worden gezocht in de sfeer van de kostenverlaging, wat gezien de wijzigingen van de stenen steunwanden in houten en van de betonnen caisson in een staalkonstruktie, ook inderdaad de achtergrond was.

Bij de beschouwing van bovenstaande overwegingen komen de volgende konklusies naar voren met betrekking tot de organisatie van de begeleiding door de opdrachtgevers, WL en LGM:

- In de opzet van het onderzoek had een zeer intensieve en meer direkte begeleiding moeten zijn opgenomen, vooral in de fase van de voorbereiding.
- Bovendien had er continu een medewerker van LGM of WL (eventueel afwisselend) aanwezig moeten zijn bij de gehele periode van het proevenprogramma.

De kosten van deze intensievere begeleiding wegen zeker op tegen de voordelen, zoals kwaliteitsverbetering.

Meer algemene konklusies zijn:

- Het zo ver weg uitbesteden van proeven van een hoge moeilijkheidsgraad heeft in principe in zich misverstanden, onvoldoende voeling met de problematiek, afnemende belangstelling en ontwikkelingen in een ongewenste richting en moet dan ook zoveel mogelijk worden vermeden.
- Indien uitbesteding onvermijdelijk is dan dient de opdrachtgever zich zeer uitgebreid te laten informeren over de deskundigheid - zeer specifiek met betrekking tot de uitvoering van proeven - die bij de uitvoerende instantie aanwezig is.



In het geval van OSU is daaraan door LGM en WL onvoldoende aandacht besteed. Teveel is uitgegaan van de bij deze instituten geldende maatstaven, die dan als vanzelfsprekend ook aan OSU zijn toebedacht.

Met betrekking tot de uitvoering van de proeven:

- De konsekwentie van de door OSU voorgestelde materiaalwijzigingen van de muurtjes en de caisson zijn onvoldoende onderzocht door LGM en WL. Dit is echter mede het gevolg van de gebrekkige kommunikatie. Er bestond bij WL en LGM onvoldoende inzicht in de voorgestelde alternatieve konstrukties. Nagelaten is echter om nadere details te vragen voordat toestemming werd gegeven.
- Over het algemeen was er bij de OSU-medewerkers onvoldoende ervaring en deskundigheid aanwezig om het brede terrein van deze proevenserie op adekwate wijze te bestrijken. De benodigde precisie kon daardoor niet worden gehaald.

Met betrekking tot de kontakten aan Nederlandse kant:

- Het overleg tussen WL, LGM en RWS heeft redelijk goed gefunctioneerd.
- Het overleg met de Technische Hogeschool Delft (THD)-afdeling Civiele Techniek - over de relatie tussen ELPLAST-berekeningen en de proefopzet is onvoldoende geweest. Overigens heeft er ten aanzien van dit aspekt aan beide kanten onduidelijkheid geheerst over de formele kanten van de samenwerking met de THD.



Referenties :

- (1977) Oregon State University,
Environmental fluid dynamics laboratory,
Wave research facility Oregon State University,
Corvallis, Oregon 97331.
- (1978) T. Yamamoto, H. L. Koning, J. B. Sellmeijer, E. van Hijum
On the response of a poro-elastic bed to water waves,
Journal of Fluid Mechanics vol.87, part 1, pp. 193-206.



Test	Situatie	Golf frek. (hz)	NDS	Gewicht (kN)	W.hoogte (m)	G.hoogte (m)
1	I	.302	.0600	40,8	3,60	1,19
2	I	.220	.0650	40,8	3,60	1,34
3	I	.156	.0735	40,8	3,60	0,86
4	I	.302	.0600	40,8	3,60	1,12
5	III	.220	.0650	40,8	3,60	1,38
6	III	.302	.0600	40,8	3,60	1,12
7	III	.155	.0735	40,8	3,60	1,18
8	III	.220	.0650	40,8	3,60	1,41
9	II	.218	.0525	40,8	3,72	1,10
10	II	.301	.0575	40,8	3,72	1,14
11	II	.153	.0575	40,8	3,72	0,90
12	I	.220	.0650	50,8	3,60	1,41
13	I	.220	.0650	40,8	3,60	1,42

Voor de situatie geldt: I : caisson vrij, filter open
II : caisson vrij, filter afgesloten
III : caisson vast, filter open

NDS: non-dimensional stroke (de tangens van de bewegingshoek van het golfschot)

