



# FACTUAL REPORT:

## GOLFOPLOOPPROEVEN NOORD-BEVELAND

---

**Opdrachtgever:** Deltares

**Projectnummer:** 13i084

**Versie:** 1.3

29-05-2014



**INFRAM B.V.**

**Postbus 16**

**8316 ZG MARKNESSE**

**Tel.: 0527 – 24 11 20**

**Fax: 0527 – 24 11 19**

**[www.infram.nl](http://www.infram.nl)**

---

---

## Projectgegevens

**Titel:** Factual Report: Golfplooproeven Noord-Beveland  
**Versie:** 1.2  
**Status:** DEFINITIEF  
**Datum:** 23-05-2014  
**Opdrachtgever:** Deltares  
**Projectnummer:** 13i084  
**Partners:** Van der Meer Consulting B.V.

**Auteurs:** Jan Bakker, Roy Mom, Gosse Jan Steendam, Wing Hong Wong

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>3</b>
1.1	Doel	4
1.2	Leeswijzer	5
<b>2</b>	<b>Proefopstelling olooppoeven Noord-Beveland</b>	<b>6</b>
2.1	Algemeen	6
2.2	Watervoorziening	7
2.3	Stroomvoorziening	8
2.4	Teststrook	8
<b>3</b>	<b>Simulatie oloop</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Metingen</b>	<b>15</b>
4.1	Erosie	15
4.2	Hydraulische metingen	17
<b>5</b>	<b>Proefverloop</b>	<b>26</b>
5.1	Proeflocatie	26
5.2	Programma	26
5.3	Teststrook 1	27
5.4	Teststrook 2	31
5.5	Teststrook 3	34
5.6	Teststrook 4	37
5.7	Teststrook 5	39
<b>6</b>	<b>Grastrekproeven</b>	<b>44</b>
	<b>Referenties</b>	<b>47</b>
	<b>BIJLAGEN</b>	<b>48</b>
<b>A.</b>	<b>Overzicht uitgevoerde proeven</b>	<b>49</b>
<b>B.</b>	<b>Nulsituatie teststroken</b>	<b>55</b>
<b>C.</b>	<b>Plaatsing meetinstrumenten teststrook HM</b>	<b>63</b>
<b>D.</b>	<b>Metingen teststrook HM</b>	<b>65</b>
<b>E.</b>	<b>Vegetatieonderzoek</b>	<b>67</b>
<b>F.</b>	<b>Bodemonderzoek</b>	<b>68</b>
<b>G.</b>	<b>Ontwikkeling erosie en schade (foto's)</b>	<b>69</b>
<b>H.</b>	<b>Ontwikkeling schade (3D-laserscanner)</b>	<b>79</b>
<b>I.</b>	<b>Meetresultaten grastrekproef</b>	<b>88</b>



# 1 Inleiding

Om het inzicht in de sterkte van waterkeringen en de mechanismen die tot bezwijken kunnen leiden te vergroten, is het ministerie van Infrastructuur en Milieu enkele jaren geleden gestart met het onderzoeksprogramma Sterkte en Belastingen Waterkeringen (SBW). In dit programma onder andere de sterkte van de op de kruin en binnentalud aanwezige grasbekledingen bij golfoverslag onderzocht. Hierbij zijn onder andere full-scale proeven uitgevoerd met de golfoverslagsimulator.

Begin 2012 zijn het SBW en het programma om het Wettelijk Toetsinstrumentarium (WTI) te actualiseren samengevoegd tot één programma: Wettelijk Toetsinstrumentarium 2017 (WTI2017). Het programma bestaat uit 11 clusters. De eerste 4 clusters hebben een overkoepelend karakter en leveren algemene bouwstenen voor het nieuwe toetsinstrumentarium. De resterende clusters zijn thematisch inhoudelijk van aard. Binnen deze clusters doen Rijkswaterstaat en Deltares onderzoek en wordt nieuwe kennis ontwikkeld, die vervolgens wordt vertaald naar bruikbare toetsregels.

In cluster 5, bekledingen, wordt onderzocht hoe sterk de op dijken aanwezige bekledingen zijn, hoe ze zich verhouden nadat de eerste schade is ontstaan en hoe snel schade zich uitbreidt. Voor validatie van het erosiemodel bij golfoploop, zoals beschreven in het rapport "SBW Wave overtopping and grass cover strength, Model development" (Deltares, mei 2013), is een golfoploopsimulator ontwikkeld. Met deze simulator zijn in de periode februari – maart 2014 full-scale proeven uitgevoerd.

Behalve oploopproeven zijn met behulp van de graszodetrekker grastrekproeven uitgevoerd om de kritieke stroomsnelheid in het turf-element model te kunnen valideren.

Zowel de oploop- als grastrekproeven zijn uitgevoerd op de waterkering van Noord-Beveland, gelegen tussen Kats en Colijnsplaat (zie Figuur 1). Deze waterkering valt onder het beheer van Waterschap Scheldestromen.



Figuur 1-1: Proeflocatie Noord-Beveland (bron: google maps)

De reden dat deze proeven in het gesloten seizoen dienen plaats te vinden ligt in het feit dat de maatgevende omstandigheden, waarop de waterkering is ontworpen en wordt getoetst, in het stormseizoen (=gesloten seizoen) geacht worden op te treden. Omdat de grasmat zich dan in een minder vitale conditie bevindt, is dat de periode waarin de erosiebestendigheid van de grasbekleding moet worden onderzocht. De verwachting is namelijk dat de bovengrondse plantendelen en bijbehorende wortelstructuren in het groeiseizoen, en dus buiten het gesloten seizoen, dusdanig meer weerstand tegen erosie kunnen bieden dat die situatie niet representatief is voor de maatgevende omstandigheden.

In opdracht van Deltares heeft Infram de golfoploopprouven en bijbehorende logistieke operaties uitgevoerd. In deze rapportage wordt verslag gedaan van het uitvoeren van de proeven en de waarnemingen. Later in 2014 zal de evaluatie van de resultaten apart worden gerapporteerd.

## 1.1 Doel

Met de oloopprouven op de waterkering van Noord-Beveland zijn de volgende doelen nagestreefd:

- validatie van het erosiemodel voor golfoploop;
- het vaststellen van de erosiebestendigheid van de aanwezige grasbekleding bij golfoploop;
- het vaststellen van de invloed van aanwezige overgangen op de genoemde erosiebestendigheid;
- het vaststellen van de reststerkte na initiële schade;
- het vaststellen van de invloed van niet-waterkerende objecten bij golfoploop;
- het meten van de (front-)snelheid en de 'dikte' van het oplopende water;

NB: het vaststellen van de reststerkte na initiële schade en de invloed van niet-waterkerende objecten bij golfoploop zijn niet binnen cluster 5 van het WTI2017 uitgevoerd, maar zijn op initiatief van Projectbureau Zeeweringen in opdracht van Deltares uitgevoerd.

Om deze doelen te kunnen realiseren zijn op de locatie verschillende teststroken ingericht. In Tabel 1-1 is per teststrook aangegeven welke doelen werden nagestreefd. Een uitgebreid overzicht van de uitgevoerde proeven is weergegeven in Bijlage A.

Tabel 1-1: Overzicht full scale proeven Noord-Beveland

Teststrook	Doel proef
1	Bepalen erosiebestendigheid grasbekleding en invloed: <ul style="list-style-type: none"> <li>- overgang tussen de asfaltberm en de licht hellende grasberm; en</li> <li>- overgang tussen de grasberm en het met gras beklede boventalud</li> </ul>
2	Bepalen erosiebestendigheid grasbekleding en invloed: <ul style="list-style-type: none"> <li>- overgang tussen het asfalt en de het met gras beklede boventalud</li> </ul>
3	Bepalen erosiebestendigheid grasbekleding en invloed: <ul style="list-style-type: none"> <li>- overgang tussen de betonblokkenberm en de licht hellende grasberm; en</li> <li>- overgang tussen de grasberm en het met gras beklede boventalud</li> </ul>
4	Bepalen reststerkte bekleding na initiële schade.
5	Bepalen invloed van een niet-waterkerend object: trap.
HM	Bepalen hydraulische parameters (waterdruk, (front)snelheden en laagdikte)

Op teststroken 1-5 is de op het buitentalud gelegen grasbekleding tot falen of tot de maximale capaciteit van de golfploopsimulator belast. Behalve oploopproeven zijn met behulp van de graszodetrekker grastrekproeven uitgevoerd.

In het voorliggende rapport worden de volgende zaken beschreven:

- de algemene proefopstelling;
- de gehanteerde meetmethodes en de daarbij behorende apparatuur;
- de meer gedetailleerdere proefopstelling per locatie en per teststrook;
- het proevenprogramma;
- het proefverloop;
- de resultaten van de proeven;
- de grastrekproeven

Dit rapport beschrijft alleen de uitvoering van de golfploop- en grastrekproeven en de eerste resultaten aan de hand van ingewonnen data en waarnemingen. Nadere analyse van de meetresultaten (o.a. waterdrukken, laagdiktes en (front)snelheden) zal in vervolgrapportages worden uitgewerkt. In dit rapport wordt regelmatig gesproken in termen van circa en ongeveer. Dit heeft als oorzaak dat bijvoorbeeld kruin- en teenlijnen, schades en hoogtes door onregelmatig oppervlak niet altijd eenduidig vast te stellen zijn. Dit wordt in-situ zo nauwkeurig mogelijk vastgesteld. Door gebruik van de 3D laserscanner tijdens de golfplooppoeven is bewerking achteraf ook mogelijk.

## 1.2 Leeswijzer

In het volgende hoofdstuk volgt een beschrijving van de bij golfplooppoeven gebruikte proefopstelling. In hoofdstuk 3 wordt kort ingegaan op de bij de proeven gesimuleerde belasting. Hoofdstuk 4 beschrijft de metingen die tijdens de proeven zijn uitgevoerd en de uitvoering van de hydraulische metingen. In hoofdstuk 5 is proefverloop beschreven. Hoofdstuk 6 beschrijft de uitvoering van de grastrekproeven.



## 2 Proefopstelling olooppoeven Noord-Beveland

### 2.1 Algemeen

De voor de golfoplooppoeven gebruikte proefopstelling is waar mogelijk steeds op eenzelfde wijze opgebouwd. Voorafgaand aan het opbouwen van de proefopstelling werd vastgesteld wat de optimale plaatsing voor de verschillende onderdelen was. Daarbij is zoveel mogelijk voortgeborduurd op de uitvoering van eerder uitgevoerde golfoverslagpoeven en is rekening gehouden met een minimaal aantal verplaatsingen van materieel indien de proefopstelling naar een volgende teststrook verplaatst diende te worden. Een voorbeeld van de proefopstelling is in Figuur 2-1 weergegeven.



Figuur 2-1: Proefopstelling olooppoeven Noord-Beveland

De proefopstelling bestond uit de volgende onderdelen:

- een golfoploopsimulator van 2 meter breed en circa 8 meter hoog. De golfoploopsimulator is op het onder de buitenberm gelegen talud geplaatst. De locatie van de uitstroomopening bevindt zich precies boven het punt dat 0,4 m onder het begin van de buitenberm ligt;  
NB: bij teststroken 2 en 5 is de oloopsimulator op de buitenberm geplaatst.
- een 2 m brede teststrook op het te onderzoeken talud, aan de zijkant afgeschermd door geleidingsschotten die met behulp van houten palen van ca. 1 m lengte in het talud worden aangebracht; (op de harde verdediging wordt deze constructie aangepast omdat daar geen palen te gebruiken zijn.)
- een frequentieel instelbare pomp met een capaciteit van 500 m<sup>3</sup>/uur (ca. 140 l/s), welke het gewenste debiet in de oloopsimulator pompt;
- een frequentieregelunit, die als regelbare "aansturing" dient voor de pomp;
- 2 dieselgeneratoren om zowel de pomp en hydraulische apparatuur als de meetwagen en kantoorwagen van elektriciteit te voorzien

Ten behoeve van personeel, de bediening van diverse apparatuur en opslag van materiaal is gebruik gemaakt van twee snelwegketen en een zeecontainer. Een snelwegkeet omgebouwd tot meetwagen is gebruikt voor diverse meetapparatuur en was het centrale punt voor de bediening van de golfoploopsimulator en overige apparatuur tijdens de full-scale poeven. De tweede snelwegkeet en de zeecontainer werden respectievelijk als kantoorruimte en opslag gebruikt.

## 2.2 Watervoorziening

De watervoorziening werd verzorgd door een in het water geplaatste regelbare centrifugaalpomp met een capaciteit van 500 m<sup>3</sup>/uur. Tijdens opbouw van de proefopstelling werd de pomp in de Oosterschelde geplaatst. Omdat bij laagwater de waterdiepte te beperkt was om proeven uit te kunnen voeren is uiteindelijk een gat naast de pomp gegraven, zodat de pomp bijna 2 m dieper geplaatst kon worden.

Het water werd via hogedrukleidingen van de pomp naar de golfoploosimulator getransporteerd. Door het getij is sprake van variatie in de opvoerhoogte. Hiermee is bij de uitvoering van de proeven rekening gehouden.



Figuur 2-2: Plaatsen van de pomp

Omdat bij de grotere oploepvolumes ook sprake was van overslag van zout water is het overslaande zoute water op de kruin opgevangen en naast de teststrook weer teruggeleid naar de Oosterschelde. Hiertoe is op de kruin een opvangconstructie geplaatst (zie Figuur 2-3).



Figuur 2-3: De opvangconstructie op de kruin

NB: bij teststroken 2 en 5 is in overleg met de beheerder besloten deze opvangconstructie niet te plaatsen. Op deze manier kon het binnentalud ook op overslag worden beproefd.

## 2.3 Stroomvoorziening

Om de proefopstelling van stroom te voorzien werd gebruik gemaakt van een tweetal dieselgeneratoren. Een klein dieselaggregaat met een capaciteit van 30 kW werd gebruikt voor het continu leveren van stroom ten behoeve van de keten (meet- en regelapparatuur, verwarming, verlichting, alarmsysteem etc.). Een groot dieselaggregaat met een capaciteit van 115 kW werd gebruikt voor het leveren van stroom voor de pomp en hydraulische apparatuur voor het bedienen van de golfoverslagsimulator.

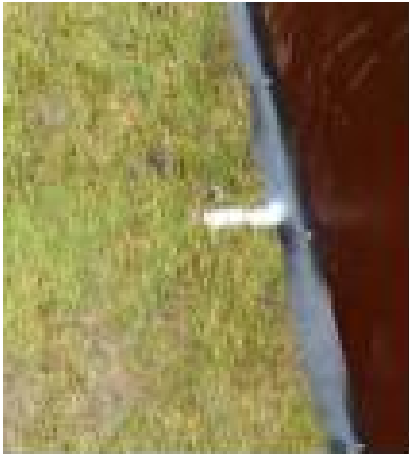
## 2.4 Teststrook

### 2.4.1 Geleideschotten

Elke teststrook van 2 m breedte werd voorzien van geleideschotten, zodat het water binnen de teststrook werd gehouden. De geleideschotten waren bevestigd aan houten palen van ca. 1 m lengte die in het talud waren geslagen. Op de harde bekleding is deze constructie vervangen door trekstangen en afstandhouders omdat daar geen palen konden worden gebruikt.

Bij de oploopprouven gaat de stroom 2 kanten op (op en neer). Wanneer, zoals bij eerdere overslagproeven, de geleideschotten licht overlappend aan de palen zouden worden bevestigd, ontstaan ter plaatse van de overlappen verstoringen (botsend water tegen de kopse kanten) bij het terugstromende water. Deze verstoringen zijn het sterkst in de lagere regionen van de teststrook waar de retourstroomsnelheden het hoogst zijn. De schotten zijn daarom met de kopse kanten tegen elkaar aan gezet en aan de binnenkant gekoppeld met 2mm dikke RVS platen.

Direct bij het verlaten van het water uit de simulator ontstaat bij het contact van het water met het talud een "hoge druk" waardoor het oplopende water zich niet alleen door de teststrook wil voortplanten, maar ook door alle aanwezige kieren en gaten tussen talud en geleideschotten. Bij de overloopprouven was dit ook al vaak het geval en leidde dit soms tot erosie onder het schot: een randeffect dat bij de oploopprouven zeer waarschijnlijk sterker en dus zeer ongewenst zou zijn. Om water- en energieverlies te voorkomen, maar ook om allerlei noodgrepen tijdens de proeven te verminderen, werd een deel van de bebording (op de daartoe geëigende plaatsen) voorzien van een gebogen kunststof strip (2 mm dik, ca. 15 cm breed). Deze strip werd bevestigd op het schot en drukt door zijn stijfheid continue op een strookje grasmat, steenzetting of asfalt (wellicht 5 à 10 cm) binnen de strook (zie Figuur 2-4). De bedoeling is dat hiermee het beschreven randeffect weten te voorkomen of in ieder geval te verkleinen.



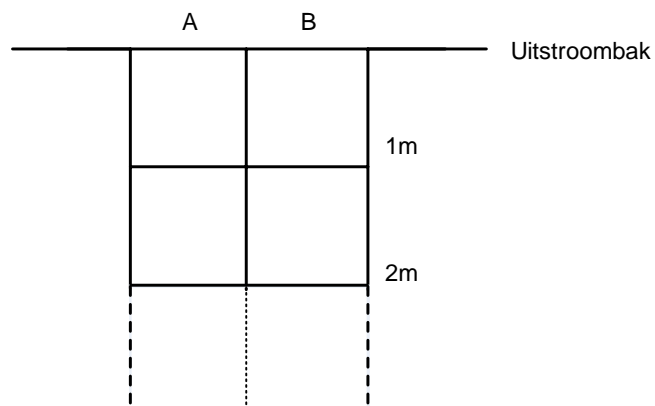
Figuur 2-4: Gebogen kunststof strip aan binnenzijde geleideschot

#### 2.4.2 Plaatsbepaling

Binnen de twee meter brede proefstroken werd ten behoeve van de plaatsbepaling een meetraster van 1 bij 1 m met grasmarkeringsverf aangebracht (zie Figuur 2-5). De vakken in het meetraster van de teststrook werden genummerd volgens Figuur 2-6.



Figuur 2-5: Meetraster teststrook



Figuur 2-6: Nummering meetraster in teststrook. Vanaf de uitstroombak gezien loopt de nummering op (links strook B en rechts strook A).

Het einde van de uitstroombak was de 0-lijn voor het meetraster. Vanaf deze 0-lijn is de erosieontwikkeling vastgelegd.

Indien nodig werd het meetraster voor het vastleggen van schade opnieuw aangebracht of "bijgespoten" (tijdens de proeven spoelde de grasmarkeringsverf langzaam weg).

### 3 Simulatie oploop

Bij de olooppoeven wordt op elke teststrook het resultaat van stormen gesimuleerd, dat wil zeggen de bij die storm en golfveld behorende golfoploop op het buitentalud. De proeven worden uitgevoerd met een toenemende golfoploophoogte door een steeds hogere waterstand te simuleren.

De oploophoogtes zijn van tevoren vastgelegd in een lijst met vultijden, behorend bij een vooraf bepaald vuldebiet van de simulator: de stuurfile. De verschillende stuurfiles zijn berekend voor een golfhoogte van  $H_s = 2$  m;  $T_p = 5.7$  s en een gemiddeld talud van 1:4. Dit geeft een 2%-golfoploophoogte van 4.0 m ten opzichte van de stilwaterlijn. Elke stuurfile gaat uit van deze conditie, maar bij verschillende waterstanden tegen de dijk. Om de simulator te bedienen wordt de stuurfile ingelezen door de aansturingsunit ofwel PLC (programmable logic controller). De verschillende bij de proeven gebruikte stuurfiles zijn op een informatiedrager gezet en aan Deltares beschikbaar gesteld.

In de onderstaande tabel is het proevenschema voor de proeven op de verschillende teststroken weergegeven.

Tabel 3-1: Proevenschema

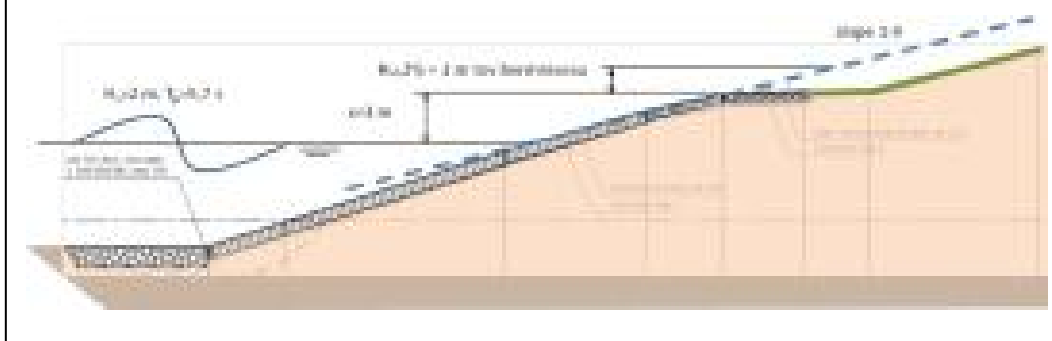
Teststrook	Test	x (m)	$R_{u2\%}$ (m tov bermniveau)	Stormduur
1, 3	3	3,0	1,0	6:00
	2	2,0	2,0	6:00
	1	1,0	3,0	6:00
		1,0	3,0	6:00
	0	0,0	4,0	3:00
		0,0	4,0	3:00
2, 5	3	3,0	1,0	6:00
	2	2,0	2,0	6:00
	1	1,0	3,0	6:00
		1,0	3,0	6:00
	0	0,0	4,0	3:00
		0,0	4,0	3:00
4	0	0,0	4,0	2:15

x = de afstand (verticaal) van de berm tot de stilwaterlijn

$R_{u2\%}$  = de afstand (verticaal) van het 2% olooppunt tot aan de berm

Voorbeeld:  $x = 3,0$  m en  $Ru_{2\%} = 1,0$  m

De waterstand staat 3,0 m beneden het begin van de berm en het 2%-oplooppunt ligt 1.0 m boven het begin van de berm.



De  $Ru_{2\%}$  en de veronderstelde waterlijn beschrijven de proef, samen met de golfcondities. Vanuit de  $Ru_{2\%}$  wordt een Rayleigh-verdeling aangehouden voor de andere oploophoogten en zo worden alle oploophoogten berekend die het boventalud bereiken. Dit aantal oploophoogten wordt gesimuleerd voor de aangehouden stormduur.

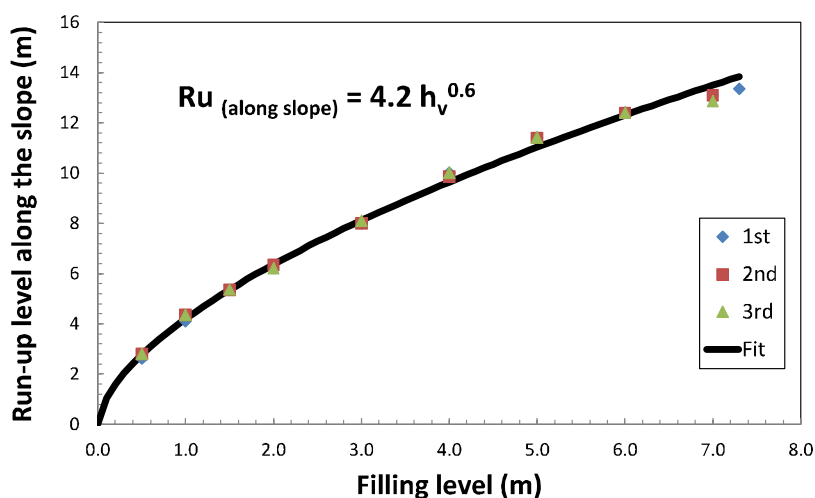
NB: voor meer theorie over golfoploop wordt verwezen naar Overslagproeven en oploopproof Tholen (Infram, 2011).

Tussen de gewenste oploophoogte en de benodigde vulhoogte om deze hoogte te bereiken, zit een calibratie die proefondervindelijk is vastgesteld. Bij verschillende vulhoogten van 0,5 m tot 7,3 m is gekeken tot hoe hoog het water de dijk opstroomde. Bij de eerste calibratie van de golfoploopsimulator bij de Vossemeerdijk (zie Van der Meer, 2014) is een relatie vastgesteld bij een doorgaand 1:2,7 talud. Figuur 3-1 geeft het verband en in formulevorm wordt dit:

$$Ru_{(\text{along the slope})} = 4.2 h_v^{0.6} \quad (3-1)$$

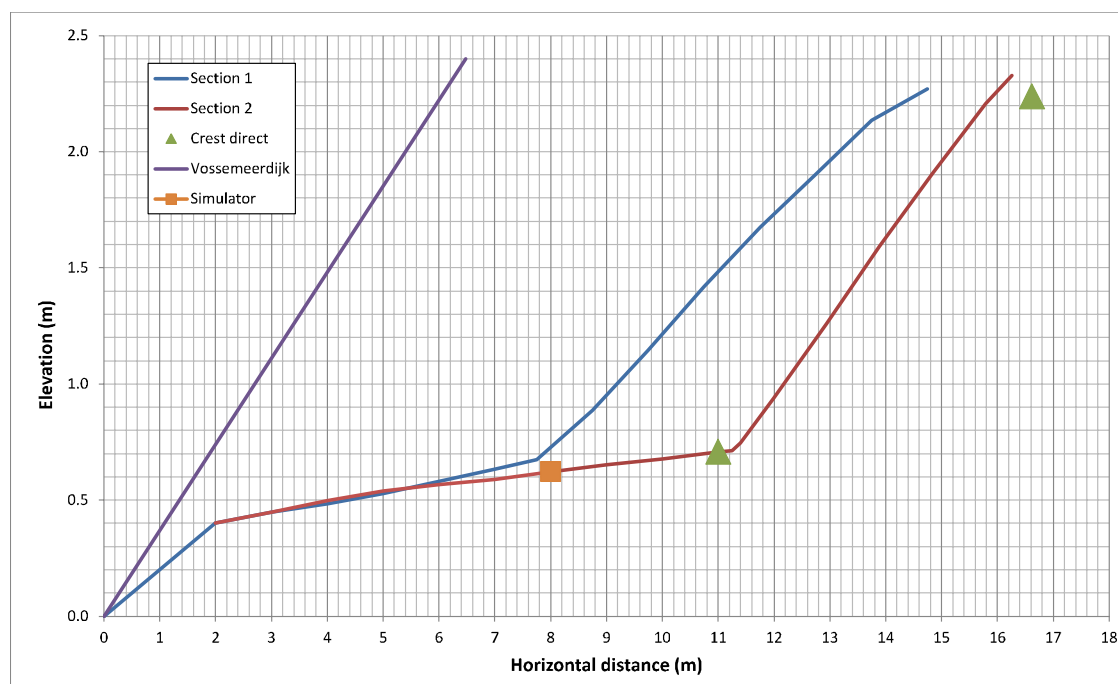
Omdat oploop verticaal wordt gemeten, moet het 1:2,7 talud worden verrekend:

$$Ru_{(\text{vertical})} = 1.46 h_v^{0.6} \quad (3-2)$$



Figuur 3-1: Calibratie vulhoogte en oploophoogte bij de Vossemeerdijk (talud 1:2,7)

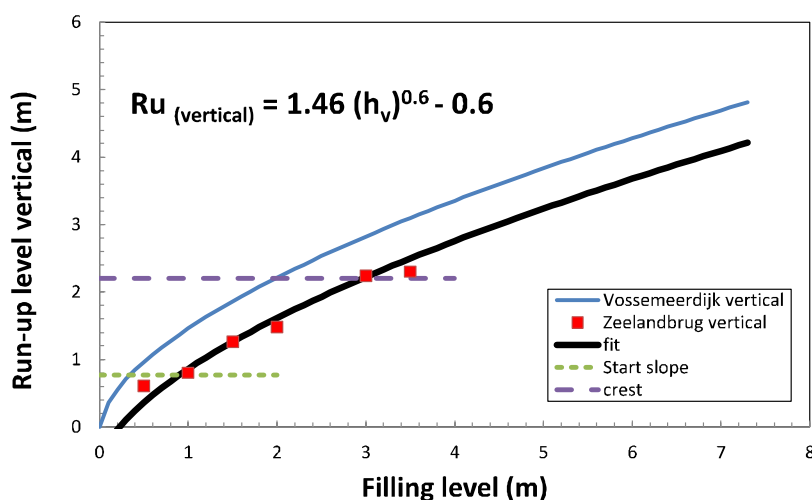
De opstelling bij de Zeelandbrug was voor de eerste proef heel anders dan bij de Vossemeerdijk. Bij de Zeelandbrug was een lange licht oplopende berm aanwezig voordat het boventalud van orde 1:3 begon. Door de grote lengte van de berm verloor het oplopende water energie door wrijving, waardoor de niet de gewenste oploophoogte op het talud werd bereikt. Daarom werd vlak voor de proef opnieuw een calibratiemeting uitgevoerd en de resultaten werden in de stuurfile opgenomen. Het talud van de Vossemeerdijk en de twee verschillende proefopstellingen bij de Zeelandbrug (een lange berm en de simulator op de berm) zijn in figuur 3-2 gegeven. Bij proef 2 stond de uitloop van de simulator 3 m voor het begin van het boventalud, bij de andere proeven was dit 0,4 m beneden de voorrand van de berm.



Figuur 3-2: Geometrie van de verschillende opstellingen

Duidelijk is in de figuur de berm te zien. Figuur 3-3 geeft de calibratie voor sectie 1 en geeft ook de vergelijking met de Vossemeerdijk.





Figuur 3-3: Calibratie bij de Zeelandbrug met een berm, vergeleken met de Vossemeerdijk.

In deze figuur is het begin van het boventalud gegeven (gestippelde groene lijn) en de kruin van de dijk (gestreepte paarse lijn). Tussen deze twee lijnen bevindt zich het boventalud. Een grotere oploophoogte geeft overslag over de kruin. Dus voor de calibratie zijn de punten tussen deze twee lijnen van belang. Verondersteld wordt dat het verlies aan energie over de berm voor elke vulhoogte gelijk is. Dat betekent dat in feite relatie 3-2 met een constante factor zou kunnen worden verlaagd om een goede calibratie te hebben, ook voor de golven die over de kruin heen gaan. Het verlies aan energie bedroeg een vulhoogte van 0,6 m, zodat de nieuwe calibratie voor sectie 1 kan worden gegeven door:

$$Ru_{(vertical)} = 1.46 h_v^{0.6} - 0,6 \quad (3-3)$$

waarbij de vulhoogte  $h_v$  in meters wordt gegeven. Deze relatie is aangehouden voor proeven 1, 3, 4 en 5, waarbij de simulator 0,4 m beneden de voorkant van de berm stond.

Bij proef 2 stond de simulator op de (lange) berm en 3 m vanaf het begin van het boventalud. Nu werd nauwelijks energie over een berm verloren. De relatie vulhoogte en oploophoogte die bij deze proef werd aangehouden, wordt gegeven door:

$$Ru_{(vertical)} = 1.46 h_v^{0.6} - 0,1 \quad (3-4)$$

Met bovenstaande relaties werd voor elke proef de stuurfile bepaald.

NB: zie bijlage J voor meer informatie over de aansturing en werking van de golfploopsimulator.

## 4 Metingen

### 4.1 Erosie

Bij elke teststrook is de erosieontwikkeling bijgehouden door het vastleggen van de initiële situatie en de situatie na het beëindigen van de proeven. Tussentijds is op diverse momenten tijdens de proeven de proef tijdelijk onderbroken voor visuele inspectie en om de erosieontwikkeling middels handmetingen en 3D laserscanner vast te leggen. Tevens is de erosieontwikkeling met foto en video vastgelegd.

#### 4.1.1 Handmetingen

Om achteraf een goede beschrijving van de schadeontwikkeling te kunnen maken zijn voor, tijdens en na de proeven op een teststrook de staat van de teststrook, bijzonderheden (zoals molshopen en rijsporen), erosieontwikkelingen en erosieafmetingen (lengte, breedte en diepte) genoteerd. Door gebruik van een 3D laserscanner zijn de handmetingen minder uitgebreid uitgevoerd dan eerst altijd bij de golfoverslagproeven werd gedaan: met behulp van de met de 3D laserscanner verkregen scans kan achteraf op elke willekeurige plek de diepte, lengte en breedte van de schade worden bepaald.

#### 4.1.2 3D Laserscanner

De schade veroorzaakt door overslag is digitaal vastgelegd met behulp van een 3D laserscanner (zie Figuur 4-1). Gelet op de zeer nauwkeurige resultaten die hiermee worden verkregen (onnauwkeurigheid tot ongeveer 0,002 m), de snelheid van meten en de vele uitwerkingmogelijkheden geniet de het vastleggen van schade met behulp van de 3D laserscanner de voorkeur boven het meten met de hand. Met behulp van de 3D laserscanner wordt een volledig driedimensionaal beeld van de omgeving gegenereerd, dit beeld bestaat uit miljoenen samengevoegde 3D scanpunten.



Figuur 4-1: 3D laserscanner in portaal

Voor het maken van een 3D scan worden de volgende handelingen verricht:

- Het plaatsen van referentieballen (spheres) op diverse rondom de teststrook geplaatste paaltjes, zodat achter de met de 3D laserscanner verkregen data gemakkelijk verwerkt kan worden.

- Het verwijderen van water uit de erosie(kuilen), omdat het water anders de laserstraal zal reflecteren en dus niet de juiste diepte van de erosiekuil zal worden gemeten.
- Plaatsen 3D laserscanner in verplaatsbaar metalen frame, zodat van bovenaf het gehele talud kan worden gescand.  
NB: ter referentie wordt voorafgaand aan de proeven op een teststrook ter referentie ook een scan vanaf een statief gemaakt. De locatie van deze scan is om het even, maar belangrijk is wel dat alle geplaatste referentieballen om de scan zichtbaar zijn.
- Het maken van een scan met de 3D laserscanner.

Om een volledig driedimensionaal beeld van de omgeving te verkrijgen wordt achteraf de met de 3D laserscanner verkregen data verwerkt met de bijbehorende software (FARO SCENE). Eventueel kan met software als Trimble RealWorks of ESRI ArcGIS de verkregen data worden geanalyseerd (o.a. het bepalen de maximale afmetingen en diepte van erosiekuilen (en dus oppervlakte en volume) per scan en, voor het in beeld brengen van het schadeverloop, tussen scans). In bijlage H is voor de verschillende proefstroken het schadeverloop in beeld gebracht.

In onderstaande tabel is weergegeven hoeveel scans er met de 3D laserscanner zijn gemaakt. In bijlage H is tevens een gedetailleerd overzicht opgenomen van wanneer de scans zijn gemaakt en welke bijzonderheden er waren met betrekking tot het scannen.

Tabel 4-1: Scanopname(s) 3D laserscanner

Teststrook	Aantal scans
1	15
2	12
3	11
4	7
5	10

De met de 3D laserscanner verkregen data is op een informatiedrager gezet en aan Deltares beschikbaar gesteld.

#### 4.1.3 Foto & video

Met behulp van video- en fotocamera's kon de ontwikkeling van erosie van de grasmat op de kruin, het talud en de teen van de teststrook vastgelegd worden.

Alle proeven zijn opgenomen met behulp van een op een kantelbare mast geplaatste IP dome camera. De camera is op een strategische locatie geplaatst om opnames van de gehele teststrook mogelijk te maken. Vanuit de meetwagen kon de camera bediend worden. Continu filmen maakt het mogelijk om onverwachte gebeurtenissen tussen 2 schadeopnames te traceren en de schadeontwikkeling globaal in de tijd te volgen.

Voor het maken van detailopnamen werd gebruik gemaakt van een videocamera.

Alle proefstroken zijn voorafgaand, tussentijds en na afloop van een proef systematisch vastgelegd op foto met behulp van het referentieraster. Op elke foto is voor de plaatsbepaling het cijfer van het betreffende vak zichtbaar. Zo kunnen foto's gemakkelijk met elkaar vergeleken worden.

Verder zijn van alle proefstroken vanaf vaste punten overzichtsfoto's gemaakt. Deze foto's zijn voorafgaand, tussentijds en na afloop van een proef gemaakt.

Om de schade gedetailleerd vast te leggen werden indien nodig ook detailfoto's van schade(s) gemaakt.

De foto's en video's zijn op een informatiedrager gezet en aan Deltares beschikbaar gesteld.

## 4.2 Hydraulische metingen

### 4.2.1 Opzet van de metingen

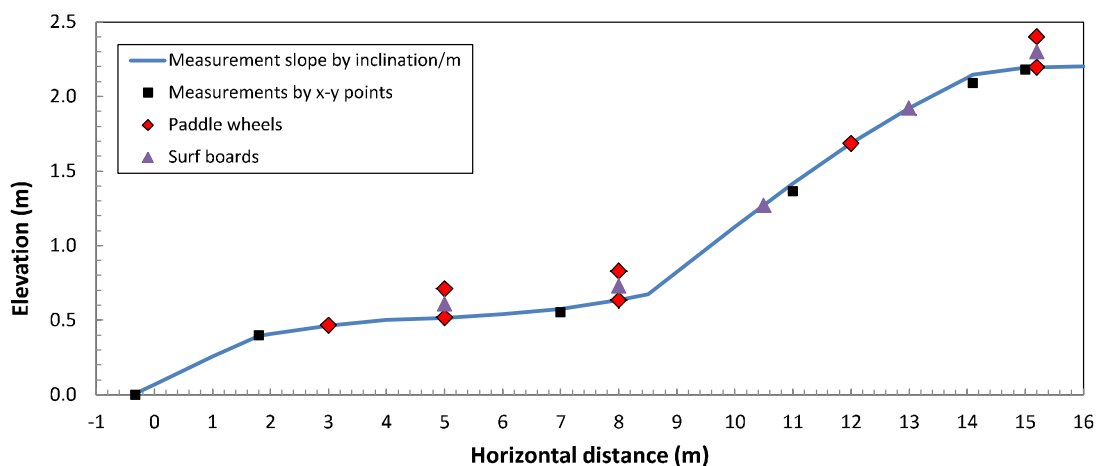
De hydraulische metingen zijn niet gelijktijdig met het uitvoeren van de proeven op een teststrook uitgevoerd. Voor het uitvoeren van hydraulische metingen is daarom na afloop van de proeven op teststroken 1, 2 en 3 een aparte teststrook ingericht (7 m ten zuidoosten van teststrook 3/4). Figuur 4-2 geeft een overzicht van deze teststrook. In bijlage C en in figuur 4-3 is een overzicht gegeven van de in de teststrook geplaatste meetinstrumenten.



Figuur 4-2: Overzicht van de teststrook

Bij de proef op deze teststrook is met diverse instrumenten het volgende gemeten:

- stroomsnelheid 3 cm boven het talud op 5 locaties
- stroomsnelheid aan de bovenkant van de oplopende golf op 3 locaties
- laagdikte van de oplopende golf op 5 locaties
- laagdikte van de teruglopende golf ter plaatse van de teen
- waterdruk op het talud op 3 locaties (Deltares) en
- waterdruk 0,1 m onder het oppervlak van het talud op 1 locatie (Deltares)



Figuur 4-3: Overzicht van de teststrook met meetinstrumenten

De proef bestond uit een serie van 10 golven. Hierbij is de simulator in stappen van 1 meter gevuld (vulhoogte is 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 4; 5; 6; 7 en 7,3 m). Elke serie is drie keer herhaald (reproduceerbaarheid). Ten behoeve van de proef zijn de kleppen van de simulator niet automatisch aangestuurd maar zijn de kleppen handmatig geopend en gesloten. Hierbij werd gestuurd op de vulhoogte. De bij de vulhoogte behorende oploophoogte is visueel bepaald (zie Tabel 4-2).

Tabel 4-2: Oploophoogte (gemeten langs het talud vanaf de uitstroomopening) bij verschillende vulhoogtes

Vulhoogte [m]	Oploophoogte [m]		
	Sessie 1	Sessie 2	Sessie 3
0,5	5,50	5,50	5,50
1,0	8,00	8,50	8,50
1,5	9,50	10,00	10,00
2,0	11,00	11,50	11,50
3,0	13,75	13,50	13,75
4,0	overslag	overslag	overslag
5,0	overslag	overslag	overslag
6,0	overslag	overslag	overslag
7,0	overslag	overslag	overslag
7,3	overslag	overslag	overslag

De resultaten van de metingen en de analyse daarvan zal in de loop van 2014 separaat worden gerapporteerd. Alle meetgegevens zijn op een informatiedrager gezet en aan Deltares beschikbaar gesteld.

Hieronder is per gemeten grootheid een overzicht van de gebruikte meetinstrumenten gegeven.

#### Laagdikte

Voor het meten van de laagdikte zijn de door Infram en Van der Meer Consulting ontwikkelde "surfplanken" gebruikt. De surfplank is een gebogen dunne plank die aan de bovenzijde scharnierend boven water is bevestigd (zie Figuur 4-3). Door zijn vorm en omdat het geheel licht van gewicht is, gaat de plank op het water "surfen" en gaat daarbij omhoog. Door de hoekverdraaiing in het scharnier te meten, wordt een volledig tijdsignaal verkregen. Dit tijdsignaal is een maat voor de laagdikte inclusief lucht.



Figuur 4-3: De surfplank

Op meerdere plaatsen op het talud is met de surfplanken de laagdikte gemeten. Om te voorkomen dat de surfplanken zouden breken zijn de surfplanken bij neerloop omhoog gehouden. Omdat de surfplanken op bekende afstand achter elkaar zijn geplaatst kan achteraf ook de frontsnelheid worden bepaald. Met behulp van de geregistreerde gegevens worden grafieken gemaakt welke een goed beeld geven van de bij de oploop behorende laagdikte.

#### Snelheid

De voor het meten van de laagdikte gebruikte surfplanken zijn uitgerust met een paddle-wheel om de snelheid van het water aan het oppervlak van de oplopende golf te meten. Door het aantal omwentelingen van het in de surfplank geplaatste paddle-wheel te registreren kan de snelheid van het water aan het oppervlak worden bepaald.

Door eenzelfde paddle-wheel in te graven in het talud (zie Figuur 4-4) kon ook de stroomsnelheid aan de bodem bij op- en neerloop worden gemeten.

Met behulp van de geregistreerde gegevens worden grafieken gemaakt welke een goed beeld geven van de bij de oploop behorende stroomsnelheden.



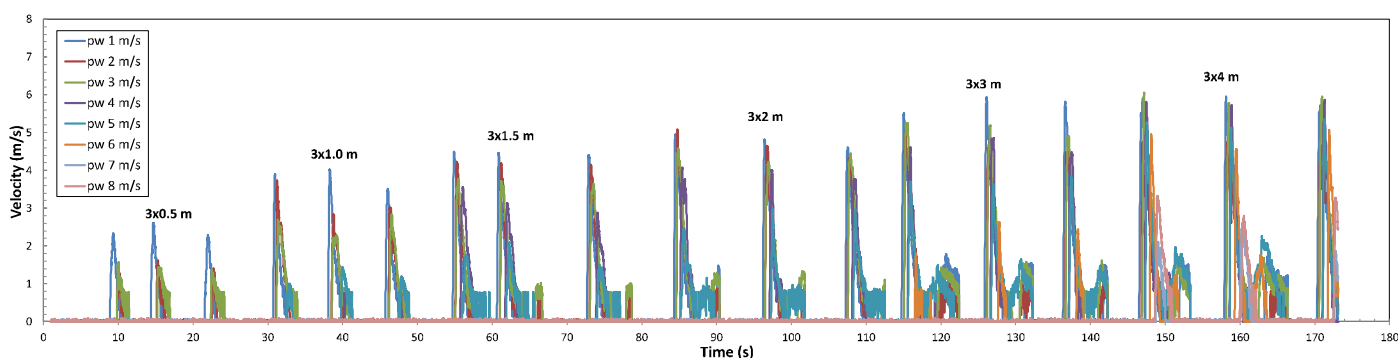
Figuur 4-4: Paddle wiel voor registratie stroomsnelheid aan de bodem

### Waterdruk

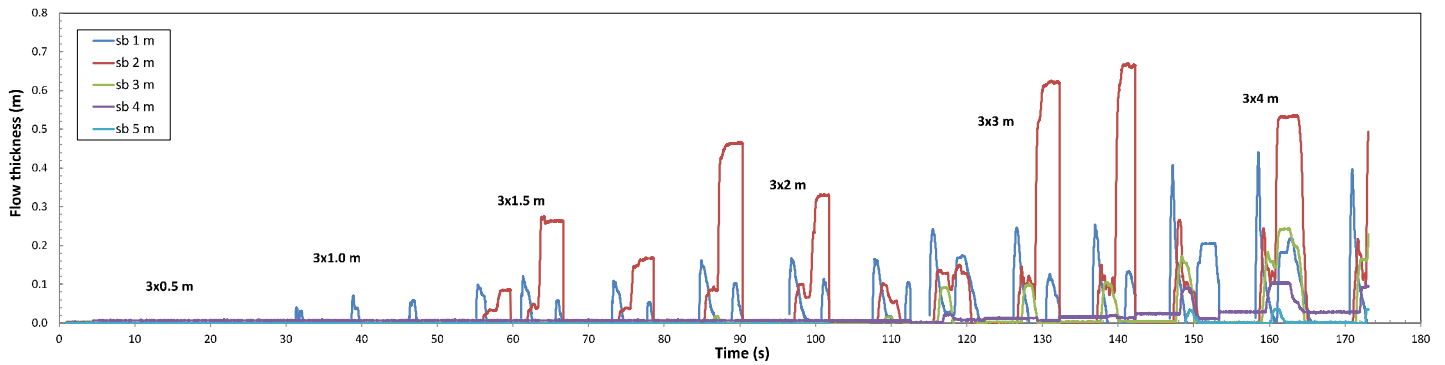
Voor het meten van waterdrukken op het taludoppervlak en net onder de zode zijn door Deltanea op een aantal drukzennoren geplaatst. Op drie locaties is een druksensor gelijk aan het oppervlak van het talud geplaatst. Bij een van deze locaties bevond zich ook een druksensor 0,1 m onder het talud. De metingen zijn uitgevoerd met een frequentie van 1000 Hz, waarmee de hoogenergetische drukfluctuaties als gevolg van turbulentie kan worden gemeten. De drukmetingen worden vergeleken met de drukmetingen die zijn uitgevoerd bij golfoverslag. Zo kan worden gezien of de belasting op de zode bij golfoploop (en neerloop) vergelijkbaar is met golfoverslag. De ongefilterde drukmetingen (kPa) tegen tijd (min) per golf (30 stuks) zijn in bijlage D opgenomen.

### 4.2.2 Metingen

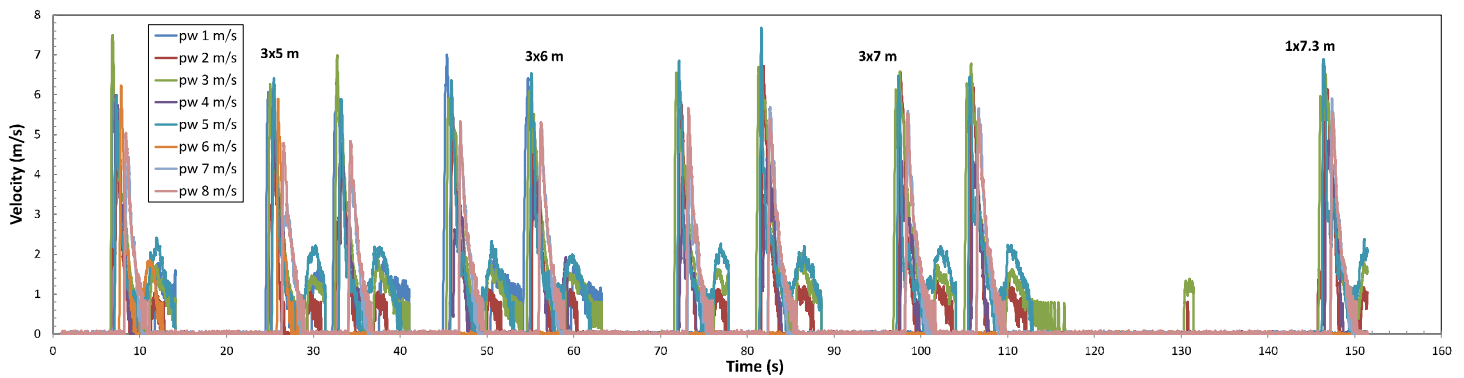
De metingen zijn in twee aparte series uitgevoerd, van een vulthoogte van 0,5 m tot 4 m en van 5 m tot 7,3 m. Het totale gemeten signaal is Figuur 4-5 tot en met Figuur 4-8 gegeven, voor zowel de anelsheden als de laagdikten. De analyse van de meetgegevens is geen onderdeel van het factueel report.



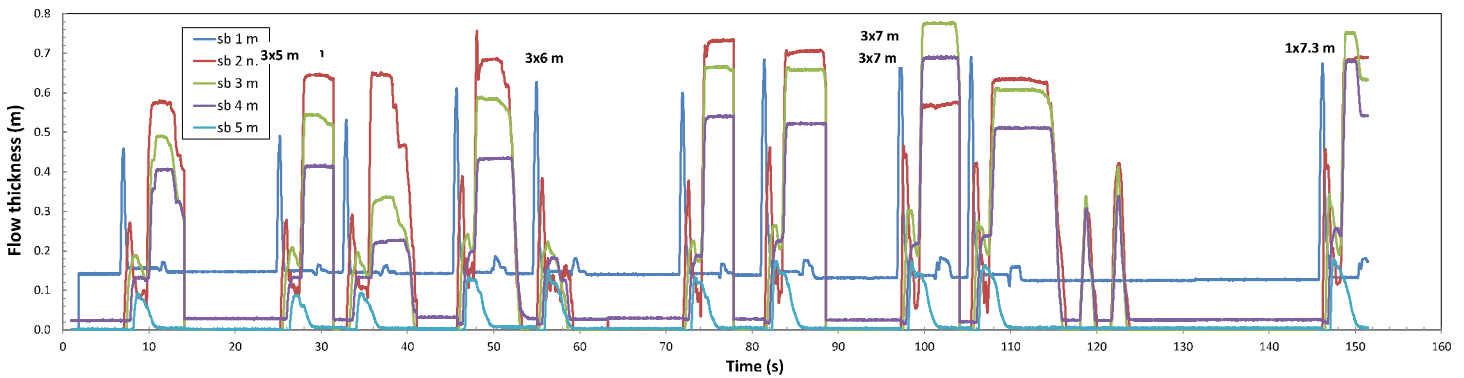
Figuur 4-5: Registratie snelheden eerste serie



Figuur 4-6: Registratie laagdikten eerste serie



Figuur 4-7: Registratie snelheden tweede serie



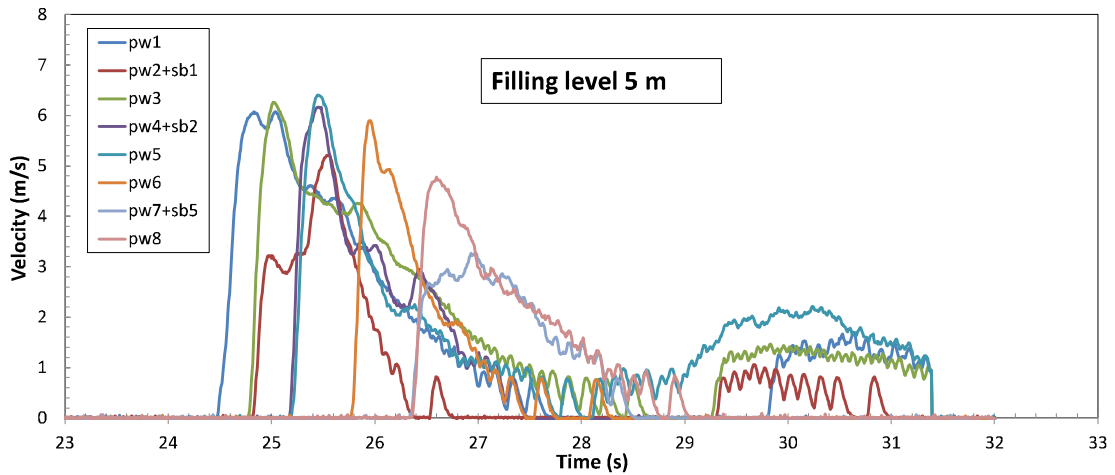
Figuur 4-8: Registratie laagdikten tweede serie

Figuur 4-9 en Figuur 4-10 geven de signalen meer in detail voor één vulhoogte. De maximale waarden van elk signaal werden vervolgens bepaald. Deze zijn in tabel

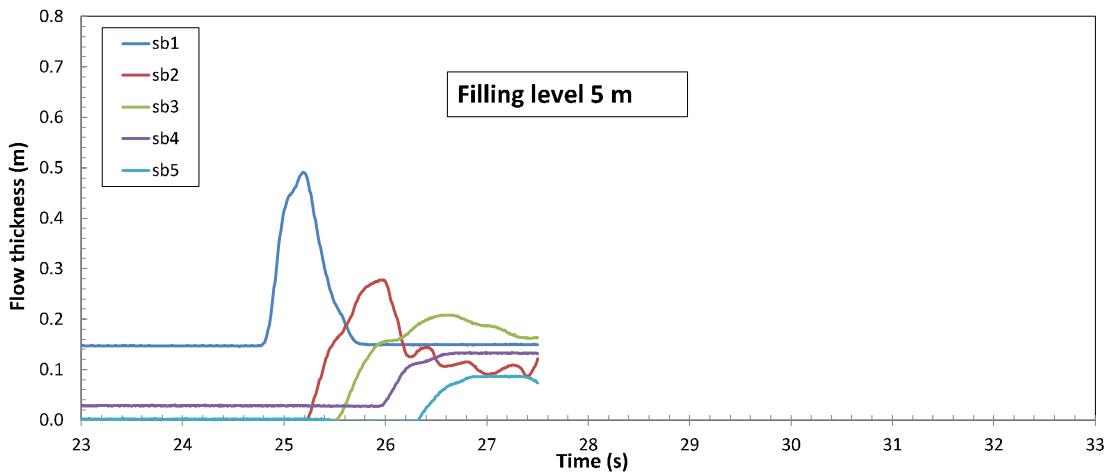


Tabel 4-3

Tabel 4-3: Maxima van de meetsignalen. gegeven. Uit de tabel blijkt dat op een gegeven moment paddle wheels 1 en 6 niet meer hebben gefunctioneerd. Hoogstwaarschijnlijk is er vuil of gras tussen in het mechanisme gekomen.



