

Golfoverslag en Sterkte Grasbekleding

Fase 1D Evaluatie Delfzijl

Ons kenmerk
CO-423891.0035

Versie
01 Definitief

Datum
december 2007

Opgesteld in opdracht van
Rijkswaterstaat Waterdienst

Postbus 177
2600 MH
Stieltjesweg 2
2628 CK Delft

Telefoon (015) 26 93 500
Telefax (015) 26 10 821
www.deltares.nl

Rapportnummer
CO-423891.0035 v01

Datum
december 2007

Samenvatting rapport

Versie
01 Definitief

Aantal pagina's
64

Titel / subtitel
Golfoverslag en Sterkte Grasbekleding / Fase
1D Evaluatie Delfzijl

Projectleider(s)
ir. A. van Hoven

Projectbegeleider(s)
ir. M.B. de Groot

Overige leden projectteam
dr. ir. J.W. van der Meer
ir. G.J. Akkerman
ir. H.J. Verheij
ing. J.Y. Frissel
ir. G.J. Steendam

Opgesteld in opdracht van
Rijkswaterstaat Waterdienst

Verspreiding
Rijkswaterstaat Waterdienst

<u>Versie</u>	<u>Datum</u>	<u>Opgesteld door</u>	<u>Paraaf</u>	<u>Gecontroleerd door</u>	<u>Paraaf</u>
_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
1.1	Kader	1
1.2	Werkwijze	2
1.3	Leeswijzer	2
2	Proefproces	5
2.1	Introductie	5
2.2	Proces bij de voorbereiding van de proeven	5
2.3	Proces bij de uitvoering van de proeven	6
2.4	Proces bij de uitwerking van de proeven	8
2.5	Externe communicatie	9
2.5.1	Inleiding	9
2.5.2	Communicatieplan	9
2.5.3	Communicatie-mijlpalen	10
2.5.4	Communicatie-middelen	10
2.5.5	Evaluatie	11
2.5.6	Raamwerk voor communicatie voor SBW onderzoek Boonweg	11
3	Proefopstelling	13
3.1	Opstelling algemeen	13
3.2	Meting hydraulische parameters	15
3.3	Meting infiltratie	16
3.3.1	Opstelling	16
3.3.2	Betrouwbaarheid opnemers	18
3.3.3	Continu overslagdebiet 0,91 l/s per m	18
3.3.4	Overslagdebiet 0,1 l/s per m	20
3.3.5	Overslagdebiet 1 l/s per m	21
3.3.6	Overslagdebiet 10 - 50 l/s per m	23
3.3.7	Invloed neerslag	25
3.3.8	Zijdelingse spreiding infiltratie	27
4	Modelleren hydraulische belasting	29
4.1	Introductie	29
4.2	Modelleren van golfoverslag	29
4.3	Werkking van de golfoverslagsimulator	33
4.4	Metten van de hydraulische belasting	34
4.5	Nieuwe formuleringen	35
5	Predictiemodel gras- en klei-erosie	39
5.1	Introductie	39
5.2	Evaluatie predictie graserosie	39
5.3	Evaluatie predictie klei-erosie	42
6	Predictiemodel infiltratie	47
6.1	Introductie	47
6.2	Evaluatie predictiemodel	47
7	Predictiemodel afschuiven	51
8	Conclusies en aanbevelingen	53
8.1	Conclusies	53
8.2	Aanbevelingen	54

Bijlage(n)

Error! No table of contents entries found.

Tabellen

Tabel 3.1	KNMI Neerslagfrequentie	27
-----------	-------------------------	----

Tabel 4.1	Voorbeeld van een stuurlijst om de simulator te openen	30
Tabel 4.2	Aantal overslagen bij 0,1 l/s per m en berekende parameters	31
Tabel 4.3	Aantal overslagen bij 1 l/s per m en berekende parameters	31
Tabel 4.4	Aantal overslagen bij 5 l/s per m en berekende parameters	31
Tabel 4.5	Aantal overslagen bij 10 l/s per m en berekende parameters	32
Tabel 4.6	Aantal overslagen bij 20 l/s per m en berekende parameters	32
Tabel 4.7	Aantal overslagen bij 30 l/s per m en berekende parameters	32
Tabel 4.8	Aantal overslagen bij 50 l/s per m en berekende parameters	32

Figuren

Figuur 1.1	Planning SBW Golfoverslag en Sterkte Grasbekleding	1
Figuur 1.2	KOLB-principe	2
Figuur 3.1	Plaatsing tensiometers	17
Figuur 3.2	Meting gedurende continu overloopdebiet van 0,91 l/m/s	19
Figuur 3.3	Overslagdebiet 0,1 l/m/s	20
Figuur 3.4	Overslagdebiet 1 l/m/s	21
Figuur 3.5	Opnemers bovenaan talud 0,91 l/m/s overloop vs 1 l/m/s overslag	22
Figuur 3.6	Opnemers onderaan talud 0,91 l/m/s overloop vs 1 l/m/s overslag	23
Figuur 3.7	Overslagdebiet van 10, 20, 30 en 50 l/m/s	25
Figuur 3.8	Metingen 0,1 l/m/s (verschoven naar 24/2/2007 02:00:00) en tijdens neerslag 11 mm op 25/2 en 18 mm op 26/2	26
Figuur 4.1	Verdeling van overslaande volumes bij een overslagdebiet van 10 l/s per m en de modellering in vaste volumes door de golfoverslagsimulator.	29
Figuur 4.2	Maximale laagdiktes op 1,5 m vanaf de kruinlijn als functie van het overslagvolume	36
Figuur 4.3	Maximale snelheden op 1,5 m vanaf de kruinlijn als functie van het overslagvolume	37
Figuur 4.4	Overslagtijden op 1,5 m vanaf de kruinlijn als functie van het overslagvolume	37
Figuur 5.1	Na afloop van de 20 l/m/s proef	39
Figuur 5.2	Na 6 uur bij 5 l/m/s proef	43
Figuur 5.3	Na 6 uur bij 10 l/m/s proef	43
Figuur 5.4	Gemeten erosiediepten langs het binnentalud	44
Figuur 6.1	Predictie verzadiging Delfzijl [Infram 2007]	49

1 Inleiding

1.1 Kader

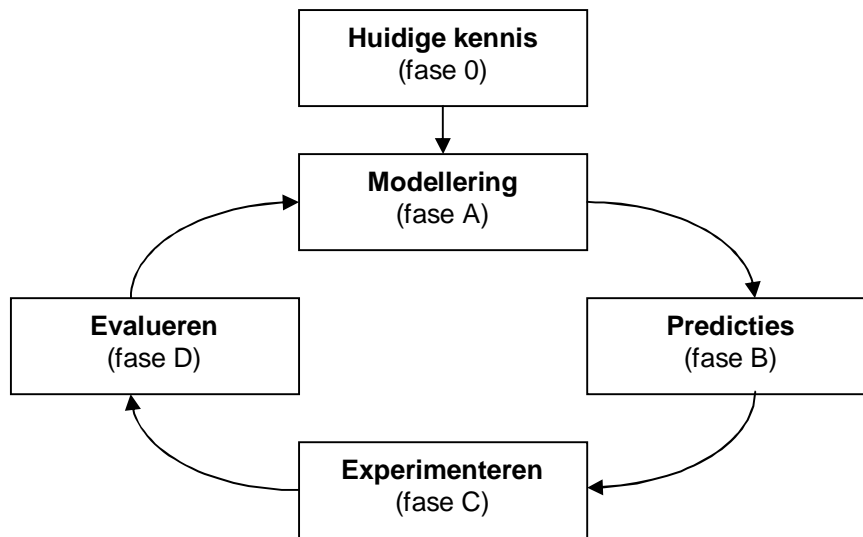
Het project Golfoverslag en Sterkte Grasbekleding is een onderdeel van het Rijkswaterstaatsproject Sterkte en Belastingen Waterkeren (SBW). Het doel van dit project is het in kaart brengen van het bezwijkmechanisme van een grasbekleding bij golfoverslag en het afleiden van praktische toets- en ontwerpformules. Het project is beschreven in het Projectplan - Golfoverslag en Sterkte Grasbekleding d.d. 10 augustus 2007. De resultaten van het onderzoek moeten uiteindelijk worden verwerkt in drie eindproducten: een Technische Rapport, Toetsregels voor het VTV 2011 en een doorkijk naar 2012 – 2016. De planning van het project Golfoverslag en Sterkte Grasbekleding staat in Figuur 1.1. Het project duurt tot medio 2011 en bestaat uit meerdere fasen. Onderhavige rapportage betreft Fase 1D: Evaluatie Delfzijl.

Fase	Activiteit	2007		2008				2009				2010				2011			
		Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
1D	Evaluatie Delfzijl																		
2A	Modelaanpassingen Boonweg																		
2B	Predictie Boonweg																		
2C	Proefmeting Boonweg																		
2D	Evaluatie Boonweg																		
3A	Modelaanpassingen Afsluitdijk																		
3B	Predictie Afsluitdijk																		
3C	Proefneming Afsluitdijk																		
3D	Evaluatie Afsluitdijk																		
4A	Modelaanpassingen Petten																		
4B	Predictie Petten																		
4C	Proefneming Petten																		
4D	Evaluatie Petten																		
5A	Modelaanpassingen Zeeland																		
5B	Predictie Zeeland																		
5C	Proefneming Zeeland																		
5D	Evaluatie Zeeland																		
6A-1	Modelaanpassingen IJkdijk																		
6B-1	Predictie IJkdijk																		
6C-1	Proefneming IJkdijk																		
6D-1	Evaluatie IJkdijk																		
6A-2	Modelaanpassingen IJkdijk																		
6B-2	Predictie IJkdijk																		
6C-2	Proefneming IJkdijk																		
6D-2	Evaluatie IJkdijk																		
7D-1	Evaluatie Petten, Golfoverslagbak Petten																		
7A-2	Model Petten, Golfoverslagbak Petten																		
7D-2	Evaluatie Petten, Golfoverslagbak Petten																		
7A-3	Model Petten, Golfoverslagbak Petten																		
7D-3	Evaluatie Petten, Golfoverslagbak Petten																		
7A-4	Model Petten, Golfoverslagbak Petten																		
7D-4	Evaluatie Petten, Golfoverslagbak Petten																		
7A-5	Model Petten, Golfoverslagbak Petten																		
7D-5	Evaluatie Petten, Golfoverslagbak Petten																		
8	Technisch Rapport (eindproduct)																		
9	Toetsregel in VTV (eindproduct)																		
10	Doorkijk 2012 – 2016 (eindproduct)																		

Figuur 1.1 Planning SBW Golfoverslag en Sterkte Grasbekleding

1.2 Werkwijze

Het eindproduct, de bouwsteen ten behoeve van het VTV 2011, wordt vervaardigd middels een cyclisch proces. De grondgedachte hiervan is het KOLB-principe (zie Figuur 1.2 en <http://www.thesis.nl/kolb>).



Figuur 1.2 KOLB-principe

Per proeflocatie (Figuur 1.1) wordt deze cyclus te doorlopen. Na evaluatie van proeven (fase D) worden aanbevelingen gedaan voor modellering of modelaanpassingen (fase A) ten behoeve van de volgende proeflocatie. Hiermee wordt direct de ontwikkelde kennis c.q. inzichten ten behoeve van de volgende proeflocatie ingebracht. Iedere fase wordt afgesloten met een rapportage (tussenproduct).

De modellering (Fase 1A) en de predicties van de proeven bij Delfzijl (Fase 1B) zijn gerapporteerd in [Infram 2006]. De experimenten (Fase 1C) zijn uitgevoerd in de periode van eind februari tot en met de tweede week van maart 2007. De experimenten zijn uitgevoerd in het kader van het Europese project ComCoast, WP3 "Smart Grass Reinforcement". Het SBW project is ingehaakt op de experimenten door aanvullend grondonderzoek en metingen uit te laten voeren. De experimenten worden beschreven in het ComCoast rapport "Phase 3: Wave Overtopping Erosion Tests at Groningen Sea Dyke" [Akkerman 2007].

De voorgenoemde rapportages en de waarnemingen tijdens de proeven, ook ten aanzien van het proefproces, zijn de basis van Fase 1D: Evaluatie. De uitgevoerde metingen en waarnemingen (Fase 1C) worden geanalyseerd en vergeleken met de predicties (Fase 1B). Op basis van deze analyse worden aanbevelingen gedaan voor verbetering van de modellen.

1.3 Leeswijzer

De evaluatie van de verschillende aspecten van de overslagproef bij Delfzijl worden per hoofdstuk behandeld. Het proces van de proefnemingen, de voorbereiding, de uitvoering en de uitwerking, en het proces rondom de proefuitvoering, zoals de samenwerking tussen de verschillende partijen en de communicatie worden beschreven in Hoofdstuk 2. Hoofdstuk 3 gaat over evaluatie van de proefopstelling, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen de proefopstelling zelf en de verschillende meetinstrumenten. In hoofdstuk 4 worden het modelleren van golfoverslag, de werking van de overslagsimulator en het meten van de hydraulische belasting geëvalueerd. De hoofdstukken 5, 6 en 7 gaan over de evaluatie van de

predictiemodellen voor respectievelijk gras- en kleierosie, infiltratie en afschuiven. Het laatste hoofdstuk 8 bevat een samenvatting van de conclusies en aanbevelingen. De aanbevelingen zijn voor zowel de modelaanpassingen (Fase 2A) en het uitvoeren van de volgende proef bij de Boonweg (Fase 2C).

2 Proefproces

2.1 Introductie

Het proefproces, zoals dat bij de golfoverslagproeven op de dijk in Groningen is ervaren, wordt hierna tegen het licht gehouden en essentiële bevindingen worden samengevat.

Met proefproces wordt hier de organisatie rondom de proeven bedoeld alsmede de voorbereiding ervan. Het communicatietraject komt vervolgens aan de orde.

Het proefproces was vrij complex door het innovatieve en daarmee onzekere karakter van het onderzoek en door het grote aantal partijen welke bij het onderzoek betrokken waren. Het proces rondom de opbouw van de proefopstelling is hierna bij 'uitvoering van de proeven' aangegeven en niet bij 'voorbereiding van de proeven'. Onder het laatste wordt hier verstaan de voorbereidingen tot het uiteindelijk installeren van de proevenopstelling.

