



Veldproeven op teenconstructies in Zeeland

Meetrapport met verkennende analyse

Definitief rapport

Deltares

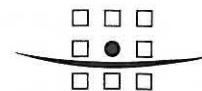
18 december 2008



ROYAL HASKONING

thinking in
all dimensions

A COMPANY OF



ROYAL HASKONING

HASKONING NEDERLAND B.V.
KUST & RIVIEREN

Barbarossastraat 35
Postbus 151
6500 AD Nijmegen
(024) 328 42 84 Telefoon
(024) 360 54 83 Fax
info@nijmegen.royalhaskoning.com E-mail
www.royalhaskoning.com Internet
Arnhem 09122561 KvK

Documenttitel Veldproeven op teenconstructies in Zeeland
Meetrapport met verkennende analyse
Verkorte documenttitel Veldproeven Teenconstructies
Status Definitief rapport
Datum 18 december 2008
Projectnaam Veldproeven teenconstructies
Projectnummer 9T5583.A0
Auteur(s) ir. D.J. Peters
Opdrachtgever Deltares
ir. R. 't Hart
Referentie 9T5583.A0/R0001/416450/MJANS/Nijm

INHOUDSOPGAVE

	Blz.	
1	INLEIDING	1
1.1	Opdracht	1
1.2	Projectbeschrijving	1
1.3	Achtergrond	1
1.4	Betrokken partijen	2
2	SELECTIE LOCATIE PROEFNEMINGEN	3
2.1	Eisen aan locatie	3
2.2	Beperkingen gekozen locaties	4
2.3	Karakteristieken gekozen locaties	5
3	PROGRAMMA VAN EISEN PROEF	6
4	BESCHRIJVING PROEFOPSTELLING	8
5	MEETRESULTATEN	11
5.1	Verplaatsingsmetingen op verschillende krachtniveaus	11
5.2	Verplaatsingsmetingen constante kracht gedurende getijdencyclus	19
5.3	Discussie kracht en verplaatsingsmetingen	22
5.4	Waterspanningsmetingen	23
6	VERKENNENDE ANALYSE PROEFRESULTATEN	26
6.1	Doel verkennende analyse	26
6.2	Berekening kracht op teen	26
6.3	Damwandberekening	27
6.4	Plaxisberekening krachtsvariatie	29
6.5	Plaxisberekening c-phi reductie	35
6.6	Plaxisberekening waterstandsvariatie	36
6.7	Bevindingen	37
7	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	39

BIJLAGEN

1. Meetrapport BAS Research & Technology BV
2. Calibratie rapporten vijzel met bijbehorende toelichting

1 INLEIDING

1.1 Opdracht

Royal Haskoning heeft in augustus 2008 opdracht ontvangen van Deltares voor het uitvoeren van veldproeven op teenconstructies.

Het project maakt deel uit van een groter geheel van activiteiten ter verificatie van de modellering van steenzettingen in het ontwerp- en toetsprogramma SteenToets.

1.2 Projectbeschrijving

Het project betreft het beproeven van teenconstructies met een horizontale kracht. De gedachte daarbij is dat deze kracht de belasting representeert die de bekleding uitoefent op de teenconstructie indien deze naar beneden glijdt en tegen de teen gaat rusten.

Er zijn twee locaties beproefd. Op één locatie bestaat de teenconstructie uit een rij perkoenpalen en op de andere uit een doorgaande houten damwand. In beide gevallen is de teen voorzien van een kreukelbrem met steenbestorting.

De doelstelling van de proeven is het verkrijgen van inzicht in het mechanisch gedrag van de teenconstructie voor wat betreft zijn functie als laterale steun van de steenbekleding. Dit bij variatie van de steunkracht en variatie van de waterstand.

1.3 Achtergrond

Bij verschillende onderzoeken van de laatste jaren is verondersteld dat er een teenconstructie aanwezig is die afschuiving van de bovengelegen steenzetting verhindert. Wat dat inhoudt, is niet nader gekwantificeerd. Bij de toetsing volgens de VTV is er ten aanzien van dit aspect hoogstens sprake van een eenvoudige toetsing: op basis van uiterlijke kenmerken en goed gedrag (geen verzakking, geen 'kammen van de steenzetting') wordt een oordeel gevormd. Er is slechts een rekenregel voor de stabiliteit van de teenbestorting onder golfaanval.

In de praktijk treden er weinig problemen op met steenzettingen die direct kunnen worden gerelateerd aan het tekortschieten van de stabiliteit van de teenconstructie. Onder maatgevende stormomstandigheden bevindt de teenconstructie zich normaliter ook diep onder water en men zou kunnen veronderstellen dat de teenconstructie er wat betreft de veiligheid niet toe doet.

Dat in de praktijk eigenlijk nooit problemen met teenconstructies optreden zou ook kunnen worden toegeschreven aan het feit dat bekledingen eigenlijk nog nooit door maatgevende stormen zijn belast: er is geen ervaring met maatgevende condities.

Metingen in de Deltagoot hebben aangetoond dat, als er golven optreden die in de buurt komen van de kritieke golfhoogte, de normaalkracht in de zetting kan oplopen tot bijna een kracht die mag worden verwacht als de toplaag wrijvingsloos op de granulaire laag zou liggen. Dit betreffen zeer aanzienlijke krachten, waarvan niet mag worden aangenomen dat een willekeurige teenconstructie die kan opnemen.

Daarbij dient te worden bedacht dat bij de betreffende proef in de Deltagoot slechts een deel van het talud was bekleed met een steenzetting, de rest was afgedekt met een betonplaat die niet meedeed aan de krachtsopbouw.

De teenconstructie speelt een rol bij het opsluiten van de bekleding. De teenconstructie maakt het mogelijk dat er een normaalkracht in de zetting aanwezig is, die middels klemming zorgt voor een stabiliteit die hoger is dan die welke volgt uit het gewicht van het enkele element. De stijfheid van de teenconstructie in verhouding tot de stijfheid van de toplaag tegen afschuiven van de toplaag over de filterlaag bepaalt in welke mate een grote normaalkracht die in de zetting van hoog op het talud richting teen wordt opgebouwd, nabij de teen kan bestaan, of dat een grote flexibiliteit van de teenconstructie de normaalkracht en daarmee de klemming begrenst.

De veldproeven op geklemde steenzettingen die zijn uitgevoerd in 2006 geven een indicatie van een lagere uittreksterkte dicht bij de teen. Dit kan worden opgevat als een verstoring van de normaalkrachtsopbouw. De normaalkracht wordt lager op het talud groter, doch neemt weer af nabij de teen.

Dit fenomeen kan worden gereproduceerd met analytische berekeningen waarbij de toplaag wordt gemodelleerd als een elastische staaf op een axiaal verende bedding met een veer aan de onderzijde van het talud.

Gezien de onzekerheid hieromtrent werd het zinnig geacht om onderzoek te doen aan de (kracht op de) teenconstructie.

Het stabiliserend effect van de teenconstructie op afschuiving over de filterlaag is met een aantal proeven in de praktijk vast te stellen door te meten welke normaalkrachten er al in de zetting nabij de teen aanwezig zijn en wat de maximale kracht is die de teenconstructie kan opnemen. Om ook aan de vervormingen te kunnen rekenen dient ook de stijfheid van de teenconstructie te worden onderzocht.

1.4 Betrokken partijen

Het onderzoek is voortgekomen vanuit een vraag van RWS-PBZ. Omdat er sprake is van een algemeen belang voor waterkerend Nederland, is RWS-WD formeel de trekkende partij.

Vanuit haar taak van kennisinstituut is Deltares belast met de realisatie van de kennisontwikkeling. Voor het uitvoeren van de proeven fase is een beroep gedaan op Royal Haskoning. Royal Haskoning heeft de proeven uitgevoerd samen met haar onderaannemers BAS Research & Technology en Fugro.

De finale kwaliteitsbewaking van de resultaten van het onderzoek ligt bij de klankbordgroep steenbekledingen van de ENW.

2 SELECTIE LOCATIE PROEFNEMINGEN

2.1 Eisen aan locatie

De teenbeproevingen zijn nieuw. De indruk bestond dat het de efficiency en kwaliteit van de beproevingsmethoden ten goede zou komen als het seizoen van 2008 kon worden benut voor een beperkt aantal proeven. Het leereffect in de wijze van beproeven en in het te verwachten meetresultaat, kan dan worden meegenomen in een iets omvangrijker meetcampagne in 2009. Dit rapport betreft de proeven van uitgevoerd in het najaar van 2008.

Gezien de kosten die met een enkele meting gemoeid zullen zijn, wordt prioriteit gegeven aan het beproeven van verschillende teenconstructies boven het vaststellen van de reproduceerbaarheid van de meting en de variatie van de sterkte en/of stijfheid van één type teenconstructie.

Indien bij de proef wordt getracht de bezwijkbelasting van de teenconstructie vast te stellen, bestaat het risico dat de proef schade aanricht, mogelijk zelfs destructief is, waarmee de keuze van te beproeven locaties wordt gereduceerd tot locaties die hetzelfde jaar nog worden gerenoveerd.

De uitgangspunten voor de uitvoering van de proeven waren als volgt:

- Er wordt beproefd op de locaties die 'in uitvoering' zijn;
- Bij oplevering van het betreffende dijkvak moet ook de proef gereed zijn;
- In 2008 kan er alleen gemeten worden aan nieuwe, dan wel vernieuwde zettingen;
- In 2008 zou er tevens aan de oude zettingen kunnen worden gemeten die in 2009 aangepakt worden.

Van de dijkvakken in uitvoering in 2008 waren de volgende locaties potentieel geschikt:

1. Schelphoek Oost (Schouwen-Duiveland, Zuid oever, langs Oosterschelde);
3. Bruinispolder (nabij Bruinisse, Schouwen-Duiveland, Zuid-Oost oever, langs Mastgat);
6. Leendert Abraham polder (nabij Kats, Noord-Beveland, Oost oever, langs Oosterschelde).

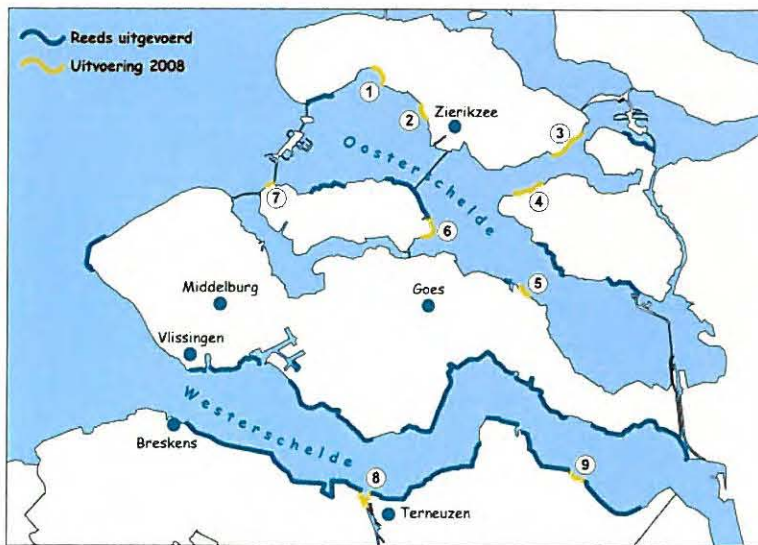
De nummers refereren aan de projectnummers in figuur 1.

Omdat het uiteindelijk toch moeilijk bleek de onderzoeksactiviteiten in te plannen in de uitvoeringswerkzaamheden van het project Zeeweringen zijn door projectbureau Zeeweringen locaties ter beschikking gesteld die in 2009 zullen worden gerenoveerd.

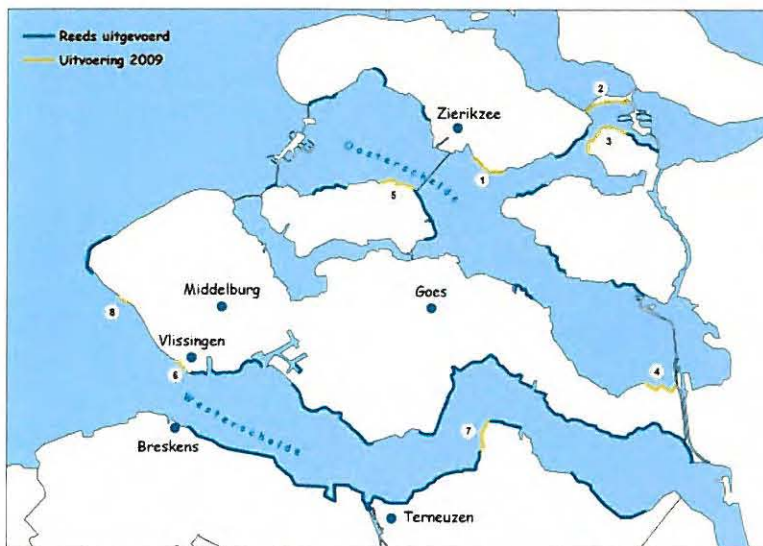
De ter beschikking gestelde locaties zijn:

1. Vierbannenpolder (nabij Ouwkerk, zuidzijde Schouwen-Duiveland);
3. Willemspolder (nabij Sluis, kop van St. Philipsland).

Deze nummers refereren aan de projectnummers in figuur 2.



Figuur 1 Locaties werk in uitvoering 2008



Figuur 2 Locaties werk in uitvoering 2009

2.2 Beperkingen gekozen locaties

Maximale vervorming

Indien de teenconstructies tot bezwijken worden belast, zal de (blijvende) vervorming van de damwand naar schatting 50 à 100 mm zijn.

Omdat de ter beschikking gestelde locaties het winterseizoen 2008-2009 nog volledig in functie moeten zijn als waterkering is er voor gekozen om de proeven te beperken tot een maximale vervorming van 20 à 30 mm, waarbij de blijvende vervorming na terugvering minimaal zal zijn.

Plain-strain situatie

In de modelering van de proeven is een plain-strain situatie de meest voor de hand liggende. In de proeven wordt de bekleding echter slechts lokaal gelijkmatig belast en zullen er randeffecten optreden die zouden moeten worden geminimaliseerd.

Loszagen van een stuk teenschot en bekleding is mogelijk, als de bekleding een blokkenbekleding betreft. Voor zuilenzettingen is loszagen geen optie, omdat die bij belasting in de richting tegen het talud op, in zijwaartse richting zal gaan vervormen. Voor het voorland / teenbestorting is vrijgraven ook geen optie omdat dan de versterkende randeffecten omgezet worden in een verzwakkend randeffect. Er is gekozen voor een uitvoeringsmethode van de proef waarbij het breedte effect niet beïnvloed of gelimiteerd is, maar waarbij getracht is het effect te meten en te betrekken in de verklarende analyses.

2.3 Karakteristieken gekozen locaties

De belangrijkste karakteristieken van de gekozen taluds zijn als volgt:

	Sluis	Ouwerkerk
Bekledingstype	Hydroblocks	Basalt
Toplaagdikte	40 cm	25 cm ter plaatse van proef 35 cm boven +1.50
Type teenconstructie	Perkoenpalen	Damwand, 1.8 m lang, d = 8 cm
Helling	1:3.07	1:3.41
Niveau teen	+0.46	-0.50
Top bekleding	+3.19 Daarboven met beton ingegoten strook tot +4.11	+3.07
Voorland	Aflopend circa 1:4 tot circa -0.50 Vervolgens relatief vlak breuksteen	Aflopend ca 1:10 breuksteen
Jaar van aanleg zetting (geschat)	1992	1954
Bijzonderheden	Naburige vakken bevatten 25 cm hoge zuilen	De basaltzetting oogt 'mooi' en strak, goed geklemd. De zetting start vrijwel horizontaal vanaf de teen en loopt dan 'hol' op naar de waarde van de hoek van de helling en heeft vervolgens een tonronde. Opvallend is dat de zetting zich in het horizontale deel circa 5 à 10 cm onder de top van de damwand bevind.

3 PROGRAMMA VAN EISEN PROEF

De teenconstructie, dan wel de overgangsconstructie heeft een functie in het in positie houden van de daarboven liggende toplaag. De toplaag kan schuiven over de filterlagen, en wordt daarbij gehinderd door de wrijving van de toplaag op de filter en door de laterale weerstand van de teenconstructie.

De belasting van de teen is daardoor niet eenduidig te definiëren en is afhankelijk van de stijfheid van de teen. De belasting van op de teen zal in de tijd variëren, omdat als gevolg van zetting van de dijk 'kruip' zal optreden in de weerstand biedende mechanisme van wrijving van de toplaag op de filterlagen. Ook de variatie van de waterstand zal hier invloed op hebben. Als de waterdruk toeneemt, neemt de korreldruk af en zal er vervorming in de ondergrond optreden. Deze zal indien deze boven een zekere waarde is, niet elastisch zijn, waardoor de wissel belasting van de waterstanden een soort hysteresis effect geeft, waarbij de vervorming per getijde cyclus licht toeneemt.

Om hier inzicht in te krijgen en een indicatie van parameters te verkrijgen moet een proef worden uitgevoerd, waarbij de proef belasting de werkelijke belasting zo getrouw mogelijk nabootst.

Omdat vooral stijfheid een issue is, moeten zowel belastingen als vervorming worden gemeten.

Omdat de hierboven beschreven werkelijke belasting op de teen een mengvorm van krachtsgestuurde en vervormingsgestuurde belasting zal zijn, moet volgens beide principes gemeten kunnen worden.

De normaalkrachtsopbouw bouwt zich in de praktijk op met meerdere snelheden:

- Per golf (periode maximaal 5 à 10 sec) varieert de druk op en onder de bekleding, en de klemkracht tussen de stenen, en daarmee (in mindere mate) ook de klemkracht tegen de teen;
- Binnen een getijde cyclus varieert de belasting van onderwater gewicht naar bovenwater gewicht;
- Tijdens een zware storm worden de blokken opgelicht en vindt er opbouw van normaalkracht plaats (ref. proef Deltagoot). Dit kan binnen één of enkele aansluitende getijde cycli. De krachtsopbouw treedt vooral op bij hoogwater. Bij afnemend tij zal de kracht gehandhaafd blijven en eventueel nog toenemen door het bovenwater gewicht;
- Gedurende het proces van zetting van het grondlichaam van de dijk kan de normaalkracht toenemen. Dit proces is uitgesmeerd over meerdere jaren. Dit kan moeilijk met metingen gesimuleerd worden.

De bedoeling van de proef om gegevens over sterkte en stijfheid te verzamelen voor de hoge en middelhoge belastingsnelheden. De metingen moeten over meerdere getijde cycli worden uitgestrekt. Er wordt gekozen voor het meten van belastingsnelheden tussen enkele minuten en 6 uur, en meting over 24 uur.

De gegevens die de beproeving van een teenconstructie moet opleveren zijn:

- De bezwijkbelasting van de teenconstructie, meer specifiek: de maximale kracht /m¹ die de teenconstructie kan opnemen;
- De stijfheid (veer karakteristiek) van de teenconstructie;
- De voorspanning die in de uitgangssituatie in de steenzetting aanwezig is.

Door de krachts-verplaatsingsrelatie te meten worden de gewenste gegevens verkregen. Om de voorspanning in de zetting (vermoedelijk een knikpunt in de krachts-verplaatsingsrelatie) te kunnen bepalen zal de verplaatsingsmeting zeer nauwkeurig moeten worden uitgevoerd en bij voorkeur niet aan het belastingsframe, maar aan de blokken juist voor de teenconstructie. Als referentie moet een vast punt worden aangehouden. Dit zal moeten afsteunen op voldoende afstand van de teen op het voorland. Aangenomen mag worden dat op een afstand van 3 maal de lengte van de toegepaste (perkoen)palen het voorland niet meer vervormt. Aangezien de teenconstructie ongetwijfeld niet perfect gelijkmatig zal vervormen is het verstandig de verplaatsingsmeting in dubbel uit te voeren, waarvan één maal buiten de belaste zone.

De kracht zou eigenlijk moeten worden gemeten in het vlak tussen teenconstructie en blokkenrij die neerwaarts wordt verschoven. Daar valt echter niet te meten, zodat de meting ter plaatse van de vijzel zal moeten worden gerealiseerd. Wrijving van belastingsconstructie met de eronder liggende steenzetting dient te worden geminimaliseerd.

Tabel 1 Overzicht proeven per locatie

Nummer	Krachtsniveau	Belastingsnelheid
1	Korte proef op krachtniveau 25 kN	Drie belasting/ontlasting cycli op drie snelheden: 1 ^e keer in 1 minuut, 2 ^e keer in 5 minuten, 3 ^e keer in 30 minuten
2	Korte roef op krachtniveau 45 kN	Drie belasting/ontlasting cycli op drie snelheden: 1 ^e keer in 1 minuut, 2 ^e keer in 5 minuten, 3 ^e keer in 30 minuten
3	Proef op krachtniveau 65 kN	Drie belasting/ontlasting cycli op drie snelheden: 1 ^e keer in 1 minuut, 2 ^e keer in 5 minuten, 3 ^e keer in 30 minuten
4	Proef op krachtniveau 80 kN Krachtsgestuurd	Kracht opbouwen in 6 uur, daarna 18 uur constant *)
5	Proef op krachtniveau 80 kN Vervormingsgestuurd met vervorming verkregen uit krachtsgestuurde proef	Verplaatsing opbouwen in 6 uur en daarna 18 uur constant houden *)
*) Belasting starten bij laagwater, belasting maximaal bij hoogwater en vervolgens 'vasthouden' gedurende getijde cyclus.		

Bij de vervormingsgestuurde meting moet de verplaatsing van de teen absoluut gemeten worden (ten opzichte van een nulpunt) en niet relatief ten opzichte van de zich direct boven de vijzel bevindende bekleding.

4 BESCHRIJVING PROEFOPSTELLING

Voor de proefopstelling is gekozen voor volledig gescheiden systemen voor het aanbrengen van de belasting en voor het registreren van de vervorming.

De kracht is centrisch aangebracht middels een vijzel in een in de bekleding gecreëerde uitsparing. De kracht uit de vijzel wordt aan weerszijden uniform verdeeld over 1 m lengte middels een stalen balkje.

De vijzel is aangestuurd door een computergestuurde compressor. Op dit apparaat is ook één signaal voor een verplaatsingsmeting aangesloten voor directe terugkoppeling bijvoorbeeld op het overschrijden van een verplaatsingscriterium.

De verplaatsingen worden gemeten met LVDT's. Er is gekozen voor een mechanische overbrenging van het verplaatsingssignaal en een opstelling van de LVDT's in een box boven de hoogwaterlijn. De verplaatsingsmeters zijn aangebracht in twee zones, over de lijn waarin de belasting aangebracht is, en 4 m daarnaast, in een onbelaste zone. Voor een indruk van de opstelling wordt verwezen naar onderstaande foto's en naar het meetrapport in bijlage 1.



Figuur 3 Foto meetlocatie bij Sluis met twee clusters met verplaatsingsopnemers en op de achtergrond de opstelling van de waterspanningsmeters



Figuur 4 Box met de verplaatsingsopnemers



Figuur 5 Vijzel met stalen balkjes in gat in toplaag bestaande uit 40 cm hoge Hydroblocks



Figuur 6 Foto meetlocatie bij Ouwerkerk met twee clusters met verplaatsingsopnemers, en foto van het voorland met de opstelling van de waterspanningsmeters



Figuur 7 Foto's vervorming teenschot na belasting, het koord bevindt zich aan het begin en aan het einde centraal ten opzicht van het teenschot. In het midden is de verplaatsing van het 8 cm dikke houten schot circa 5 cm

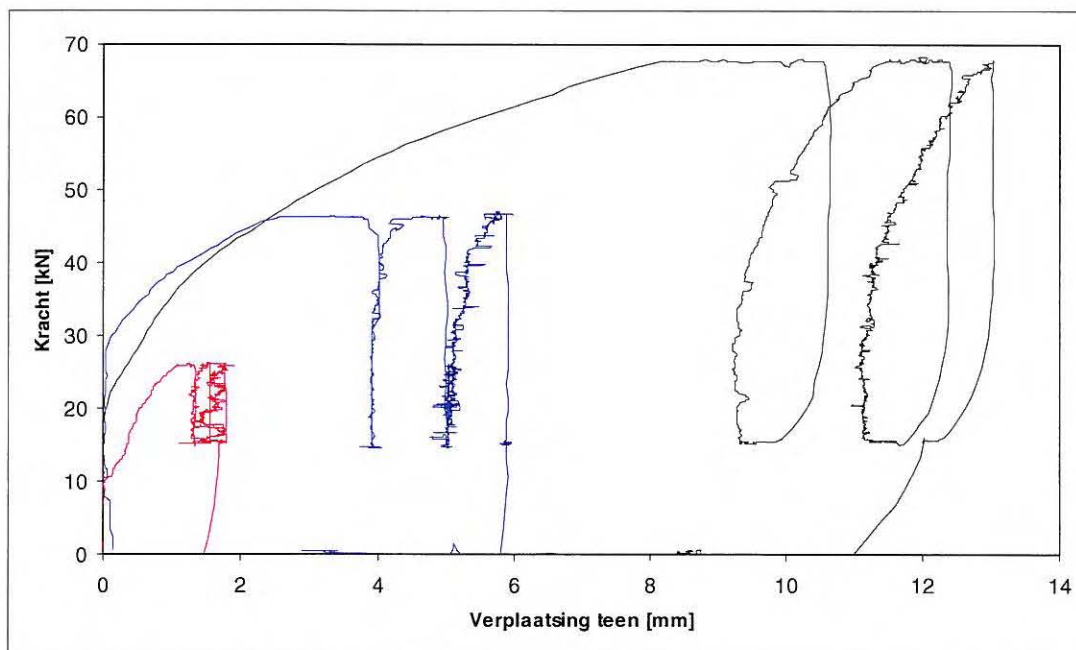
5 MEETRESULTATEN

5.1 Verplaatsingsmetingen op verschillende krachtniveaus

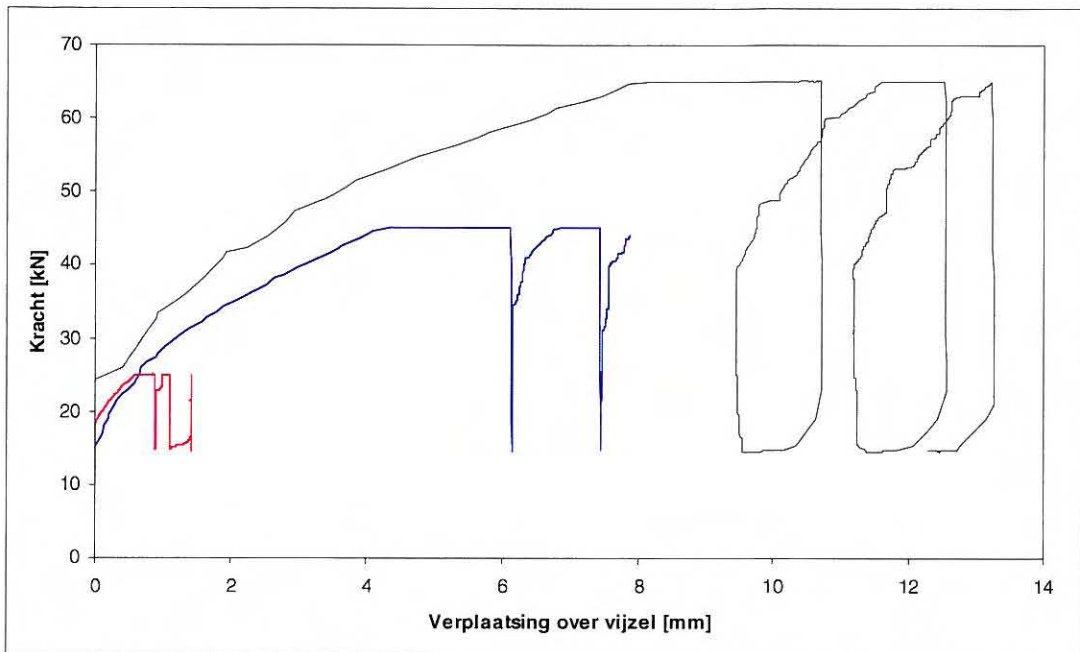
De verplaatsingen zijn gemeten op verschillende hoogtes, namelijk op het teenschot (1), net onder het gat (2), net boven het gat (3), op het midden van het talud (4) en aan de bovenzijde van het talud (5). Deze metingen zijn beschikbaar in twee zones, waardoor er voor elke proef 10 meetsignalen zijn. De meetpunten in de tweede meetlijn in de onbelaste zone worden genummerd 6 t/m 10. Het blijkt dat alleen de metingen 1, 2 en 3 waarden geven die significant afwijken van nul.

De kracht is gemeten door de oliedruk te meten bij de machine. Tevens is de verplaatsing over de vijzel gemeten.

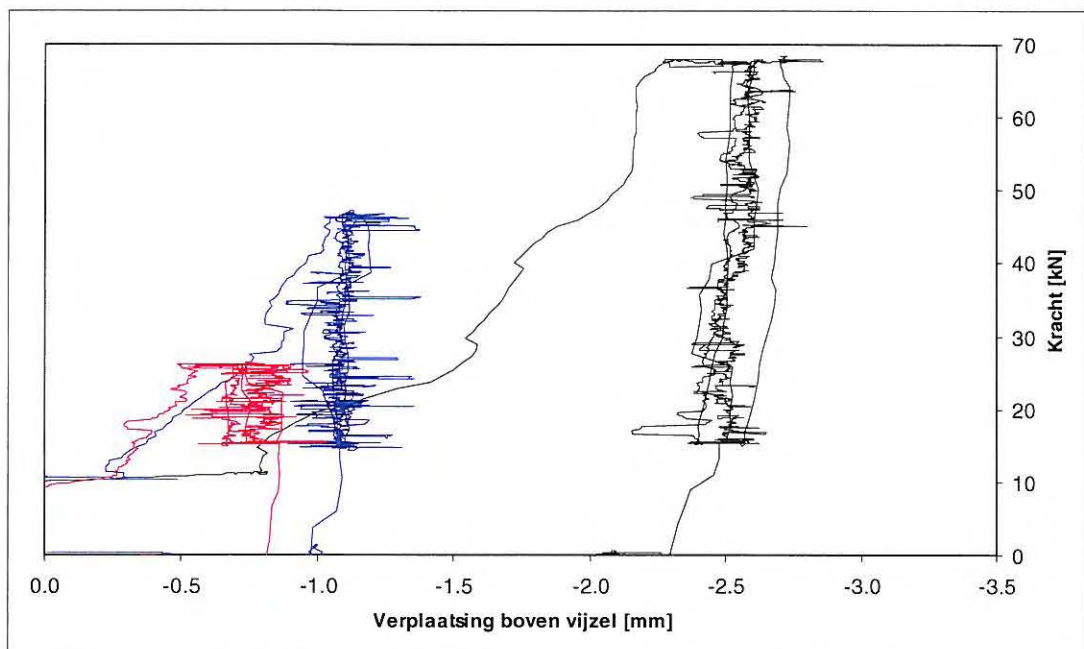
In de onderstaande figuren zijn de gemeten verplaatsingsignalen weergegeven en zijn ook kracht-verplaatsingsdiagrammen gegeven. De verplaatsingsignalen geven 1 meting per seconde. Ten behoeve van een 'stabiele' en leesbare weergave zijn de verplaatsingsignalen 'gladgestreken' door te werken met een lopend gemiddelde over 7 meetwaarden.