Figuur 4-9: Registratie snelheden bij een vulhoogte van 5 m.

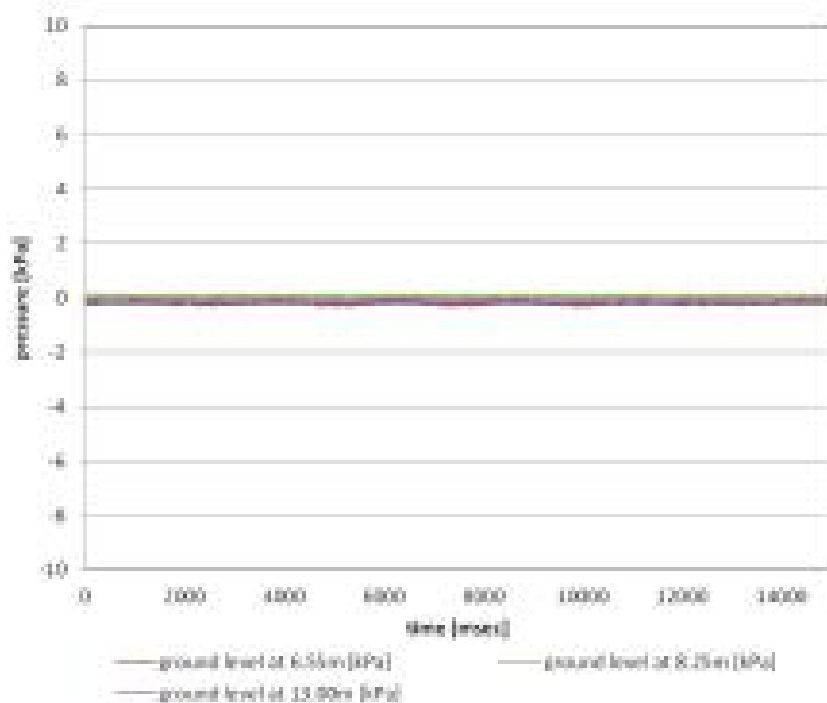


Figuur 4-10: Registratie laagdikten bij een vulhoogte van 5 m.

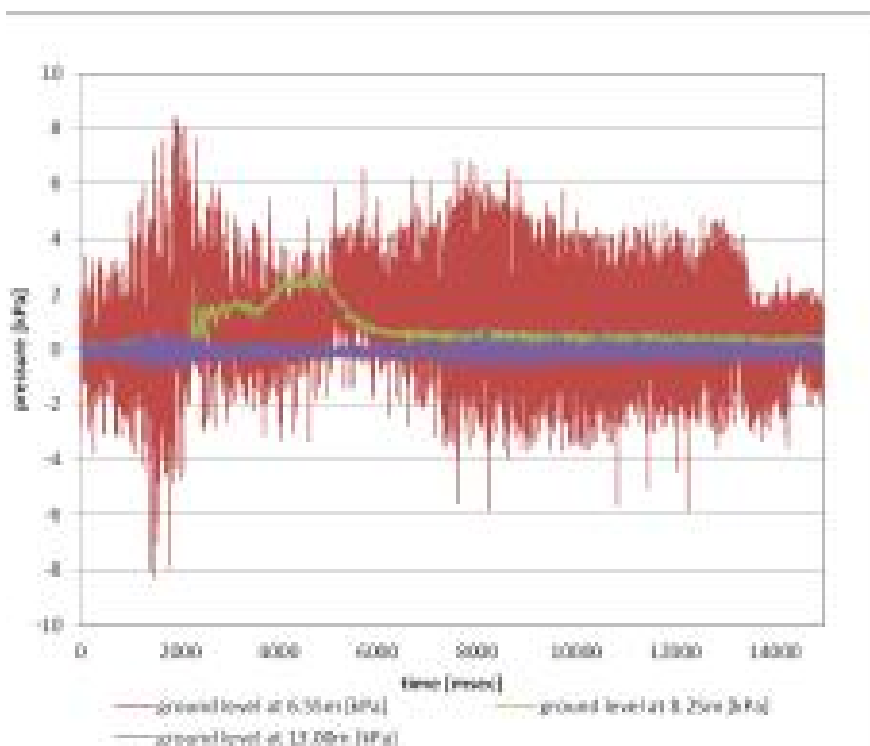
Tabel 4-3: Maxima van de meetsignalen.

Time s	Fill level m	Pw1 m/s	Pw2 m/s	Pw3 m/s	Pw4 m/s	Pw5 m/s	Pw6 m/s	Pw7 m/s	Pw8 m/s	Sb1 m	Sb2 m	Sb3 m	Sb4 m	Sb5 m
8.3	0.5	2.34	1.28	1.57										
13.5	0.5	2.71	1.61	1.45										
21.4	0.5	2.29	1.41	1.37										
30.0	1.0	3.91	3.73	2.70		1.00				0.039				
37.5	1.0	4.03	2.83	2.27	0.75	1.44				0.070				
45.4	1.0	3.52	3.03	2.83	0.75	1.17				0.058				
54.5	1.5	4.50	4.21	3.76	3.56	1.76				0.099	0.035			
60.0	1.5	4.46	4.19	3.71	3.14	2.11				0.120	0.050			
73.1	1.5	3.99	4.13	3.65	2.89	1.51				0.108	0.040			
84.0	2.0	4.94	5.10	4.57	4.07	2.46				0.162	0.093	0.018		
95.5	2.0	4.81	4.65	4.23	4.01	2.97				0.166	0.101	0.002		
107.1	2.0	4.62	4.42	4.45	3.76	2.97				0.165	0.102	0.016		
114.0	3.0	5.51	5.02	5.24	4.61	3.69	1.78			0.242	0.151	0.093	0.023	
125.0	3.0	5.93	4.73	5.18	4.86	3.65	2.63			0.247	0.145	0.100	0.014	
136.0	3.0	5.81	4.50	4.91	4.48	3.84	2.44			0.254	0.150	0.105	0.020	
146.1	4.0	5.90	4.76	6.05	5.82	5.27	4.94	2.10	3.33	0.408	0.266	0.172	0.091	0.035
157.0	4.0	5.96	4.75	5.78	5.73	5.12	4.57	2.60	2.80	0.441	0.245	0.208	0.105	0.036
170.0	4.0	5.71	4.84	5.96	5.86	5.36	5.07	1.88	3.28	0.396	0.215	0.165	0.095	0.037
6.0	5.0	6.18	4.56	7.49	5.98	5.97	6.24	4.43	5.04	0.459	0.272	0.188	0.134	0.091
23.5	5.0	6.07	5.21	6.26	6.17	6.41	5.90	3.26	4.78	0.491	0.278	0.208	0.134	0.087
32.1	5.0	6.49	4.74	6.98	4.78	5.89		3.95	4.82	0.532	0.291	0.195	0.135	0.093
44.0	6.0	7.00	5.49	5.90	3.23	6.36		5.07	5.23	0.610	0.389	0.245	0.200	0.133
54.0	6.0	6.41	5.20	6.08	4.10	6.53		5.16	5.30	0.626	0.384	0.223	0.183	0.153
71.1	6.0		5.73	6.55	3.93	6.86		4.69	5.66	0.600	0.377	0.225	0.190	0.132
79.8	7.0		6.71	6.70	4.40	7.67		5.68	5.38	0.684	0.462	0.264	0.222	0.174
96.5	7.0		6.55	6.58	4.33	6.47		5.58	5.53	0.709	0.464	0.304	0.236	0.173
105.0	7.0		6.17	6.77	4.32	6.45		5.65	5.39	0.691	0.423	0.274	0.239	0.163
145.1	7.3		6.13	6.51	4.84	6.89		5.91	5.50	0.674	0.456	0.343	0.258	0.179

Ook druksensoren hebben gemeten. Opmerkelijk is dat er voor aanvang van de proeven een acceptabele hoeveelheid ruis in de metingen aanwezig was, maar dat dit tijdens het uitvoeren van de hydraulische metingen is toegenomen (zie Figuur 4-11 en Figuur 4-12). Dit geldt vooral voor de druksensor het dichtst bij de simulator. Waarschijnlijk wordt de ruis veroorzaakt door de installaties rondom de proefopstelling, door trillingen of door elektromagnetische velden. In het kader van de evaluatie zal worden gekeken of de ruis kan worden gefilterd.



Figuur 4-11: Ruis voor aanvang metingen



Figuur 4-12: Ruis tijdens golf nummer 10 (vulhoogte 2,0 m)

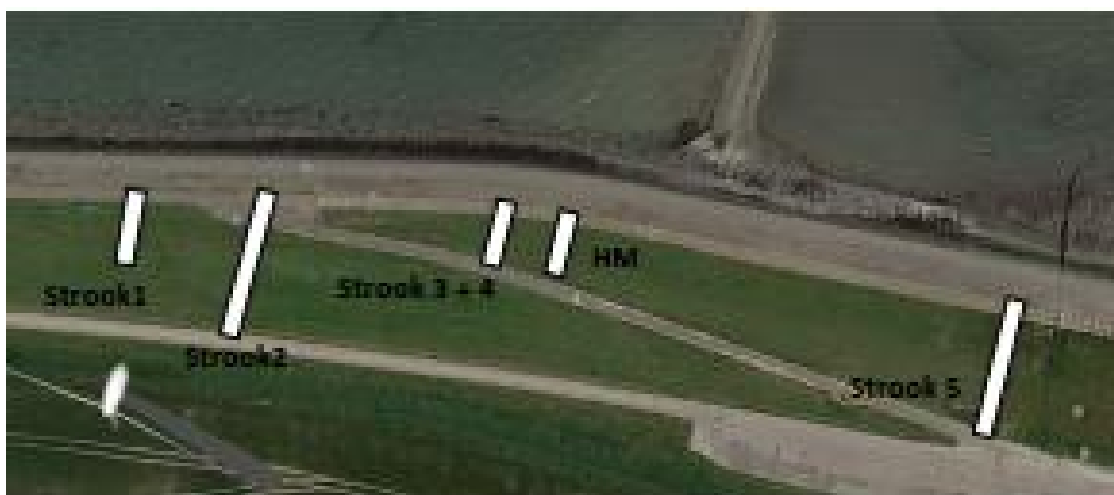
## 5 Proefverloop

Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van de locatie, de verschillende proefstroken en de resultaten aan de hand van waarnemingen tijdens de golfoverslagproeven..

### 5.1 Proeflocatie

#### 5.1.1 Algemeen

De proeven op Noord-Beveland zijn uitgevoerd op de dijk gelegen tussen Kats en Colijnsplaat. De locatie bevindt zich circa 300 m ten zuidoosten van de Zeelandbrug (tussen de dijkpalen 1791 en 1793). De verschillende teststroken zijn op het buitentalud van de dijk gelegen (dijknormaal is 45° ten opzichte van het noorden). In Figuur 5-1 is de ligging van de verschillende proefstroken weergegeven.



Figuur 5-1: Teststroken proeflocatie Noord-Beveland (bron: Google Maps).

#### 5.1.2 Gras & bodem

De grasbekleding wordt tweemaal per jaar gemaaid waarbij het maaisel wordt afgevoerd. De maairondes vinden plaats in juli en half september. Er vindt geen bemesting plaats. Verder wordt er beweid met schapen. De conditie van het gras is onderzocht en gerapporteerd door Alterra (zie bijlage E). In het rapport van Alterra is geconcludeerd dat het gras op de testlocatie van goede kwaliteit is. Alle grasmonsters hebben gesloten graszode.

Op locatie zijn twee geroerde grondmonsters genomen uit de zode. Van de monsters is een korrelverdeling bepaald (zie bijlage F). De klei heeft een zandgehalte (>63 µm) van iets meer dan 50% en een lutumgehalte van 17%. De korrelverdelingen van beide monsters zijn bijna gelijk aan elkaar. Er zijn geen Atterbergse grenzen bepaald.

### 5.2 Programma

Een overzicht van de uitgevoerde proeven is weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 5-1 Overzicht uitgevoerde proeven

Teststrook	Doel proef
1	Bepalen erosiebestendigheid grasbekleding en invloed: <ul style="list-style-type: none"> <li>- overgang tussen de asfaltberm en de licht hellende grasberm; en</li> <li>- overgang tussen de grasberm en het met gras beklede boventalud</li> </ul>
2	Bepalen erosiebestendigheid grasbekleding en invloed: <ul style="list-style-type: none"> <li>- overgang tussen het asfalt en de het met gras beklede boventalud</li> </ul>
3	Bepalen erosiebestendigheid grasbekleding en invloed: <ul style="list-style-type: none"> <li>- overgang tussen de betonblokkenberm en de licht hellende grasberm; en</li> <li>- overgang tussen de grasberm en het met gras beklede boventalud</li> </ul>
4	Bepalen reststerkte bekleding na initiële schade.
5	Bepalen invloed van niet-waterkerend object: trap.
HM	Bepalen hydraulische parameters (waterdruk, (front)snelheden en laagdikte)

Naast de algemene beschrijving van de optredende erosie is bij de proeven specifiek gekeken naar de schadecriteria waarbij de cumulatieve overbelasting een bepaalde waarde overschrijdt:

- begin van schade (cumulatieve overbelasting  $500 \text{ m}^2/\text{s}^2$ )
- meerdere kale plekken (cumulatieve overbelasting  $1000 \text{ m}^2/\text{s}^2$ )
- bezwijken toplaag (cumulatieve overbelasting  $3500 \text{ m}^2/\text{s}^2$ )

NB: voor meer informatie over de schadecriteria en cumulatieve overbelasting wordt verwezen naar de Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde (Rijkswaterstaat, 2012).

Bij het begin van schade wordt een stuk van de zode, met een dikte van 5 – 10 cm uit de grasmat getrokken. Dit is vaak te zien door het bruin kleuren van het water door de grond die in de stroming wordt opgenomen. Bij meerdere kale plekken zijn er meerdere van dergelijke gebeurtenissen geweest. Het gaat dan niet meer om een toevallig zwak plekje. Bij het bezwijken van de toplaag is de erosie dieper geworden dan 20 cm en breidt zich relatief snel uit.

## 5.3 Teststrook 1

### 5.3.1 Beschrijving teststrook 1

Bij teststrook 1 (zie Figuur 5-2) is het effect van golfoploop op de erosiebestendigheid van de grasbekleding op het buitentalud en de invloed van de overgangen tussen 1)de steenbekleding op de onderberm en asfaltberm; 2)de asfaltberm en de licht hellende grasberm; en 3)de grasberm en het met gras beklede boventalud onderzocht. Ook is de uitspoeling van de voegen van de steenbekleding op de onderberm is bekeken.

Voorafgaand aan de eerste proef is het oppervlak van de teststrook beschreven, zijn uitgebreid foto's gemaakt en is het talud gescand. In bijlage B is een schematische weergave van de nulsituatie van teststrook 1 opgenomen.



Figuur 5-2: Teststrook 1

De verticale projectie van de uitstroomopening van de simulator op de buitenberm bevond zich 0,4 m (verticale afstand) onder de rand van het asfalt van de werkweg op de berm. De ruimte tussen de rand van de uitstroomopening en de steenbekleding op de onderberm, nodig om het water van de neerloop door te laten, was 0,2 m. Genoemde verticale projectie van de uitstroomopening vormde tevens de nullijn van het gehanteerde meetraaster.

De 2 m brede teststrook werd aan 2 zijden begrensd door 0,6 m hoge geleideschotten die doorliepen tot op de kruin. Bij deze proef is op verzoek van Waterschap Scheldestromen de golfoverslag op de kruin opgevangen en zodanig afgeleid dat het overvloeiende water naast de teststrook weer terug kon stromen naar de Oosterschelde (Figuur 5-3)



Figuur 5-3: De geleideschotten op de kruin die het water terugleidt naar de Oosterschelde

De steenbekleding waar de simulator op stond bestond, volgens opgave Waterschap Scheldestromen, uit Hydroblocks (0,40cmx0,25 cm x 0,26 cm). De blokken waren ingewassen met split en deels met verharde hydraulische slakken. Een deel van de voegen was begroeid met grassen, mossen en soms waren verhoude kruidachtigen zichtbaar. De helling van het blokkentalud tussen 0 m en de asfaltweg was 1:5. Op 2 m bevond zich de overgang naar het asfalt, waarbij het asfalt direct tegen de blokken aan was gedraaid. Deze overgang was fors begroeid met grassen. De 3,1 m brede asfaltverharding, met een zeewaartse helling van 1:25, was gefundeerd op slakken die volgens de beheerder bij de overgang naar

gras nog 0,25 m doorloopt. Een proefsleuf in de teststrook na afloop van de proeven gaf als resultaat dat over de eerste 54 cm van de grasberm er sprake was van een verharding bestaande uit asfalt en/of hydraulische slakken, en wel op een diepte die afliep van 0 tot 6 cm. Vervolgens was er over een lengte van ruim 1 m, dus tot 1,6 m uit de rand van de verharding, en op een diepte van gemiddeld circa 12 cm nog steeds sprake van een verharding. Volgens Scheldestromen mogelijk de oude verharding op de berm van voor de versterking.

Op 5 m van de uitstroomopening lag de overgang tussen asfalt en gras. De buitenteenlijn lag op 7,75 m en de buitenkruinlijn op 15 m. De helling van de nagenoeg 3 m brede grasberm was ongeveer 1:20. Met name de eerste 2 meter van de grasberm kende een zeer open grasvegetatie met kort gras en kalige plekken. Het eerste 1/3 deel van vak 6, gelegen tegen het asfalt, was mossig en oogde frequent bereden. Vak 8 bevatte de buitenteenlijn en kende een betere grasmat met gras tot 0,2 m (lengte bovengrondse plantdeel). Deze grasmat zette zich voort in vak 9. Bovenin dat vak viel op dat de aard van de grasvegetatie duidelijk veranderde en dat de graslengte groter (tot 30 cm) werden. Ook kwamen er brandnetels voor. Bovenin vak 9A begon het taludoppervlak onregelmatig te worden. Dat onregelmatige oppervlak kwam terug in vak 10, waarbij verschillen in hoogte tot 6 cm voorkwamen. Op 10 m halverwege vak B waren de eerste sporen van molshopen zichtbaar en was duidelijk mos zichtbaar. In vak 11 was de onregelmatigheid nagenoeg weg en was het gras deels korter. Op 11 m (B) lag een verse en forse molshoop. Vanaf hier tot aan de buitenkruinlijn (15 m) was er niet veel opvallende variatie in grasmat, wel was er een strook (die begint op 10B en die liep tot aan de kruin 15B) die minstens 10 zichtbare en deels platgetrapte molshopen liet zien. De binnenkruinlijn bevond zich op 18,3 m.

### 5.3.2 Resultaten teststrook 1

#### Proef 1-3 (x = 3.0 m en $Ru_{2\%} = 1.0$ m)

Na 28 minuten was het talud met 90 oplopende golven schoongespoeld en lag het gras plat. Er was al behoorlijk wat steenslag uit de voegen van de Hydroblock bekleding weggespoeld. Aansluitend aan de overgang tussen asfalt en gras was over een lengte van 0,3 m zeer oppervlakkig wat mos weggespoeld. In vak 9 was het onregelmatige oppervlak wat nadrukkelijker zichtbaar en waren een 5-tal plekken kalig geworden. Over een lengte van bijna 3 m (13B/14B/15B) waren de molshopen grotendeels weggespoeld. Hierdoor waren enkele kale dan wel kalige plekken ontstaan. Verder waren er geen opmerkelijke zaken.

#### Proef 1-2 (x = 2.0 m en $Ru_{2\%} = 2.0$ m)

Halverwege de proef was er praktisch nog geen verandering van de grasmat zichtbaar. De eerste 0,3 m direct aansluitend aan de berm (veel mos) vertoonde enige slijterose. Ook de aanwezige molshopen waren allemaal weggespoeld waardoor de eerste ingangen van de mollengangen zichtbaar werden. Ter plaatse van de molshopen waren kale dan wel kalige plekken ontstaan.

Gedurende de tweede helft van de proef was over de eerste 2 meter van de teststrook een deel van de steenslag uit de voegen tussen de betonblokken weggespoeld. De grasmat direct na de overgang vanaf het asfalt was heel licht aangetast door slijterose (Figuur 5-4). Ook was waarneembaar dat er oppervlakkig wat organisch materiaal uit de zode was weggespoeld. Verder waren op het talud de door mollen aangetaste plekken iets kaler geworden. Nergens was sprake van 'begin van schade' (zie §5.2).





Figuur 5-4: De grasmat direct na de overgangen vanaf het asfalt

Proef 1-1 ( $x = 1.0$  m en  $Ru_{2\%} = 3.0$  m)

Na 5 uur waren de veranderingen marginaal. Lokaal waren de voegen tussen de Hydroblocks plaatselijk tot 20 cm uitgespoeld. Daar waar niets uitgespoeld was leek het alsof de voegen gevuld waren met aan elkaar gekitte hydraulische slakken. De strook aansluitend aan het asfalt was nu plaatselijk circa 2 cm weggesleten. Ter plaatse van de molshopen tussen 12 en 15 m in strook B waren door het wegspoelen van de molshopen, de ingangen van het mollenstelsel zichtbaar, resulterend in enkele gaatjes tot 8 cm.

Aan het einde van de proef (10 uur) waren er ten aanzien van de Hydroblocks geen veranderingen. De slijterosie direct achter de asfaltverharding was niet significant veranderd. Op 6 m in strook A begon de grasmat enigszins kalig te worden. Rond de teen leek de vegetatie visueel licht aangetast te raken. In vak 10B trad water uit een mollenkat. Het mollenkat zelf was 10 cm diep. De reeds genoemde mollenkaten vanaf 11,5 m waren nauwelijks veranderd.

Proef 1-0 ( $x = 0.0$  m en  $Ru_{2\%} = 4.0$  m)

Deze ruim 20 uur durende proef is ongeveer een half uur voor het einde van de proef noodgedwongen en in overleg met Deltares afgebroken. De pomp had zichzelf zo diep ingegraven in het slib en zand dat er niet alleen water maar ook veel zand, slib en schelpen mee werden gepompt. Hierdoor liep het bewegingsmechanisme (afsluiters) van de simulator volledig vast.

Tijdens deze proef waren er geen kenmerkende veranderingen op het talud ontstaan. De grasmat oogde wat opener en de kale plekken op het talud waren marginaal onderhevig geweest aan slijterosie: de kale plekken waren hooguit wat groter van oppervlak geworden. Het schoonspoelen van de voegen tussen de Hydroblocks was nagenoeg niet verder gegaan. Aan het einde van alle 4 hydraulische belastingen was er nog geen 'begin van schade' (Figuur 5-5).



Figuur 5-5: Overzicht teststrook 1. Nulsituatie (links) en eindsituatie (rechts)

#### Ontwikkeling erosie

Bijlage G geeft door middel van een fotoverlag een indruk van de ontwikkeling van de erosie in de tijd als gevolg van de proeven op teststrook 1. In bijlage H is de ontwikkeling van de erosie in de tijd met behulp van de met de 3D laser-scanner verkregen scans weergegeven.

## 5.4 Teststrook 2

### 5.4.1 Beschrijving teststrook 2

Bij teststrook 2 (zie Figuur 5-6) is het effect van golfoploop op de erosiebestendigheid van het grasalud, de grasbalm, de overgang van grasbalm naar grasalud en de overgang van de asfaltbalm naar gras onderzocht.

Voorafgaand aan de eerste test was het oppervlak van de teststrook beschreven, zijn uitgebreid foto's gemaakt en werd het talud geacand. In bijlage B is een schematische weergave van de nulsituatie van teststrook 2 opgenomen.



Figuur 5-6: Teststrook 2, met links het buitentalud en rechts het binnentalud

In vergelijking tot teststrook 1 was de aanwezige grasberm maar 0,5 m breed. Ook het talud was iets steiler dan dat van teststrook 1. Voorts werd de simulator niet op het blokkentalud geplaatst, maar 3 m vóór de overgang van het asfalt naar het gras. Hiermee stond de simulator circa 0,62 m hoger en was er daardoor en door de kleinere afstand tussen simulator en het talud minder energieverlies. Dit had tot gevolg dat de vulling van de simulator per golf ten opzichte van teststrook 1 kleiner kon zijn terwijl toch dezelfde oploophoogte bereikt werd. Hierdoor konden bij hetzelfde pompdebiet de individuele golven sneller worden gegenereerd waardoor de proefduur significant korter was (3 in plaats van 5,5 dag).

Bij deze proefopstelling bevond de verticale projectie van uitstroomopening van de simulator op de buitenberm zich op het asfalt, 3 m voor de overgang asfalt gras. De ruimte tussen rand uitstroomopening en het asfalt, nodig om het water van de neerloop door te laten, was gemiddeld 0,2 m. Er was vanwege de aanzet naar de oprit naar de kruin sprake van een lichte dwarshelling (circa 1:100). De genoemde verticale projectie van de uitstroomopening vormde tevens de nullijn van het gehanteerde meetraster, waarbij alle lengtematen gemeten zijn langs het talud.

NB. De verticale projectie van het meetraster is dus korter dan het meetraster

Het 2 m brede proefvak werd aan 2 zijden begrensd door 0,6 m hoge geleideschotten die doorliepen tot even voor de binnenteenlijn. Bij deze proef werd op verzoek van Waterschap Scheldestromen de golfoverslag toegelaten. Het overgeslagen water was in de dijksloot opgevangen en weer teruggepompt naar de Oosterschelde. Bij de analyse van de hydraulische metingen zal worden gekeken naar wat het overslagdebiet was.

De asfaltverharding, met een zeewaartse helling van 1:30, was gefundeerd op slakken. Op 3 m van uitstroomopening van de simulator lag de overgang asfalt/gras, de buitenteenlijn lag op 3,5 m en de buitenkruinlijn op 8,6 m. De binnenkruinlijn lag op 13,3 m. De circa 4,7 m brede kruin lag gemiddeld horizontaal. Het binnentalud had een gemiddelde helling van 1:2,5.

De 0,5 m brede grasberm tussen asfalt en buitenteenlijn kende een open grasvegetatie met kort gras en kalige plekken op een rijspoor dat over de gehele breedte van de teststrook zichtbaar was. De vegetatie rond de teen was deels kalig, deels pollig met plaatselijk 0,2 m lang gras. Het talud vertoonde geen bijzonderheden. Vanaf de kruinlijn was het gras wat hoger dan op het talud. Vanaf de kruinlijn bevonden zich in vak 10A een drietal forse molshopen.

#### 5.4.2 Resultaten teststrook 2

##### Proef 2-3 (x = 3.0 m en $Ru_{2\%} = 1.0$ m)

Bij deze proef bleek dat de stuurfile een probleem opleverde waardoor de proef na 7 minuten moest worden beëindigd. Het talud was na deze proef met 40 oplopende golven schoongespoeld en het gras lag plat. Verder was er geen sprake van aantastingen. Vanwege de zeer geringe duur en impact van deze belasting op het talud is besloten direct door te gaan met de volgende proef en de proef niet opnieuw uit te voeren met een aangepaste stuurfile.

##### Proef 2-2 (x = 2.0 m en $Ru_{2\%} = 2.0$ m)

Deze ruim 1 uur durende proef had niet geleid tot een significant andere aanblik van het talud. De licht kalige plekken in de vakken 4 A en B waren een heel klein beetje kaler geworden en in vak 7 was precies

in het midden een licht kalig plek zichtbaar geworden. Ook was waarneembaar dat er oppervlakkig wat organisch materiaal uit de zode was weggespoeld en dat de kale/kalige plekken een hele lichte mate van slijterosie vertoonden. Er was geen sprake van 'begin van schade'.

Proef 2-1 (x = 1.0 m en  $Ru_{2\%} = 3.0$  m)

Gedurende de 4,5 uur durende proef was sprake van een marginale en nauwelijks zichtbare slijterosie. De al eerder genoemde licht kalige plekken in de vakken 4 A en B en 7 (in het midden) waren mogelijk nog een heel klein beetje kaler geworden, maar er was nog steeds geen sprake van 'begin van schade'.

Proef 2-0 (x = 0.0 m en  $Ru_{2\%} = 4.0$  m)

Ook tijdens deze 12 uur durende laatste proef waren er geen kenmerkende veranderingen op het talud ontstaan. De grasmat oogde wat opener en de kale plekken op het talud waren marginaal onderhevig geweest aan slijterosie, de kale plekken waren hooguit wat groter van oppervlak geworden. De slijterosie ter plaatse van de kale plekken in de vakken 4 A en B (rond de buitenteen) was nu maximaal circa 4 cm. De ontwikkeling van de erosie tijdens deze laatste proef was ook weer marginaal. Ook aan het einde van alle 4 hydraulische belastingen was er nog steeds geen sprake van 'begin van schade' in teststrook 2 (zie



Figuur 5-7).



Figuur 5-7: Overzicht teststrook 2. Nulsituatie (links) en eindsituatie (rechts)

### Ontwikkeling erosie

Bijlage G geeft door middel van een fotoverslag een indruk van de ontwikkeling van de erosie in de tijd als gevolg van de proeven op teststrook 2. In bijlage H is de ontwikkeling van de erosie in de tijd met behulp van de met de 3D laserscanner verkregen scans weergegeven.

## 5.5 Teststrook 3

### 5.5.1 Beschrijving teststrook 3

Bij teststrook 3 (zie Figuur 5-8) is de erosiebestendigheid van de grasbekleding op het buitentalud en de invloed van de overgangen tussen 1) de steenbekleding op de onderberm en betonblokkenberm; 2) de betonblokkenberm en de licht hellende grasberm; en 3) de grasberm en het met gras beklede boventalud onderzocht.

Voorafgaand aan de eerste test was het oppervlak van de teststrook beschreven, zijn uitgebreid foto's gemaakt en werd het talud gescand. In bijlage B is een schematische weergave van de nulsituatie van teststrook 2 opgenomen.



Figuur 5-8: Teststrook 3

De proeven op teststrook 3 waren praktisch gezien een herhaling van de proeven op teststrook 1. Alleen was de buitenberm niet geasfalteerd maar waren Haringmanblokken gebruikt. Deze blokken hebben een andere ruwheid dan asfalt. De opstelling was verder gelijk, zodat ook de proefduur gelijk was aan de proeven op teststrook 1.

Bij deze proefopstelling bevond de verticale projectie van uitstroomopening van de simulator op de buitenberm, tevens het nulpunt van het gebruikte meetraster, zich 2 m voor de overgang naar de berm. Tussen het einde van het met Hydroblocks beklede talud op 2 m en het begin van de met Haringmanblokken verharde berm bevond zich een gemiddeld 0,2 m brede en bemoste voeg gevuld met een niet al te sterke betonvulling (mogelijk gedeeltelijk aangevuld met hydraulische slakken). De ruimte tussen rand uitstroomopening en de Hydroblocks, nodig om het water van de neerloop door te laten, was 0,2 m. Genoemde verticale projectie van de uitstroomopening vormde tevens de nullijn van het gehanteerde meetraster, waarbij alle lengtematen gemeten zijn langs het talud.

NB. De verticale projectie van het meetraster is dus korter dan het meetraster

Het 2 m brede proefvak werd aan 2 zijden begrensd door 0,6 m hoge geleideschotten die doorliepen tot even voor de binnenteenlijn. De 3,05 m brede berm, gelegen tussen 2,2 m en 5,25 en verhard met op de kop gelegde Haringmanblokken van  $0,5 \times 0,5 \text{ m}^2$  en met een dikte van 0,2 m, had met een gemiddelde zeewaartse helling van 1:20 en was gefundeerd op slakken. Tussen de verharde berm en 3,25 m brede grasberm die op 5,35 m begon lag een 0,1 m dikke opsluitband met een waarschijnlijk hoogte van 0,4 m. De grasberm in de vakken 6, 7, en 8 had een licht zeewaartse helling van 1:30 en was bedekt met een grasmat met orde 10 cm lang gras en had een "pollig" karakter. Met name de eerste 2 m kende een zichtbaar opener begroeiing waarbij sprake was van meerdere kalige plekken. De overgang naar het grastalud lag op 8,6 m. Vanaf die teen was de grasmat, hoewel pollig, meer gesloten en had het gras een lengte tot 0,3 m. Het 5,7 m lange buitentalud had een gemiddelde helling van 1:3,7. Vanaf 10,5 m tot 12 m was de grasmat royaal bemest. Op 14,30 m bevond zich de buitenkruinlijn en begon de kruin. De eerste meter van de kruin had nog een redelijke zeewaartse helling waardoor het hoogteverschil tussen 14 en 15 m nog 155 mm bedroeg (zie bijlage B voor het dwarsprofiel). Op de kruin, vanaf 15,5 m, was weer een geleidingsconstructie aangebracht om overslag te voorkomen. Het overslaande water werd zo naar rechts afgebogen waardoor het naast de teststrook weer over het buitentalud terugstroomde.

#### 5.5.2 Resultaten teststrook 3

##### Proef 3-3 (x = 3.0 m en $Ru_{2\%} = 1.0 \text{ m}$ )

Het talud was na deze proef met 90 olopende golven schoongespoeld en het gras lag plat. De voegen tussen de Hydroblocks waren enigszins leeg gespoeld en de bemoste toplaag van de ca. 20 cm brede voeg na 2 m was licht aangetast. Over ca. 25 % van het oppervlak was tot 4 cm van de voegvulling (beton en of slakken) verdwenen. Los van de nog wat kaler geworden plekken op de overgang van de vakken 6 en 7 (B) en in vak 7B was er verder geen sprake van enig aantasting.

##### Proef 3-2 (x = 2.0 m en $Ru_{2\%} = 2.0 \text{ m}$ )

De voegen in de steenzetting waren na 4 uur proeven nog wat verder leeg gespoeld tot een diepte van circa 13 cm. De licht aangetaste voeg op 2 m was nu over driekwart van het oppervlak aangetaste en wel tot een diepte tot circa 4 cm. Het over de kantplank groeiende gras ter plaatse van de overgang tussen de betonblokkenberm en het gras (op 5,25 m) vertoonde enige slijtage. De reeds benoemde kalige plekken in de vakken 6 en 7 (B) vertoonden een lichte vorm van slijterosie. Op de grens van 9/10B was nu een kalende plek zichtbaar en in vak 10 was een lichte slijtage van het gras zichtbaar. Er was nog geen sprake van 'begin van schade'.

##### Proef 3-1 (x = 1.0 m en $Ru_{2\%} = 3.0 \text{ m}$ )

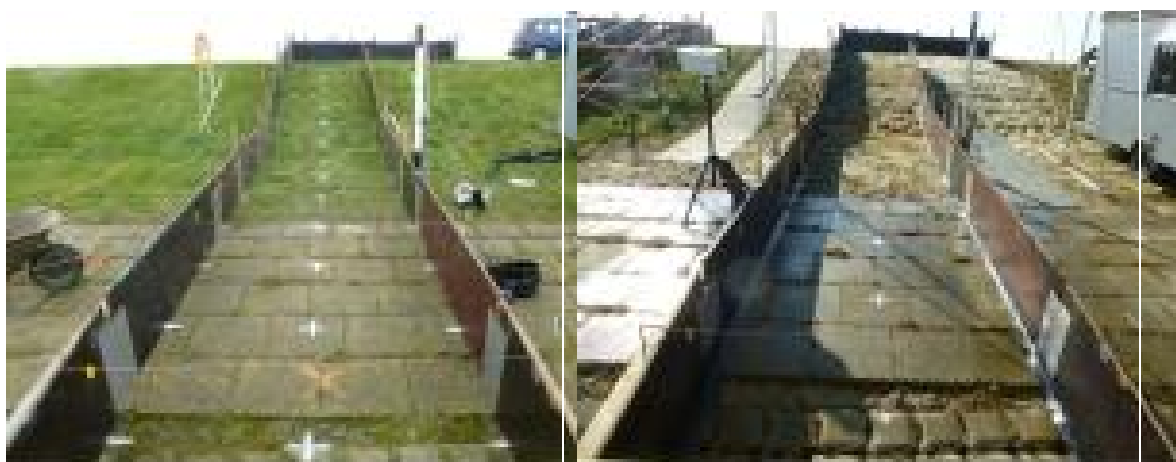
Na 10 uur was sprake van een marginale en soms nauwelijks zichtbare slijterosie. De verandering aan het einde van deze proef was dan ook kleiner dan die bij de vorige proef. Wel waren ondertussen de diepste voegen tussen de Hydroblocks 18 cm diep en was de overgang naar de berm nu over circa 90% van het oppervlak en tot maximaal 7 cm diepte weggesleten. Wel was de indruk dat de snelheid van de aantasting gaandeweg afnam. Wat de grasmat betreft kan gesteld worden dat alleen rond de teen de slijtage zichtbaar was toegenomen door een wat holler wordende en daardoor wat geler ogende grasvegetatie. Er was dus ook na deze proef nog absoluut geen sprake van 'begin van schade'

Proef 3-0 (x = 0.0 m en  $Ru_{2\%} = 4.0$  m)

Ook tijdens de 23 uur durende laatste proef op teststrook 3 waren er geen kenmerkende veranderingen op het talud ontstaan. Door uiterst langzaam verlopende slijterosie oogde de grasmat wat opener en de kale plekken op het talud waren hooguit wat groter van oppervlak geworden. Aan het einde van de proef waren de voegen tussen de Hydroblocks verdiept tot maximaal 0,25 m (vooral in vak 1B). De maximale erosiediepte van de 0,2 m brede overgangsstrook tussen steenzetting en berm was nu plaatselijk 0,08 m. De overgang verharde berm/grasberm erodeerde langzaam en beperkt tijdens de proef. Aan het einde van de proef was over een breedte van circa 0,6 m de 0,1 m dikke kantplank zichtbaar omdat in een smalle strook de grasmat van de 4 cm lager liggende kantplank is verdwenen. De al genoemde kale/kalige plekken in de vakken 6 en 7 (B) waren niet noemenswaardig veranderd. Rond de teen (9/10) en met name juist daarboven was de slijterosie toegenomen en was de zode opener geworden (vooral 10B), maar van verlaging van het oppervlak was praktisch nog steeds geen sprake. Het in vak 11 en 12 aanwezige mos was nog steeds aanwezig, hoewel het er op leek dat dat het oppervlakkig begon te bezwijken. In vak 12 (B) was ondertussen een mollengang zichtbaar geworden. Ook aan het einde van alle 4 hydraulische belastingen was er nog geen sprake van 'begin van schade' in teststrook 3 (zie



Figuur 5-8).



Figuur 5-9: Overzicht teststrook 3. Nulsituatie (links) en eindsituatie (rechts)

Ontwikkeling erosie

Bijlage G geeft door middel van een fotoverslag een indruk van de ontwikkeling van de erosie in de tijd als gevolg van de proeven op teststrook 3. In bijlage H is de ontwikkeling van de erosie in de tijd met behulp van de met de 3D laserscanner verkregen scans weergegeven.

## 5.6 Teststrook 4

De eindsituatie van de proeven op teststrook 3 was de beginsituatie van een extra toegevoegde proef (op initiatief van Projectbureau Zeeweringen en in opdracht van Deltares). Deze proef had tot doel om inzicht te krijgen in de reststerkte van de onderliggende kleilaag. Deze proef was mogelijk omdat proeven op teststrook 3 beëindigd waren zonder (begin van) schade.

Direct aansluitend aan het voltooien van proeven op teststrook 3 was ten behoeve deze extra proef initiële schade aangebracht (zie Figuur 5-11). Deze initiële schade bestond uit het verwijderen van de grasmat over de gehele breedte van het proefvak en over een lengte van 3 m, te beginnen bij 0,6 m voor de teen (8 m) en eindigend 2,4 m na de teen (11 m). De beoogde dikte van de te verwijderen grasmat was 5 à 10 cm diep, zodanig dus dat er aan het oppervlak wortels aanwezig waren. Bij het verwijderen was daarom een gemiddelde dikte van 7,5 cm aangehouden.

Bij het oppervlakkig afgraven van de toplaag met de hydraulische kraan was enerzijds het oppervlak plaatselijk (voornamelijk vak 11) opgeruwd door de aanwezigheid van stenen en anderzijds was daar de zode door meer afgeschoven dan afgesneden (Figuur 5-10).



Figuur 5-10: De oppervlakte van vak 10 (links) en de plaatselijke opgeruwde oppervlakte bij vak 11 (rechts)

Hierdoor was de structuur daar oppervlakkig enigszins geroerd en was de afgegraven laag daar gemiddeld dikker dan gemiddeld. Het begin en eind van de initiële schade was onder een hoek van grofweg 1:2 afgewerkt. Deze aldus gecreëerde situatie was gedurende 8 uren belast met een significante golfhoogte van 2 m bij een waterstand die gelijk was aan de bermhoogte. Deze gesimuleerde belasting kwam overeen met een stormduur van circa 2:15 uur.

NB: De eerste 4 uur was de proef uitgevoerd met een pompdebiet van 150 l/s. In verband met laagwater was de tweede helft met een iets kleiner pompdebiet (130 l/s) uitgevoerd.





Figuur 5-11: Testbrook 4 met initiële schade

Al na een half uur bleek duidelijk dat er aan het oppervlak van de initiële schade veel wortels aanwezig waren. Ook bleek dat er vanaf 10 m sprake was van een toename van erosie. Dit beeld bleek zich in de loop van de proef verder te ontwikkelen. In de laatste fases van de proef tekende zich rond 10 m een discontinuïteit af (Figuur 5-12). Uit overleg met medewerkers van Waterschap Scheldestromen is gebleven dat dit waarschijnlijk de grens is geweest van de inkassing ten behoeve van het laatste versterkingsproject. Op die locatie bevonden zich restanten van puin- dan wel slakken. Tevens was daar een structuurverschil in de ondergrond zichtbaar. Mogelijk was dat mede een oorzaak van de relatief grote erosie die op die locatie heeft voorgedaan.



Figuur 5-12: De discontinuïteit rond 10 m



Figuur 5-13: Overzicht teststrook 4. Nulsituatie (links) en eindsituatie (rechts)

#### Ontwikkeling erosie

Bijlage G geeft door middel van een fotoverslag een indruk van de ontwikkeling van de erosie in de tijd als gevolg van de proeven op teststrook 4. In bijlage H is de ontwikkeling van de erosie in de tijd met behulp van de met de 3D laserscanner verkregen scans weergegeven.

## 5.7 Teststrook 5

Een kleine 100 m ten zuidoosten van de eerste teststroken bevond zich een trapconstructie op zowel het binnen- als buitentalud. Op initiatief van Projectbureau Zeeweringen is in opdracht van Deltares dit niet-waterkerend object toegevoegd aan het proevenprogramma. Ter plaatse van de trap werd daarom een vijfde teststrook ingericht (zie Figuur 5-14) om de invloed van de trap bij golfloop vast te kunnen stellen. Bij deze proef werd de trap belast met dezelfde golfloopcondities als bij teststrook 2.



Figuur 5-14: Teststrook 5, met links het buitentalud en rechts het binnentalud

De golfloopsimulator stond op de met Haringmanblokken verharde berm, zodanig dat de rand van de uitstroomopening (= nulpunt meetraster) zich 0,9 m voor de overgang naar de grasberm bevond. Op 3,3 m lag, op grasbermhoogte, het eerste ingegraven trapelement. Op 3,8 m volgde de eerste 0,13 m hoge

optrede. Tussen het eerste (ingegraven) trapelement en de verharde berm lag een 1 m breed pad bestaande uit op de kop liggende Haringmanblokken en enkele betonnen vulstukken.

De as van de trap was ook de as van het 2 m brede proefvak. De 1 m brede trap bestond uit betonelementen van 0,52 m lang en 0,13 m dik. Deze elementen waren los op elkaar gestapeld met kleine overlap van circa 2 cm, de gemiddelde helling van de trap was daarmee 1:3,85. De trapelementen lagen voornamelijk direct op de klei, maar ongetwijfeld ten behoeve van het stellen van de blokken waren deze gesteld op twee stellatten die op of in de klei lagen. Aan weerszijden waren de trapelementen opgesloten door 1 m lange en 0,12 m dikke kantplanken. Deze begonnen ter hoogte van de teen (3,5 m). De breedte van de kantplanken was zeer waarschijnlijk 0,4 m. De trap lag in het talud en bovenkant van de kantplanken en de bovenkant van de optrede lagen gelijk aan het oppervlak van het talud. De grasmat die tegen de kantplanken aan lag zag er goed uit en kende buiten een 3-tal molshopen in 4B en 8B, geen bijzonderheden. De traphoogte was  $12 \times 0,13 = 1,56$  m. Aan weerszijden van de trap lag tussen de kantplank en de geleideschotten een grasstrook van bijna 0,4 m. Aan de linkerkant (B) was een leuning aangebracht bestaande uit verzinkte stalen pijpen rond 60 mm met 3 staanders in de vakken 4B, 7B en 10B. Naast de laagste staande in 4B bevond zich ook nog een verzinkte stalen paal met een diameter van 70 mm ten behoeve van een waarschuwbord. De buitenkruinlijn lag op 9,55 m. De kruin (tussen 9,55 m en 12,20 m) was verhard met 5 ingegraven traptreden met daartussen smalle grasstroken, daarna begin de trap in het binnentalud. De geleideschotten waren zoals bij teststrook 2 doorgezet tot aan de binnenteenlijn. Bij de analyse van de hydraulische metingen zal worden gekeken naar wat het overslagdebiet was.

#### Proef 5-3 (x = 3.0 m en $Ru_{2\%} = 1.0$ m)

Na deze 14 minuten durende proef was feitelijk alleen de teststrook schoongespoeld. Alleen de grasbegroeiing op de kantopsluiting na de overgang bermverharding (1 m) was deels aangetast en uiteraard was er nog geen 'begin van schade'.

#### Proef 5-2 (x = 2.0 m en $Ru_{2\%} = 2.0$ m)

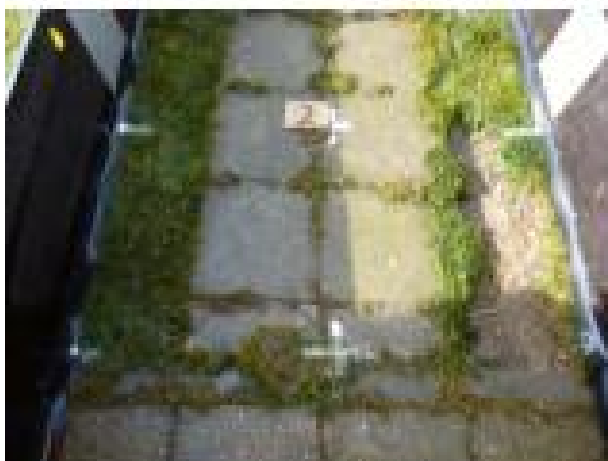
De situatie aan het einde van deze 1:14 uur durende proef was nauwelijks veranderd ten opzichte van het begin. Uiteraard was door de oploop de grasvegetatie enigszins aangetast, maar feitelijke verschillen waren er niet of nauwelijks. Er was nog geen sprake van 'begin van schade'.

#### Proef 5-1 (x = 1.0 m en $Ru_{2\%} = 3.0$ m)

Bij deze proef 5:31 uur durende proef begon de schadeontwikkeling al snel. Gedurende de proef raakten diverse traptreden op het buitentalud uit verband en spoelden circa zes traptreden uit de trap. Het uitspoelen van de eerste twee traptreden gebeurde al binnen de eerste 10 minuten van de proef (de eerste was de vijfde traptrede gevolgd door de vierde traptrede). Gedurende de rest van de proef spoelden nog circa vier traptreden uit. Bij grote golven (vulhoogte  $>4,0$  m) kwamen de losse traptreden in beweging en rangschikten zich geregeld in een andere formatie. Na een aantal verplaatsingen leek dit tot een stabiel geheel te komen met steun van de treden op andere traptreden en opsluitbanden (Figuur 5-15). Na ruim een uur raakte een stuk graszode los in vak 2A, namelijk direct aansluitend aan de kantopsluiting van de bermverharding en tussen de trap en het geleideschot. Deze schade breidde zich gedurende de proef uit tot een lengte van 0,8 m, breedte van 0,4 m en maximale diepte van 0,05 m (Figuur 5-16).



Figuur 5-15: De losse treden na proef 3-1



Figuur 5-16: Losgeraakte graszoden bij vak 2A

NB. Faalmechanisme traptreden: Hoewel dit een factual report is, is het zinnig om melding te maken van het feit dat er tussen de 4<sup>de</sup> en 5<sup>de</sup> traptrede sprake was van een spleet van circa 1 cm. Dit samen met het feit dat er waarschijnlijk sprake was van een spleet tussen de traptrede en de klei (immers de trede lag op 2 stellatten), maakte het mogelijk dat de waterdruk zich gemakkelijk kon voortplanten tot onder de traptrede en dat deze daardoor bij de wat groter golven opgetild kon worden. Bij deze proef was al in het begin van de proef spraken van het begin van schade. Daarna was er wel enige erosie opgetreden van de onderliggende klei, maar dat was beperkt van aard. Door de losliggende traptreden die over de kale klei verdeeld waren was het niet (goed) mogelijk de erosieontwikkeling met de scanner vast te leggen.