In het algemeen kan worden gesteld dat een belangrijk deel van het proces was gericht op het minimaliseren van risico's: de technische risico's, financiële risico's, aansprakelijkheid en gezondheidsrisico's. Dit was temeer van belang omdat dergelijke golfoverslagproeven nog nooit eerder op ware schaal op een echte dijk waren uitgevoerd. Hierdoor bleken vele zaken niet voorzien te zijn en moest er veel geïmproviseerd worden. Hierbij was in de fase van bouw van de proefopstelling en uitvoering van de proeven overigens sprake van een optimale communicatie tussen de betrokken partijen. Deze samenwerking is geleidelijk aan ontstaan: het begin van het project, voorafgaande aan de opdrachtverlening, kende een minder goede samenwerking. Uiteindelijk is het 'teamwerk' geworden over alle partijen heen, waarbij men elkaar blindelings kon vertrouwen en waar eenieder zijn uiterste best heeft gedaan om de proeven tot een succes te maken.

Tegenover de grote risico's die het consortium heeft gelopen en de investeringen in verband met onvoorzien die niet in het contract waren afgedekt, stond een portie geluk ten aanzien van het goede weer (met name geen strenge vorst en geen zware storm), waardoor vrijwel ongestoord kon worden doorgewerkt.

Aan het eind van de bevindingen zijn, waar nuttig, leerpunten ten aanzien van de komende SBW proeven kortweg met een vette pijl en tekst na het betreffende stukje aangegeven.

2.2 Proces bij de voorbereiding van de proeven

De organisatie verliep administratief en faciliterend via de CUR, terwijl RWS DWW formele opdrachtgever was. Dit had het voordeel dat er een meedenkende 'derde partij' was tussen DWW en consortium die het proces mede stuurde en faciliteerde. Deze structuur heeft prima gewerkt. Dit bood tevens het voordeel dat toen SBW wilde 'aantakken' bij het onderzoek, een en ander ook eenduidig en goed met het consortium kon worden geregeld.

Een belangrijk manco bij de voorbereiding was het totaal niet betrekken van het consortium Royal Haskoning & Infram, na het winnen van de prijsvraag voor de grasversterking, bij de voorbereidingen van het verdere onderzoek. Dit ondanks de duidelijke aanwijzingen die het consortium had gegeven voor de veldproeven. Dit resulteerde in een ander verwachtingspatroon bij de opdrachtgevendende partijen (en het waterschap Hunze en Aa's) voorafgaande aan de offerte-aanvraag voor de proeven dan reëel was. Het was toen te laat om het SGR nog een stapje verder te ontwikkelen en op de gewenste wijze aan te leggen. Later is besloten om dit alsnog te proberen met de Big Roll methode, welke veel risico's in zich bleek te herbergen. Een dieptepunt voor het consortium was de houding van het waterschap bij de opzet van het onderzoek: deze gaf aan dat de installatie van het SGR wel geheel door het waterschap zelf

kon worden uitgevoerd, terwijl dit als hoofdprijs van de prijsvraag aan het consortium was toegezegd. Dit moet als een volledige onderschatting van de moeilijkheidsgraad voor het plaatsen van het SGR worden beschouwd. CUR heeft hier terecht tegen geageerd. Wrang was verder dat het budget voor de installatie van het SGR te beperkt was, als gevolg van onderschatting van de benodigde activiteiten hiervoor. Royal Haskoning heeft hier zelf fors in heeft moeten investeren, teneinde de proeven alsnog mogelijk te maken. Een ander gevolg van een en ander was dat het lang duurde voordat de partijen het eens waren en de aanbesteding van de aanleg van het SGR erg lang op zich liet wachten. Daardoor kon het SGR pas in mei 2006 op de dijk worden aangebracht, 2 maand later dan gewenst. Dit heeft tot grote risico's voor het welslagen van het SGR geleid.

->beter betrekken uitvoerende partijen bij projectopzet

De ontwikkeling en bouw van de simulator is volgens plan verlopen. Er moesten nog vele technische aspecten worden uitgezocht: de meeste zijn met de prototype-simulator van 1 m succesvol opgelost en de simulator kon op basis hiervan afdoende worden gecalibreerd. Vervolgens werd de definitieve, 4 m brede, simulator gebouwd.

->golfoverslagsimulator baseren op hetzelfde succesvolle basisprincipe

->golfsimulator aanpassingen bij dezelfde uitvoerende partijen

De plaatsing van het SGR is door miscommunicatie binnen het waterschap nadelig beïnvloed, omdat de afgesproken 'vernating' van de plaatsingslocatie niet goed was uitgevoerd. Te elfder ure moest dit nog worden gedaan, maar toen was het te laat voor een optimale uitgangssituatie. Het SGR heeft hierdoor naar verwachting veel schade opgelopen. Op instigatie van het consortium is toen een nabehandelingsplan op het gras uitgevoerd, waarbij de proeflocaties werden besproeid en met speciale kunstmest behandeld (de onversterkte grassectie werd ook op deze wijze behandeld omwille van een goede vergelijkingsbasis).

Op initiatief van het consortium is in december 2006 een testproef uitgevoerd. Hierbij is de definitieve simulator getest, inclusief de watervoorziening, met actieve en nuttige medewerking van het waterschap. Tevens is hierbij ervaring opgedaan met het aanleggen van de gootfaciliteit en met het observatiepunt voor de video-opnamen. Hieruit bleek onder meer de noodzaak voor een 'trapconstructie' naast de gootfaciliteit. De simulator bleek goed te werken, maar de poten bleken wel teveel in de dijk te dringen. Deze zijn ten behoeve van de testsimulator voor de echte proeven aangepast. Al met al is de testproef zeer nuttig gebleken en deze heeft zeker bijgedragen tot de succesvolle uitvoering van de proeven.

-> testproef uitvoeren op wanneer nog veel moet worden uitgezocht

Een extern draaiboek/protocol voor de proeven was niet formeel aangeboden, maar is bij de opdrachtverlening wél door de CUR gevraagd. Door het gelimiteerde budget is dit voor eigen kosten van het consortium gerealiseerd (in de offerte was alleen een intern draaiboek voor de proeven voorzien). Dit draaiboek/protocol, dat veel tijd en overleg vergde, heeft echter zeer veel nut gehad, zeker ook in het afbakenen van verantwoordelijkheden en aansprakelijkheden en het verminderen van risico's en vergroten van de veiligheid bij de proeven. Wat betreft het laatste aspect: hiervoor werd een paragraaf opgenomen, waar ook het waterschap mee kon instemmen.

-> goed extern en intern draaiboek/protocol is zeer belangrijk

2.3 Proces bij de uitvoering van de proeven

De bouw van de proefopstelling was, dank zij de goede voorbereidingen, succesvol. Wel moest hierbij veel worden geïmproviseerd. Dit laatste gold voor bijna alles. Desondanks verliep dit improviseren soepel, met inzet van alle betrokkenen. Toen bleek ook dat het direct betrokken projectteam van het consortium en waterschap, aangevuld met twee studenten, zeer goed functioneerde. Enige gewenning was er nodig ten aanzien van de verantwoordelijkhedenstructuur: de dagelijkse leiding van Royal Haskoning (als

hoofdverantwoordelijke partij) bleek niet altijd als eerstverantwoordelijke te worden gezien: dit is tijdens de uitvoering van de proeven duidelijker naar andere betrokkenen gecommuniceerd.

-> zeer duidelijk moet worden aangegeven wie de eerstverantwoordelijke is

Nadat de proefopstelling gereed was, is relatief veel tijd besteed aan het 'trainen' van het projectteam en het zich eigen maken van het draaiboek/protocol; deze kon bovendien nog tijdig worden aangescherpt aan de ervaring tijdens het 'droog oefenen'. Hiermee werden ook allerhande risico's verminderd. De tijd die hiervoor beschikbaar was, een kleine week, kwam voort uit de tussenruimte met het 'openings-event' rondom de dijkproeven. Achteraf bezien blijkt deze ogenschijnlijk ruime tijd zeer nuttig te zijn geweest. Opgemerkt moet worden dat dit oefenen vooral belangrijk is vanwege het unieke karakter van de proeven: als iets zou mislukken, zou het waarschijnlijk niet kunnen worden overgedaan.

-> het is wenselijk dat het projectteam intensief traint en het draaiboek/protocol oefent en waar nodig aanpast, alvorens met de proeven te beginnen

Ten aanzien van de risico's van onwerkbaar weer was een strikt protocol afgesproken, waarbij de dagelijkse leiding op de dijk een signalerende en (na terugkoppeling) beslissingnemende rol had. Nuttig was hierbij de weersinformatie die regionaal en zeer gedetailleerd via het waterschap kon worden verkregen (internetsite met autorisatie van het waterschap). Relevante informatie werd tevens regelmatig aan de opdrachtgever ter hand gesteld via email, zodat die een 'vinger aan de pols' kon houden.

-> gebruik maken indien mogelijk van het specifieke regionale weerbericht van het waterschap en mogelijke kritieke weersituaties tijdig communiceren

Omtrent het moment van stoppen van de proeven was met het waterschap overeengekomen dat zij het vetorecht zouden hebben, m.a.w. het waterschap had op ieder moment het recht om de verdere proefuitvoering te beëindigen wanneer zij dat nodig achtte. Deze afspraak was praktisch goed uitvoerbaar, omdat het waterschap dagelijks op de dijk was vertegenwoordigd. Teneinde toch een handreiking te hebben, zou de vertegenwoordiger onverhoopt e.e.a. niet tijdig signaleren, waren ter plaatse globale afspraken met de dagelijkse leiding gemaakt. Voor de grasbekleding bleek voorgaande niet relevant; voor de kleibekleding werd doorgegaan tot er sterke erosie was en er was een afspraak gemaakt over een minimumafstand van de erosiekuil tot aan de simulator. Overigens laat dit onverlet dat alle uitvoerenden ten aanzien van schadeontwikkeling een signalerende functie hebben.

-> goede afspraken maken m.b.t. toegestane schade-ontwikkeling, waar mogelijk met actief meekijken door het waterschap

Ondanks de zeer goede samenwerking tussen waterschap en consortium tijdens de uitvoering van de proeven, betekende het verschil in 'ritme' een complicatie: waar het consortium vaak 'lange dagen wilde maken', hield het waterschap meer de gangbare werktijden aan. Dit werd soms 'onderhands' geregeld, maar betekende wel een rommeliger (en mogelijk risicovoller) wijze van uitvoering. Hierbij moet worden bedacht dat het waterschap ook veel ondersteunende werkzaamheden verrichtte, die bij afwezigheid van de 'waterschappers' niet werden uitgevoerd.

Erosie werd op de volgende wijze gemeten (dit overzicht geldt voor het gras; bij de klei kon de faciliteit minder goed worden betreden voor het maken van gedetailleerde foto's):

- Continue video-opnamen van de gehele teststrook, gemeten vanuit de meetcabine;
- Overzichtsfoto van de teststrook, voorafgaand, tussentijds (elke 2 uur) en na afloop van elke test;
- Gedetailleerde foto's voorafgaand, tussentijds (elke 2 uur) en na afloop van elke test op plaatsen waar erosie te zien was;
- Aanvullende foto's: vanaf de zijanten van de teststrook (door rond de faciliteit te lopen aan beide zijden), alsmede detailfoto's via een grid van 1 m² van de gehele strook.

Verder werd getracht visueel de grasbedekkingsgraad te schatten voor elke m²; deze methode bleek echter te subjectief in relatie tot de beperkte afname van de grasbedekking tijdens de proeven.

Bij de proeven met initiële schade werd de geulvorming tussentijds opgenomen (elke 2 uur en aan het eind van de proeven).

Bij de kleiproeven werd de diepte gemeten via een meetframe dat was ingemeten met GPS. De erosiediepte werd gemeten door de bodem met een meetlat verticaal (met schietlood!) vanaf het meetframe te meten. Het frame werd telkens een stukje van onder naar boven verplaatst.

-> bedekkingsgraadmetingen waren te subjectief: deze dienen bij voorkeur via digitale beeldopname en -verwerking te geschieden

De schade-opnamen met de fotocamera werden 'uit de hand' genomen (naast de continue video-opnamen op statief in de meetcabine). Achteraf bleek dat dit consistentier had gemoeten: vanuit nagenoeg dezelfde gezichtshoek, op dezelfde locatie en afstand tot het talud en met een consistente aanduiding (bordjes etc). Dat dit niet zo is gedaan, bemoeilijkt achteraf de vergelijking van de schade. Vooraf was dit niet zo ingeschat, omdat bij de opzet van de proeven werd aanzienlijk meer schade werd verwacht, welke vooral op de continue videobeelden goed te zien zou zijn en waarbij de detailfoto's meer ter illustratie zouden dienen.

-> foto-opnamen meer systematiseren

Het continu vastleggen van de hele proefstroken met de professionele videocamera was tijdens de proeven goed doenlijk (uitwerken was wel zeer veel werk). De overslagproeven op gras lieten echter zo weinig uitgesproken schade zien en de schade verliep zo geleidelijk, dat continu filmen achteraf bezien niet had gehoeven.

-> continu filmen is wellicht niet zinvol bij vervolgprouven

2.4 Proces bij de uitwerking van de proeven

De uitwerkingen betroffen de observaties van de erosie aan de onversterkte grasstrook, de versterkte grasstrook en de kale kleistrook, alsmede de uitwerking en analyses van de meting van waterstanden en stroomsnelheden op het talud. De laatste zijn elders in dit rapport geëvalueerd.

Het verwerken van de video-opnamen kostte zeer veel tijd: meer dan 1:1 bij het maken van een back-up; dit kon daarom maar deels tijdens de proeven gebeuren; een ander deel moest achteraf nog worden gedaan, waardoor er tijdens de proeven geen volledige back-up beschikbaar was. Vervolgens werden de beelden geanalyseerd: een probleem daarbij was dat er weinig onderscheidende erosie te zien was (behalve bij de proeven met initiële schade).

Ook het verwerken en analyseren van de gedetailleerde schadefoto's die in elke m² zijn genomen, was zeer veel werk. Mede doordat er weinig erosie te zien was en doordat de metingen niet steeds vanuit dezelfde positie zijn genomen, was analyse vrij moeizaam. Wel blijken in het kader van de voorliggende evaluatie, hieruit toch goede aanwijzingen naar voren gekomen te zijn, die een beter beeld geven van de schade-modellering, dan voorafgaande aan de proefven. .

Een en ander heeft geleid tot het behoorlijk uitlopen van de verwerkingstijd en -inspanning.

-> sterk selectief zijn met video- en foto-opnamen versnelt het uitwerken in belangrijke mate

Het meest illustratief voor erosie waren de proeven met initiële schade. De uitwerking van de geconstateerde erosie bij deze proeven (onversterkt en versterkt gras) zijn zeker als zinvol te beschouwen. Voor de proeven op de Boonweg is het goed om ook een scenario met initiële schade te overwegen, wanneer reguliere erosie hoegenaamd niet zou optreden.