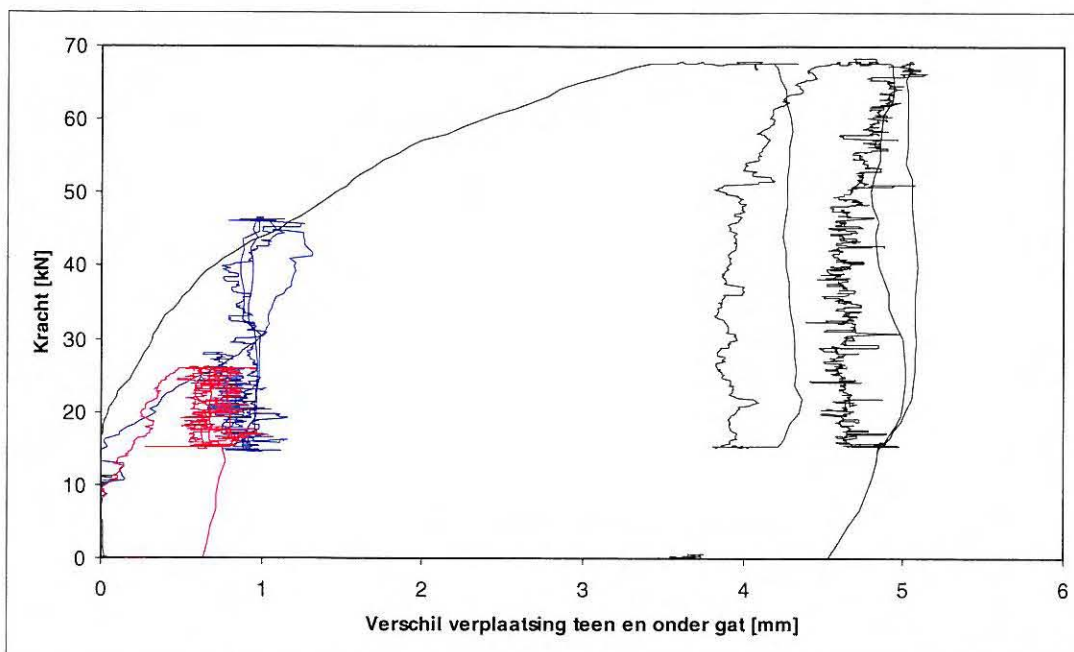
Figuur 8 Kracht-verplaatsingsdiagrammen Sluis



Figuur 9 Kracht-verplaatsingdiagrammen Sluis



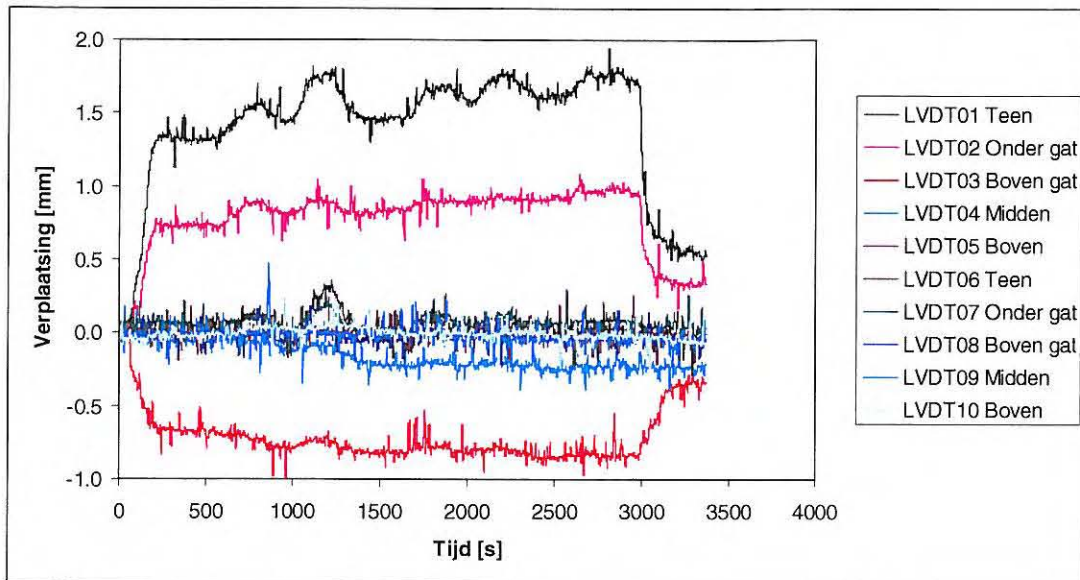
Figuur 10 Kracht-verplaatsingdiagrammen Sluis



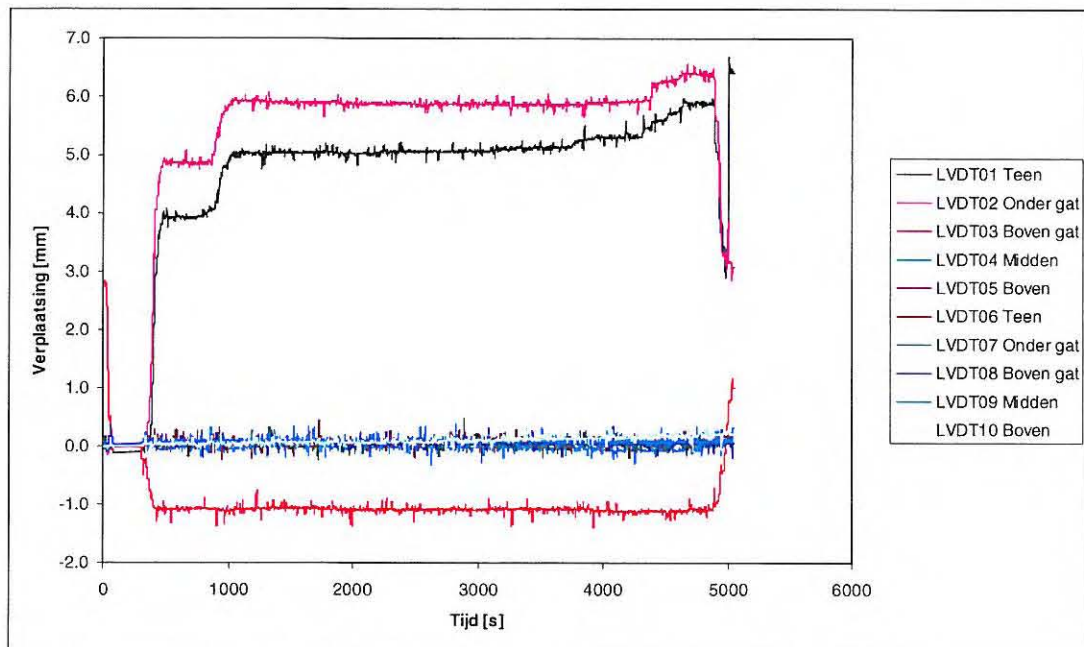
Figuur 11 Kracht-verplaatsingdiagrammen Sluis

Tabel 2 Overzicht karakteristieke meetwaarden

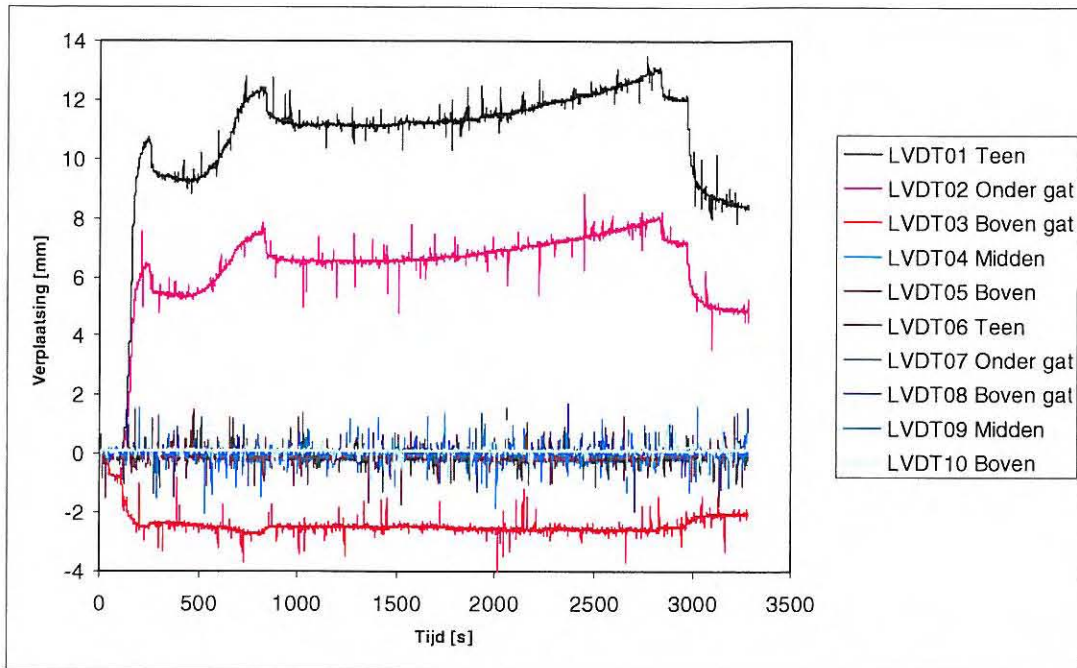
	25 kN	45 kN	65 kN
Start vervorming bij eerste belastingstap	10 kN	28 kN	20 kN
Verplaatsing teen bij bereiken maximale kracht	1.0	2.5	8.2
Uiteindelijke verplaatsing	1.2	3.8	10.4
Terugvering bij terugval kracht naar 15 kN	0	0.2	1.5
Extra verplaatsing teen bij voor de tweede maal bereiken maximale kracht	0.2	0.5	2.2
Uiteindelijke extra verplaatsing	0.3	1.0	3.2
Terugvering bij terugval kracht naar 15 kN	0	0	1.4
Extra verplaatsing teen bij voor de derde maal bereiken maximale kracht	0.2	0.7	2.0
Uiteindelijke extra verplaatsing	0.3	0.2	3.0
Terugvering bij terugval kracht naar 15 kN	0.2	0.1	1.0
Verplaatsing boven gat	0.6	1.1	2.5
Vershil verplaatsing teen en onder gat	0.7	-1.0	4.0



Figuur 12 Verplaatsingdiagrammen Sluis 25 kN

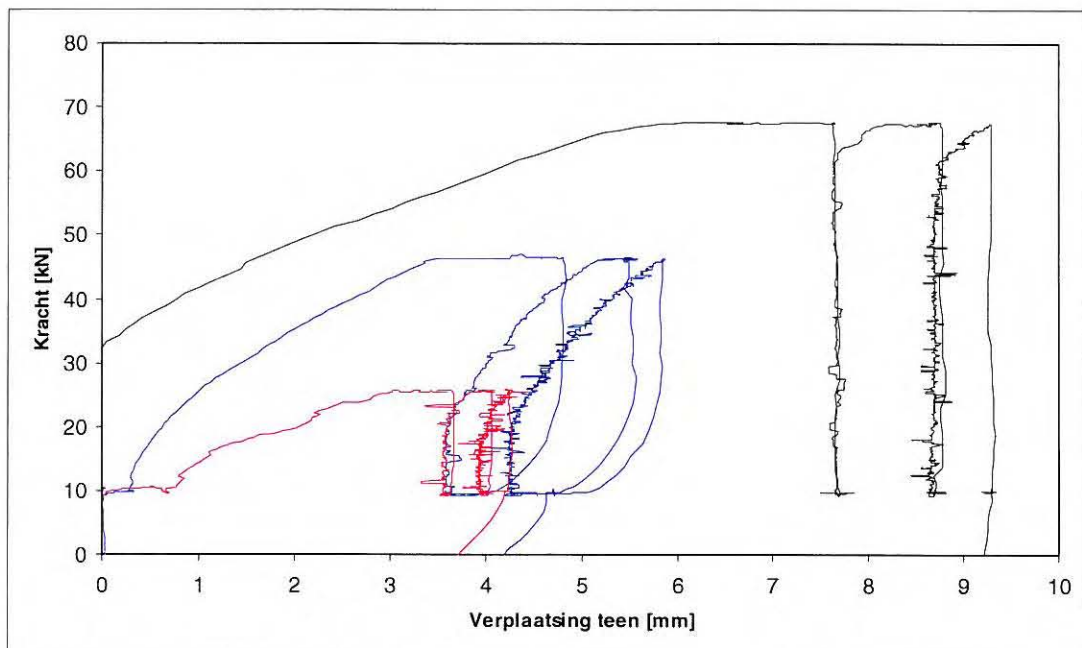


Figuur 13 Verplaatsingdiagrammen Sluis 45 kN

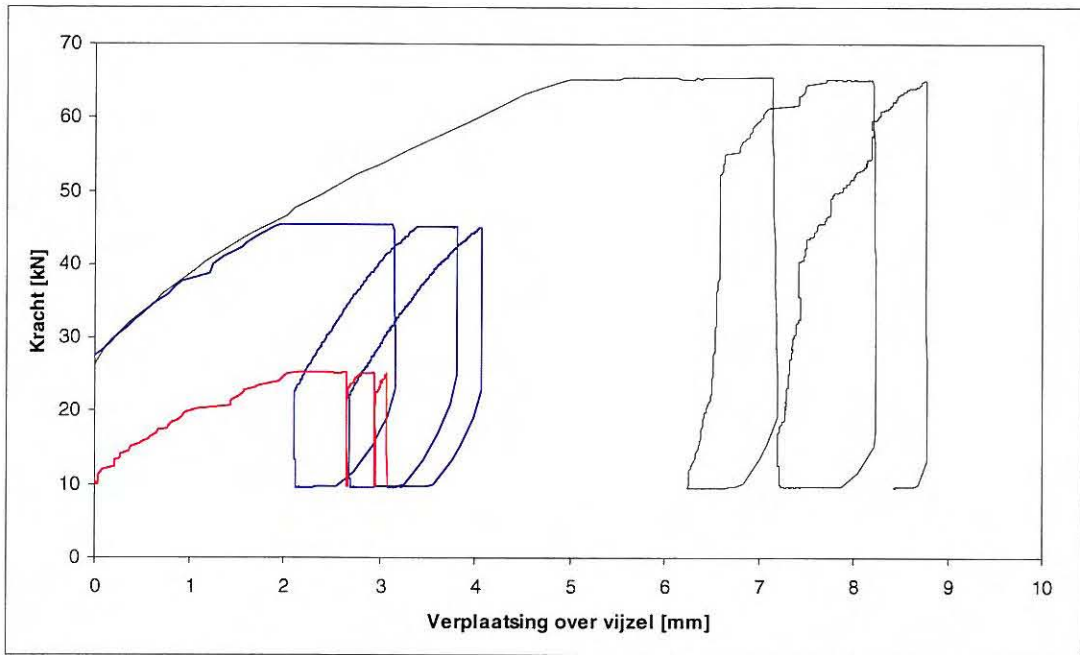


Figuur 14 Verplaatsingdiagrammen Sluis 65 kN

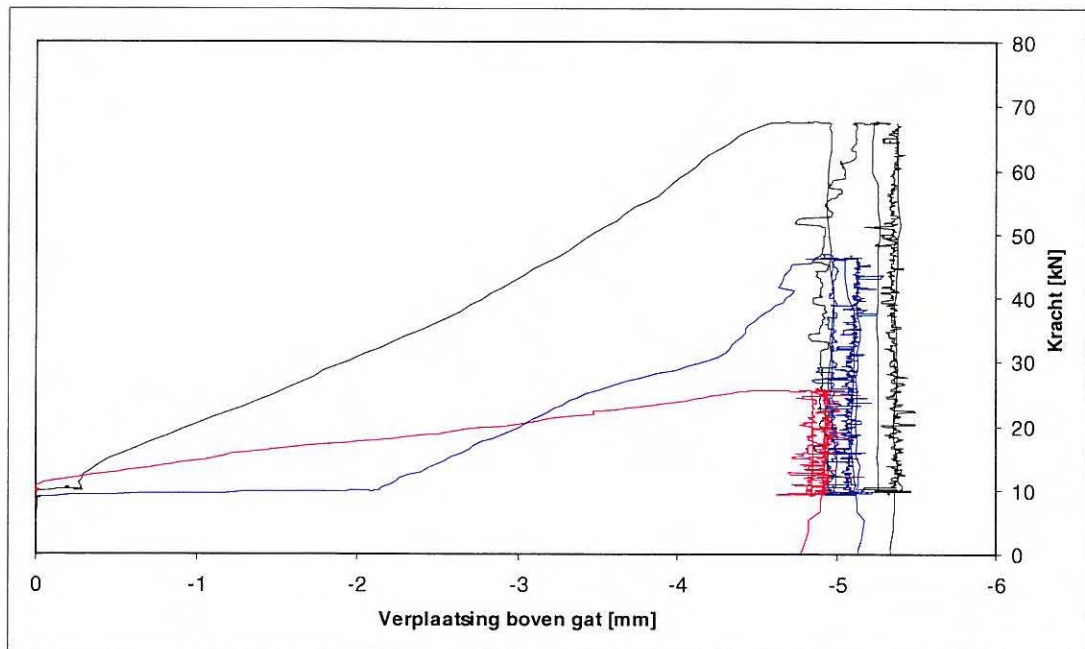
Bij de bestudering van de meetsignalen valt op dat de verplaatsing op de teen in twee van de drie gevallen groter is dan de verplaatsing onder het gat. In een van de gevallen (45 kN) is dat niet zo. Als de verplaatsing aan de teen groter is, kan er sprake zijn van een component uit rotatie. Als de verplaatsing onder het gat groter is, kan er sprake zijn van verdichting van de steenrijen en voegen tussen het meetgat en de teen. De verhouding van verplaatsing boven het gat ten opzichte van onder het gat is bij het laagste belastingniveau circa 1:2 en bij de middelhoge en hoge belastingniveaus 1:4 à 5.



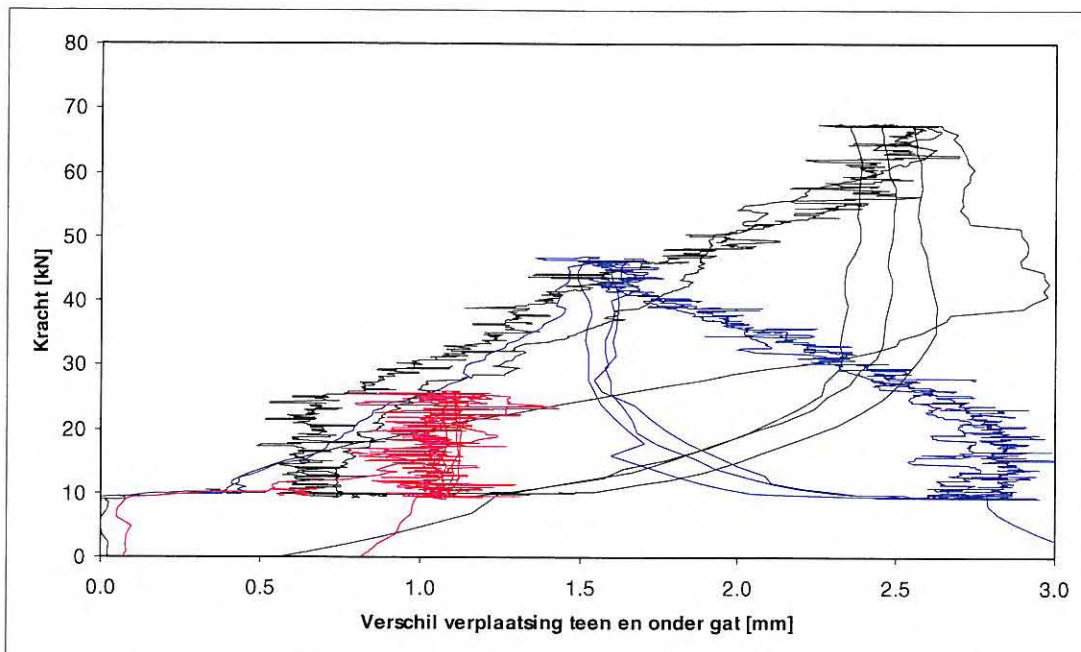
Figuur 15 Kracht-verplaatsingdiagrammen Ouwkerk



Figuur 16 Kracht-verplaatsingdiagrammen Ouwerkerk



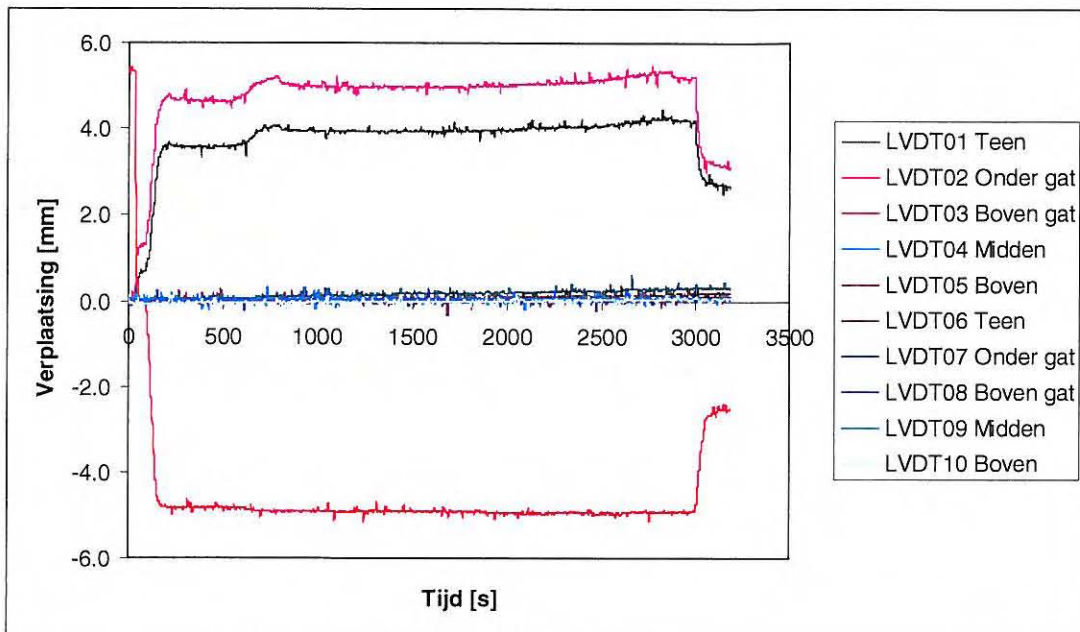
Figuur 17 Kracht-verplaatsingdiagrammen Ouwerkerk



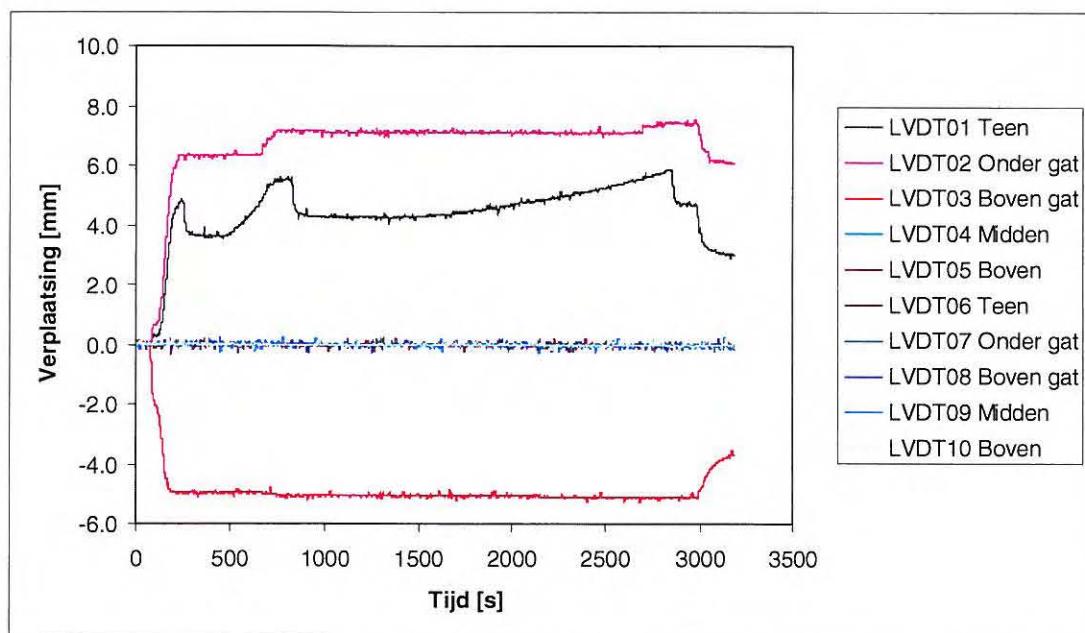
Figuur 18 Kracht-verplaatsingdiagrammen Ouwerkerk

Tabel 3 Overzicht karakteristieke meetwaarden

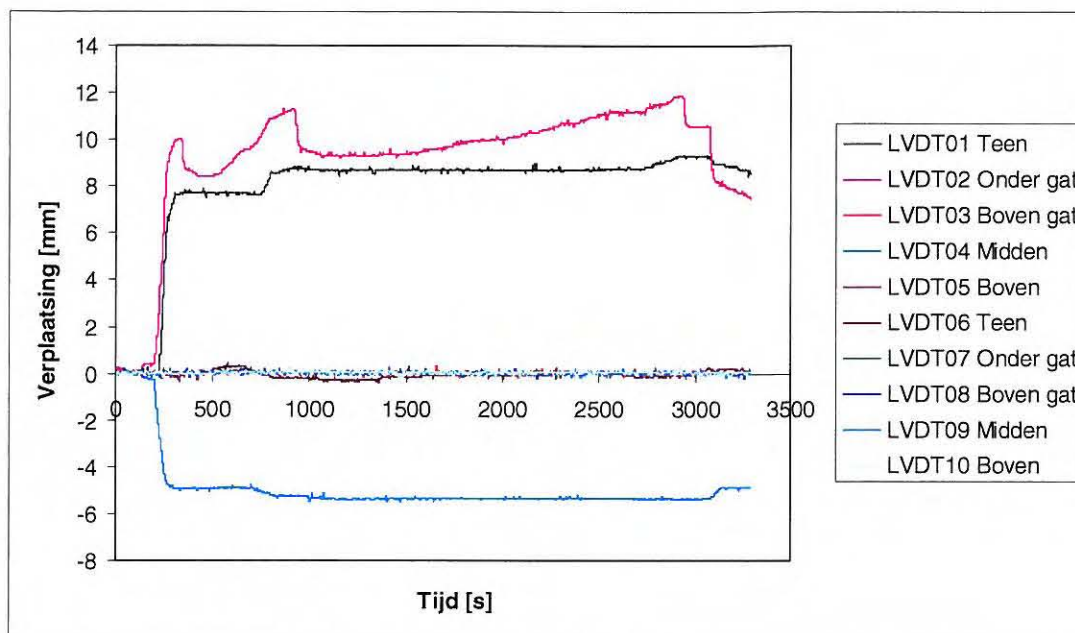
	25 kN	45 kN	65 kN
Start vervorming bij eerste belastingstap	10 kN	10 kN	32 kN
Idem vlgs. meting over vijzel	10 kN	28 kN	28 kN
Verplaatsing teen bij bereiken maximale kracht	3.0	3.3	5.8
Uiteindelijke verplaatsing	3.6	4.8	7.7
Terugvering bij terugval kracht naar 10 kN	0.2	1.2	0
Extra verplaatsing teen bij voor de tweede maal bereiken maximale kracht	0.3	1.6	0.5
Uiteindelijke extra verplaatsing	0.6	1.9	1.1
Terugvering bij terugval kracht naar 15 kN	0.3	1.3	0.2
Extra verplaatsing teen bij voor de derde maal bereiken maximale kracht	0.4	1.6	0.7
Uiteindelijke extra verplaatsing	0.4	1.6	0.7
Terugvering bij terugval kracht naar 10 kN	0.2	1.2	0.1
Verplaatsing boven gat	4.8	5.0	5.0
Vershil verplaatsing teen en onder gat	-1.0	-1.5	-2.5



Figuur 19 Verplaatsingdiagrammen Ouwerkerk 25 kN



Figuur 20 Verplaatsingdiagrammen Ouwerkerk 45 kN



Figuur 21 Verplaatsingsdiagrammen Ouwerkerk 65 kN

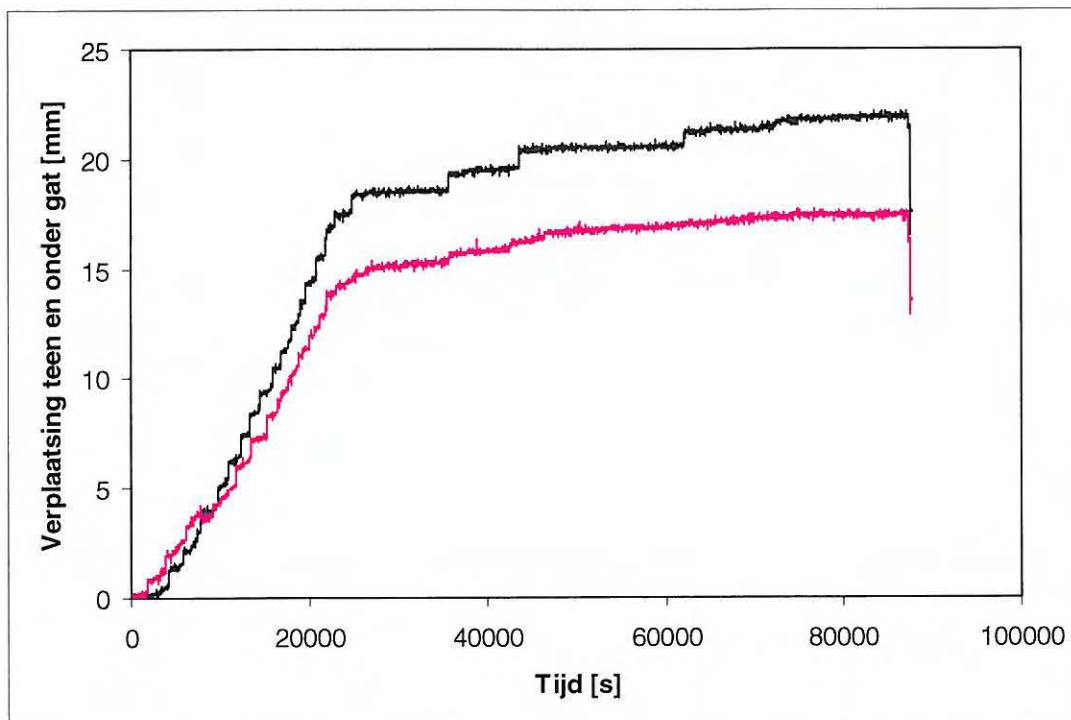
Bij de bestudering van de verplaatsingsdata van de proeven in Ouwerkerk valt op dat meetsignalen 1 en 2 bij de proef op laag belastingsniveau synchroon lopen. Bij de middelhoge en hoge belastingsniveaus is dat niet zo. Bij de 45 kN proef veert de teen terug en het meetsignaal onder het gat niet en bij de 65 kN proef is dat andersom. Beide laatste proef is het tevens opvallend dat het meetsignaal boven het gat nul geeft en het meetsignaal midden op het talud een significante verplaatsing geeft. Waarschijnlijk zijn deze signalen omgedraaid. Het valt ook op dat de verplaatsingen boven het gat in Ouwerkerk beduidend groter zijn als in Sluis. De verhoudingen met de verplaatsingen onder het gat zijn respectievelijk circa 1:1, 1:1 en 1:2.