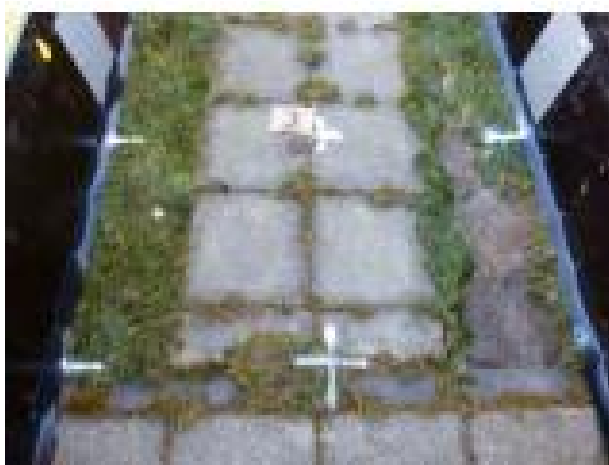
#### Proef 5-0 (x = 0.0 m en $Ru_{2\%} = 4.0$ m)

Gedurende de laatste proef spoelden er nog vier traptreden uit of raakten uit verband. Twee van deze traptreden werden door grote golven (opvulhoogte simulator was circa 7,0 m) op de kruin geslingerd en sloegen vervolgens na één of meerdere grote golven over de kruin, om vervolgens beneden aan de trap op het binnentalud tot stilstand te komen (Figuur 5-17). In totaal zijn er dus circa 10 traptreden losgeraakt dan wel weggespoeld. Door de beperkte breedte van de teststrook rangschikten de traptreden zich binnen de opsluitbanden. Hieronder spoelde nog wel de nodige klei weg. De traptreden zelf vertoonden weinig beweging. De schade die tijdens de vorige proef net achter de opsluitband was ontstaan had zich

langzaam uitgebreid tot een lengte van 1,25 m en breedte van 0,4 m. De diepte bleef echter beperkt: circa 0,05 m (Figuur 5-18).



Figuur 5-17: Over de kruin geslagen treden



Figuur 5-18: De schade bij 2A

Gedurende de laatste proef was er vanwege laag water in combinatie met vuil voor de aanzuigopening geruime tijd sprake van een 5 tot 10% te laag debiet. In verband met het bereiken van een stopcriterium werd de proef na 5:30:09 uur (=2:07 stormduur) beëindigd. De trap was gefaald, maar er was nog wel sprake van reststerkte door de aanwezige kleilaag.

De weggeslagen traptreden konden vanwege de beperkte breedte van de teststrook en de 2D-simulatie het testvak niet verlaten. De indruk bestaat dat dit zonder geleideschotten en zeker in geval van scheve golfaanval wel gebeurd zou zijn. In dat geval zou de aanval van de golfloop op de klei en daarmee de erosie waarschijnlijk groter zijn geweest. Nu werd de aanval sterk gedempt door de traptreden die losgestapeld nog wel steeds de klei afdekten.



Figuur 5-19: Overzicht teststrook 5. Nulsituatie (links) en eindsituatie (rechts)

Ontwikkeling schade en erosie

Bijlage G geeft door middel van een fotoverslag een indruk van de ontwikkeling van de schade in de tijd als gevolg van de proeven op teststrook 5.

## 6 Grastrekproeven

Met de graszodetrekker zijn grastrekproeven uitgevoerd. De resultaten van de grastrekproeven worden gebruikt bij het valideren van de kritieke stroomsnelheid ( $u_c$ ) in het turf-element model. De "gemeten"  $u_c$  wordt vergeleken met de  $u_c$  die volgt uit de overbelastingmethode gegeven de stuurlijst (dit betreft een validatie op elementniveau). De spreiding in de resultaten van de grastrekproeven geeft een indicatie van de heterogeniteit van de grassterkte.

Voor het uitvoeren van de grastrekproeven waren ten zuidoosten van testrook HM 2 stroken geselecteerd: strook A en B. Beide stroken waren circa 5 m breed. De hartafstand bedraagt 14 m. Ten opzichte van de dijkpaal 1791 bevonden stroken A en B zich respectievelijk op 1791-35 m en 1791-49 m. Omdat de hoogte van het gras het zicht op de ondergrond belemmerde, zijn beide stroken eerst gemaaid. Beide stroken zijn tot vlak voor de metingen ruim een uur lang royaal bevoeid waardoor de toplaag voldoende nat is geworden.

De te trekken graszoden zijn 15 x 15 cm<sup>2</sup> groot, en werden altijd aan twee tegenover elkaar liggende kanten tot 8 cm diepte vrijgegraven om het trekframe te kunnen aanbrengen (zie Figuur 6-1).



Figuur 6-1: vrijgegraven graszode

De pennen die door het trekframe en de graszode werden gestoken, werden op circa 4 cm onder het oppervlak van de graszode aangebracht. Afhankelijk van het soort meting dat werd uitgevoerd werden ook de andere twee zijkanten tot een diepte van 8 cm vertikaal losgestoken, zodat in dat geval uitsluitend aan de onderzijde van de zode werd getrokken. Het trekken gebeurde met een in het grastrekframe opgehangen hydraulische cilinder en een handmatig bediende hydraulische pomp met draaibediening (zie Figuur 6-2).



Figuur 6-2: de graszodetrekker

Op beide stroken waren willekeurig 12 locaties gekozen waar proeven met de graszodetrekker waren uitgevoerd. Op strook A bevonden 6 locaties zich op het talud, 2 locaties rond de teen en 4 locaties op de berm. Op strook B waren 6 locaties op zowel het talud als de berm geselecteerd. Opvallend was dat in beide stoken nogal wat variatie was in de vegetatie/bedekking; plaatselijk relatief kort gras, veel pollen met hoog gras en soms wat kalig al of niet met mos. De pollen waren dusdanig ontwikkeld dat daar grote trekkrachten voor nodig waren. Bij het prepareren van de graszode bleek dat met name in strook B de teen was aangetast door duidelijke rijsporen.

Op elke strook waren 2 verschillende type proeven uitgevoerd:

1. snelle proeven
2. vermoeiingsproeven

#### *ad1. snelle proeven*

Bij de snelle proef **max** werd in één keer trekken de maximaal benodigde trekkracht en bijbehorende verplaatsing gemeten (beide als functie van de tijd). Voor het meten en opslaan van de krachten en verplaatsing werd gebruik gemaakt van meet- en opslagapparatuur van Deltares: een krachtmeetsensor, verplaatsingssensor en datalogger. Voor het aflezen van de maximale trekkrachten werd ook gebruik gemaakt van een elektronische unster (de meet- en opslagapparatuur van Deltares kende geen monitorfunctie).

In totaal waren op beide stroken 8 snelle proeven uitgevoerd. De snelle proef bestond uit 2 soorten metingen. Bij 4 van de 8 snelle proeven was de meting uitgevoerd op een graszode waarvan 2 kanten waren losgestoken en bij de overige 4 proeven waren 4 kanten losgestoken. Ten behoeve van de vermoeiingsproef was aan de hand van de met het elektronisch unster afgelezen trekkrachten de gemiddelde maximale trekkracht voor elk van de 2 soorten metingen bepaald: dus één gemiddelde maximale trekkracht voor de snelle proef met 2 kanten losgestoken en één gemiddelde maximale trekkracht voor de snelle proef met 4 kanten losgestoken.

#### *ad2. vermoeiingsproeven*

Bij de vermoeiingsproef **rep** werd de graszode met een belasting die gelijk is aan 75% van gemiddelde maximale trekkracht omhooggetrokken, waarna de trekkracht weer werd teruggebracht tot 0. Dit wordt



circa 100 keer herhaald, tenzij de zode al eerder uit de grasmat is getrokken. Gedurende deze proeven werden de trekkracht en bijbehorende de verplaatsing gemeten en opgeslagen met dezelfde meet- en opslagapparatuur van Deltares zoals gebruikt bij de snelle proeven. De terugkerende op te leggen belasting werd tijdens de proef afgelezen op het elektronische unster.

In totaal waren op één strook 4 vermoeiingsproeven uitgevoerd. Ook de vermoeiingsproef bestond uit 2 soorten metingen. Bij 2 van de 4 proeven was meting uitgevoerd op een graszode waarvan 2 kanten waren losgestoken. Bij de overige 2 proeven waren 4 kanten losgestoken. Voor de gemiddelde maximale trekkracht werd gebruik gemaakt van het eerder bepaalde gemiddelde bij de snelle proeven.

In totaal waren op beide stroken dus 24 proeven uitgevoerd. In onderstaande tabel is een overzicht van de uitgevoerde proeven weergegeven.

Type proef	Aantal iteraties	4 zijkanten los	2 zijkanten los	Aantal proeven
Snelle proef	1	8	8	16
Vermoeiingsproef	Circa 100	4	4	8

In bijlage I zijn de op locatie bepaalde resultaten van de proeven opgenomen. In de tabel zijn ook de met de krachtsensor van Deltares gemeten krachten weergegeven. Deze geregistreerde krachten zijn vrijwel identiek aan de met het elektronische unster afgelezen krachten.

De met de apparatuur van Deltares gemeten krachten en verplaatsingen zijn ook bijlage I weergegeven. De metingen zullen nog verder door Deltares worden uitgewerkt. De analyse van deze metingen zal apart worden gerapporteerd.

## Referenties

Deltares, 2012. SBW Wave overtopping and grass cover strength. Predictions of Prototype Tests

Deltares, 2012. Technisch Rapport Toetsen Grasbekleding op Dijken

Infram, 2011. Factual Report – Overslagproeven en olooproef Tholen

Rijkswaterstaat, 2012. Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheedersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde

Van der Meer, J.W., 2014. Design, construction and testing of the wave run-up simulator. Memo vdm13391.13114.1 of Van der Meer Consulting.

## BIJLAGEN

## A. Overzicht uitgevoerde proeven

### Golfoploopproeven Noord Beveland

  
 Teststrook 1 - Oost Zeedijk Colijnsplaat (hart proefvak: 179173,9 m (dijkpaal 1792 = 179200 m - 26,1 m))

datum	tijd	Door wie en opmerkingen
12-2-2014	13:00	Jan

Proef: Systeemtest	
Datum:	12-2-2014 Tijd: 13:00

Proef: Opl3						
Sessie	Datum	Hz	Begin	Einde	Ru2% = 1,0 m N(oplopen) = 90 Pompdebiet: 130 l/s	Proefduur: 0:28 uur (= 6 uur storm)
1	13-2-2014	48,3	13:00:00	13:30:30	Opmerkingen o.a. t.a.v. , kloktijden, opnames, scans, foto's, films etc Tijdens begin proef enige verschuivingen met kloktijd vs. stuurkast, einde proef 1-3 na 0:28.	Foto's uitgebreid X Laserscan X Backup X

Proef: Opl2						
Sessie	Datum	Hz	Begin	Einde	Ru2% = 2,0 m N(oplopen) = 789 Pompdebiet: 130 l/s	Proefduur: 3:52 uur (= 6 uur storm)
1	13-2-2014	48,0 - 48,4	14:49:00	15:36:00	Opmerkingen o.a. t.a.v. , kloktijden, opnames, scans, foto's, films etc Eerste 10 minuten afstemmen debiet, onderbreking i.v.m. niet halen vulhoogte	Foto's uitgebreid X Laserscan X Backup X
2	13-2-2014	48,2 - 48,6	15:47:30	17:00:00	Meting volle bak → vuldebiet 136 l/s. Continu bijstellen debiet a.d.h.v. vulhoogte (volle bak) en oploophoogte. <b>Onderbreking proef 2:00.</b>	X X X
3	14-2-2014	48,2	12:19:30	14:12:30	<b>Start proef vanaf 2:00, einde proef 1-2 na 3:52.</b>	X X X

Proef: Opl1						
Sessie	Datum	Hz	Begin	Einde	Ru2% = 3,0 m N(oplopen) = 1592 Pompdebiet: 130 l/s	Proefduur: 10:00 uur (= 6 uur storm)
1	17-2-2014	48,2 - 50,0	10:38:15	12:06:40	Opmerkingen o.a. t.a.v. , kloktijden, opnames, scans, foto's, films etc 10:53:30 meting volle bak → vuldebiet 136 l/s.	Foto's uitgebreid X Laserscan X Backup X
2	17-2-2014	50,0	12:09:30	12:25:00	Onderbreking proef, storing GOS.	X X X
3	17-2-2014	50,0 - 48,7	12:43:00	14:04:00	Onderbreking proef, storing GOS.	X X X
4	17-2-2014		14:06:30	15:00:30	Onderbreking proef 4:00, korte inspectie.	X X X
5	17-2-2014		15:04:40	16:07:00	15:08:00 storing GOS. <b>Onderbreking proef na 5:00 uur</b>	X X X
6	18-2-2014	49,0-51,0	9:04:00	11:25:30	Start proef vanaf 5:00, korte onderbreking i.v.m. vervuiling pomp	X X X
7	18-2-2014		11:31:00	12:38:20	Inspectiestop 8:28:07	X X X
8	18-2-2014	48,5-52,0	12:50:00	14:24:00	Stop 14:04:00-14:05:30 korte stop i.v.m. vervuiling pomp (opname loopt door), <b>einde proef 1-1 na 10:00</b>	X X X

Proef: Oplnul						
Sessie	Datum	Hz	Begin	Einde	Ru2% = 4,0 m N(oplopen) = +/- 2688 Pompdebiet: 150 l/s	Proefduur: 20:08 uur (= 6 uur storm)
1	18-2-2014	46,5	15:45:00	17:15:30	Opmerkingen o.a. t.a.v. , kloktijden, opnames, scans, foto's, films etc Eerste 1:30 uur vuldebiet 130 l/s, vervolgens naar 150 l/s met nieuwe stuurfile. Omrekenen tijd 1:30 → 1:18 uur	Foto's uitgebreid X Laserscan X Backup X
2	19-2-2014		8:58:30	9:58:42	Start proef met klok op 00:00:00, vuldebiet 150 l/s. Korte inspectie 2:18 uur (1 uur (kloktijd + 1:18 uur omgerekende 130 l/s proef)	X X X
3	19-2-2014		10:09:30	11:09:50	Korte onderbreking i.v.m. vervuiling pomp	X X X

FACTUAL REPORT: GOLFOOPLOOPROEVEN NOORD-BEVELAND

4	19-2-2014	52,0	11:21:00	12:22:30	11:50:50-11:52:00 korte onderbreking i.v.m. vervuiling pomp (opname loopt door). Onderbreking, korte inspectie 3:18uur (2uur+1:18uur)				X
5	19-2-2014	52,0	12:27:00	13:26:30	Onderbreking, korte inspectie 5:18uur (4:00uur+1:18uur)				X
6	19-2-2014	51,0-51,9	13:35:30	14:35:08	<b>Onderbreking proef na 6:18 uur</b> (5:00uur+1:18uur)	X			X
7	19-2-2014	49,5	15:54:40	16:56:40	Onderbreking, korte inspectie 7:18uur (6:00uur+1:18uur)				X
8	19-2-2014		17:00:15	17:45:20	Onderbreking, einde dag				X
9	20-2-2014		8:01:30	9:04:00	08:20:00 korte onderbreking i.v.m. vervuiling pomp (opname loopt door). Onderbreking, korte inspectie (7:46uur+1:18uur).				X
10	20-2-2014	51,0	9:06:00	10:09:45	09:51:50 korte onderbreking i.v.m. vervuiling pomp. <b>Onderbreking proef na 10:04 uur (8:46uur+1:18uur)</b>	X			X
11	20-4-2014		11:33:00	12:30:10	Herstart vanaf 10 uur, kloktijd vanaf 00:00:00 en stuurfile opnieuw geladen. Onderbreking proef, pomp geheel droog en korte inspectie 11 uur.				X
12	20-2-2014		13:57:40	15:05:30	Onderbreking, korte inspectie 12:00				X
13	20-2-2014	51,8	15:09:30	16:10:35	Onderbreking, korte inspectie 13:00				X
14	20-2-2014	49,7	16:15:45	16:34:40	Korte onderbreking i.v.m. vervuiling pomp				X
15	20-2-2014		16:38:00	17:20:30	Onderbreking, korte inspectie 14:00				X
16	20-2-2014	49,1	17:29:30	18:30:00	<b>Onderbreking proef na 15:00 uur, einde dag</b>	X			X
17	21-2-2014	51,0-52,0	9:30:15	10:31:50	Onderbreking, korte inspectie 16:00				X
18	21-2-2014	52,0	10:41:30	11:41:50	Onderbreking, korte inspectie 17:00				X
19	21-2-2014	52,0	11:54:00	12:54:30	Onderbreking, korte inspectie 18:00				X
20	21-2-2014		13:08:00	13:42:00	Onderbreking, storing GOS (zand klepmechanisme). Kloktijd en sturing loopt ca. 16 min door vanaf 8:33:31				X
21	21-2-2014		14:50:00	15:19:00	Camerabeelden beschikbaar vanaf 08:51:30 (camera iets te laat aangezet). Onderbreking, storing GOS (zand klepmechanisme)				X
22	21-2-2014		15:31	15:44:00	<b>Einde proef 1-0 na 19:31:16. Officieel 19:15 (19:31:16-0-16 i.v.m. doorlopen klok en sturing)</b>	X			X

**Golfoplooppoeven Noord Beveland**

Teststrook 2 - Oost Zeedijk Colijnsplaat (hart proefvak: 179145,6 m (dijkpaal 1792 = 179200 m - 54,4 m))

	datum	tijd	Door wie en opmerkingen
<b>T<sub>0</sub>-opname</b>	3-3-2014	17:00	Jan

**Proef: Systeemtest**

Datum:	25-2-2014	Tijd: 13:00
--------	-----------	-------------

<b>Proef: Opl3</b>		<b>x = 3,0 m Ru2% = 1,0 m N(oplopen) = 40 Pompdebiet: 130 l/s</b>		<b>Proefduur: 0:12 uur (= 6 uur storm)</b>	
Sessie	Datum	Hz	Begin	Einde	Opmerkingen o.a. t.a.v. , kloktijden, opnames, scans, foto's, films etc
1	25-2-2014	45,0	13:19:13	13:26:40	Stuurfile incompleet, na +/- 7 min geen golven meer. <b>Proef slechts 0:07 uitgevoerd, (3,5 uur storm). Einde proef 2-3 na 0:07</b>
					Foto's uitgebreid X Laserscan X Backup X

<b>Proef: Opl2</b>		<b>x = 2,0 m Ru2% = 2,0 m N(oplopen) = 318 Pompdebiet: 130 l/s</b>		<b>Proefduur: 1:05 uur (= 6 uur storm)</b>	
Sessie	Datum	Hz	Begin	Einde	Opmerkingen o.a. t.a.v. , kloktijden, opnames, scans, foto's, films etc
1	25-2-2014	45,0	14:36:00	15:41:07	Opname camera 15 sec te laat gestart. <b>Einde proef 2-2 na 1:05</b>
					Foto's uitgebreid X Laserscan X Backup X

<b>Proef: Opl1</b>		<b>x = 1,0 m Ru2% = 3,0 m N(oplopen) = 1248 Pompdebiet: 150 l/s</b>		<b>Proefduur: 4:16 uur (= 6 uur storm)</b>	
Sessie	Datum	Hz	Begin	Einde	Opmerkingen o.a. t.a.v. , kloktijden, opnames, scans, foto's, films etc
1	26-2-2014	48,0	8:26:30	10:50:32	Onderbreking, korte inspectie 2:24
2	26-2-2014	48,0-49,2	11:05:33	*13:15:00	Opname camera 1:30 min te laat gestart. Na 4:16:27 staan er nog golven in de stuurfile, deze is onterecht opnieuw geladen wegens een foute interpretatie van de proeftijd. <b>Einde proef 2-1 na *4:33:27</b>
					Foto's uitgebreid X Laserscan X Backup X

<b>Proef: Oplnul</b>		<b>x = 0,0 m Ru2% = 4,0 m N(oplopen) = 2802 Pompdebiet: 150 l/s</b>		<b>Proefduur: 11:53 uur (= 6 uur storm)</b>	
Sessie	Datum	Hz	Begin	Einde	Opmerkingen o.a. t.a.v. , kloktijden, opnames, scans, foto's, films etc
1	26-2-2014	47,0-50,6	14:27:00	16:27:00	Onderbreking, korte inspectie 2:00
2	26-2-2014	51,0-52,0	16:36:00	18:36:03	<b>Onderbreking proef na 4:00</b> , einde dag
3	27-2-2014	52,0	8:09:30	10:05:59	Onderbreking, korte inspectie 6:00
4	27-2-2014	51,4-52,0	10:08:00	12:18:00	Onderbreking, korte inspectie 8:00
5	27-2-2014	51,2-51,0	12:28:00	14:28:03	Onderbreking, korte inspectie 10:00
6	27-2-2014	51,5-52,0	14:58:00	16:54:29	Opname camera 02:13 te laat gestart. <b>Einde proef 2-0 na 11:53</b>
					Foto's uitgebreid X Laserscan X Backup X

## Golfplooppoeven Noord Beveland

Teststrook 3 - Oost Zeedijk Collijnslaap (hart proefvak: 179089,4 m (dijkpaal 1791 = 179100 m - 10,6 m))

datum	tijd	Door wie en opmerkingen
3-3-2014	14:30	Jan

### Proef: Systeemtest

Datum:	3-3-2014	Tijd:	14:35
--------	----------	-------	-------

### Proef: Opi3

Sessie	Datum	Hz	Begin	Einde	Opmerkingen o.a. t.a.v. , kloktijden, opnames, scans, foto's, films etc	Foto's uitgebreid	Laserscan	Backup
1	3-3-2014	49,5-52,0	14:41:30	15:09:57	Eerste 12 min continu bijstellen pompdebiet. <b>Einde proef 3-3 na 0:28</b>	X	X	X

### Proef: Opi2

Sessie	Datum	Hz	Begin	Einde	Opmerkingen o.a. t.a.v. , kloktijden, opnames, scans, foto's, films etc	Foto's uitgebreid	Laserscan	Backup
1	3-3-2014	48,5	15:58:00	16:58:06	Onderbreking, korte inspectie 1:00			X
2	3-3-2014	48,4-49,0	17:03:30	18:03:34	<b>Onderbreking proef na 2:00</b> , einde dag	X	X	X
3	4-3-2014	49,0-52,0	8:08:00	9:07:51	Onderbreking, korte inspectie 3:00			X
4	4-3-2014	52,0	9:12:30	10:05:24	<b>Einde proef 3-2 na 3:54:41</b>	X	X	X

### Proef: Opi1

Sessie	Datum	Hz	Begin	Einde	Opmerkingen o.a. t.a.v. , kloktijden, opnames, scans, foto's, films etc	Foto's uitgebreid	Laserscan	Backup
1	4-3-2014	52,0	11:45:00	14:15:43	Onderbreking, korte inspectie 2:30			X
2	4-3-2014	49,0-52,0	14:24:00	17:50:40	15:35:20 storing GOS. <b>Onderbreking proef na 6:00</b> , einde dag	X	X	X
3	5-3-2014	49,5-52,0	8:33:00	10:33:16	Onderbreking, korte inspectie 8:00			X
4	5-3-2014	52,0	10:38:00	12:37:31	<b>Einde proef 3-1 na 10:00</b>	X	X	X

### Proef: OpiInul

Sessie	Datum	Hz	Begin	Einde	Opmerkingen o.a. t.a.v. , kloktijden, opnames, scans, foto's, films etc	Foto's uitgebreid	Laserscan	Backup
1	5-3-2014	47,3-51,0	13:37:35	17:37:48	<b>Onderbreking proef na 4:00</b> , einde dag	X	X	X
2	6-3-2014	49,5-51,0	8:47:30	10:48:03	Onderbreking, korte inspectie 6:00:46			X
3	6-3-2014	51,0-51,8	10:53:16	12:52:53	Onderbreking, korte inspectie 8:00:23			X
4	6-3-2014	52,0	13:37:30	15:43:56	Onderbreking, korte inspectie 10:06:59			X
5	6-3-2014	49,0-51,7	15:51:00	17:11:46	Onderbreking, einde eerste deel. Stuurfile nogmaals uitvoeren <b>** (1) 1:26:45. **</b> Klok op 1:26:45			X
6	6-3-2014	47,5	17:16:00	18:16:01	<b>Onderbreking proef na 12:26:46</b> , einde dag	X	X	X
7	7-3-2014	49,0-50,5	8:04:00	11:04:12	Onderbreking, korte inspectie 15:26:58			X
8	7-3-2014	50,8	11:07:30	14:07:30	<b>Onderbreking proef na 18:26:58</b> , einde dag	X	X	X
9	10-3-2014	49,0	8:48:00	11:00:44	Onderbreking, korte inspectie 20:39:42			X
10	10-3-2014	49,0-49,5	11:04:00	13:17:48	<b>Einde proef 3-0 na 22:52</b>	X	X	X

**Golfoplooppoeven Noord Beveland**

Teststrook 4 - Oost Zeedijk Colijnsplaat (hart proefvak: 179089,4 m (dijkpaal 1791 = 179100 m - 10,6 m))

datum	tijd	Door wie en opmerkingen
11-3-2014	14:30	Jan

**T<sub>0</sub>-opname****Proef: Systeemtest**

Datum: 11-3-2014 Tijd: 09:00

<b>Proef: OpInul</b>		<b>x = 0,0 m Ru2% = 4,0 m N(oplopen) = - Pompdebiet: 130 l/s Proefduur: 8:00 uur (= 2:15 uur storm)</b>		Foto's uitgebreid	Laserscan	Backup
Sessie	Datum	Hz	Begin	Einde	Opmerkingen o.a. t.a.v. , kloktijden, opnames, scans, foto's, films etc	
1	11-3-2014	52,0	9:05:00	10:05:12	Onderbreking, korte inspectie 1:00:12 (Proef 150 l/s)	X
2	11-3-2014	52,0	10:20:30	12:21:04	Onderbreking, korte inspectie 3:00:46 (Proef 150 l/s)	X
3	11-3-2014	52,0	12:35:30	13:34:58	<b>Onderbreking proef na 4:00(:14)</b> (Proef 150 l/s, verder met 130 l/s i.v.m. getij. 4:00 uur 150 l/s = 4:37 uur 130 l/s)	X
4	11-3-2014	50,5-51,5	14:30:00	16:30:10	Onderbreking, korte inspectie 6:37 (4:37uur+2:00uur)	X
5	11-3-2014	51,5-52,0	16:38:30	18:01:26	<b>Einde proef 4-0 na 8:00</b>	X



**Golfplooproeven Noord Beveland**  
 Teststrook 5 - Oost Zeedijk Colijnsplaat (hart proefvak: 178988,1 m (dijkpaal 1790 = 179000 m - 11,9 m))

datum	tijd	Door wie en opmerkingen
18-3-2014	8:00	Jan

**Proef: Systeemtest**

Datum:	3-3-2014	Tijd:	14:35
--------	----------	-------	-------

Proef: Opl3		x = 3,0 m		Ru2% = 1,0 m		N(oplopen) = 77		Pompdebit: 110 l/s		Proefduur: 0:14 uur (= 6 uur storm)	
Sessie	Datum	Hz	Begin	Hz	Einde	Opmerkingen o.a. t.a.v. , kloktijden, opnames, scans, foto's, films etc	Foto's uitgebreid	Laserscan	Backup		
1	18-3-2014	51,0	8:30:30	8:44:55	<b>Einde proef 5-3 na 0:14:25</b>		X	X	X		

Proef: Opl2		x = 2,0 m		Ru2% = 2,0 m		N(oplopen) = 318		Pompdebit: 110 l/s		Proefduur: 1:14 uur (= 6 uur storm)	
Sessie	Datum	Hz	Begin	Hz	Einde	Opmerkingen o.a. t.a.v. , kloktijden, opnames, scans, foto's, films etc	Foto's uitgebreid	Laserscan	Backup		
1	18-3-2014	52,0	9:56:00	11:00:44	<b>Einde proef 5-2 na 1:14:44</b>		X		X		

Proef: Opl1		x = 1,0 m		Ru2% = 3,0 m		N(oplopen) = 1248		Pompdebit: 110 l/s		Proefduur: 5:31 uur (= 6 uur storm)	
Sessie	Datum	Hz	Begin	Hz	Einde	Opmerkingen o.a. t.a.v. , kloktijden, opnames, scans, foto's, films etc	Foto's uitgebreid	Laserscan	Backup		
1	18-3-2014	52,0	11:36:30	11:55:50	Na 0:02 eerste traprede eruit, tweede traprede volgt na 0:08. Vervolgens verschuiven deze treden regelmatig het eerste uur en belanden hierbij ook ondersteboven in het proefvak.				X		
2	18-3-2014	52,0	12:49:00	13:29:42	Onderbreking, korte inspectie (+ detailfoto's) 0:19:20				X		
3	18-3-2014	52,0	13:52:00	14:52:08	Onderbreking, korte inspectie 1:00:02				X		
4	18-3-2014	51,5	15:10:00	16:09:54	Groot stuk graszode (ca. 40x40 cm) direct achter de opsluitband van de bermverharding spoelt weg na 1:10. Onderbreking, korte inspectie 2:00:10				X		
5	18-3-2014	51,5	16:24:00	17:55:41	Onderbreking, korte inspectie 3:00:04				X		
6	19-3-2014	52,0	8:51:00	9:51:03	<b>Einde proef 5-1 na 5:31:48</b>		X	X	X		

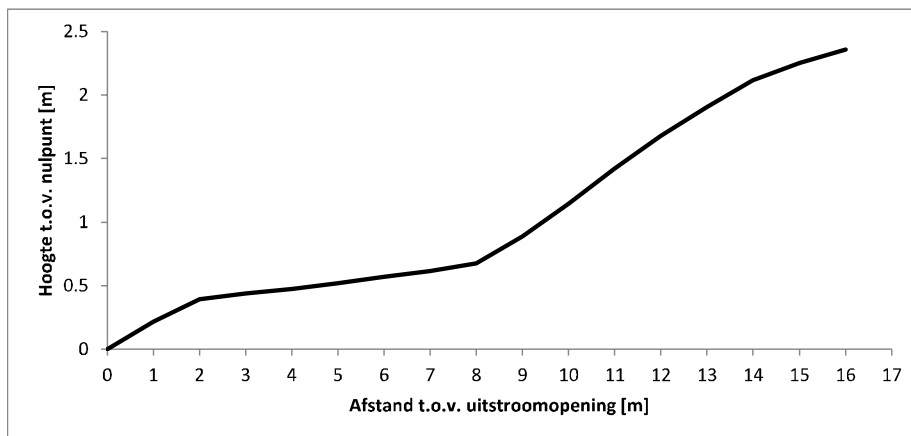
Proef: Oplnul		x = 0,0 m		Ru2% = 4,0 m		N(oplopen) = 994		Pompdebit: 110 l/s		Proefduur: 5:30 uur (= 2:07 uur storm)	
Sessie	Datum	Hz	Begin	Hz	Einde	Opmerkingen o.a. t.a.v. , kloktijden, opnames, scans, foto's, films etc	Foto's uitgebreid	Laserscan	Backup		
1	19-3-2014	52,0	11:43:00	12:43:09	Onderbreking, korte inspectie 1:00:09				X		
2	19-3-2014	52,0	12:50:00	13:49:51	Onderbreking, korte inspectie 2:00:00				X		
3	19-3-2014	52,0	13:54:00	14:55:38	Op +/- 2:20:00 slaat de één na bovenste traprede voor de kruin (buitendijks) over de kop, bij een volle bak slaat deze over de kruin. Onderbreking, korte inspectie 3:01:38				X		
4	19-3-2014	52,0	15:10:30	17:39:30	Bovenste traprede spoelt op de kruin en slaat over de kruin. <b>Einde proef 5-0 na 5:30:09</b>		X	X	X		

## B. Nulsituatie teststroken

### Nulmeting teststrook 1

Tabel B-1: Overzicht van de taludhelling op teststrook 1

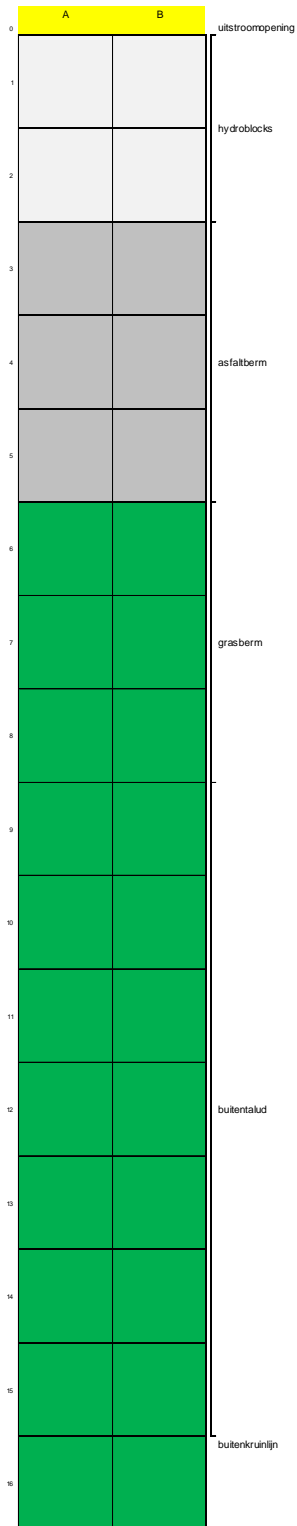
Vak	Van [m]	Tot [m]	Gemiddelde helling per vak	Opmerking
1	0	1	1:4,6	Hydroblocks
2	1	2	1:5,8	Hydroblocks
3	2	3	1:21,3	verharde berm
4	3	4	1:27,0	verharde berm
5	4	5	1:23,3	verharde berm
6	5	6	1:18,5	grasberm
7	6	7	1:23,3	grasberm
8	7	8	1:16,7	grasberm/grastalud
9	8	9	1:4,7	grastalud
10	9	10	1:3,9	grastalud
11	10	11	1:3,6	grastalud
12	11	12	1:3,9	grastalud
13	12	13	1:4,4	grastalud
14	13	14	1:4,7	grastalud
15	14	15	1:7,4	grastalud
16	15	16	1:9,6	kruin



Figuur B-1: Een dwarsprofiel van teststrook 1

---

FACTUAL REPORT: GOLFOPLOOPPROEVEN NOORD-BEVELAND

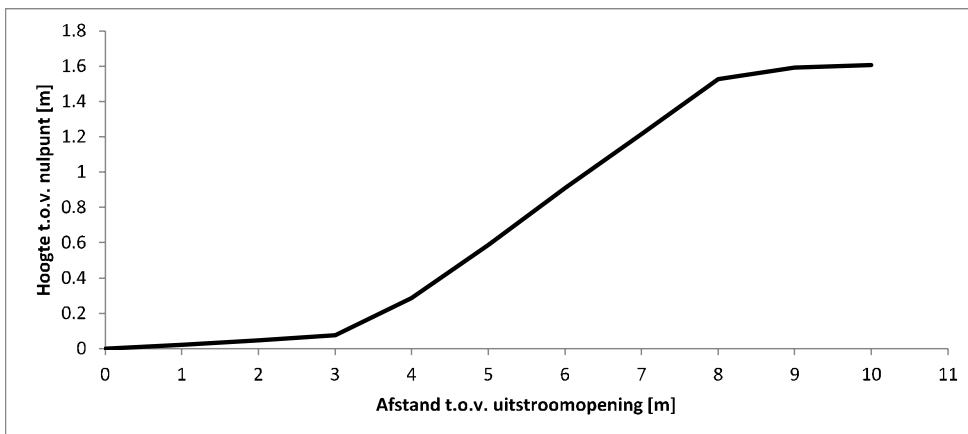


Figuur B-2: Overzicht van teststrook 1

Nulmeting teststrook 2

Tabel B-2: Overzicht van de taludhelling op teststrook 2

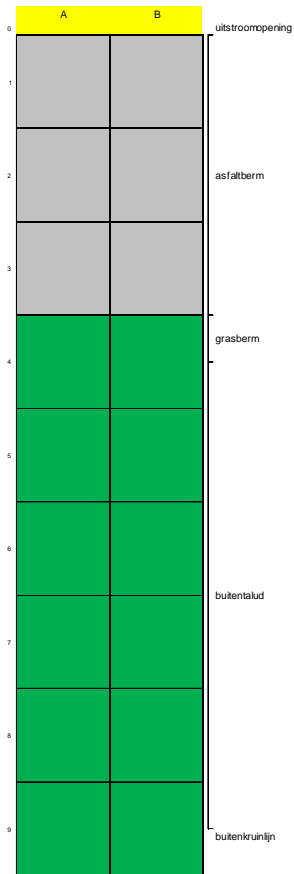
Vak	Van [m]	Tot [m]	Gemiddelde helling per vak	Opmerking
1	0	1	1:47,6	verharde berm
2	1	2	1:41,7	verharde berm
3	2	3	1:32,3	verharde berm/ grasberm
4	3	4	1:4,8	grasberm/grastalud
5	4	5	1:3,3	grastalud
6	5	6	1:3,1	grastalud
7	6	7	1:3,3	grastalud
8	7	8	1:3,2	grastalud
9	8	9	1:15,4	kruin
10	9	10	1:71,4	grastalud



Figuur B-3: Een dwarsprofiel van teststrook 2

---

FACTUAL REPORT: GOLFOPLOOPPROEVEN NOORD-BEVELAND

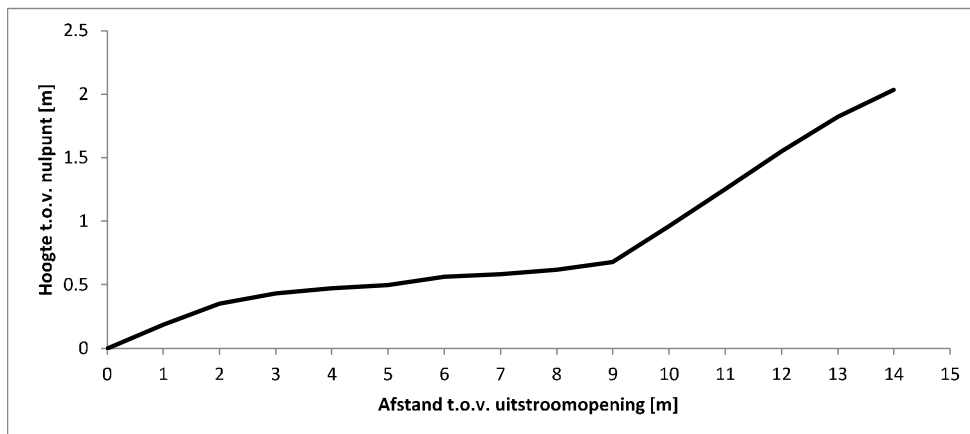


Figuur B-4: Overzicht van teststrook 2

Nulmeting teststrook 3

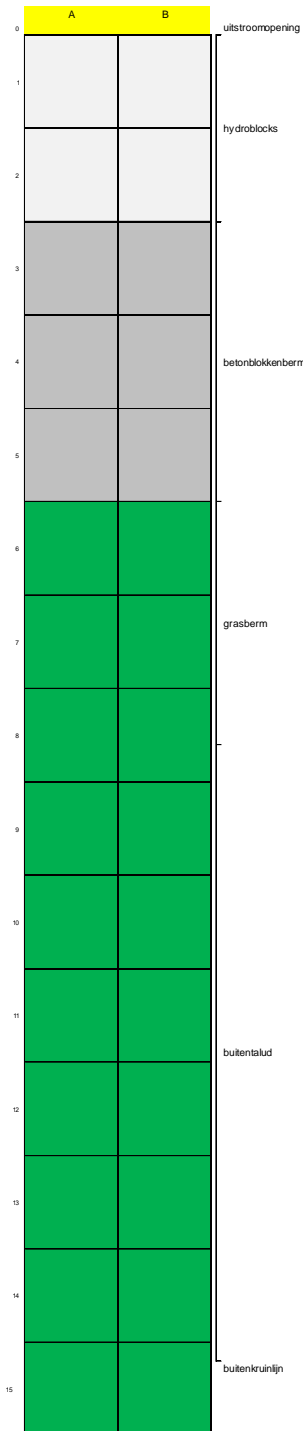
Tabel B-3: Overzicht van de taludhelling op teststrook 3

Vak	Van [m]	Tot [m]	Gemiddelde helling per vak	Opmerking
1	0	1	1:5,4	Hydroblocks
2	1	2	1:6,0	Hydroblocks
3	2	3	1:12,7	verharde berm
4	3	4	1:23,3	verharde berm
5	4	5	1:40,0	verharde berm
6	5	6	1:15,4	grasberm
7	6	7	1:50,0	grasberm
8	7	8	1:30,3	grasberm
9	8	9	1:16,9	grasberm/grastalud
10	9	10	1:3,5	grastalud
11	10	11	1:3,4	grastalud
12	11	12	1:3,4	grastalud
13	12	13	1:3,7	grastalud
14	13	14	1:4,7	grastalud
15	14	15	-	kruin



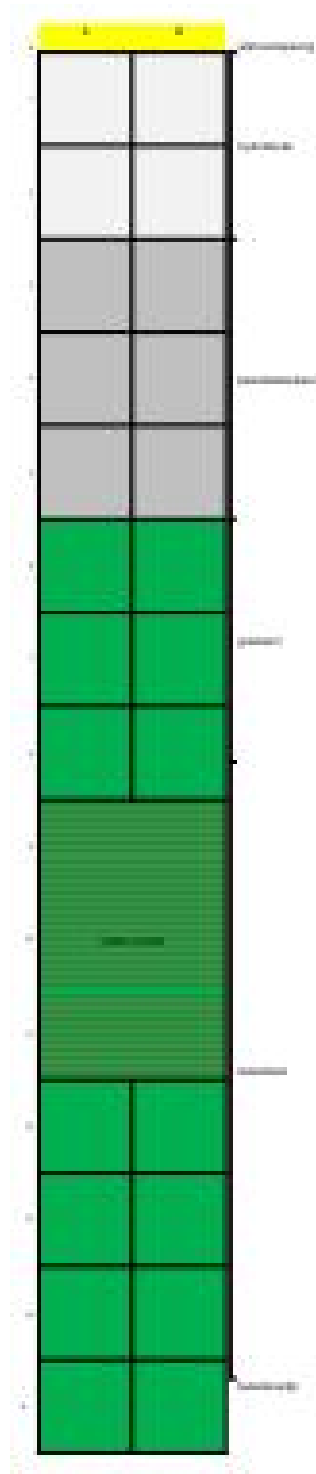
Figuur B-5: Een dwarsprofiel van teststrook 3

FACTUAL REPORT: GOLFOPLOOPPROEVEN NOORD-BEVELAND



Figuur B-6: Overzicht van teststrook 3

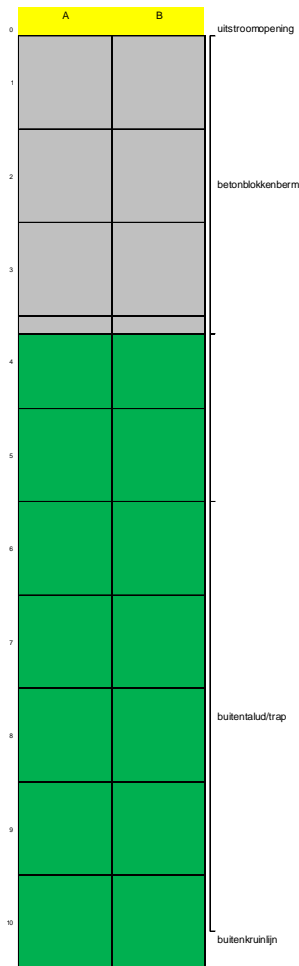
Teststrook 4



Figuur B-7: Overzicht van teststrook 4



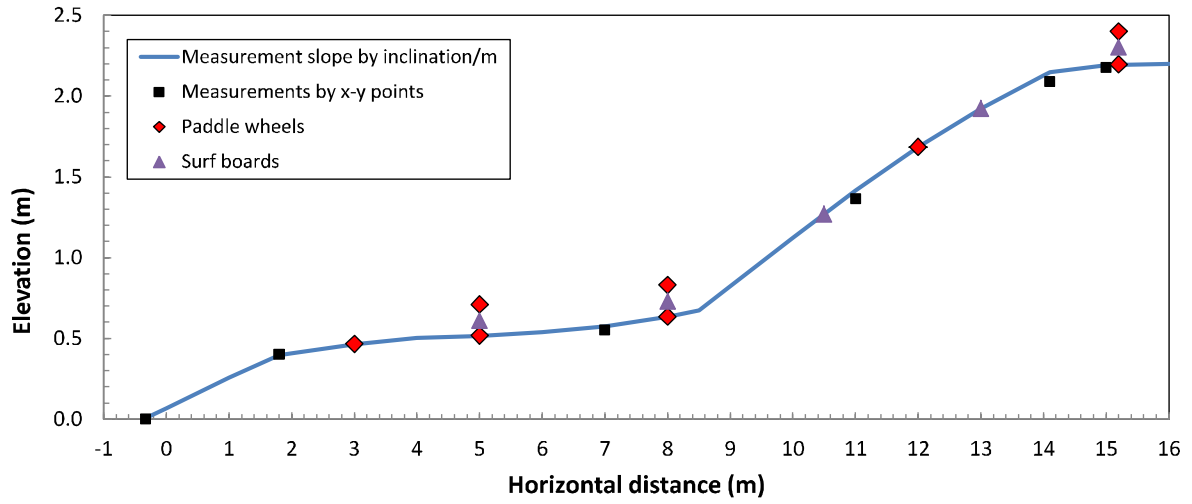
Teststrook 5



Figuur B-8: Overzicht van teststrook 5

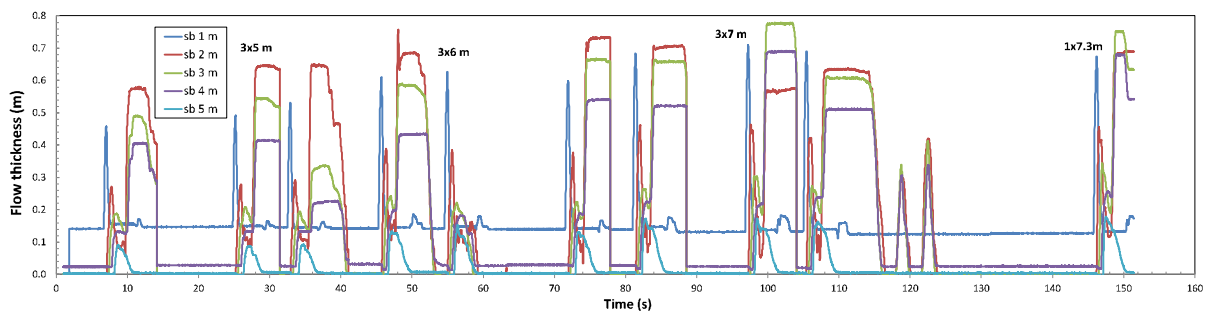
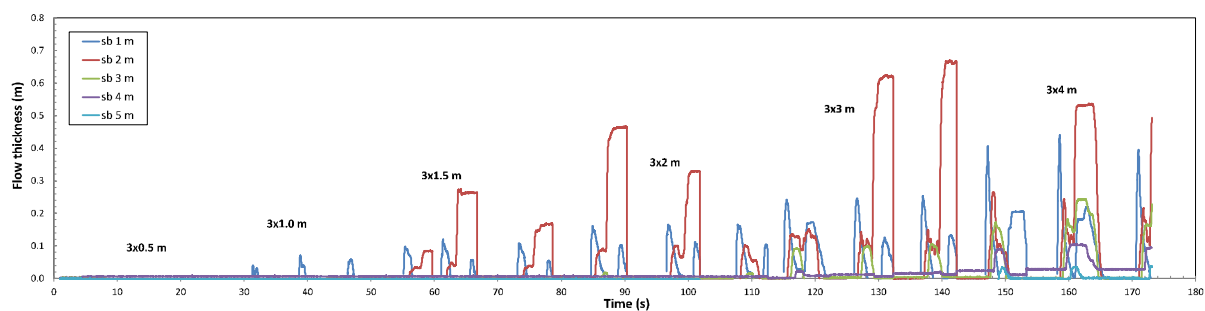


FACTUAL REPORT: GOLFOPLOOPPROEVEN NOORD-BEVELAND

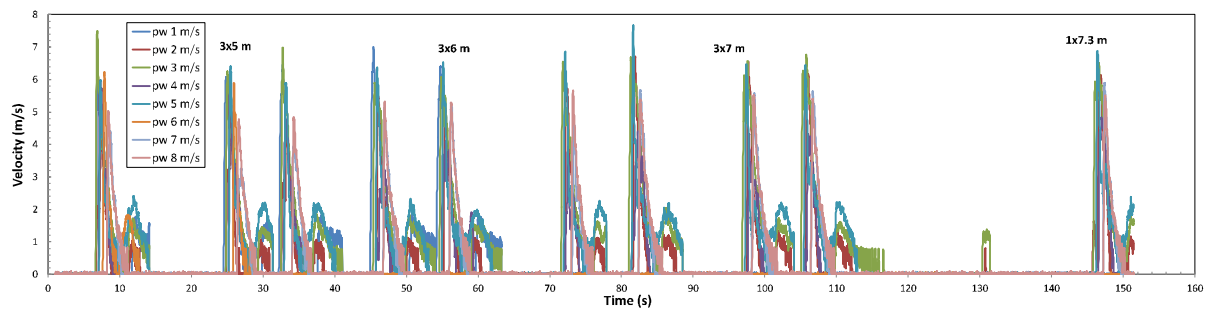
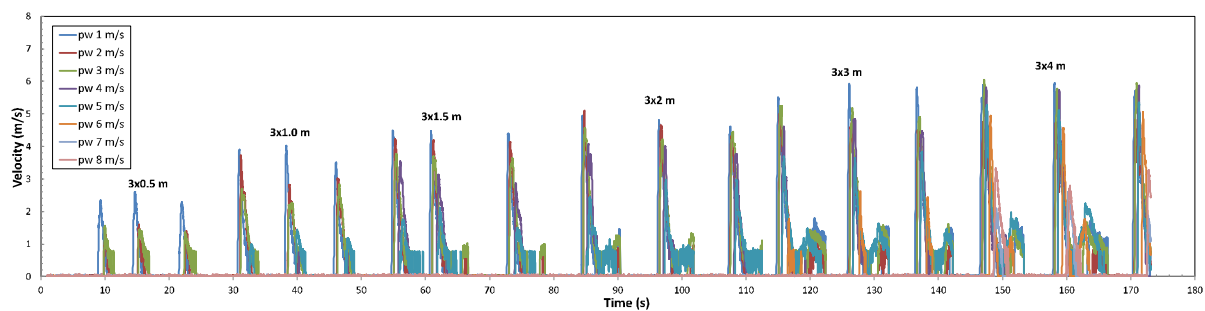