-> ook bij verdere proeven overwegen om initiële schade aan te brengen wanneer verder hoegenaamd geen erosie optreedt

De eindrapportage bestond uit een overzichtsrapport en een rapport over de golfoverslagsimulator. Gezien het belang van deze rapportage is het oorspronkelijk voorziene

Factual Report verbreed tot een overzichtsrapport, mede door de extra werkzaamheden die onder SBW-vlag werden uitgevoerd (extra proef met initiële schade, proeven op de kleistroom) en deels ook op initiatief van het consortium. Het is wel goed om een volgende keer de scope van het eindrapport beter vast te leggen.

-> goed vastleggen van de scope van het eindrapport (inhoudelijk en contractueel)

2.5 Externe communicatie

2.5.1 Inleiding

In het eindrapport van de proeven in Delfzijl zijn de uitgevoerde activiteiten m.b.t. communicatie en publiciteit samengevat. Hierin zijn echter niet de leerpunten expliciet opgenomen. Hierna is dit op hoofdlijnen wel gedaan, teneinde om lering uit te kunnen trekken voor het komende SBW onderzoek.

Communicatie speelde bij het uitgevoerde onderzoek een bijzonder grote rol. Zeer belangrijk bleek de interne communicatie tussen alle betrokken partijen rondom de proefvoorbereiding en -uitvoering en hieraan is dan ook terecht veel aandacht besteed. Deze communicatie werd door de leidinggevendenden van RWS en consortium aangestuurd en is inherent aan het leidinggeven bij complexe projecten. Dat deel van de communicatie welke niet geheel voor zich zelf sprak, was in het draaiboek/protocol opgenomen.

Hierna wordt ingegaan op het externe communicatietraject: dit is communicatie die zich rondom het project afspeelde, bijvoorbeeld t.a.v. brede communicatie (buiten het directe projectteam), voorlichting en p.r., bezoekers, educatie, en contacten met derden. Bij ComCoast was deze externe communicatie zeer belangrijk in verband met de Europese 'setting' van het project en had ook een internationaal karakter. Dat is bij SBW ongetwijfeld minder het geval, maar de ervaringen opgedaan met ComCoast kunnen dienen als checklist voor SBW, teneinde geen essentiële zaken te vergeten.

Wederom worden, waar nuttig, leerpunten die van belang kunnen zijn voor het SBW onderzoek met een vette pijl en tekst na het betreffende stukje aangegeven.

Ten slotte is een raamwerk voor het SBW-onderzoek aangegeven in de vorm van een hoofdstructuur en aandachtspunten. Dit raamwerk kan verder worden geconcretiseerd tijdens het eigenlijke onderzoek voor de Boonweg in de 2^e fase.

2.5.2 Communicatieplan

Door de Corporate Dienst van RWS werd een Communicatieplan opgesteld, waarbij aandacht werd besteed aan de deelnemende partijen in het ComCoast project: RWS (DWW en Corporate Dienst), CUR, WINN, Waterschap Hunze en Aa's, Provincie Groningen, Gemeente Delfzijl, direct omwonenden en betrokkenen en het consortium Royal Haskoning & Infram (inclusief onderaannemers).. Daarnaast werden secundaire doelgroepen in aanmerking genomen, zoals: kustbestuurders op gemeentelijk-, provinciaal-, waterschaps- en landsniveau, alsmede (inter)nationale vakgenoten zoals ingenieursbureaus, aannemers en universiteiten, en daarnaast de nederlandse politiek en de burger in het algemeen. Bij het Communicatieplan werd een koppeling gemaakt met de mijlpaalgeboden activiteiten op de dijk.

Om een en ander in goede banen te leiden, werd een Werkgroep Communicatie opgericht, onder leiding van RWS, met daarin verder communicatieadviseurs van het waterschap Hunze en Aa's, de gemeente Delfzijl, en de projectleider van het consortium. Deze laatste werd echter pas in later stadium erbij betrokken, nadat gebleken was dat het Communicatieplan heel weinig

inhoudelijk was afgestemd op de hoedanigheid van het onderzoek. Uiteindelijk heeft het consortium een zeer actieve rol gespeeld in de communicatie rondom het onderzoek.

-> meer aandacht voor inhoudelijke aspecten van het onderzoek bij de opzet van het Communicatieplan

2.5.3 Communicatie-mijlpalen

Er waren een viertal mijlpalen:

1. installatie van het SGR op de dijk bij Delfzijl, 17 mei 2006;
2. testen van het prototype van de golfoverslagsimulator in Heerenveen, 23 juni 2006 met 40 genodigden;
3. proeftest op de dijk bij Delfzijl, 18 december 2007;
4. openingsdag van de het onderzoek in Delfzijl met 100 genodigden, 27 februari 2007.

Deze mijlpalen werden aangekondigd en bijgewoond door pers, radio en televisie en eraan voorafgaande werd een persbericht opgesteld of ging een persuitnodiging uit. Ter ondersteuning werden 'Fact Sheets' (infobladen) gemaakt en voorafgaande aan de proeven werd een informatiebrochure gemaakt (in het Nederlands en in het Engels, evenals de Fact Sheets). Ten behoeve van een eenduidige communicatie werd een Questions and Answers (Q&A) document opgesteld. Hierdoor werd de 'boodschap' door eenieder op eenduidige wijze gecommuniceerd; tevens was het Q&A document van belang voor het projectteam als samenbindend document, waarmee zeker werd gesteld dat 'de neuzen dezelfde kant op stonden'.

-> Q&A document is zeer nuttig gebleken

-> goed inschatten werkzaamheden voor externe communicatie (was onderschat door consortium, mede omdat hieromtrent vooraf geen scope was aangegeven)

2.5.4 Communicatie-middelen

Enkele belangrijke communicatiemiddelen worden hierna aangegeven, naast de reeds genoemde Fact-Sheets, informatiebrochure en Q&A document.

Informatiecabine

De speciaal voor voorlichting ingerichte informatiecabine bleek zeer nuttig: de bezoekersstromen naar de proefopstelling werd hiermee gereguleerd en de bezoekers gedroegen zich meer gedisciplineerd. De bezoekers werden voorzien van koffie en thee en door een van de studenten werd een voorlichtingspresentatie gegeven, welke door de aanwezigen zeer werd gewaardeerd. In de keet was ook een model van de simulator geplaatst en er was informatiemateriaal aanwezig.

-> Speciale informatiecabine nuttig voor voorlichten /'reguleren' bezoekers

Informatiepanelen

Het informatiepaneel aan de simulator vermeldde de belangrijkste deelnemende partijen; deze bleek echter niet te voldoen, omdat de letters veel te klein waren.

Een informatiepaneel nabij de proefvakken voor aankomende bezoekers gaf aanvullende inhoudelijke informatie over ComCoast en over het project en voldeed goed.

-> Informatiepaneel kan nuttig zijn, maar wel goed letten op leesbaarheid en inhoud

Richtingborden

Door het waterschap zijn richtingborden naar de proeflocatie geplaatst; deze borden waren speciaal gemaakt voor de proeven en hebben goed voldaan.

Professionele films

Van de installatie van het SGR is een professionele film gemaakt (NL: Superzoden; Eng: Superturf). Ook van de proeven is een professionele film gemaakt (Eng: Superdikes). Het consortium heeft aan deze films actief meegewerkt, zowel bij de opnamen als bij de scripts.

Papers, artikelen en presentaties

Van het concept en de installatie van het SGR, het ontwerp, calibratie en bouw van de overslagsimulator en van de erosieproeven zijn diverse papers en artikelen verschenen. Verder zijn presentaties gehouden op diverse waterbouwkundige evenementen.

2.5.5 Evaluatie

Het communicatietraject is geëvalueerd. Veel van de leerpunten betreffen de openingsdag (welke overigens goed is verlopen); dit punt is voor SBW niet van belang. Algemene conclusie is wel dat te laat is begonnen met voorbereidingen en dat de communicatie is onderschat omdat pas later duidelijk hoe groot de omvang van de externe communicatie in het hele project was. Gelukkig hebben de direct betrokkenen een groot enthousiasme laten zien en zich positief opgesteld, zodat het onderzoek ook qua communicatie toch een succes is geworden.

Toch zijn er een aantal aandachtspunten die ook voor SBW van belang kunnen zijn.

-> Heel duidelijk en tijdig afspreken hoe de communicatie eruit zal zien: planmatig aanpakken en data vastleggen: dit in nauw overleg met de projectleiding

-> Logistieke/secretariële ondersteuning is nuttig (adressen, uitnodigingen, aanmeldingen, persvragen, fotograaf, aanspreekpunt, et cetera)

2.5.6 Raamwerk voor communicatie voor SBW onderzoek Boonweg

Zoals aangegeven hadden veel van de leerpunten tijdens het externe communicatietraject te maken met de uitgebreide informatie-uitwisseling vanwege ComCoast en vanwege de publicitaire waarde van de proeven in Delfzijl. Bij ComCoast ging het vooral om het vinden van een nieuwe techniek om dijken overslagbestendig te maken.

Bij SBW is de doelstelling meer wetenschappelijk gericht en tevens voornamelijk gericht op de sterkte van de huidige dijken. Dit heeft in eerste instantie minder publicitaire waarde; het onderzoek is evenwel belangrijk voor de veiligheid van ons land, om tot goede richtlijnen voor toelaatbare overslag te komen. Het is thans, mede in verband met de budgettaire ruimte niet duidelijk in welke mate externe communicatie optimaal kan worden vormgegeven. Hierna wordt een inschatting gegeven van een mogelijke vorm van de structuur en wordt een checklist gegeven, waarbij deze nog kunnen worden aangepast, afhankelijk van wat gewenst is.

Mogelijke structuur

De communicatie zal naar verwachting niet worden geïnitieerd door RWS. Dit betekent dat Deltares een voorttrekkende rol zal hebben. Een aanpak zou kunnen zijn om een (junior of medior) communicatiedeskundige van Deltares met dit traject te belasten, welke ook de logistieke en secretariële ondersteuning biedt van alles wat met externe communicatie te maken heeft. De projectleiding van Deltares moet verder intensief worden betrokken in het voortraject. Anders dan bij ComCoast zullen hier geen Klankbordgroep, en Internationaal Expert Team bij het onderzoek worden betrokken. Dit vereenvoudigt de communicatie sterk.

Grote groepen bezoekers worden tevens niet verwacht. Belangstelling zal dus naar verwachting vooral incidenteel zijn. Het is wenselijk dit in banen te leiden door tijdige aankondiging en afspraken met betrekking tot het verloop van de proeven (dit laatste is belangrijk omdat bezoekers bij voorkeur de test met zwaarste golfoverslag willen bijwonen). Een mogelijkheid om het binnendruppelen van bezoekers te stroomlijnen, is door het houden van een workshop van een halve dag, op bijvoorbeeld 2/3 van het onderzoek. Hierbij kunnen dan selectief personen uit binnen- en buitenland worden uitgenodigd. Dit kan veel

vakinhoudelijke spin-off geven en is voor wat betreft kennisuitwisseling te prefereren ten opzichte van incidentele bezoeken, waarbij counterpart deskundigen van het projectteam wellicht niet aanwezig zijn. In het laatste geval kan ook 'storing' optreden voor het uitvoerend projectteam, omdat bezoekers dan wellicht met het projectteam gaan of willen overleggen (dit was één van de leerpunten bij ComCoast en dit had van meet af aan veel strenger moeten worden tegengegaan).

Aandachtpunten

1. Checken (haalbare) scope van de externe communicatie;
2. Opstellen beknopt communicatieplan op basis van de vastgestelde scope door Deltares;
3. Toetsen communicatieplan met deelnemende partijen (met speciale aandacht voor het waterschap: hun wensen in deze dienen zoveel mogelijk te worden gerespecteerd);
4. Wel of niet een evenement en/of workshop? Indien wél, dan zo vroeg mogelijk met voorbereidingen beginnen; overwegen of professionele ondersteuning nodig is: evenementenbureau, facilitator, kernboodschap van evenement en verdere logistiek. Draaiboek van evenement opstellen;
5. De juiste personen uitnodigen voor het juiste moment: logistiek in communicatieplan vast te leggen. Denk erom dat bobo's ten minste 2 maanden tevoren moeten worden ingeseind.
6. In vroeg stadium Q&A document opstellen: hiervan afgeleid eventuele fact sheet, infoblad, persaankondiging;
7. Besluit nemen over wel of niet inrichten van een informatiecabine en logistiek erom heen regelen (voorlichting, toilet, koffie/thee), alsmede de toegankelijkheid naar proefterrein regelen;
8. Nagaan hoe belangstellenden moeten worden 'uitgerasterd': voorstel is dit met hekken te doen: 1) in verband met het grotere gevaar (als de vergrootte simulator wordt ingezet) en 2) omdat bij ComCoast bleek dat sommige mensen toch de schriklinten passeren);
9. Vaststellen inhoud en grootte van het bouwbord. Ook bij minimale communicatie is het wenselijk dat er een bouwbord is: de belangstellenden kunnen dan tenminste eerst het bord lezen (hierop ook de disclaimer ten aanzien van aansprakelijkheid en verdere aanwijzingen aangeven): het bord dient zoveel mogelijk langs de route naar de opstelling te worden geplaatst;
10. Checken of er een professionele film gemaakt gaat worden: zo ja, dan hiervoor zo spoedig mogelijk over een script nadenken, met erbij betrekken van het filmteam;
11. Nadenken en besluit nemen over digitale opslag van informatie- en pr-materiaal. N.B.: veel fotomateriaal op de proeflocatie kan later pr-materiaal gaan worden, dit hier dus ook bij betrekken.
12. Website inrichten met informatie? Zal waarschijnlijk moeten wachten op initiatief van Deltares;
13. Toelevering relevante status proeven en korte-termijn verwachting in verband met planning bezoekers vanuit centrale persoon op de proeflocatie ('dagelijkse leiding'). Hiertoe dient ook remote internet-access op de proeflocatie mogelijk te zijn (UMTS, Blackberry etc).

Belangrijk is dat goed wordt afgesproken wie, wat, wanneer moet doen en dat dit ook goed wordt nagekomen.