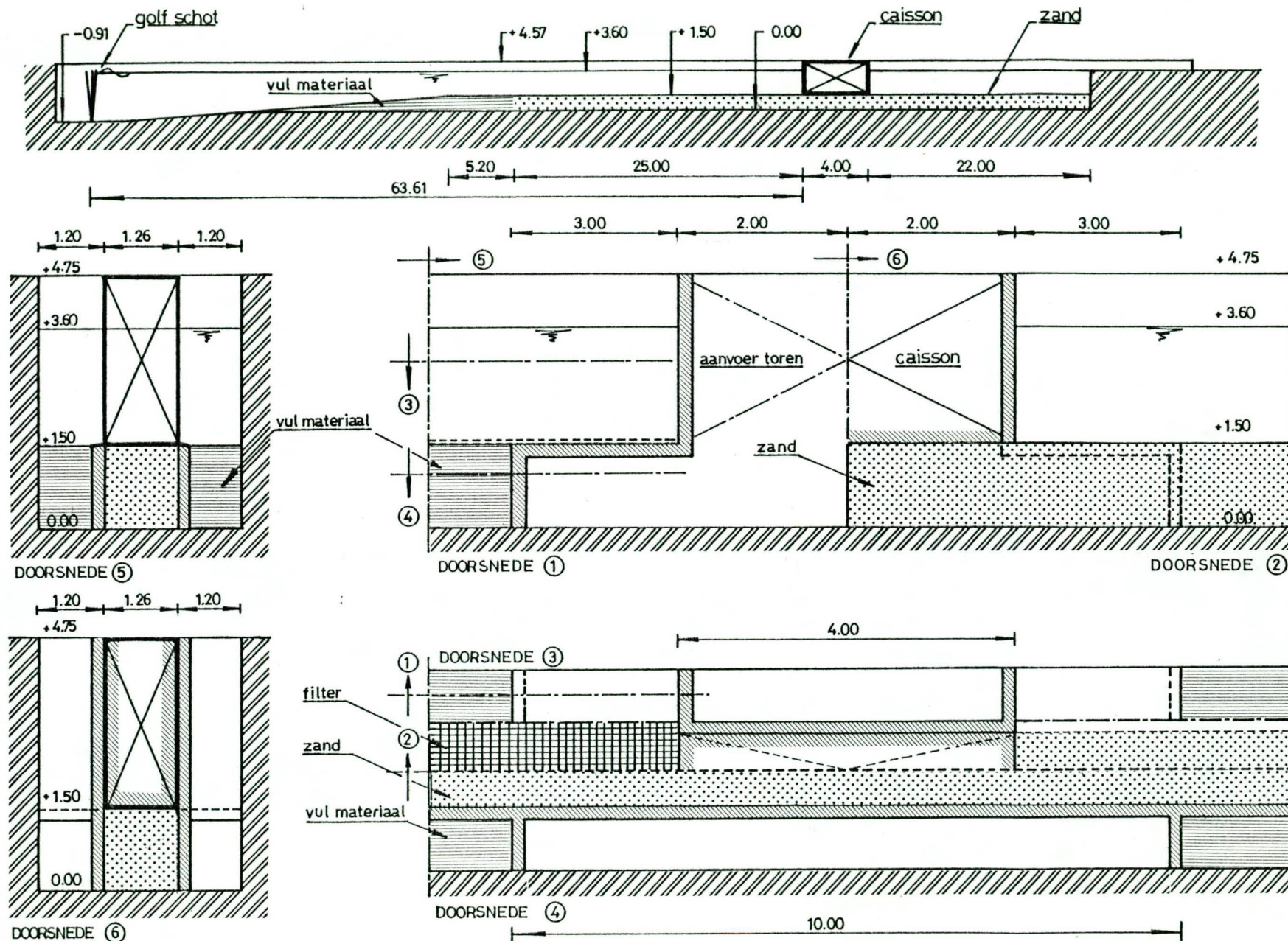
Tabel I: Test Programma

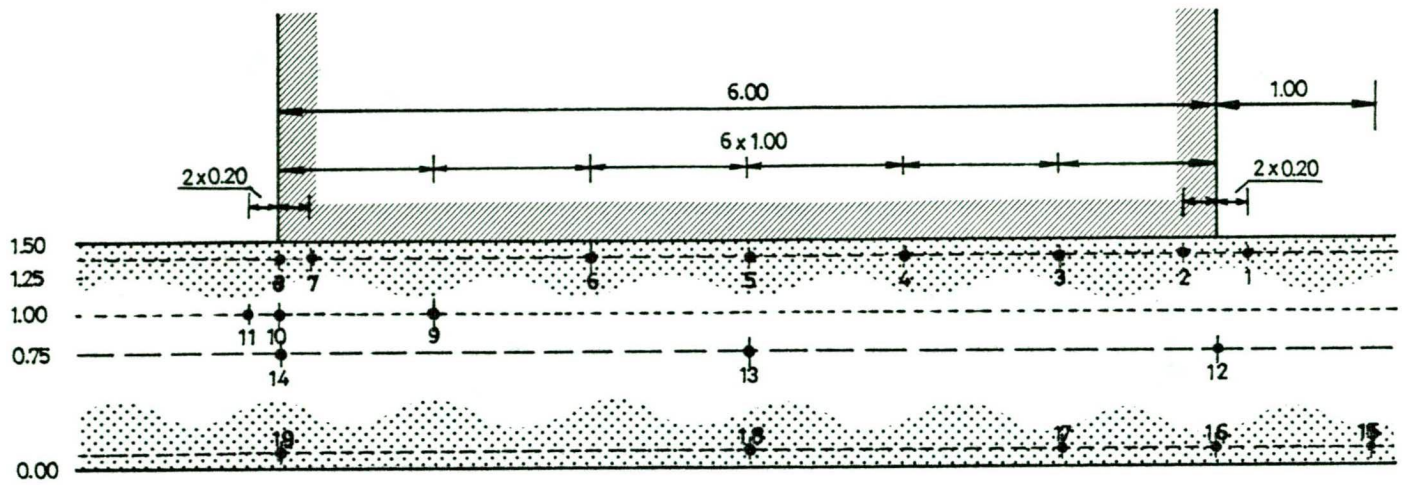


Tabel II: Top/dal-waarden van de metingen

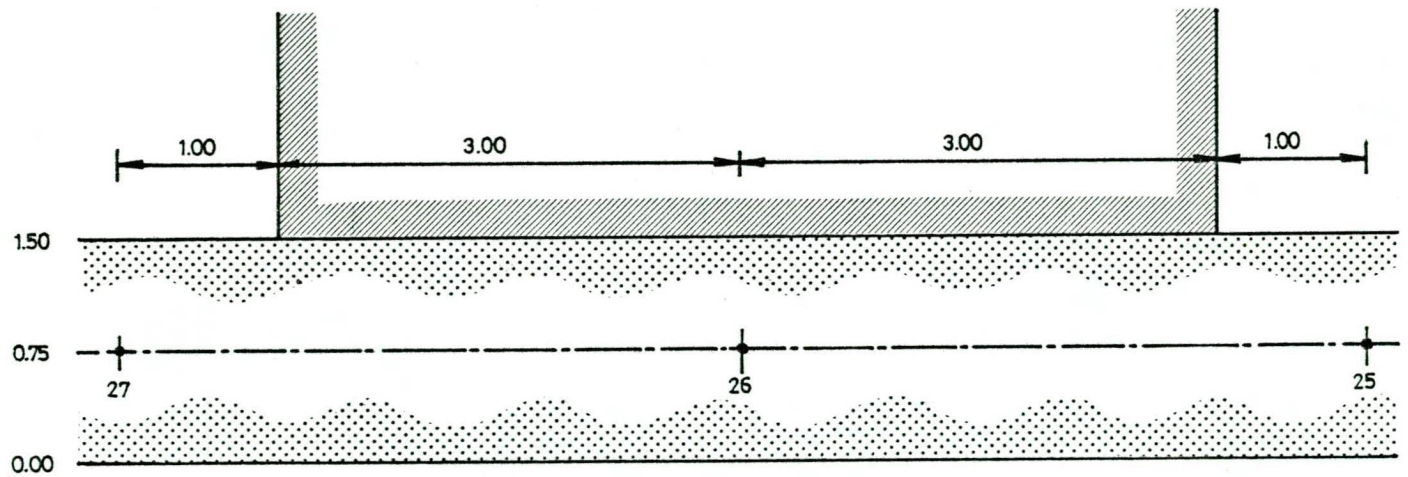
test	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
WSA	1.19	1.34	0.86	1.12	1.38	1.12	1.18	1.41	1.10	1.14	0.90	1.41	1.42
WPM1	59	81	56	57	82	54	63	82	39	53	28	75	75
2	53	76	56	55	73	50	58	78	33	41	28	65	71
3	51	35	53	39	66	36	38	55	23	32	18	35	40
4	47	63	43	55	43	24	29	42	26	36	19	19	40
6	6	4	4	7	(5)	3		5					3
7	20	13	12	9	3			1	12	16	9	12	21
8	5	7	4	6	1				5		4	4	6
9	22	20	22	29	4	4	4	4	12	17	10	13	22
10	11	12	9	14	1			2	9	9	5	8	13
11	9	8	8	10	1			1	7	5	7	7	9
12	24	41	35	22	31	18	32	36	6	11	8	34	31
13	6	18	19	13	12	6	15	19	4		5	5	14
14	10			13				3	8	9	7	8	11
15	16	33	28	18	12	13	27	30	11	15	8	29	26
16	10	27	24	12	16	12	23	26	5	8	8	22	19
17	10	18	21	12	14	10	20	22	8	10	8	18	18
19		13	12	13	(2)		7	3					
SPM20	49	82	46	161	59	45	49	61	16	33	29	56	37
21	275	107	51	232	60	37	53	69	102	47	134	41	61
22	29	46	92	41	41	22	30	42	7	17	15	54	65
23	20	112	16	249	7	3	4	4	43	18	11	71	100
24	10	97	12	200	4	2			15	10	8	82	132
CWPM1 *	0.42	0.54	0.52	0.42	0.53	0.41	0.59	0.52	0.53	0.51	0.01	0.60	0.56
2	0.74	0.98	0.68	0.70	0.96	0.70	0.78	0.98	0.80	0.69	0.68	0.99	0.95
3	0.66	0.91	0.70	0.65	0.92	0.65	0.73	0.93	0.37	0.68	0.64	0.95	0.89
DWPM1	0.62	0.80	0.61	0.19	0.83	0.55	0.73	0.79	0.06	0.20	0.19	0.84	0.75
2			0.50	0.51	(0.01)		0.57		(0.04)	(0.01)	0.18	0.56	0.56
3		0.15	0.30	0.14			0.35		(0.05)	0.02	(0.15)	0.24	0.27
WSN		0.20	0.21	0.05	0.18	0.09	0.28	0.22	0.18	0.10	0.23	0.21	0.21
CD		0.45	0.54	0.38	0.25	0.10	0.22	0.18	0.24	0.30	0.33	0.42	0.29

*) Voor CWPM1 is alleen "O-top" geregistreerd.