5.2 Verplaatsingsmetingen constante kracht gedurende getijdencyclus

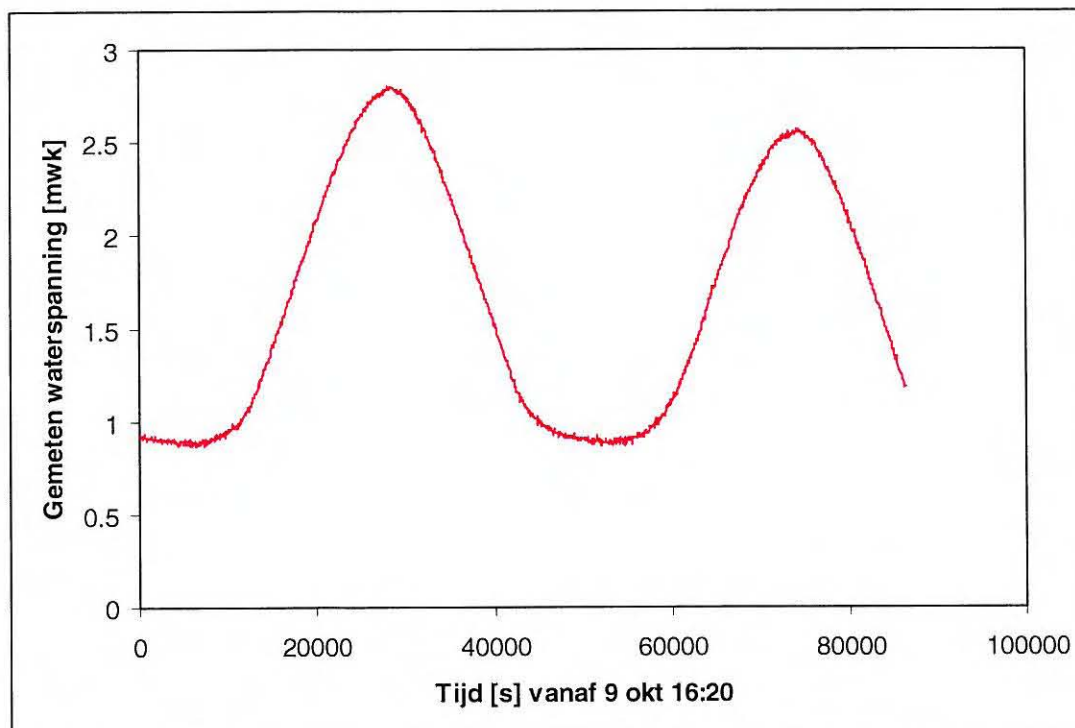
De 24-uur proeven zijn als volgt verlopen. Per locatie waren een krachtsgestuurde en een vervormingsgestuurde proef voorzien. Op de locatie Sluis zijn beide proeven uitgevoerd. De krachtsgestuurde proef werd door het geautomatiseerde systeem na 6 uur afgebroken en is na een kleine onderbreking hervat. De vervormingsgestuurde proef is niet gelukt. Het bleek niet mogelijk om de kracht geleidelijk aan te passen op een kleine verandering van de vervorming. Onafhankelijk van de te programmeren stapgrootten reageerde de vijzel met korte slagjes en bleef zichzelf corrigeren. Daardoor ontstond werd de teen dynamisch belast met een serie pulsbelastingen. Als gevolg daarvan werd het gedrag van de teen daarna veel slapper. Het resultaat van deze proef wordt niet representatief geacht. De proef wordt verder niet geanalyseerd. Zie voor de meetdata bijlage 1.

Op de locatie Ouwerkerk is daarom besloten om twee krachtsgestuurde proeven te doen. Deze proeven zijn beide uitgevoerd tot een niveau van 80 kN. De beide proeven verschillen op het punt van snelheid van eenbrengen van de belasting. Bij de eerste (proef 4) is dat 6 uur en bij de tweede (proef 5) is dat 1 minuut.

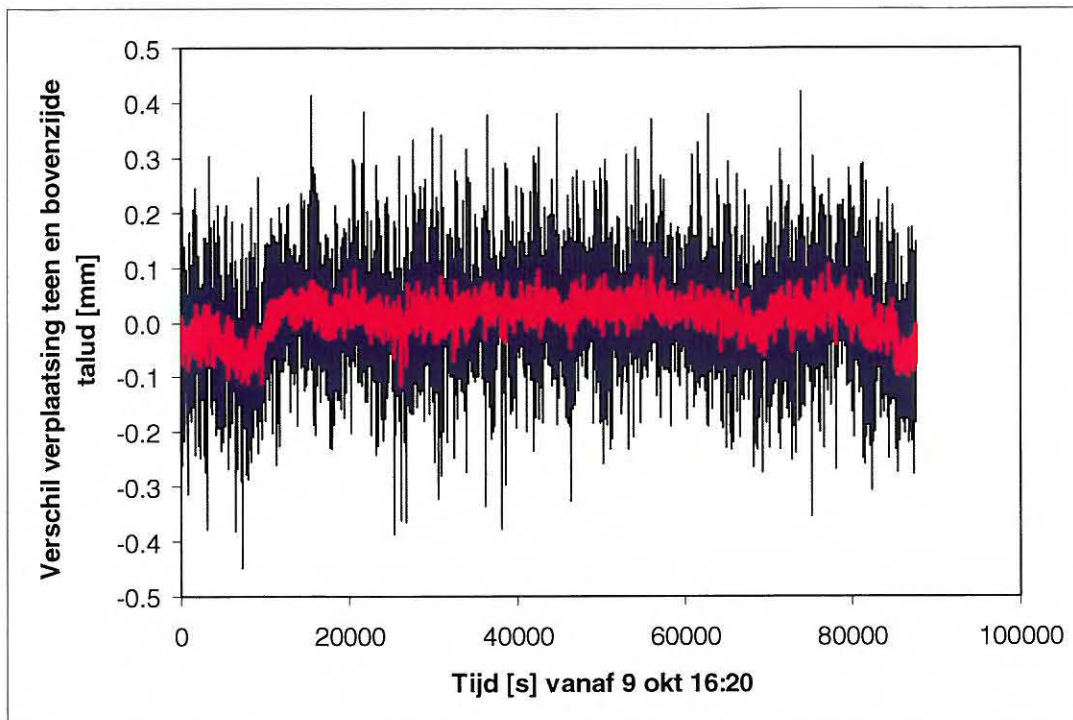
In de onderstaande figuren zijn de meetgegevens van proef 4 bestudeerd.



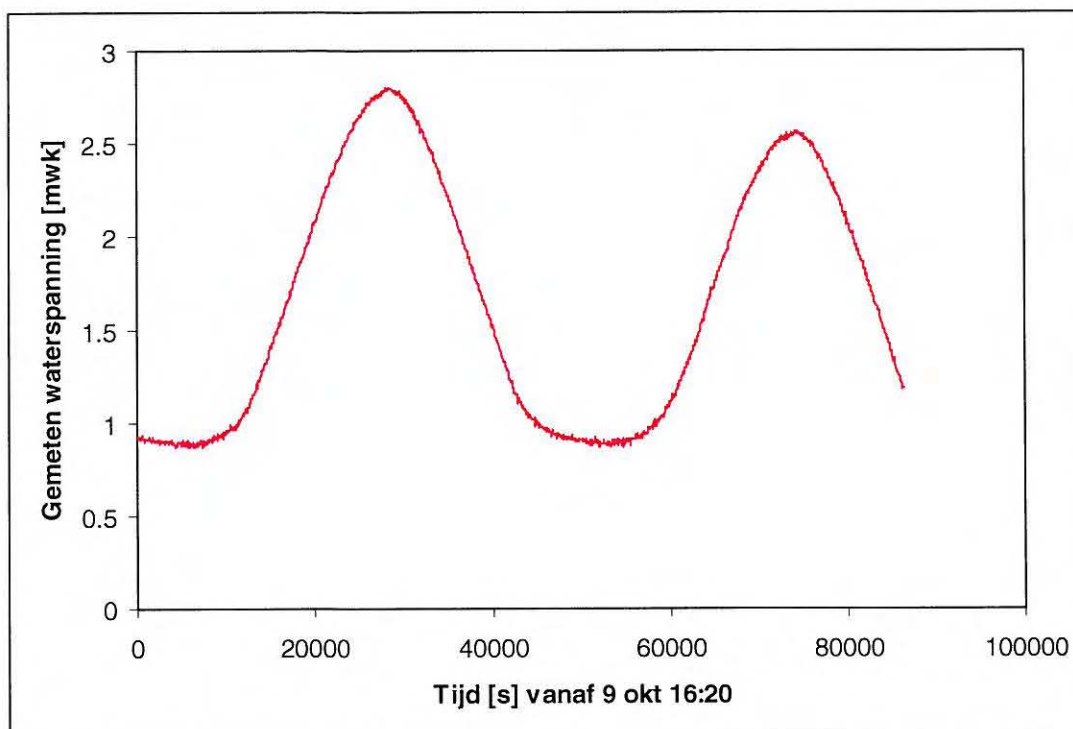
Figuur 22 Verplaatsingsdiagrammen Ouwerkerk 80 kN in 6 uur



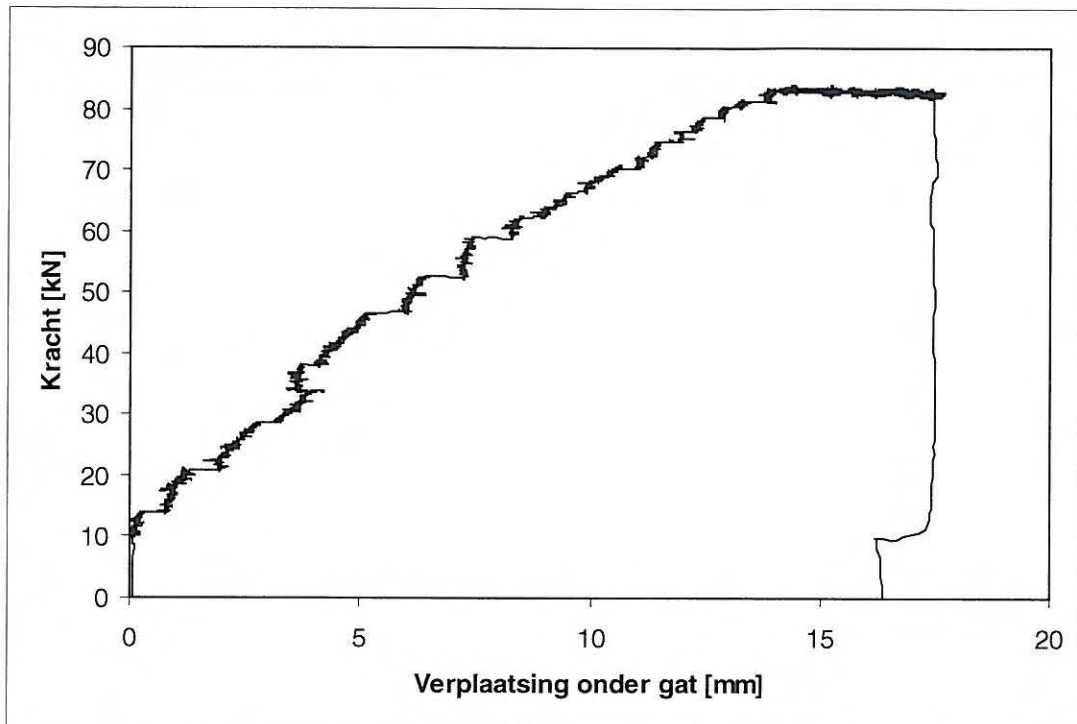
Figuur 23 Waterspanningsverloop in voorland op ca 0.5 m onder maaiveld



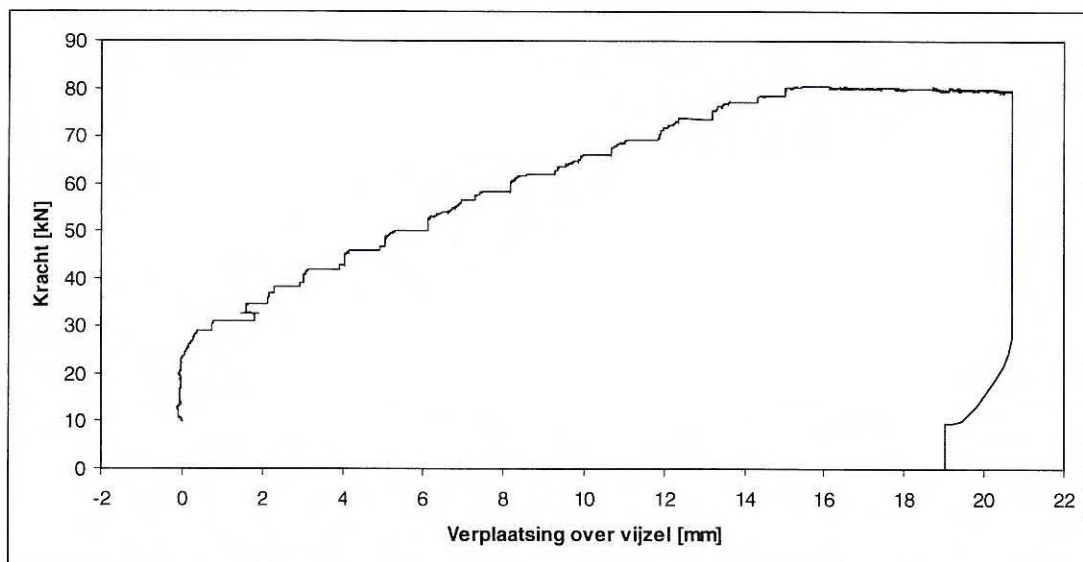
Figuur 24 Verschilverplaatsing in onbelaste deel van het talud (in rood lopend gemiddelde); positieve waarden corresponderen met het langer worden van het talud



Figuur 25 Waterspanningsverloop in voorland op ca 0.5 m onder maaiveld



Figuur 26 Kracht-verplaatsingdiagrammen Ouwerkerk 80 kN in 6 uur



Figuur 27 Kracht-verplaatsingdiagrammen Ouwerkerk 80 kN in 6 uur

5.3 Discussie kracht en verplaatsingsmetingen

Uit een reconstructie van de meetdata en uit een extra calibratie achteraf (zie bijlage 2) is gebleken dat de vijzel bij het aanbrengen van de kracht niet altijd een identiek en voorspelbaar gedrag heeft vertoond.

Er zijn enige vreemde zaken waarneembaar in de signalen. Dit is ook goed te zien in de kracht-tijd en verplaatsing-tijd signalen in bijlage 1. Als gevolg daarvan is vooral het verloop bij ontlasten en herbelasten is grillig. Dit blijkt het duidelijkst uit de direct over de vijzel gemeten verplaatsing.

Bij de onafhankelijk gemeten signalen is het verschijnsel minder pregnant, maar wel aanwezig. Bij extra weerstand van de vijzel werkt deze mogelijk met een soort stick-slip, waardoor de werkelijk op de bekleding uitgeoefende kracht, de oliedruk plus de stickkracht is. Zolang de vijzel niet slipt, beïnvloedt de positie ook de onafhankelijke verplaatsingsmetingen.

Het stick-slip gedrag is ook terug te zien in het wat schokkerige gedrag gedurende het langzaam oplopen van de kracht, bijvoorbeeld in proef 4 te Ouwerkerk.

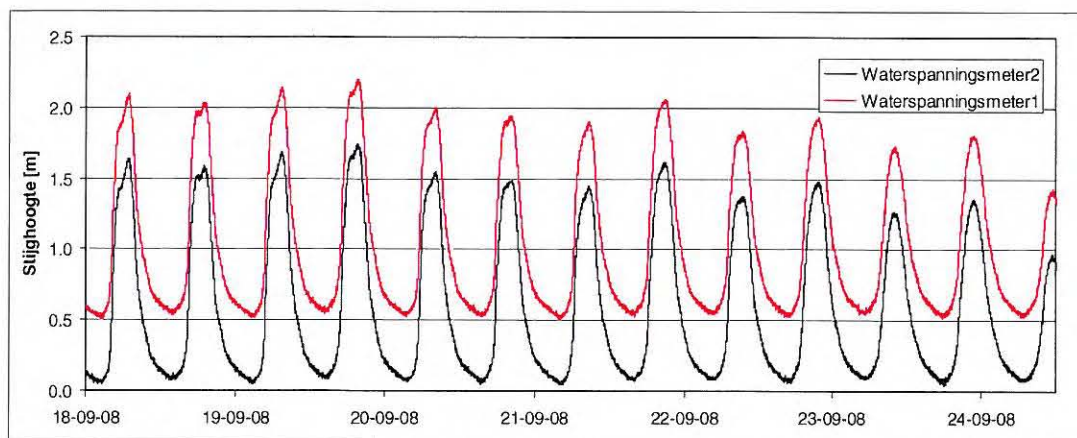
De 65 kN bij Sluis en de 45 kN bij Ouwerkerk lijken het minst geleden te hebben onder dit verschijnsel. De indruk bestaat dat bij een constante (en lage) drempelwaarde van de vijzel de andere proeven ook een vergelijkbaar gedrag zouden hebben vertoond.

De indruk bestaat dat de markante punten (maxima en minima) in de meetresultaten wel betrouwbaar zijn.

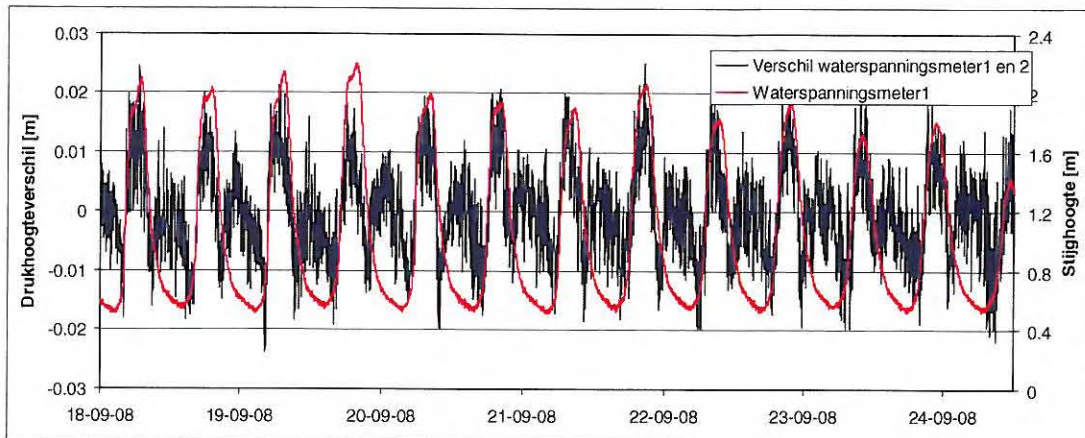
5.4 Waterspanningsmetingen

De waterspanningsmetingen zijn uitgevoerd door Fugro. Per locatie zijn twee sensoren geïnstalleerd op twee niveaus, op circa 0.4 en 0.8 m onder maaiveld. Dit is gebeurd na verwijderen van het stortsteen, waardoor het 'maaiveld' vrijwel gelijk is met de bovenzijde van het teenschot. De waterspanningsmeters zijn op circa 0.5 m van de teen geplaatst.

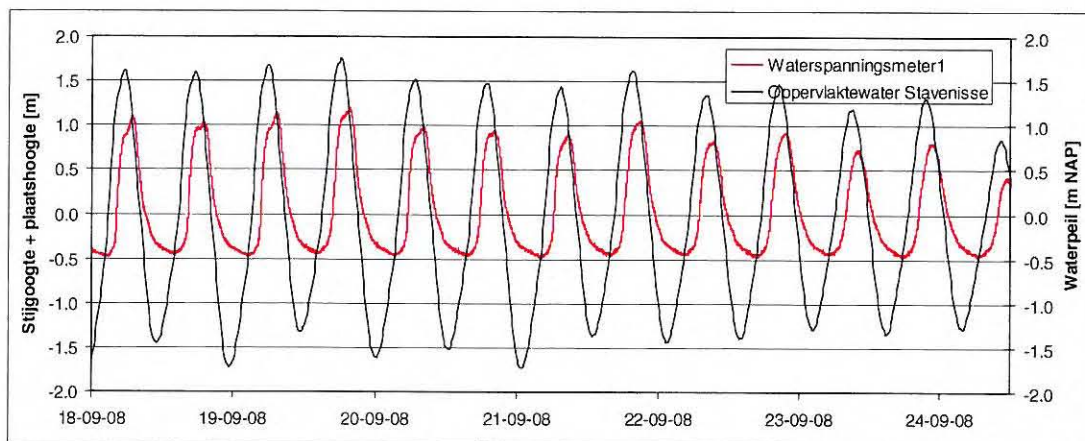
Onderstaande figuren laten de meetresultaten zien.



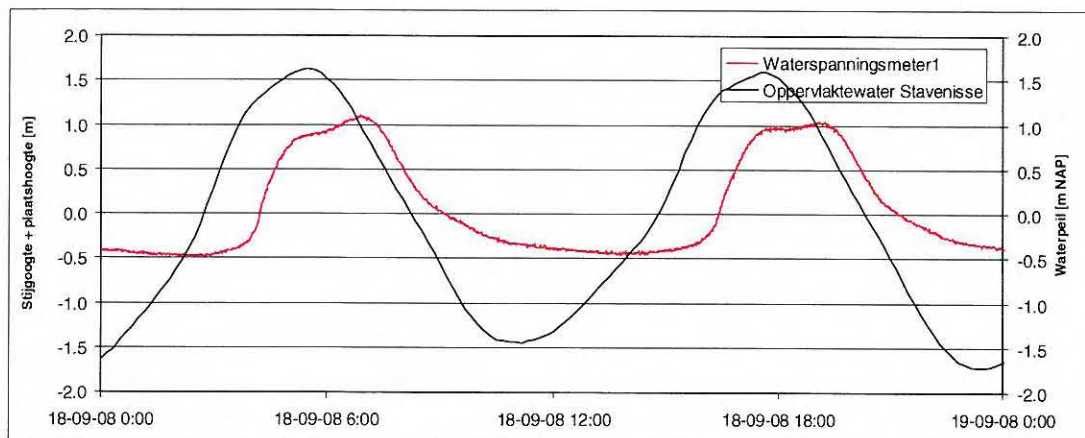
Figuur 28 Meetresultaten waterspanningsmeters locatie Sluis



Figuur 29 Verschil waterspanningsmeter 1 en 2 na aftrek van gemiddeld verschil, de amplitude van het verschil in 'demping' bedraagt 3 cm



Figuur 30 Meetresultaten waterspanningsmeters locatie Sluis vergeleken met het niveau van het oppervlaktewater te Stavenisse

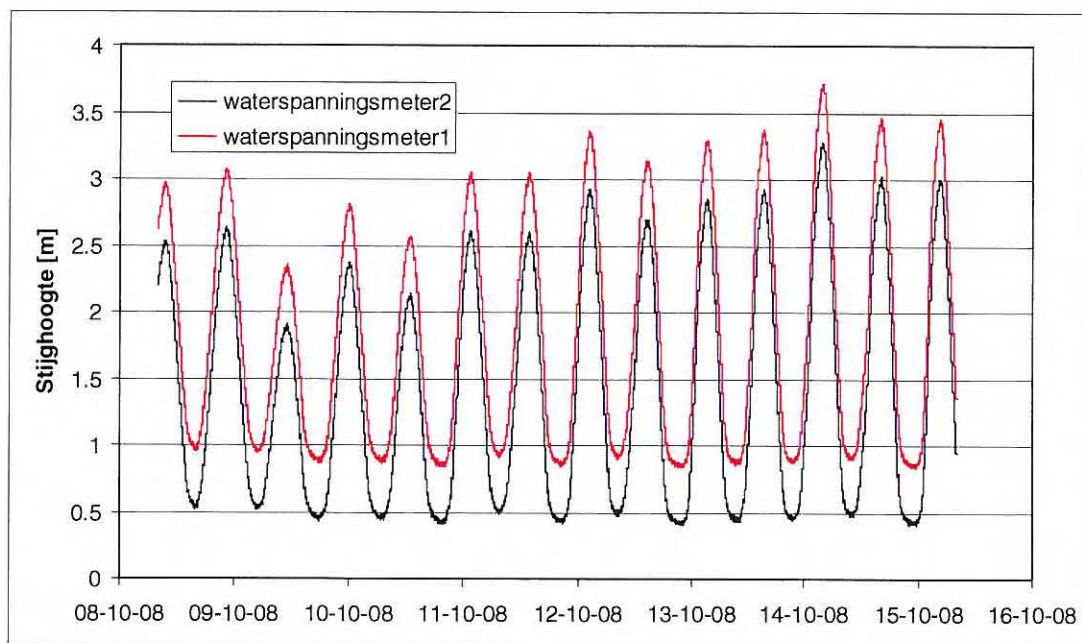


Figuur 31 Meetresultaten waterspanningsmeters locatie Sluis vergeleken met het niveau van het oppervlaktewater te Stavenisse, fragment van één dag

Bij de meetresultaten op de locatie Sluis valt op dat de meetsignalen vrijwel identiek zijn met een verschil van circa 0.45 m. Indien men de resultaten vergelijkt met de beschikbare meetresultaten van het oppervlakte water vallen aan aantal dingen op:

- de snelheid van stijgen en dalen van de druk is over een deel van het tijdstraject gelijk aan het getij;
- de neerwaartse pieken bevinden zich op een constant niveau bevinden, ook als het getij verder zakt. Een verklaring hiervoor kan zijn dat het meetgat naar boven toe meer doorlatend is, en dat het water in de grond, nadat het voorland droogvalt vertraagd draineert;
- de opwaartse pieken volgen het getij gedempt. De variatie in piekwaarde van het getij wordt gedempt gevolgd door de waterspanningsmeter;
- er is een tijdsvertraging van circa 45 minuten, wat overeenkomt met de geografische positie van de meetpunten.

De meetresultaten in Ouwerkerk geven een vergelijkbaar beeld. Verificatie met de oppervlaktewaterstanden is daar nog niet mogelijk omdat de gegevens van Stavenisse van de maand oktober nog niet beschikbaar zijn op Internet.



Figuur 32 Meetresultaten waterspanningsmeters locatie Ouwerkerk

6 VERKENNENDE ANALYSE PROEFRESULTATEN

6.1 Doel verkennende analyse

De meetresultaten worden verkennend geanalyseerd. Het doel daarbij is de gemeten fenomenen kwalitatief te kunnen reproduceren met modelberekeningen. De aspecten die in de verkennende analyse bij voorkeur moeten worden gereproduceerd zijn:

- de verhouding van elastische en blijvende vervorming;
- de orde van grootte van de vervormingen en;
- de verschillen in vervorming afhankelijk van de belastingsnelheid.

Het aantal herhalingsmetingen is onvoldoende om betrouwbare gegevens over de grootte van de veerstijfheden te verkrijgen. Het verdient dan ook geen aanbeveling om veel energie te steken in het bepalen van reken- en ontwerpparameters.

6.2 Berekening kracht op teen

De kracht op de teen is theoretisch onbepaald. De neutrale kracht kan worden berekend met de formule:

$$N_{\text{neutral}} = \rho g D \frac{z_{tp} - z_{te}}{\sin \alpha} \sin \alpha$$

Bij deze kracht moet, om de boven- en ondergrens te vinden een positieve of negatieve wrijvingsterm worden toegevoegd.

$$N_{\text{max/min}} = \rho g D \frac{z_{tp} - z_{te}}{\sin \alpha} (\sin \alpha \pm \mu \cos \alpha)$$

De minimale kracht wordt begrensd door 0; de toplaag en de aansluiting op de teen kunnen geen trek opnemen.

Met deze formules en de geometriegegevens worden de volgende krachten bepaald.

Tabel 4 Overzicht berekende krachten op teen

	Hvdroblocks		Basalt	
	Willemspolder		Vierbannepolder	
hellina 1:	3.07		3.41	
sinus	0.32		0.28	
cosinus	0.95		0.96	
wrijvingsfactor [-]	0.60		0.60	
bk bekleding tov teen (verticaal)	2.71		3.5	
blokdikte [m]	0.40		0.25	
soortelijke massa [k/m ³]	2300		2600	
Laterale kracht tegen teen	[k/m]	[kN/m]	[k/m]	[kN/m]
minimale kracht	0	0	0	0
neutrale kracht	2493	25	2275	23
maximale kracht	7086	73	6930	69

De berekende kracht voor het geval Vierbannepolder (Ouwkerk) correspondeert met normaalspanningen van 91 en 277 kPa, respectievelijk voor de neutrale en maximale kracht.