## D. Metingen teststrook HM

### Laagdikte



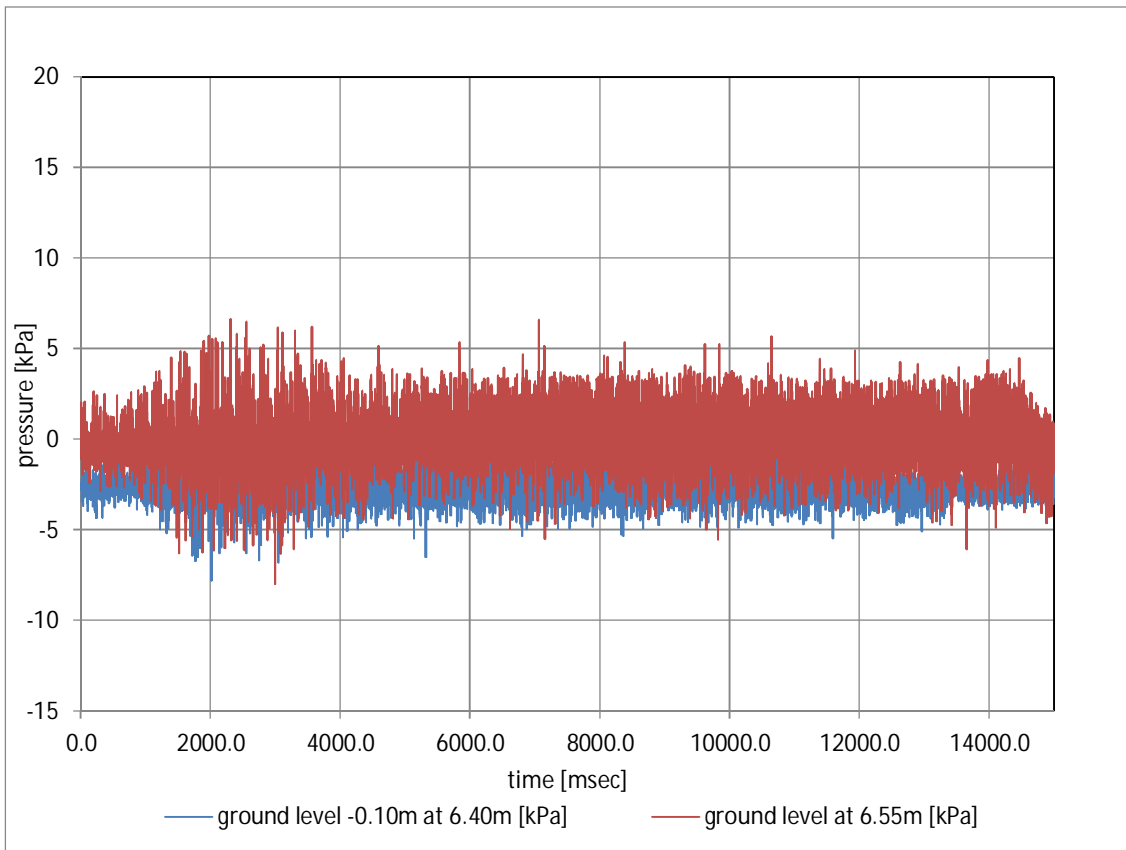
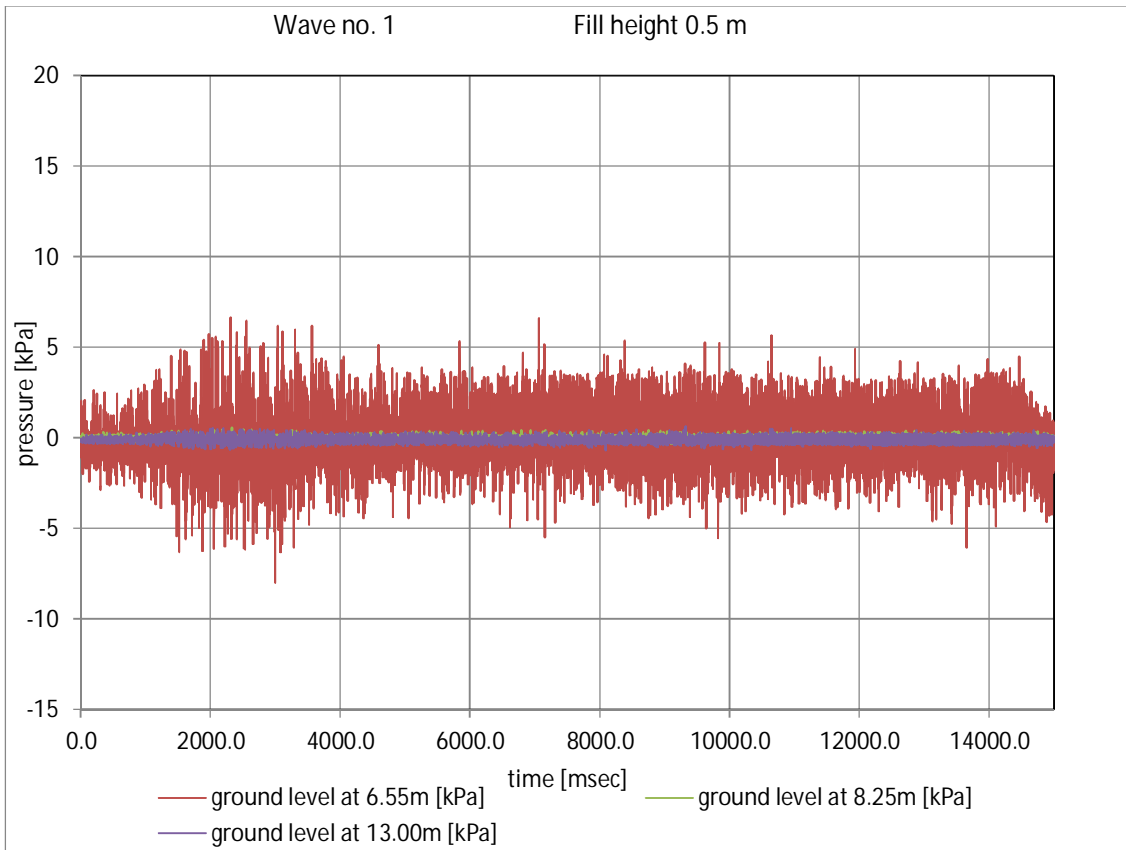
### Snelheid

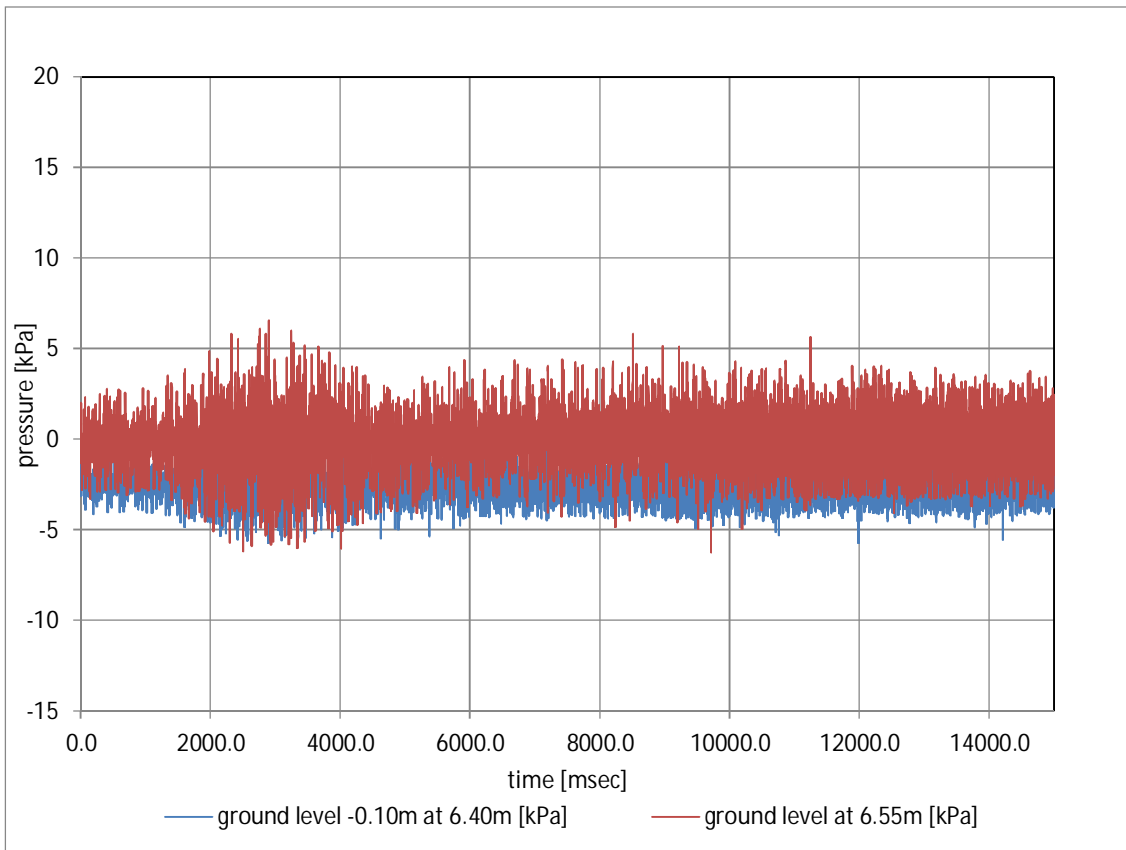
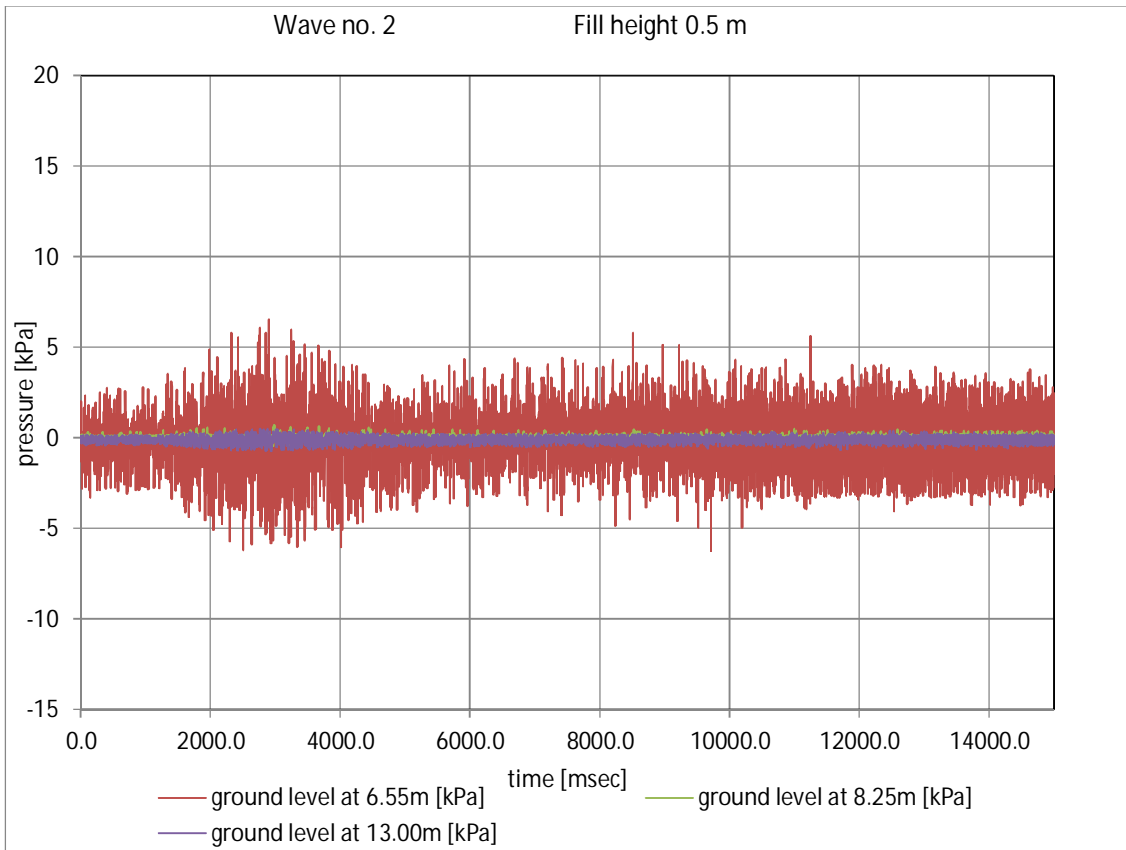


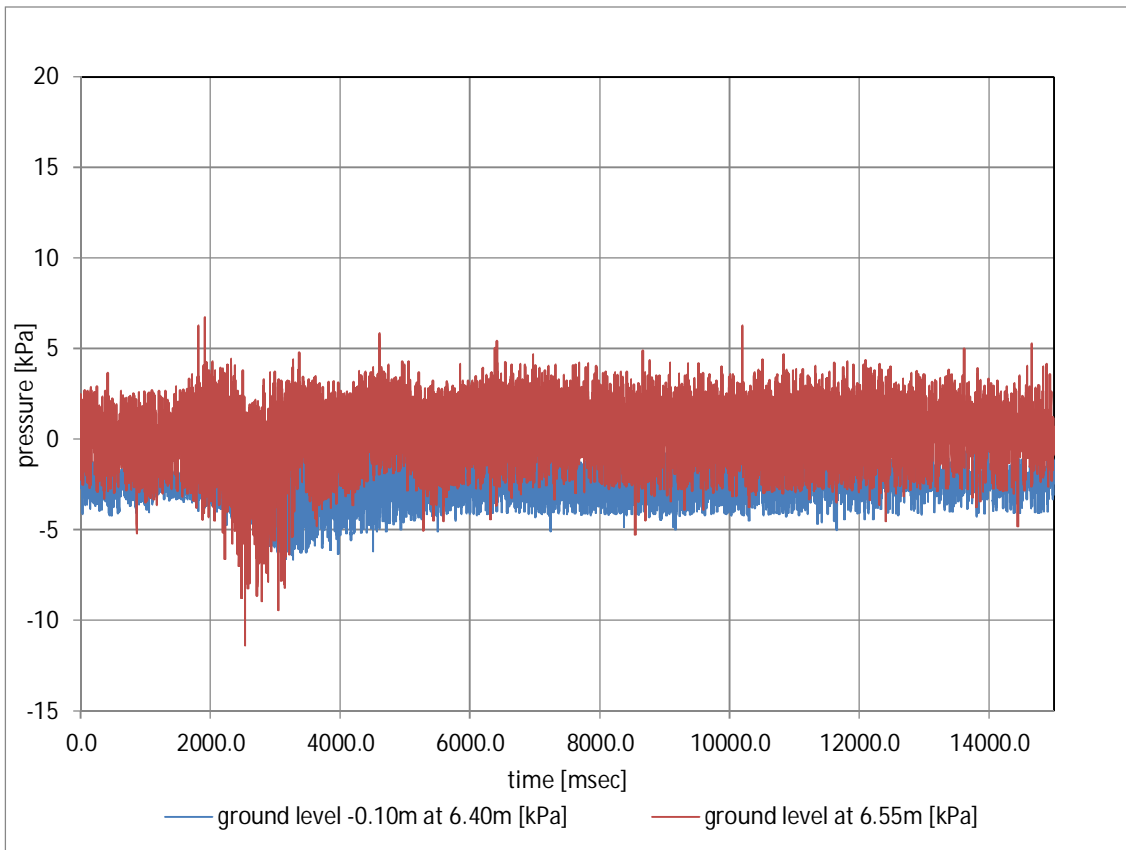
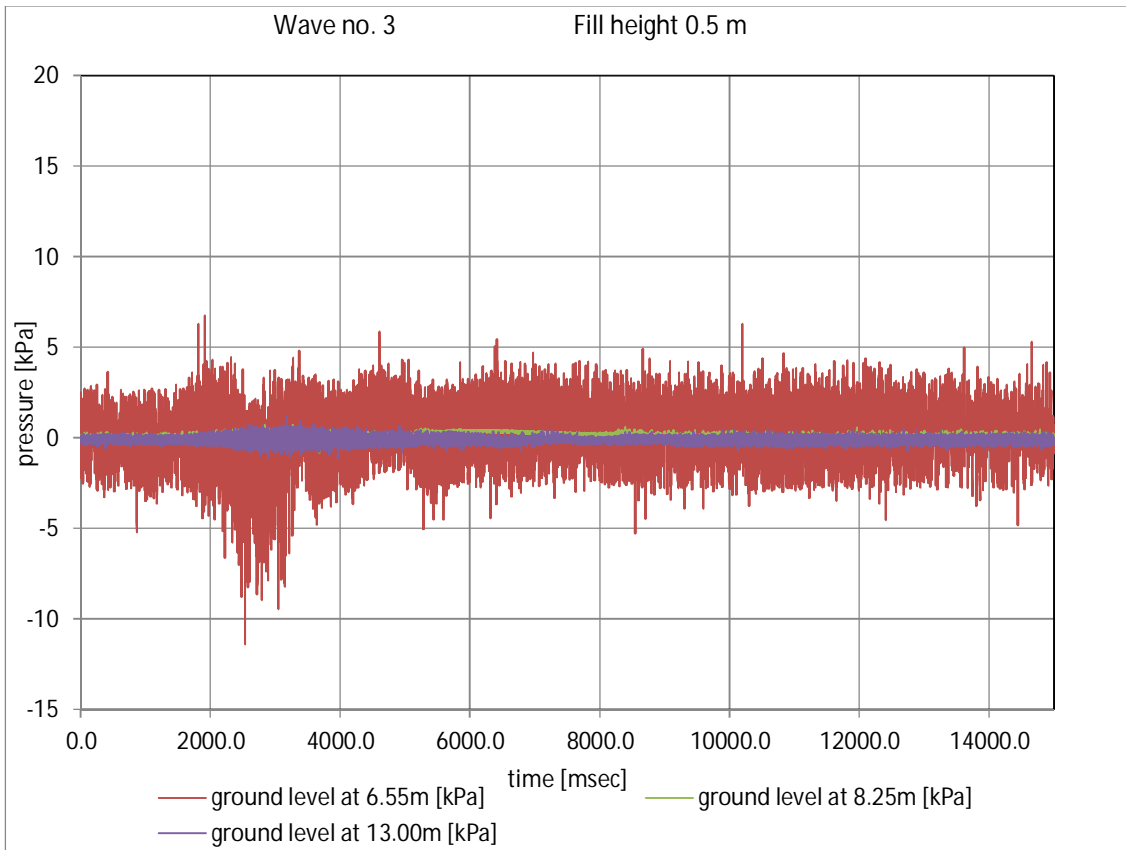
---

**FACTUAL REPORT: GOLFOPLOOPPROEVEN NOORD-BEVELAND**

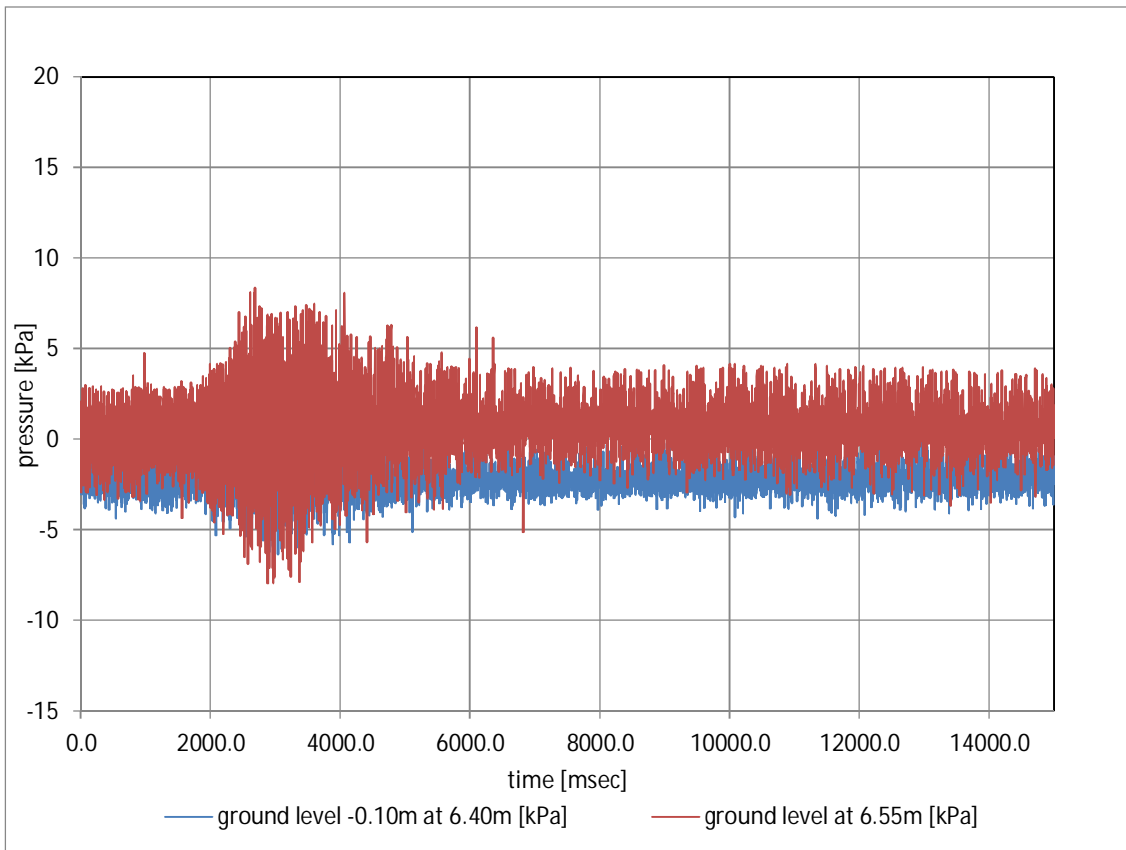
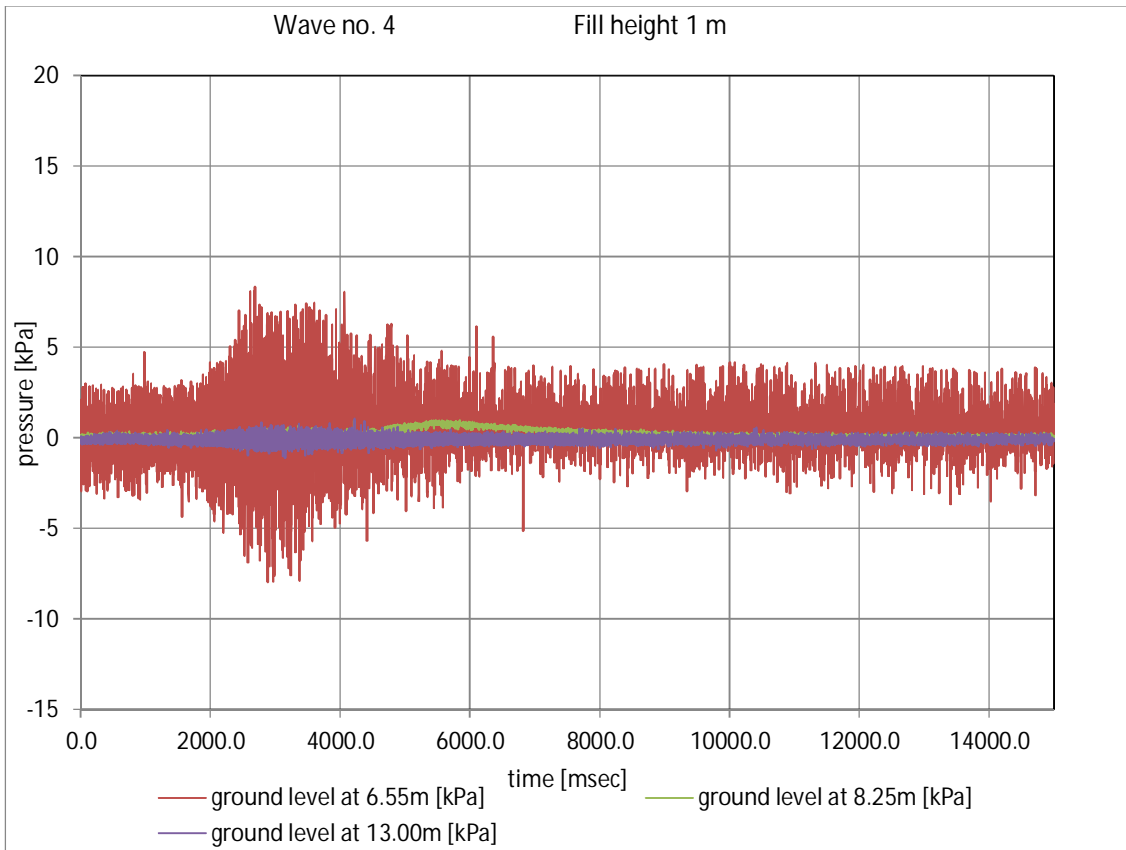
Waterdruk

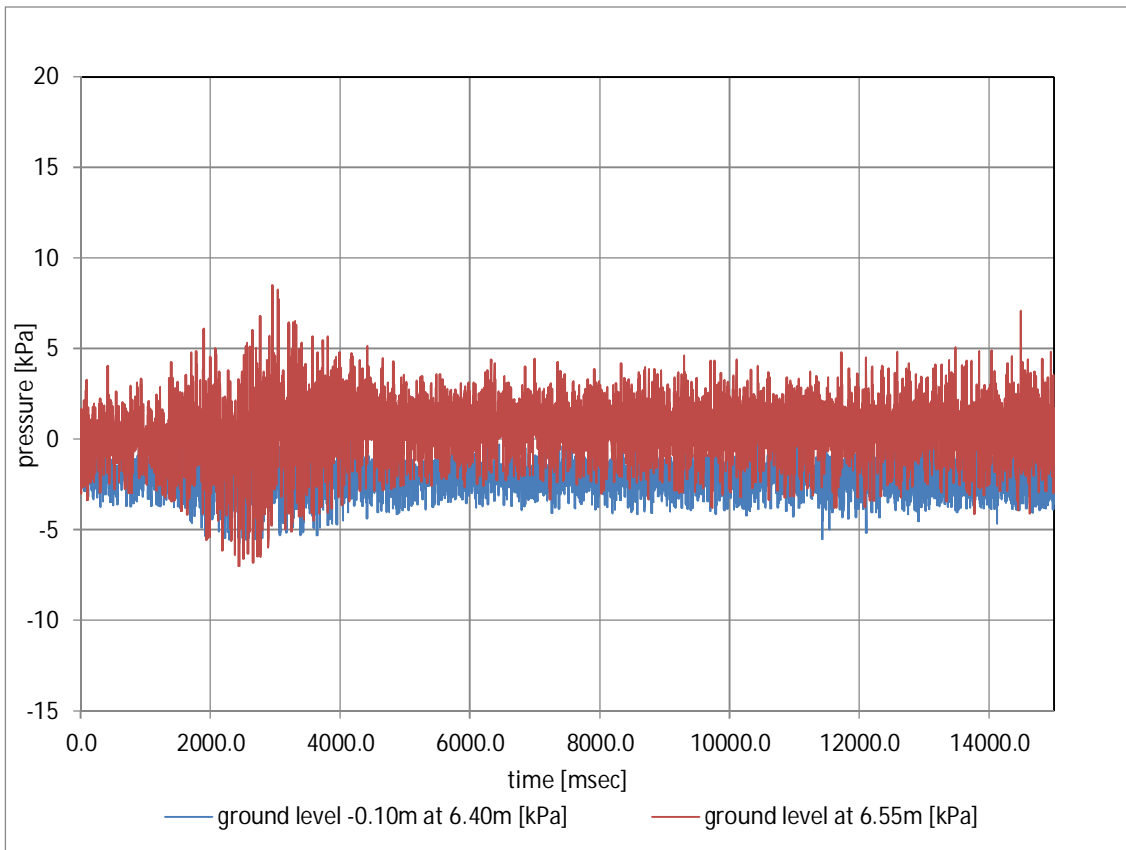
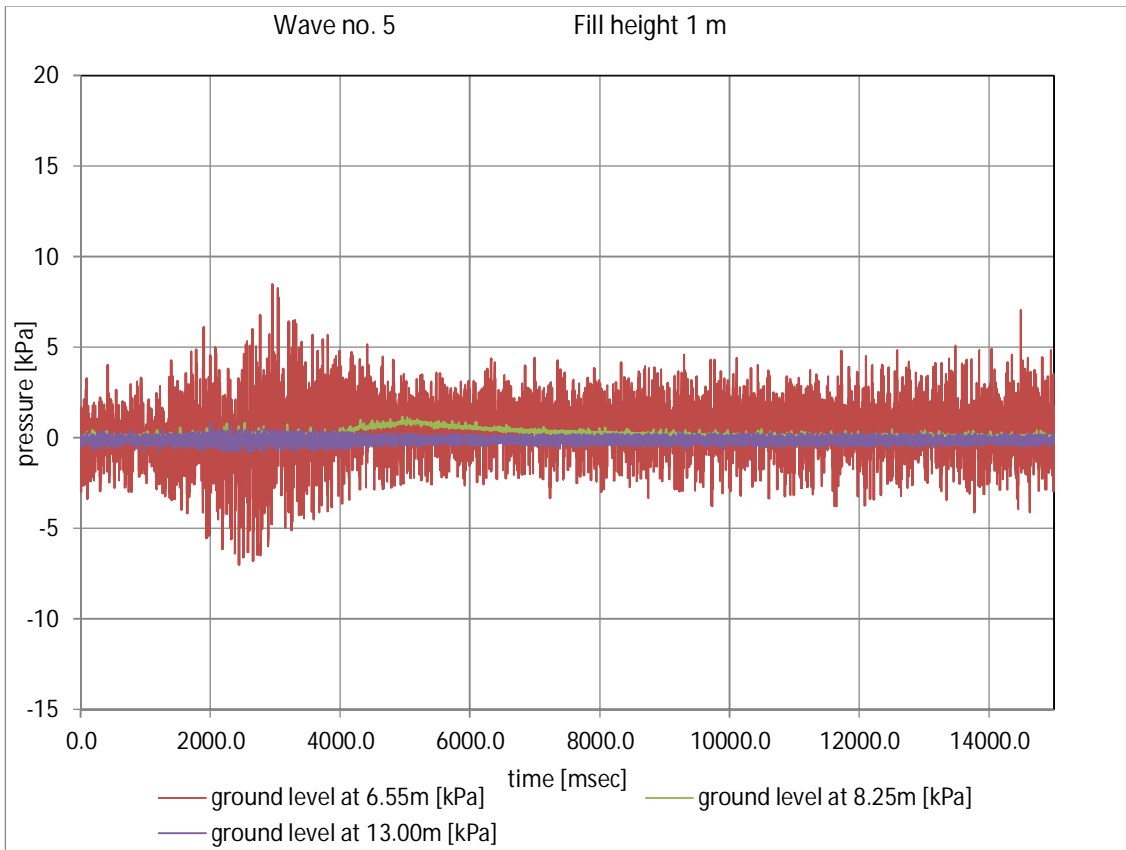


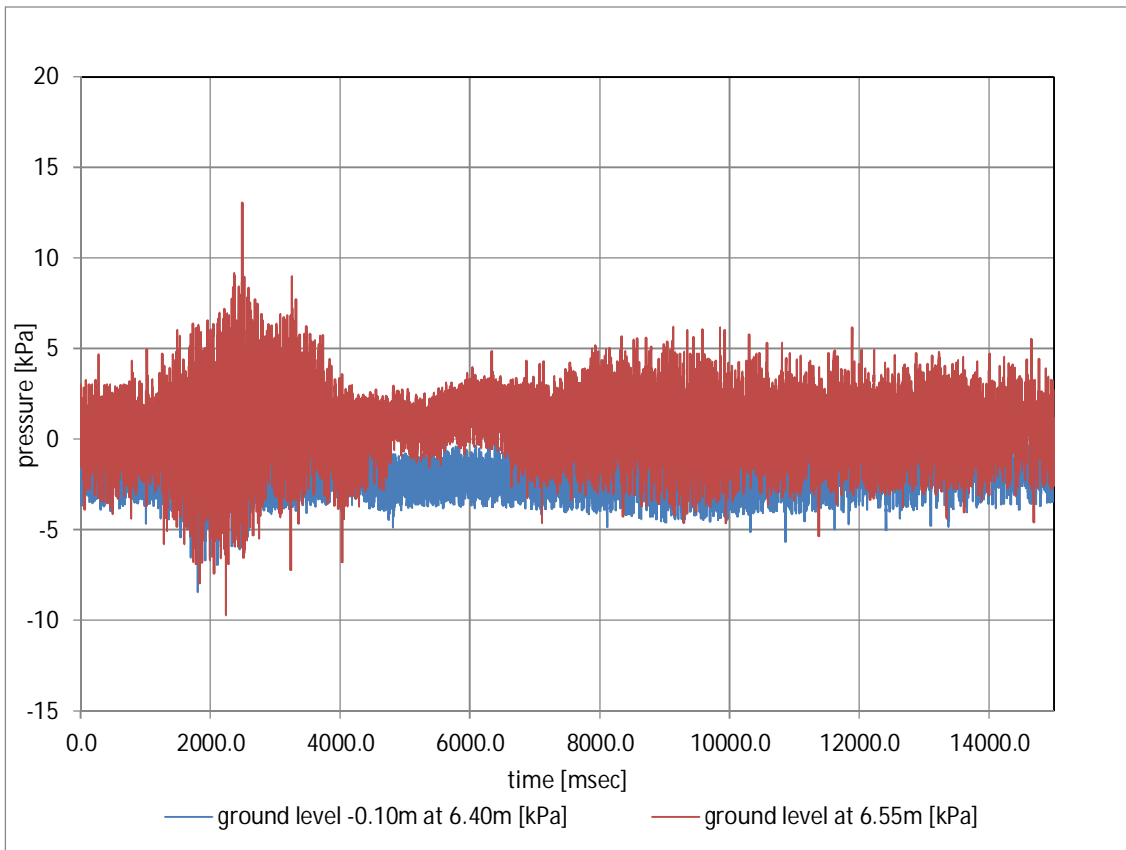
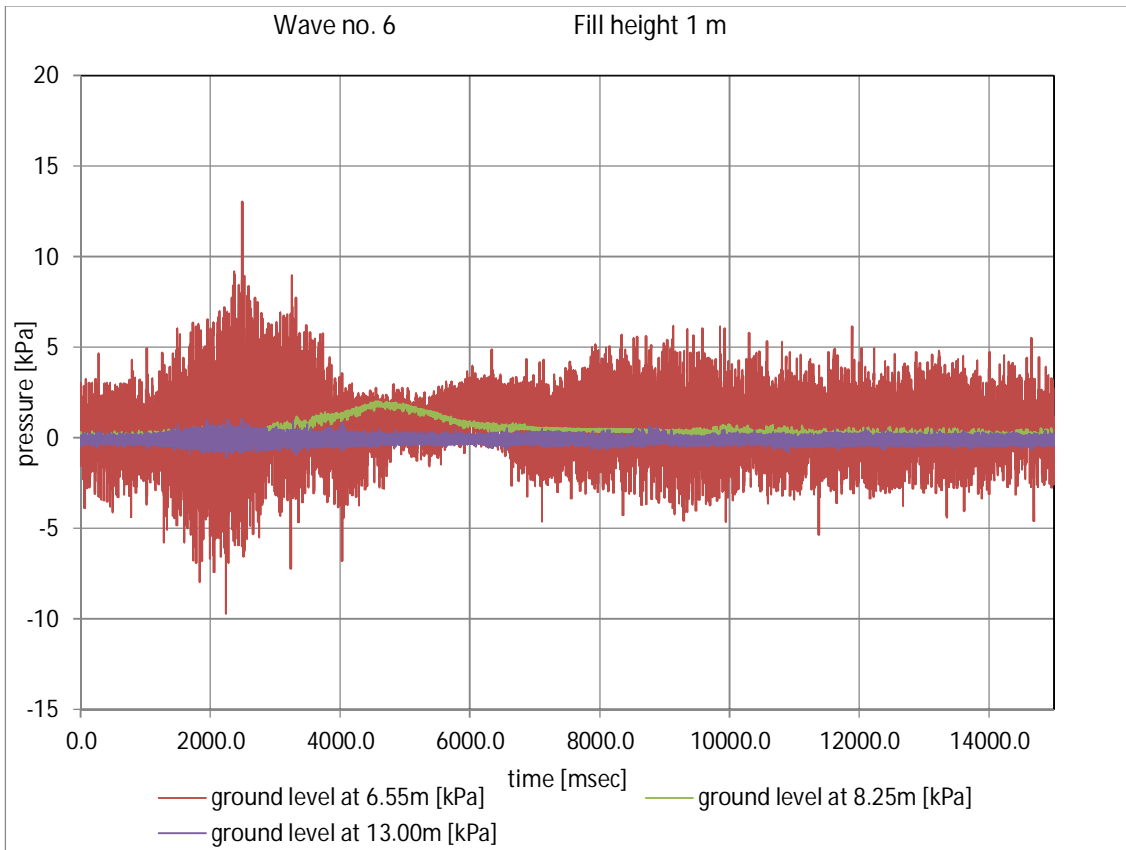


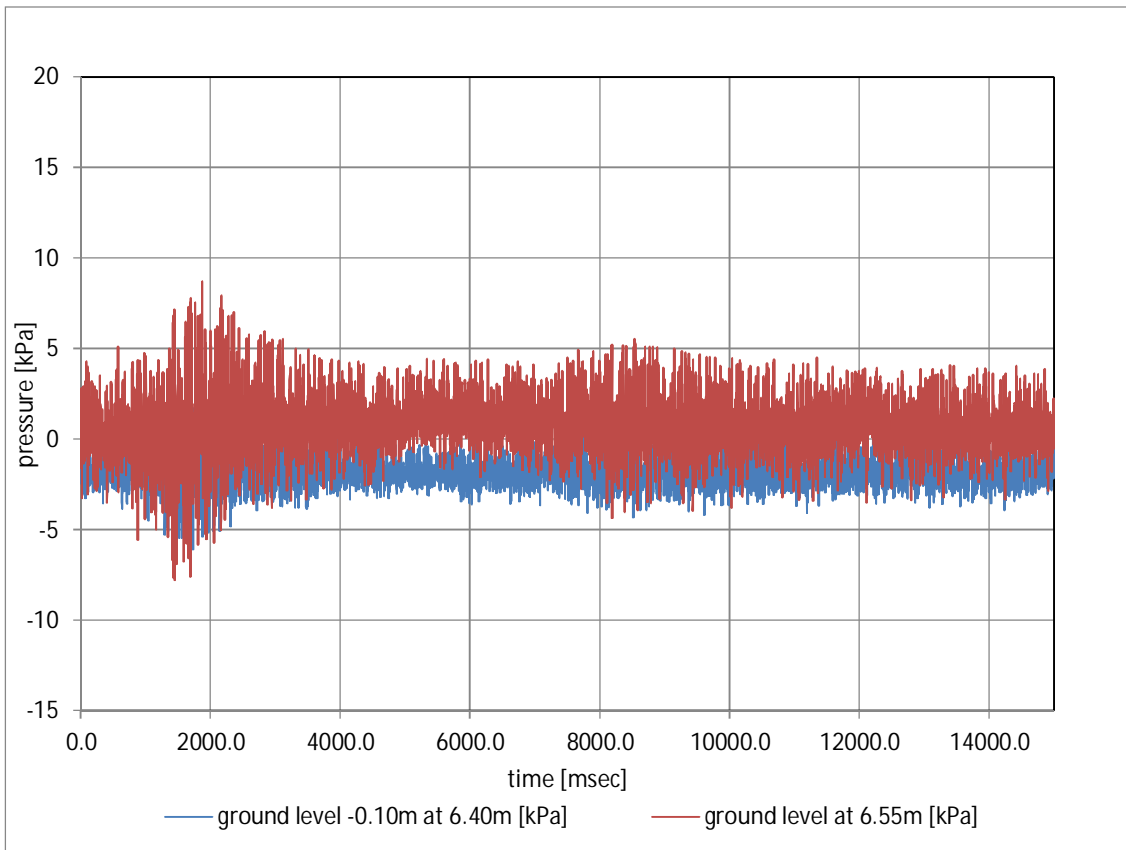
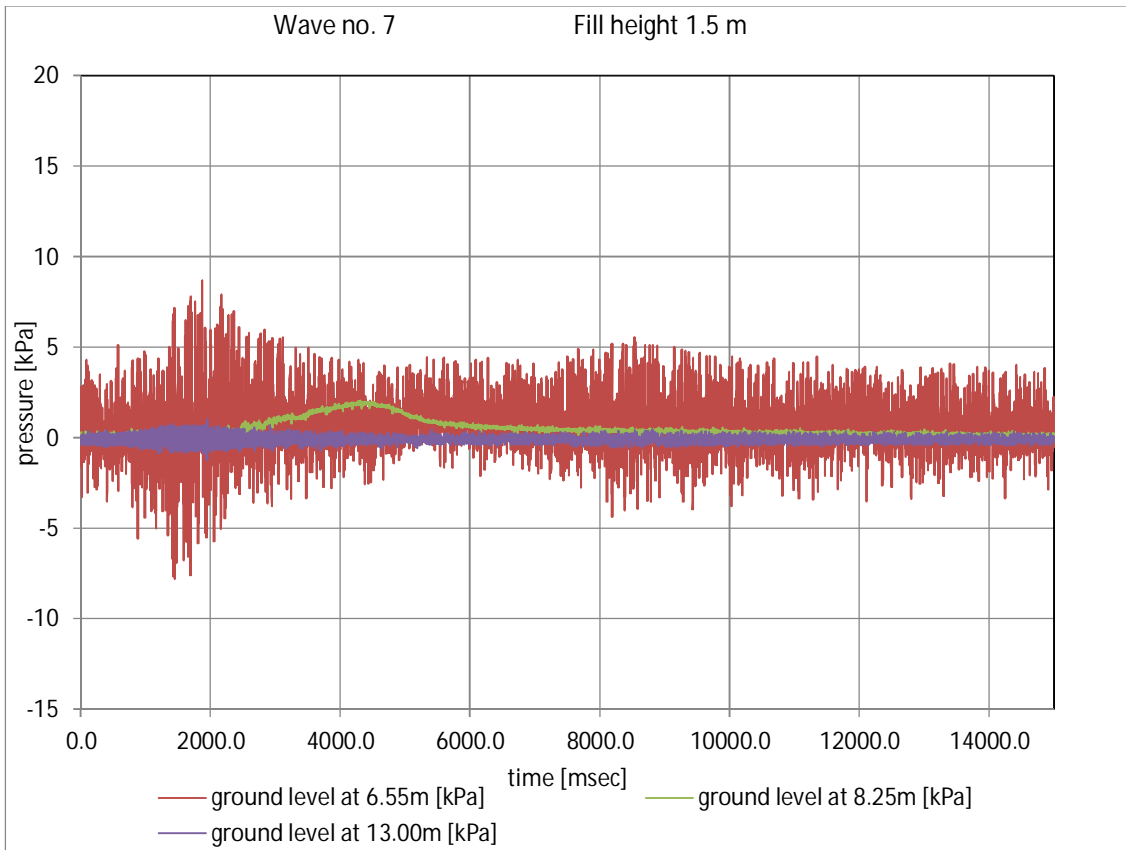


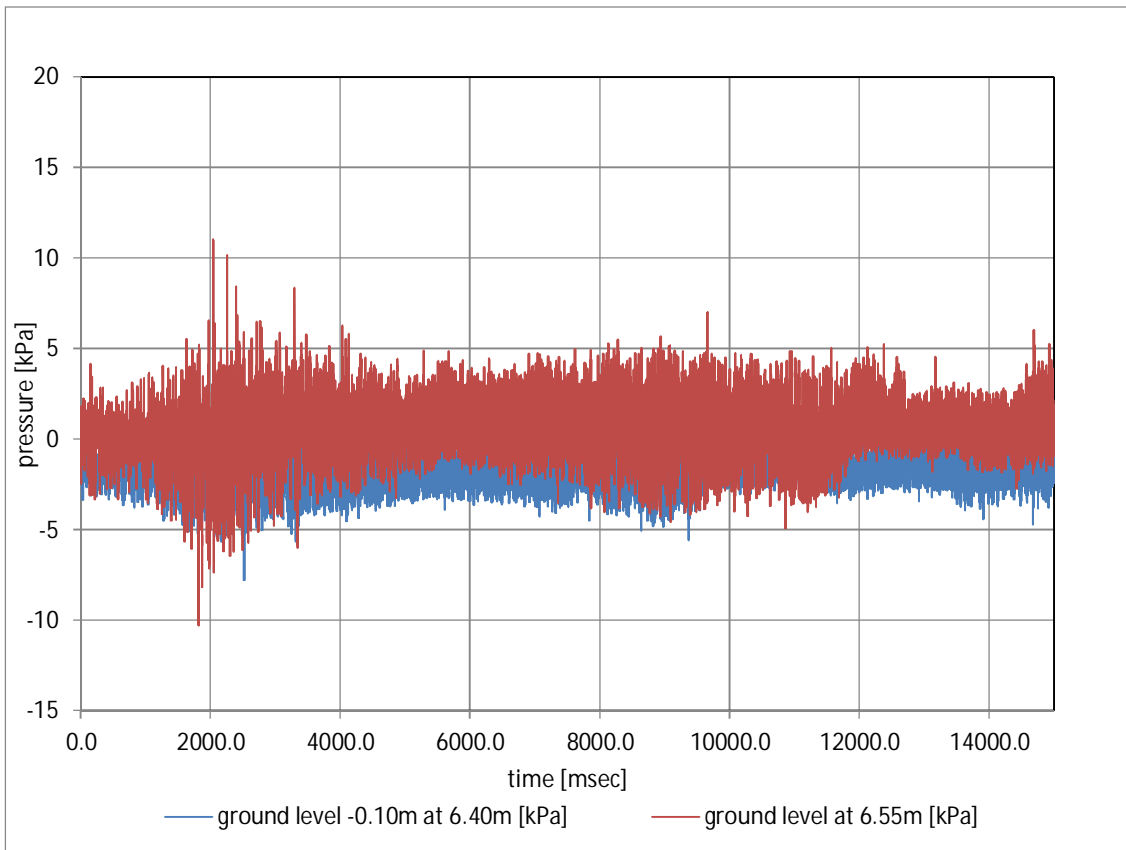
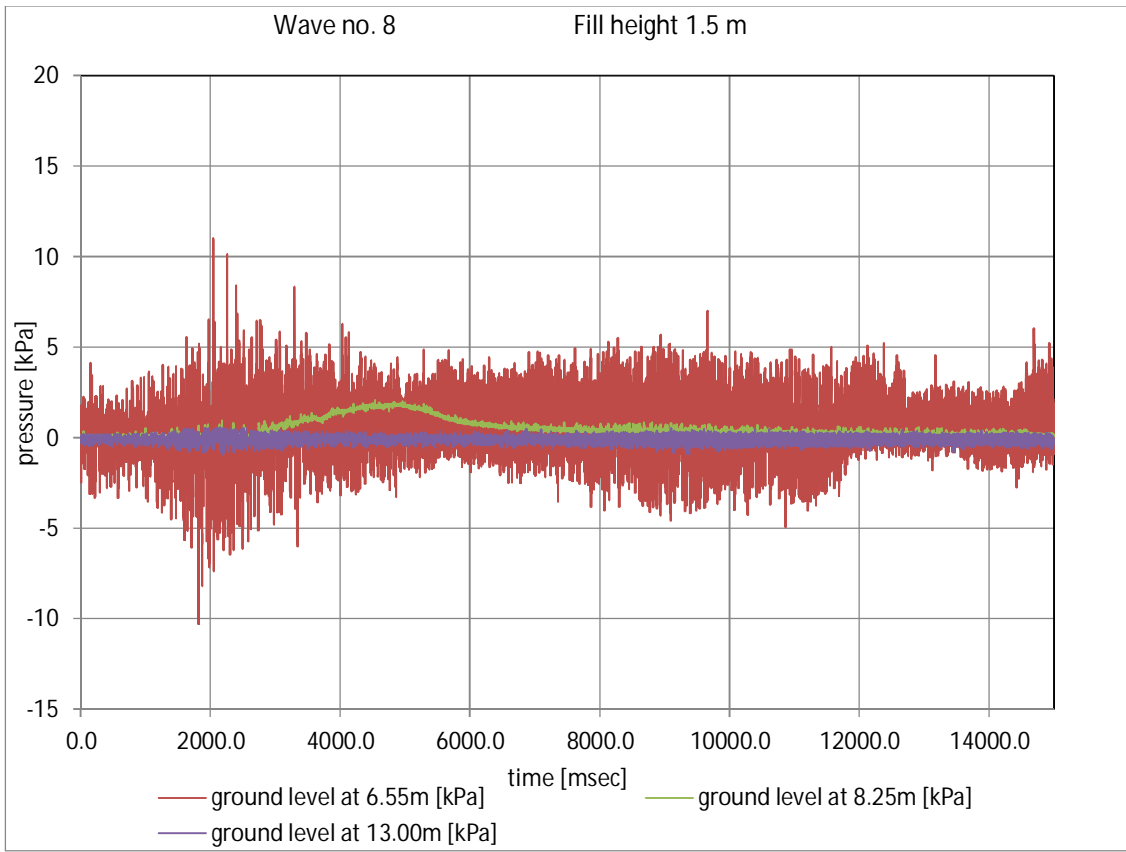


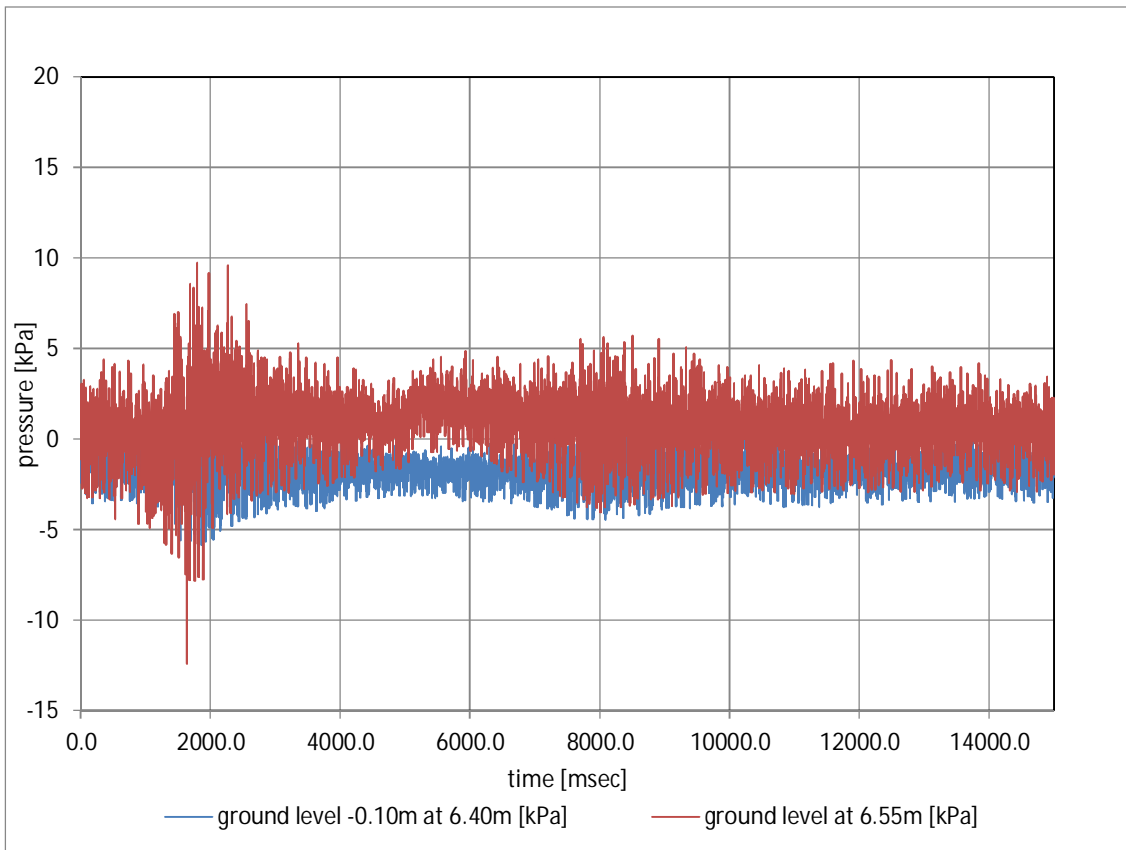
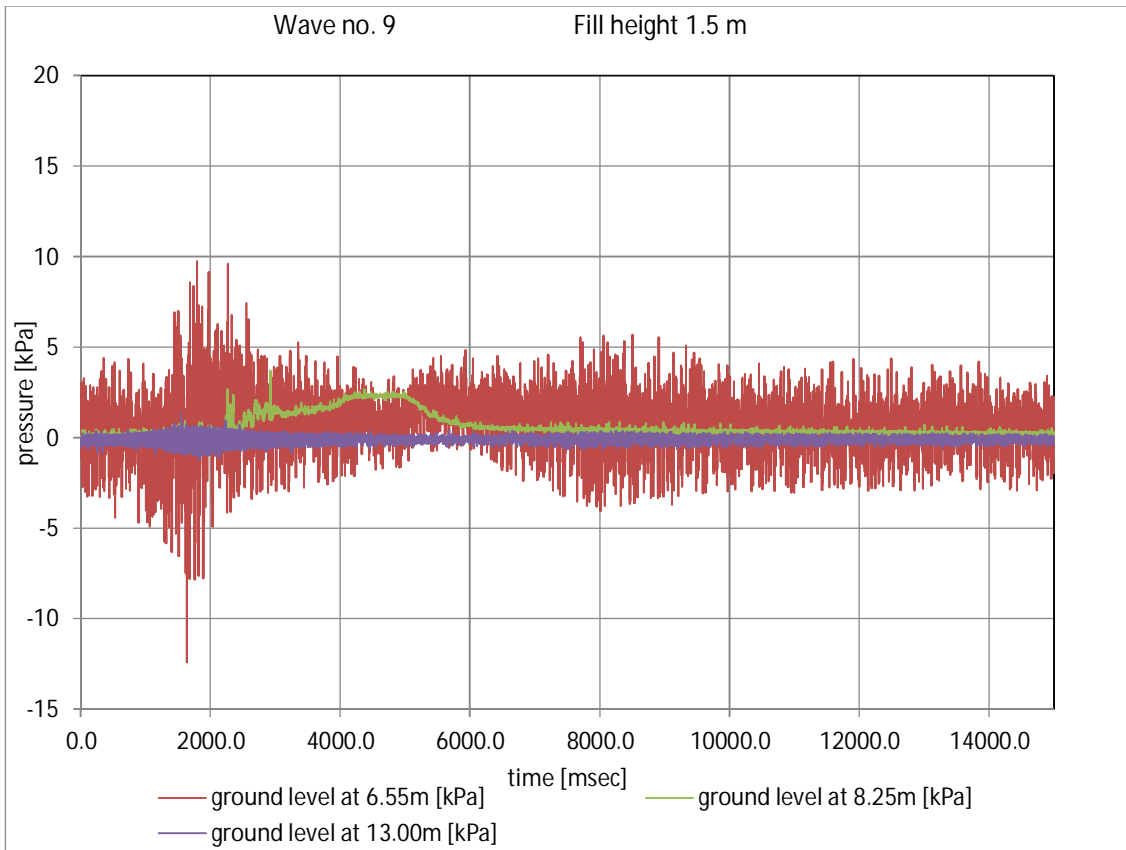