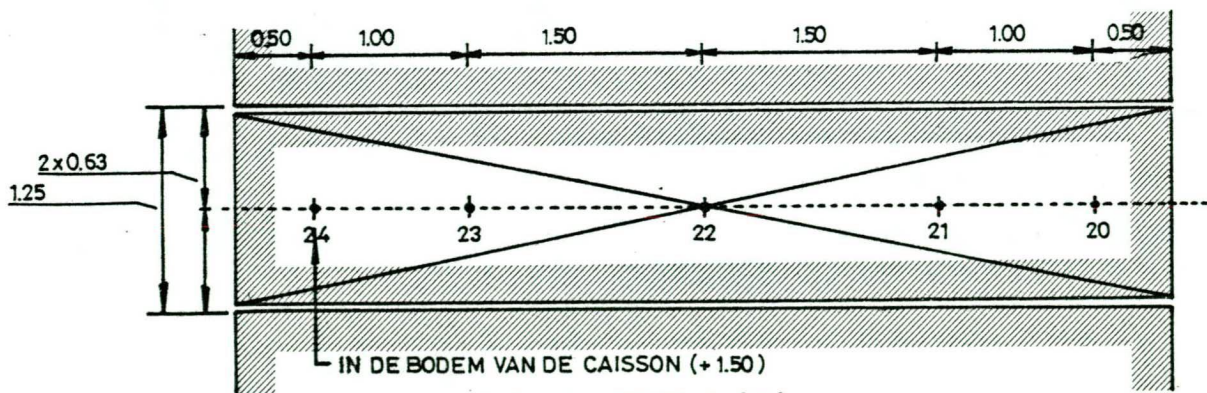




LOKATIE WATERSPANNINGSMETERS (19)



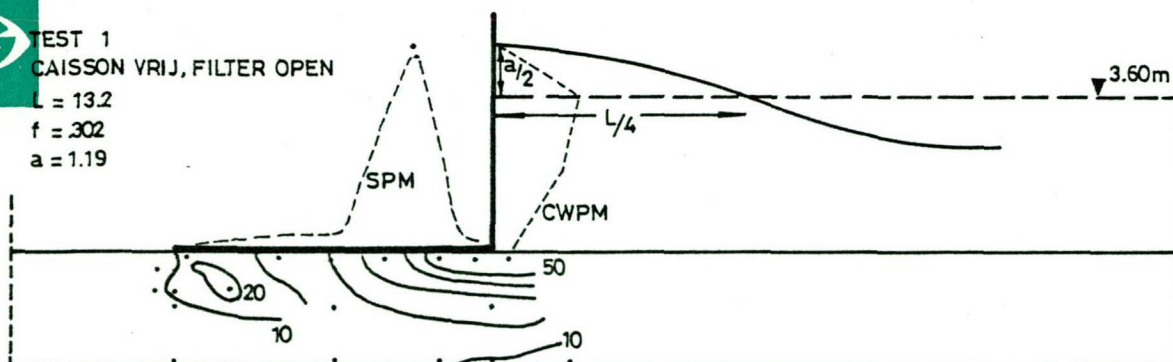
LOKATIE DICHTHEIDSMETERS (3)



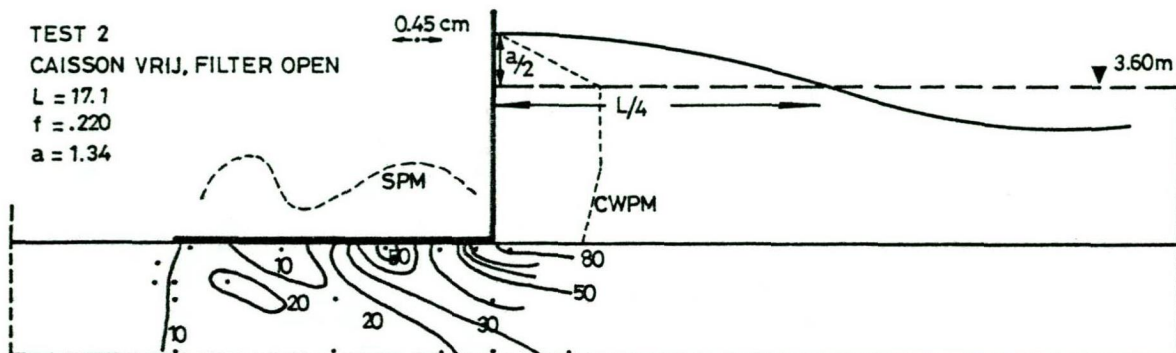
LOKATIE DRUKMETERS (5)



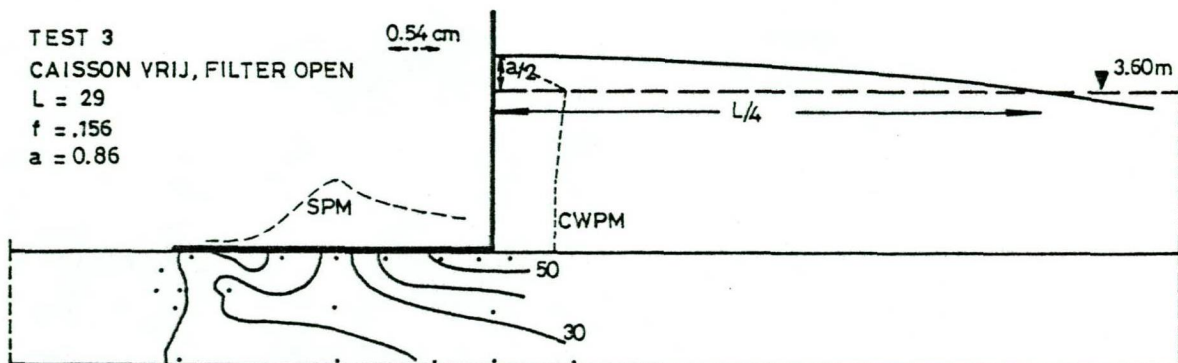
TEST 1
CAISSON VRIJ, FILTER OPEN
 $L = 13.2$
 $f = .302$
 $a = 1.19$