6.3 Damwandberekening

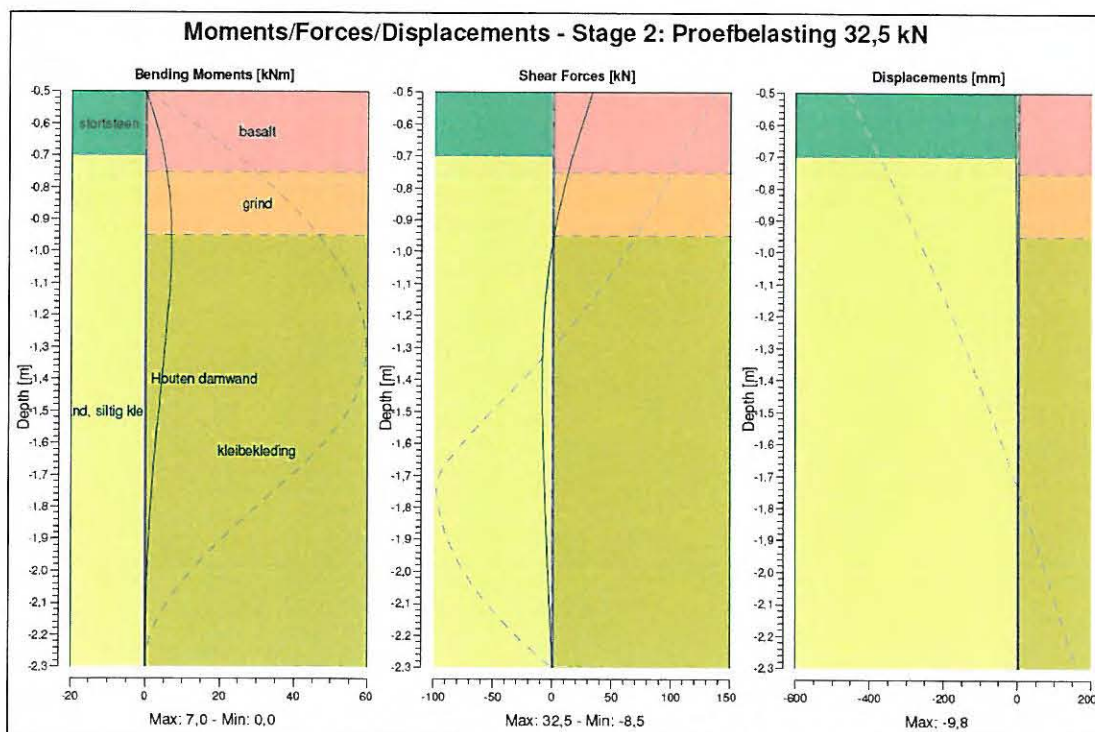
Er zijn voor een eerste indicatie van het gedrag en de sterkte van de teenconstructie enkele damwand berekeningen gemaakt met het programma MSheet.

Er zijn twee typen berekeningen gemaakt. Een berekening met representatieve grondparameters en een berekening met parameters en toetsmethoden conform de richtlijn CUR 166, veiligheidsklasse III (de hoogste veiligheidsklasse).

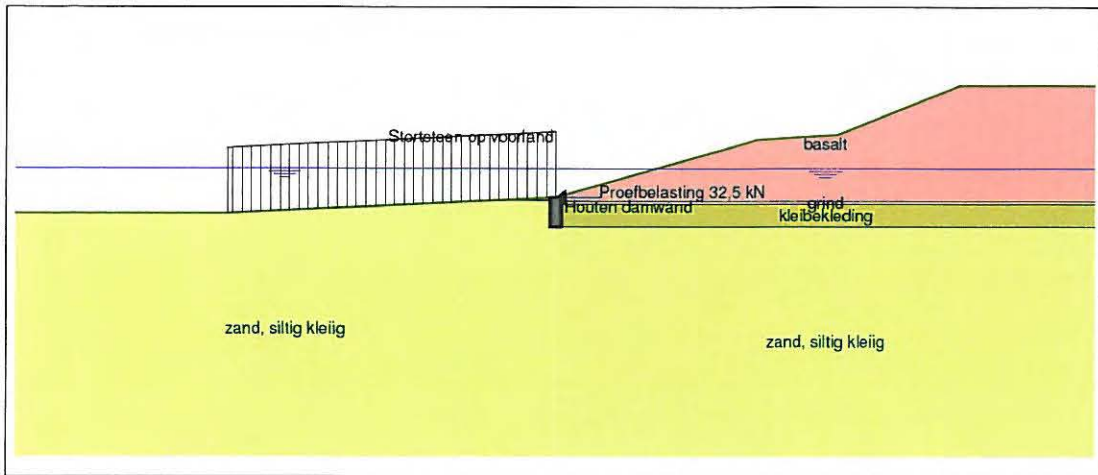
De maximaal aan te brengen krachten zijn als volgt. Een kracht van 272 kN in de berekening representatief (46 cm verplaatsing). Dit lijkt een irreal resultaat maar geeft wel een bovengrens. In de berekening met veiligheidsklasse III is de maximaal aan te brengen kracht 88 kN (17 mm verplaatsing). Dit laatste resultaat is met een model inclusief bovenbelasting voor de teen.

Tabel 5 Overzicht geotechnische invoer parameters MSheet model

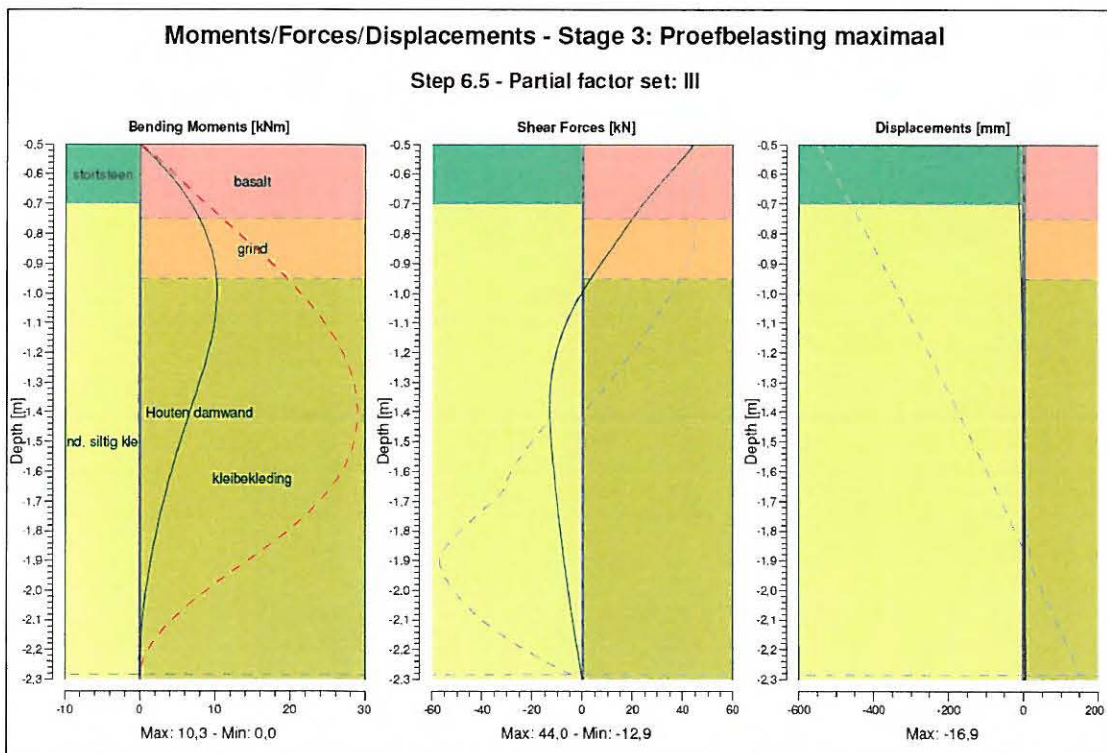
Layer name	Level [m]	Unit weight		Cohesion [kN/m ²]	Friction angle phi [deg]	Delta friction angle [deg]
		Unsat [kN/m ³]	Sat [kN/m ³]			
basalt	6,30	24,00	24,00	0,00	40,00	26,67
grind	-0,75	18,00	20,00	0,00	40,00	26,67
kleibekleding	-0,95	16,00	16,00	5,00	27,50	9,17
zand, siltig kleiig	-2,30	18,00	20,00	1,00	42,00	28,00



Figuur 33 Resultaat damwandberekening met representatieve parameters



Figuur 34 Invoer geometrie MSheet model



Figuur 35 Resultaat damwandberekening veiligheidsklasse III, maximale belasting

6.4 Plaxisberekening krachtsvariatie

Voor de Plaxisberekening is uitgegaan van de geometrie van de dijk bij Ouwerkerk. De teenconstructie is gemodelleerd als een damwand met aan weerszijden Mohr-Coulomb interfaces die qua sterkte gelijk zijn aan de grond; de wandwrijving is gelijk gekozen aan de hoek van inwendige wrijving van de grond. De bekleding is aangebracht als een elastisch, permeabel materiaal, met een dikte van 0.24 m (0.25 m verticaal gemeten). Verder is de dijk gemodelleerd als een zanddijk met kleilaag.

De proefbelasting is aangebracht in een gat in de bekleding. De belasting is aangebracht als een gelijkmatig verdeelde normaalspanning in de toplaag. Voor de een te brengen belasting is gerekend met een effectieve breedte van 2 m bij de teen. In werkelijkheid zal voor het gedeelte van het talud boven het gat de meewerkende breedte groter zijn, en de belasting dus lager. Daar is in de modellering geen rekening mee gehouden. De bedoeling in de modellering van de teen zo nauwkeurig mogelijk uit te voeren.

De belastingniveaus in Plaxis zijn als volgt bepaald en ingevoerd. De belasting is daarbij telkens op de constructie actief gemaakt nadat het gat in de constructie is gemaakt met een belasting van een 'nulniveau' op de randen.

Tabel 6 Overzicht belastingniveaus in Plaxis simulatie

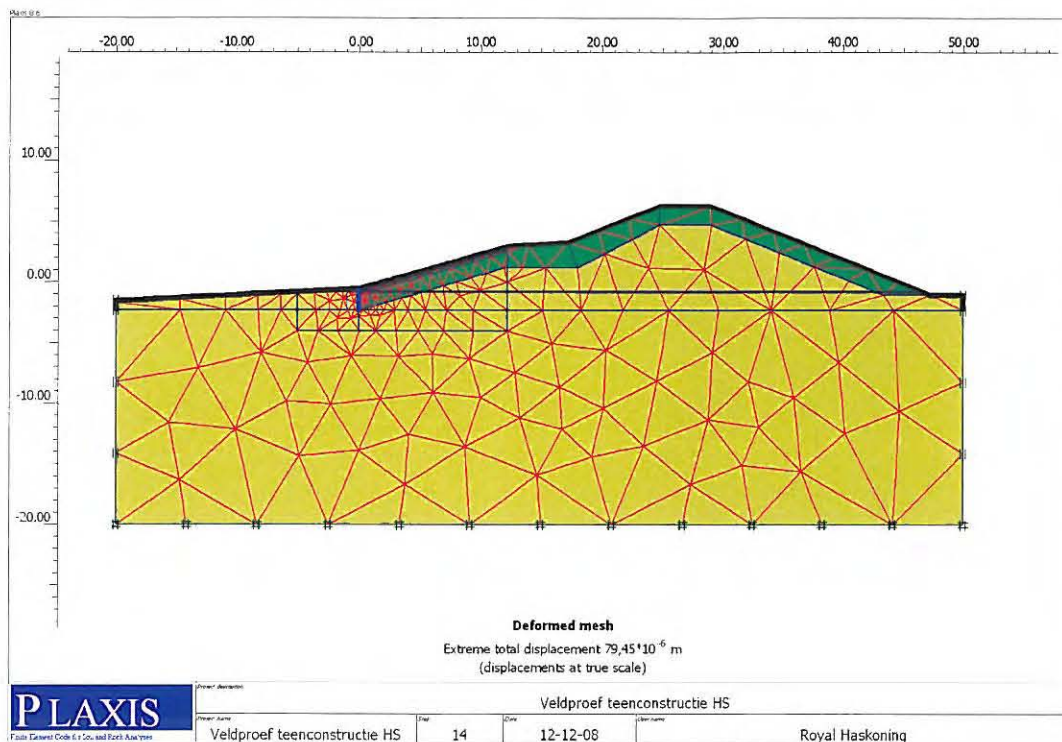
Belastingniveau	Proefbelasting [kN]	Per m' breedte [kN/m]	Spanning in toplaag [kN/m ²]
Laag	25	12.5	52,0
middel	45	22.5	93,6
hoog	65	32.5	135,3
'nulniveau'	0,48	0,24	1,0

De Plaxisberekeningen zijn uitgevoerd bij drie waterstanden: -0.75, +0.25 en +1.25 m NAP. De teen bevindt zich op -0.50 m NAP.

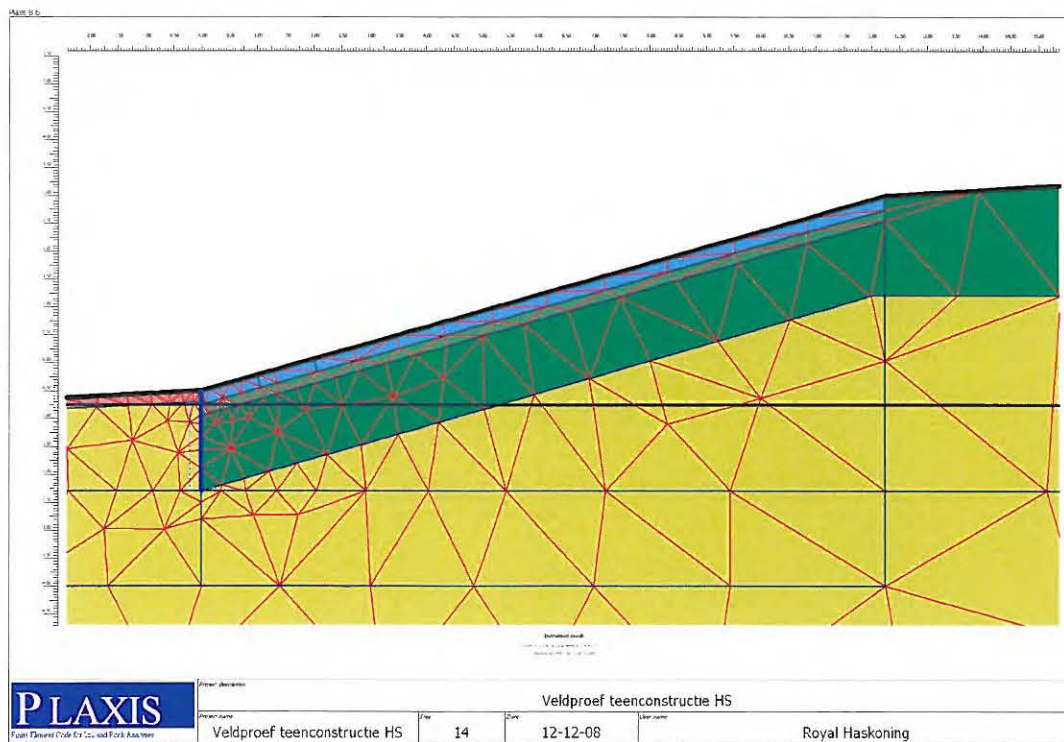
Bij de Plaxis simulaties wordt gebruikt gemaakt van twee grondmodellen. Er is geen grondonderzoek beschikbaar waar grondparameters uit zouden kunnen worden afgeleid. Voor beide grondmodellen wordt vooraf een zo goed mogelijke schatting gedaan van 'normaal' te verwachten stijfheidsparameters. Daar waar de stijfheidsparameters spanningsafhankelijk zijn, past het programma de stijfheid aan aan de berekenende grondspanningen.

In de Plaxis simulaties kan geen effect van de belastingsnelheid worden meegenomen. De belasting wordt eenmaal aangebracht, weggenomen en vervolgens weer een keer aangebracht. Het effect van een veranderde stijfheid ligt aan de plastische vervorming bij de eerste belasting, en – in het geval van het Hardening Soil model – van het effect van voorprogrammering van de stijfheid door de eerste belasting stap.

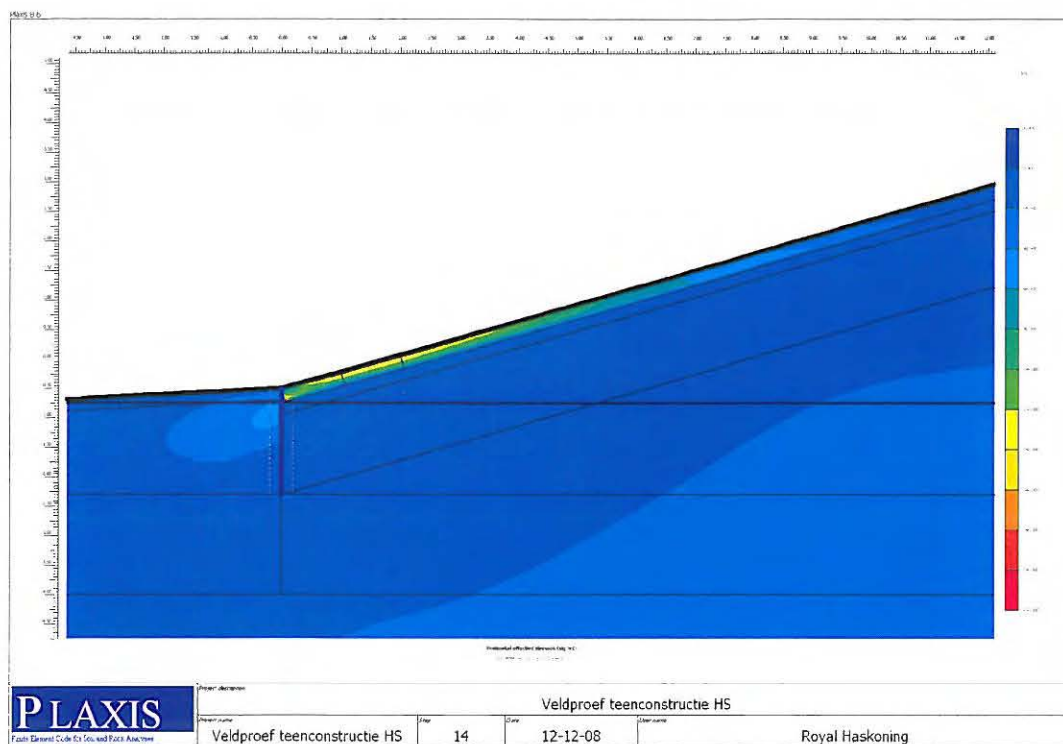
In de kracht-verplaatsingsdiagrammen is de aangebrachte spanning uitgezet tegen de zijdelingse verplaatsing aan de top van de damwand.



Figuur 36 Geometrie Plaxis model



Figuur 37 Geometrie Plaxis model ingezoomd op bekleding



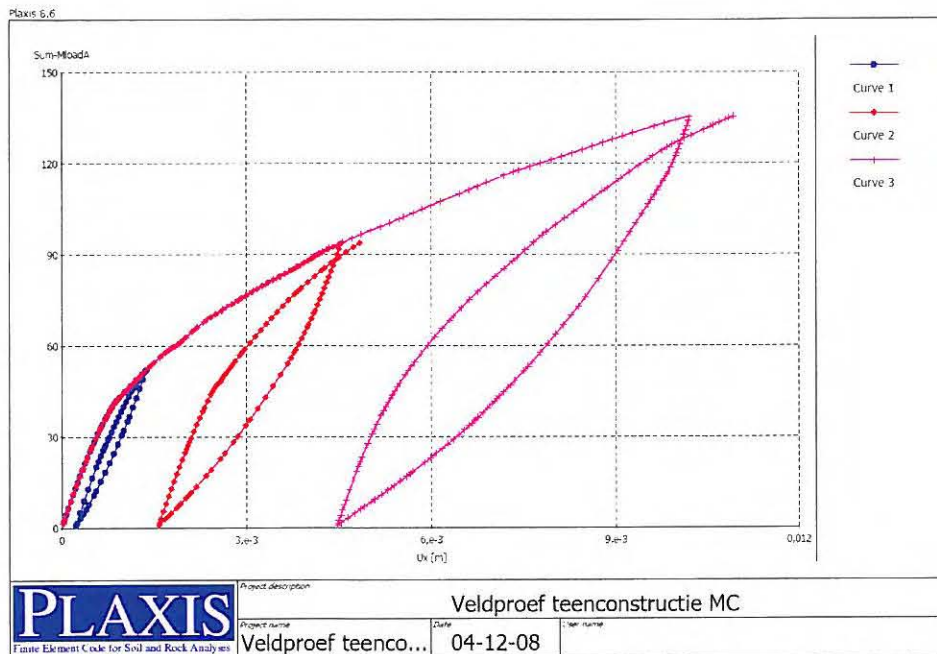
Figuur 38 Effectieve spanning onder invloed van zwaartekracht; normaalspanning in de toplaag juist boven de teen is circa 120 kPa; dit is vòòr het aanbrengen van het gat

Tabel 7 Overzicht grondparameters Mohr-Coulomb model, de kleuren corresponderen met de kleuren in figuur 37; grondsoort ID 7 is niet gebruikt in het model

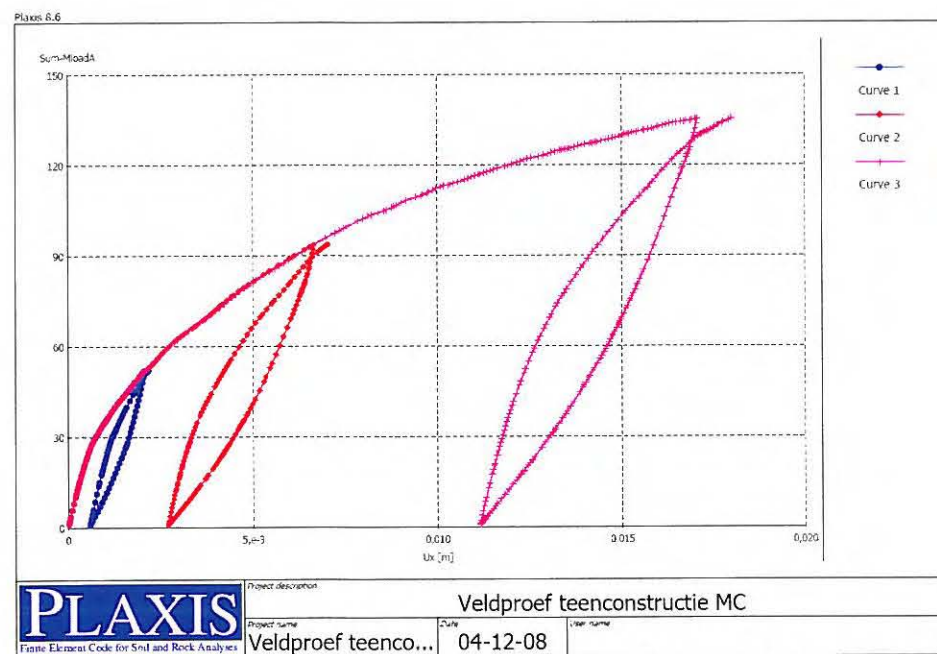
ID	Name	Type	γ_{unsat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	k_x [m/day]	k_y [m/day]	ν [-]	E_{ref} [kN/m ²]	c_{ref} [kN/m ²]	ϕ [°]	ψ [°]	R_{inter} [-]
1	zand, siltig/leig	Drained	18,0	20,0	1,0000	1,0000	0,30	50000,0	1,0	40,0	10,0	1,00
2	zand, siltig/leig	UnDrained	16,0	16,0	0,0100	0,0100	0,30	4000,0	5,0	27,5	0,0	1,00
3	Stortsteen	Drained	18,0	20,0	10,0000	10,0000	0,30	10000,0	0,2	40,0	0,0	1,00
5	Grind	Drained	18,0	20,0	100,0000	100,0000	0,30	9999,9	0,2	-40,0	0,0	1,00
6	Kleibekleding best talud	UnDrained	16,0	16,0	0,0100	0,0100	0,30	500,0	5,0	15,0	0,0	1,00
7	zand, siltig/leig nabij teen	Drained	18,0	20,0	1,0000	1,0000	0,30	5000,0	0,2	20,0	0,0	1,00

ID	Name	Type	γ_{unsat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	k_x [m/day]	k_y [m/day]	ν [-]	E_{ref} [kN/m ²]	E_{incr} [kN/m ³]	γ_{ref} [m]	R_{inter} [-]
4	Besak	Drained	24,0	24,0	1,0000	1,0000	0,10	1E5	0,0	0,0	1,00

ID	Name	Type	EA [kN/m]	EI [kNm ² /m]	w [kN/m ²]	ν [-]	M_p [kNm/m]	N_p [kN/m]
1	Houten damwand	Elastic	8E5	426,7	1,6	0,20	1E15	1E15



Figuur 39 Resultaat krachtvervormingsdiagram Plaxis simulatie MC bij laag water



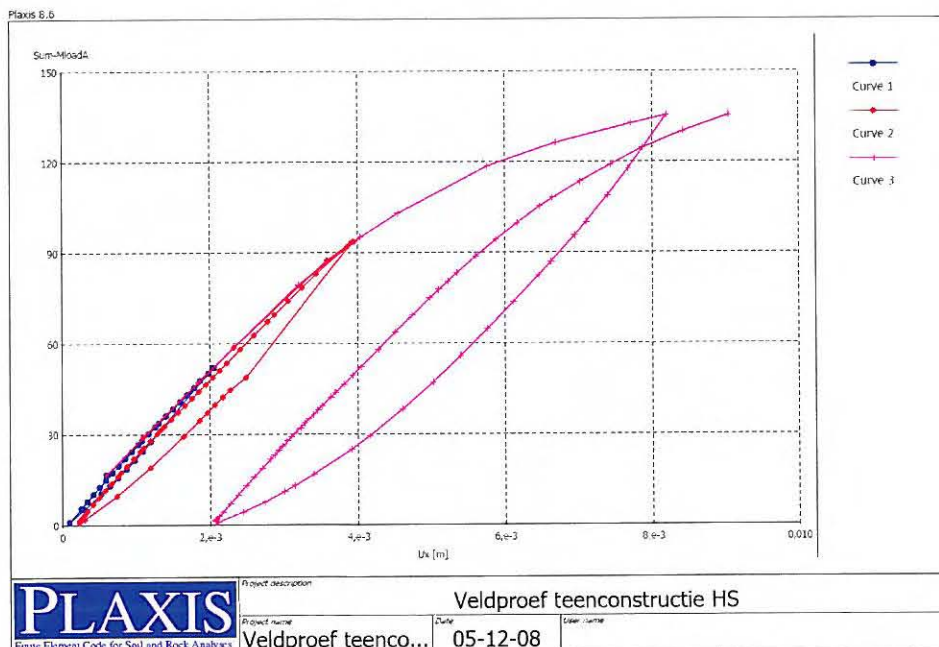
Figuur 40 Resultaat krachtvervormingsdiagram Plaxis simulatie MC bij hoog water

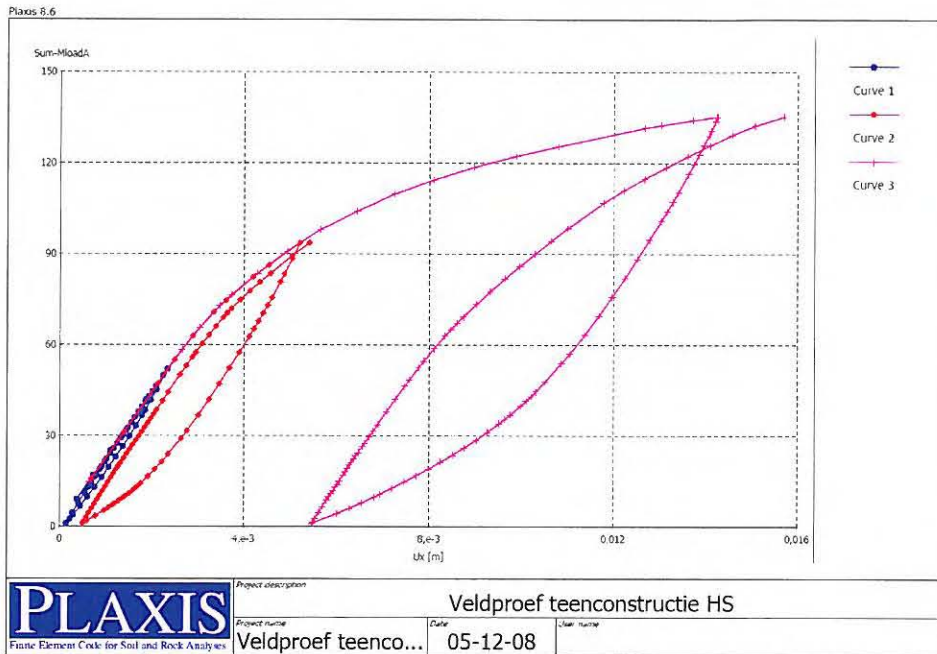
Tabel 8 Overzicht grondparameters Hardening Soil model

ID	Name	Type	γ_{unsat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	k_z [m/day]	k_y [m/day]	E_{50}^{ref} [kN/m ²]	E_{oed}^{ref} [kN/m ²]	E_{ur}^{ref} [kN/m ²]	c_{ref} [kN/m ²]
1	zand, siltig/leelig	Drained	18,0	20,0	1,0000	1,0000	50000,0	50000,0	1,5E5	1,0
2	zand, leemig	UnDrained	16,0	16,0	0,0100	0,0100	2500,0	1250,0	7500,0	5,0
3	Stortsteen	Drained	18,0	20,0	10,0000	10,0000	20000,0	20000,0	60000,0	3,0
5	Grind	Drained	18,0	20,0	100,0000	100,0000	10000,0	10000,0	30000,0	0,2

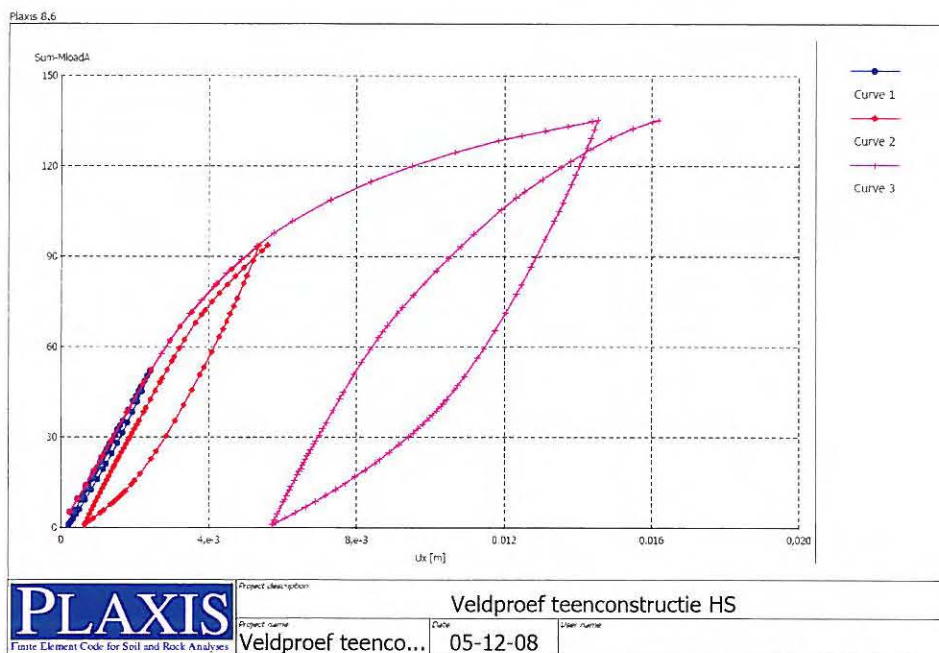
ID	Name	ϕ [°]	ψ [°]	v_{ur} [-]	p_{ref} [kN/m ²]	Power [-]	K_0^{nc} [-]	c_{incr} [kN/m ²]	γ_{ref} [m]	R_f [-]	γ -Strength [kN/m ²]	R_{inter} [-]	δ -inter [-]
1	zand, siltig/leelig	42,0	12,0	0,20	100	0,500	0,331	0,0	0,0	0,9	0,0	1,00	0,000
2	zand, leemig	27,5	0,0	0,20	100	1,000	0,538	0,0	0,0	0,9	0,0	1,00	0,000
3	Stortsteen	42,0	12,0	0,20	100	0,500	0,331	0,0	0,0	0,9	0,0	1,00	0,000
5	Grind	40,0	10,0	0,20	100	0,500	0,357	0,0	0,0	0,9	0,0	1,00	0,000

ID	Name	Type	γ_{unsat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	k_z [m/day]	k_y [m/day]	ν [-]	E_{ref} [kN/m ²]	E_{incr} [kN/m ²]	γ_{ref} [m]	R_{inter} [-]
4	Besolt	Drained	24,0	24,0	1,0000	1,0000	0,10	1E5	0,0	0,0	1,00


Figuur 41 Resultaat krachtvervormingsdiagram Plaxis simulatie HS bij laag water



Figuur 42 Resultaat krachtvervormingsdiagram Plaxis simulatie HS bij middelhoog water



Figuur 43 Resultaat krachtvervormingsdiagram Plaxis simulatie HS bij hoog water

De berekende verplaatsingswaarden zijn weergegeven in de figuren en zijn tevens samengevat in de onderstaande tabel.