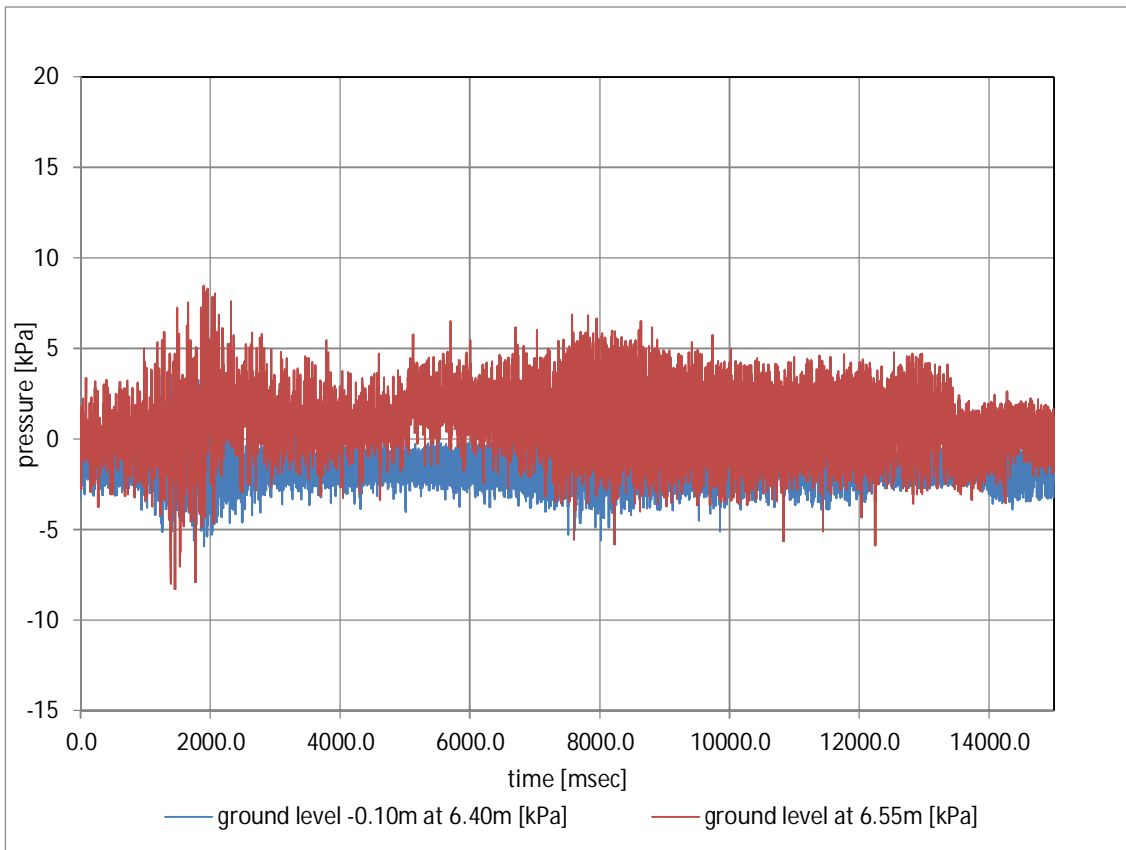
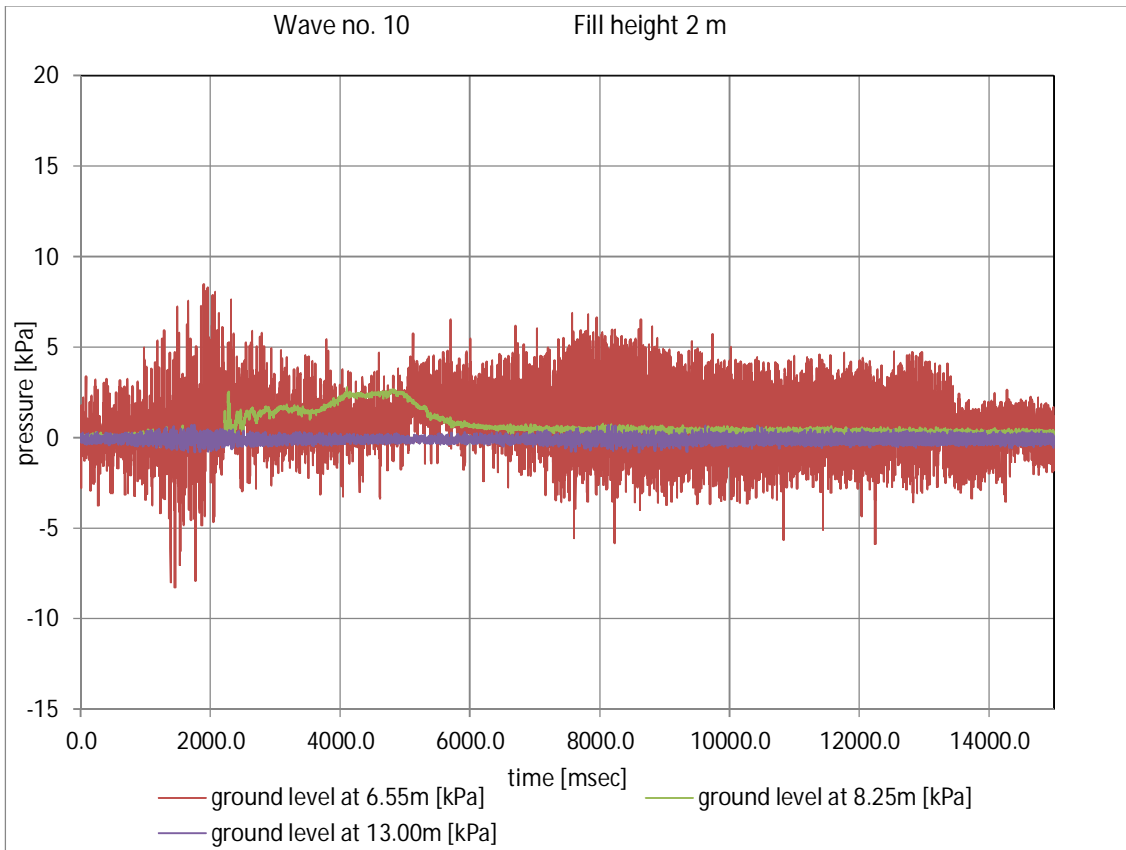


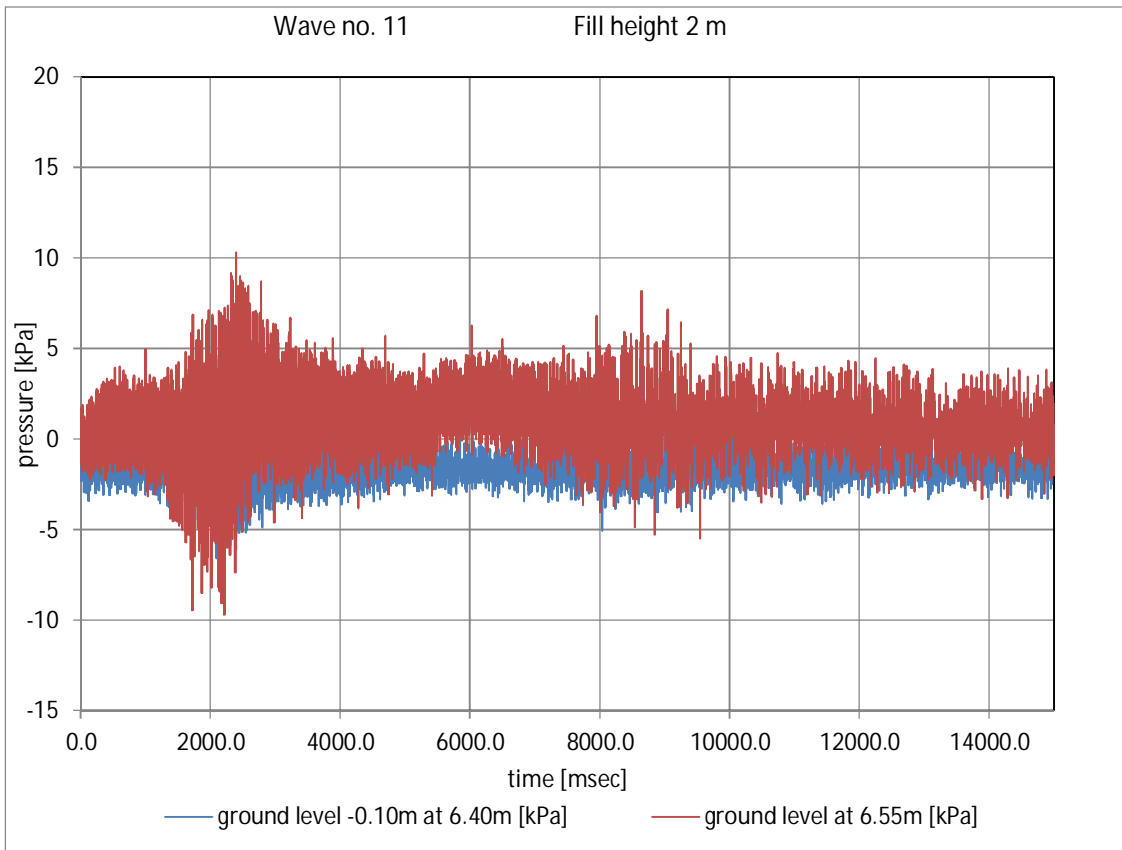
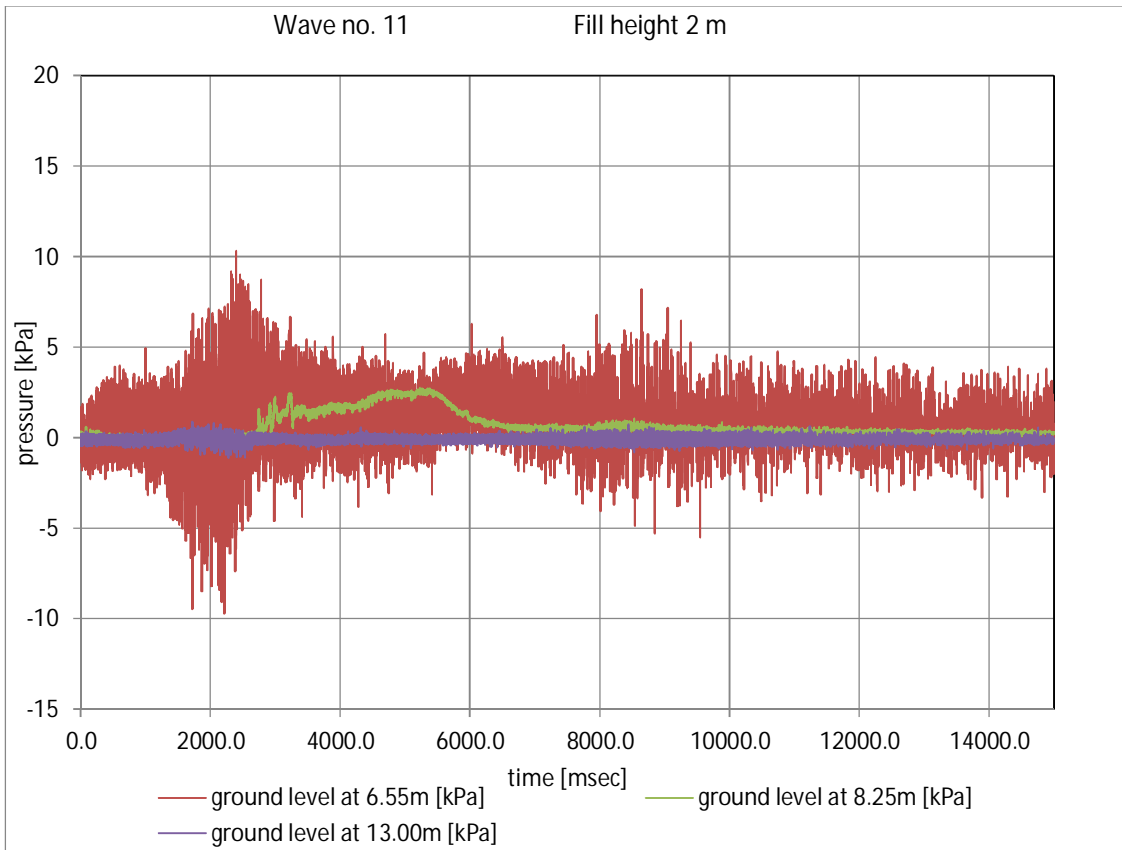




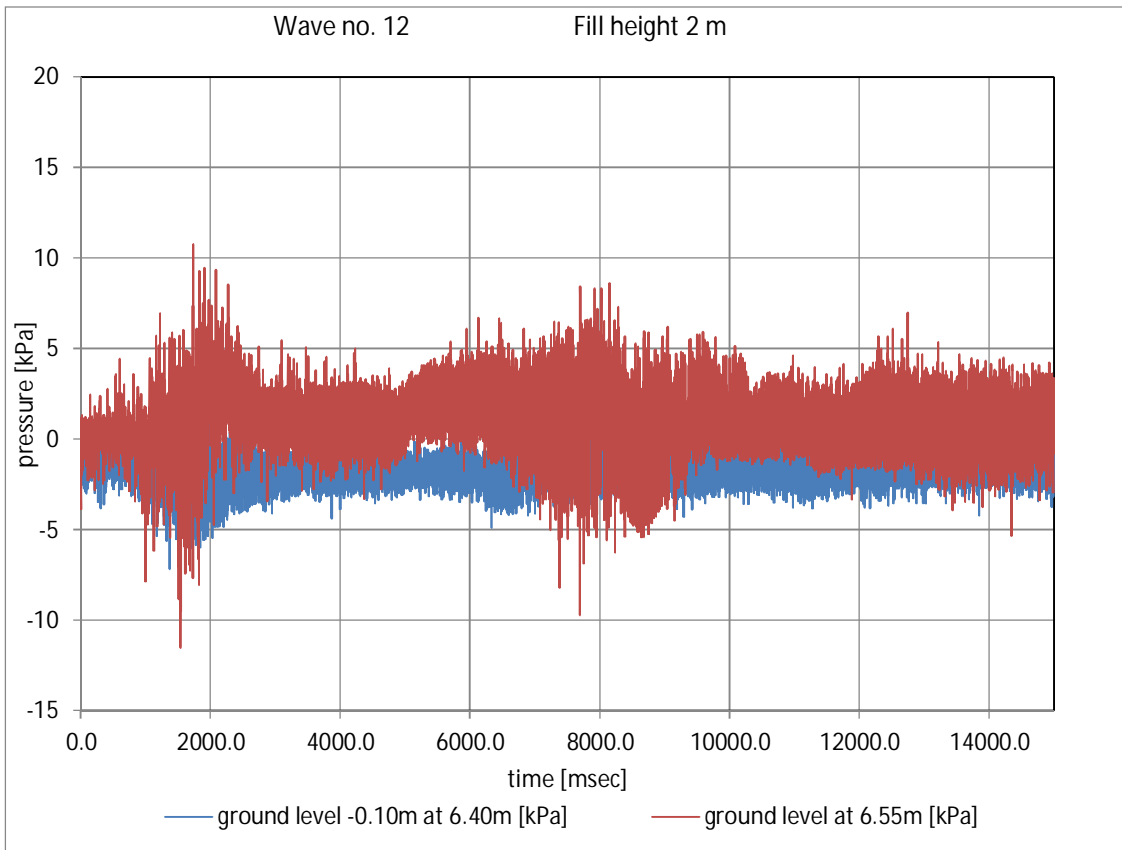
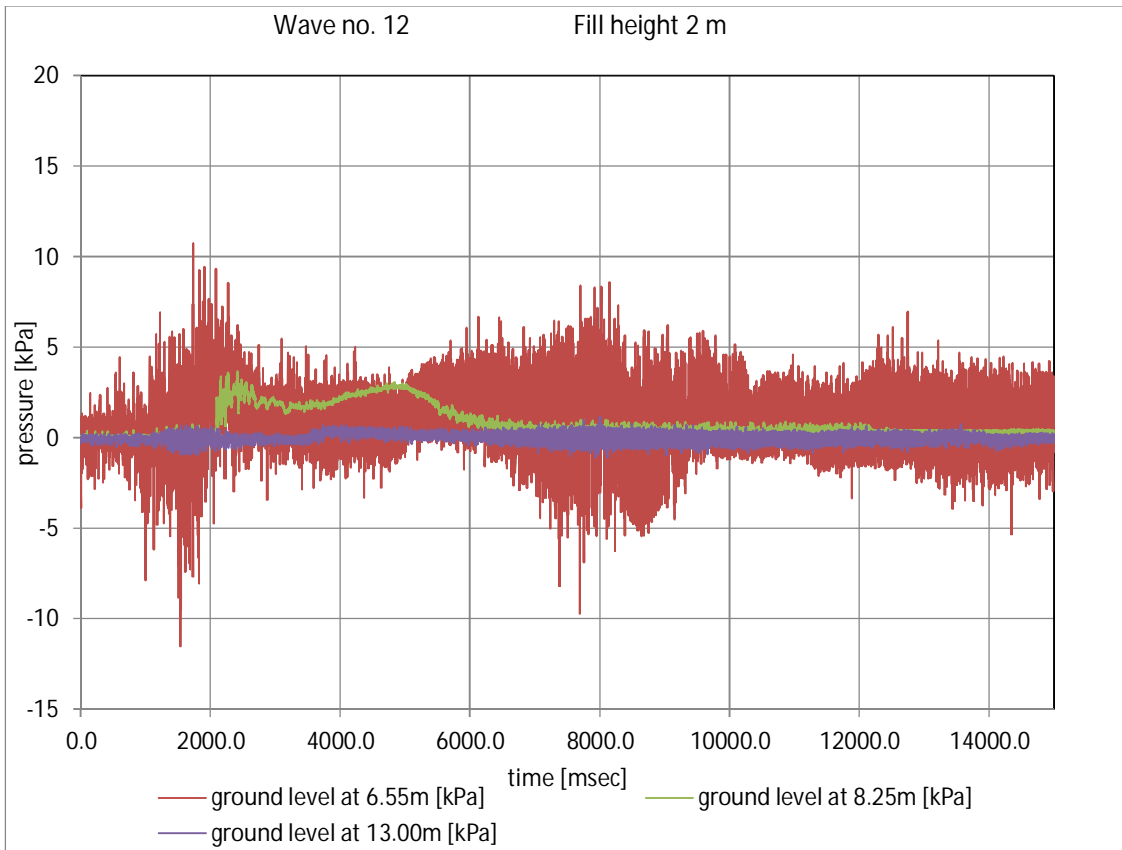


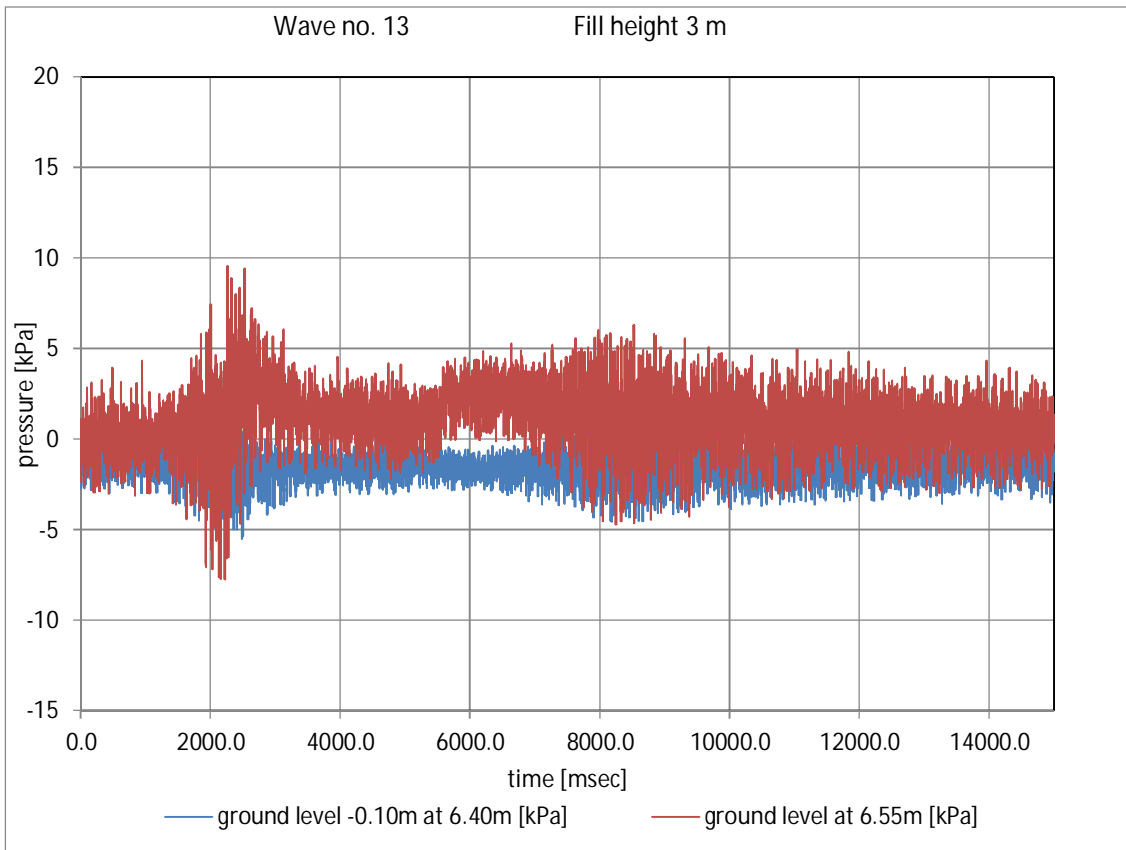
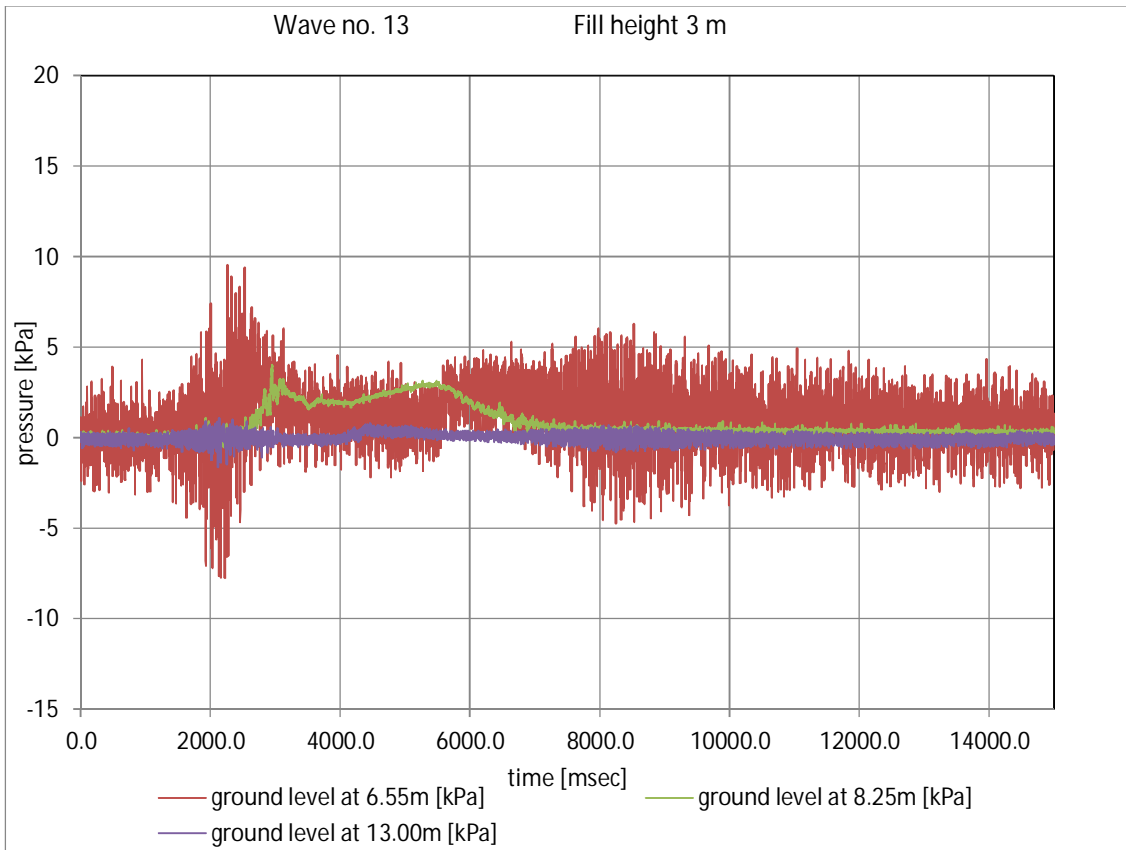


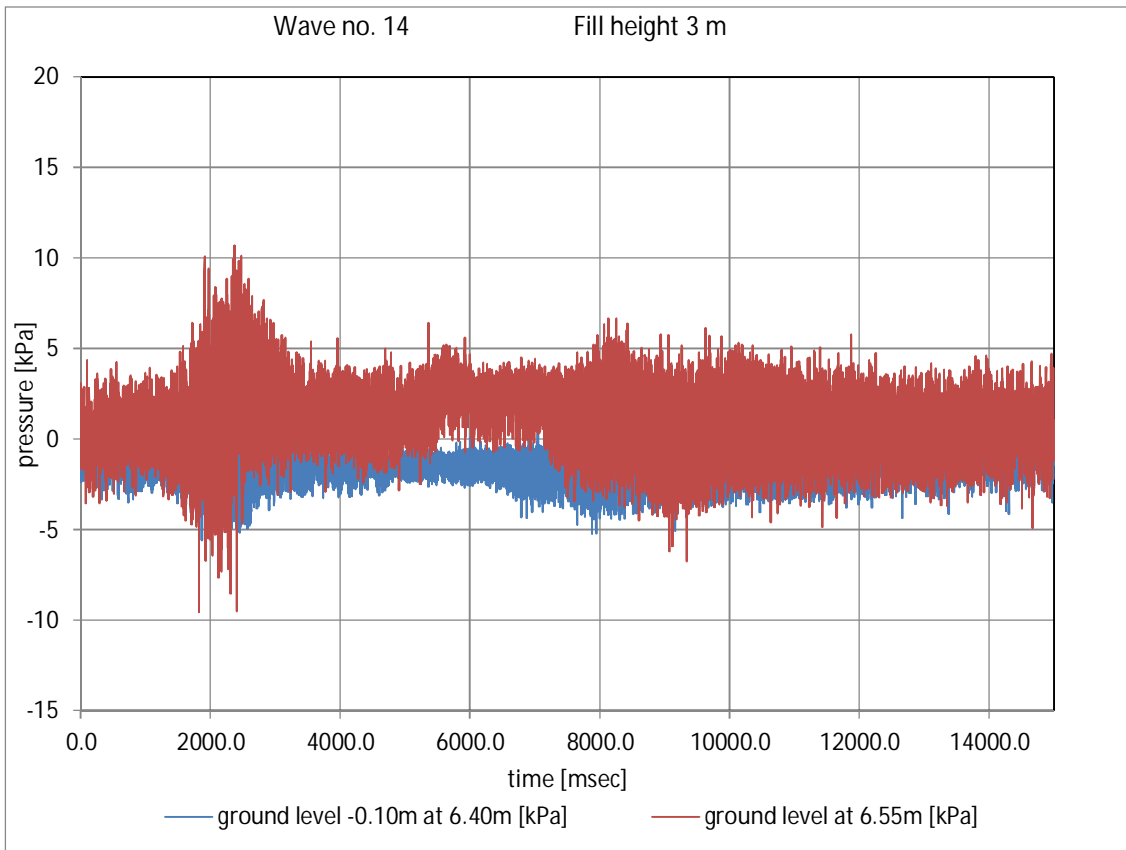
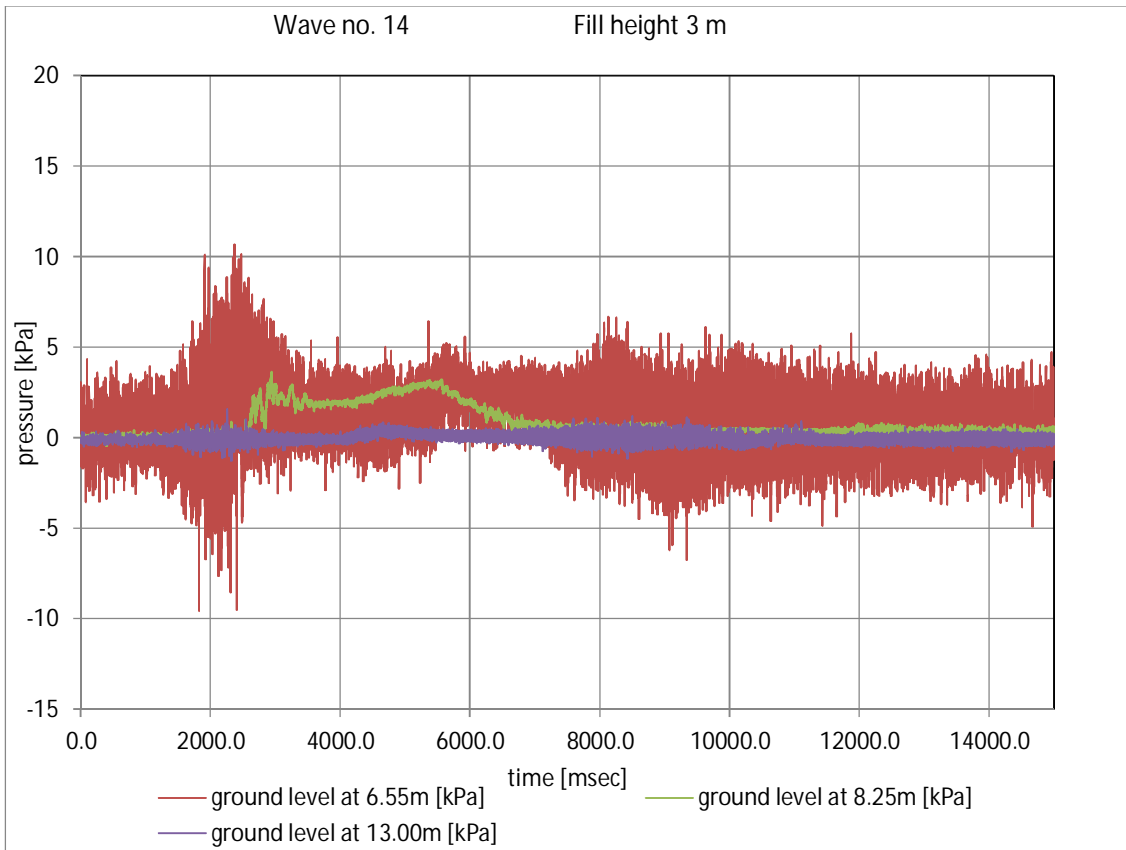


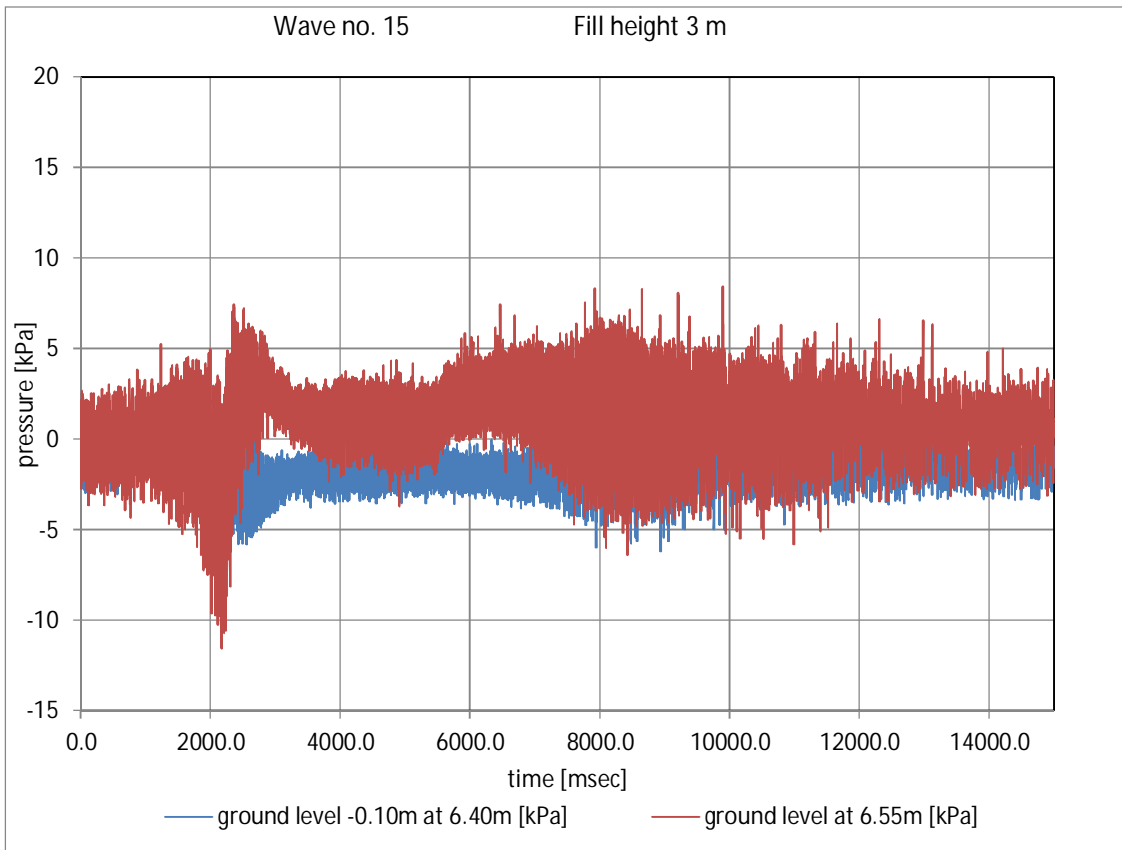
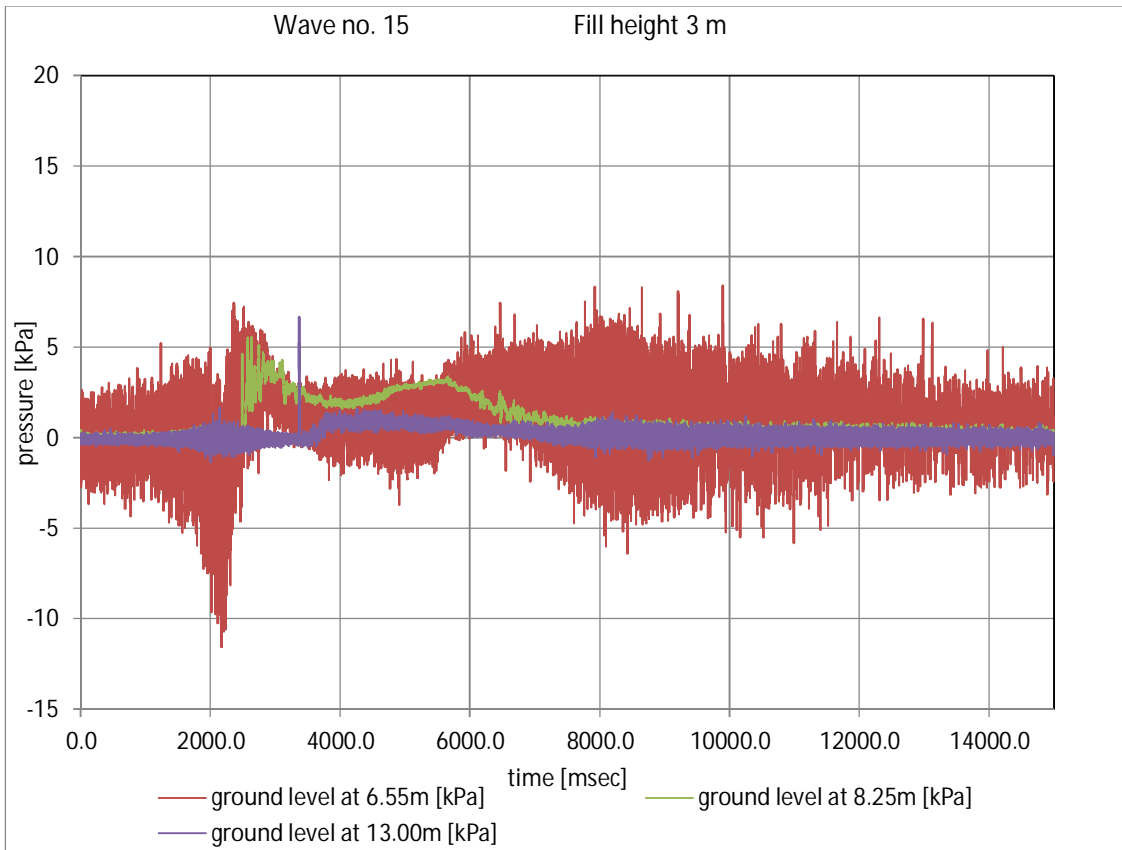


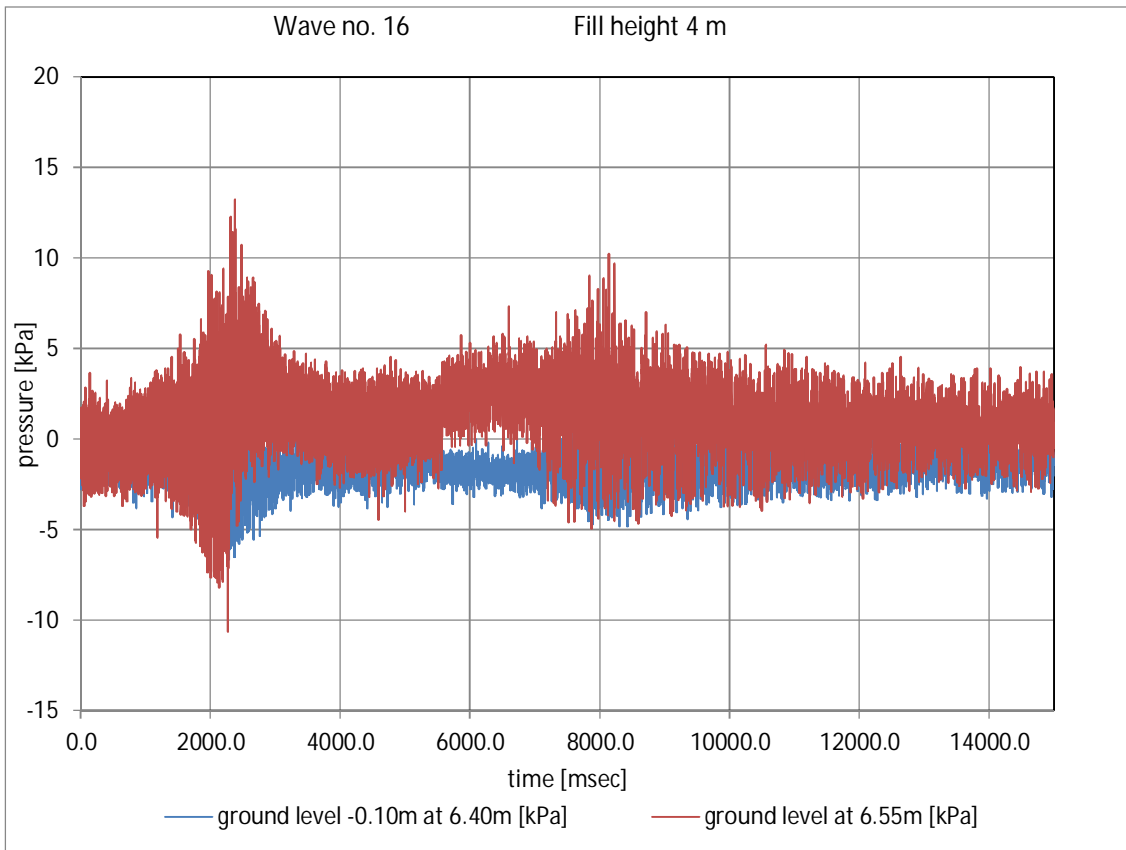
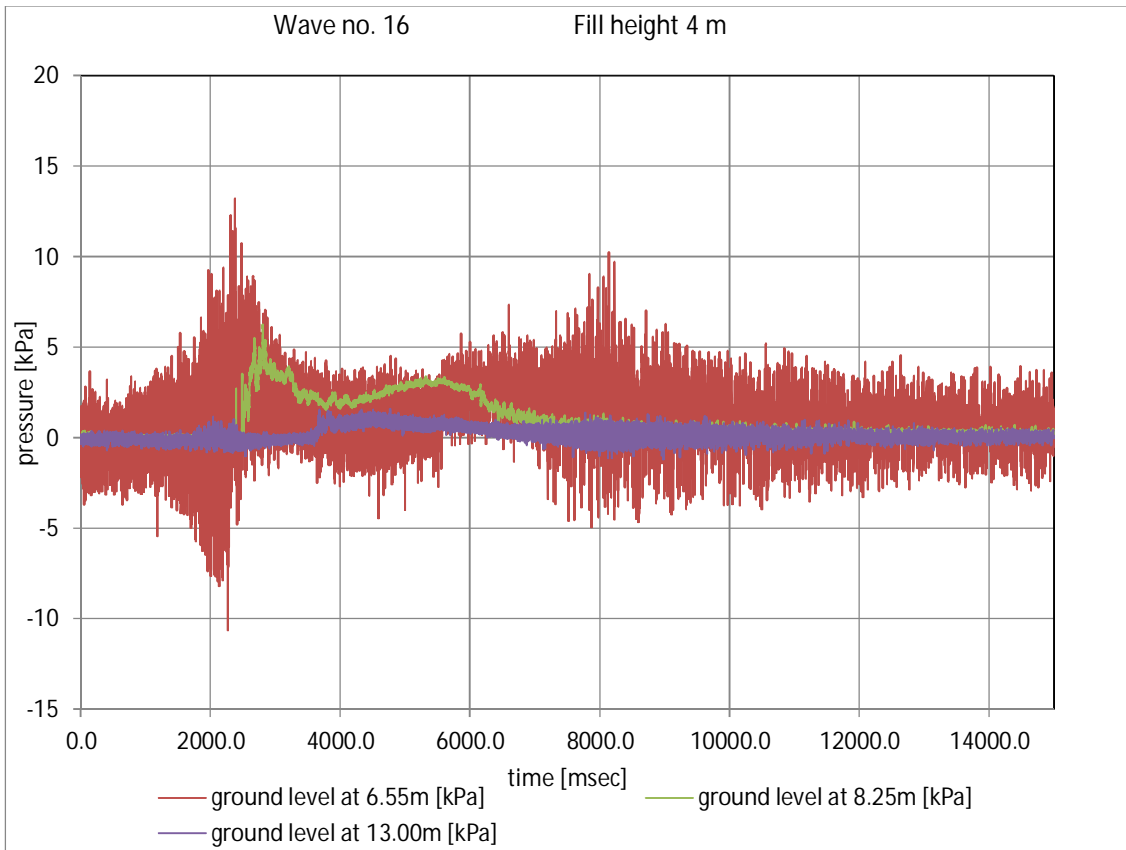


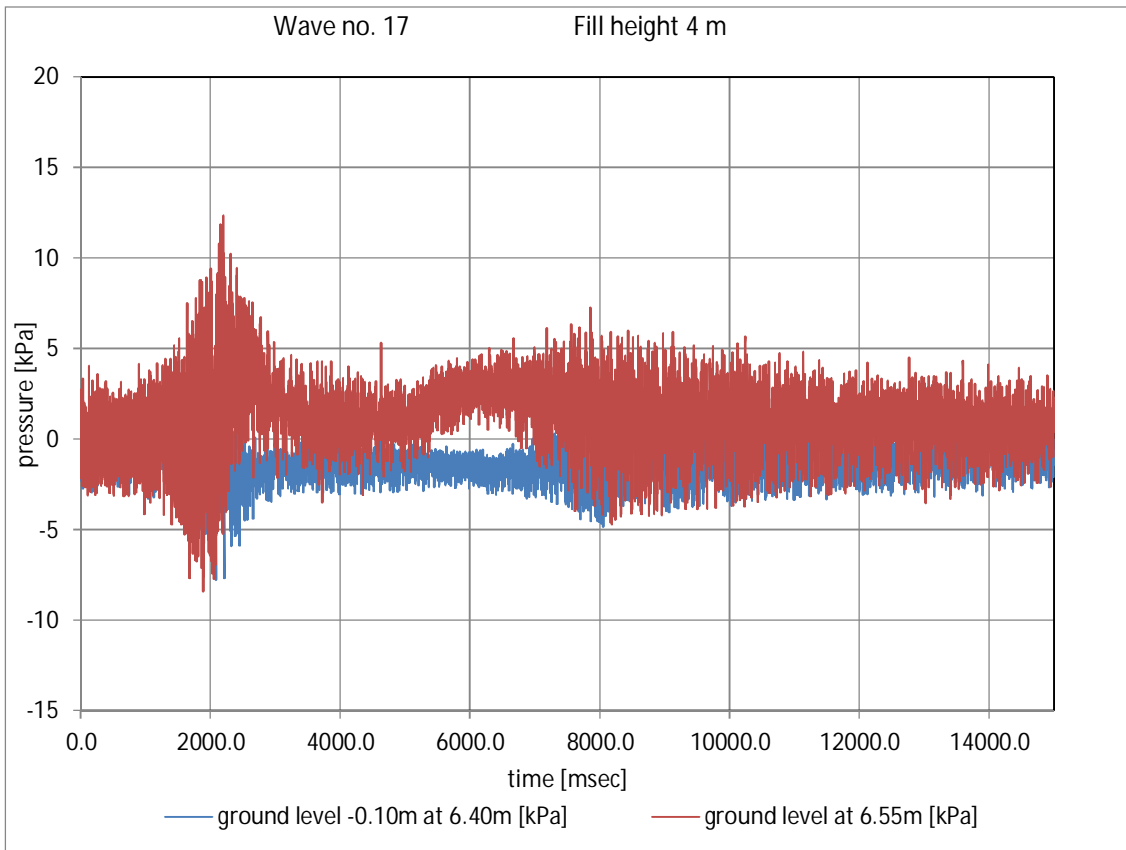
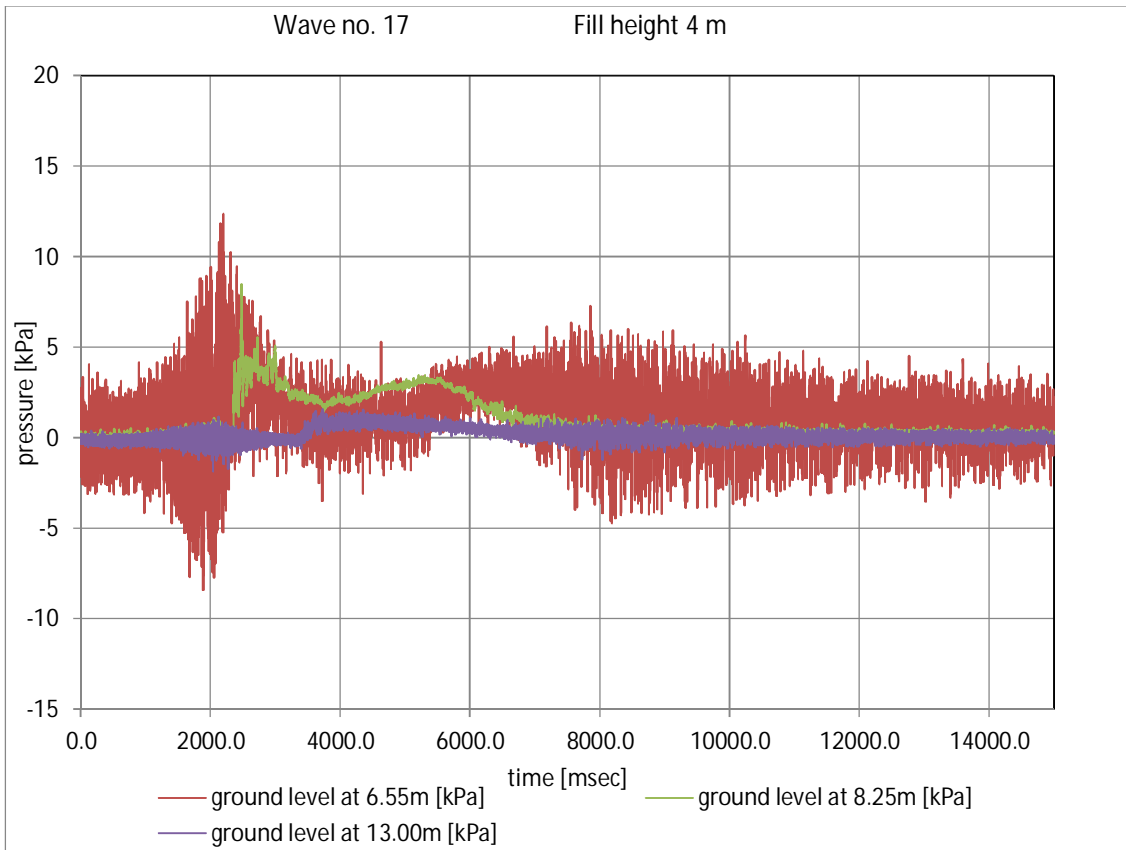