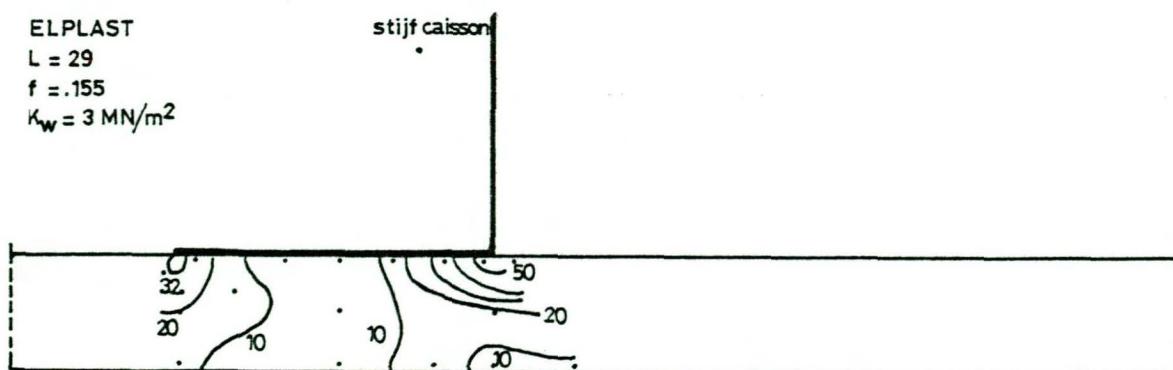
TEST 2
CAISSON VRIJ, FILTER OPEN
 $L = 17.1$
 $f = .220$
 $a = 1.34$



TEST 3
CAISSON VRIJ, FILTER OPEN
 $L = 29$
 $f = .156$
 $a = 0.86$



ELPLAST
 $L = 29$
 $f = .155$
 $K_w = 3 \text{ MN/m}^2$

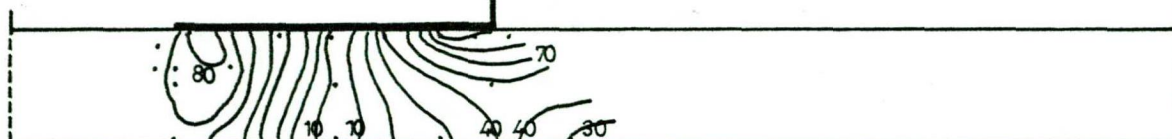


GEMIDDELD GEMETEN EN BEREKENDE TOP DAL WAARDEN BIJLAGE C1

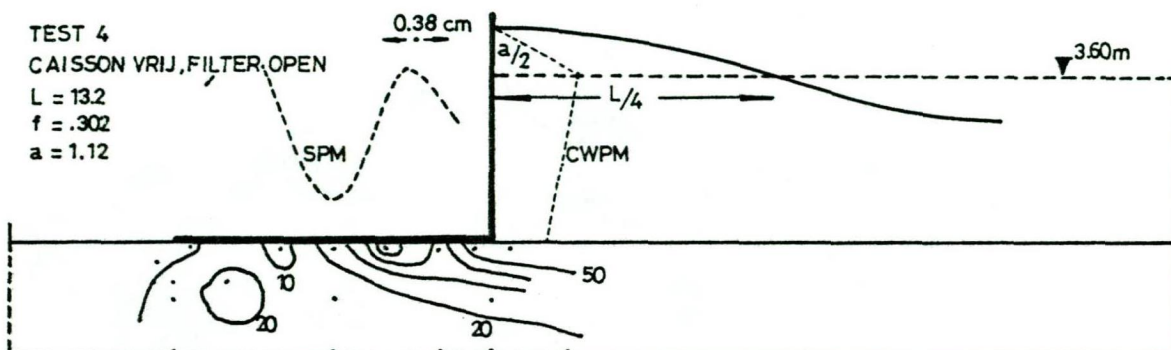


ELPLAST
 $f = .155$
 $K_w = 90 \text{ MN/m}^2$

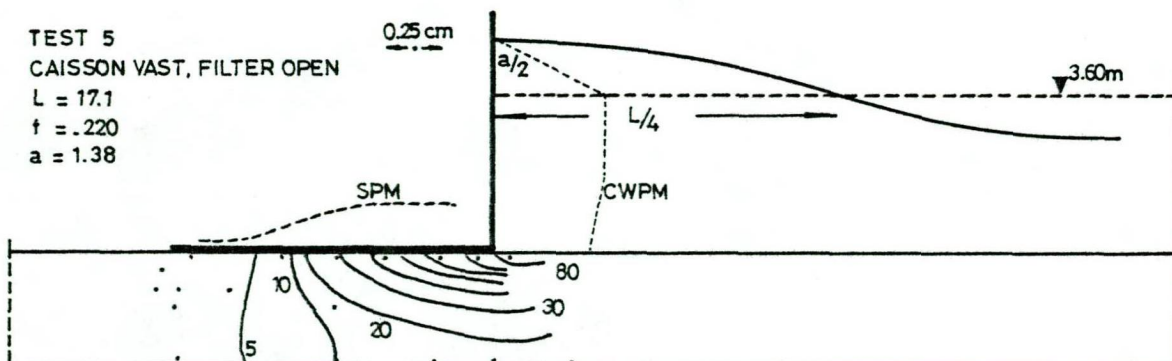
stijf caisson



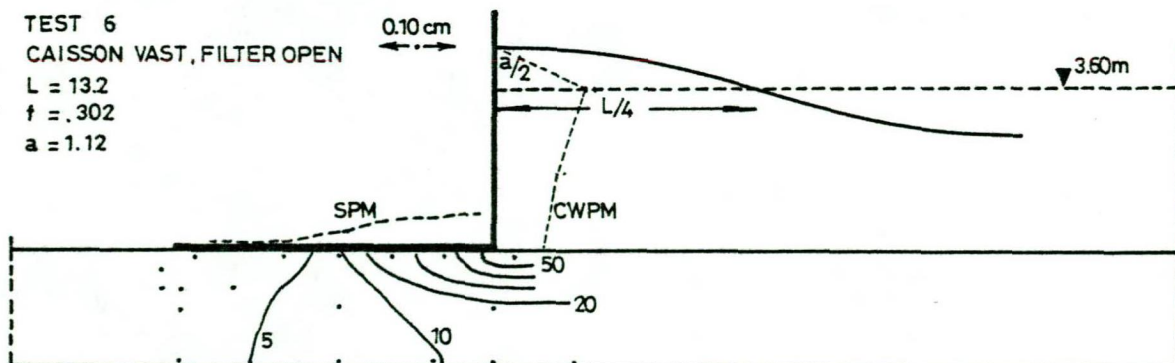
TEST 4
CAISSON VRIJ, FILTER OPEN
 $L = 13.2$
 $f = .302$
 $a = 1.12$