3 Proefopstelling

3.1 Opstelling algemeen

De proefopstelling had een grote nieuwwaarde, omdat een dergelijke proefopstelling nog niet eerder was gerealiseerd. Dit betekende wel dat veel improviserend regelwerk nog plaats moest vinden op de dijk (steigers, containers, verlichting, windvastheid, pompcircuit en electriciteitsvoorziening). Het feit dat er voor was gekozen zoveel mogelijk samen te werken met de lokale Groningse partijen leverde hierbij een belangrijk voordeel op: aan de proefopstelling konden relatief eenvoudig 'on the spot' en op het laatste moment nog aanpassingen worden gedaan. Bovendien bleek de samenwerking met de Groningse partijen erg gemoedelijk en betrouwbaar te verlopen, mede ook omdat het waterschap als faciliterende partij actief aanwezig was.

-> zoveel mogelijk samenwerken met lokale partijen

Doordat bij de proeven in Delfzijl in feite sprake was van twee verschillende onderzoeksprogramma's (ComCoast en SBW) was extra zorgvuldigheid vereist bij het opbouwen van de proefopstelling, omdat beide programma's soms tegengestelde eisen hadden. Zo was het voor de meting van de waterspanningen noodzakelijk om een grondmoot uit het proefvak te steken om zo de waterspanningsmeters te kunnen installeren. Vanuit het oogpunt van ComCoast was dit juist niet gewenst, omdat de grasmat zo weinig mogelijk moest worden beschadigd. Uiteindelijk is bij de plaatsing gekozen voor het toepassen van speciale equipment (hole-steker die wordt toegepast op greens) om de grasmat zo weinig mogelijk te verstoren. Achteraf hebben de proeven aangetoond dat de aanwezigheid van beperkte beschadigingen aan de grasmat, zoals lokale gaten en paaltjes, geen merkbare invloed op de erosiebestendigheid heeft gehad.

-> kleine beschadigingen als gevolg van het aanbrengen van instrumenten zijn toegestaan (hebben geen invloed op faalmechanisme erosie door golfoverslag)

Gesteld kan worden dat de proefopstelling (golfoverslagsimulator, gootfaciliteit, containers met meetcabine) prima heeft gefunctioneerd. De keuze voor een hooggelegen meetcabine vanwege een goede observatie (waarneming en continu filmen) ter plaatse van testvakken bleek hierbij essentieel. Ook uit het oogpunt van veiligheid was een boven de goot aanwezige meetruimte belangrijk.

-> meetfaciliteit ook bij toekomstige proeven boven de gootfaciliteit plaatsen

Het pompcircuit bleek in Delfzijl van cruciaal belang en dit systeem werd zwaar belast. Vooral toen het testprogramma werd uitgebreid met de 50 l/s/m proef, werd veel van het circuit en vooral van de pomp gevraagd. Dit uitte zich in het meermaals uitvallen van (de aandrijving van) de pomp. Een grotere pomp, met bijbehorend zwaarder aggregaat, bleek nodig om het vereiste debiet te kunnen halen. Het nadeel hiervan was echter dat de fijnregeling hiervan voor de kleinere overslagdebieten niet nauwkeurig genoeg was. Naast het benodigde debiet zijn echter ook de opvoerhoogte, de leidingdiameter en eventuele splitsingspunten belangrijke parameters gebleken. Bij grotere debieten (>30 l) is het dan ook noodzakelijk het watercirculatiesysteem opnieuw onder de loep te nemen. Omdat het uitvallen van de pomp betekende dat de proeven in Delfzijl stil zouden komen te liggen, is de aanwezigheid van een gerenommeerde pompenleverancier in de nabijheid van de proeflocatie onmisbaar geweest.

Het zelfde geldt voor de kraan die op afroep kon worden ingeschakeld om de simulator, pomp, containers en meetcabine te verplaatsen. Deze dienstverlening kon ook van zeer nabij (Delfzijl) worden betrokken. Dit was temeer van belang, omdat de kraan vaker incidenteel moest worden ingezet dan eerst was voorzien.

-> watercirculatie met voldoende reservecapaciteit en bij voorkeur twee pompen

-> pompleverancier en kraan zo nabij mogelijk betrekken en afroep-contract

Bewaking van de proefopstelling gedurende de nacht en in de weekeinden was in eerste instantie niet in de offerte voor de proeven in Delfzijl voorzien, omdat aangenomen werd dat het waterschap hiervoor zou zorgdragen. Verder werd aangenomen dat het met diefstal daar wel mee zou vallen. Diefstal bleek daar echter veel voor te komen (nabijheid grens Duitsland) en het waterschap kon de gewenste beveiliging alsnog niet leveren. Een gelukkige bijkomstigheid was echter dat op de proeflocatie gemakkelijk aangetakt kon worden op de beveiligingsrondes van het naburige Industriepark, zodat hiervan gebruik is gemaakt. Hierbij was ook de proeflocatie continu 'onder dekking' van de bewakingscamera's. Eventuele schade aan of diefstal van onderdelen van de proefopstelling zou een aanzienlijke kostenpost teweeg hebben kunnen hebben gebracht en de grootste risico's konden op deze wijze worden voorkomen. Tevens werden door het consortium een aantal preventieve maatregelen getroffen: zo is er voor gekozen de verlichting 's nachts aan te laten en werden kostbare goederen opgeslagen in de goed afsluitbare containers.

-> beveiliging bij voorkeur continu met bewakingscamera('s) en locatie goed verlicht laten en waardevolle spullen achter slot en grendel

In Delfzijl was gekozen voor een gecombineerde meet- en koffieruimte met pantry, in één cabine, maar wel met een tussenschot met deur; in laatstgenoemde ruimte konden speciale gasten worden uitgenodigd en dit was tevens een rustruimte voor de medewerkers van waterschap en onderaannemers. Ondanks de aanwezigheid van de scheidingswand, bleek het in de praktijk voor het projectteam niet altijd mogelijk om ongestoord te kunnen werken. Gezien de continue observatie en de benodigde concentratie bij de uitvoering van de proeven was dit echter wel wenselijk geweest. Al zal dit punt bij de proeven bij de Boonweg minder kritisch zijn in verband met het niet-continue filmen, is het toch aan te raden om twee gescheiden ruimtes te realiseren: één voor de mensen die dagelijks betrokken zijn bij de proeven en één pantryruimte, bij voorkeur door gescheiden containers en anders door het weglaten van de tussendeur, dan wel op slot houden van deze deur.

-> gescheiden ruimtes voor de metingen en de pantry

Door het consortium werd een V&G plan opgesteld, dat door het waterschap werd aangevuld en goedgekeurd. Dit V&G plan werd in het protocol opgenomen en werkte naar behoren. Er hebben zich dan ook geen noemenswaardige (bijna) ongelukken voorgedaan. Wel moet hierbij worden aangetekend dat er zich ook geen extreme weersomstandigheden hebben voorgedaan. Met een doorkijk naar de vervolgprouven zijn er echter wel enkele aandachtspunten:

1. Inzet grotere simulator: bij het mogelijk vergroten van de simulator neemt het overslagvolume ook toe. Dit heeft een aantal consequenties: de stabiliteit van de overslagsimulator (en de onderliggende kruin) neemt af. Hier zal extra aandacht aan moeten worden besteedt. Dit kan bijvoorbeeld door het uitrasteren van een bepaald gebied rond de simulator tijdens en na de proeven en/of het voorzien in extra stabiliserende voorzieningen aan de simulator. Wanneer zich onverhoopt iemand op het talud of aan de teen van de dijk bevindt ten tijde van het 'loslaten' van een grote golf zullen de gevolgen hiervan ernstiger zijn dan in Delfzijl. Een groot risico is wanneer iemand op het talud door een golf wordt getroffen en vervolgens met de dieplader (met meetcabine erop) in aanraking zou komen (de vrije hoogte is minder dan in Delfzijl)! Als mitigerende maatregel zou kunnen worden gedacht aan het uitrasteren met hekken in plaats van lint en een noodknop op de pomp (op afstand bedienbaar). Tevens kan bij het begin van de proef (en opstarten tussentijds) een sirene-signaal worden gegeven. De buitenbel die in Delfzijl hierbij op het laatste moment nog werd geïnstalleerd was ontoereikend.
2. Ongenode bezoekers betraden soms de faciliteit op de meest onverwachte momenten: dit moet altijd worden gecheckt direct voorafgaande aan het starten van de proeven en ook tijdens de proeven (omdat er telkens drogere tussenperioden zijn, waarbij mensen soms menen te kunnen 'oversteken').
3. Een betere afscherming van elektrische onderdelen tegen water. In Delfzijl is meerder malen kortsluiting ontstaan. De aardlekschakeling werkte gelukkig altijd naar behoren. Desalniettemin geeft dit wel de noodzaak aan van een deugdelijk elektriciteitsnet (waaronder zeker een deugdelijke aardlekvoorziening). Zonder speciale aandacht hiervoor

zal de kans op ongelukken met electriciteit toenemen met een grotere simulator met navenant zwaardere pompen en meer benodigde electriciteit.

4. Toepassing van de juiste zandzakken is belangrijk. In Delfzijl ontstond veel zanduitspoeling uit de jutezakken die door het waterschap waren verschaft; met betere zandzakken treedt tevens minder 'wateroverlast' op buiten de faciliteit, wat de veiligheid ten goede komt.
5. In afwijking van de situatie bij Delfzijl zal het (flauw aflopende) bermgedeelte bij de Boonweg niet worden verdedigd: derhalve moet ook eventuele initiële schade die daar zou kunnen ontstaan goed moeten worden gevolgd, om niet een grootschalig afschuiven te laten ontstaan, wat door wegvallen van de steundruk aan de teen zou kunnen optreden.
-> aandacht voor extra veiligheidsmaatregelen in V&G plan is belangrijk, met aandacht voor de specifieke situatie bij de Boonweg

3.2 Meting hydraulische parameters

De metingen in Delfzijl kennen voor wat betreft het meten van hydraulische parameters een lange voorbereidingstijd. Na het ontwerp van de simulator is eerst een 1 m breed prototype gemaakt en met dit prototype zijn metingen naar hydraulische parameters uitgevoerd. Toen de werkelijke simulator klaar was zijn opnieuw metingen gedaan met nieuwe instrumenten. Tot slot is een opstelling gekozen voor de proeven zelf. De drie meetsessies worden hier geëvalueerd.

Bij de calibratie van het prototype in juni 2006 zijn twee instrumenten gebruikt, een elektromagnetische snelheidsmeter (EMS) en een akoestische laagdiktemeter. Deze werden opgesteld in een 2 m lange en 1 m brede goot, waardoor het water van het prototype stroomde. Daarnaast zijn maximale laagdiktes met het oog gemeten. De metingen leidden tot twee conclusies omtrent de instrumenten:

- de akoestische laagdiktemeter kon niet worden gebruikt omdat het wateroppervlak veel te turbulent en oneffen was. Er moest een nieuwe laagdiktemeter worden ontwikkeld.
- de EMS had maar een bemonsteringsinterval van 2 Hz en dit was veel te klein. Het was juist voldoende om de snelheden uit een gemiddelde van een aantal herhalingen te bepalen. In de toekomst moest het bemonsteringsinterval korter worden.

Op basis van deze conclusies heeft WL nieuwe instrumenten ontwikkeld, een EMS met een bemonsteringsinterval van 20 Hz, een lange golfhoogtemeter en een vergelijkbaar instrument met dunne draden (laagdiktemeter genoemd). Op 18 december 2006 werd de werkelijke 4 m brede simulator bij de bouwer Nijholt op het terrein getest. Tijdens dit testen is ook met de nieuwe instrumenten gemeten. De volgende conclusies werden getrokken:

- De EMS gaf een grillig signaal, zoals verwacht, maar door het kleinere bemonsteringsinterval mocht worden verwacht dat door filtertechnieken een vrij glad signaal verkregen kon worden.
- De EMS was afgeregeld op 2,5 m/s. Dit was veel te laag, want snelheden tot bijna 10 m/s zouden gemeten moeten worden. Dit kon niet ter plekke worden aangepast.
- De golfhoogtemeter heeft twee staven van orde 3 mm dik. Door de grote snelheid van het water, liep het water soms 10 cm langs de draden omhoog. Dit instrument zou dus gemakkelijk afwijkingen van 10 cm in laagdikte kunnen afgeven. Geconcludeerd werd dat dit instrument niet geschikt was om laagdiktes te meten.
- De laagdiktemeter met dunne draden bleek niet te werken. Er werd geen signaal gemeten. Dit kon niet ter plekke worden hersteld. Wel werd geconstateerd dat water niet bij deze dunne draden omhoog liep en omdat het principe van het instrument gelijk was aan dat van de golfhoogtemeter, werd aangenomen dat dit instrument op een juiste wijze de laagdikte zou kunnen meten.

Op basis van bovenstaande voorbereidende metingen werd voorgesteld voor de meting op de dijk de EMS te gebruiken en de laagdiktemeter. Na afloop evaluerend, wat het doel is in deze

paragraaf, kan worden gesteld dat nieuwe meetinstrumenten dusdanig moeten worden getest dat ze in de voorziene omstandigheden ook daadwerkelijk goede metingen geven. Dit was op 18 december niet het geval. Daar werden zowel de EMS als de laagdiktemeter voldoende bevonden, zonder dat de juiste werking was aangetoond.

Voor de metingen in Delfzijl werden twee EMS-en en twee laagdiktemeters ingezet. Hiertoe werden twee stalen demontabele portalen gemaakt, waarop de instrumenten konden worden bevestigd. Deze portalen hebben goed gewerkt en deze opzet kan opnieuw worden gebruikt.

In eerste instantie werden de instrumenten los aan het portaal gehangen. Door de grote watersnelheden was echter te zien dat de torsiestijfheid van het portaal niet groot genoeg was om de instrumenten precies op hun plaats te houden. Toen na de eerste proeven duidelijk werd dat erosie niet snel optrad, zijn stalen pennen in de grond gedrukt om de meetinstrumenten op hun plaats te houden. Deze opzet werkte goed en kan in de toekomst weer worden gebruikt.

Bij de eerste proeflocatie werd een portaal op de kruin gezet, dicht bij de uitstroomopening van de simulator. Bij de volgende proeflocatie werd het portaal 2 m verder op het binnentalud gezet. De reden hiervan was dat direct na de uitstroomopening de waterstroom als nog geen evenwichtsstroming op het talud is en dat daarom een locatie verder op het talud werd gekozen. Bij verdere proeven moet daarom goed worden nagedacht over de locatie van te verrichten metingen. Dit geldt ook voor de hoogte boven de bodem waarop de snelheid gemeten moet worden.

De resultaten van de metingen en de werking van de instrumenten zullen in hoofdstuk 4 worden geëvalueerd. Helaas zijn nauwelijks of geen visuele waarnemingen van de maximale laagdikte gemaakt. Voor de toekomst wordt aanbevolen wel visuele waarnemingen hiervan te doen, zodat ook de werking van de laagdiktemeter kan worden gecontroleerd.