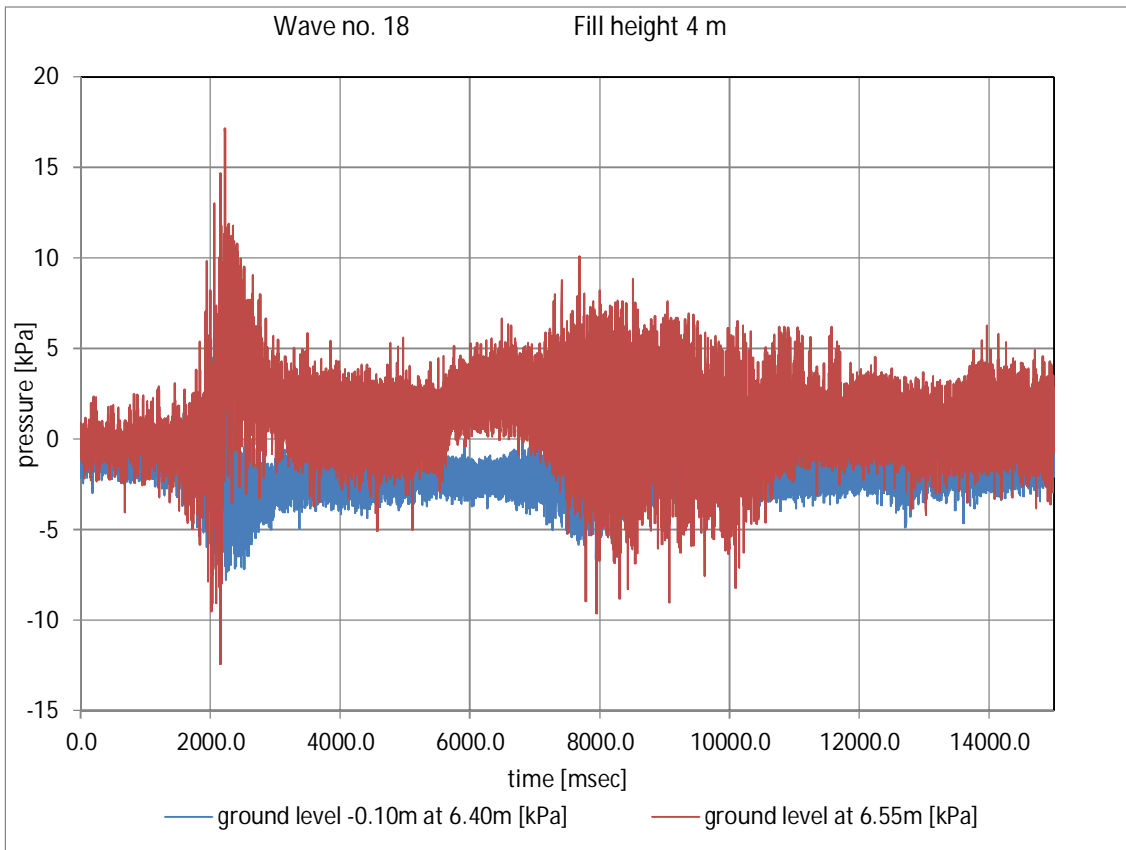
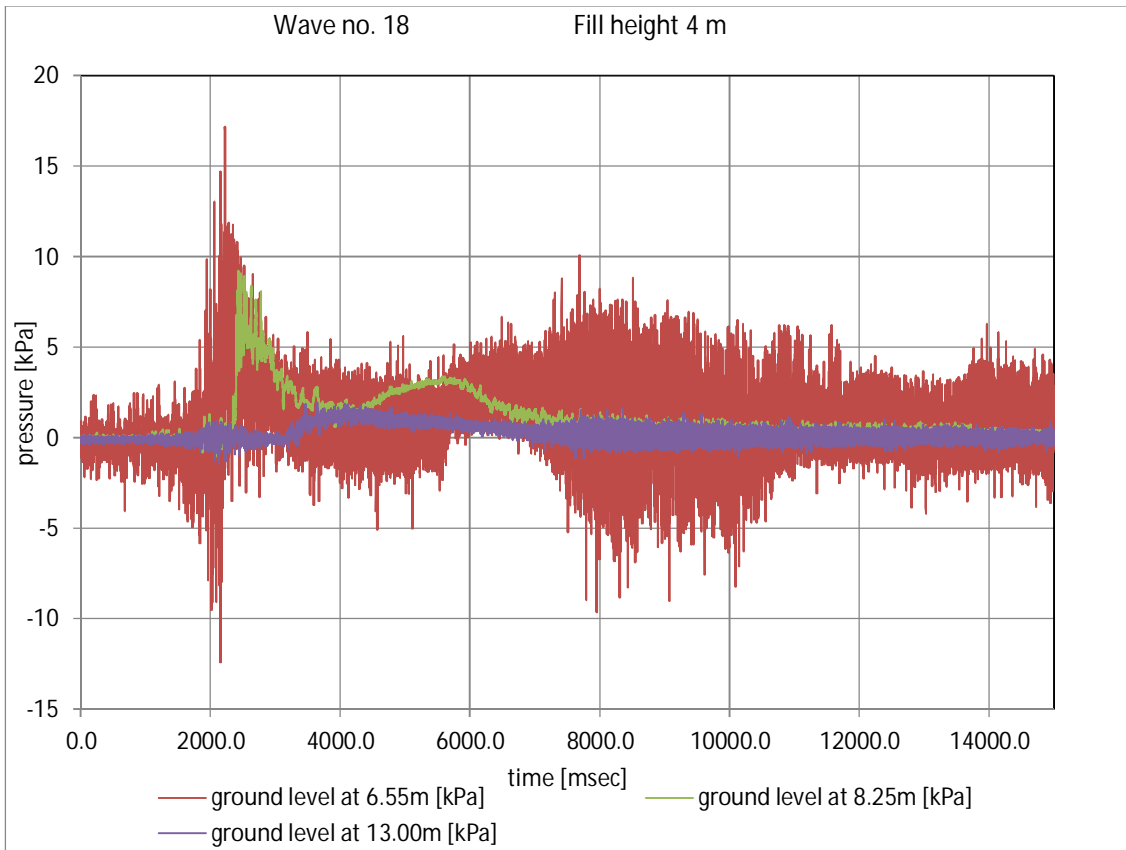


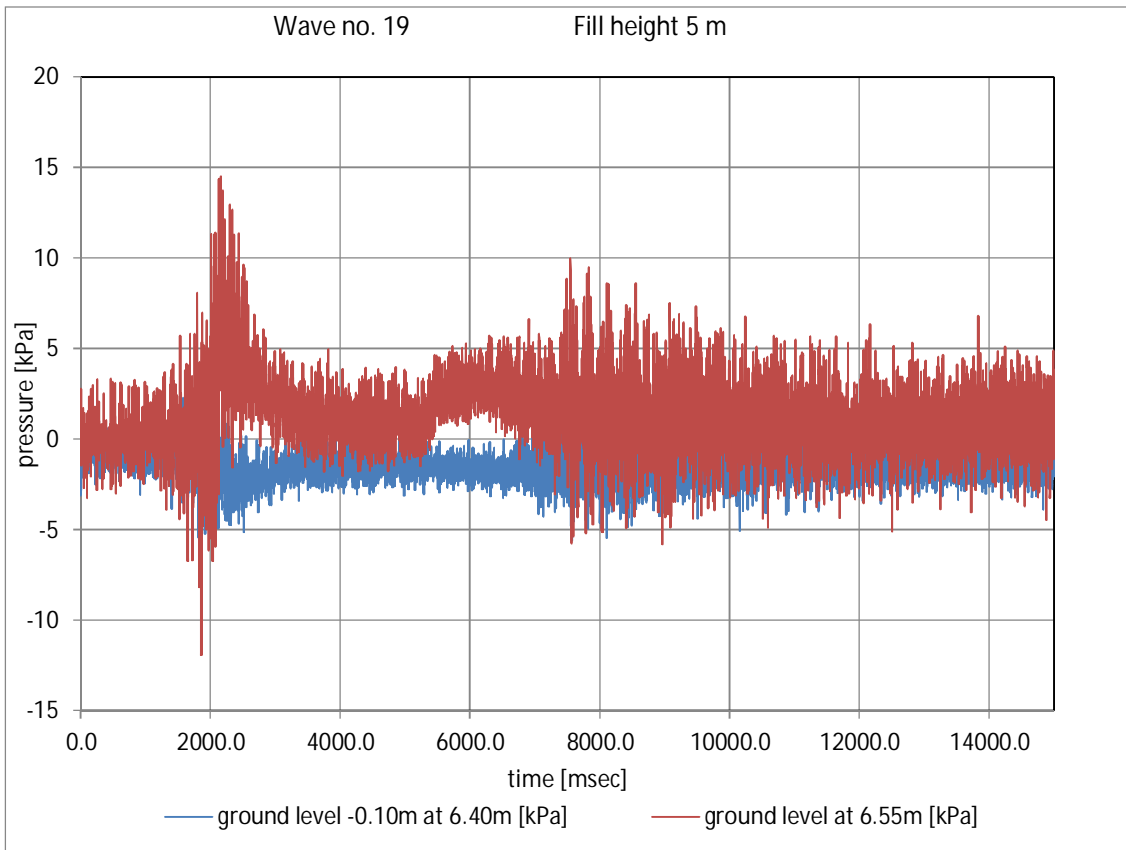
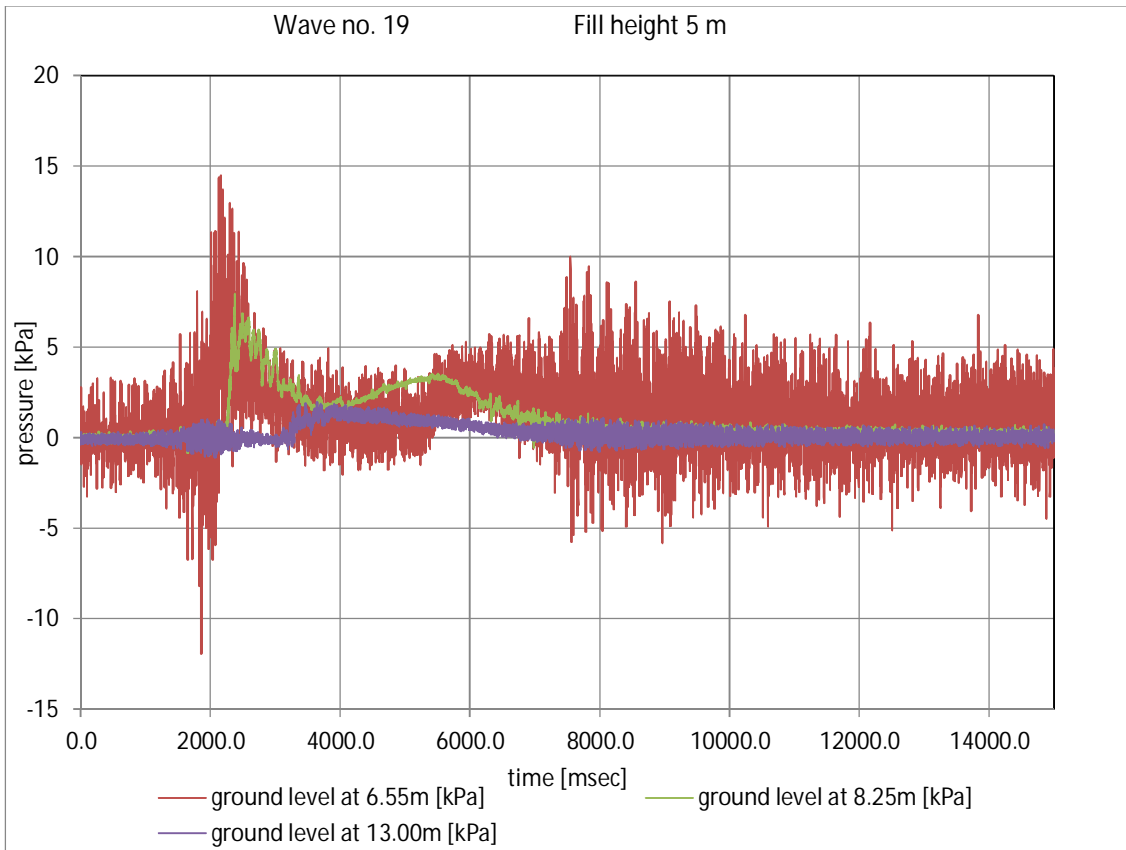




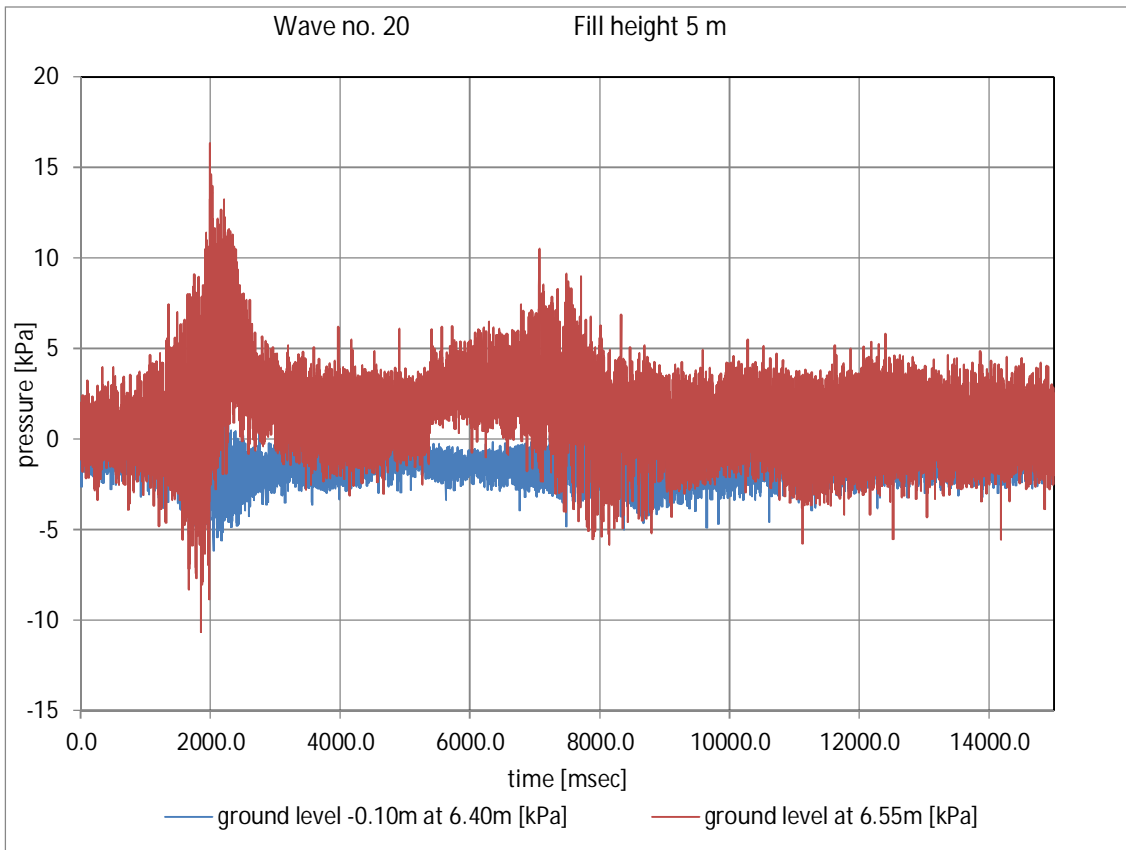
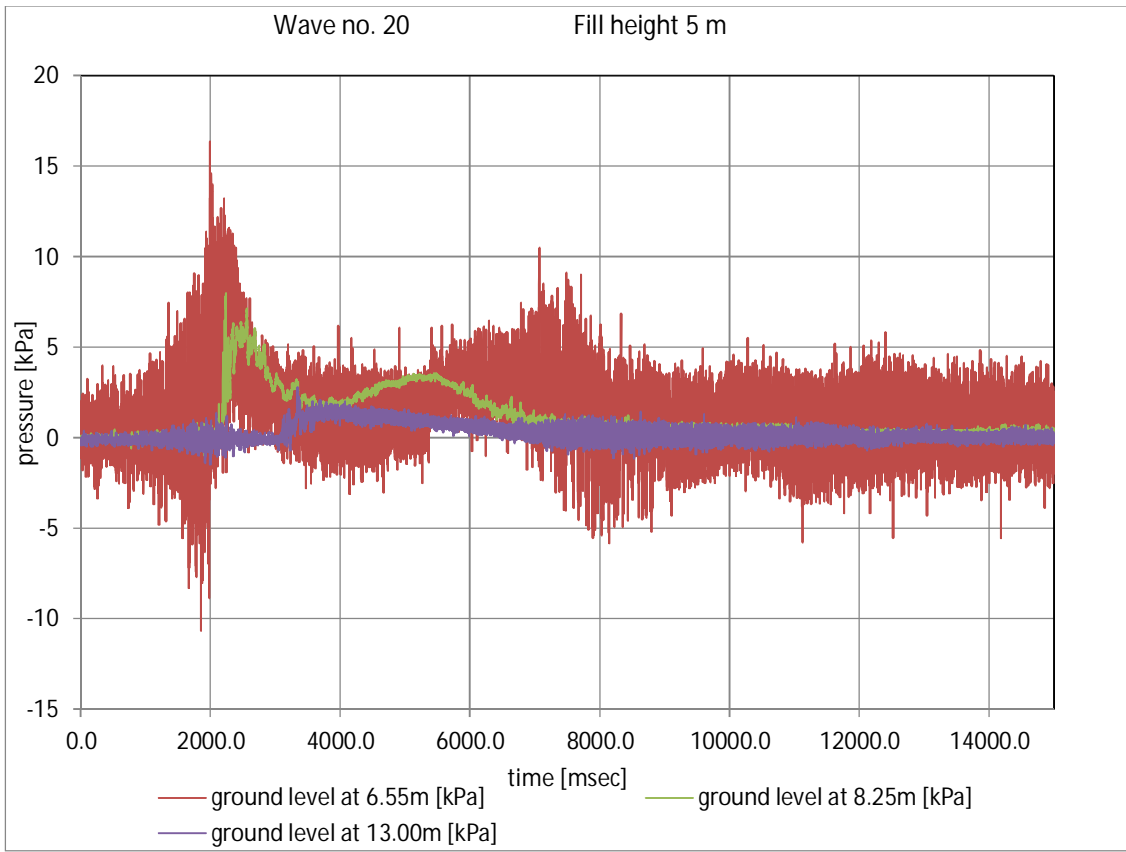


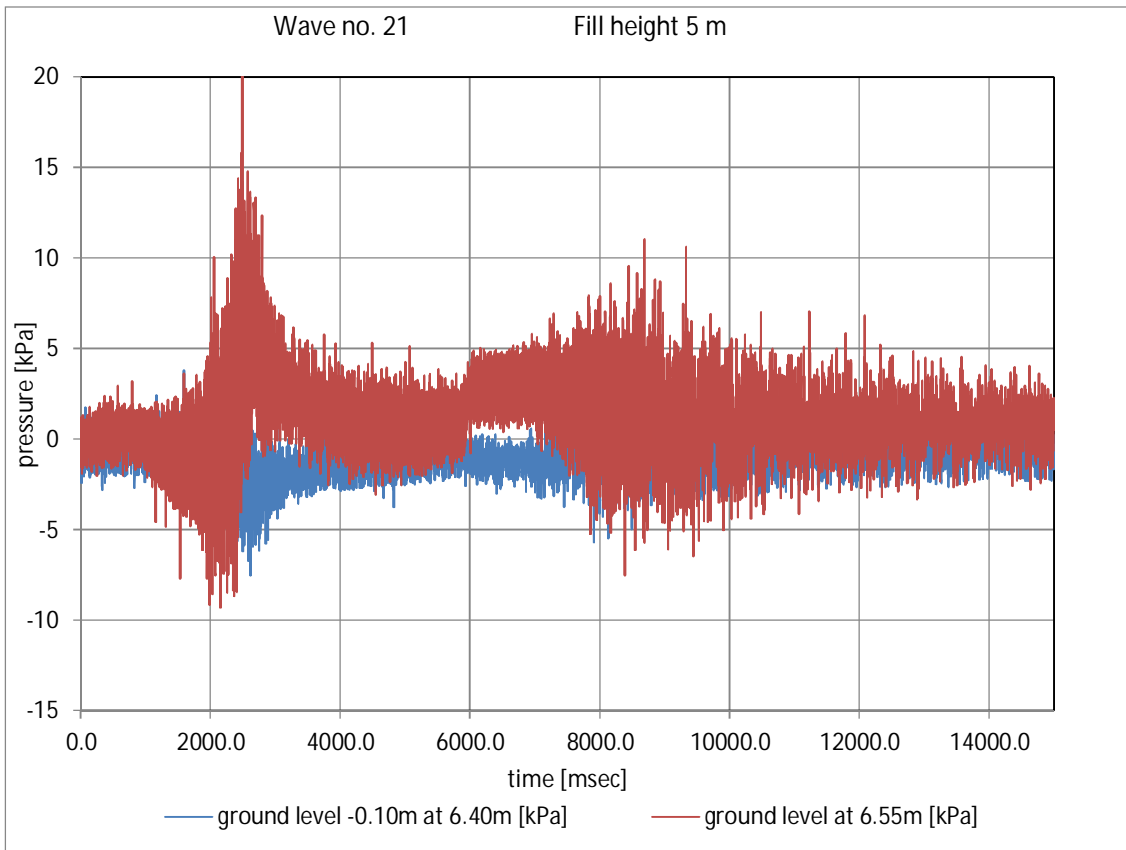
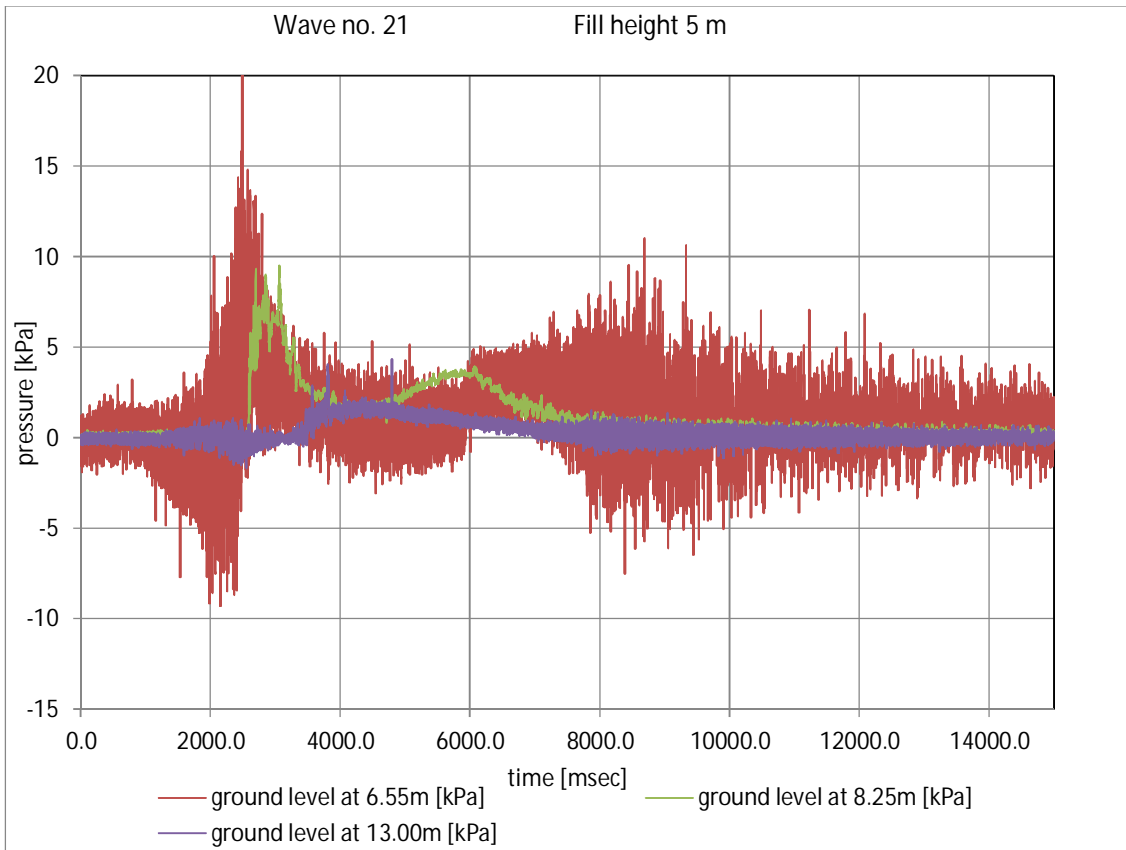


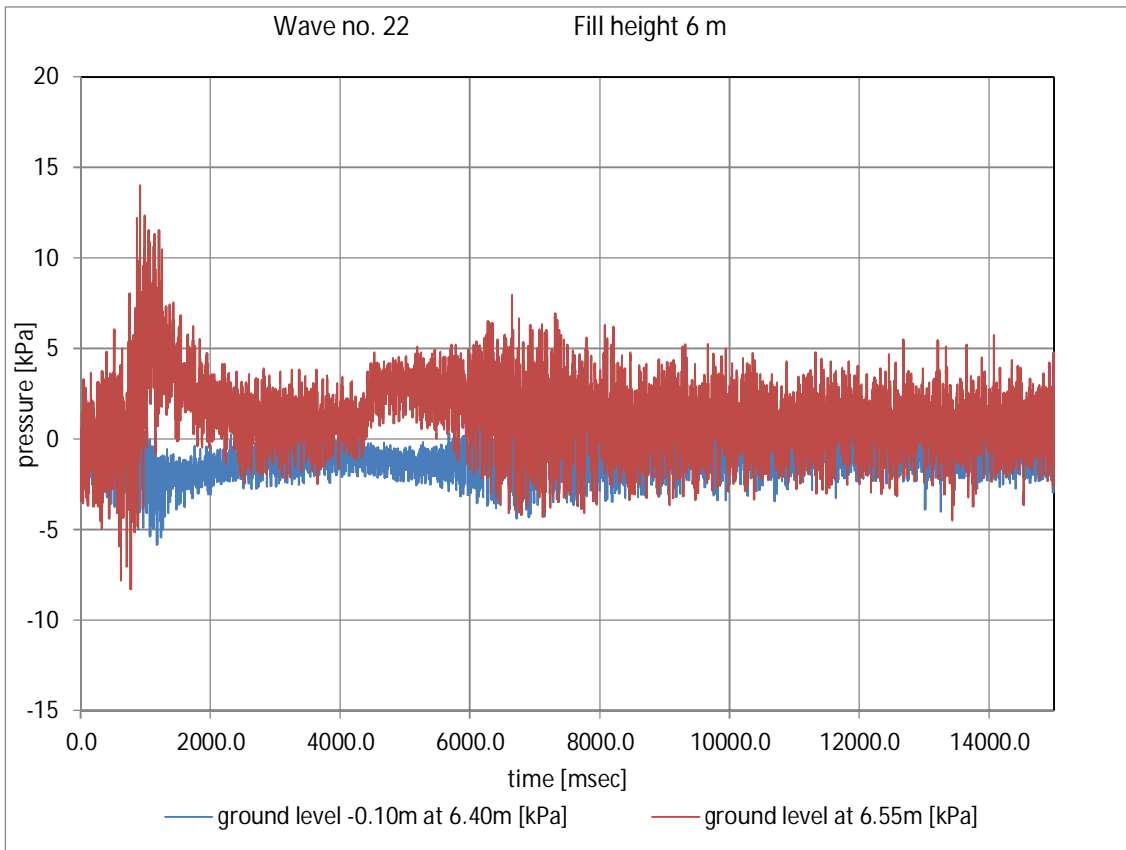
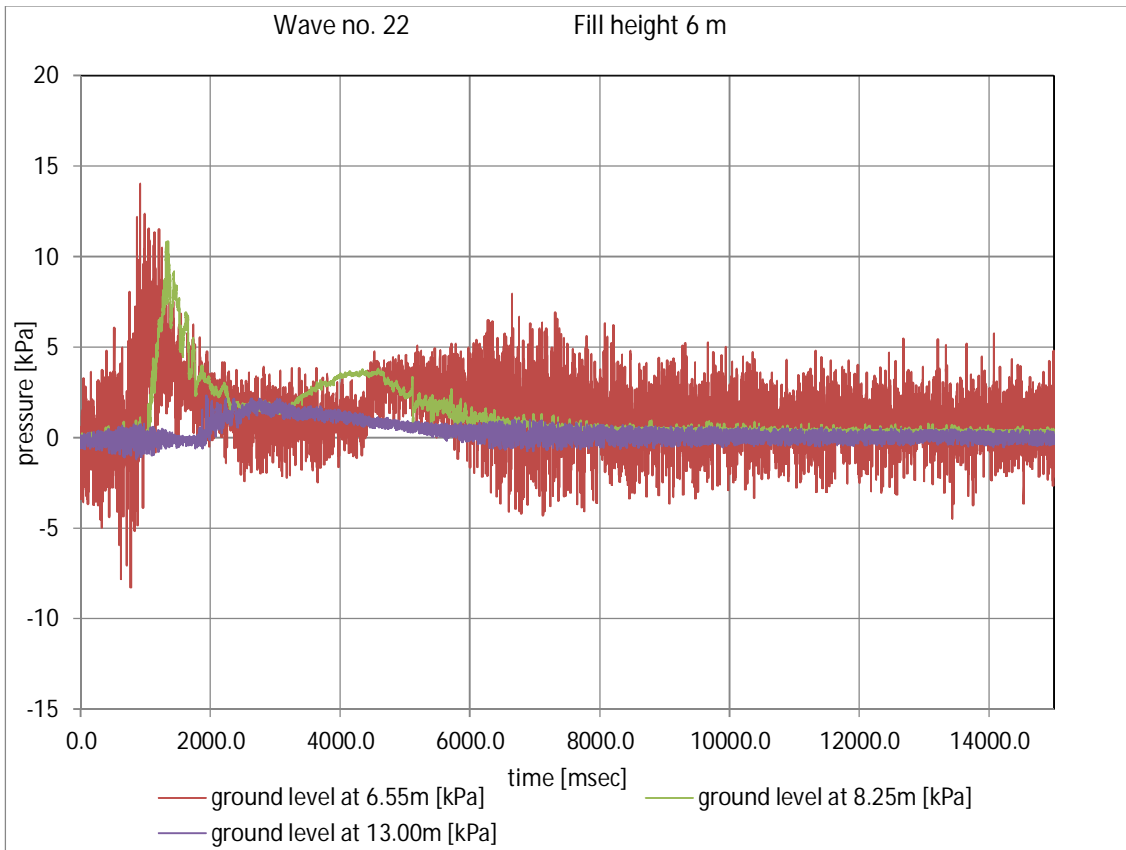


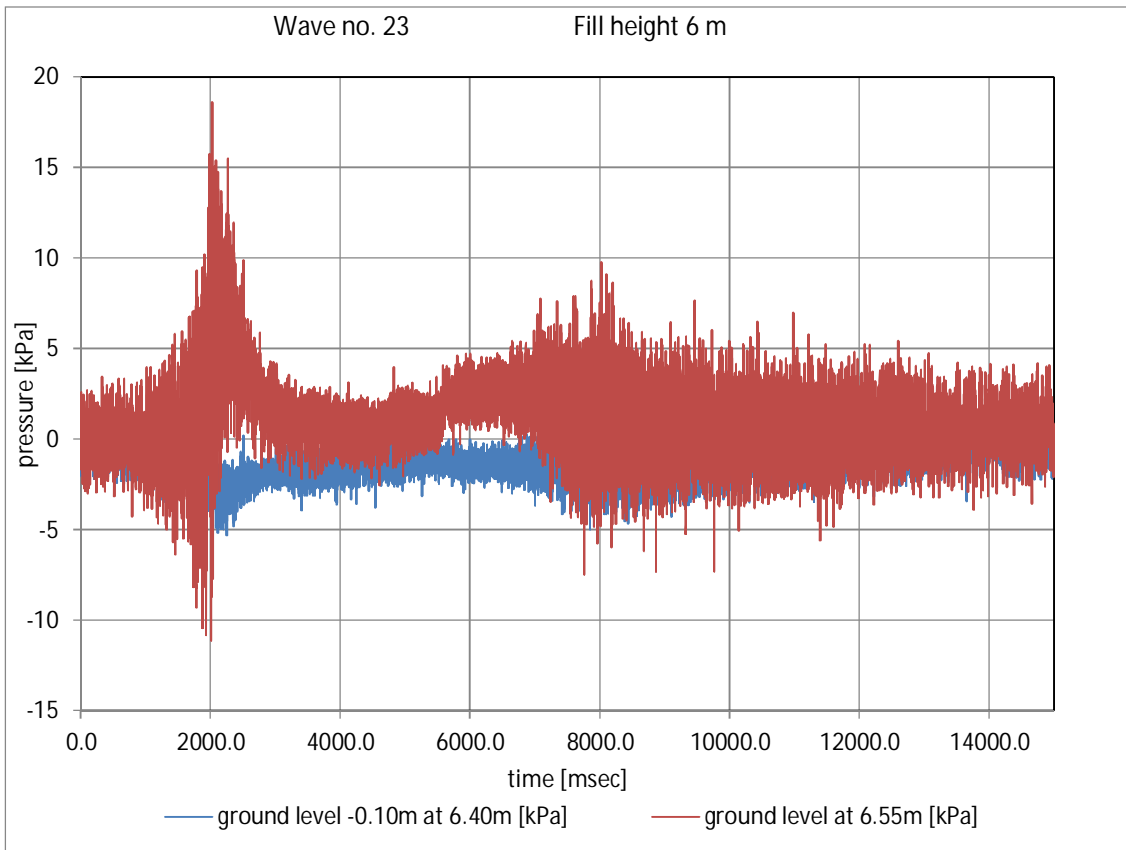
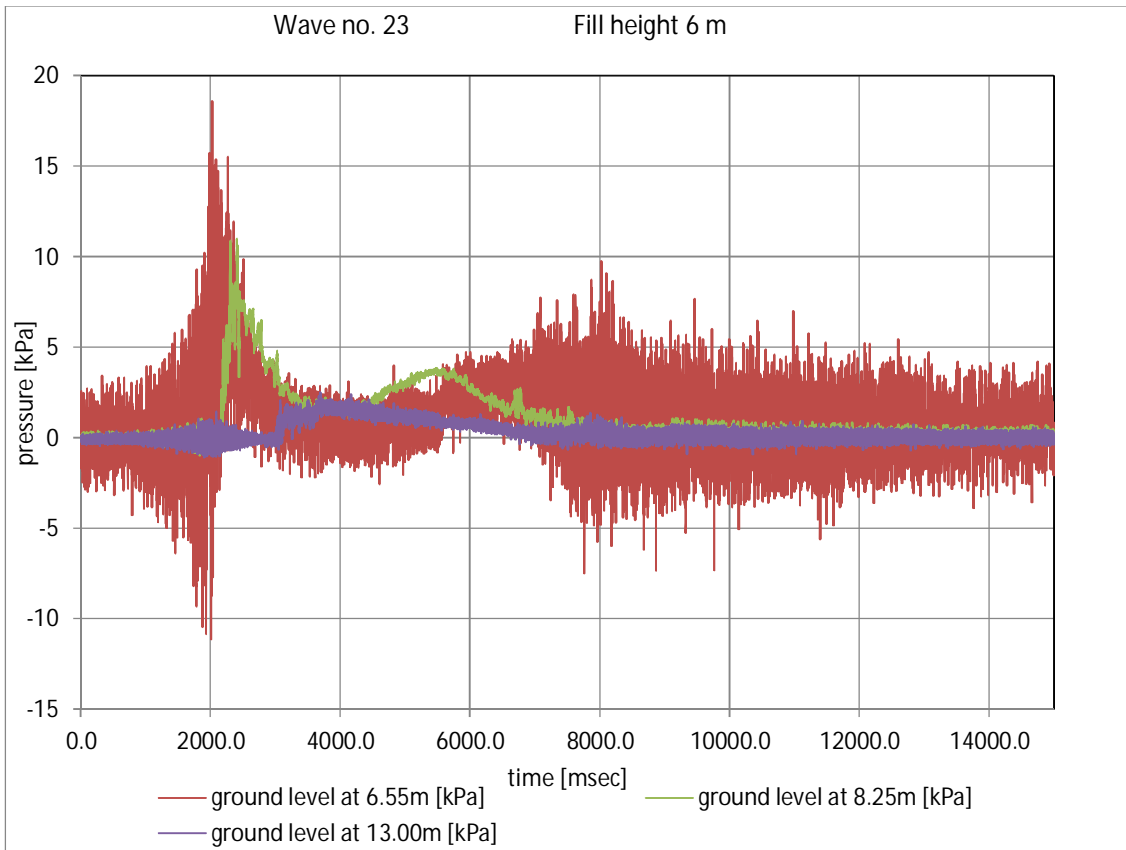


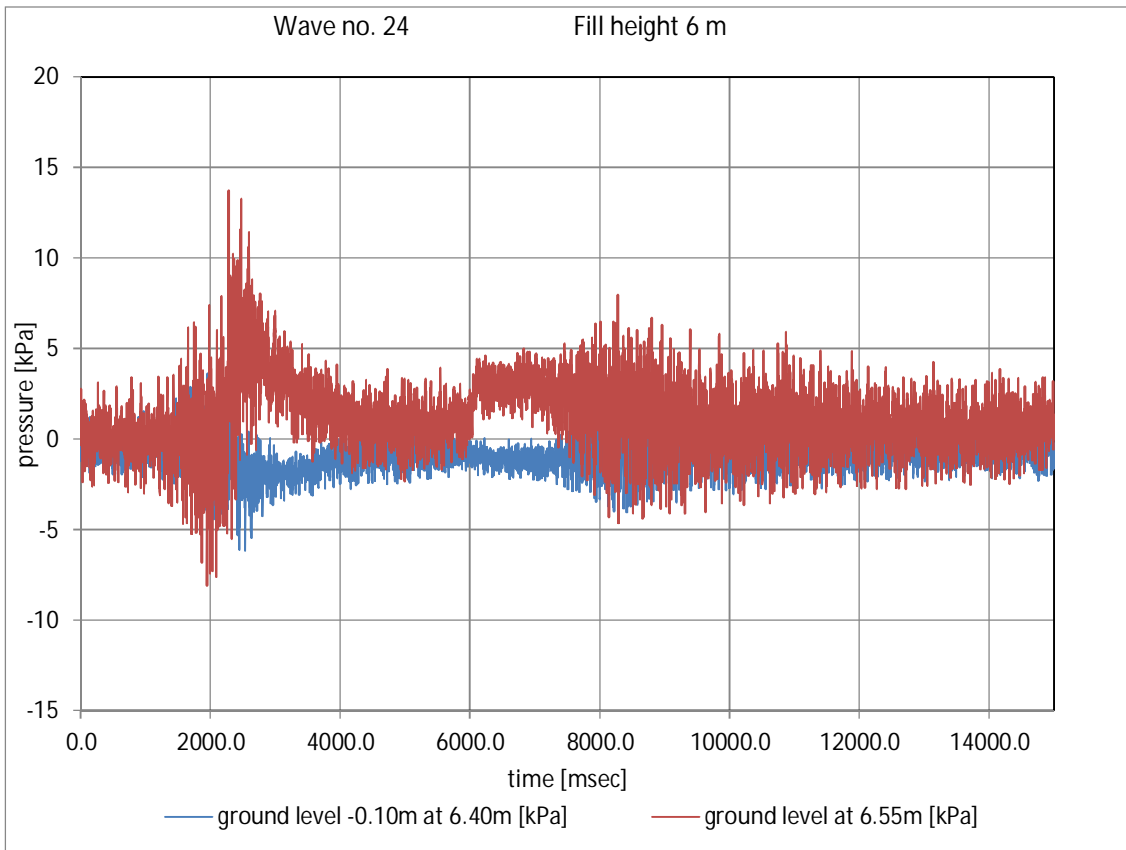
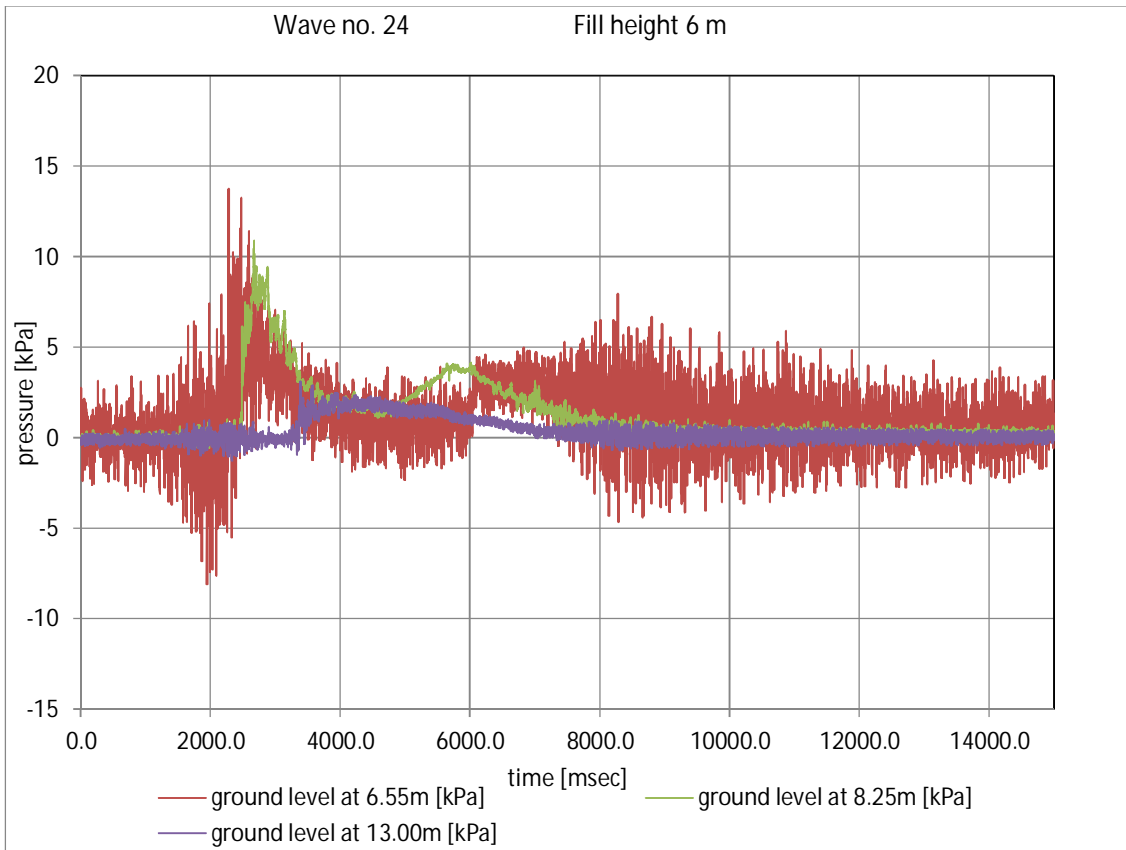


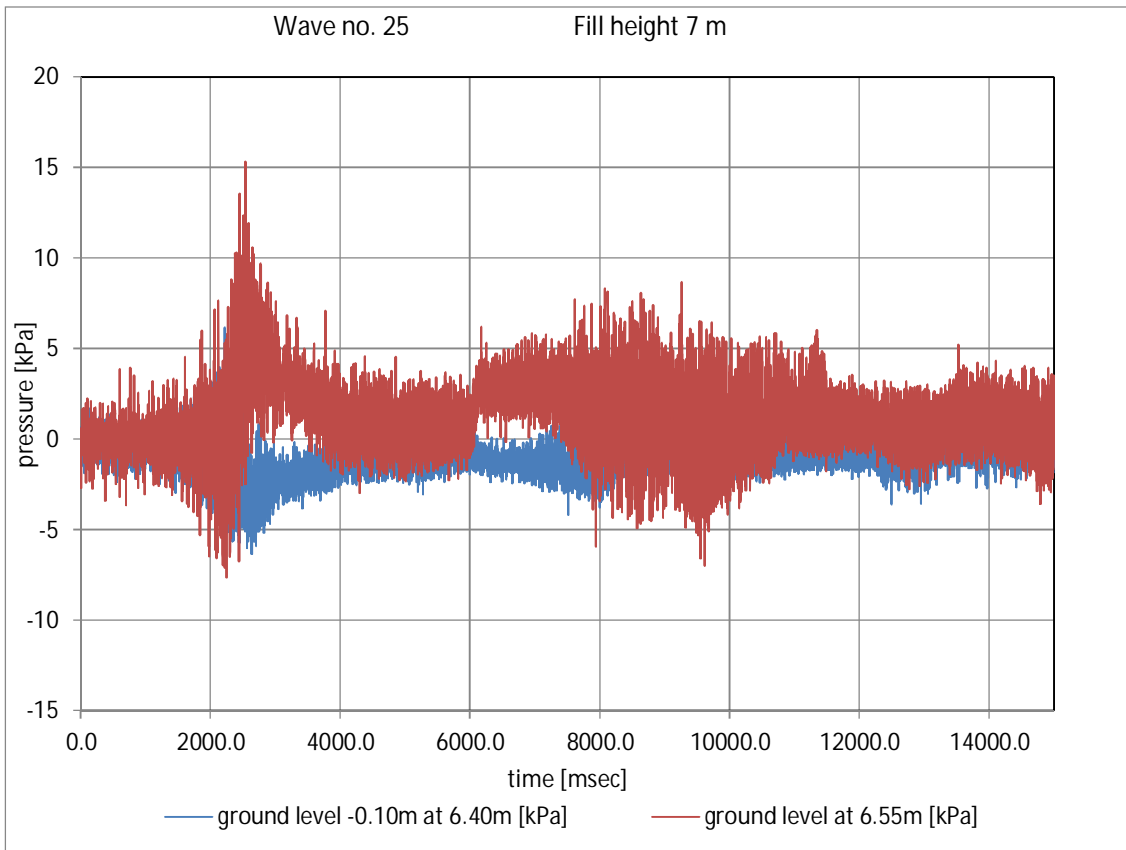
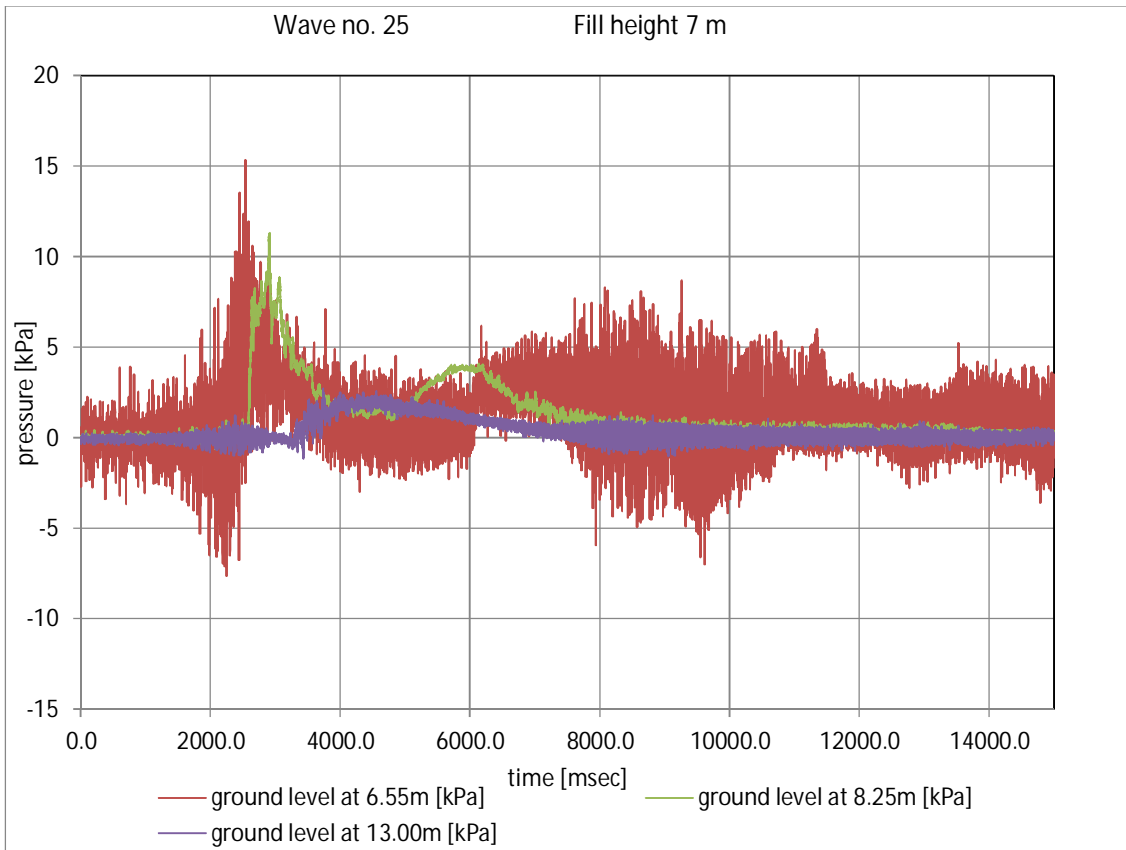


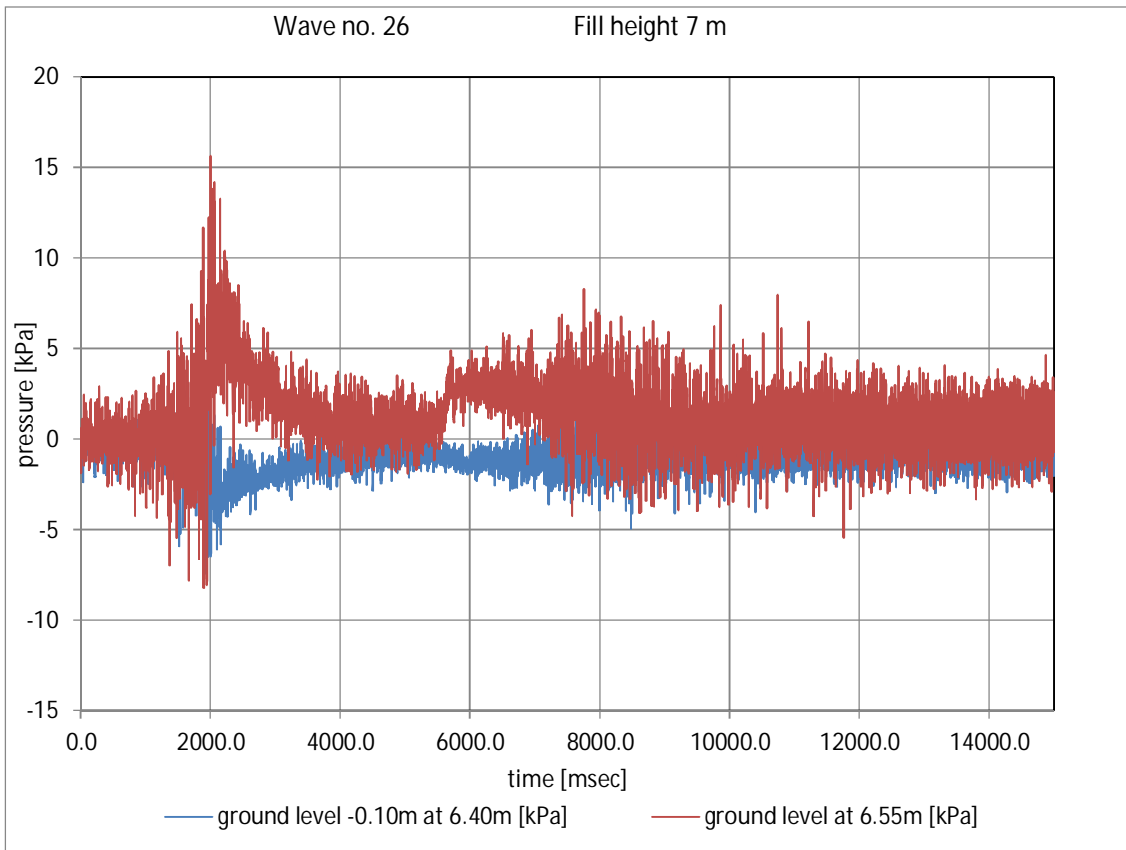
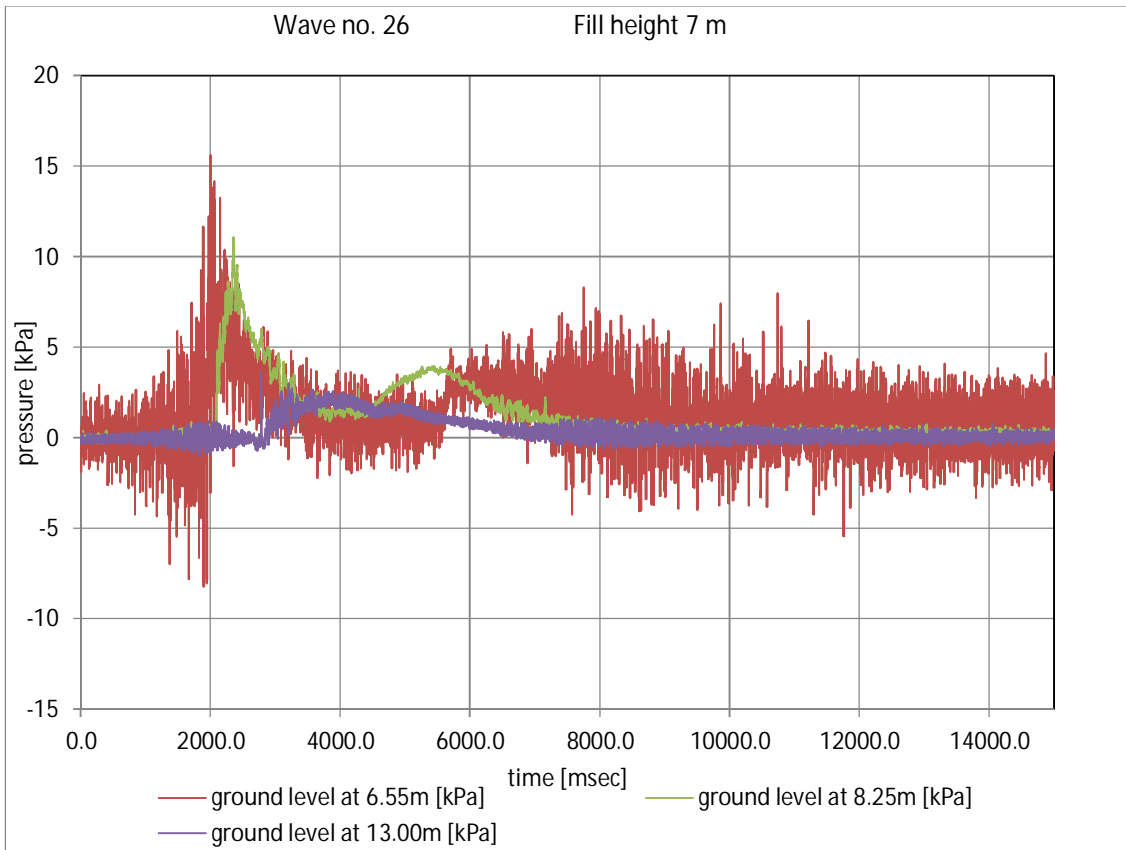