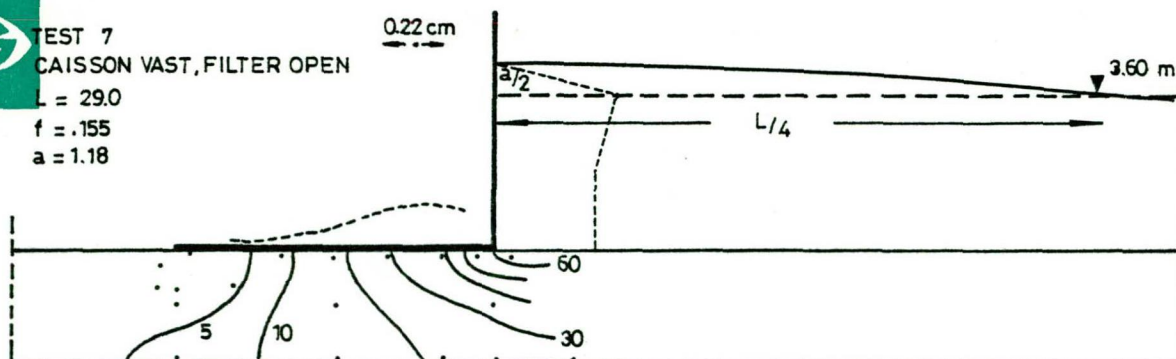


TEST 5
CAISSON VAST, FILTER OPEN
 $L = 17.1$
 $f = .220$
 $a = 1.38$

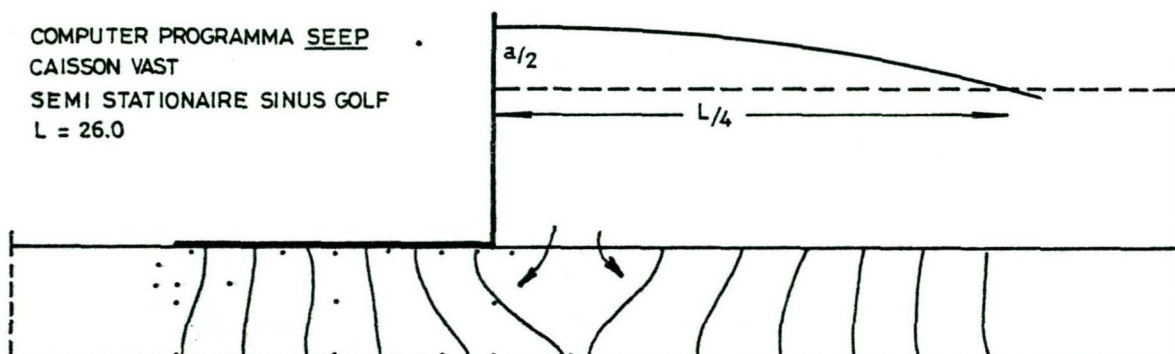


TEST 6
CAISSON VAST, FILTER OPEN
 $L = 13.2$
 $f = .302$
 $a = 1.12$

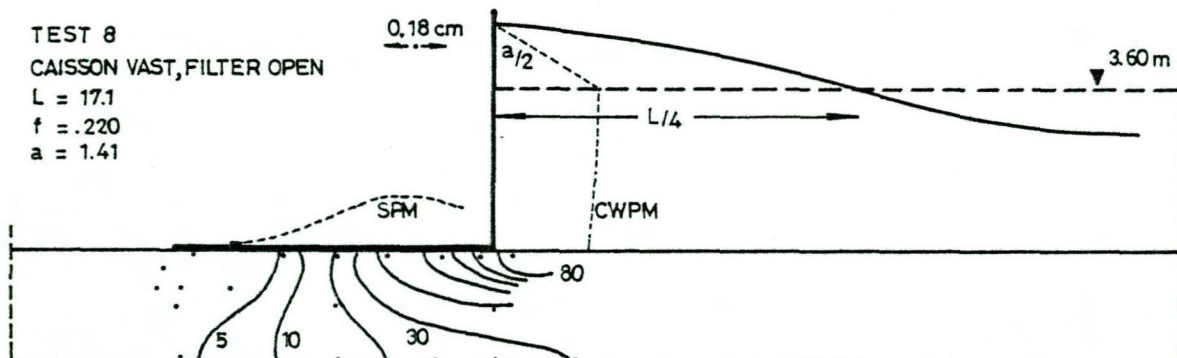




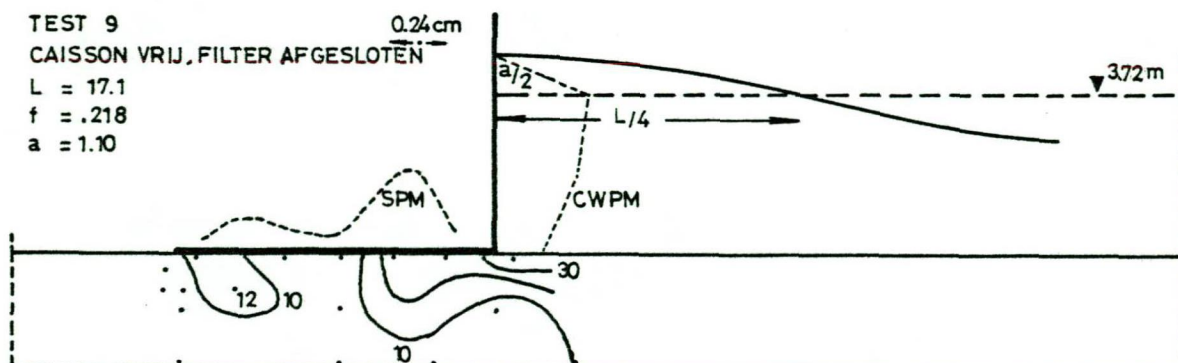
COMPUTER PROGRAMMA SEEP
CAISSON VAST
SEMI STATIONAIRE SINUS GOLF
L = 26.0