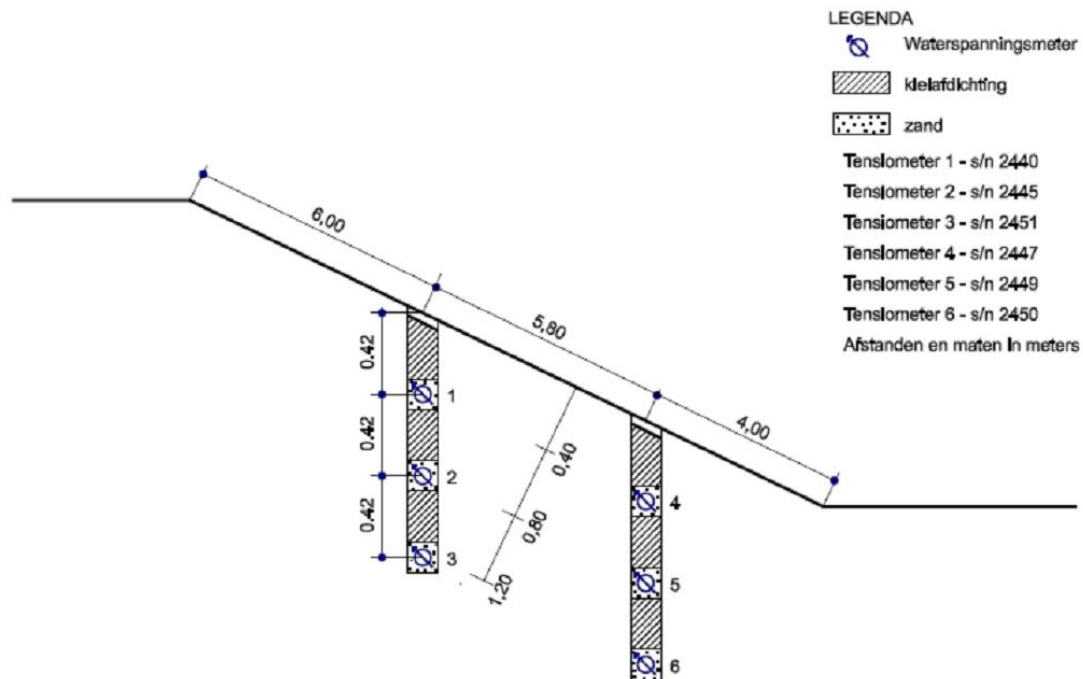
3.3 Meting infiltratie

3.3.1 Opstelling

Op de dijk bij Delfzijl zijn drie stroken dijkbekleding getest op erosie door overslag.

1. graszode in originele staat,
2. versterkte graszode,
3. verwijderde graszode (kale klei).

Alleen in de teststrook met de originele graszode (1) zijn tensiometers geplaatst (Figuur 3.1).



Figuur 3.1 Plaatsing tensiometers

De tensiometers zijn geplaatst in het midden van de teststrook, drie stuks in één boorgat. De tensiometers zijn met de keramische tip in synthetisch zand met een korrelgrootte van 73 micron geplaatst om goed contact met de omringende grond te hebben. Tussen en boven de tensiometers is het boorgat afgedicht met kleikorrels die na zwellen, en dat is na circa 24 uur, een zeer lage doorlatendheid hebben. De kabels zijn vanaf maaiveld langs een hoekprofiel naar een brugconstructie geleid die op de zijschotten rustte en aangesloten op een PR-aansluitkast. De aansluitkast is met één kabel aangesloten op de CR10-logger die in de keet is opgesteld.

Het systeem heeft vrijwel continu gemeten van 20 februari 2007 15:45 uur tot 19 maart 2007 8:00 uur. In deze periode zijn de volgende proeven uitgevoerd:

- 23 februari – continu verloopdebiet 0,91 l/s per m van 9:00 – 16:07
- 1 maart – overslag 0,1 l/s per m (verkort programma van 1:15)
- 2 maart – overslag 1 l/s per m
- 3 maart – overslag 10 l/s per m
- 5 maart – overslag 20 l/s per m
- 6 maart – overslag 30 l/s per m
- 7 maart – overslag 50 l/s per m (beperkte duur)
- 8 maart – overslag 50 l/s per m (beperkte duur)
- 9 maart – overslag 50 l/s per m

Na de laatste proef op 9 maart 2007 is het meetsysteem op 12 maart gestopt. Na overleg is besloten om de logger door te laten meten en zijn gedurende een week de natuurlijke wisselingen in de waterspanningen gemeten.

Op de proeflocatie was het mogelijk om de logger met een meetinterval van 2 minuten of een meetinterval van 10 seconden te laten meten. Gedurende de proeven is snel gemeten. Om de hoeveelheid data te beperken, is op andere tijdstippen het interval zo veel mogelijk op 2 minuten ingesteld. De resultaten van de metingen zijn gerapporteerd in [GeoDelft 2007].

3.3.2 Betrouwbaarheid opnemers

Uit de metingen blijkt dat opnemer 4 (ondiep, onderaan het talud) onbetrouwbaar is. Bij de start van het continu overloopdebiet (23 februari) neemt de waterspanning tegen de verwachting en tegen de andere opnemers in, ineens af. Na de overloopproof neemt de waterspanning geleidelijk toe, wederom tegen de andere opnemers en de verwachting in. Voor de aanvang van de eerste overslagproof op 1 maart is de waterspanning opgelopen tot een waarde behorend bij een stijghoogte tot aan het maaiveld. Bij aanvang van de overslagproof neemt de waterspanning juist af, om na de proof weer langzaam op te lopen. Dit herhaalt zich bij volgende proeven. Het systeem is zorgvuldig gecontroleerd op een tekenfout, maar die is niet gevonden.

Eenzelfde soort gedrag wordt waargenomen bij opnemer 1 (Bijlage 4). Afwijkend ten opzichte van opnemer 4 geeft opnemer 1 een druk die minder neigt op te lopen en die bovendien lager blijft. Daarnaast geeft opnemer 1 sprongen in druk van circa 5 à 10 cm waterkolom terwijl er geen proeven worden uitgevoerd en de andere opnemers geen reactie geven.

Opnemers 1 als 4 reageren niet naar verwachting, maar vertonen eenzelfde trend. Het verloop van opnemer 1 is wel zweveriger dan van opnemer 4. Het is niet aannemelijk dat toevallige fouten zowel voor opnemer 1 als voor 4 gelden. Het is dus te verwachten dat afwijkingen te maken hebben met het niveau van plaatsing. Het kan zijn dat de opnemers op dit niveau dicht bij het oppervlak gevoeliger zijn voor uitdroging van het filter en het achter het filter ontstaan van luchtbellen, ook wel doorslaan van het filter genoemd. Dat verstoort de meting.

3.3.3 Continu overslagdebiet 0,91 l/s per m

Op 23 februari is tussen 9:00 en 16:00 een continu overslagdebiet van 0,91 l/s per m over het talud gestroomd. Gedurende de test zijn wat losse gronddeeltjes van het talud gespoeld. Onderaan het talud werd zand aangetroffen. Verder is geen schade aan het talud waargenomen [Akkerman 2007]. De metingen staan in Figuur 3.2.

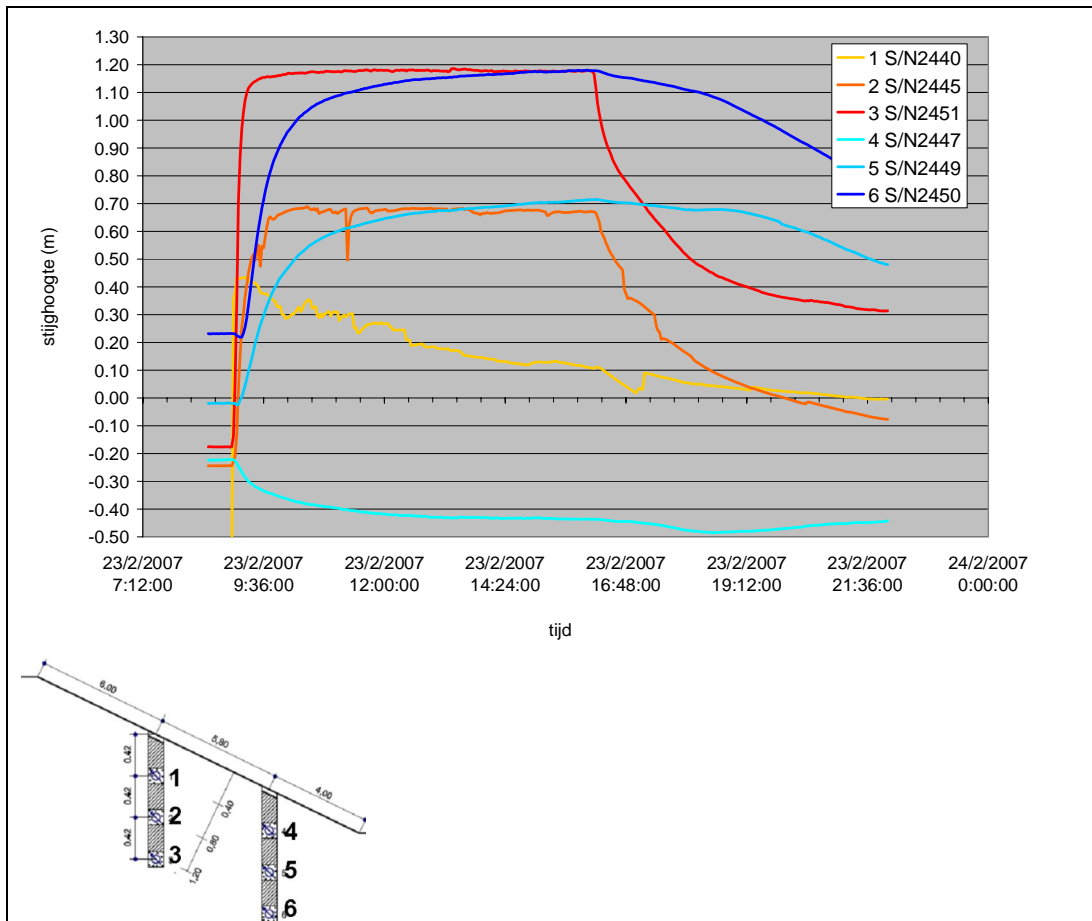
In de navolgende figuren zijn de gemeten drukken omgerekend naar een stijghoogte ten opzichte van het filterniveau van de betreffende opnemer. Dit betekent dat bij een volledige verzadiging van de grond boven het filter en bij een stationaire grondwaterstroming parallel langs het talud de opnemers de volgende stijghoogtes moeten aangeven:

- Opnemer 1 en 4: 0,4 m
- Opnemer 2 en 5: 0,8 m
- Opnemer 3 en 6: 1,2 m

Bij onvolledige verzadiging van de grond zal de druk en dus ook de berekende stijghoogte lager zijn.

Bij een grondwaterstroming met een richtingscomponent het talud in zal de stijghoogte lager zijn dan bovenstaand. De grondwaterstroming het talud in treedt op bij infiltratie.

Bij een grondwaterstroming het talud uit zal de druk en de stijghoogte hoger zijn dan bovenstaand aangegeven. Een richtingscomponent van de stroming het talud uit kan optreden onderaan het talud.



Figuur 3.2 Meting gedurende continu overloopdebiet van 0,91 l/s per m

De opnemers bovenaan het talud (1, 2 en 3) reageren aanzienlijk sneller dan de opnemers onderaan het talud (4, 5 en 6).

Opnemer	tijd tot 95% van de maximale stijghoogte
1	0:04
2	0:48
3	0:18
4	--
5	3:30
6	2:40

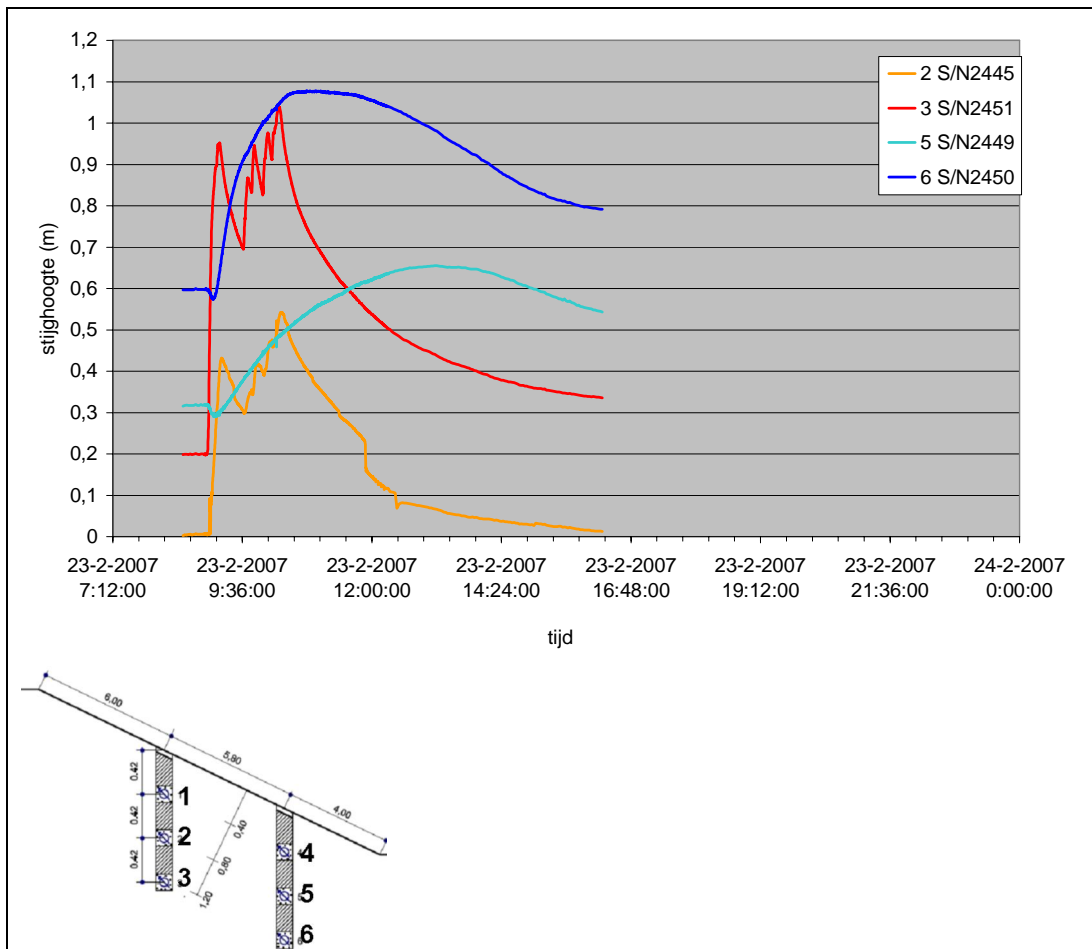
Indien de ondiepe opnemers 1 en 4 buiten beschouwing worden gelaten (zie par. 3.3.2), dan valt op dat bovenaan het talud al vrij snel een stationaire situatie wordt bereikt, terwijl dit onderaan het talud pas na enkele uren het geval is. Dit kan worden veroorzaakt door lokale afwijkingen van de doorlatendheid van de dijk. De diepte van de opnemer gedeeld door de tijd tot een min of meer stationaire situatie is opgetreden is een maat voor de verzadigde doorlatendheid van de macrostructuren (scheuren/ wormgangen) in de toplaag. Voor de lokatie bovenaan het talud levert dit $0,31 \times 10^{-3}$ - $1,1 \times 10^{-3}$ m/s en onderaan het talud $0,6 \times 10^{-4}$ - $1,3 \times 10^{-4}$ m/s. De waarden onderaan het talud komen goed overeen met de door Fugro gevonden waarden [Fugro 2006]. De mogelijkheid bestaat dat de scheuren bovenin de dijk, verder boven het dagelijkse freatische vlak, dieper en wijder zijn dan onderaan de dijk.