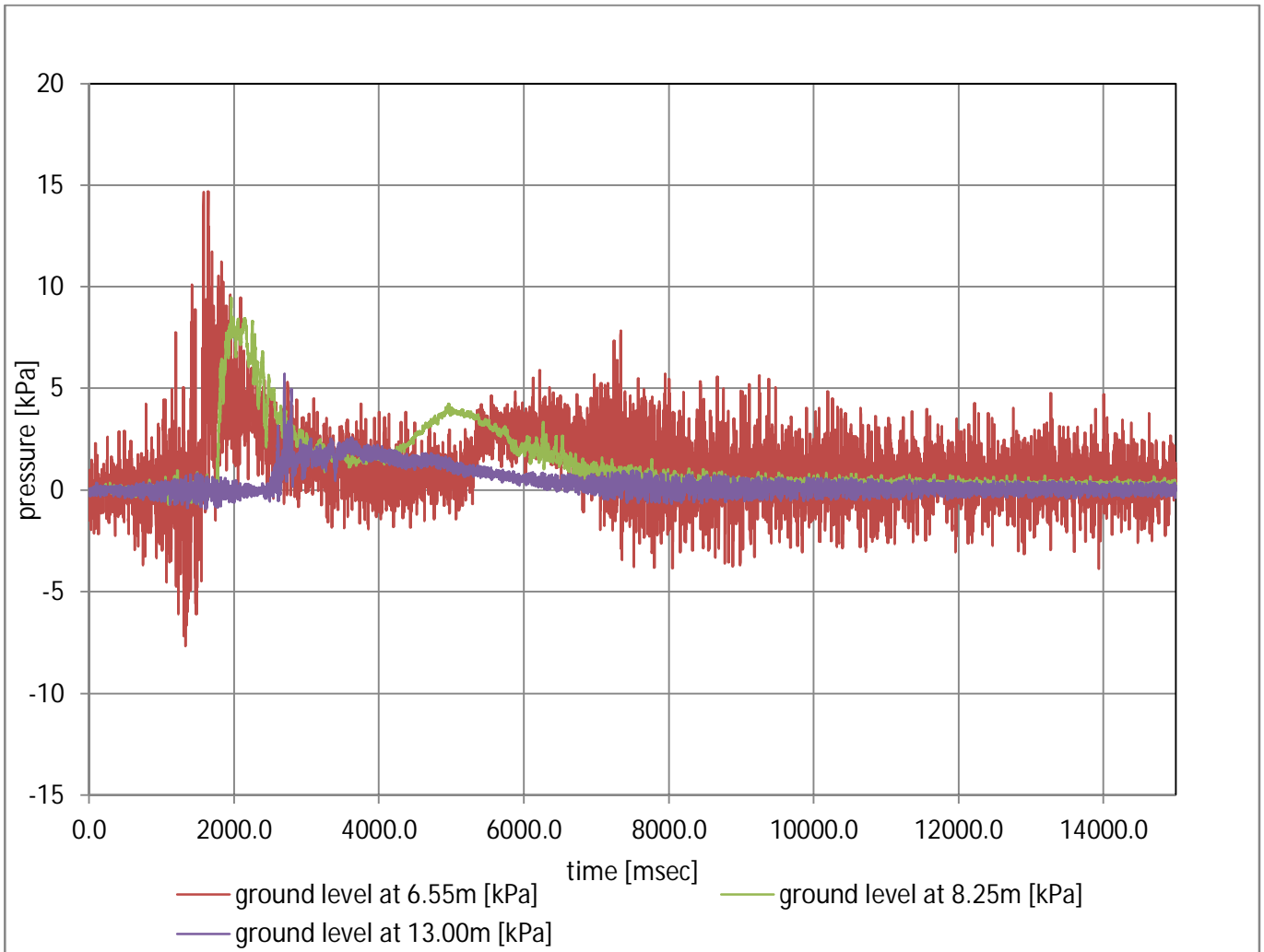




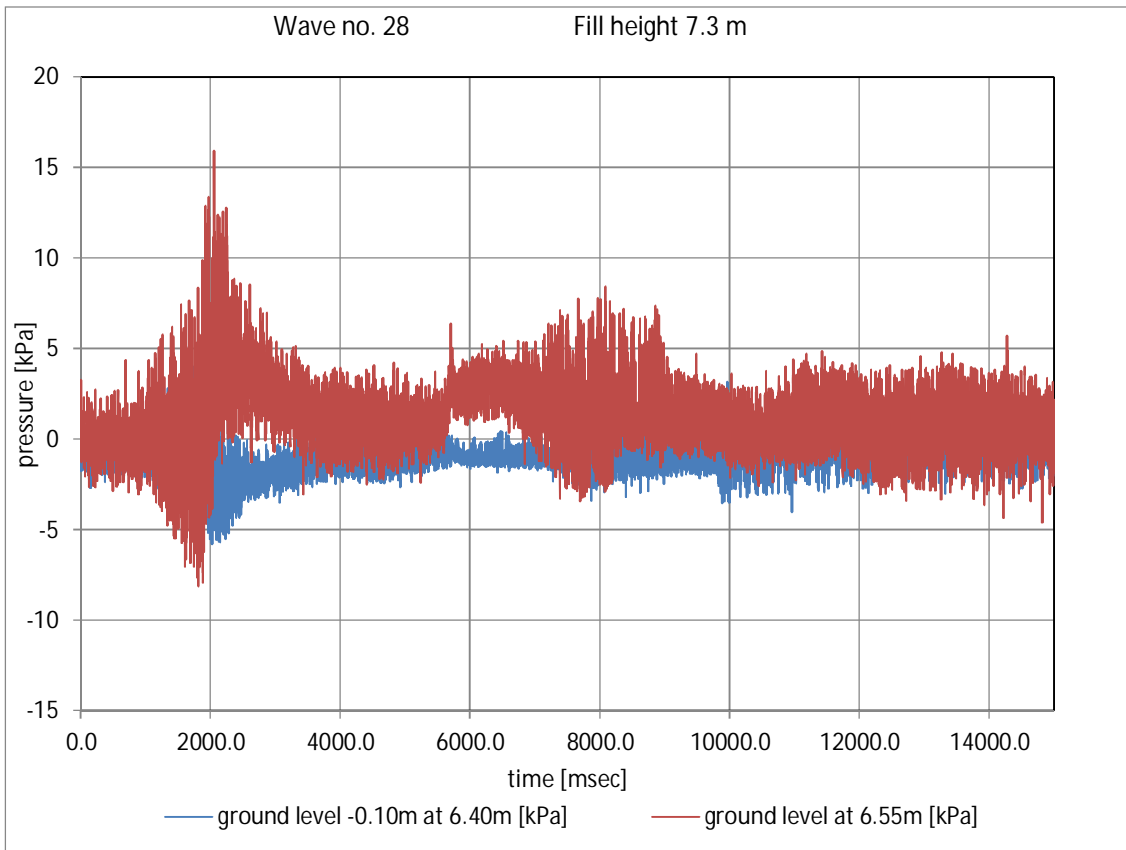
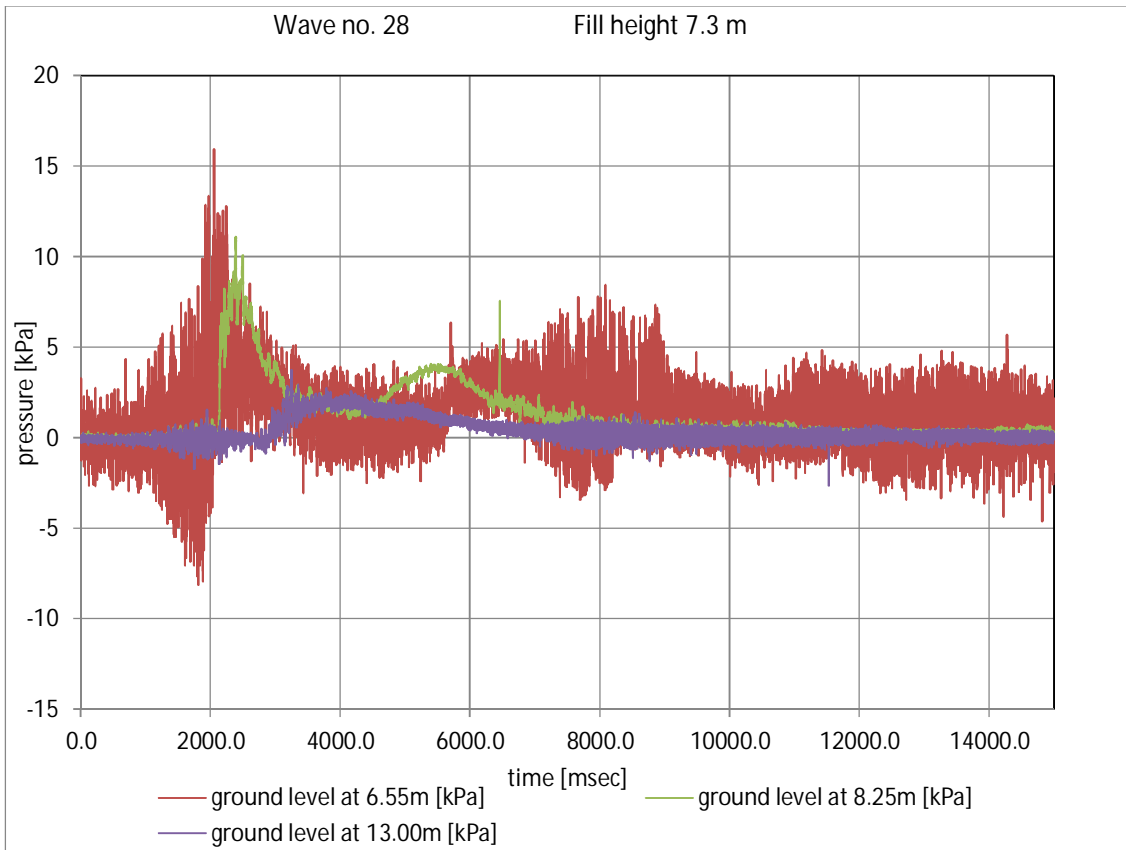


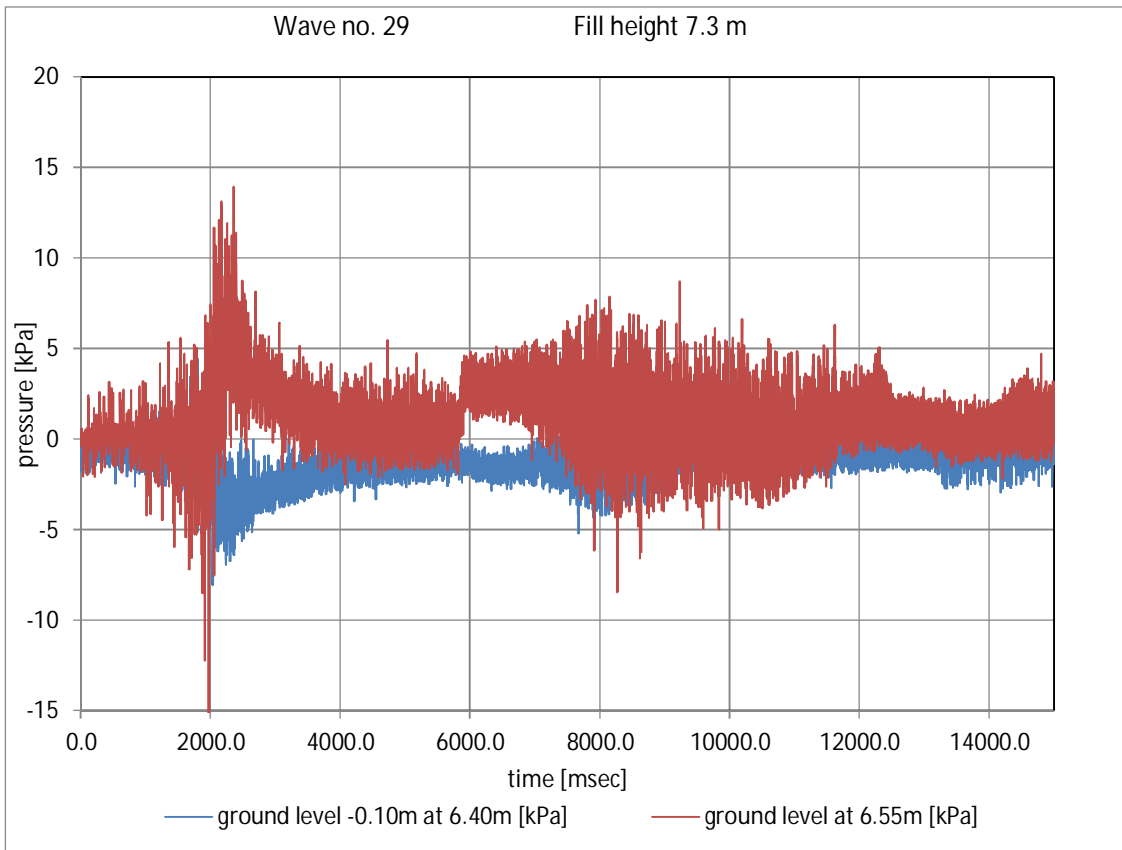
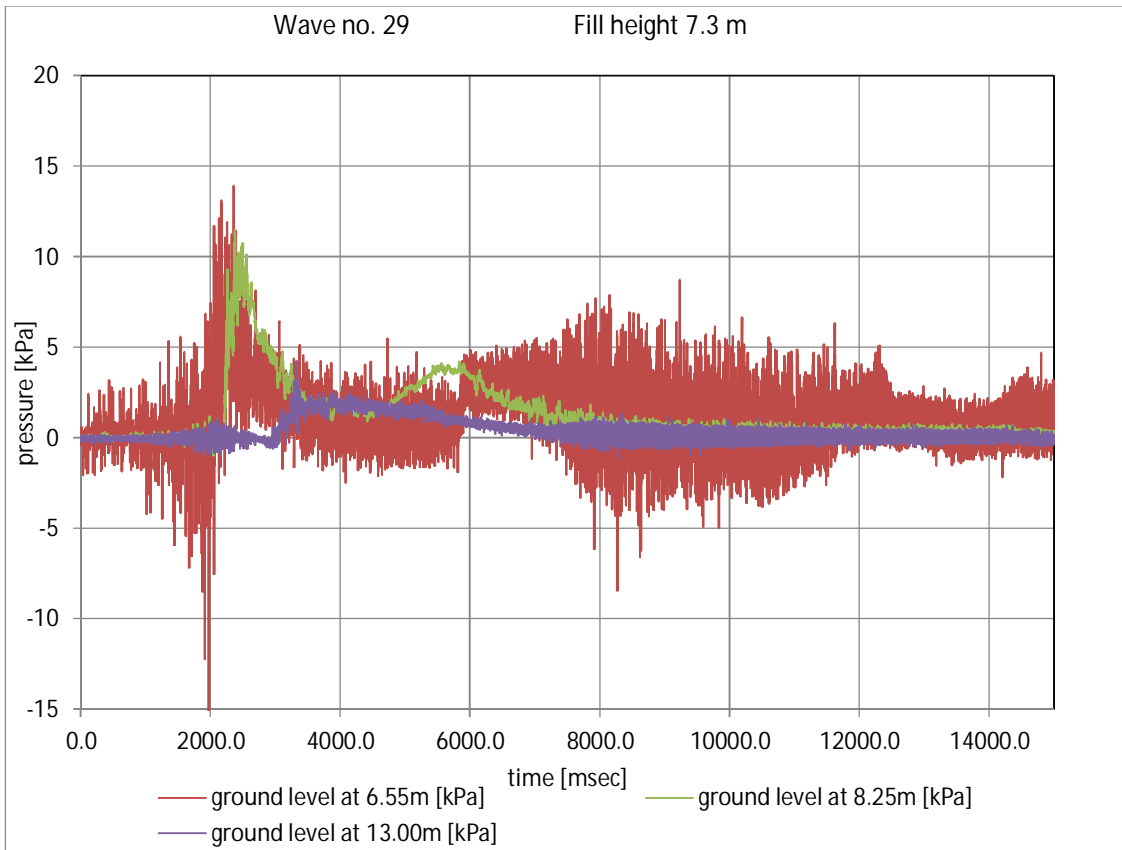


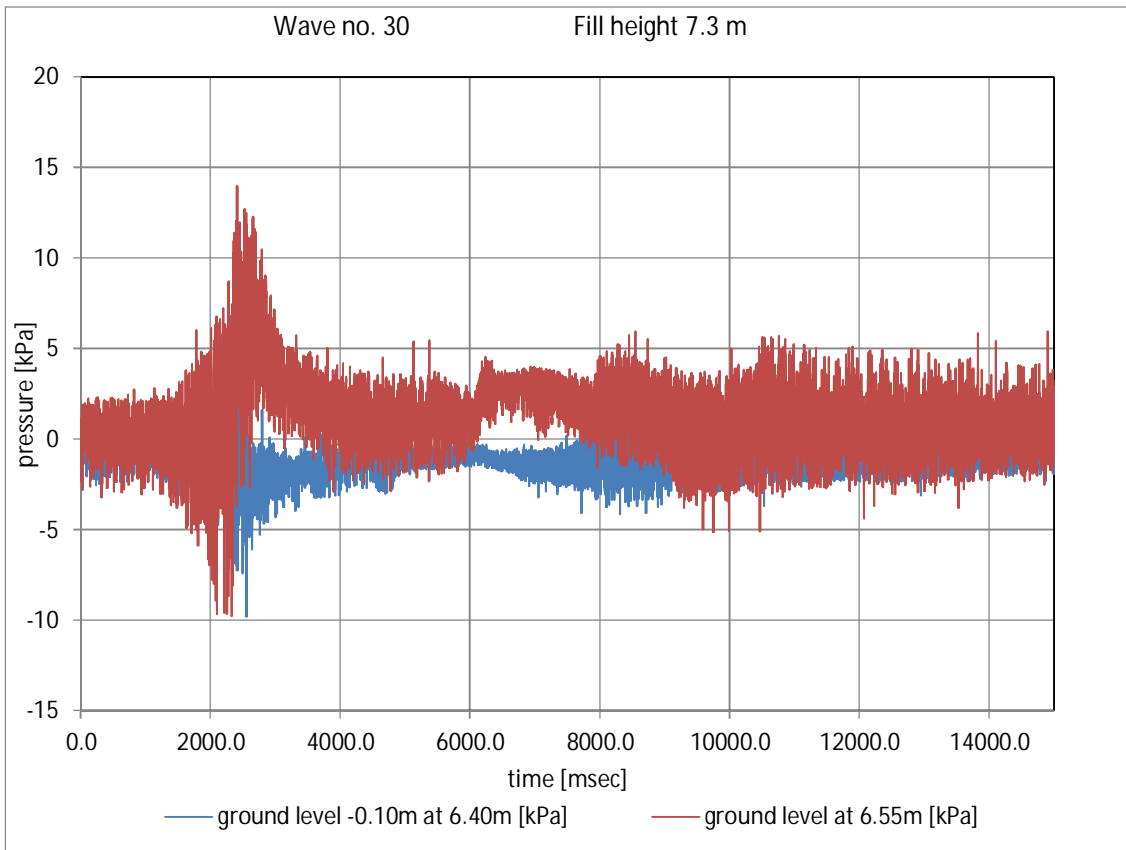
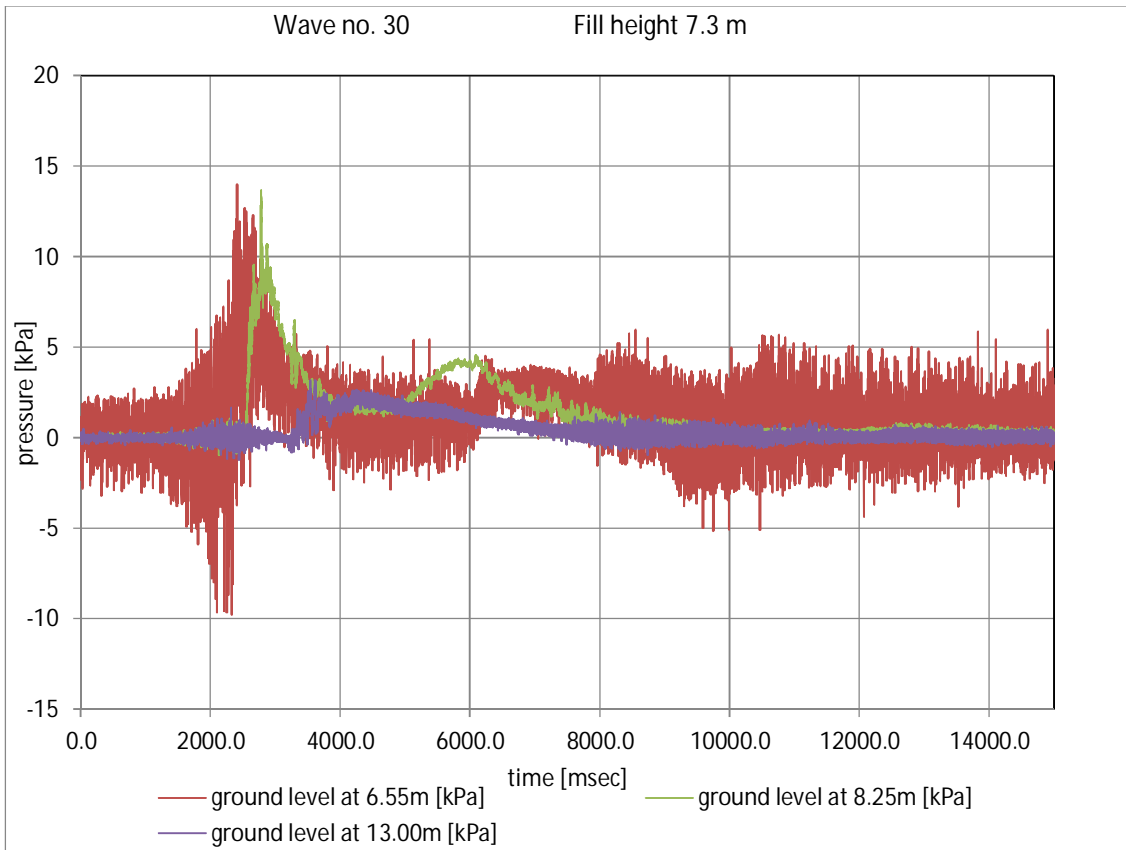












## E. Vegetatieonderzoek



TO  
Project team Wave run-up and grass revetment strength  
André van Hoven  
Gijs Hoffmans  
Jentsje van der Meer  
Gosse Jan Steendam  
Henk Verheij

FROM  
Marjolein van Adrichem  
Joep Frissel  
Maurice Paulissen

## Introduction

Wave run-up experiments are currently being carried out on the outer slope of a primary dike along the Eastern Scheldt (Oosterschelde) near Colijnsplaat in the south-western Netherlands (Figure 1).



Figure 1: The location of the wave run-up experiments (within yellow frame). The location is situated on the isle of Noord-Beveland, southeast of the village of Colijnsplaat.

The yellow frame in Figure 1 corresponds with the image depicted by Figure 2, which shows the test location in more detail. In Figure 2, the location of three individual wave run-up test strips is shown in yellow. These test strips are described as follows:

- Test strip 1: transition of asphalt to grass and of grass berm to grass slope.
- Test strip 2: transition of asphalt to grass coinciding with transition of level to slope.
- Test strip 3: transition of stone blocks to grass and of grass berm to grass slope.

## Memo

DATE  
February 18, 2014

SUBJECT  
Assessment of grass  
revetment quality at wave  
run-up test location

POSTAL ADDRESS  
P.O. Box 47  
6700 AA Wageningen  
The Netherlands

VISITORS' ADDRESS  
Wageningen Campus  
Building 101  
Droevendaalsesteeg 3  
6708 PB Wageningen

INTERNET  
<http://www.dijken.wur.nl/>  
[www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra)

HANDLED BY  
Maurice Paulissen

TELEPHONE  
+31 (0)317 48 18 01

EMAIL  
[maurice.paulissen@wur.nl](mailto:maurice.paulissen@wur.nl)

Wageningen UR (Wageningen University and various research institutes) is specialised in the domain of healthy food and living environment.

Alterra, part of Wageningen UR, is the research institute for our green living environment



Figure 2: Detail of the test location. The yellow frames show the approximate locations of test strips for the wave run-up experiments. The green frames show the approximate locations of the sampling strips for sod quality measurements carried out by Alterra ('Zeelandbrug 1-3').

In order to assess the actual strength of the grass revetment, Alterra carried out field measurements of the vegetation quality on the test location on 14 January 2014, about one month before the start of the wave run-up tests. The approach and outcomes of this fieldwork are reported in this memo.

### Approach and Methods

In Figure 2, the green frames named Zeelandbrug 1-3 indicate the approximate location of the sampling strips where the field measurements were carried out. Each of these sampling strips was judged representative for the quality of the vegetation within the neighbouring test strips 1-3, which were not to be disturbed in advance of the wave run-up tests.

All measurements were carried out on the outer slope. The measurements were performed on the visually weakest spots as these were considered critical for the actual strength of the grass revetment. In terms of visually weakest spots, the situation in the wave run-up test strips and in the neighbouring sampling strips was similar.

The fieldwork to assess the quality of the vegetation on the test location included the methods prescribed for the third Dutch dike assessment round (V&W, 2007) and those developed for the prolonged third assessment round (Rijkswaterstaat, 2012). In line with these guidelines, the following work was done:

1. Information about the type of grassland management on the test location was requested from the district water board. The requested information was provided by Waterschap Scheldestromen.
2. Sod cover measurement according to V&W (2007): visual determination of vegetation type and visual estimation of the sod cover by means of a vegetation relevé.

3. Sod cover measurement following Rijkswaterstaat (2012). Based on visual inspection, the grass sod can be characterised as closed, open or fragmentary.
4. Root density measurement according to V&W (2007). A gouge auger with a diameter of 3 cm was used to take four samples of the top 20 cm of the root zone. Each of the samples was divided into eight layers of 2.5 cm, in which the number of root fragments present was counted. A quality verdict for root density (very poor, poor, moderate or good) could then be derived from graphs as presented by V&W (2007).
5. Root density measurement following Rijkswaterstaat (2012). A grass sod of about 25 x 30 cm, with a thickness of about 7 cm, was cut loose using a spade. Based on this, the sod strength (reflecting root density) can be characterised as: high root density, moderate root density or fragmentary root density.

DATE  
February 18, 2014

PAGE  
3 of 16

## Results

### General overview

The general visual appearance of the sod at the test location was continuous and slightly tussocky (Table 1). There were no pronounced damages. However, there were signs of mole and vole activity. Furthermore, many dog excrements were found on the test location.

Some mowing litter had remained present on the test location, mostly on the lower part of wave run-up test strip 2 and sampling strip Zeelandbrug 2. Also see Appendix A for an overview of photos.

Table 1: Overview of the results.

Sampling strip	Description of grass revetment	% Sod cover (V&W, 2007)	Sod cover (Rijkswaterstaat, 2012)	Root density (V&W, 2007)	Root density (Rijkswaterstaat, 2012)
Zeelandbrug 1	Continuous, tussocky	98	Closed	Moderate	High
Zeelandbrug 2	Continuous, tussocky	95	Closed	Moderate	High
Zeelandbrug 3	Continuous, tussocky	98	Closed	Good	High

### Management and vegetation composition of the grass revetment

According to the district water board, the grass revetment at the wave run-up test location is mown two or three times a year, mowing litter is removed and fertilizer is applied. Based on this type of vegetation management, we would expect a species-poor meadow vegetation (H1, according to V&W, 2007).

The grass revetment contained species characteristic for species-poor meadows (VTV grassland classification H1) such as Couch grass (*Elytrigia repens*, Dutch: Kweek) and Perennial ryegrass (*Lolium perenne*, Dutch: Engels raaigras) as well as species that are characteristic for less species-poor meadows (VTV grassland classification H2), such as Red fescue (*Festuca rubra*, Dutch: Roodzwenkgras) and Cow parsley (*Anthriscus sylvestris*, Dutch: Fluitenkruid). In all sampling strips, the total forb (Dutch: kruid) cover was less than 10%. Based on the observed species composition, the location can be classified as intermediate between a species-poor meadow (H1 according to V&W, 2007) and a slightly more species-rich meadow (H2, according to V&W, 2007).

### Sod cover

The visually estimated sod cover according to the method of the third assessment round (V&W, 2007) was very high. In the sampling strips Zeelandbrug 1 and Zeelandbrug 3, the estimated sod cover was 98%. In the sampling strip Zeelandbrug

2, the estimated sod cover was 95%. According to the method of the prolonged third assessment round (Rijkswaterstaat, 2012), sod cover was characterised as closed in all three sampling strips.

### Root density

The estimated root density according to the gouge auger method of the third assessment round (V&W, 2007) was classified as moderate at the sampling strips Zeelandbrug 1 (Figure 3) and Zeelandbrug 2 (Figure 4). At sampling strip Zeelandbrug 3 (Figure 5) the root density was classified as good. According to the spade method of the prolonged third assessment round (Rijkswaterstaat, 2012), the root density of all three sites was classified as closed.

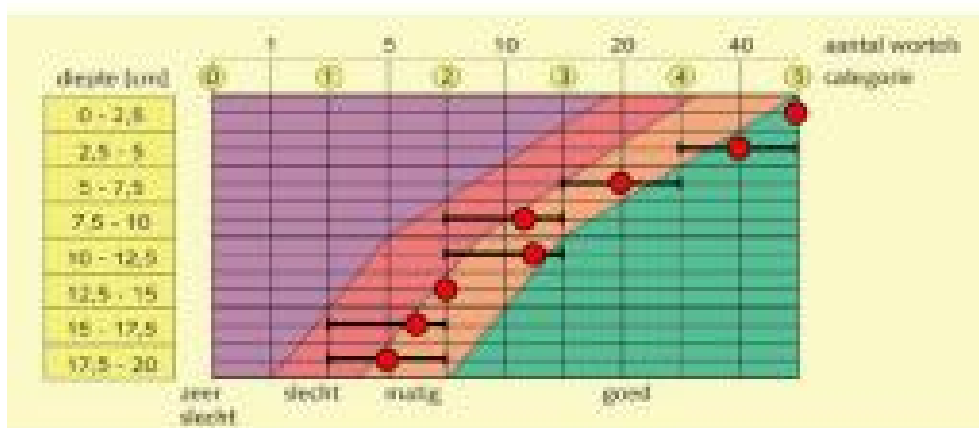


Figure 3: Root density graph for sampling strip Zeelandbrug 1. Red dots indicate the average score ( $n = 4$ ). The black lines indicate minimum and maximum scores. The root density for this site is classified as 'moderate'.

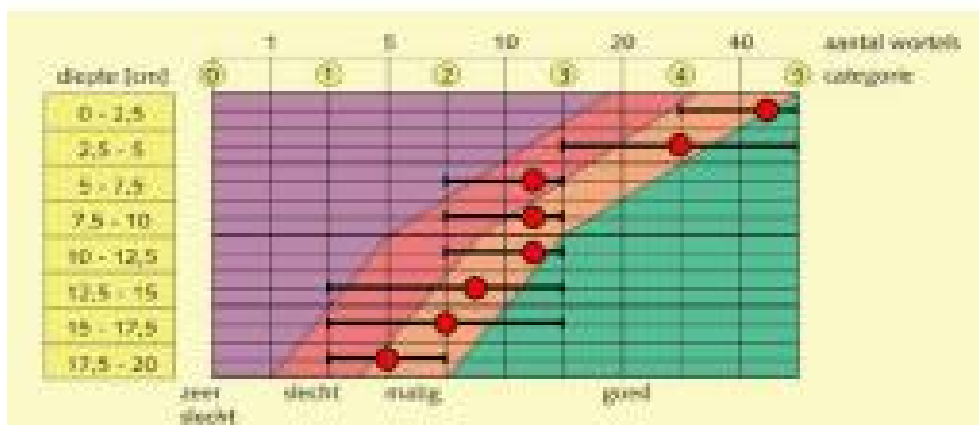


Figure 4: Root density graph for sampling strip Zeelandbrug 2. Red dots indicate the average score ( $n = 4$ ). The black lines indicate minimum and maximum scores. The root density for this site is classified as 'moderate'.



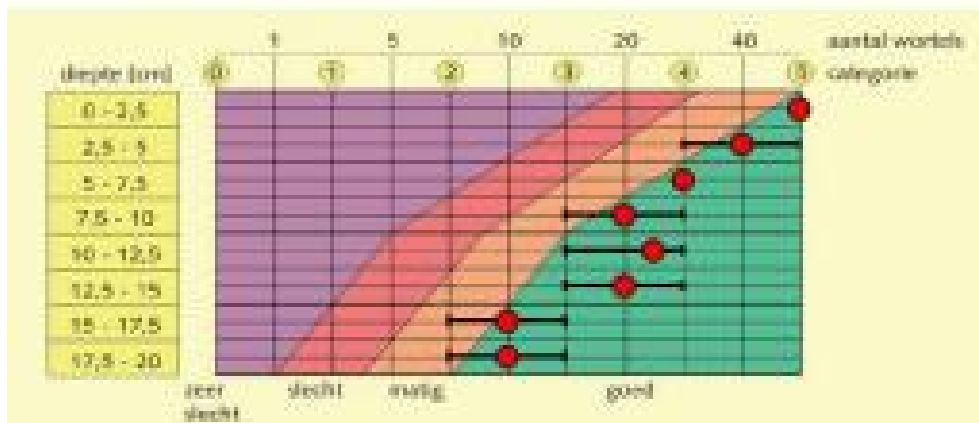


Figure 5: Root density graph for sampling strip Zeelandbrug 3. Red dots indicate the average score ( $n = 4$ ). The black lines indicate minimum and maximum scores. The root density for this site is classified as 'good'.

### Conclusions

Although the measurements were performed on the visually weakest spots, the general conclusion is that the grass revetment at the test location is of good quality. According to the methods as described in V&W (2007), the sampling site Zeelandbrug 3 was of better quality (high root density) than the sampling sites Zeelandbrug 1 and 2 (moderate root density). According to the methods as described in Rijkswaterstaat (2012), all sampling strips have an equally good quality (closed sod).

### References

- Rijkswaterstaat, 2012. Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde. Ministry of Infrastructure and the Environment (I&M). URL: [http://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/31422/handreiking\\_toetsen\\_grasbekledingen\\_op\\_dijken\\_tbv\\_verlengde\\_derde\\_toetsronde.pdf](http://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/31422/handreiking_toetsen_grasbekledingen_op_dijken_tbv_verlengde_derde_toetsronde.pdf)
- V&W, 2007. Dutch Safety Assessment Regulation (Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de derde toetsronde 2006 – 2011). Ministry of Transport and Infrastructure (V&W). URL: <http://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/5259/vtv2006.pdf>

**Appendix A: photos taken at the test location on 14 January 2014**



*Test strip 1, overview*



*Test strip 1, detail*



*Sampling strip Zeelandbrug 1, overview*



*Sampling strip Zeelandbrug 1, detail*

DATE  
February 18, 2014

PAGE  
8 of 16



Sampling strip Zeelandbrug 1, root density



Test strip 2, overview with left mowing litter on the lower part of the test strip



*Test strip 2, detail of left mowing litter*



*Sampling strip Zeelandbrug 2, overview*

DATE  
February 18, 2014

PAGE  
10 of 16



*Sampling strip Zeelandbrug 2: left mowing litter on the sampling site*



*Sampling strip Zeelandbrug 2, detail*



Sampling strip Zeelandbrug 2, root density (space method)



Test strip 3, overview

DATE  
February 18, 2014

PAGE  
12 of 16



*Test strip J, detail*



*Sampling strip Zeelandbrug 3, detail*





*Sampling strip Zeelandbrug 3, root density (spade method)*

DATE  
February 18, 2014

PAGE  
13 of 16

## Appendix B: Vegetation

Table B1: Explanation of symbols used in the vegetation relevés below (Tables B2-B4).

Symbol	% cover (visual estimation)	Abundance (estimated # of individual plants)
r	≤5%	1 individual, 'rare'
+	≤5%	2-5 individuals, 'present'
1	≤5%	6-50 individuals, 'clearly present'
2m	≤5%	>50 individuals, 'strongly present'
2a	5% - 15%	-
2b	16% - 25%	-
3	26% - 50%	-
4	51% - 75%	-
5	76% - 100%	-

Table B2: Vegetation relevé of sampling strip Zeelandbrug 1. See Table B1 for explanation of cover symbols.

	Scientific name	Dutch name	Cover
Grasses	<i>Agrostis stolonifera</i>	Troostgras	2b
	<i>Dactylis glomerata</i>	Kroonpauze	2m
	<i>Festuca ovina</i>	Rietvengras	2m
	<i>Festuca rubra</i>	Roodvengras	3
	<i>Lolium perenne</i>	Engels ruzigras	2a
Forbs (Dutch: kruiden)	<i>Allium vineale</i>	Kruislook	+
	<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>	Ploetenkruid	+
	<i>Cerastium fontanum</i>	Groene hoornkluis	+
	<i>Cyanus arvensis</i>	Akkerwinde	+
	<i>Crepis capillaris</i>	Klein sterretje	+
	<i>Geranium molle</i>	Zachte ooivarenbek	+
	<i>Ranunculus repens</i>	Kruipende boterbloem	+
	<i>Ranunculus acris</i>	Veldzuring	+
	<i>Sanicula oleracea</i>	Klein kruiskruid	+
	<i>Trifolium pratense</i>	Rode klaver	+
	<i>Trifolium repens</i>	Witte klaver	+
	<i>Urtica dioica</i>	Grote brandnetel	+
Mosses	<i>Eclipta palustris</i>	Fijn liddermos	+
	<i>Brachythecium albidum</i>	Blaak dikkopmos	1
Number of species			19
Total % cover			98
% Grass cover			90
% Forb cover			<10

Table B3: Vegetation relevé of sampling strip Zeelandbrug 2. See Table B1 for explanation of cover symbols.

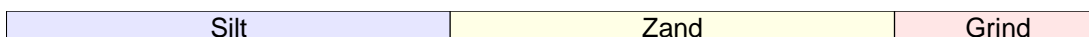
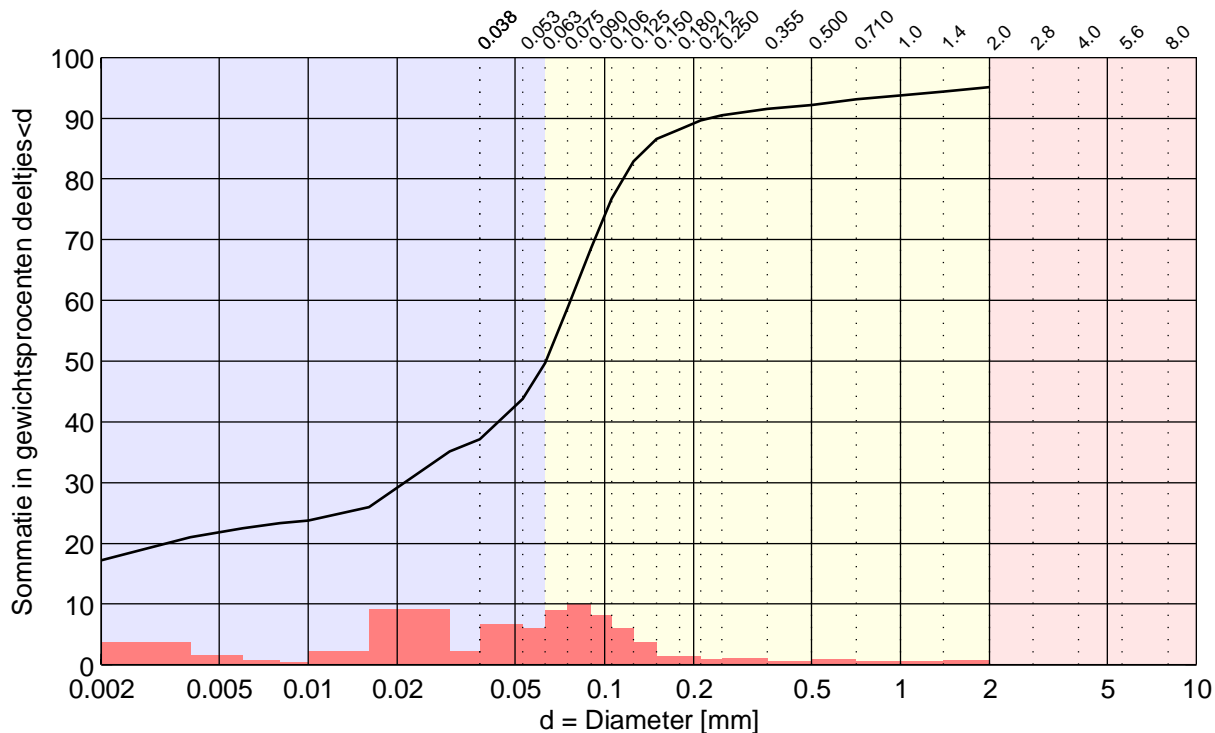
DATE  
February 18, 2014  
  
PAGE  
15 of 16

	Scientific name	Dutch name	Cover
Grasses	<i>Alopecurus pratensis</i>	Roedingras	1
	<i>Athyrium filix-femina</i>	Gevoest ooiegras	+
	<i>Dactylis glomerata</i>	Koekoek	2a
	<i>Festuca ovina</i>	Rietooiegras	1
	<i>Festuca rubra</i>	Roodooiegras	5
	<i>Lolium perenne</i>	Engels raaigras	2a
Forbs (Dutch: kruiden)	<i>Allium vineale</i>	Knaallook	+
	<i>Athyrium filix-femina</i>	Plattekruis	+
	<i>Cirsium arvense</i>	Spitsloof	1
	<i>Geranium macranthum</i>	Zachte ooiegraas	+
	<i>Ranunculus repens</i>	Kruipende boterbloem	+
	<i>Ranunculus acris</i>	Veldzuring	+
	<i>Sonchus oleraceus</i>	Klein kruiskruid	+
	<i>Taraxacum officinale</i>	Witte klaver	1
	<i>Vicia sativa subsp. sativa</i>	Voederwikkeltje	+
	Mosses	<i>Eurocladonia praelongata</i>	Pijn laddermos
Number of species			18
Total % cover			95
% Grass cover			90
% Forb cover			< 10

Table B4: Vegetation relevé of sampling strip Zeelandbrug 3. See Table B1 for explanation of cover symbols.

	Scientific name	Dutch name	Cover
Grasses	<i>Agrostis albastris</i>	Fluïtgras	3
	<i>Dactylis glomerata</i>	Kroongras	2b
	<i>Elytrigia repens</i>	Kweek	2m
	<i>Festuca arvensis</i>	Rietvengras	1
	<i>Festuca ovina</i>	Roodvengras	3
	<i>Lolium perenne</i>	Engel gras	2m
Forbs (Dutch: kniiden)	<i>Allium vineale</i>	Kraaiok	+
	<i>Anthriscus sylvestris</i>	Fluiterknid	r
	<i>Bellis perennis</i>	Maddiefje	1
	<i>Cerastium fontanum</i>	Gewone hoornbloem	1
	<i>Cerastium diurnum</i>	Siphladia oerkransbek	r
	<i>Ranunculus repens</i>	Kruipende boterbloem	r
	<i>Ranunculus bulbosus</i>	Kraalboterbloem	+
	<i>Veronica anagallis-aurea</i>	Vanderrilde	r
Mosses	<i>Bryophytum album</i>	Bleek dikopmos	2a
Number of species			13
Total % cover			98
% Grass cover			90
% Forb cover			<10

## F. Bodemonderzoek



Kengetal	Waarde
$d_{10}$ [mm]	-
$d_{15}$ [mm]	0.001
$d_{50}$ [mm]	0.063
$d_{60}$ [mm]	0.077
$d_{60}/d_{10}$ [-]	-
$d_{90}/d_{10}$ [-]	-
$C_c$ [-]	-
$M_{63}$ [ $\mu\text{m}$ ]	86
$M_{2000}$ [mm]	-
$D_m$ [mm]	0.081
$F_m$ [-]	0.46
$U$ [-]	-

Legenda	Boring	Monster	Diepte t.o.v. ma..
—	Zeelandbrug	1	0 - 0

Fijne fractie		Zandzeving: 100.98 g				Grind fractie: 0...	
d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%
-	-	-	-	0.180	88.1	-	-
0.001	14.4	0.038	37.1	0.212	89.6	2.8	-
0.002	17.2	0.053	43.8	0.250	90.5	4.0	-
0.004	21.0	0.063	49.7	0.355	91.5	5.6	-
0.006	22.5	0.075	58.7	0.500	92.2	8.0	-
0.008	23.3	0.090	68.6	0.710	93.1	11.2	-
0.010	23.8	0.106	76.8	1.0	93.7	16.0	-
0.016	26.0	0.125	82.9	1.4	94.4	31.5	-
0.030	35.1	0.150	86.6	2.0	95.1	63.0	-

**Beschrijving proefuitvoering**  
 Beschrijving volgens NEN5104: Klei, uiterst siltig, zwak grin..  
 Volumieke massa  $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ . Aangenomen waarde  
 Methode: Deltares  
 Bepaling fijne fractie: sedigraph  
 Bepaling grove fractie: droge zieving

**Commentaar**  
 Analyse uitgevoerd door: Deltares  
 Boormethode: Overige  
 Mengmonster: nee



Postbus 177, 2600 MH Delft  
 Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200  
 Telefax 015 261 0821

Homepage:  
[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)

datum  
 2013-11-28

get.  
 morel\_s

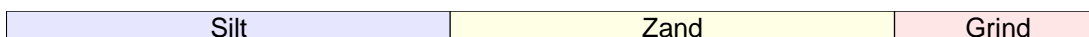
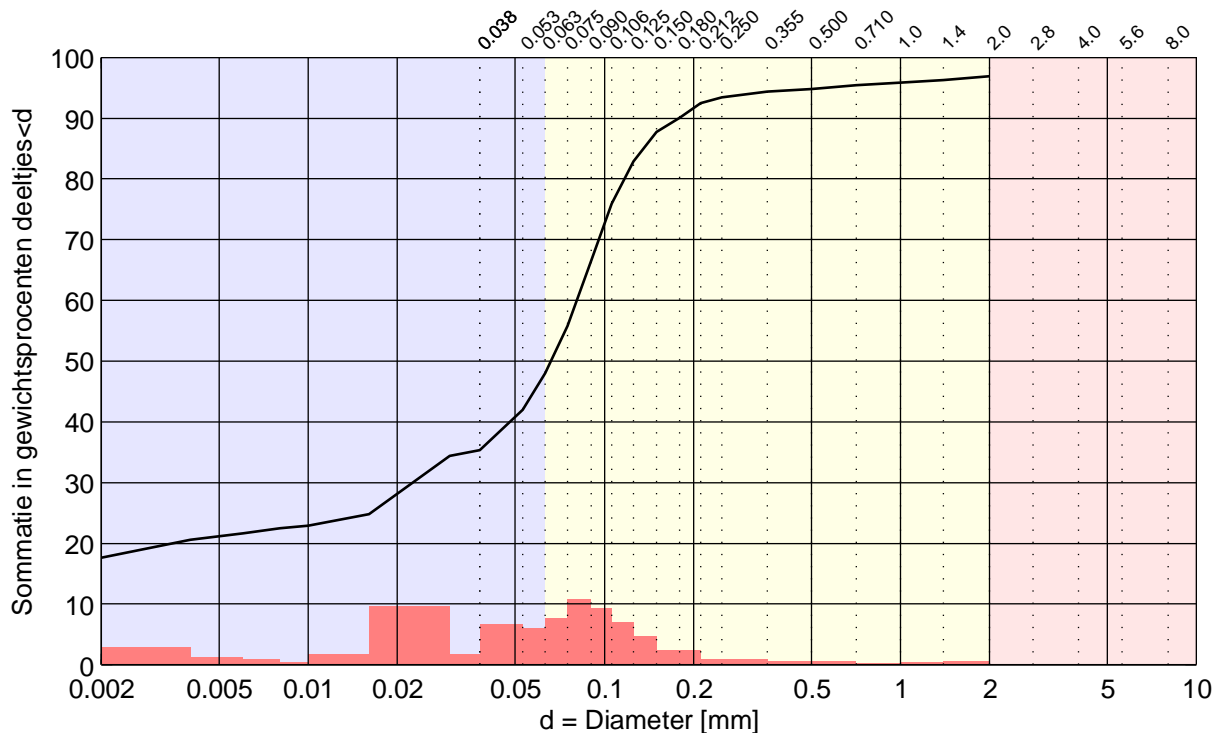
Golfploopproeven Zeeland  
 karakterisatie zand  
**KORRELVERDELING**

project  
 1207811.005

gez.  
 \*)

bijlage  
 K1

form.  
 A4



Kengetal	Waarde
$d_{10}$ [mm]	-
$d_{15}$ [mm]	0.001
$d_{50}$ [mm]	0.066
$d_{60}$ [mm]	0.081
$d_{60}/d_{10}$ [-]	-
$d_{90}/d_{10}$ [-]	-
$C_c$ [-]	-
$M_{63}$ [ $\mu\text{m}$ ]	89
$M_{2000}$ [mm]	-
$D_m$ [mm]	0.076
$F_m$ [-]	0.36
$U$ [-]	-

Legenda	Boring	Monster	Diepte t.o.v. ma..
—	Zeelandbrug	2	0 - 0

Fijne fractie		Zandzeving: 100.42 g				Grind fractie: 0...	
d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%
-	-	-	-	0.180	90.1	-	-
0.001	14.8	0.038	35.3	0.212	92.5	2.8	-
0.002	17.6	0.053	42.0	0.250	93.5	4.0	-
0.004	20.6	0.063	48.0	0.355	94.3	5.6	-
0.006	21.7	0.075	55.8	0.500	94.9	8.0	-
0.008	22.5	0.090	66.6	0.710	95.5	11.2	-
0.010	22.9	0.106	76.0	1.0	95.8	16.0	-
0.016	24.8	0.125	82.9	1.4	96.3	31.5	-
0.030	34.4	0.150	87.7	2.0	96.9	63.0	-

**Beschrijving proefuitvoering**  
 Beschrijving volgens NEN5104: Klei, zwak zandig, zwak grin..  
 Volumieke massa  $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ . Aangenomen waarde  
 Methode: Deltares  
 Bepaling fijne fractie: sedigraph  
 Bepaling grove fractie: droge zieving

**Commentaar**  
 Analyse uitgevoerd door: Deltares  
 Boormethode: Overige  
 Mengmonster: nee



Postbus 177, 2600 MH Delft  
 Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200  
 Telefax 015 261 0821

Homepage:  
[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)

datum  
 2013-11-28

get.  
 morel\_s

Golfploopproeven Zeeland  
 karakterisatie zand  
**KORRELVERDELING**

project  
 1207811.005

gez.  
 \*)

bijlage  
 K2

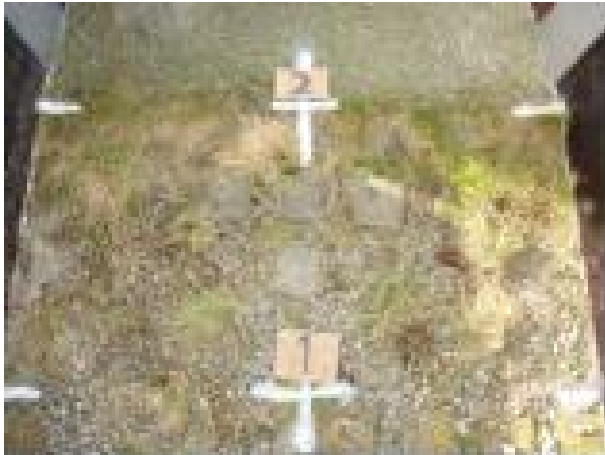
form.  
 A4

## **G. Ontwikkeling erosie en schade (foto's)**

Deze bijlage geeft door middel van een fot verslag een indruk van de ontwikkeling van de erosie. Niet alle tijdens de proeven gemaakte foto's zijn in deze bijlage opgenomen. De reden hiervoor is dat er bij veel proeven geen significante schade is ontstaan.