Tabel 9 Overzicht berekende verplaatsingen bij eerste belasting [mm]

Geval 65 kN belasting	Laag water	Middel hoog water	Hoog water
Mohr Coulomb model	10	17	17
Hardening Soil model	8	14	14

Een aantal zaken moeten worden vermeld.

De stijfheidsparameters zijn niet aangepast om de resultaten beter op de proefresultaten te laten lijken. Dat betekent dat de proefresultaten qua orde van grootte relatief gemakkelijk en betrouwbaar met Plaxis kunnen worden gesimuleerd.

Het Hardening Soil model geeft een iets stijver gedrag.

Het hysteresis effect waarbij de terugvering behoorlijk groot is, en ook niet-lineair is zodat de herbelasting niet volgens hetzelfde pad verloopt, treedt bij de proeven en de simulaties in de volgende gevallen op.

Tabel 10 Ontlast- en herbelasttak

	25 kN	45 kN	65 kN
Sluis	Linear	Vrijwel linear	Niet-linear
Ouwerkerk	Linear	Niet-linear	Niet-linear
Plaxis	Linear	Niet-linear	Niet-linear

De ontlasttak van de krachtverplaatsingsdiagrammen is in de proeven doorgaans veel steiler dan bij de simulatie. Ook het Hardening Soil model, waarbij een stijvere ontlast- en herbelasttak werd verwacht, reageert nog aanzienlijk slapper dan de werkelijkheid.

6.5 Plaxisberekening c-phi reductie

Een indicatie van de sterkte en de 'veiligheidsfactor' in geotechnische constructies kan moeilijk worden verkregen door de kracht verder op te voeren. Dan treedt direct achter de damwand lokaal bezwijken op en wordt de som afgebroken, waarmee het op dat moment behaalde resultaat als sterkte zou moeten worden beschouwd. Beter is het om een indicatie van de sterkte af te leiden uit een c-phi reductie berekening. De sterkte parameters van de grond worden dan stapsgewijs gereduceerd tot het niveau waarop de constructie geheel bezwijkt. De resultaten van deze berekeningen zijn als volgt.

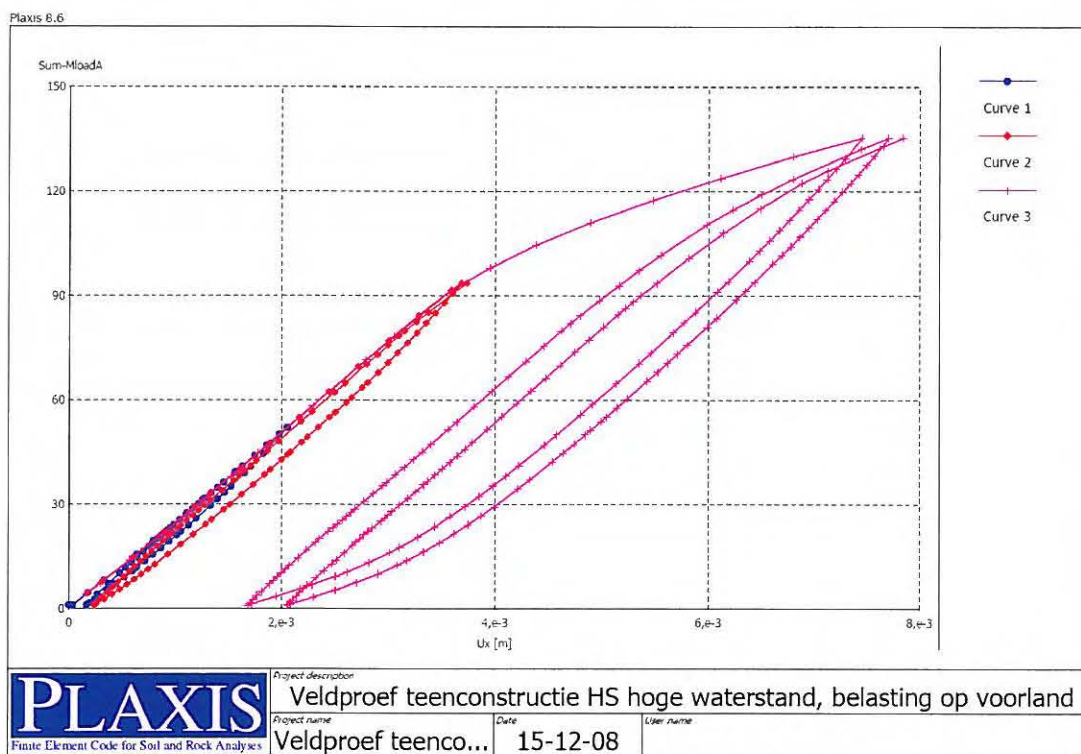
Tabel 11 Overzicht berekende 'veiligheidsfactoren' uit c-phi reductie

Geval 65 kN belasting	Laag water	Middel hoog water	Hoog water
Mohr Coulomb model	1.50	1.29	1.29
Hardening Soil model	1.53	1.39	1.39
Hardening Soil model met extra belasting op het voorland	1.90	1.85	1.84

Er is weinig verschil tussen middelhoog en hoog water. De reden daarvoor is dat bij beide sommen de teen volledig onder water is. Bij laag water steekt de teen nog iets boven water uit.

Omdat de in de eerste twee rijen gepresenteerde factoren wel een goed beeld geven van de situatie tijdens de proef (met weggenomen kreukelberm), doch niet van de situatie in werkelijkheid, is ook nog een berekening uitgevoerd met enige bovenbelasting op het voorland, startend vanaf het teenschot zeewaarts. Bij laagwater is deze belasting 9 kN/m^2 , een halve meter steen, boven water, en bij middelhoog en hoog water is de belasting 5 kN/m^2 .

De maximaal aan te brengen kracht bij hoog water is dan circa 100 kN. De c-phi reductiefactor is dan nog circa 1,35. (te vergelijken met 'zonder bovenbelasting' 65 kN, MSf 1,39).



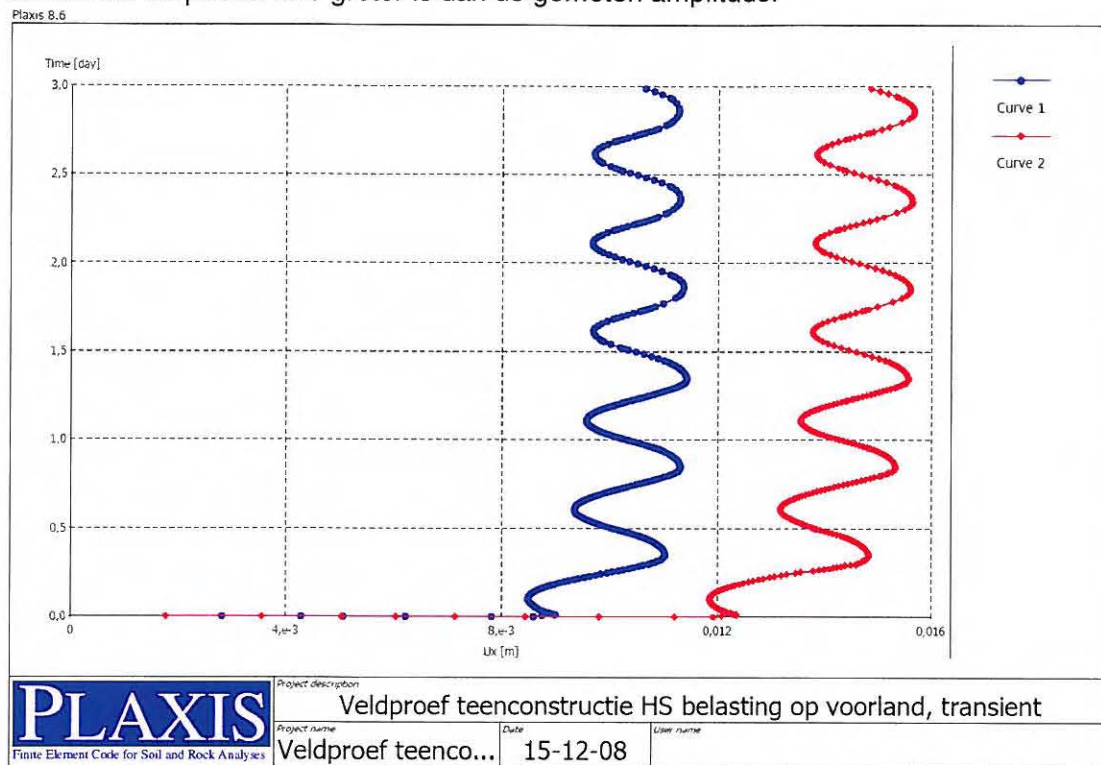
Figuur 44 Resultaat kracht-ervormingsdiagram met bovenbelasting op voorland

6.6 Plaxisberekening waterstandsvariatie

Met Plaxis is het ook mogelijk om een stromingsberekening te maken van een getijdeslag. De waterspanningen worden dan berekend op basis van een stromingsberekening (gedraineerd). Vervolgens kan met deze bekende waterspanningen en korrelspanningen de respons van de constructie op een constante kracht worden berekend. Dat is gedaan voor het geval met een belasting van 80 kN (40 kN/m), met bovenbelasting op het voorland. Het bleek niet mogelijk om voor 80 kN zonder bovenbelasting een stabiele berekening te maken.

Omdat het niet mogelijk is de bovenbelasting te laten variëren met het onderwater en bovenwatergewicht, zijn er twee berekeningen gepresenteerd, één met 5 en één met 9 kN/m^2 bovenbelasting. De volledig correct berekende verplaatsing zal tussen de twee lijnen liggen en mogelijk ook een water grotere amplitude hebben.

Het is goed te zien dat de amplitude in de tijd afneemt. Opvallend is wel dat de berekende amplitude fors groter is dan de gemeten amplitude.



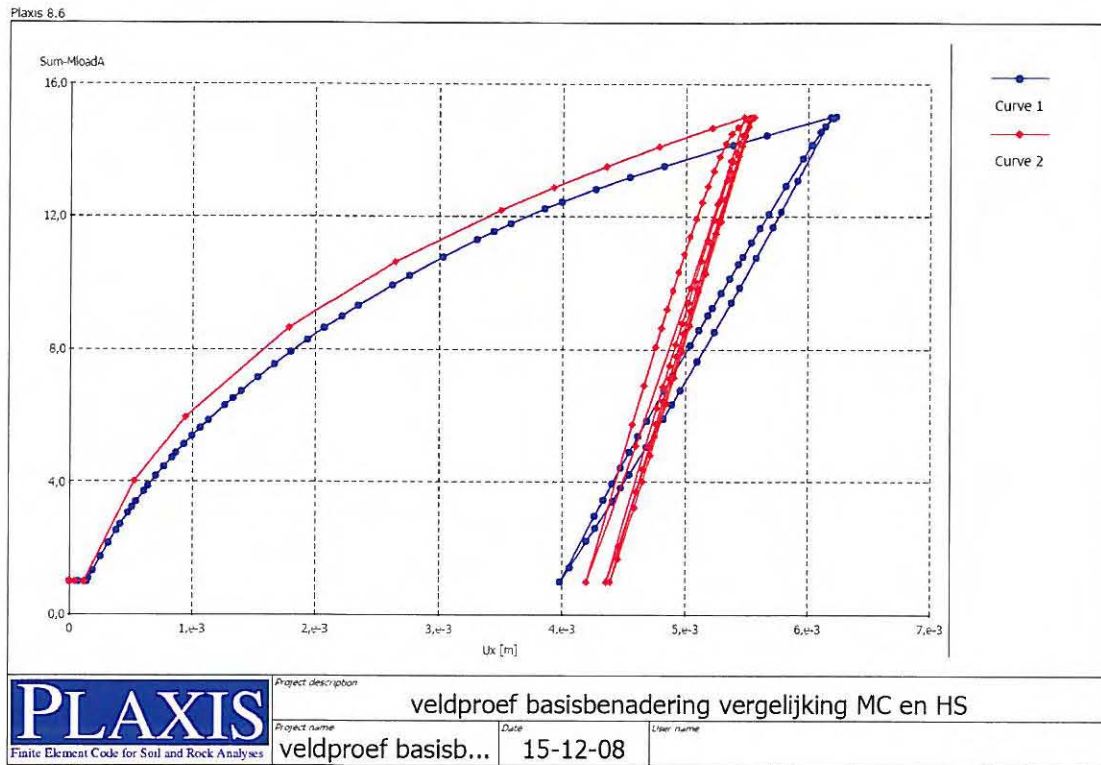
Figuur 45 Resultaat tijd-vervormingsdiagram met 80 kN constant (40 kN/m^1) bij variërende waterstand van -0.75 tot $+1.25$ m; met bovenbelasting op voorland (5 kN/m^2 voor de blauwe lijn en 9 kN/m^2 voor de rode lijn)

6.7 Bevindingen

Met betrekking tot de Plaxis sommen kunnen de volgende aandachtspunten worden genoemd.

Nader onderzocht zou moeten worden of de 'constructiewijze' in Plaxis invloed heeft op de resultaten:

- in Plaxis en Msheet is alles gedraineerd uitgerekend. In werkelijkheid speelt consolidatie een rol;
- de stijfheid van de damwand heeft in de berekening veel invloed op de vervormingen en op het ontlast- herbelast vervormingsgedrag. Indien de stijfheid van de damwand sterk verhoogd wordt, ontstaat er een veel duidelijker verschil tussen de stijfheid in de ontlast- en herbelasttak van de Mohr Coulomb berekeningen enerzijds en de Hardening Soil modellen anderzijds;
- de gemeten zelfde verplaatsing bij 25 en 45 kN is in de som niet te reproduceren. Verplaatsing neemt altijd minimaal naar rato toe bij grotere kracht. Dit wordt als een meetonnauwkeurigheid beschouwd.



Figuur 46 Resultaat kracht-vervormingsdiagram Plaxis berekening met MC en HS modellen bij 'oneindig' stijve damwand; het HS model blijkt dan, zoals verwacht een stijver gedrag te vertonen bij ontlasten en herbelasten

Samenvattend kan de volgende indicatieve informatie worden afgeleid uit de proefnemingen en de berekeningen:

- de sterkte van onderzochte teenconstructie is voldoende om de neutrale laterale kracht op te nemen;
- de vervorming onder neutrale kracht is in de orde van 1 cm;
- de vervorming onder de maximale kracht is sterk afhankelijk van de belastingsnelheid en belastingduur. Deze vervorming kan oplopen tot circa 3 cm.

7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De beproeving van de teenconstructies in het najaar van 2008 had een enigszins experimenteel karakter. Veldproeven aan teenconstructies waren nog niet eerder uitgevoerd. Teenconstructies zijn empirisch 'ontworpen' constructies, waardoor er weinig referenties met betrekking tot te verwachten sterktes en stijfheden beschikbaar zijn. Verder is het zo dat in het verleden uitgevoerde Plaxis simulaties tot zeer negatieve resultaten leidden, die de indruk wekten dat het niet of nauwelijks mogelijk was een berekening van een dergelijke constructie te maken met een positief resultaat.

Op een aantal aspecten zijn de beproevingen succesvol te noemen. De volgende bevindingen en aanbevelingen zijn van belang:

- de wijze van beproeving van de teen sloot goed aan bij de verwachte werkelijke belasting. Zowel qua grootte als qua wijze van aanbrengen;
- er is veel informatie vergaard over het effect van de belastingsnelheid. Dit is belangrijk voor een praktische inschatting van de prestatie van de teenconstructie onder toetscondities. Deze informatie kan worden gebruikt bij verdere studie en verificatie van ontwerpen;
- het effect van het getij op verplaatsingen van het (onbelaste) talud is miniem;
- het uitvoeren van een verplaatsingsgestuurde proef bleek in de praktijk niet haalbaar. Het verdient geen aanbeveling dit te herhalen;
- de gemeten en na te rekenen stijfheid blijken goed te matchen. Daardoor lijkt het mogelijk om toets- en ontwerpberoevingen met damwandberoevingen of met Plaxis uit te voeren.

Voor 2009 wordt aanbevolen om een aantal proeven te doen met de volgende focus:

- meting aan een teenconstructie met een nieuwe, zware bekleding. Bij het opschalen van de bekledingsdikte is de teenconstructie gelijk gebleven. Het is van belang te weten wat in dat geval de sterkte en stijfheid is;
- herhalingsmetingen om de betrouwbaarheid van de verkregen resultaten te vergroten;
- bij nieuwe metingen wordt aanbevolen om een vijzel te laten bestellen die geen risico heeft op stick-slip gedrag. De vijzel dient te zijn voorzien van een load cell die de door de vijzel uitgeoefende kracht onafhankelijk meet.

Aanbevelingen voor verdere analyse:

- de resultaten van de Plaxis simulaties zijn veelbelovend, waardoor het aanbeveling verdient hiermee een meer verfijnde back analyses te doen. Nog nauwkeuriger te simuleren fenomenen zijn: het effect van consolidatie, het effect van het toepassen van perkoen palen in plaats van een doorgaand teenschot en het effect van boogwerking rondom het gat.

Bijlage 1

Meetrapport BAS Research & Technology BV

BJA|S Rapport: 2008-0514-004
Onderwerp: Onderzoek steenzettingen zeeweringen
Vervormingen teenconstructie

Datum rapport: 15 oktober 2008

Opdrachtgever: Royal Haskoning B.V.

Adres opdrachtgever: Jonkerbosplein 52
6534 AB Nijmegen

Projectnaam: Teenconstructie steenzettingen
Projectnummer: 2008-0514
Datum onderzoek: September/oktober 2008

Auteur: Ir. J.W.M. Bovend'Eerd

Thema: Veldonderzoek
Trefwoorden: Steenzettingen, vervormingen

Inhoudsopgave

1	Voorwoord	3
2	Inleiding.....	4
2.1	Algemeen	4
2.2	Programma van eisen	4
2.3	Doelstelling.....	5
3	Proeflocaties.....	5
3.1	Criteria.....	5
3.2	Karakteristieken	6
3.3	Foto's van de locaties	6
4	Onderzoeksplan	7
5	Meetopstelling	8
5.1	Krachtsmachine	8
5.2	Meetunit.....	9
5.3	Registratiesysteem.....	10
5.4	Foto's meetopstelling.....	10
6	Proefverloop	12
6.1	Uitvoering	12
7	Resultaten.....	13
7.1	Locatie 1 – Wilemspolder bij Sluis (St. Philipsland).....	13
7.1.1	Proef 1 – 25 kN cyclisch.....	13
7.1.2	Proef 2 – 45 kN cyclisch.....	14
7.1.3	Proef 3 – 65 kN cyclisch.....	14
7.1.4	Proef 4 – 24-uursproef krachtgestuurd	17
7.1.5	Proef 5 – 24-uursproef vervormingsgestuurd.....	18
7.2	Locatie 2 – Vierbannenpolder bij Ouwerkerk	20
7.2.1	Proef 1 – 25 kN cyclisch.....	20
7.2.2	Proef 2 – 45 kN cyclisch.....	21
7.2.3	Proef 3 – 65 kN cyclisch.....	22
7.2.4	Proef 4 – 24-uursproef krachtgestuurd	23
7.2.5	Proef 5 – 24-uursproef krachtgestuurd	24
8	Nabeschuiving.....	26

Bijlagen

Bijlage 1: Dwarsprofielen dijken;
Bijlage 2: Fotobijlage

1 **Voorwoord**

In opdracht van Royal Haskoning heeft BJA|S Research & Technology een onderzoek uitgevoerd aan de teenconstructies van twee steenzettingen op dijken in Sluis (St. Philipsland) en Ouwerkerk in de provincie Zeeland.

Het onderzoek is erop gericht het gedrag van de teenconstructie te bepalen bij het aanbrengen van belastingen en onder invloed van de getijdebeweging. Over het werkelijke gedrag van deze teenconstructies is nog geen praktijkinformatie beschikbaar en een dergelijk onderzoek is nog niet eerder uitgevoerd. De proeven hebben dan ook een zeer innovatief en lerend karakter.

Na een korte voorbereiding zijn de proeven op locatie uitgevoerd. In het voorliggende rapport is het plan van aanpak beschreven dat ten grondslag ligt aan de uitvoering van de praktijkproeven. Tevens zijn de resultaten van het onderzoek en het verloop van de proeven toegelicht.

Aan de beproevingsresultaten worden verder geen conclusies verbonden. De analyse van de gegevens is voor rekening van de opdrachtgever. Ten aanzien van de proeven wordt uitsluitend het verloop geëvalueerd.

2 Inleiding

2.1 Algemeen

In opdracht van Royal Haskoning Coastal & Rivers voert B|A|S Research & Technology onderzoek uit naar het gedrag van steenzettingen als bekleding voor dijken. Het betreft een onderzoek dat wordt uitgevoerd in navolging van een eerder onderzoek naar de bijdrage van klemming aan de stabiliteit van steenbekledingen onder golfaanval.

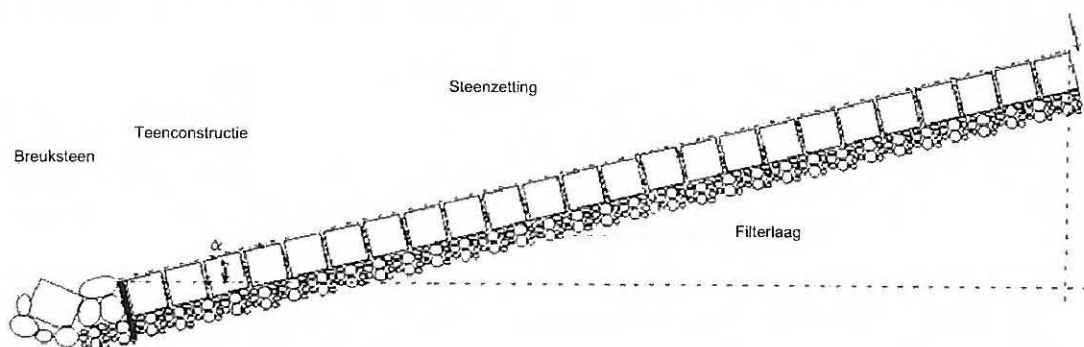
Het actuele onderzoek heeft betrekking op de stijfheid van de teenconstructie van dijkbekledingen. De teenconstructie is de onderste rand van de bekleding, veelal uitgevoerd in hout, waar de dijkbekleding tegenaan wordt geplaatst. Het onderzoek wordt uitgevoerd aan diverse dijkbekledingen verspreid over verschillende locaties in het Zeeuwse kustgebied.

Vooruitlopend op een uitvoeriger onderzoek in 2009 worden in 2008 door B|A|S nog op twee locaties beproevingen uitgevoerd. Op basis van dit onderzoek kan desgewenst de methodiek worden aangepast om in 2009 efficiënt, kwalitatief goede metingen te verrichten.

Onderstaand wordt allereerst het werkplan voor de uitvoering van de proeven beschreven. Daarbij wordt ingegaan op het beproevings- en meetsysteem, de proefopbouw, en het draaiboek voor de uitvoering van de proeven.

2.2 Programma van eisen

De teenconstructie, dan wel de overgangsconstructie, heeft een functie in het in positie houden van de daarboven gelegen toplaag (dijkbekleding). De toplaag kan schuiven over de filterlagen, en wordt daarbij gehinderd door de wrijving van de toplaag op de filterlaag en door de laterale weerstand van de teenconstructie. De teenconstructie vervult daarmee een grote rol in de stabiliteit van de dijkbekleding en zorgt ervoor dat er in de zetting een normaalkracht aanwezig is die groter is dan de kracht die volgt uit het gewicht van elk element op zich. Er ontstaat een klemming die zorgt voor stabiliteit.



Figuur 1: dwarsdoorsnede steenzetting

De belasting op de teen is te definiëren en is afhankelijk van de stijfheid van de teen. De belasting op de teen varieert in de tijd, omdat als gevolg van zetting van de dijk 'kruip' optreedt in het weerstand biedende mechanisme van wrijving van de toplaag op de filterlagen. Ook de variatie van de waterstand heeft hier invloed op. Als de waterdruk toeneemt, neemt de korreldruk af en treedt vervorming van de ondergrond op. Indien deze vervorming boven een bepaalde waarde komt, is de vervorming niet elastisch waardoor de wisselende belasting door de waterstanden tot een soort hysteresis effect leidt waarbij de vervormingen per getijdencyclus licht toeneemt.

Om hier inzicht in te krijgen en een indicatie van de parameters te verkrijgen dient een proef te worden uitgevoerd waarbij de proefbelasting de werkelijke belasting zo getrouw mogelijk nabootst. Het betreft onderzoek naar de sterkte van steenzettingen en het stabiliserende effect van de teenconstructie, gericht op het meten van normaalkrachten in de zetting en de maximale kracht die een teenconstructie kan opnemen.

Aangezien met name de stijfheid van de constructie van belang is dienen zowel belastingen als vervormingen te worden gemeten. Daarnaast is het zo dat de belasting op de teen in werkelijkheid een mengvorm van krachtsgestuurde en vervormingsgestuurde belasting is. Het is daarom van belang dat de proeven zowel kracht- als vervormingsgestuurd kunnen worden uitgevoerd.

2.3 Doelstelling

Het doel van het onderzoek is het vaststellen van het gedrag van teenconstructies onder invloed van een normaalkracht in de dijkbekleding. Op basis van de resultaten van het onderzoek kan de stijfheid van teenconstructies worden beoordeeld.

Concreet wordt onderzoek verricht naar de vragen:

- Hoe gedraagt (vervorming) de teen van de zetting zich bij het herhaald aanbrengen van een belasting in het vlak van de zetting?
- Hoe gedraagt (vervorming) de teen van de zetting zich bij het gedurende 24 uur belasten van de steenzetting met een gelijkblijvende kracht, in het vlak van de zetting?
- Hoe ontwikkelt zich de kracht, in het vlak van de zetting, die nodig is om een opgelegde vervorming van de teen van de zetting gedurende 24 uur te handhaven?
- Hoe ontwikkelt zich de vervorming wanneer de belasting gelijk met het opkomende getij wordt aangebracht?
- Hoe kunnen de belasting en de vervormingen het beste worden gemeten?

In het licht van de bovenstaande vragen is een relatief korte voorbereidingstijd een nieuw hydraulisch meetsysteem ontwikkeld dat nauwkeurig kracht- en vervormingsgestuurd proeven kan doorvoeren.

3 Proeflocaties

3.1 Criteria

Alvorens de proeven zijn uitgevoerd zijn enkele locaties vastgesteld waar de proeven uitgevoerd zouden kunnen worden. De selectiecriteria voor de proeflocaties zijn als volgt:

- Geen nieuwe zetting i.v.m. mogelijke schade en om een goede belastingshistorie op te bouwen;
- De teen ligt lang genoeg vrij bij laagtij;
- De dijk is begaanbaar en bereikbaar met een normale personenauto en een busje.

Op basis van deze criteria zijn twee locaties geselecteerd. De eerste locatie ligt bij de Willemspolder ten zuiden van de Veerhaven bij St. Philipsland. Daar liggen 28 rijen Hydroblokken tegen een betonnen teenplank. De zetting is $\pm 8,6$ meter lang en naar schatting 150 meter breed. De afstand van de teen tot de berm bedraagt ongeveer 15 meter.

De tweede locatie is de Vierbannen polder bij Ouwkerk waar Basalt beproefd wordt. Hier is een houten teen aanwezig. De zetting is ± 12 meter lang en ongeveer 150 meter breed (schatting) en er ligt veel breuksteen op de teen. De afstand van de teen tot de berm bedraagt 14 meter.

Een overzicht van de zettingseigenschappen is in tabel 1 weergegeven. De dwarsprofielen zijn in de bijlage opgenomen.




3.2 Karakteristieken

Beide proeflocaties liggen op een dijkdeel waar verschillende steenzettingstypen aanwezig zijn. Bij deze proevenserie worden alleen Hydroblocks en Basalt beproefd. De dikte van de steenzetting wordt tijdens de beproeving vastgesteld.