TEST 8
CAISSON VAST, FILTER OPEN
L = 17.1
f = .220
a = 1.41



TEST 9 0.24
CAISSON VRIJ, FILTER AFGESLOTEN
L = 17.1
f = .218
a = 1.10





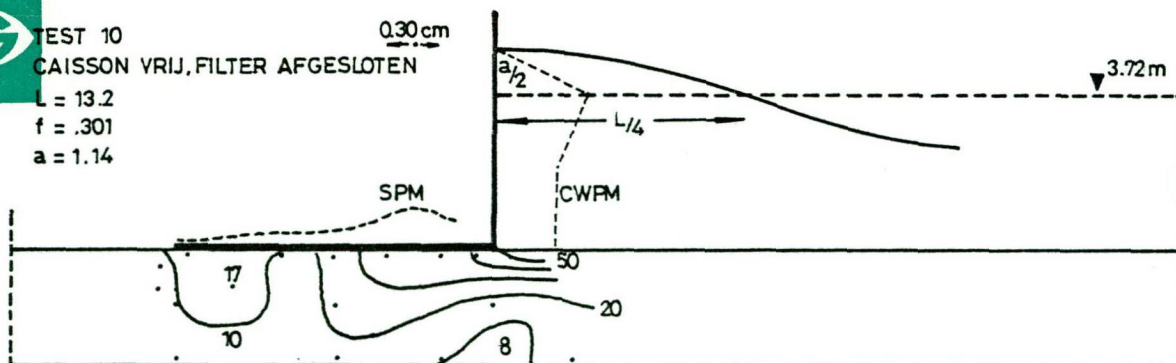
TEST 10

CAISSON VRIJ, FILTER AFGESLOTEN

$L = 13.2$

$f = .301$

$a = 1.14$



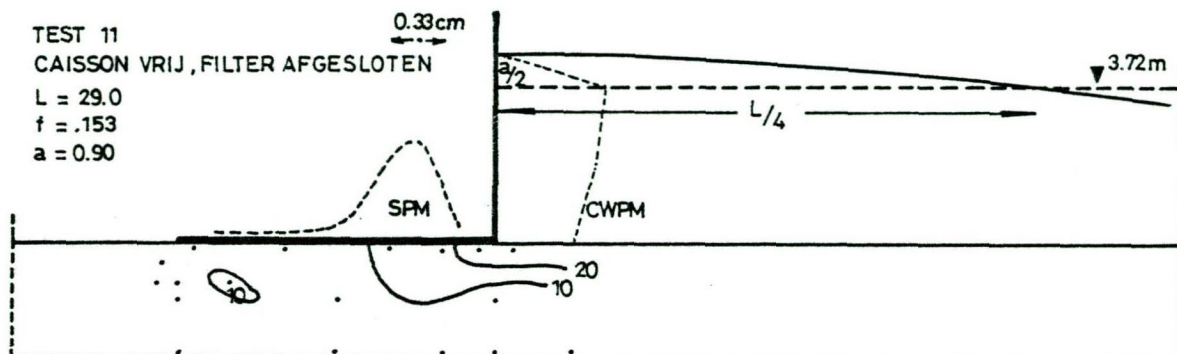
TEST 11

CAISSON VRIJ, FILTER AFGESLOTEN

$L = 29.0$

$f = .153$

$a = 0.90$