Teststrook 1



Figuur T1-1: Nulsituatie, overgang Hydroblocks naar asfalt



Figuur T1-2: proef 1-0 na 19:31 uur, overgang Hydro Blocks naar asfalt, de naden tussen de betonblokken schoongespoeld



Figuur T1-3: Nulsituatie, overgang asfalt naar gras



Figuur T1-4: proef1-0 na 19:31 uur, overgang asfalt naar gras

FACTUAL REPORT: GOLFOPLOOPPROEVEN NOORD-BEVELAND



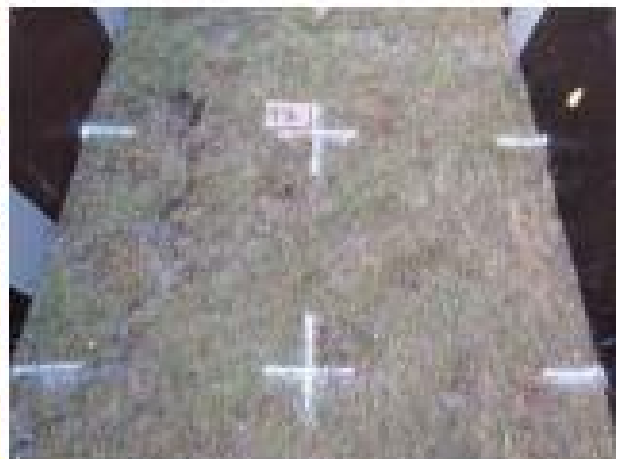
Figuur T1-3: Nulsituatie, vak 9



Figuur T1-6: proef 1-0 na 19:31 uur, vak 9



Figuur T1-7: Nulsituatie, vak 13



Figuur T1-8: 19:31 uur, vak 13 met de ingangen van het mollengangenstelsel zichtbaar



Figuur T1-9: Nulsituatie, vak 14



Figuur T1-10: 19:31 uur, vak 14 met de ingangen van het mollengangenstelsel zichtbaar

---

FACTUAL REPORT: GOLFOPLOOPPROEVEN NOORD-BEVELAND



Figuur T1-11: Nulsituatie, vak 15

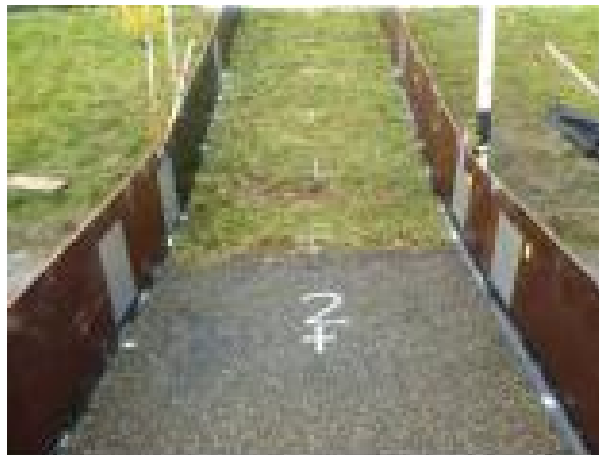


Figuur T1-12: 19:31 uur, vak 15

Teststrook 2



Figuur T2-1: Nulsituatie, overzicht foto teststrook 2 buitentalud



Figuur T2-2: proef 1-0 afgerond, overzicht foto teststrook 2 buitentalud



Figuur T2-3: Nulsituatie, overzicht foto teststrook 2 binnentalud



Figuur T2-4: proef 1-0 afgerond, overzicht foto teststrook 2 binnentalud

---

FACTUAL REPORT: GOLFOPLOPPROEVEN NOORD-BEVELAND



Figuur T2-5: Nulsituatie, kalig graszode in vak 4

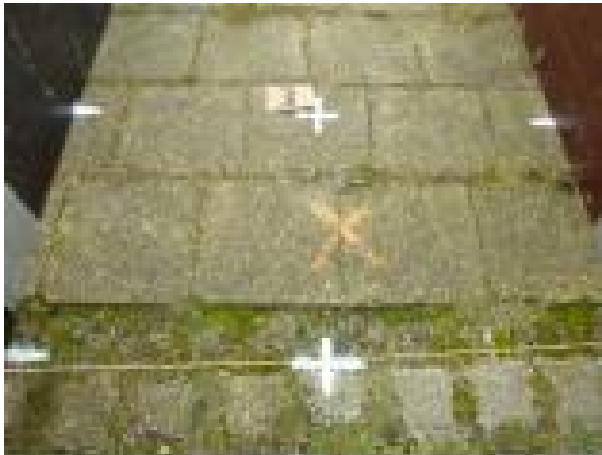


Figuur T2-6: proef 1-0 afgerond, enkele cm afgesleten in vak 4



Figuur T2-7: proef 1-0 afgerond, detail slijtage in vak 4

Teststrook 3



Figuur T3-1: Nulsituatie, de overgang tussen de Hydroblocks op het buitentalud en de berm



Figuur T3-2: proef 3-0 22:52 uur, afgerond, de overgang tussen de Hydroblocks op het buitentalud en de berm



Figuur T3-3: Nulsituatie, de overgang tussen de berm en het grasmatt



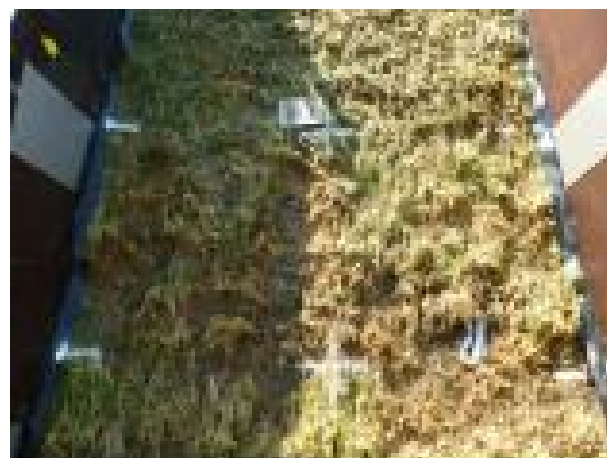
Figuur T3-4: proef 3-0 22:52 uur, afgerond, de overgang tussen de berm en het grasmatt

---

FACTUAL REPORT: GOLFLOOPPROEVEN NOORD-BEVELAND



Figuur T3-5: Nulsituatie, vak 10



Figuur T3-6: proef 3-0 22:52 uur, afgerond, vak 10

---

FACTUAL REPORT: GOLFOPLOOPPROEVEN NOORD-BEVELAND

Teststrook 4



Figuur T4-1: Nulsituatie, vak 9



Figuur T4-2: proef 4-0 8:00 uur, afgerond, vak 9



Figuur T4-3: Nulsituatie, vak 10



Figuur T4-4: proef 4-0 8:00 uur, afgerond, vak 10



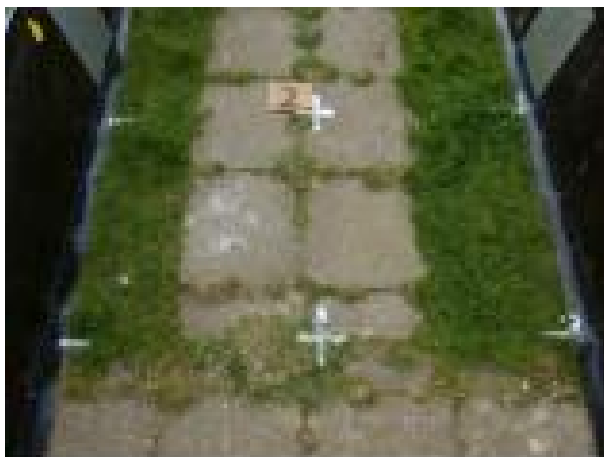
Figuur T4-5: Nulsituatie, vak 11



Figuur T4-6: proef 4-0 8:00 uur, afgerond, vak 11



Teststrook 5



Figuur T5-1: Nulsituatie, vak 2



Figuur T5-2: proef 5-0 5:30 uur, afgerond, vak 2



Figuur T5-3: proef 5-0 5:30 uur, buitentelud



Figuur T5-4: proef 5-0 5:30 uur, binnentalud met losse traptreden aan de teen

## H. Ontwikkeling schade (3D-laserscanner)

---

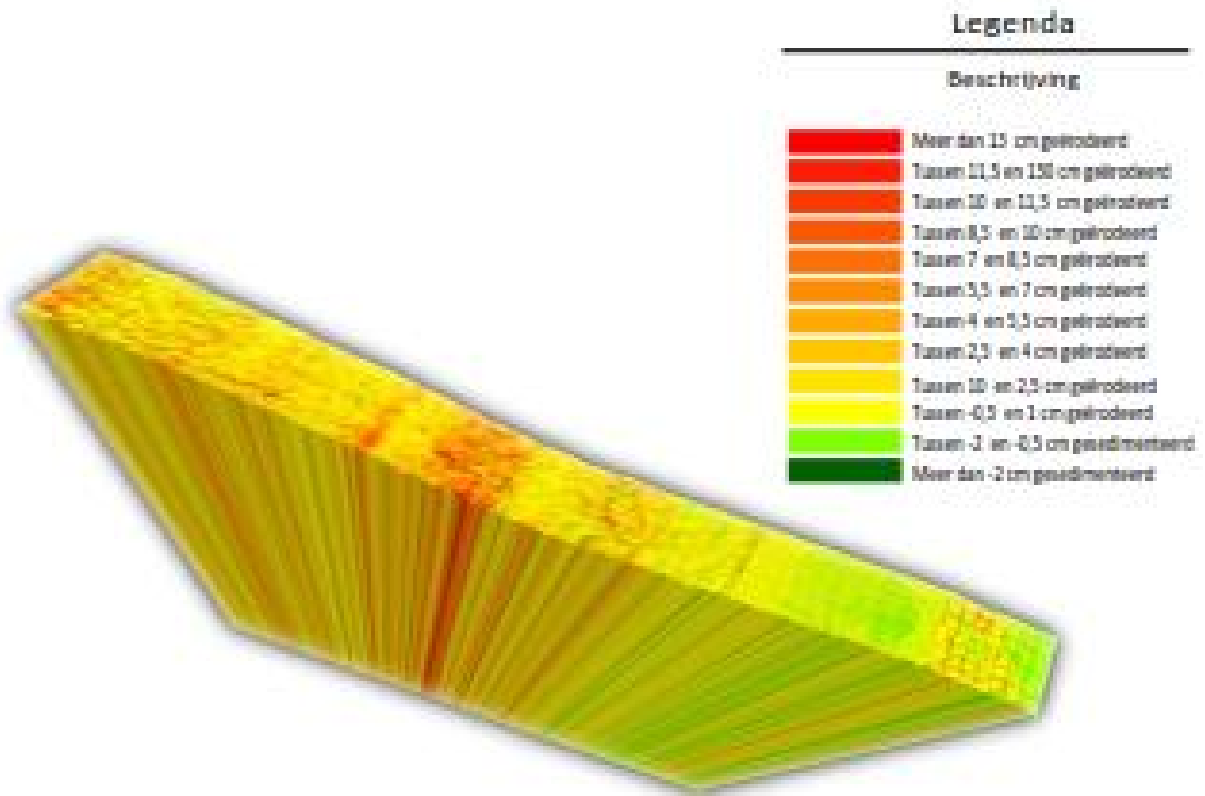
FACTUAL REPORT: GOLFOPLOOPPROEVEN NOORD-BEVELAND

Teststrook 1

Tabel G-1: Overzicht van de 3D scans op teststrook 1

Datum	Tijd	Rechtop, inclino aan	Ondersteboven, inclino uit	Gebruikt bij uitwerking
12-2-2014	14:42	X		X
12-2-2014	15:26		X	
12-2-2014	15:32		X	X
12-2-2014	17:13		X	
13-2-2014	12:55		X	
13-2-2014	14:49		X	
14-2-2014	10:18		X	
17-2-2014	10:25		X	
17-2-2014	18:12		X	
18-2-2014	15:53		X	
19-2-2014	15:50		X	
19-2-2014	16:04		X	
20-2-2014	11:45		X	
21-2-2014	8:55		X	
24-2-2014	9:05		X	X

Voorafgaand aan de proeven, tijdens de proeven en na de proeven zijn er 3D-scans gemaakt. In verband met de beperkte erosie is er voor deze teststrook gekozen om enkel het verschil tussen de nul- en de eindsituatie te tonen (zie onderstaand figuur).



Figuur G-1: De opgetreden erosie tijdens de proeven op teststrook 1

---

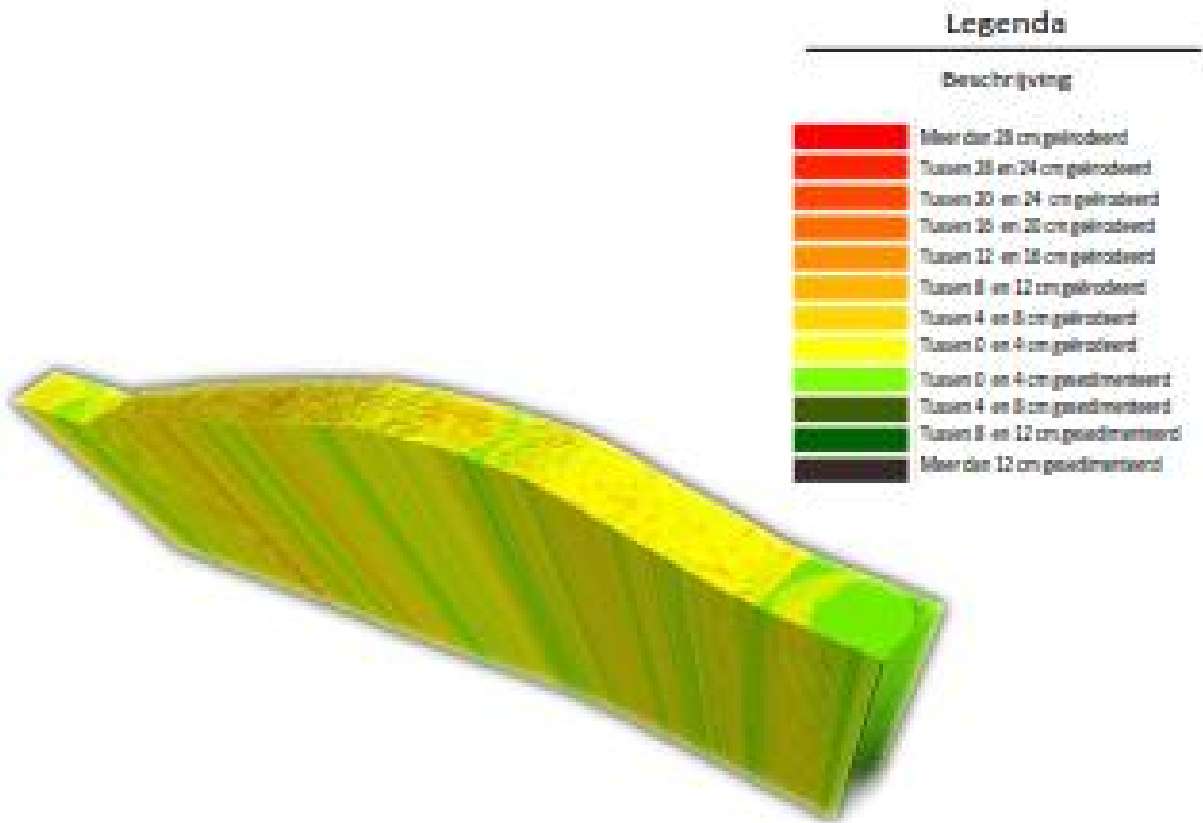
FACTUAL REPORT: GOLFOPLOOPPROEVEN NOORD-BEVELAND

Teststrook 2

Tabel G-2: Overzicht van de 3D scans op teststrook 2

Datum	Tijd	Rechtop, inclino aan	Ondersteboven, inclino uit	Gebruikt bij uitwerking
25-2-2014	12:54	X		X
25-2-2014	13:10	X		X
25-2-2014	13:22	X		X
25-2-2014	14:45		X	
25-2-2014	16:26		X	
26-2-2014	14:16		X	
27-2-2014	7:45		X	
28-2-2014	8:50		X	
28-2-2014	9:00	X		
28-2-2014	9:10	X		X
28-2-2014	9:20	X		X
28-2-2014	9:30	X		X

Voorafgaand aan de proeven, tijdens de proeven en na de proeven zijn er 3D-scans gemaakt. In onderstaand figuur is het verschil tussen de nul- en de eindsituatie getoond.



Figuur G-2: De opgetreden erosie tijdens de proeven op teststrook 2. Links van de afbeelding is de binnen teen en rechts de buitenteen.

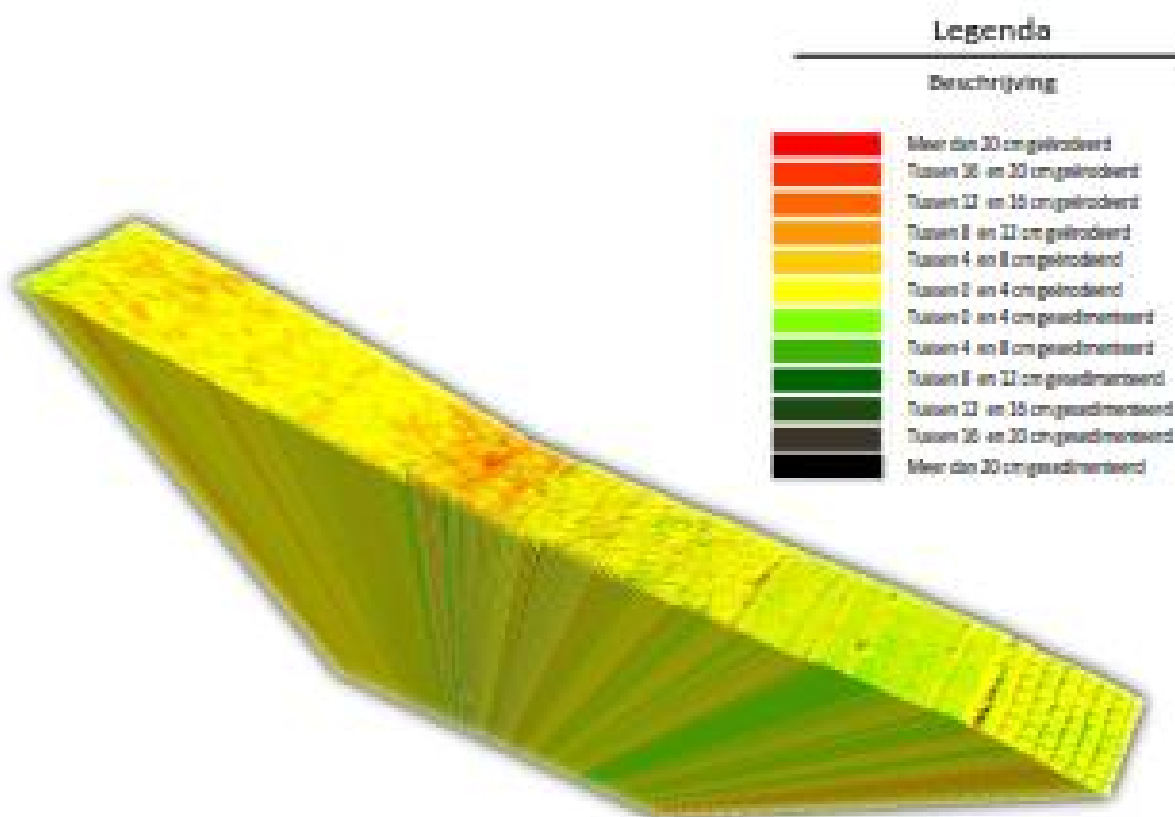
FACTUAL REPORT: GOLFOPLOOPPROEVEN NOORD-BEVELAND

Teststrook 3

Tabel G-3: Overzicht van de 3D scans op teststrook 3

Datum	Tijd	Rechtop, inclino aan	Ondersteboven, inclino uit	Gebruikt bij uitwerking
3-3-2014	14:04	X		X
3-3-2014	14:28		X	X
3-3-2014	16:09		X	
4-3-2014	7:49		X	
4-3-2014	11:00		X	
5-3-2014	8:15		X	
5-3-2014	13:30		X	
6-3-2014	8:40		X	
7-3-2014	8:00		X	
10-3-2014	8:36		X	
10-3-2014	14:43		X	X

Voorafgaand aan de proeven, tijdens de proeven en na de proeven zijn er 3D-scans gemaakt. In onderstaand figuur is het verschil tussen de nul- en de eindsituatie getoond.



Figuur G-3: De opgetreden erosie tijdens de proeven op teststrook 3

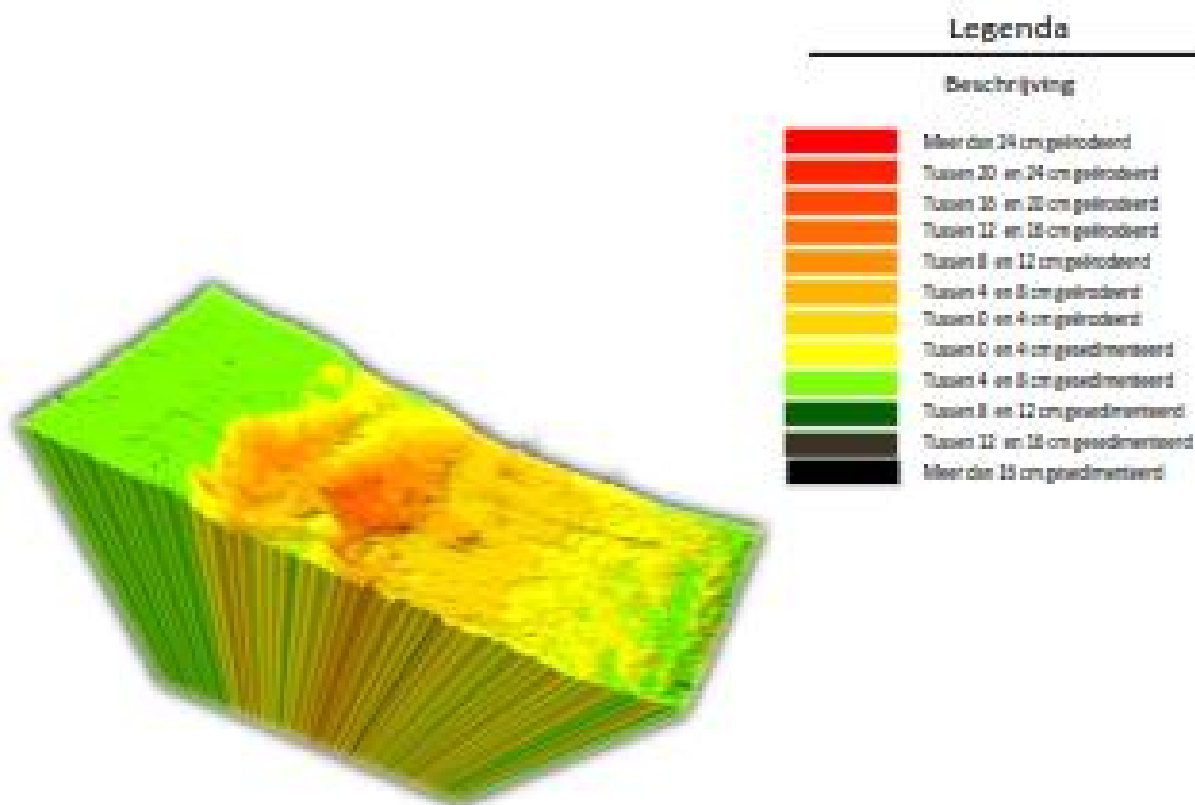
FACTUAL REPORT: GOLFOPLOPPROEVEN NOORD-BEVELAND

Teststrook 4

Tabel G-4: Overzicht van de 3D scans op teststrook 4

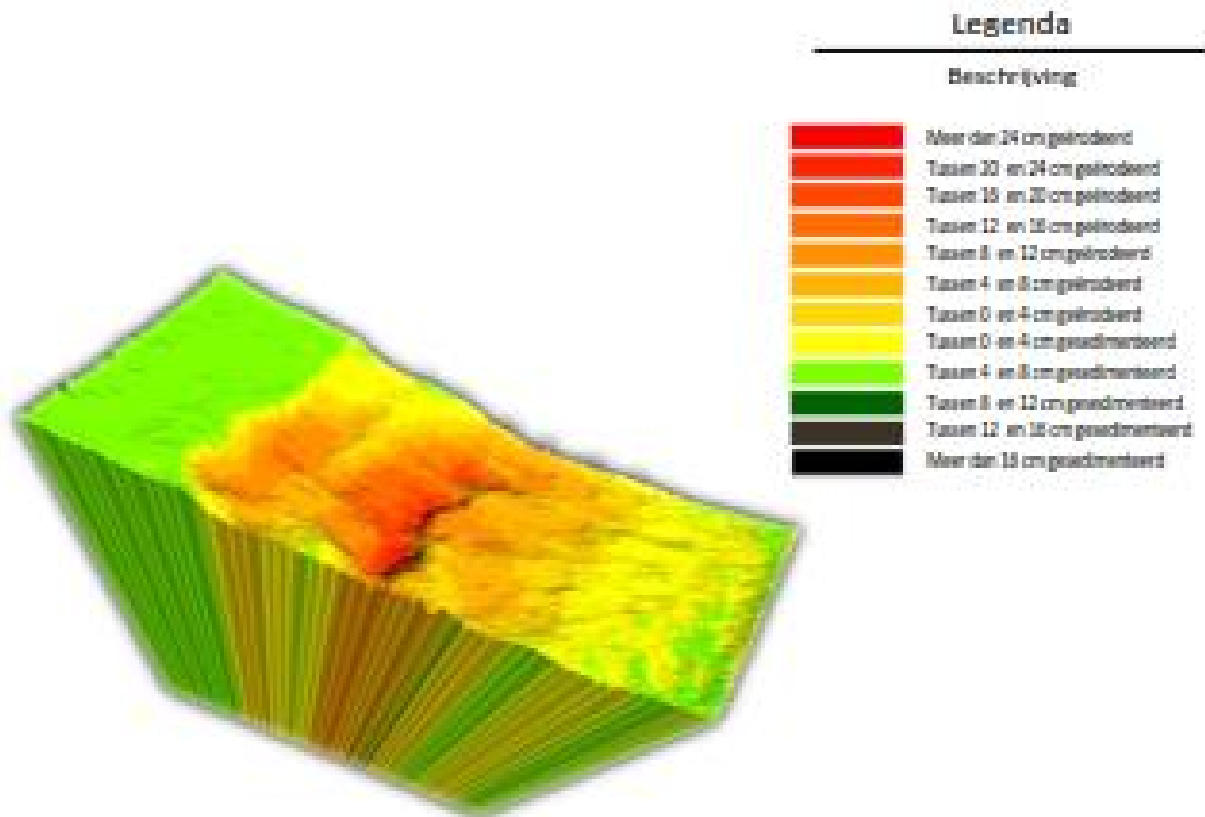
Datum	Tijd	Rechtop, inclino aan	Ondersteboven, inclino uit	Gebruikt bij uitwerking
11-3-2014	8:11		X	
11-3-2014	8:30		X	
11-3-2014	8:48		X	
11-3-2014	9:06	X		X
11-3-2014	14:16	X		X
12-3-2014	8:42	X		X
12-3-2014	9:12	X		X

Voorafgaand aan de proeven, tijdens de proeven en na de proeven zijn er 3D-scans gemaakt. In onderstaande figuur is de opgetreden erosie na 4 uur en na 8 uur proeven getoond.



Figuur G-4: De opgetreden erosie op teststrook 4 tijdens proef 4-0 na 4:00 uur. Hierbij is alleen het traject tussen de vakken 9, 10 en 11, waar dus initiële schade is aangebracht, beschouwd.





Figuur G-5: De opgetreden erosie tijdens de proeven op teststrook 4. Hierbij is alleen het traject tussen de vakken 9, 10 en 11, waar dus initiële schade is aangebracht, beschouwd.

---

FACTUAL REPORT: GOLFOPLOOPPROEVEN NOORD-BEVELAND

Teststrook 5

Tabel G-5: Overzicht van de 3D scans op teststrook 5

Datum	Tijd	Rechtop, inclino aan	Ondersteboven, inclino uit	Gebruikt bij uitwerking
17-3-2014	17:01	X		X
17-3-2014	17:14	X		X
17-3-2014	17:36	X		X
18-3-2014	9:31		X	
18-3-2014	9:52	X		
19-3-2014	11:03	X		X
19-3-2014	11:22	X		X
20-3-2014	9:54	X		X
20-3-2014	10:07	X		X
20-3-2014	10:42	X		X

Voor deze teststrook is een trap beproefd. De losgeraakte treden zorgen er echter voor dat het moeilijk is om met een 3D scan vast te leggen hoe de erosie onder de losgeraakte treden ontwikkeld. Hierdoor is er gekozen om voor deze teststrook niet een ontwikkeling van de erosie te tonen met behulp van de verkregen scans.

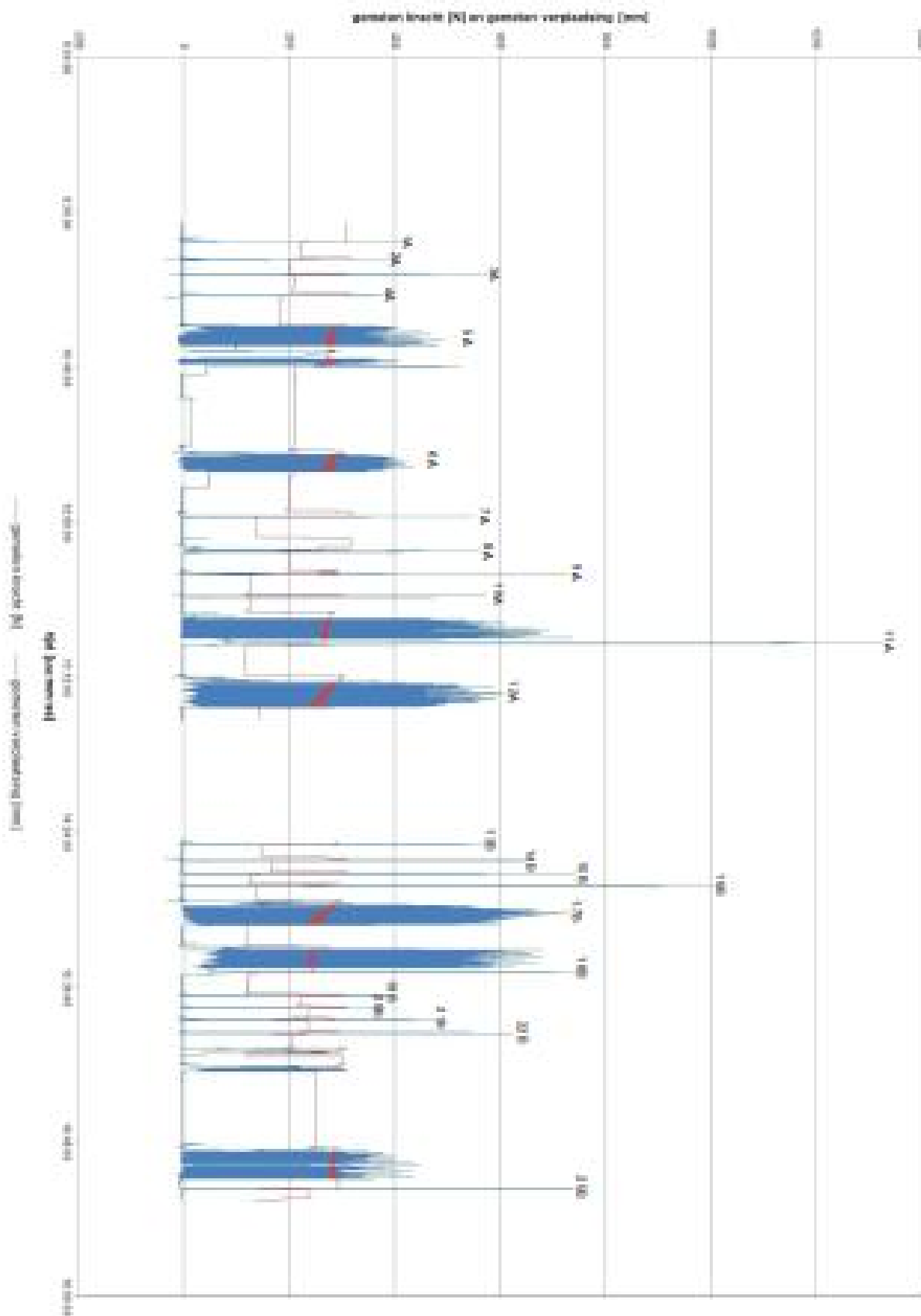
## I. Meetresultaten grastrekproef

proef	strook	locatie	aantal zijden los	aantal iteraties	F <sub>max</sub> [kgf]	F <sub>max</sub> [N]*	lengte zode [cm]	gemiddelde dikte zode [cm]	opmerkingen
1	A	talud	4	1	41	410	15	7,4	
2	A	talud	4	1	40	390	15	4,2	
3	A	talud	4	1	58	580	15	6,8	
4	A	talud	4	1	39	380	15	5,4	
5	A	talud	4	120	30	-	15	8,0	maximale uittrekkraft is 52,4 kgf
6	A	talud	4	65	35	-	15	8,5	maximale uittrekkraft is 35 kgf (vermoeiingsbelasting)
7	A	teen	2	1	56	550	25	7,1	
8	A	teen	2	1	57	560	25	7,4	
9	A	berm	2	1	72	720	18	6,6	
10	A	berm	2	1	58	580	20	4,5	
11	A	berm	2	100	45	-	20	11,5	maximale uittrekkraft is 129 kgf
12	A	berm	2	96	45	-	18	8,5	maximale uittrekkraft is 45 kgf (vermoeiingsbelasting)
13	B	talud	2	1	57	560	20	4,2	
14	B	talud	2	1	65	640	19	5,8	
15	B	talud	2	1	74	740	24	7,7	
16	B	talud	2	1	100	1000	19	6,0	
17	B	talud	2	97	50	-	20	6,4	maximale uittrekkraft is 50 kgf (vermoeiingsbelasting)
18	B	talud	2	100	50	-	18	6,6	maximale uittrekkraft is 74 kgf
19	B	berm	4	1	39	380	15	6,8	
20	B	berm	4	1	38	380	15	7,0	
21	B	berm	4	1	49	480	15	6,8	
22	B	berm	4	1	67	640	15	8,0	
23	B	berm	4	100	20	-	15	-	vermoeiingsproef mislukt
24	B	berm	4	100	30	-	15	-	vermoeiingsproef mislukt
25	B	berm	4	100	30	-	15	7,9	maximale uittrekkraft is 74 kgf

\*gemeten met krachtmeetsensor Deltares

NB: Bij proeven 23B en 24B is de herhalingsproef mislukt omdat al bij de eerste keer belasten de graszode uit de grasmat werd getrokken. Om die reden is er nog een extra proef (25B) uitgevoerd.

In onderstaand figuur zijn de met de apparatuur van Deltares (krachtmeet- en verplaatsingssensor) gemeten krachten [N] en verplaatsingen [mm] bij zowel de snelle proef als vermoeiingsproeven weergegeven.



## J. Aansturing en werking golfoploopsimulator

De schuifladeklep van de nieuwe golfoploopsimulator gaat ongeveer in 0,5 s open en sluit nog sneller. Dit is beduidend sneller dan de werking van de golfoverslagsimulator, waarbij de vlinderklep ongeveer in 2 seconden opent en sluit. Wat betreft het aansturen van de schuifladeklep hoeft er niet direct rekening te worden gehouden met de invloed van het openen en sluiten op het oploopp proces.

Uit de analyse van de gemeten snelheden bij de calibratie van de golfoploopsimulator bij de Vossemeerdijk, begin januari, volgt dat een vulhoogte van 0,5-1,0 m ongeveer in 1 s leeg is. Dit loopt op tot 2,0-2,5 s voor vulhoogten tussen de 3 en 7 m. Dus ook een “volle bak” is in 2,5 s leeg. Het water stroomt daarna het talud op en ook weer naar beneden. Bij vulhoogten tot 2,5 m is de neerloop binnen 5 s verdwenen. Bij vulhoogten van 3-7 m is dit 6-8 s. Dit betekent dat als een volgende oploop wordt losgelaten, er ongeveer 8 s moet zitten tussen deze en de vorige oploop. Dan zullen de opeenvolgende oplopen en neerlopen elkaar niet in de weg zitten.

Het moet in ieder geval zeker zijn dat alle water weg is voordat de schuifladeklep weer dicht gaat. De volgende functie wordt aangehouden:

sluiten klep na  $2,0 + 0,2 h_v$  (s), waarbij  $h_v$  de vulhoogte is. (1)

Bij een vulhoogte van 1 m wordt de klep na 2,2 s gesloten en bij een vulhoogte van 7 m na 3,4 s.

De doorsnede van de te beproeven dijk is in figuur 1 gegeven. Het hoogteverschil tussen kruin en berm is erg klein, wat inhoudt dat er zeer veel oplopen over de kruin zullen gaan. De bedoeling is om de overgang van benedentalud naar berm, van asphaltberm naar grasberm en van grasberm naar boventalud te beproeven. Dit betekent dat de golfoploopsimulator *beneden* de voorkant van de berm komt te staan. Bij het maken van de stuurfiles is er van uitgegaan dat de opening van de golfoploopsimulator *0,4 m verticaal gemeten* van de voorkant van de berm komt te staan. Langs het talud gemeten zal dit orde 1,5-2,0 m zijn.



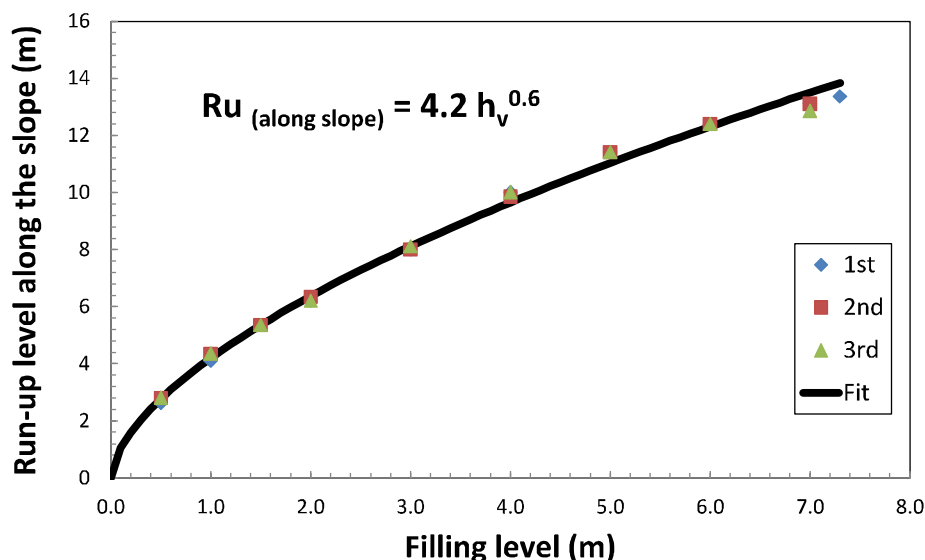
Figuur 1. Doorsnede te beproeven dijk met enkele kenmerken.

Bij de calibratie op de Vossemeerdijk is de relatie vastgelegd tussen de vulhoogte en de oploophoogte. Deze is gegeven in figuur 2. De oploophoogte is hierbij langs het talud gemeten, waarbij het talud gemiddeld 1:2,7 was. De functie die door de punten gaat, kan worden beschreven door:

$$R_{\text{langs het talud}} = 4,2 h_v^{0,6} \quad (2)$$

Voor de oploop als deze verticaal wordt gemeten, wordt de functie:

$$RU_{\text{verticaal}} = 1,46 h_v^{0,6} \quad (3)$$



Figuur 2. Relatie vulhoogte en ophoogte (calibratie Vossemeerdijk)

Bij het samenstellen van de stuurfile moet natuurlijk de vulhoogte worden berekend uit de gewenste ophoogte. De functie wordt dan:

$$h_v = (RU_{\text{verticaal}}/1,46)^{1/0,6} \quad (4)$$

De stuurfiles zullen worden berekend voor een golfhoogte van  $H_s = 2$  m;  $T_p = 5.7$  s en een gemiddeld talud van 1:4. Dit geeft een 2%-golfploophoogte van 4.0 m ten opzichte van de stilwaterlijn. Deze golfconditie is ook vaak aangehouden voor de golfoverslagproeven en kan worden gezien als een soort gemiddelde voor toetsomstandigheden bij zee- en meerdijken.

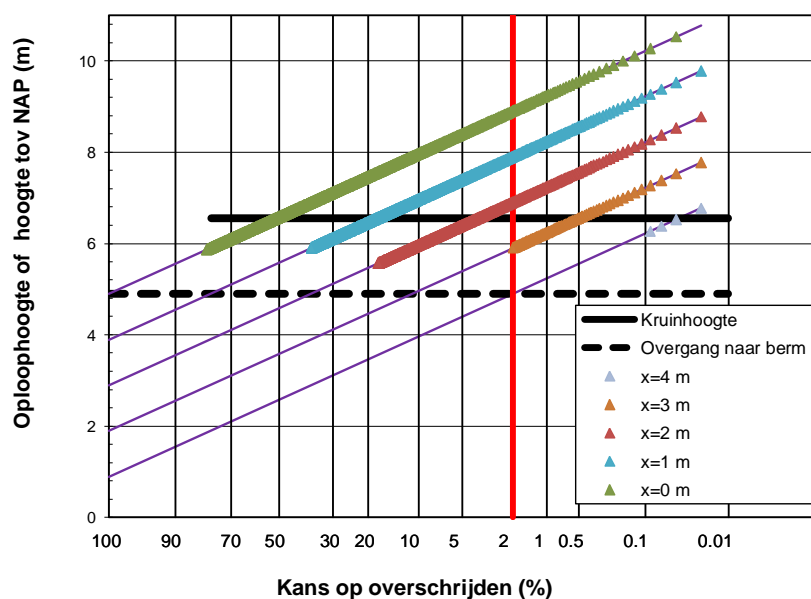
Het profiel van figuur 1 is ook in pc-overslag ingevoerd, met een verlenging van het benedentalud vanaf de kreukelberm van 1:4 (anders wordt een golfhoogte van 2 m niet geaccepteerd). Pc-overslag komt op een 2%-golfploophoogte van 4,09 m en een gemiddeld talud van 1:3,4 (zonder berm, die invloed zit in de  $\gamma_b$ ).

Elke stuurfile gaat uit van deze conditie, maar bij verschillende waterstanden tegen de dijk. De overgang van het benedentalud naar de berm zit op 4.9 m NAP. De golfploopsimulator moet **0,40 m verticaal gemeten beneden de rand van de berm worden gezet**. Bij de berekening van de stuurfile, moet er dus rekening mee worden gehouden dat ook deze 0,4 m moet worden overbrugd om de gewenste ophoogte te halen.

Door uit te gaan van een Rayleigh-verdeling voor de golfploophoogten, kan elke individuele golfploophoogte worden berekend. De aangehouden waterstand bepaalt hoeveel oplopen de voorkant van de berm passeren en hoe hoog de oplopen op het talud komen. Uit eerdere analyses is gevolgd dat na 75% van de ophoogte van een individuele ophoop, de snelheid van het ophoopfront

vrij snel afneemt naar nul. Op de eerste 75% van de oploophoogte is de frontsnelheid vrijwel over het hele traject maximaal. Dit betekent dat golfoplopen die wel de voorkant van de berm passeren, maar al in de laatste 25% van het oplooptraject zijn, een lage frontsnelheid hebben. Deze oplopen hoeven dan ook niet gesimuleerd te worden.

Figuur 3 geeft de Rayleigh-verdeling van de golfoplopen (getrokken lijn) en de te simuleren golfoplopen (markers) voor verschillende aangehouden waterstanden. De horizontale as in de figuur is volgens een Rayleigh-verdeling, waardoor de verdeling zelf een rechte lijn wordt.



Figuur 3. Te simuleren golfoplopen met een duiding van begin berm en kruinhoogte.

In de figuur is ook de voorkant van de berm gegeven (vette gestreepte lijn) en de kruinhoogte (vette getrokken lijn). Duidelijk is te zien dat veel oplopen over de kruin zullen gaan. Dit water mag niet over het binnentalud aflopen en moet via zijdelingse blokkades worden afgebogen en naast de opstelling over het buitentalud weer terug vloeien.

In de figuur is  $x$  de (verticale) afstand tussen de stilwaterlijn en het begin van de berm. Bij een waterstand van  $\approx 0,9$  m NAP komt de 2%-golfoploophoogte precies bij de voorkant van de berm. Er hoeven dan maar 4 oplopen te worden gesimuleerd, die aan het “75%-criterium” voldoen. Deze proef is door het minime aantal oplopen niet zinvol. Bij de volgende proeven is de waterstand steeds 1 m verhoogd, waardoor  $x$  steeds 1 m kleiner wordt en het 2%-golfoplooppunt steeds 1 m hoger op het talud komt te liggen. Bij  $x = 2$  m ligt dit 2%-golfoplooppunt al boven de kruin van de dijk.

In figuur 3 worden de gewenste oploophoogten gegeven. Deze moeten random door de golfoploopsimulator worden gegenereerd. Bij elke oploophoogte kan de vulhoogte worden berekend (formule 4). De totale tijd die benodigd is om tot deze vulhoogte te komen, hangt af van het pompdebiet en van de vorm van de golfoploopsimulator. Het schuifladeklepsysteem is 0,11 m hoog en bevat 300 l water. Daarna is de doorsnede 0,4 m bij 2,0, of gelijkwaardig, wat inhoudt dat voor elke meter vulhoogte er 800 l water nodig is. De eerste 11 cm vullen duurt dus langer dan elke cm die daarna komt. De vultijd wordt daarmee:

$$T = (300 + 800 \times (h_v - 0,11)) / \text{vuldebiet}, \text{ waarbij het vuldebiet het debiet van de pomp is (l/s)} \quad (5)$$

Zodra de klep de gewenste vultijd dicht is geweest, gaat deze open. De klep gaat weer dicht na het aantal seconden dat met formule 1 wordt berekend. De stuurfile geeft aan de machine aan wanneer de klep open moet gaan en wanneer weer dicht. Het display van de plc, waar de machine mee wordt aangestuurd, geeft achtereenvolgens het nummer, de vulhoogte, de tijd dat de klep open gaat en de tijd (in 0,1 s) dat de klep weer dicht gaat. Daarnaast wordt ook een stuurfile uitgeprint, zodat in geval van weigering van de plc, of de elektriciteit, direct met handmatige besturing kan worden overgenomen. Een deel van zo'n geprinte stuurfile is in figuur 5 gegeven. De gele markeringen geven aan dat verwacht wordt dat deze oploop over de kruin zal gaan, want de vrije kruinhoogte is maar 1,65 m.

**x=1.0 m; Ru2%=3.0 m**

nr	Ru	vul	open	open
	hoe	hgte	t	formis
	berm	m		
1	1.10	1.05	9	0:00:09
2	1.12	1.58	22	0:00:22
3	1.11	1.18	34	0:00:34
4	3.11	4.72	87	0:01:07
5	1.28	1.28	79	0:01:19
6	3.15	4.59	110	0:01:50
7	1.01	0.94	120	0:02:00
8	1.72	1.87	135	0:02:15
9	1.34	1.34	148	0:02:28
10	3.08	1.42	167	0:02:47

Figuur 5. Voorbeeld van een deel van een geprinte stuurfile.

Er zijn vier verschillende "proeven" aangehouden, elk met steeds een waterstand die een meter hoger ligt dan de vorige (de x-waarde). De pomp heeft officieel een maximaal debiet van 500 m<sup>3</sup> per uur, dit is 139 l/s. Verwacht wordt dat mogelijk een 10% groter debiet kan worden gehaald. Bij de eerste vier stuurfiles is er vanuit gegaan dat het maximale debiet 130 l/s zal bedragen. Voor de twee hoogste waterstanden (en meest oplopen) zijn er ook stuurfiles gemaakt met een debiet van 150 l/s.

De benaming en de karakteristieken van elke proef zijn onderstaand gegeven.

<b>opl3</b>	x=3.0 m; Ru <sub>2%</sub> =1.0 m	90 oplopen	pompdebiet: 100 l/s per m	duur: 25 min
<b>opl2</b>	x=2.0 m; Ru <sub>2%</sub> =2.0 m	796 oplopen	pompdebiet: 100 l/s per m	duur: 3 uur 23 min
<b>opl1</b>	x=1.0 m; Ru <sub>2%</sub> =3.0 m	1696 oplopen	pompdebiet: 130 l/s per m	duur: 7 uur 49 min
<b>oplnul</b>	x=0.0 m; Ru <sub>2%</sub> =4.0 m	1806 oplopen <b>in 3 uur</b>	pompdeb.: 130 l/s per m	duur: 10 uur 1 min
<b>opl115</b>	x=1.0 m; Ru <sub>2%</sub> =3.0 m	1696 oplopen	pompdebiet: <b>150</b> l/s per m	duur: 6 uur 56 min
<b>oplnul15</b>	x=0.0 m; Ru <sub>2%</sub> =4.0 m	1806 oplopen <b>in 3 uur</b>	pompdeb.: <b>150</b> l/s per m	duur: 8 uur 51 min

De eerste twee proeven gaan vrij snel, maar bij een waterstand die dicht bij de berm komt te liggen, moeten er veel meer oplopen worden gesimuleerd.





Postbus 16  
6516 ZG Marknesse

Busstation  
Geomatics Business Park  
Voortierweg 28  
6516 FT Marknesse

T: +31 (0)627-24 11 29

F: +31 (0)627-24 11 39

[info@infram.nl](mailto:info@infram.nl)

[www.infram.nl](http://www.infram.nl)