Daarnaast valt op dat de dieper gelegen opnemers (3 en 6) sneller een stationair signaal geven dan de minder diep gelegen opnemers (2 en 5). Dit kan verschillende oorzaken hebben, zoals

een afnemende doorlatendheid van de dijk met de diepte, maar ook lekkage van water langs de kabel. Een afname van de doorlatendheid met de diepte wordt overigens verwacht. Lekkage langs de kabel is minder waarschijnlijk in verband met de goede afdichting die kan worden verkregen met de gebruikte kwalitatief goede zwelklei.

3.3.4 Overslagdebiet 0,1 l/s per m

Op 1 maart is een overslagdebiet van 0,1 l/s per m gesimuleerd. Het programma van 6 uur is ingekort tot een totale tijdsduur van circa 36 minuten door het pompdebiet te verhogen tot 1 l/s per m. In feite is de hoeveelheid water gelijk aan 6 uur met 0,1 l/s per m, maar is dit 10 maal zo snel over de dijk gestroomd. Het betreffen 9 overslaande golven, die nu een tussenpoos hadden van orde 5 minuten, terwijl dit in werkelijkheid 40 minuten zou zijn.

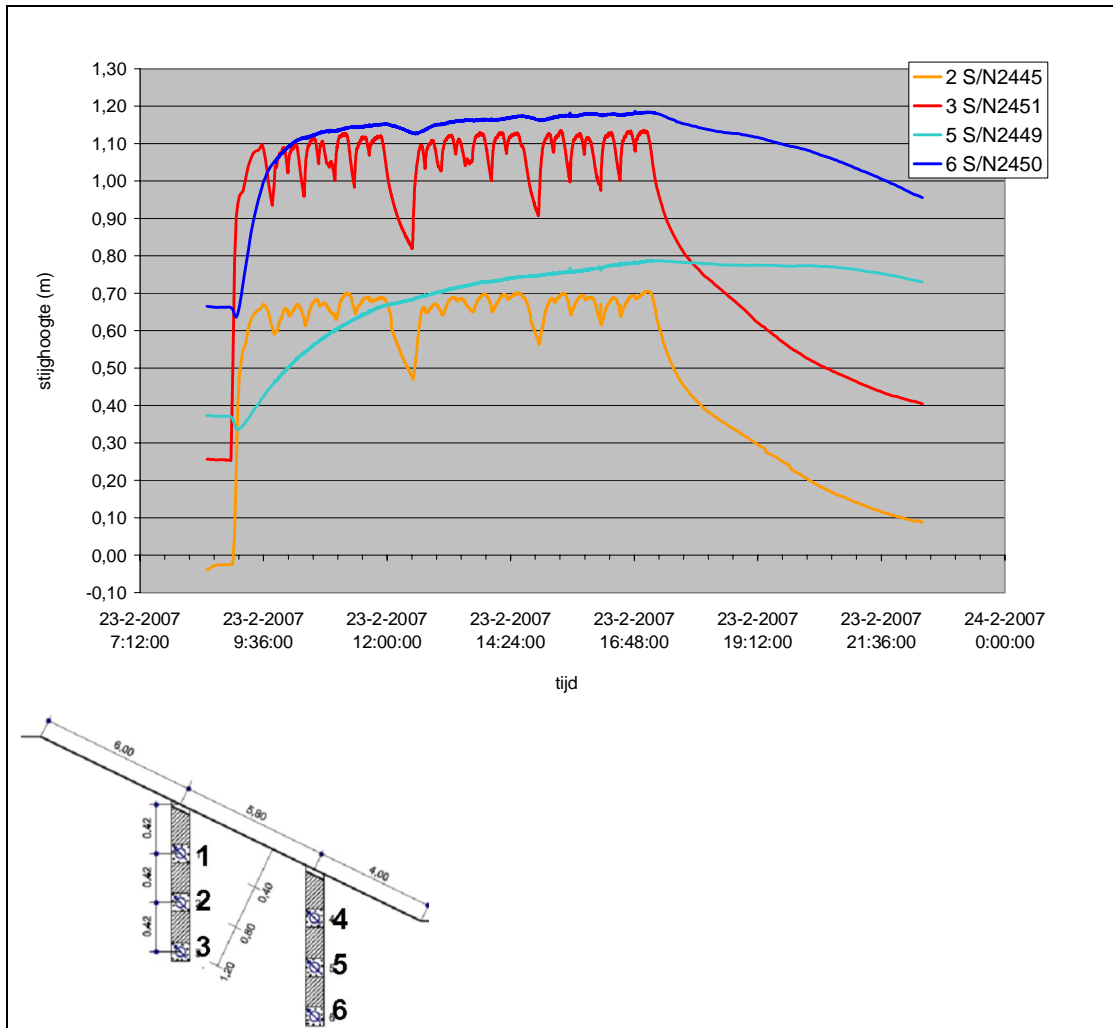


Figuur 3.3 Overslagdebiet 0,1 l/s per m

De opnemers bovenaan het talud reageren snel en lijken te reageren op individuele overslagvolumes. De opnemers onderaan het talud reageren trager. Ook na afloop van de proef loopt de druk in de onderste opnemers nog op. Volledige verzadiging van de toplaag wordt tijdens de proef niet bereikt. Indien het proefprogramma niet was ingekort van 6 uur naar 36 minuten, dan wordt verwacht dat de verzadiging nog geringer zou zijn.

3.3.5 Overslagdebiet 1 l/s per m

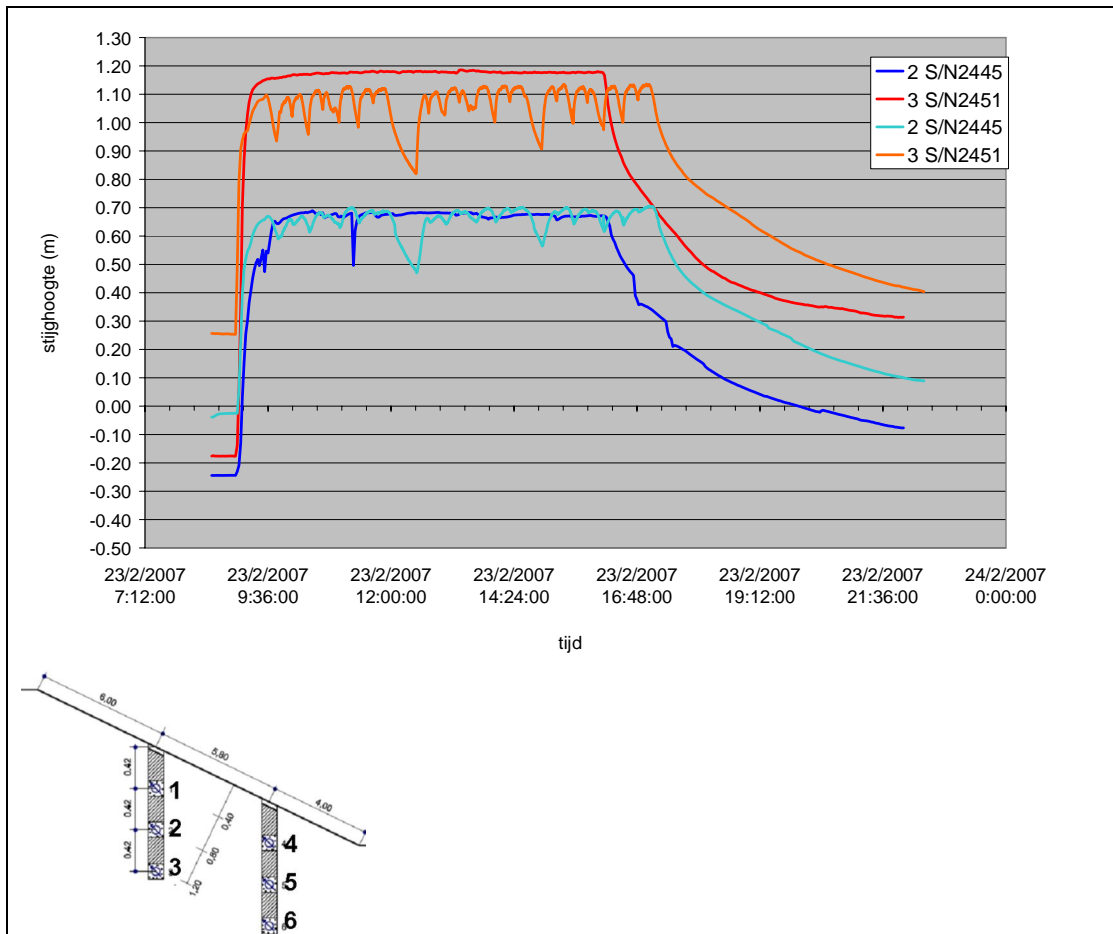
Op 2 maart 2007 is een overslagdebiet van 1 l/s per m gesimuleerd. De proef duurde inclusief onderbrekingen voor inspectie van het talud ongeveer 8 uur.



Figuur 3.4 Overslagdebiet 1 l/s per m

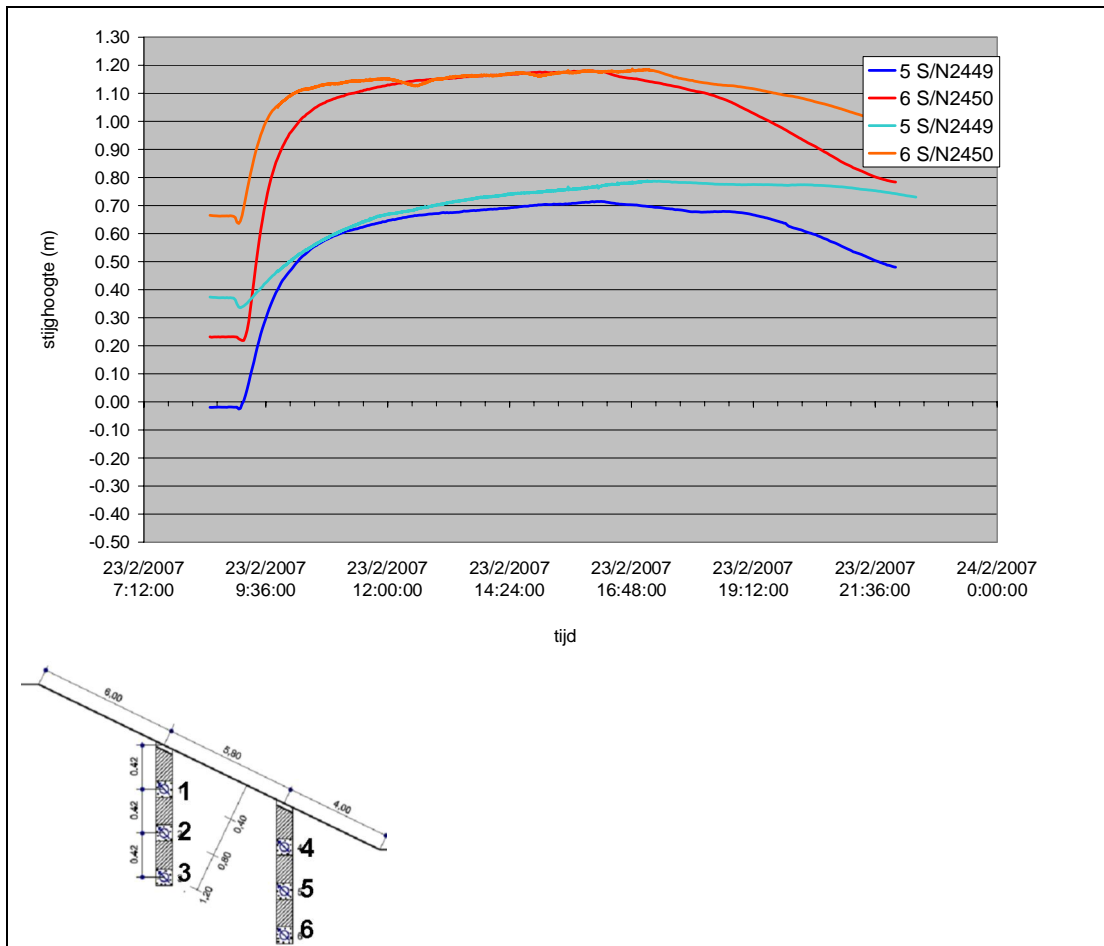
De proef is een paar keer onderbroken, waarop de opnemers 2 en 3 (boven aan het talud) direct reageerden. De opnemers onderaan het talud reageren relatief traag. De maximale stijghoogte onderaan het talud wordt in dit geval pas bereikt na afloop van de proef.

Ten opzichte van het continue overslagdebiet van 0,91 l/s per m (zie Figuur 3.5) geven de opnemers bovenaan het talud (2 en 3) een gelijk beeld. Alleen de diepste opnemer (3) geeft een iets lagere druk. Een opvallend verschil is dat proefonderbrekingen vrij snel gevolgd hebben voor de waterdruk op 0,8 en 1,2 m onder het taludoppervlak.