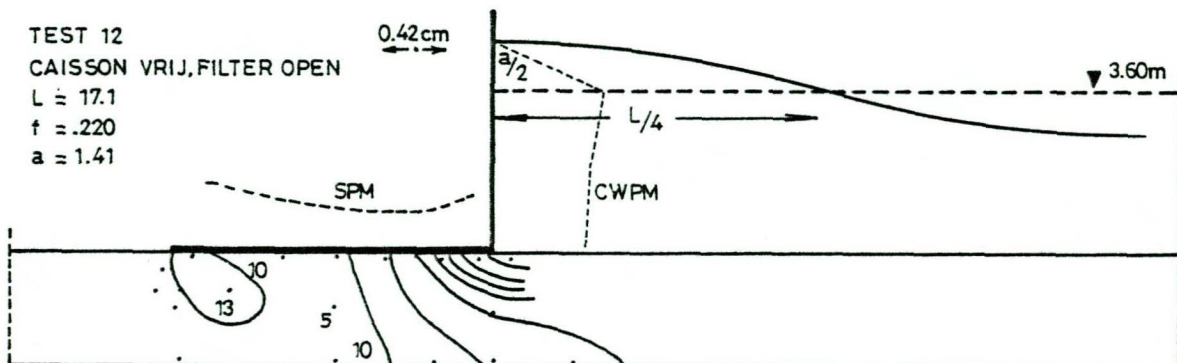
TEST 12

CAISSON VRIJ, FILTER OPEN

$L = 17.1$

$f = .220$

$a = 1.41$



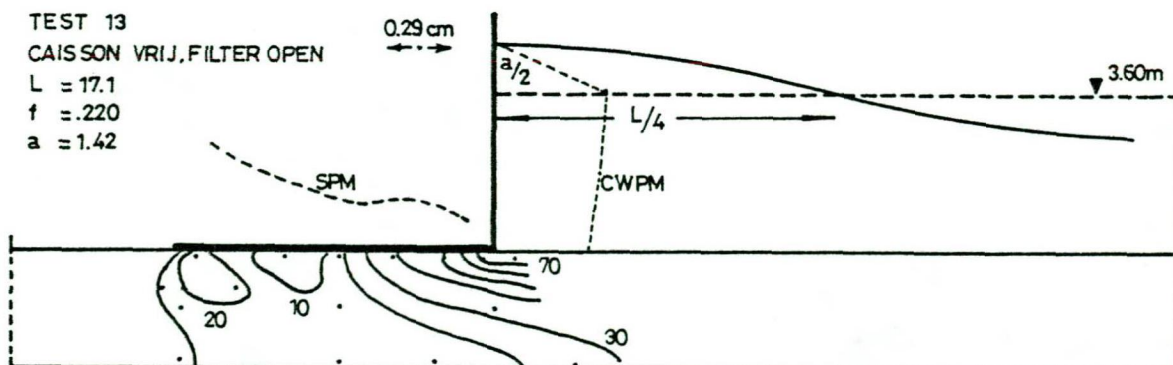
TEST 13

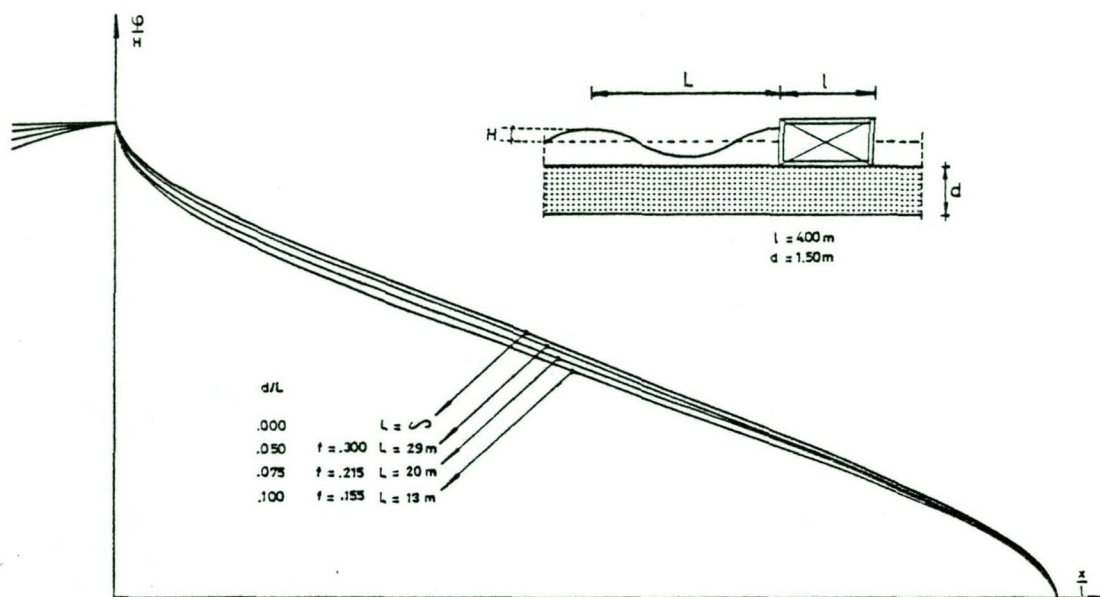
CAISSON VRIJ, FILTER OPEN

$L = 17.1$

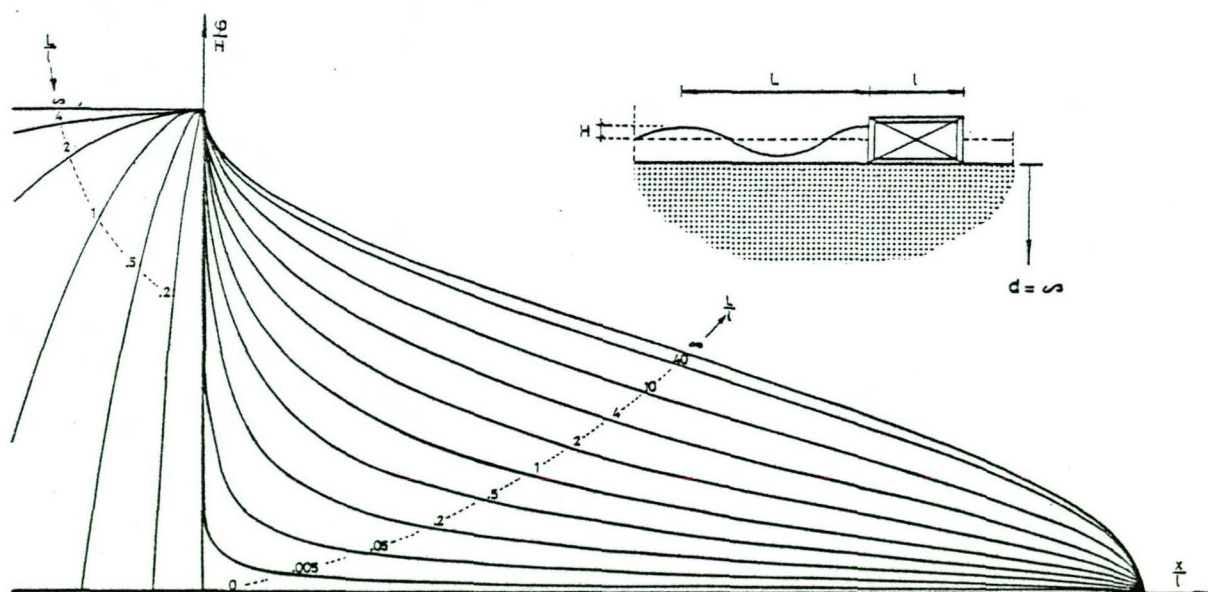
$f = .220$

$a = 1.42$

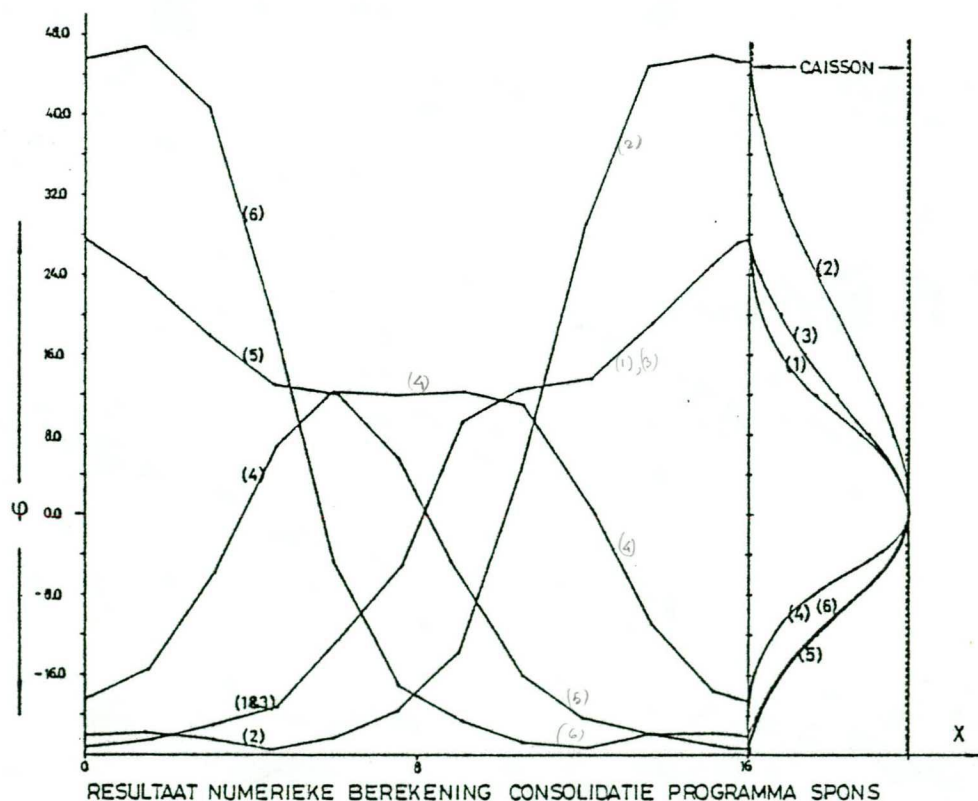
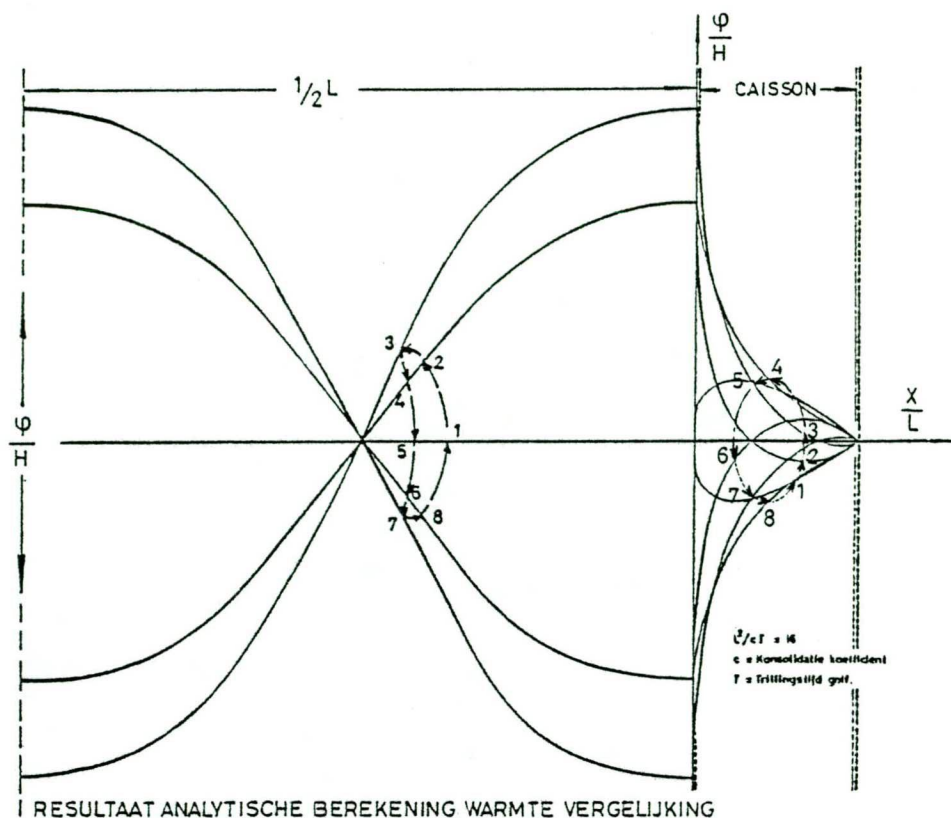