	Willemspolder	Vierbannen polder
Steentype	Hydroblocks	Basalt
Hellingshoek (cota)	3,5	3,4
Teenpeil	+0,46 NAP	-0,50 NAP
Teenplank	Beton	Hout
Zettinglengte	8,6 meter	12,0 meter

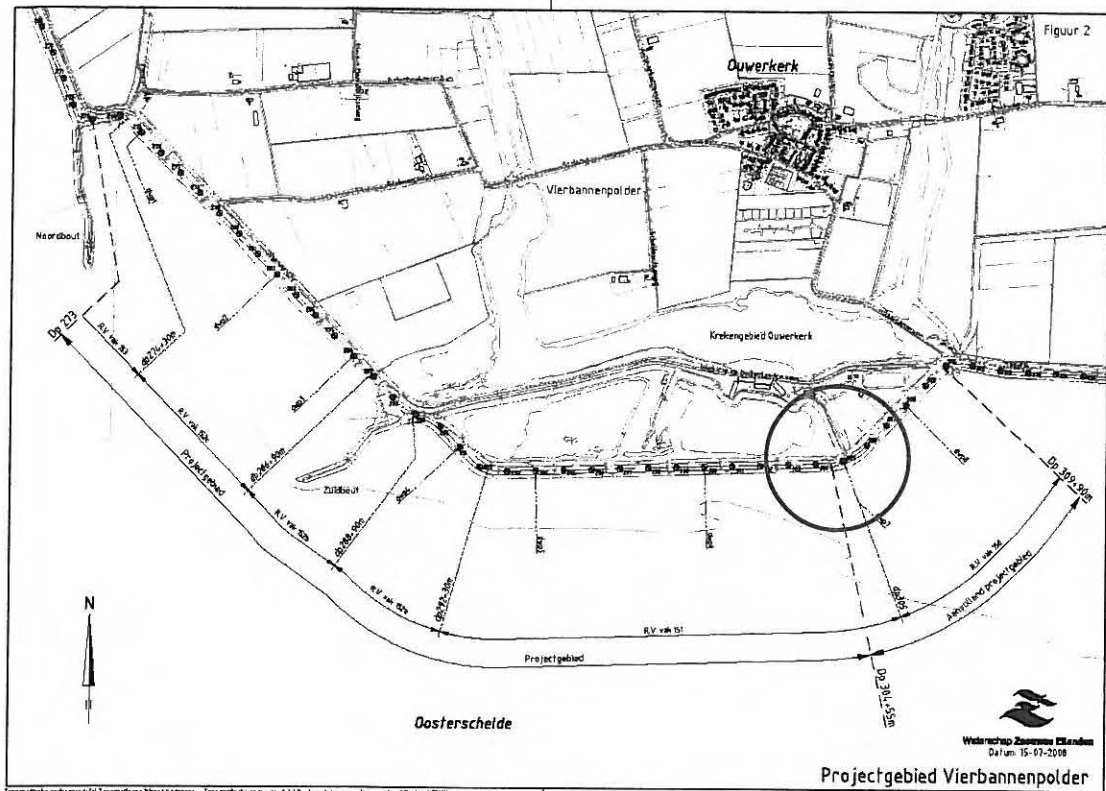
Tabel 1: Overzicht zettingskarakteristieken

3.3 Foto's van de locaties

<p>Aanzicht in Willemspolder, in noordelijke richting gefotografeerd.</p>	
<p>Zetting bij Ouwerkerk in oostelijke richting. Rechts is de teenplank zichtbaar.</p> <p>Genomen op 03-09-2008 om 10:44 uur</p>	
<p>Ouwerkerk in westelijke richting.</p> <p>Genomen op 03-09-2008 om 10:44 uur</p>	

Tabel 2: Foto's meetlocaties

Van de proeflocatie in de Vierbannepolder is een kaartje ter beschikking gesteld, zie omcirkelde gebied in figuur 2.



Figuur 2: Kaart meetgebied Vierbannepolder. Meetlocatie is omcirkeld. Kaartje is door WZE ter beschikking gesteld.

4 Onderzoeksplan

Bij het onderzoek zijn per locatie vijf proeven uitgevoerd. Het gaat daarbij om drie herhalingsproeven en twee 24-uurs proeven.

Bij de herhalingsproeven is driemaal achter elkaar een vastgesteld kracht, in een vooraf bepaalde tijd, op de dijkbekleding aangebracht. De proeven zijn uitgevoerd bij laag water.

Er zijn drie herhalingsproeven uitgevoerd met krachten van respectievelijk 25, 45 en 65 kN/m¹. Tussen de herhalingen in wordt de belasting afgelaten tot een belasting van 15 kN. Het is niet mogelijk om de kracht volledig af te laten aangezien de vijzel in het gat in positie dient te blijven. Daarnaast is het zo dat onder deze waarde de interne wrijving een te grote rol gaat spelen voor een betrouwbare krachtsregeling. De drie proeven worden uitgevoerd op drie verschillende locaties op de dijk.

Bij het onderzoek zijn twee 24-uurs proeven uitgevoerd. Het betreft een kracht en een vervormingsgestuurde proef waarbij respectievelijk een vastgestelde kracht of vervorming gedurende 24 uur wordt gehandhaafd. De grenswaarden voor de aan te brengen vervormingen en krachten zijn op basis van de resultaten uit de herhalingsproeven in overleg op resp. 80 kN en 25 mm gezet. De proefopstelling wordt opgebouwd en afgebroken bij laag water. Tijdens de proefduur van 24 uur gaat er twee keer hoog water over de proefopstelling. Door de vervorming en de krachten gedurende 24 uur te meten kan de invloed van de golfbewegingen op de vervormingen en krachten worden bepaald. Omdat er voor het ombouwen van de proefopstelling enige tijd nodig is, is uit praktische overwegingen een kortere meetperiode ($20 < x < 24$ uur) aangehouden.

De schema's van de doorlopen proeven zijn in paragraaf 7.1 en 7.2 per proef weergegeven.

5 Meetopstelling

De gehele opstelling voor het uitvoeren van de metingen bestaat uit twee separaat functionerende systemen.

Allereerst is er een krachtregelinstallatie aanwezig die zowel op belasting als vervorming beproevingschema's automatisch kan doorlopen. Dit is een klasse 1 machine die speciaal is gemodificeerd voor gebruik op locatie. Deze machine meet gedurende het doorlopen van het beproevingschema waarbij de meting automatisch genuld wordt bij de start van het programma. In de resultaten en grafieken wordt dit systeem 'krachtmachine' genoemd.

Het tweede systeem registreert op één plaats de belasting en op 10 plaatsen de optredende vervormingen. Dit systeem is naar wens op ieder moment in of uit te schakelen. In de resultaten en grafieken wordt dit systeem 'Meetunit' genoemd.

Tijdens de beproevingen is ervoor gekozen de registratie met de meetunit enkele minuten voor de start van de proef in te schakelen en te laten doorlopen tot enkele minuten na de afloop van het beproevingschema. Hiermee kunnen dan ook de reactie van de steenzetting op het aanbrengen van de startdruk voor de vijzel én het volledig ontlasten worden geregistreerd. Met de krachtmachine kunnen deze fasen voor en na het doorlopen van het beproevingschema niet worden gemeten.

5.1 Krachtmachine

Het systeem om de krachten aan te brengen bestaat uit een beproevingsinstallatie die is voorzien van een vijzel. De beproevingsinstallatie wordt geheel door vooraf ingeregelde software aangestuurd. Op die manier wordt een nauwkeurig voorgedefinieerd proefprogramma afgewerkt gedurende een bepaalde periode.

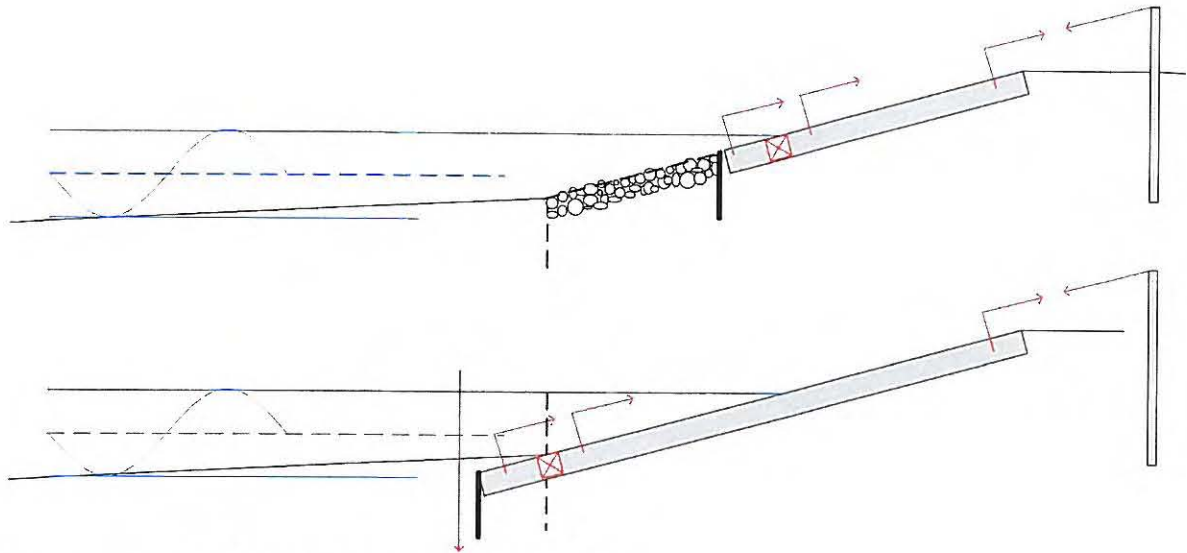
Het gebruikte systeem is exclusief ontwikkeld voor het doen van de hier beschreven proeven op de dijken en is nu voor het eerst in de praktijk getest. Op basis van de opgedane ervaringen kan de uitvoering van het systeem en de werking ervan vervolgens verder worden verfijnd.

Voor deze eerste praktijktesten is een krachtinstallatie ontworpen die een hydraulische vijzel aanstuurt die in het gat in de dijk is geplaatst. De vijzel brengt middels enkele hulpstukken kracht over op de dijk. De krachtlijn van de vijzel wordt zo goed mogelijk tegenover het midden van een teenplank geplaatst. De kracht die de vijzel uitoefent wordt bij de beproevingsinstallatie gemeten. Alleen de vijzel zelf, en de hieraan gekoppelde slangen komen dan in direct contact met het zeewater. De beproevingsinstallatie en de bijbehorende meetapparatuur staan droog, bovenaan de dijk, in een meetwagen opgesteld.

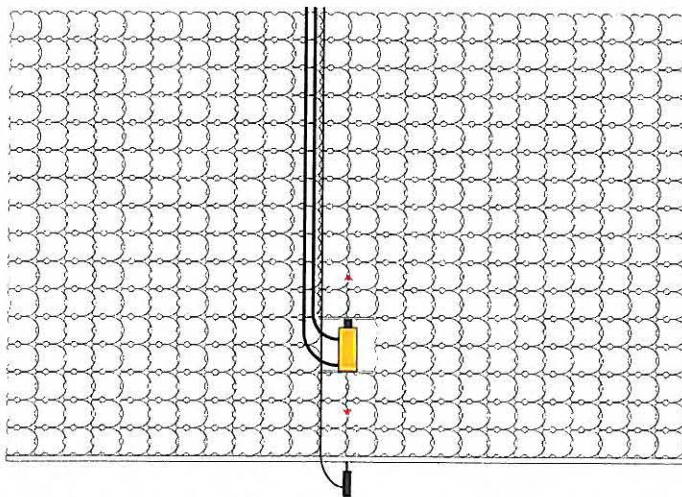
Bij de beproeving van de hydroblocks kunnen de hulpstukken boven en onder de vijzel direct tegen de vlakke stenen aan worden geplaatst. Voor beproeving van niet rechthoekige zettingselementen wordt een hulpstuk gestort om een vlak drukvlak te verkrijgen. Dit hulpstuk wordt ter plaatse vervaardigd waarbij gebruik gemaakt wordt van een snelhardende droge mortel (FastGrout van Grouttech) gemengd met zand.

De installatie kan vervormingsgestuurde proeven doorvoeren. De regelsoftware kan dan bijvoorbeeld een beproeving afbreken wanneer de vervorming een bepaald vooraf gesteld maximum overschrijdt. Verder kan het systeem ook een vastgestelde vervorming vasthouden en dan de kracht zodanig regelen dat de vervorming gelijk blijft.

De installatie werkt op elektriciteit waarvoor een aggregaat op de dijk aanwezig is. Aangezien de machine volledig zelfstandig een proefprogramma kan afwerken is direct toezicht niet continu noodzakelijk. Onderstaand is het regel- en registratiesysteem schematisch weergegeven.



Figuur 3: Schematische doorsnede dijkbekleding proefopstelling

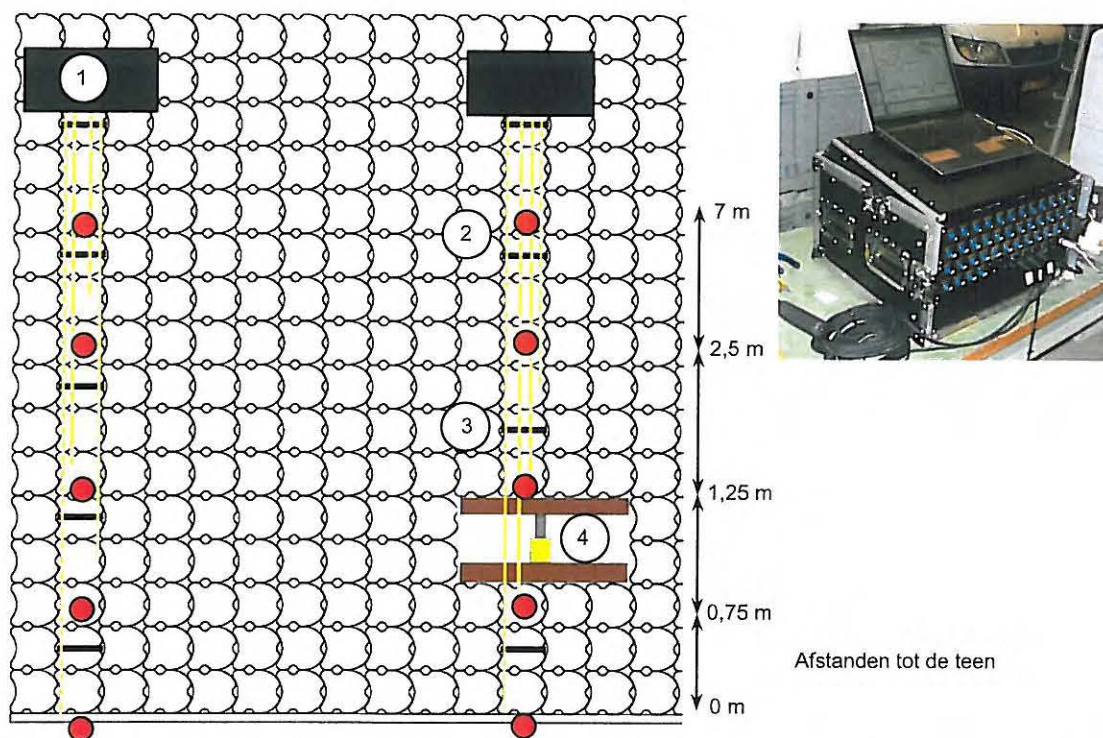


Figuur 4: Schematische weergaven plattegrond beproevingsinstallatie

5.2 Meetunit

Naast het krachtsysteem is er op locatie een meetsysteem aanwezig. Dit systeem is bedoeld om de vervormingen die optreden in de dijk te registreren. De vervormingen worden gemeten met LVDT's (Lineair Variable Displacement Transducer) die in een afgesloten kast recht boven het beproevingsgat worden geplaatst.

De lvd't's (sensoren) die worden gebruikt staan via stalen draadeinden in verbinding met de zetting. De draadeinden liggen in een PVC pijp die met kunststof blokken aan de zetting is bevestigd. Vervormingen in de zetting kunnen zo doorgegeven worden naar sensoren op een droog deel van de zetting. De sensoren zijn middels kabels verbonden aan een meetunit die weer verbonden is met een laptop. De gemeten vervormingen worden softwarematig geregistreerd. Onderstaand is het registratiesysteem schematisch weergegeven.



Figuur 1: Schematische weergave plattegrond meetstelsel. Legenda: 1) Kast met sensoren 2) Meetpunt (rood) 3) PVC pijpen op oplegblokken 4) Gat met vijzel.

Naast de meting van de vervormingen van de zetting wordt ook de temperatuur op een aantal plaatsen gemeten. Hiermee is het mogelijk de temperatuursuizetting van de draadeinden te berekenen en zo nodig uit de resultaten te filteren.

5.3 Registratiesysteem

Het totale registratiesysteem bestaat derhalve uit het krachtsysteem en de meetunit. Het krachtsysteem wordt softwarematig aangestuurd met behulp van een laptop. Een vooraf vastgesteld proefprogramma zorgt voor de besturing van de vijzel. De proefprocedures worden reeds in het laboratorium van BJA|S geprogrammeerd en getest. Hetzelfde programma logt ook gedurende de proef de aangebrachte krachten én de vervorming van de ene sensor die van belang is voor de besturing van de vijzel.

Naast dit regel- en registratiesysteem is een meetunit actief voor de meting van de vervormingen in de dijkbekleding. Dit registratiesysteem logt gedurende het gehele proefverloop de vervormingen op dezelfde wijze als bij de trek- en afschuifproeven zoals uitgevoerd in 2006.

5.4 Foto's meetopstelling

Overzicht van de twee meetlijnen

Opstelling te Sluis voor de 24-uurs krachtgestuurde proef



Vijzelopstelling voor dezelfde proef



Overzicht langs het teenschot



Bevestiging van de draadeinden aan de teenconstructie



Vijzel onder water



Overzicht gehele opstelling met
aggregaat en meetwagen met
registratie en regelapparatuur



6 Proefverloop

6.1 Uitvoering

De uitvoering van de proeven is gestart op woensdag 17 september 2008 op de locatie bij de Willemspolder. Op die locatie is de laatste proef afgerond op woensdag 24 september 2008 waarna het materieel is verhuurd naar de locatie vierbannenpolder bij Ouwerkerk. De proeven zijn daar uitgevoerd tussen donderdag 25 september 2008 en zaterdag 11 oktober 2008, met een onderbreking in verband met slecht weer van dinsdag 30 september tot en met maandag 6 oktober.

Als eerste uitvoeringslocatie is gekozen voor de Willemspolder aangezien deze zetting is opgebouwd uit hydroblocks. Deze stenen beschikken van zichzelf al over een vlak drukvlak waardoor sneller kan worden gewerkt. Op de eerste meetdag is begonnen met de 25 kN herhalingsproef. Hiermee is het minste risico genomen op schade aan de dijk en/of de apparatuur. Deze eerste proef verliep uitstekend en maakte het mogelijk om op de tweede dag de resterende twee herhalingsproeven succesvol af te ronden. Daarbij dient te worden opgemerkt dat de proef van 45 kN als gevolg van een softwarematige instelling kort is onderbroken tijdens de opbouw van de kracht in 30 minuten. De proef is vervolgens direct hervat en alsnog afgerond.

De 24-uursproeven zijn uitgevoerd vanaf 22 september. Als eerste is de krachtgestuurde proef opgestart. Deze proef is goed verlopen ondanks dat ook deze proef kort is onderbroken door een softwarematige instelling. De proef is herstart na 6 uur. Direct aansluitend aan de eerste 24-uursproef is de opstelling omgebouwd en is de vervormingsgeregelde proef gestart. Tijdens deze proef is gebleken dat de krachtmachine niet optimaal kon worden ingeregeld op de materiaaleigenschappen van de dijk. De vervorming van de dijk reageert met een zekere traagheid op de door de machine aangebrachte belasting met als gevolg dat de belasting op een opzwaaiende, stotende manier wordt aangebracht. De eerste analyse van de resultaten doet vermoeden dat hierdoor de elastische reactie van de grond mogelijk is verstoord en dat het beoogde vervormingscriterium op plastische wijze is bereikt. In dat geval wordt de werkelijke situatie op de dijk niet optimaal nagebootst.

Op 25 september zijn de proeven gestart bij de locatie Vierbannenpolder te Ouwerkerk. De teen van de zetting ligt hier beduidend lager dan bij de Willemspolder en de het karakter van de basaltzetting vereist het aanstorten van een drukvlak voordat de proefneming kan beginnen. Als gevolg van deze factoren was het niet meer mogelijk om twee metingen op één dag te doen. De uitvoeringsduur van de werkzaamheden is hierdoor op deze locatie verlengd.

Op deze dijk is, in overleg met een vertegenwoordiger van Deltares, als eerste de 45 kN herhalingsproef uitgevoerd. Een proef met relatief weinig risico en wellicht toch visueel enig resultaat. De proef is goed verlopen evenals de 25 kN herhalingsproef die de dag erna succesvol is afgerond. Vervolgens was het de bedoeling de proeven op maandag 29 september te hervatten. Als gevolg van een defect aan krachtsmachine en een korte werktijd kon de 65kN herhalingsproef die dag niet worden uitgevoerd. Vanwege slecht weer kon de dagen daarop, tot en met maandag 6 oktober, niet worden gewerkt en moest alle apparatuur van de dijk worden verwijderd.

Op 7 oktober is de meetapparatuur op locatie weer opgebouwd waarna op 8 oktober de 65kN herhalingsproef is uitgevoerd. Deze proef is succesvol verlopen. De werktijd was die dag echter zodanig kort dat het niet meer mogelijk was om de eerste 24-uursproef op te starten. Deze eerste 24-uursproef is gestart 9 oktober.

Voorafgaand aan de uitvoering van de 24-uursproeven is getracht de krachtmachine in te regelen voor een nieuwe, beter gecontroleerde, vervormingsgestuurde proef. Gezien de korte werktijd op de locatie bij de Vierbannepolder kon dit echter onvoldoende worden getest en kon niet worden vastgesteld dat de proef nu wel, en beter zou verlopen dan op de locatie Willemspolder. Op dat moment is in overleg met Royal Haskoning besloten om de vervormingsgestuurde proef te laten vervallen en nog twee krachtgestuurde 24-uursproeven uit te voeren.

Deze twee resterende krachtgestuurde 24-uursproeven zijn tussen 9 en 11 oktober 2008 succesvol uitgevoerd.

7 Resultaten

Onderstaand worden de resultaten per proef in een kort overzicht weergegeven.

7.1 Locatie 1 – Willemspolder bij Sluis (St. Philipsland)

7.1.1 Proef 1 – 25 kN cyclisch

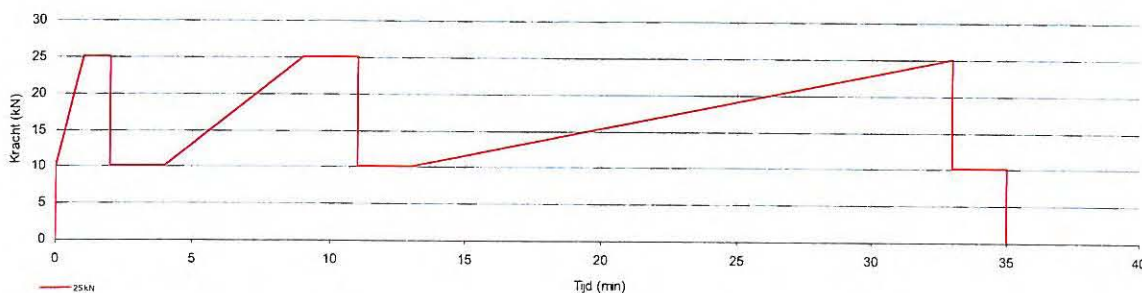
Datum:	17 september 2008
Tijd:	13:50

Schatting waterstand en golfslag	Laagwater bij start proef en nauwelijks golfslag
Weersomstandigheden	Bij start proef zonnig met toenemende bewolking. Na afloop volledig betrokken. Geen neerslag en warm weer – schatting 18 graden
Begroeiing	De zetting is niet begroeid
Voegkwaliteit	De voegen zijn goed gevuld met granietsplit en de voegdiepte is gering – kleiner dan 5 cm. De inwassing en voeggrootte zien er homogeen uit.
Teenbeschrijving	Betonnen band van 7 cm dik en 1 meter lang (breedte/ diepte onbekend) tegen houten paaltjes Ø 8 cm hoh 25 cm zoals gemeten aan de kop.

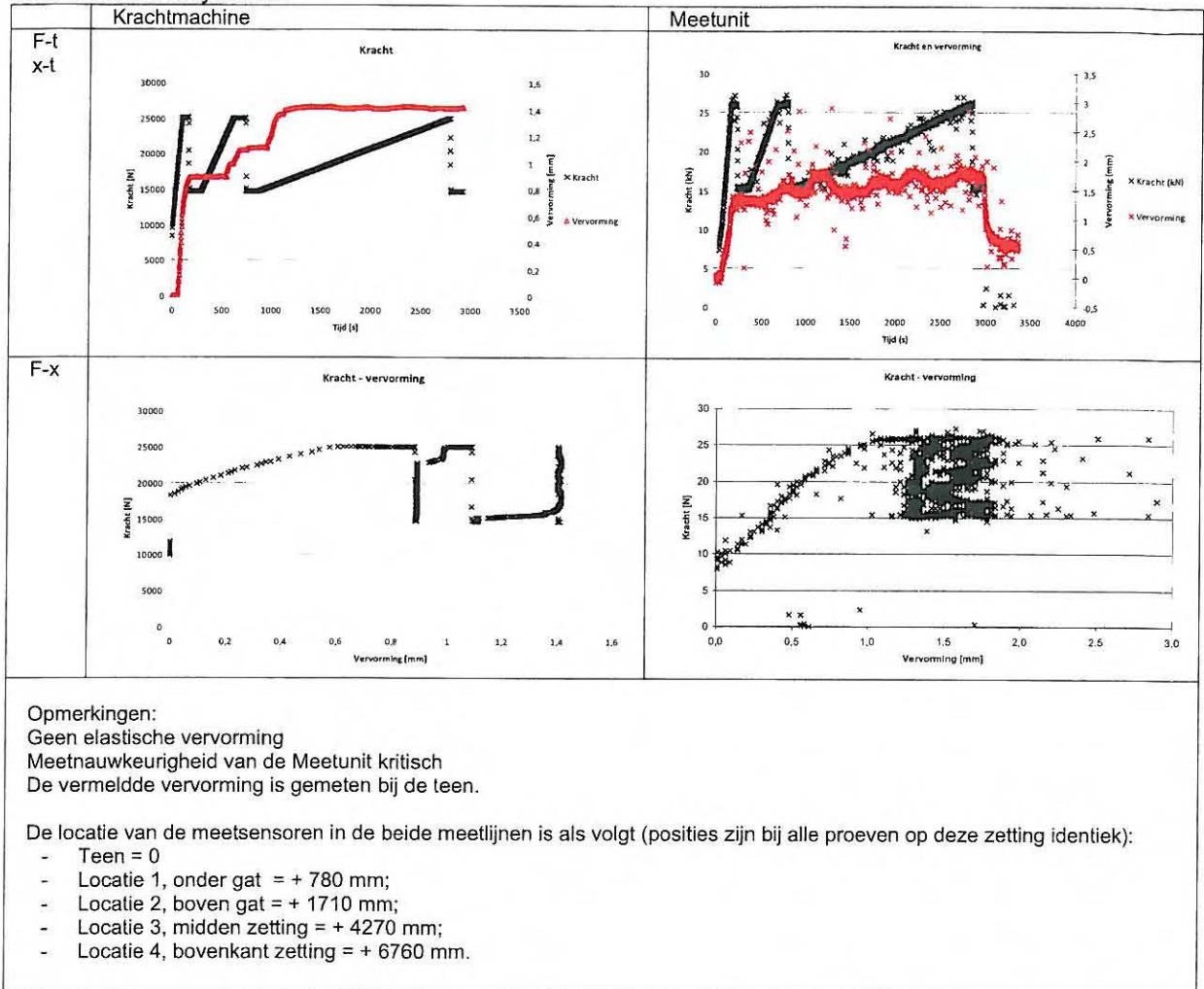
Opmerkingen	
-------------	--

De hydroblocks zijn 40 cm dik

Beoogd proefverloop:



Grafieken meetsysteem:

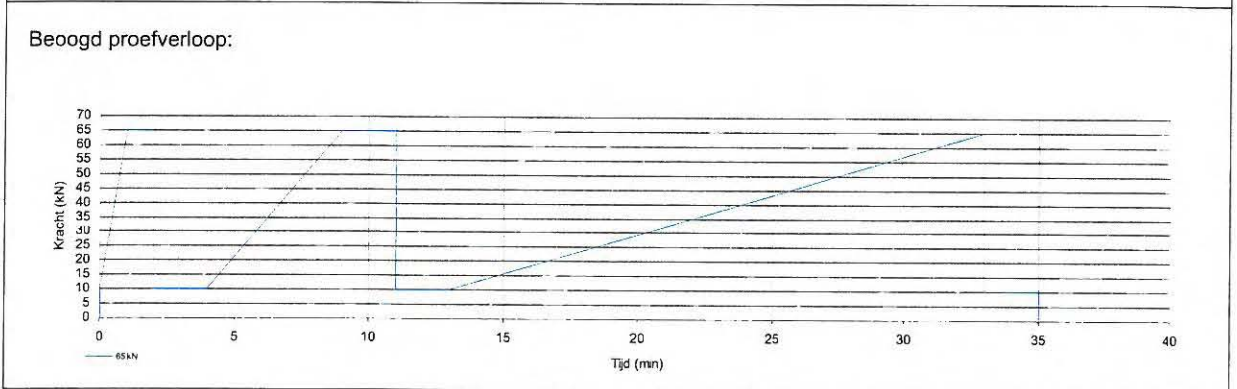


7.1.2 Proef 2 – 45 kN cyclisch

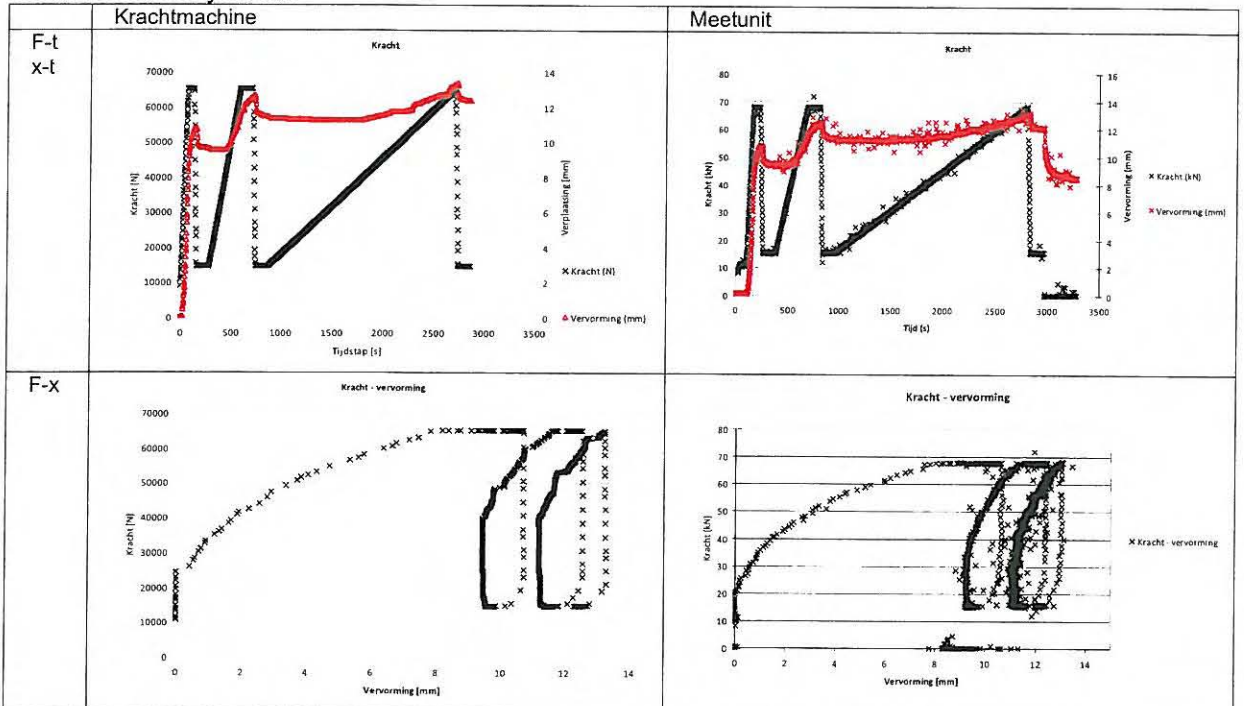
Datum:	18 september 2008
Tijd:	10:40
Schatting waterstand en golfslag	Afnemend tij bij start proef en nauwelijks golfslag
Weersomstandigheden	Bij start proef helder. Fris. Geen neerslag. Naar schatting 14 graden
Begroeiing	De zetting is niet begroeid
Voegkwaliteit	De voegen zijn goed gevuld met granietsplit en de voegdiepte is gering – kleiner dan 5 cm. De inwassing en voeggrootte zien er homogeen uit. Bij het uithemen van de zettingselementen treedt een flinke zuiging op alsof de blokken in de klei staan. Er blijft water in het gat staan.
Teenbeschrijving	Betonnen band van 7 cm dik en 1 meter lang (breedte/ diepte onbekend) tegen houten paaljes rond 8 cm hoh 25 cm zoals gemeten aan de kop.
Opmerkingen	
De hydroblocks zijn 40 cm dik	

Voegkwaliteit	De voegen zijn goed gevuld met granietsplit en de voegdiepte is gering – kleiner dan 5 cm. De inwassing en voeggrootte zien er homogeen uit. Af en toe is een bredere voeg zichtbaar waar de pakketten tegen elkaar zijn gelegd.
Teenbeschrijving	Betonnen band van 7 cm dik en 1 meter lang (breedte/ diepte onbekend) tegen houten paaltjes Ø 8 cm hoh 25 cm zoals gemeten aan de kop.