Figuur 3.5 Opnemers bovenaan talud 0,91 l/s per m overloop vs 1 l/s per m overslag

De opnemers onderaan het talud wijken niet veel af van de proef met een continu overslagdebiet (Figuur 3.6). Alleen de hogere aanvangswaarde van de drukhoogte zorgt ervoor dat de maximale drukhoogte eerder wordt bereikt.



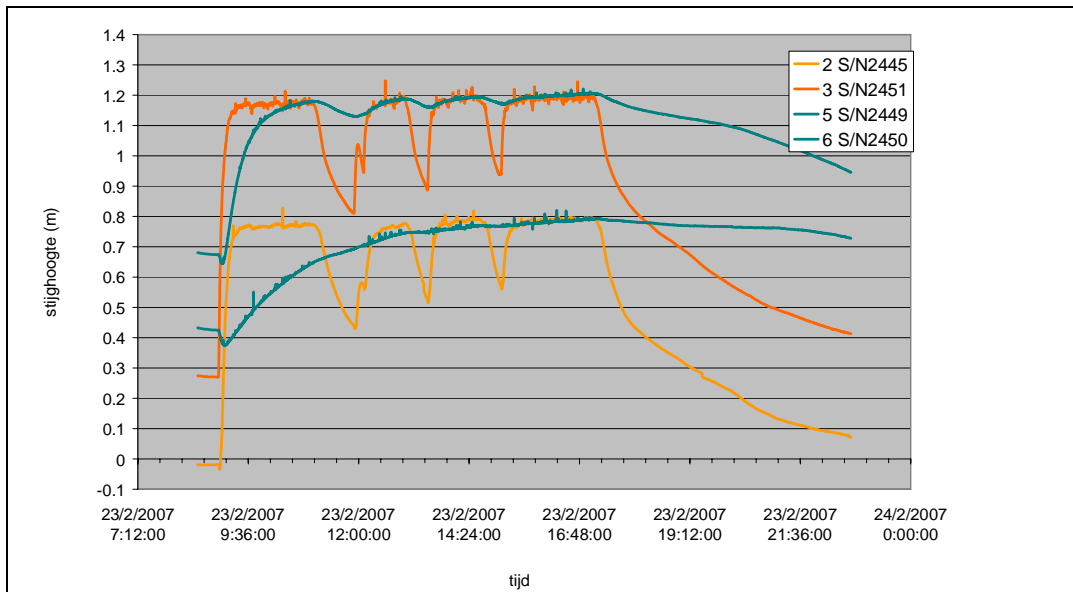
Figuur 3.6 Opnemers onderaan talud 0,91 l/s per m overloop vs 1 l/s per m overslag

3.3.6 Overslagdebiet 10 - 50 l/s per m

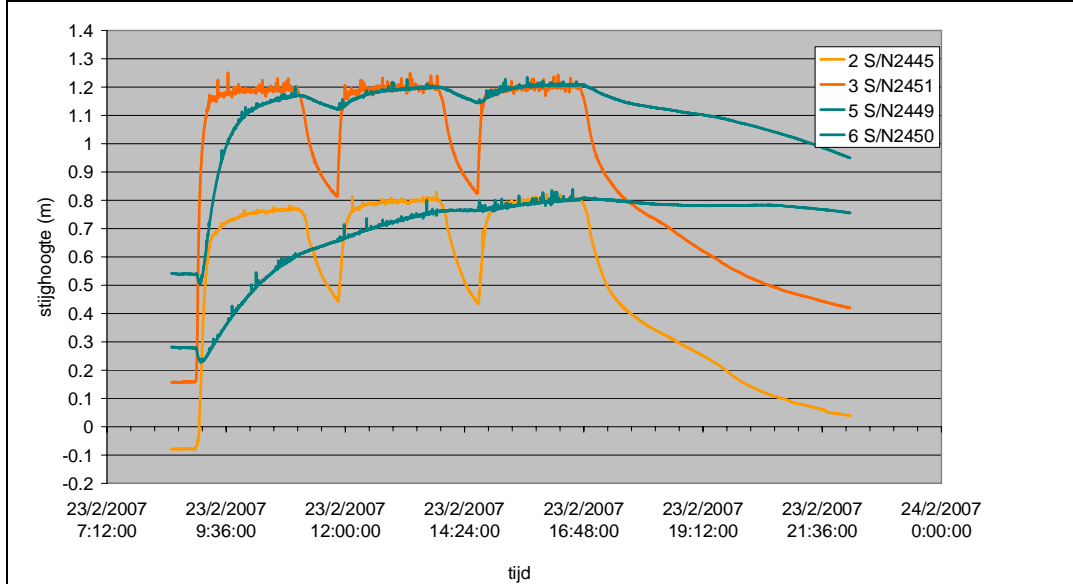
Bij een overslagdebiet van 10 l/s per m of meer wordt een drukhoogte gemeten die ruim binnen de tijd van de proeven het maaiveld bereikt. Dit duidt op een volledige verzadiging van minimaal de bovenste circa 1,2 m van het talud (Figuur 3.7). Vanwege de vergelijking tussen de verschillende proeven zijn de aanvangstijden allemaal gelijkgezet met de overloopproef van 23 februari 9:00.

Het beeld van de metingen is gelijk aan die van de voorgaande proeven met een kleiner overslagdebiet.

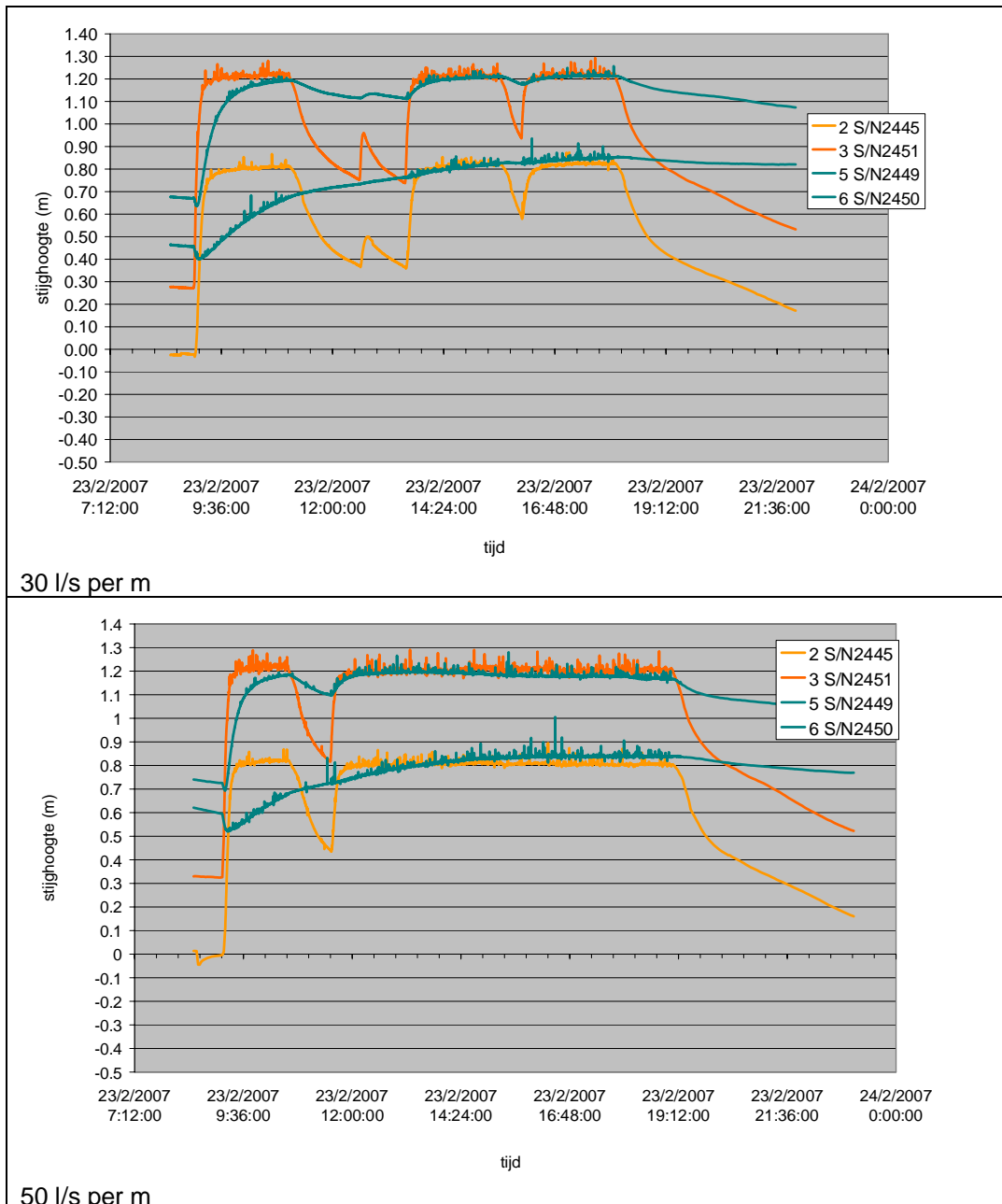
Afwijkend zijn de metingen van korte pieken op het signaal wat waarschijnlijk wordt veroorzaakt door de waterlaagdiktes op het talud. De meetfrequentie van de opnemers is niet voldoende geweest om een goed beeld te krijgen van de druk gedurende een overslagvolume. De pieken in de drukhoogte zijn in de orde van 0,05 m met een enkele uitschieter tot 0,15 m.



10 l/s per m



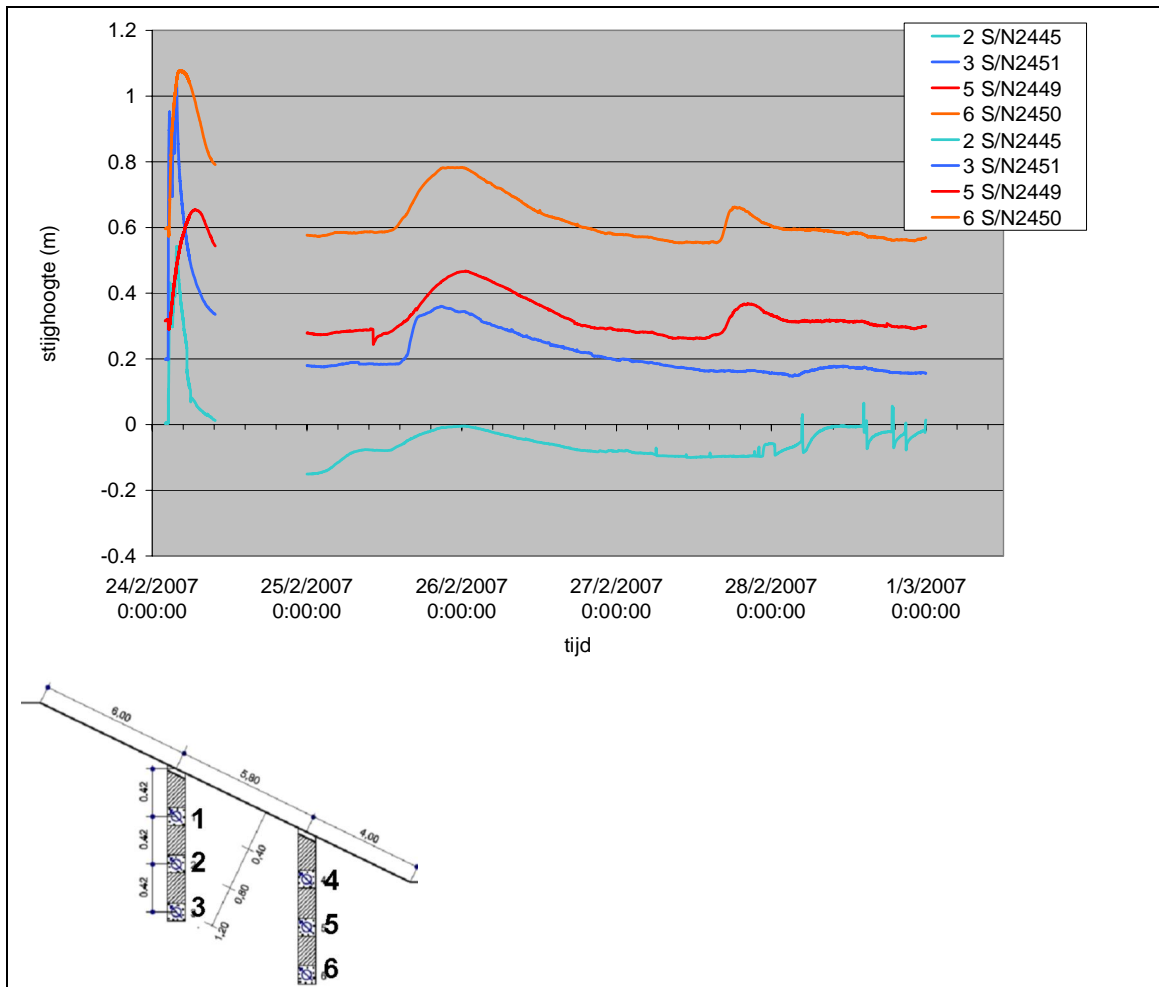
20 l/s per m



Figuur 3.7 Overslagdebiet van 10, 20, 30 en 50 l/s per m

3.3.7 Invloed neerslag

Tijdens de meetperiode is een aanzienlijke hoeveelheid neerslag gevallen. Op 25 en 26 februari viel 29 mm neerslag in Delfzijl. In de dagen van 28 februari tot en met 3 oktober viel circa 8 mm per dag (Bijlage 4). In deze periode is een waterdruk verhoging gemeten, wat waarschijnlijk door de neerslag is veroorzaakt (Figuur 3.8).



Figuur 3.8 Metingen 0,1 l/s per m (verschoven naar 24/2/2007 02:00:00) en tijdens neerslag 11 mm op 25/2 en 18 mm op 26/2

De waterdrukverhoging als gevolg van deze neerslag is relatief gering. In vergelijking tot een overslaggebied van 0,1 l/s per m, is de waterdrukverhoging ongeveer een factor twee lager.