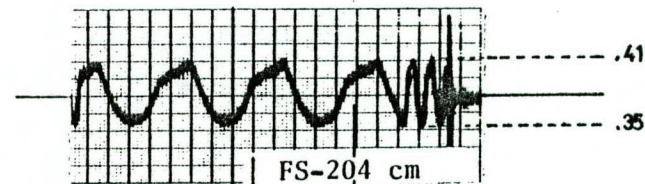
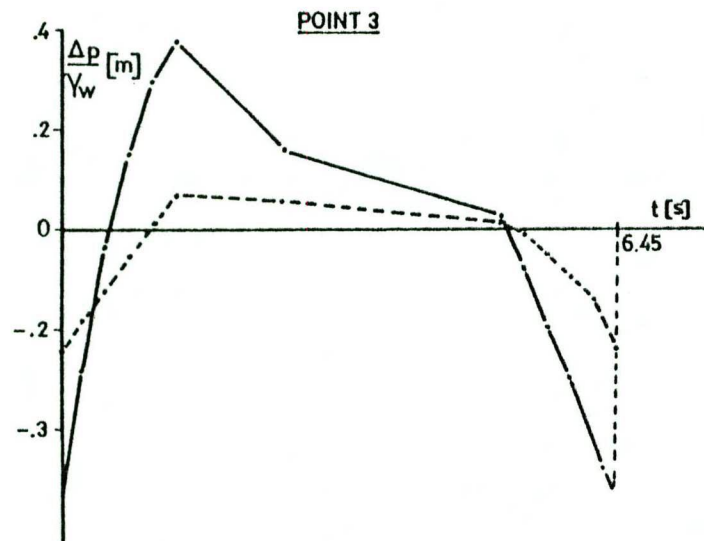
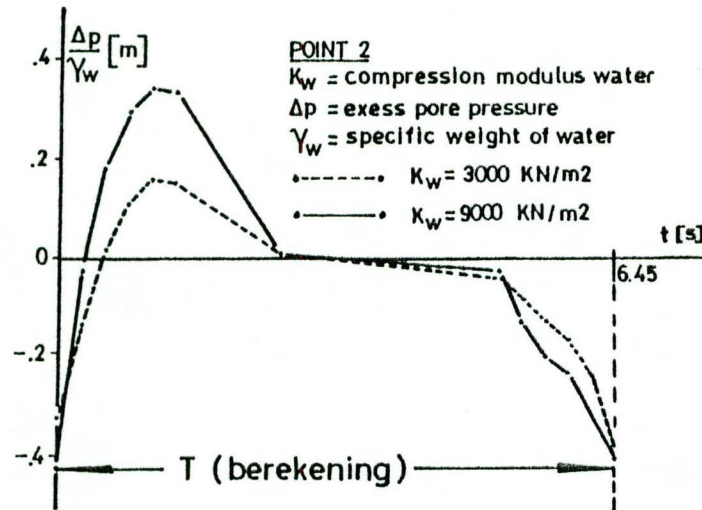
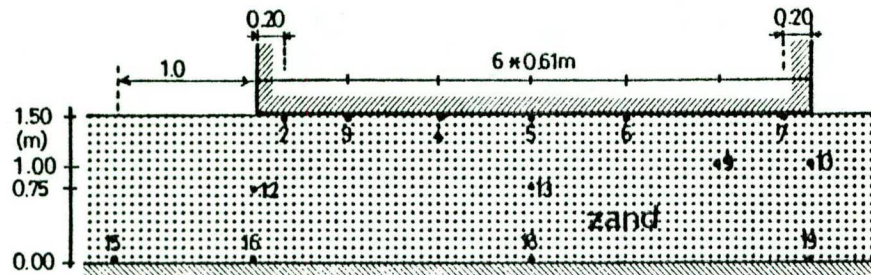


POTENTIAALVERDELING ONDER CAISSON BIJ MAXIMALE AMPLITUDE.

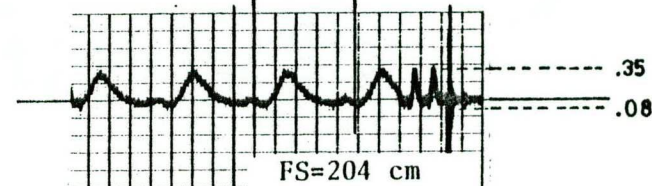


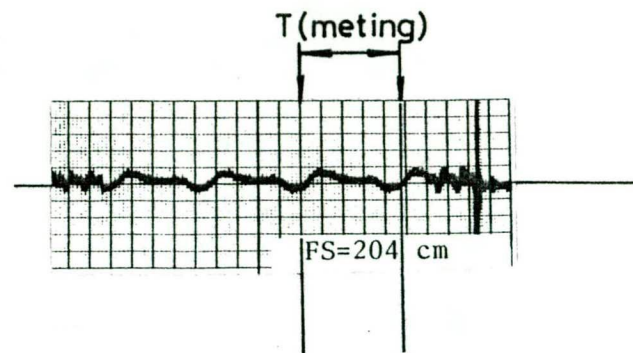
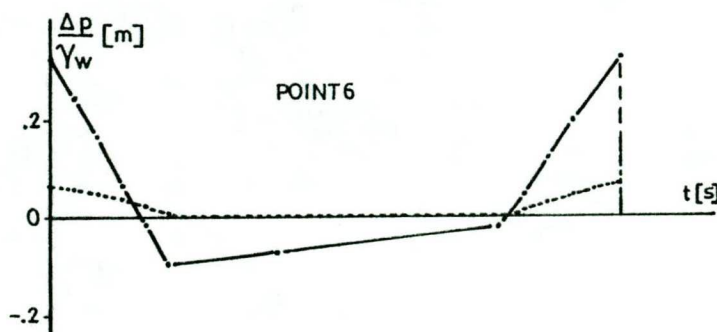
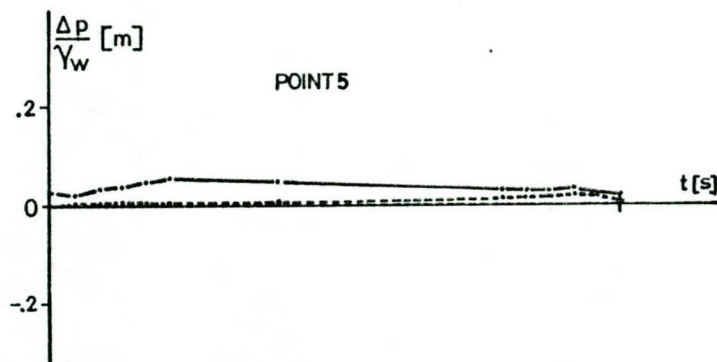
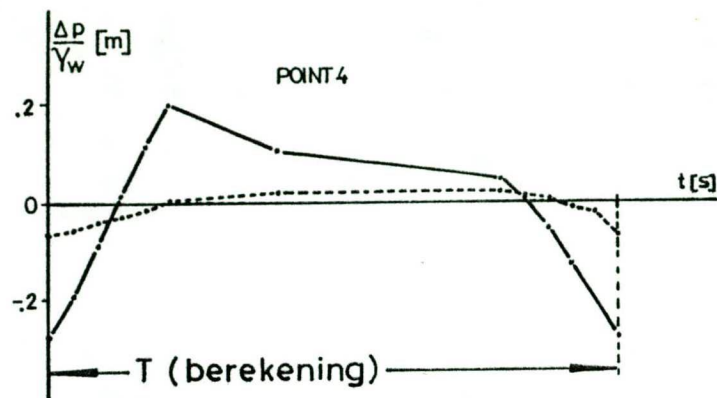
POTENTIAALVERDELING ONDER CAISSON BIJ MAXIMALE AMPLITUDE





T (meting)





- $K_w = 3000 \text{ KN/m}^2$
- $K_w = 9000 \text{ KN/m}^2$