Opmerkingen:
 De hydroblocks zijn 40 cm dik. Geen bijzonderheden.



Grafieken meetsysteem:



Opmerkingen:
 Kracht weg-diagram krachtsmachine slechts tot aan de onderbreking.
 Deels elastisch, deels niet-elastisch gedrag.

7.1.4 Proef 4 – 24 ursoroef krachtgestuurd

Datum:	22 september 2008
Tijd:	14:46

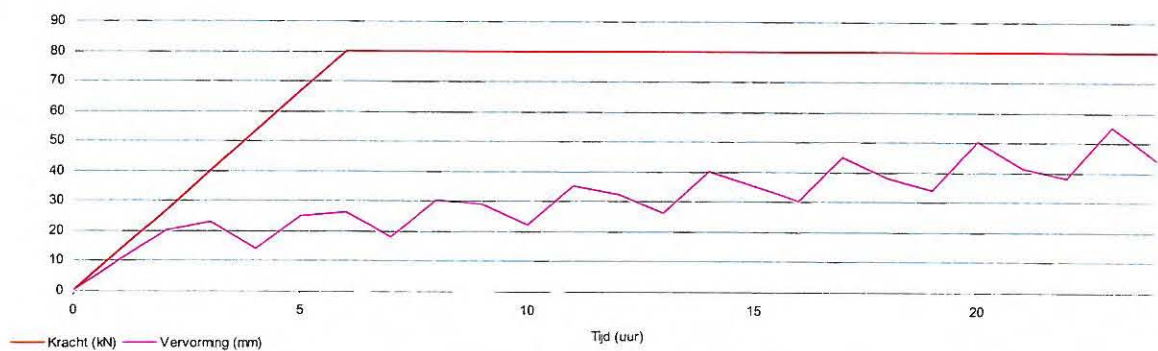
Schatting waterstand en golfslag	Laagwater
Weersomstandigheden	Bij start proef helder en warm. Geen neerslag. Naar schatting 18 graden
Begroeiing	De zetting is niet begroeid
Voegkwaliteit	De voegen zijn goed gevuld met granietsplit en de voegdiepte is gering – kleiner dan 5 cm. De inwassing en voeggrootte zien er homogeen uit. Af en toe is een bredere voeg zichtbaar waar de pakketten tegen elkaar zijn gelegd.
Teenbeschrijving	Betonnen band van 7 cm dik en 1 meter lang (breedte/ diepte onbekend) tegen houten paalljes Ø8 cm hoh 25 cm zoals gemeten aan de kop.

Opmerkingen

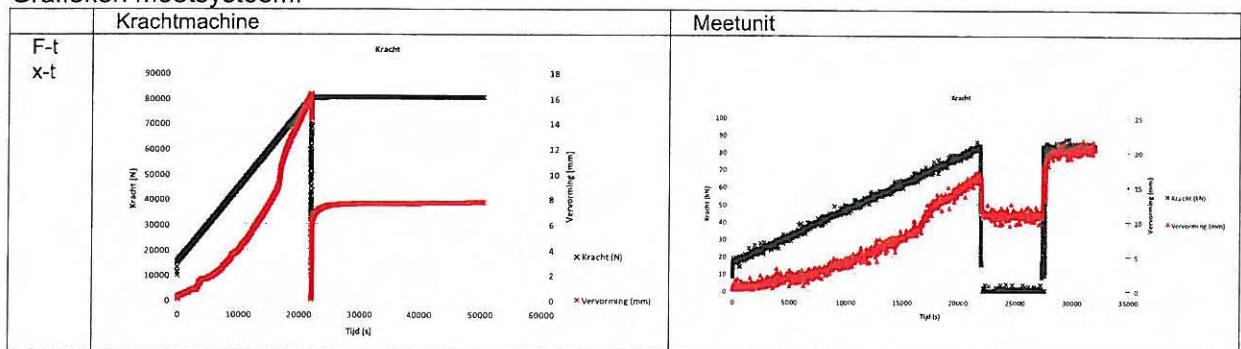
Na het aanbrengen van de belasting is de proef éénmaal afgebroken door een onjuiste software instelling. Dit is na 21940 seconden, ofwel na 6 uur gebeurd. Op seconde 27670 is de proef opnieuw gestart, dus heeft de opstelling 1 uur en 42 minuten stilgelegen. Hierna heeft de proef naar verwachting vanaf half elf de hele nacht doorgedraaid.

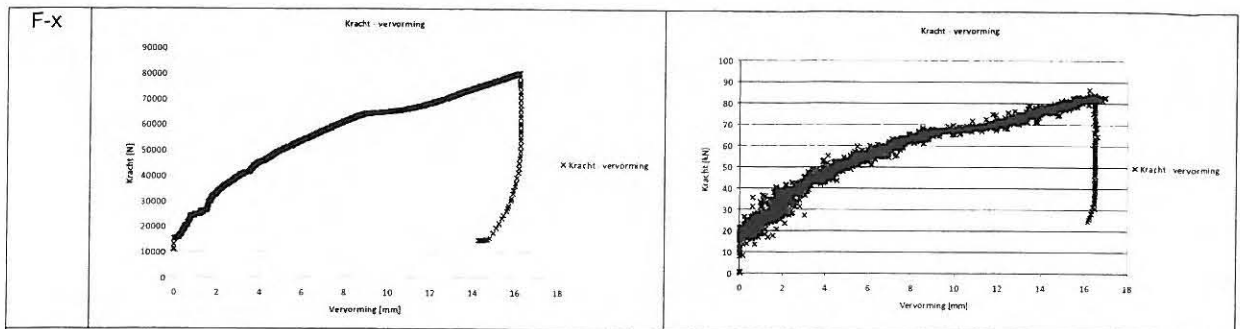
Fotografie aanwezig in opdracht van Projectbureau Zeeweringen

Beoogd proefverloop:



Grafieken meetstelsel:





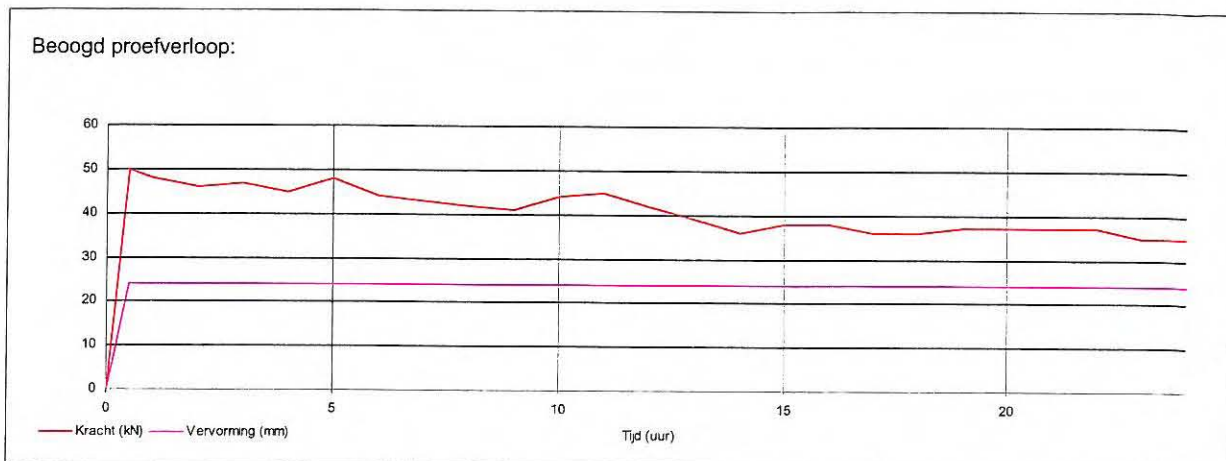
Opmerkingen:
 Krachtmachine nult de vervormingsmeting na elke nieuwe start, vandaar de sprong in het x-t diagram.
 Het kracht weg diagram van krachtmachine is slechts tot de sprong genomen om een continue grafiek te verkrijgen.
 De sprong in de vervormingssnelheid na ongeveer 5 uur is te wijten aan het onder water komen van de teen.
 Slechts de eerste paar uur (ongeveer 8) zijn in de grafieken opgenomen.

7.1.5 Proef 5 – 24 uursproef vervormingsgestuurd

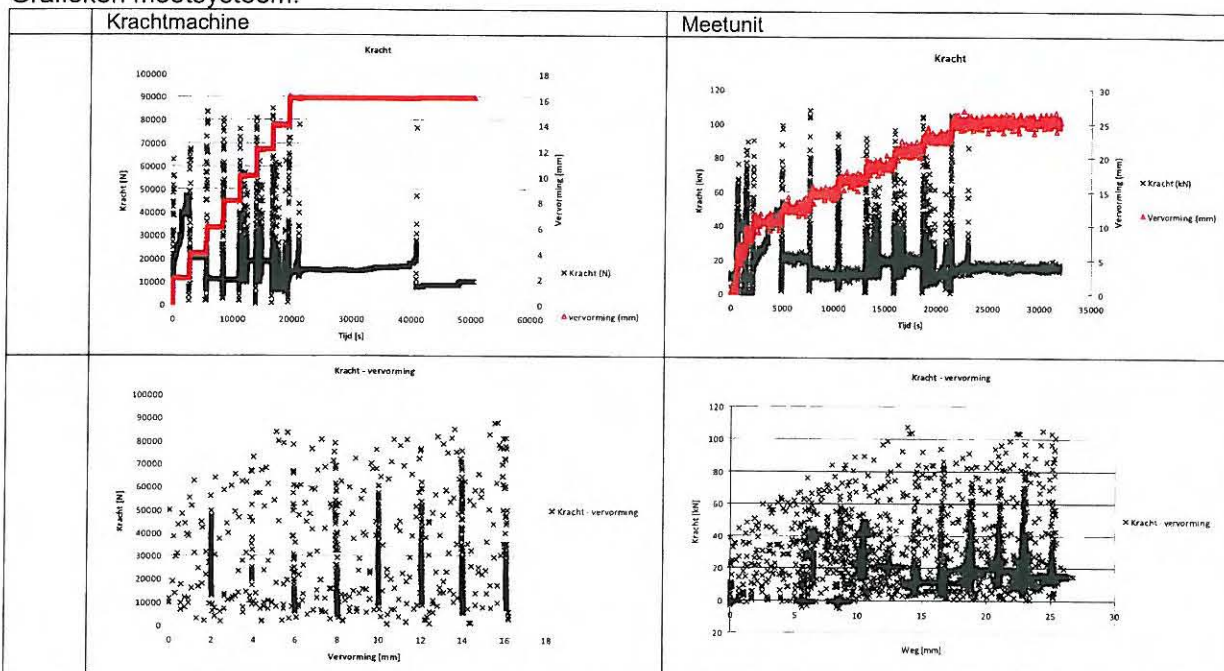
Datum:	23 september 2008
Tijd:	18:30
Schatting waterstand en golfslag	Opkomend water
Weersomstandigheden	Bij start proef helder. fris. Nauwelijks neerslag, wel bewolkt.
Begroeiing	De zetting is niet begroeid
Voegkwaliteit	De voegen zijn goed gevuld met granietsplit en de voegdiepte is gering – kleiner dan 5 cm. De inwassing en voeggrootte zien er homogeen uit. Af en toe is een bredere voeg zichtbaar waar de pakketten tegen elkaar zijn gelegd.
Teenbeschrijving	Betonnen band van 7 cm dik en 1 meter lang (breedte/ diepte onbekend) tegen houten paaltjes Ø 8 cm hoh 25 cm zoals gemeten aan de kop.

Opmerkingen	
<p>De proef is laat gestart. Pas na enkele tests gedurende de eerste 2100 seconden kon met een echt vervormingsgeregelde proef worden begonnen – de teen was toen al zo'n 10 mm vervormd.</p> <p>Bij het inregelen van de opgelegde vervorming wordt door de regelapparatuur een ongelijkmatige krachtsopbouw ingesteld. Hierbij wordt een grote krachtspiek – orde 80 kN – afgewisseld met een vrijwel volledige krachtsafname. Dit wordt veroorzaakt doordat de vervormingen achterblijft ten opzichte van de belasting. De machine is te snel voor de zeer traag reagerende dijk. Daarbij vertonen grondconstructies hysteresis. Beide eigenschappen zorgen ervoor dat de regelapparatuur de opgelegde waarde van de vervorming alleen met extreme uitslagen kan handhaven.</p> <p>De vervormingen die uiteindelijk worden gemeten voldoen wel goed aan de opgelegde vervormingen – echter is door de schokkende krachtsopbouw de teenconstructie zodanig verstoord dat er een zeer lage kracht nodig is om de opgelegde vervorming te handhaven. De stotende wijze van aanbrengen van de kracht leidt er echter toe dat enig elastisch gedrag van de grond teniet wordt gedaan en het geheel plastisch op de opgelegde vervorming blijft staan.</p>	

Beoogd proefverloop:



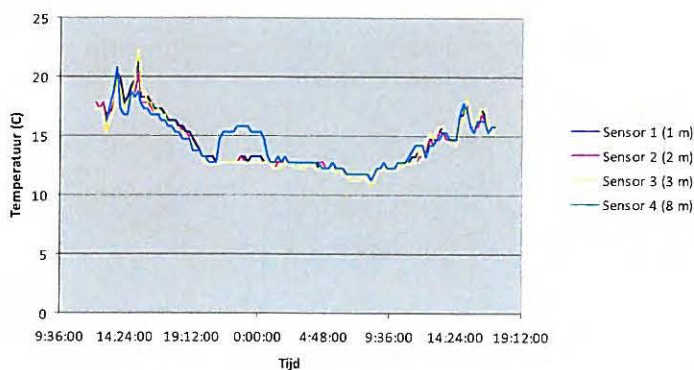
Grafieken meetsysteem:

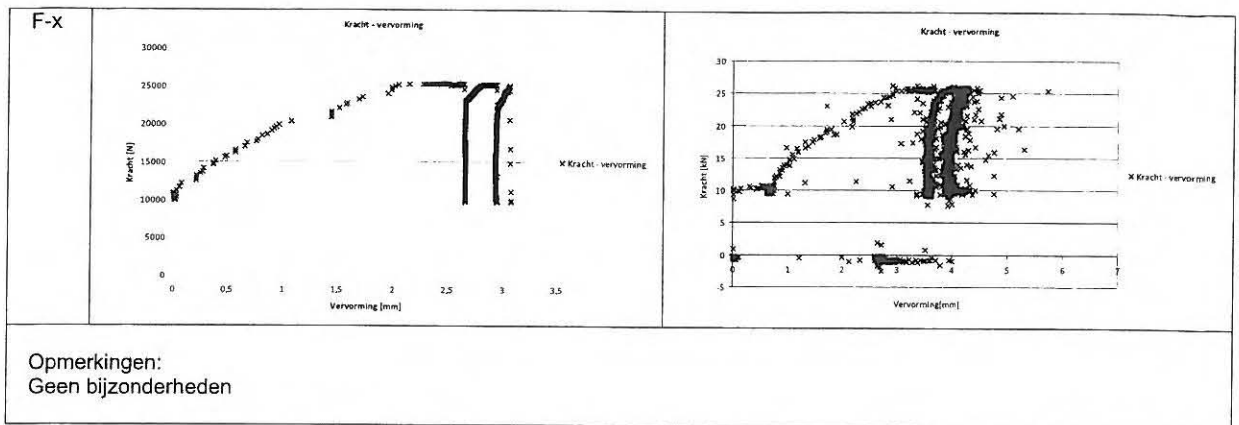


Opmerkingen:

Krachtsmachine en de meetunit bestrijken niet dezelfde datarange.
 Slechts de eerste paar uur (ongeveer 8) zijn in de grafieken opgenomen.
 Gedurende het proefverloop is de temperatuur van de buitenlucht geregistreerd:

Temperatuur 23-09/24-09



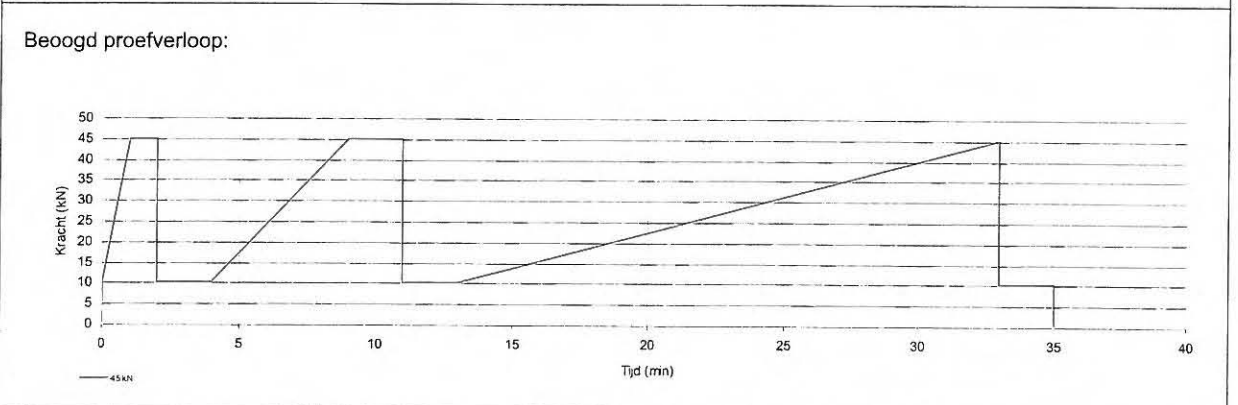


7.2.2 Proef 2 – 45 kN cyclisch

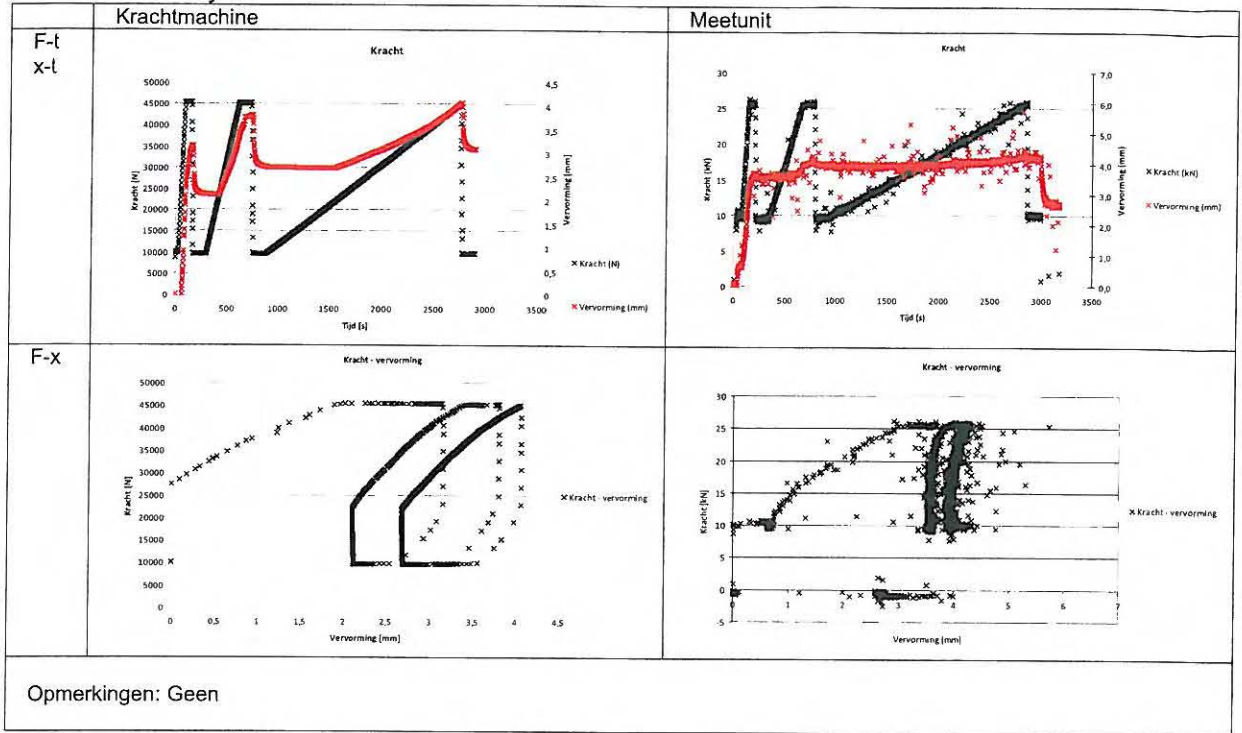
Datum:	25 september 2008 (vóór de 25 kN proef)
Tijd:	19:51

Schatting waterstand en golfslag	Opkomend water
Weersomstandigheden	Bij start proef helder. Geen neerslag en nauwelijks wind. Avondschemer valt al in.
Begroeiing	De zetting is niet begroeid. Op de teen ligt wel een laag slijk met allerlei slakken etc.
Voegkwaliteit	De voegen zijn goed gevuld met zandige klei. Er blijft water in de voegen en in het gat staan. De Basaltblokken lijken direct in de klei te staan – een filterlaag is niet aangetroffen.
Teenbeschrijving	Houten damwandconstructie. Elementen van zo'n 7 x 15 cm.

Opmerkingen	
De basaltstenen zijn van gevarieerde dikte, meest om de 25 cm.	
Robert 't Hart aanwezig bij opbouw en proefstart.	



Grafieken meetsysteem



7.2.3 Proef 3 – 65 kN cyclisch

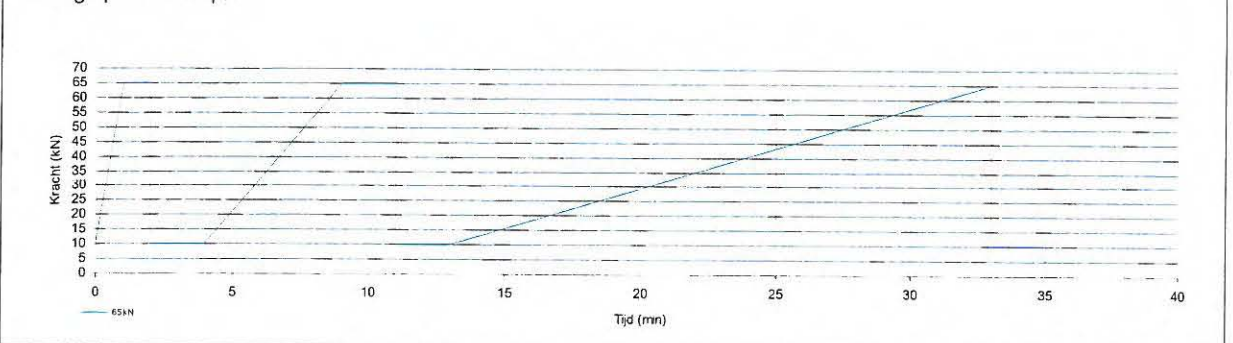
Datum:	8 oktober 2008
Tijd:	15:28

Schatting waterstand en golfslag	Aflopend water
Weersomstandigheden	Helder. Weinig wind. Naar schatting 15°C
Begroeiing	De zetting is niet begroeid. Op de teen ligt wel een laag slijk met allerlei slakken etc.
Voegkwaliteit	De voegen zijn goed gevuld met zandige klei. Er blijft water in de voegen en in het gat staan. De Basaltblokken lijken direct in de klei te staan – een filterlaag is niet aangetroffen.
Teenbeschrijving	Houten damwandconstructie. Elementen van zo'n 7 x 15 cm.

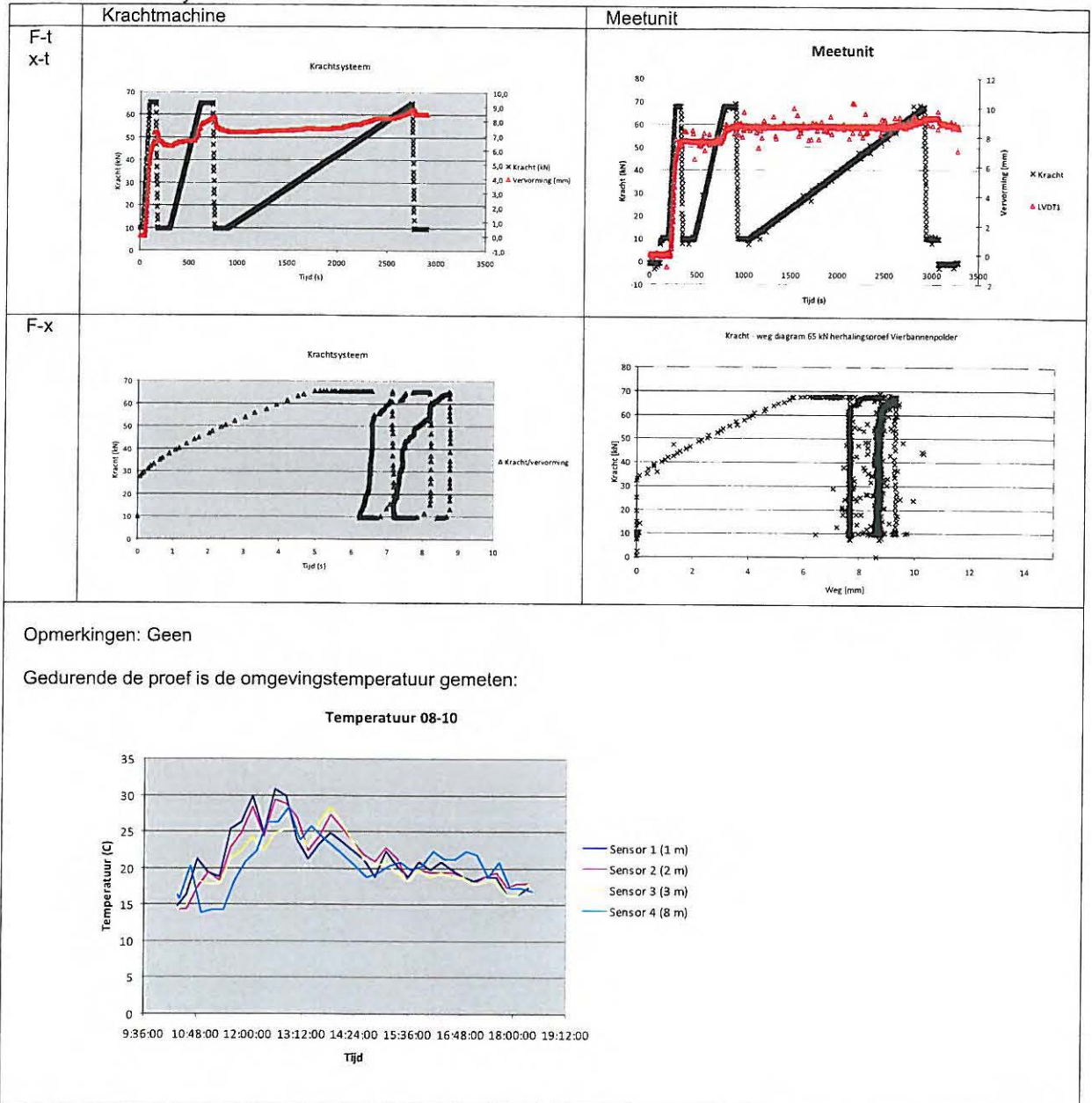
Opmerkingen	
-------------	--

De basaltstenen zijn van gevarieerde dikte, meest om de 25 cm.

Beoogd proefverloop:

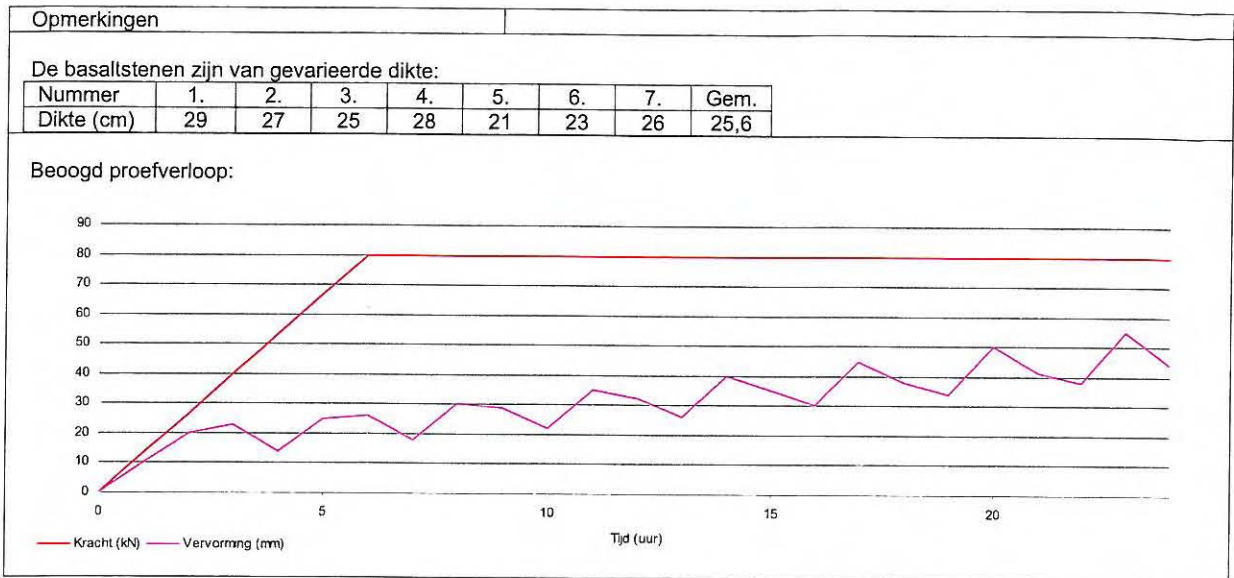


Grafieken meetsysteem

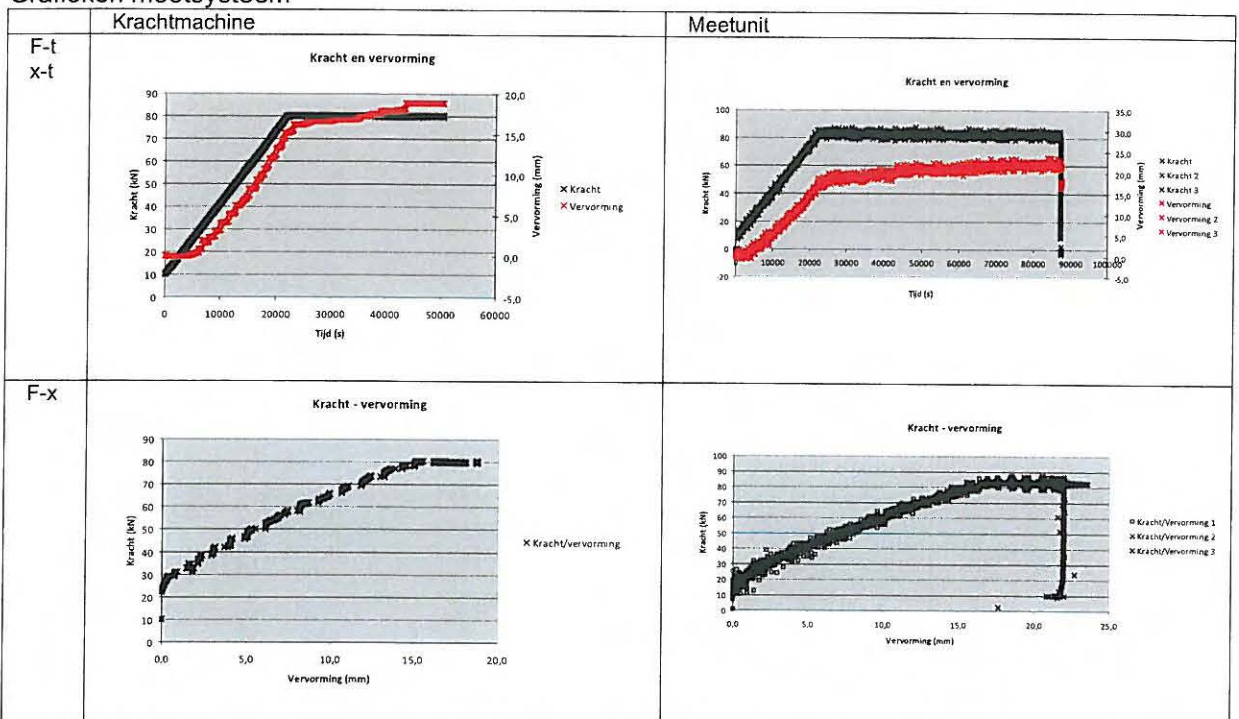


7.2.4 Proef 4 – 24-uursproef krachtgestuurd

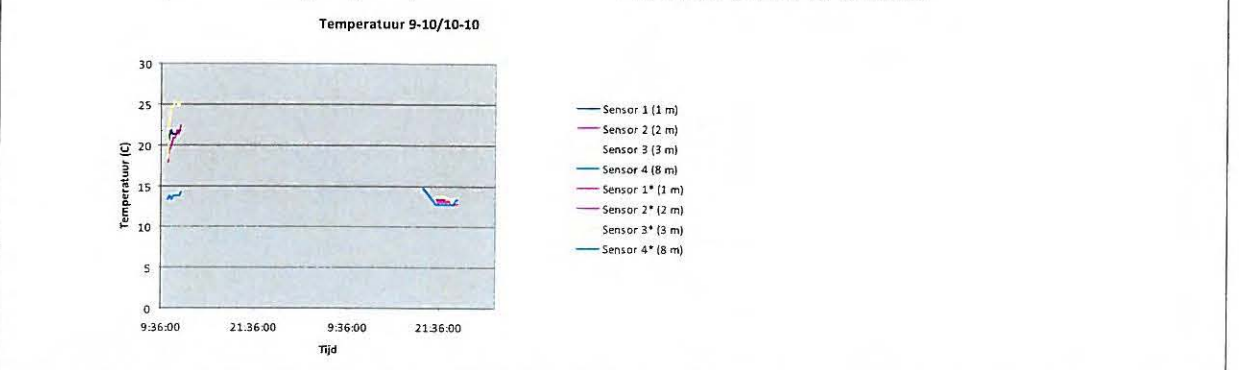
Datum:	9 oktober 2008
Tijd:	16:12
Schatting waterstand en golflslag	Aflopnd water
Weersomstandigheden	Helder. Weinig wind. Naar schatting 16°C
Begroeiing	De zetting is niet begroeid. Op de teen ligt wel een laag slijk met allerlei slakken etc.
Voegkwaliteit	De voegen zijn goed gevuld met zandige klei. Er blijft water in de voegen en in het gat staan. De Basaltblokken lijken direct in de klei te staan – een filterlaag is niet aangetroffen.
Teenbeschrijving	Houten damwandconstructie. Elementen van zo'n 7 x 15 cm.



Grafieken meetstelsel



Opmerkingen: Geen
 Gedurende de proef is de omgevingstemperatuur en de watertemperatuur (sensor 4) gemeten:



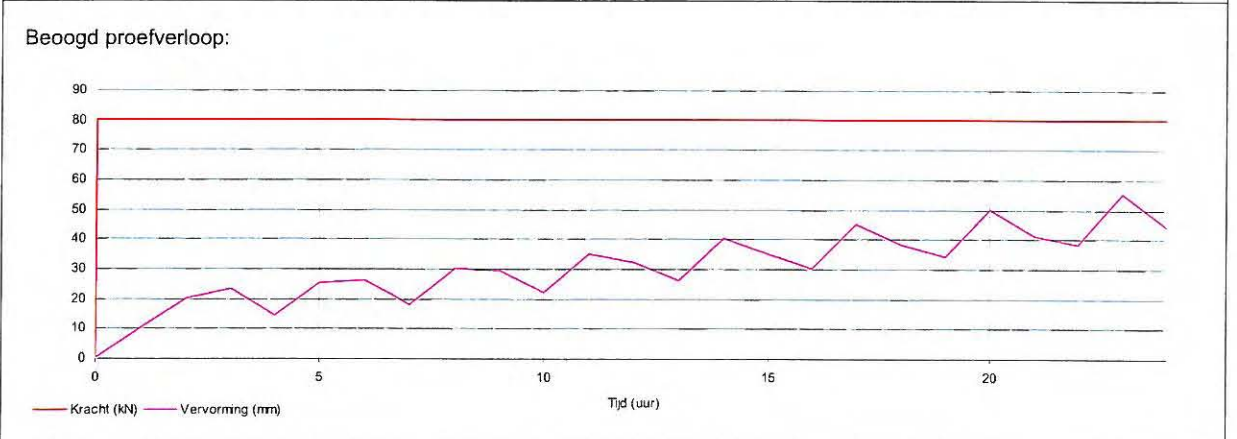
De locatie van de meetsensoren in de meetlijnen is als volgt:	
Meetlijn 1, over het gat - Teen = 0 - Locatie 1, onder gat = + 700 mm; - Locatie 2, boven gat = + 1900 mm; - Locatie 3, midden zetting = + 4600 mm; - Locatie 4, bovenkant zetting = + 10400 mm.	Meetlijn 2, 0-lijn - Teen = 0 - Locatie 1, onder gat = + 1100 mm; - Locatie 2, boven gat = + 2000 mm; - Locatie 3, midden zetting = + 3350 mm; - Locatie 4, bovenkant zetting = + 10200 mm.

7.2.5 **Proef 5 – 24-uursproef krachtgestuurd**

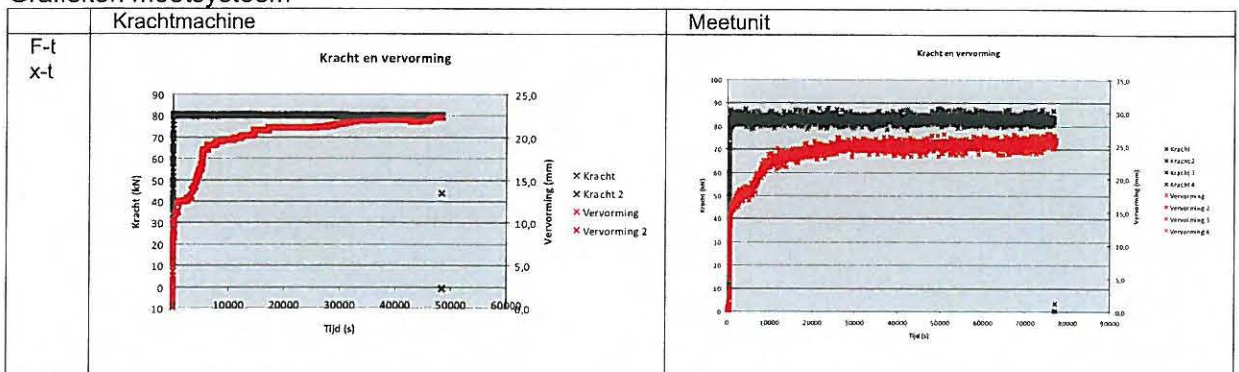
Datum:	10 oktober 2008
Tijd:	20:20

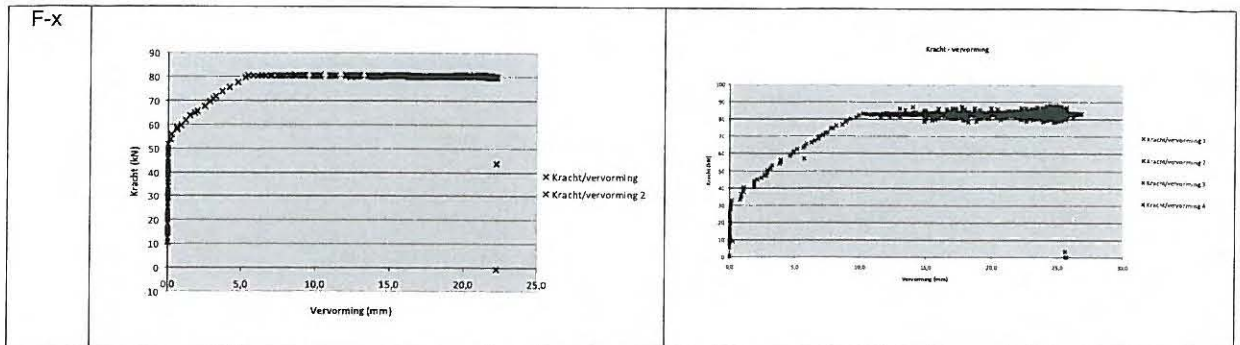
Schatting waterstand en golfslag	Laag water
Weersomstandigheden	Helder. Weinig wind. Naar schatting 15°C
Begroeiing	De zetting is niet begroeid. Op de teen ligt wel een laag slijk met allerlei slakken etc.
Voegkwaliteit	De voegen zijn goed gevuld met zandige klei. Er blijft water in de voegen en in het gat staan. De Basaltblokken lijken direct in de klei te staan – een filterlaag is niet aangetroffen.
Teenbeschrijving	Houten damwandconstructie. Elementen van zo'n 7 x 15 cm.

Opmerkingen
De basaltstenen zijn van gevarieerde dikte, meest om de 25 cm. Ten opzichte van andere krachtgestuurde proef nu opbouw naar 80 kN in 1 minuut.



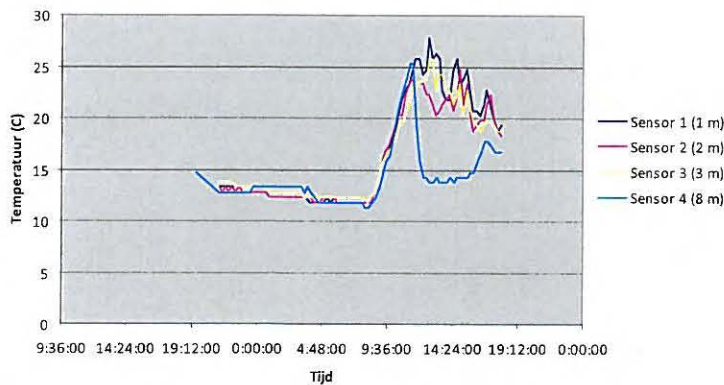
Grafieken meetstelsel





Opmerkingen: Geen
 Gedurende de proef is de omgevings- en watertemperatuur gemeten:

Temperatuur 10-10/11-10



De locatie van de meetsensoren in de meetlijnen is als volgt:

Meetlijn 1, over het gat

- Teen = 0
- Locatie 1, onder gat = + 500 mm;
- Locatie 2, boven gat = + 1500 mm;
- Locatie 3, midden zetting = + 4400 mm;
- Locatie 4, bovenkant zetting = + 10300 mm.

Meetlijn 2, 0-lijn

- Teen = 0
- Locatie 1, onder gat = + 1100 mm;
- Locatie 2, boven gat = + 2000 mm;
- Locatie 3, midden zetting = + 4200 mm;
- Locatie 4, bovenkant zetting = + 10200 mm.

8 Nabeschuiving

8.1 Meetsysteem

Ten aanzien van het ontwikkelde meetsysteem moet worden geconcludeerd dat het systeem naar behoren heeft gefunctioneerd. Met wat kleine aanpassingen zijn de proeven verlopen zoals vooraf in het systeem ingesteld. Het systeem heeft tijdens de proeven goed gedraaid en geschikt is voor uitgebreidere toepassing.

Uit de eerste analyse van de vastgestelde resultaten blijkt dat de uitwerking van de uitgeoefende kracht op de teenconstructie en de steenzetting anders is dan, voor zover mogelijk, vooraf is voorspeld. De resultaten vertonen een aantal fenomenen die mogelijk enerzijds aan de werking van het systeem kunnen worden toegeschreven maar ook gerelateerd zijn aan het specifieke gedrag van de belaste constructie.

In relatie tot het meetsysteem zijn er dan ook een aantal punten die, bij vervolgmetingen, voor verbetering vatbaar zijn. Allereerst is er in dit geval gekozen om te werken met een eenvoudige enkelwerkende vijzel, ondermeer vanwege het agressieve milieu waarin de vijzel moet kunnen functioneren. Het nadeel van een dergelijke vijzel is dat deze beschikt over een inwendige veer waarmee de cylinder, na belasting, terug de behuizing in wordt geduwd. Bij het uitoefenen van een belasting is het echter zo dat deze veerweerstand eerst dient te worden overwonnen alvorens een kracht op de constructie wordt overgebracht. Mogelijk is het beter om bij vervolproeven gebruik te maken van een dubbelwerkende vijzel die bestand is tegen het zeewatermilieu.

Uit de werkzaamheden op locatie blijkt dat de teenconstructie en de steenzetting zich in de praktijk met een zekere traagheid gedragen bij het aanbrengen van belastingen. Het huidige meetsysteem, waarbij de vijzel indirect is aangestuurd (de vervorming van de dijk is maatgevend voor de aansturing), heeft tot gevolg dat een opgelegde kracht met een vertraging als vervorming wordt gemeten. Het uitvoeren van een strak geregelde vervormingsgestuurde proef blijkt dan te worden belemmerd. Voor vervolgmetingen is het daarom van belang dat de vervorming ook direct aan de vijzel kan worden gemeten opdat het krachtverloop bij de vervormingsgestuurde proef beter kan worden geregeld.

Voor het onderzoek is er bewust voor gekozen om de vervormingen middels lvd't's, in een beschermde opstelling bovenaan de dijk, te meten. De vervormingen worden via stangen in een kunststof behuizing direct overgedragen aan de vervormingmeters. Zodoende worden de vervormingmeters niet blootgesteld aan golfslag of agressief zeewater.

8.2 Proefverloop

De proeven naar het gedrag (stijfheid) van de teenconstructie bij belasting zijn succesvol verlopen. Er zijn tien proeven uitgevoerd waarvan zes herhalingsproeven en vier 24-uursproeven.

De uitvoering van de proeven heeft geduurd van woensdag 17 september 2008 tot en met zaterdag 8 oktober 2008. Daarbij hebben de proeven \pm 1 week vertraging opgelopen in verband met een onderbreking als gevolg van slecht weer.

Bij de uitvoering van de proeven zijn vrijwel geen complicaties opgetreden. Slechts één keer is de proef enige tijd onderbroken als gevolg van een softwarematige onjuiste instelling. Deze instelling is direct gewijzigd waarna deze onderbreking zich niet meer heeft voorgedaan.

Bij de 24-uursproeven zijn drie krachtgestuurde en één vervormingsgestuurde meting verricht. De vervormingsgestuurde meting is volgens het protocol verlopen maar heeft vooralsnog, gezien het gedrag van de dijk in relatie tot de bediening van de machine, niet het optimaal gewenste resultaat opgeleverd. De uitvoering van een vervormingsgestuurde proef op de dijk vergt een uitgebreidere voorbereiding en een verdergaande afstemming van de meetapparatuur op het gedrag van de zetting en de teenconstructie. Voor toekomstige proeven dient hiervoor adequate voorbereiding in acht te worden genomen.

Bij de proeven zijn diverse temperatuurmetingen uitgevoerd. Bij eventuele vervolproeven dienen de temperaturen van de omgeving en het water continu te worden gemeten.

De verzamelde data wordt in dit rapport voor analyse ter beschikking gesteld.







Foto 1: Overzicht steenzetting Willemspolder



Foto2: Voorbereiding proefopstelling



Foto 3: Voorbereiding proefopstelling bij de teen

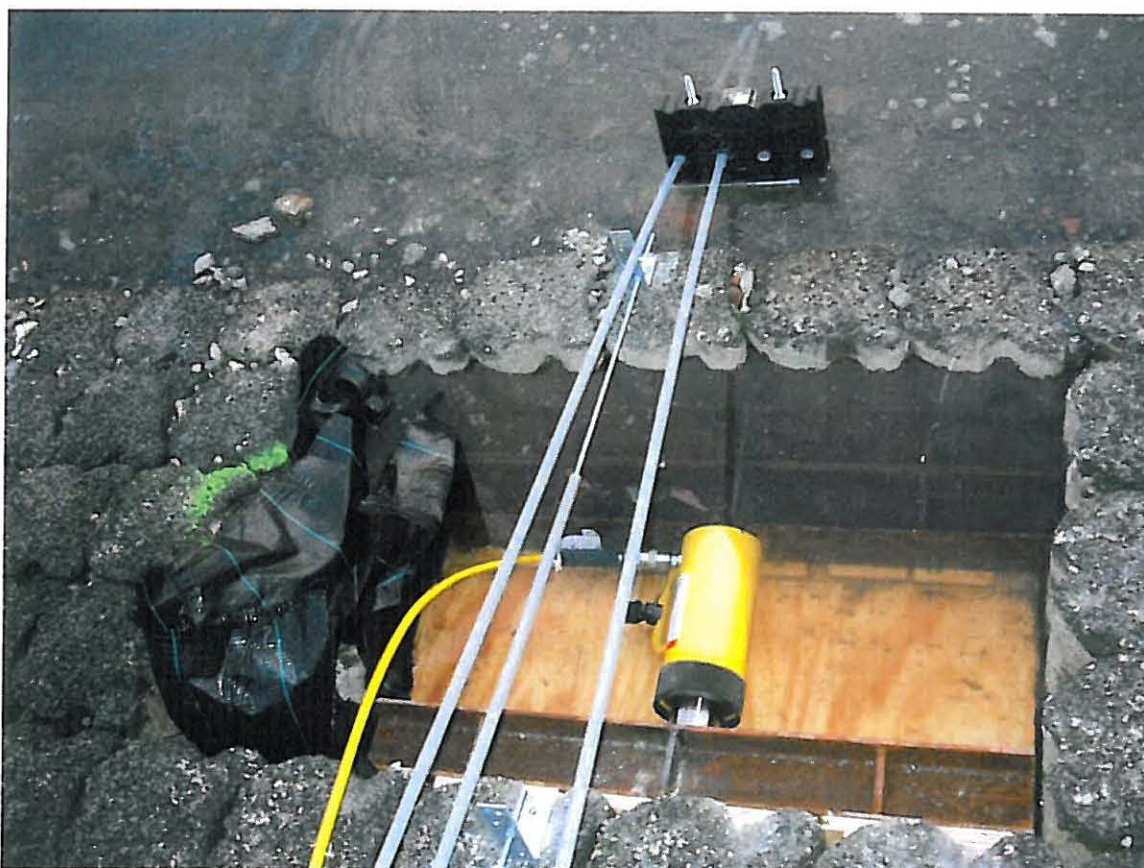


Foto 4: Vijzel in het gat



Foto 5: Vervorming van de teenconstructie onder belasting



Foto 6: Overzicht steenzetting Vierbannepolder



Foto 7: Meetopstelling



Foto 8: Vervorming teenconstructie onder belasting



Foto 9: Vervorming van de teenconstructie onder belasting

Bijlage 2

Calibratie rapporten vijzel met bijbehorende toelichting

Gericht aan: Royal Haskoning B.V.
Architectuur & Bouw
T.a.v. dhr. Ir. D.J. Peters
Postbus 6582
6503 GB Nijmegen

Datum: 14 november 2008

Opdrachtnummer: 2008-0514-004

Betreft: Onderzoek vervormingen teenconstructie steenzettingen

Geachte heer Peters, beste Dirk-Jan,

In navolging op de opmerkingen zoals door de heer 't Hart aangegeven, inzake het meetsysteem zoals toegepast bij de metingen aan de teenconstructie op de dijken, stuur ik bij deze een toelichting.

Uit het verhaal zijn een aantal aspecten gedestilleerd:

- Komt de kracht in de grafiek overeen met de werkelijke kracht op de zetting?
- Bevatten de grafieken van de proeven ook gedeelten in de negatieve waarden?
- Komt het krachtsverloop, uitgeoefend op de zetting, overeen met het vjzeldrukverloop? Wordt de machinedruk door de vjzel gelijkmatig op de zetting overgebracht;
- Waarom loopt de vervorming in de grafieken, bij het afdrukken van de kracht, verder door dan de krachtsgrafiek;
- Wat is de verklaring voor de kromming in de vervormingslijn? Wordt het systeem bij oplopende kracht steeds stijver?

De toelichting:

Voorafgaand aan het onderzoek is de gehele meetopstelling gekalibreerd. Daarbij is de krachtsmachine, gekoppeld aan een grote trekbank en is onderzocht of de gemeten kracht op de machine overeenkomt met de gemeten kracht op een externe constructie. Bij dat onderzoek is vastgesteld dat de machine de kracht 1:1 overbrengt op de constructie. Dat betekent dat de gemeten kracht in de machine gelijk is aan de kracht die gemeten wordt op de externe constructie, en daarbij ook gelijkmatig oploopt.

De kracht die de machine uitoefent wordt inderdaad gemeten in oliedruk. De oliedruk in de machine wordt in de software omgezet in kracht. De machine is gekalibreerd waarbij is vastgesteld dat de druk, ook bij oplopende drukken, in de betreffende opstelling juist wordt omgezet in kracht. Met het oog op kosten en de zeer geringe voorbereidingstijd is geen gebruik gemaakt van een loadcell op de vjzel, loadcell's voor toepassing in zoutwater zijn zeer kostbaar en kennen een lange levertijd (worden op bestelling gemaakt).

Bij het onderzoek is ook een drempelwaarde van de vjzel vastgesteld. Gebleken is dat de

vijzel zeker bij een kracht van tussen 10 en 15 kN betrouwbaar kan worden aangestuurd. De reden voor deze drempelwaarde is tweeledig. Enerzijds is het zo dat er gebruik wordt gemaakt van een enkelwerkende vijzel. Deze vijzel bevat een veer die ervoor moet zorgen dat de vijzel terugzakt als de kracht wordt afgelaten. Deze veerweerstand dient te worden overwonnen alvorens de cilinder uit de behuizing beweegt. Daarnaast is het zo dat ook hier vanwege de korte voorbereidingstijd is gekozen voor het vijzeltype Enerpac. Dit zijn zeer robuuste vijzels die snel kunnen worden ingezet. Voor deze initiële proeven, met een experimenteel karakter, was deze vijzel goed inzetbaar. Voor volgende proeven is het aan te bevelen om tijdig een vijzel op maat te laten maken welke specifiek geschikt is voor maritieme toepassing. Wellicht is het dan ook verstandig om een dubbelwerkend type te nemen en een loadcell in te bouwen.

Tijdens de proeven is vastgesteld dat het vijzelloppervlak snel vervuild en wordt aangetast door het zeewater. Hoewel de vijzel voor iedere proef grondig is gereinigd bestaat de mogelijkheid dat de aantasting heeft geleid tot wat meer weerstand. Wellicht is het verstandig om de vijzel bij volgende metingen te voorzien van een beschermende omhulling.

De proefopstelling is na terugkomst in Venlo opnieuw gekalibreerd. Opnieuw is daarbij vastgesteld dat de kracht juist wordt geregistreerd in de software en dat de geregistreeerde kracht gelijk is aan de kracht die op de externe beproevingsbank wordt uitgeoefend. Ook is vastgesteld dat de kracht gelijkmatig oploopt. Overigens is bij terugkomst in het laboratorium een hogere drempelwaarde van de vijzel gemeten. Enerzijds kan dat veroorzaakt zijn doordat de vijzel (cilinder), als gevolg van belasting met zeewater, nog stroever door de behuizing beweegt. Anderzijds is vastgesteld dat één van de aanwezige slangkoppelingen niet geheel optimaal functioneerde met als gevolg dat de machine een enigszins grotere kracht moest overbruggen alvorens een kracht op de zetting uit te kunnen oefenen.

Als deze drempelwaarde echter eenmaal overschreden is wordt de druk op de zetting uitgeoefend, net als bij de kalibratie de druk op het externe frame wordt uitgeoefend. Het systeem verandert niet voor wat betreft de drukbepalende factoren (oppervlak slang en cilinder, slangen en cilinder zijn gevuld met olie enz.) waardoor de gemeten kracht derhalve overeenkomt met de werkelijk op de zetting uitgeoefende kracht.

Bij de uitgevoerde kalibraties is vastgesteld dat de kracht van de beproevingsmachine gelijkmatig op de externe bank worden overgedragen. Ook in het gedrag van de vijzel zijn wat dat betreft geen onregelmatigheden vastgesteld. De machine is ook als zodanig geprogrammeerd wat betekent dat het vijzeldrukverloop gelijk zou moeten zijn aan het krachtverloop op de zetting. Uit de analyse van alle proeven blijkt dat de vervorming in geen van de gevallen gelijk loopt met de kracht. De kracht-vervorming grafieken vertonen allemaal krommen waaruit kan worden opgemaakt dat naarmate de kracht groter wordt, de vervorming sneller toeneemt (bij grotere krachten is de vervorming per kN krachtopbouw groter). De teen reageert derhalve gedurende de proef steeds meer plastisch.

Het feit dat het lijkt alsof de grafiek verspringt, kan ons inziens niet verklaard worden vanuit het meetsysteem. De hele machine (pomp, slangen en vijzel) zijn immers verschillende keren gekalibreerd waarbij geen onregelmatigheden zijn vastgesteld. Naar onze mening komen deze kleine sprongen dan ook voort uit het gedrag van de zetting en

de teen. Onder invloed van onder andere verschuivende stenen treden dan 'trillingen' op waardoor het lijkt alsof de grafiek verspringt. In werkelijkheid toont de grafiek een, gezien de proefomstandigheden en het onderzochte materiaal, een gelijkmatige kromme.

De verschillende grafieken bevatten inderdaad delen met negatieve waarden. Een andere instelling van de assen in excel maakt deze negatieve waarden zichtbaar. De databestanden, bij het rapport bijgevoegd, kunnen op dat punt worden aangepast.

Uit de grafieken van de proeven blijkt dat de vervorming van de zetting, ook na het aflaten van de druk, korte tijd gehandhaafd blijft. Dit fenomeen wordt veroorzaakt doordat de druk op de zetting gemeten wordt direct bij de krachtmachine en de vervorming op de teenplank. Als de kracht door de machine wordt afgelaten wordt dit direct geregistreerd. Vervolgens zakt de cilinder in de vijzel langzaam terug waarbij de kracht niet in een keer van maximaal naar 0 terugzakt. Op dat moment begint de vervorming aan de teen terug te lopen. Tussen het aflaten van de druk in de machine en het registreren van de afnemende vervorming aan de teen zit dan enkele seconde die als zodanig zichtbaar zijn in de grafiek.

Vertrouwende U hiermede voldoende te hebben geïnformeerd verblijf ik, met vriendelijke groeten,

Hoogachtend,

Ir. J.W.M. Bovend'Eerd
Consultant

B|A|S Research & Technology

Olivier van Noortweg 10
5928 LX Venlo
Tel.: +31 (0)77 850 72 22
Fax: +31 (0)77 850 72 23
info@basbv.com
www.basbv.com

Kalibratierapport hydraulische vijzel

1 Algemeen

1.1 Opdracht

Opdrachtgever: Royal Haskoning
Opdrachtnummer: 2008-0514-001

1.2 Apparatuur

Apparaat: - soort: Hydraulische vijzel
- merk: Enerpac
- type: RC506

Kalibratiedatum: juli 2008
Datum rapport: juli 2008

2 Resultaten

stap nummer	kracht kN	kracht vijzel kN	afwijking %
1	11,0	10,5	4,5
2	21,3	20,6	3,3
3	26,9	25,8	4,1
4	31,3	30,0	4,2
5	37,1	36,0	3,0
6	41,7	40,1	3,8
7	47,3	45,0	4,9
8	52,1	50,1	3,8
9	62,4	60,1	3,7
10	72,6	70,0	3,6
		gemiddeld	3,9

P.L.M. Bisschop
Laborant

J.W.L. Cuppen
Hoofd laboratorium

Kalibratierapport hydraulische vijzel

1 Algemeen

1.1 Opdracht

Opdrachtgever: Royal Haskoning
Opdrachtnummer: 2008-0514-001

1.2 Apparaat

Apparaat: - soort: Hydraulische vijzel
- merk: Enerpac
- type: RC506

Kalibratiedatum: november 2008
Datum rapport: november 2008

2 Resultaten

stap nummer	kracht kN	kracht vijzel kN	afwijking %
1	11,4	-	-
2	21,2	-	-
3	22,5	21,6	4,0
4	31,4	30,3	3,5
5	36,9	35,2	4,6
6	41,6	40,0	3,8
7	47,1	45,4	3,6
8	51,9	49,9	3,9
9	62,8	59,8	4,8
10	72,1	69,5	3,6
		gemiddeld	4,0

P.L.M. Bisschop
Laborant

J.W.L. Cuppen
Hoofd laboratorium