Het wateraanbod op het talud per vierkante meter, bij een bepaald overslaggebied en bij een taludlengte van 15,8 m (Delfzijl) is:

0,1 l/s per m	$6,3 \times 10^{-3} \text{ l/s/m}^2$	22,8 mm/uur
1,0 l/s per m	$6,3 \times 10^{-2} \text{ l/s/m}^2$	228 mm/uur

De KNMI levert de volgende informatie over neerslagfrequenties (http://www.knmi.nl/klimatologie/achtergrondinformatie/neerslagfrequentie_092007.pdf).

			minuten				uren						etmalen			
			5	15	30	60	2	4	6	8	12	24	2	4	7	10
10 x	Per	jaar	-	3	4	5	7	9	11	12	13	15	19	-	-	-
5 x	per	jaar	-	4	6	7	10	12	14	15	17	21	26	-	-	-
2 x	per	jaar	4	6	8	10	13	16	19	20	23	28	35	45	58	68
1 x	per	jaar	5	9	11	14	17	21	23	24	27	33	41	52	66	80
1 x	per	2 jaar	7	11	14	18	21	25	27	29	32	39	48	60	76	91
1 x	per	5 jaar	9	15	19	23	26	31	34	36	40	47	58	71	88	105
1 x	per	10 jaar	11	18	23	27	31	36	39	41	46	54	65	80	98	114
1 x	per	20 jaar	12	21	27	32	36	41	45	47	52	61	73	89	107	124
1 x	per	50 jaar	15	26	32	38	42	49	53	56	61	71	84	100	119	135
1 x	per	100 jaar	17	29	37	43	48	55	59	62	68	79	92	109	127	143

Tabel 3.1 KNMI Neerslagfrequentie

Uit de tabel kan worden afgelezen dat gedurende een tijdsperiode van 6 uur 59 mm neerslag kan vallen met een kans van 1/100 per jaar. Dit is gemiddeld 9,8 mm/uur. Gedurende een uur kan 43 mm vallen met een kans van 1/100 per jaar (43 mm/uur). De gemeten neerslag in Delfzijl van 18 mm gedurende 24 uur kan 10 keer per jaar voorkomen en 29 mm in twee dagen circa 2 keer per jaar. De gemeten neerslag in Delfzijl is daarmee geen bijzondere hoeveelheid neerslag.

Een extreme neerslag met een kans van 1/100 jaar kan, afhankelijk van de beschouwde tijdsduur, een vergelijkbaar wateraanbod leveren als een overslagdebiet van 0,1 l/s per m. Een overslagdebiet van 1 l/s per m geeft een groter wateraanbod dan neerslag.

3.3.8 Zijdelingse spreiding infiltratie

Na afloop van de proeven op het onversterkte taludgedeelte zijn de metingen nog enige tijd doorgedaan. In de periode van 12 tot en met 16 maart werd een dagelijkse toe- en afname van de waterdruk gemeten door de opnemers onderaan het talud. De drukvariatie was in de orde van 0,2 à 0,3 m waterkolom.

De oorzaak van deze variaties waren de proeven op een naastgelegen teststrook op circa 10 m afstand (Bijlage 4).

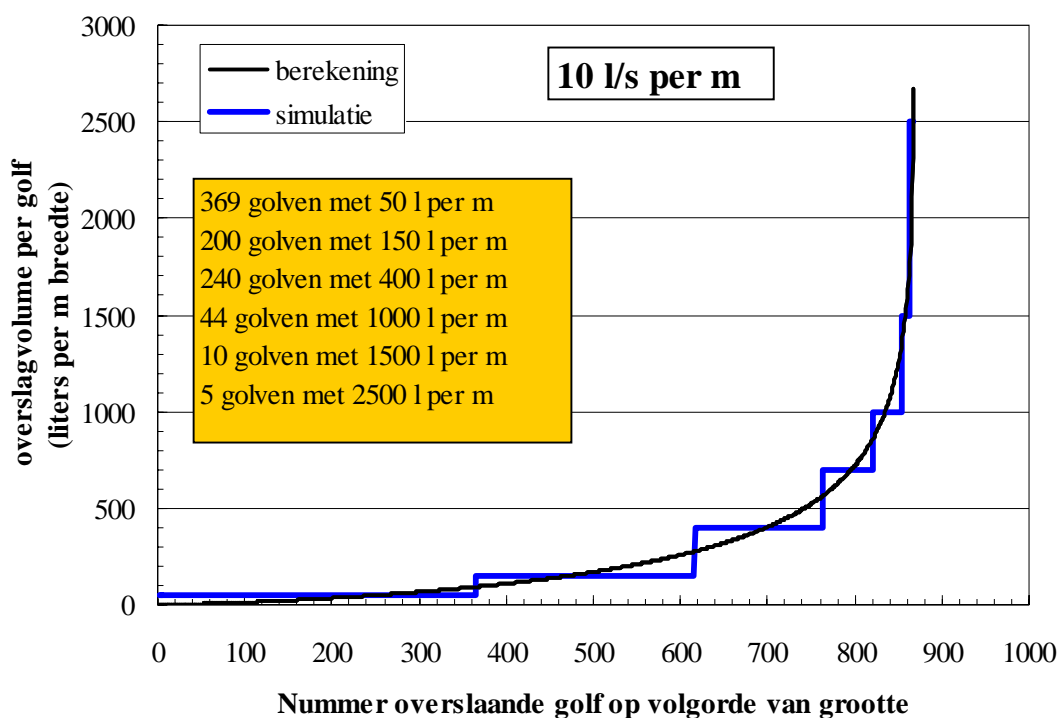
4 Modelleren hydraulische belasting

4.1 Introductie

De evaluatie van het hydraulisch gebeuren betreft de modellering van golfoverslag, de werking van de golfoverslagsimulator tijdens de proeven en het resultaat van de metingen naar snelheid en laagdikte van het overslaande water. In feite betreft het een samenvatting van het ComCoast-rapport omtrent de golfoverslagsimulator (Design, construction, calibration and the use of the wave overtopping simulator, september 2007). Tot slot zijn door Bosman (2007) analyses uitgevoerd naar formulering van snelheden en laagdiktes van overslaand water en zijn nieuwe formules afgeleid. Hier zal een samenvatting van worden gegeven.

4.2 Modelleren van golfoverslag

Bij het ontwikkelen en ontwerpen van de golfoverslagsimulator werd er van uit gegaan dat het produceren van "vaste overslagvolumes" gemakkelijker zou zijn dan het precies volgen van een verdeling van overslagvolumes. Figuur 4.1 geeft een voorbeeld van de opzet die is gevolgd. In de figuur wordt de feitelijke verdeling gegeven van de overslagvolumes die horen bij een golfoverslagdebiet van 10 l/s per m. Dit is een vloeiend verloop met veel kleine overslagvolumes (ongeveer 750 volumes zijn kleiner dan 500 l per m) en een klein aantal veel grotere volumes tot 2700 l per m als maximum. De modellering gebeurde door random kleinere en grotere volumes los te laten volgens de verdeling, maar wel met vaste volumes van 50, 150, 400, 700, 1000, 1500, 2500 en als maximum 3500 l per m. Dit geeft het geblokte verloop in figuur 4.1. De voornaamste reden voor deze opzet was dat niet bekend was of een nauwkeurig en constant debiet in de simulator kon worden gepompt en dat sturing visueel zou moeten plaatsvinden op het werkelijke volume in de bak van de simulator. Daartoe zijn aan beide zijden van de simulator ook maatbuizen aangebracht.



Figuur 4.1 Verdeling van overslaande volumes bij een overslagdebiet van 10 l/s per m en de modellering in vaste volumes door de golfoverslagsimulator.

Evaluatie van de proeven leert dat heel goed een constant en vrij nauwkeurig pompdebiet kon worden bereikt. Om deze reden werd de sturing van de golfoverslagmachine bepaald door de tijd die nodig was om een bepaald volume in de bak te pompen. In feite werd van tevoren een lijst gemaakt met daarop de volumes die los gelaten moesten worden en het tijdstip waarop dit volume in de bak zou zijn, gegeven het pompdebiet. Tabel 4.1 geeft een deel van zo'n lijst.

Test 10 l/s per m; 2 hours						
Wave number	Volume (liters/m)	Open hr.min.s		Wave number	Volume (liters/m)	Open hr.min.s
1	150	0.00.13		51	50	0.19.42
2	150	0.00.28		52	700	0.20.52
3	50	0.00.33		53	400	0.21.32
4	50	0.00.38		54	150	0.21.48
5	400	0.01.17		55	50	0.21.53
6	50	0.01.23		56	50	0.21.57
7	150	0.01.38		57	150	0.22.12
8	150	0.01.53		58	400	0.22.52
9	50	0.01.58		59	50	0.22.57
10	400	0.02.37		60	150	0.23.12
11	700	0.03.47		61	50	0.23.18
12	150	0.04.02		62	50	0.23.23
13	50	0.04.08		63	400	0.24.02
14	150	0.04.23		64	150	0.24.18
15	50	0.04.28		65	700	0.25.27
16	50	0.04.33		66	50	0.25.33
17	150	0.04.48		67	400	0.26.12
18	400	0.05.27		68	50	0.26.18
19	150	0.05.43		69	50	0.26.23
20	1000	0.07.21		70	50	0.26.27
21	50	0.07.28		71	150	0.26.42
22	400	0.08.07		72	1000	0.28.21
23	150	0.08.23		73	400	0.29.02
24	50	0.08.28		74	50	0.29.07
25	50	0.08.33		75	150	0.29.23
26	50	0.08.38		76	50	0.29.27
27	400	0.09.17		77	50	0.29.33
28	150	0.09.33		78	400	0.30.12
29	50	0.09.38		79	50	0.30.18
30	400	0.10.17		80	150	0.30.33
31	150	0.10.33		81	150	0.30.48
32	50	0.10.38		82	400	0.31.27
33	150	0.10.53		83	50	0.31.33
34	150	0.11.07		84	50	0.31.38
35	50	0.11.13		85	700	0.32.46
36	400	0.11.52		86	400	0.33.27
37	700	0.13.01		87	50	0.33.32
38	50	0.13.07		88	150	0.33.47
39	50	0.13.13		89	50	0.33.53
40	50	0.13.18		90	50	0.33.58
41	400	0.13.57		91	400	0.34.37
42	50	0.14.03		92	150	0.34.53
43	150	0.14.18		93	50	0.34.58
44	50	0.14.23		94	50	0.35.02
45	50	0.14.28		95	400	0.35.42
46	400	0.15.07		96	400	0.36.22
47	1000	0.16.45		97	50	0.36.28
48	150	0.17.03		98	150	0.36.43
49	50	0.17.07		99	50	0.36.47
50	1500	0.19.36		100	2500	0.40.54

Tabel 4.1 Voorbeeld van een stuurlijst om de simulator te openen

Aangezien op tijdstip van openen kan worden gestuurd in plaats van op het visueel bepalen van het aanwezig zijn van een bepaald volume, is er ook geen reden meer om in het vervolg met "blokken" of vaste volumes te werken. In feite kan de werkelijke golfoverslagverdeling worden gesimuleerd. Wat blijft is dat er een minimum volume is dat op een goede manier kan worden gesimuleerd. Hele kleine volumes moeten worden samengebracht tot één groter volume.

Lijsten zoals in tabel 4.1 werden voor een proefduur van 1 of 2 uur gemaakt en de lijsten werden daarna opnieuw gebruikt voor de volgende uren, totdat de volledige tijd van 6 uur was voltooid. Het betekende ook dat het aantal golven met een bepaald volume iets afweek van een eerste opzet, het aantal moest immers door 3 of soms door 6 deelbaar zijn.

In tabellen 4.2-4.8 zijn voor alle uitgevoerde overslagdebieten het aantal overslagen gegeven met een bepaald volume. Daarnaast zijn de maximum laagdikte, maximum snelheid en overslagtijd gegeven. Deze zijn echter niet gemeten (zie paragraaf 3.2), maar berekend met de meest recente formules zoals die door Bosman (2007) zijn ontwikkeld, zie ook paragraaf 4.5.

Gesimuleerd		Berekend volgens Bosman (2007)		
Volume V l/s	Aantal in 6 uur	Laagdikte h xc=1.5 m	Snelheid u xc=1.5 m/s	Overslagtijd Tovt xc=1.5 s
50	3	0.015	0.02	1.36
150	3	0.034	0.35	2.04
400	2	0.070	1.24	2.91
700	1	0.103	2.03	3.53

Tabel 4.2 Aantal overslagen bij 0,1 l/s per m en berekende parameters

Gesimuleerd		Berekend volgens Bosman (2007)		
Volume V l/s	Aantal in 6 uur	Laagdikte h xc=1.5 m	Snelheid u xc=1.5 m/s	Overslagtijd Tovt xc=1.5 s
50	54	0.026	0.17	1.78
150	54	0.057	0.93	2.64
400	9	0.113	2.23	3.70
700	6	0.163	3.19	4.45
1000	3	0.205	3.87	4.98

Tabel 4.3 Aantal overslagen bij 1 l/s per m en berekende parameters

Gesimuleerd		Berekend volgens Bosman (2007)		
Volume V l/s	Aantal in 6 uur	Laagdikte h xc=1.5 m	Snelheid u xc=1.5 m/s	Overslagtijd Tovt xc=1.5 s
50	225	0.029	0.22	1.87
150	123	0.063	1.07	2.76
400	81	0.121	2.40	3.83
700	30	0.173	3.36	4.58
1000	12	0.215	4.02	5.10
1500	3	0.273	4.826	5.755
2000	3	0.322	5.427	6.249

Tabel 4.4 Aantal overslagen bij 5 l/s per m en berekende parameters

Gesimuleerd		Berekend volgens Bosman (2007)		
Volume V l/s	Aantal in 6 uur	Laagdikte h xc=1.5 m	Snelheid u xc=1.5 m/s	Overslagtijd Tovt xc=1.5 s
50	384	0.028	0.21	1.86
150	252	0.061	1.03	2.73
400	147	0.118	2.34	3.78
700	57	0.167	3.27	4.50
1000	33	0.208	3.91	5.02
1500	9	0.263	4.69	5.65
2500	6	0.350	5.74	6.51

Tabel 4.5 Aantal overslagen bij 10 l/s per m en berekende parameters

Gesimuleerd		Berekend volgens Bosman (2007)		
Volume V l/s	Aantal in 6 uur	Laagdikte h xc=1.5 m	Snelheid u xc=1.5 m/s	Overslagtijd Tovt xc=1.5 s
150	378	0.058	0.96	2.66
400	294	0.111	2.20	3.67
700	120	0.158	3.09	4.37
1000	66	0.195	3.71	4.86
1500	48	0.246	4.46	5.46
2500	6	0.326	5.47	6.28
3500	6	0.389	6.17	6.87

Tabel 4.6 Aantal overslagen bij 20 l/s per m en berekende parameters

Gesimuleerd		Berekend volgens Bosman (2007)		
Volume V l/s	Aantal in 6 uur	Laagdikte h xc=1.5 m	Snelheid u xc=1.5 m/s	Overslagtijd Tovt xc=1.5 s
150	462	0.056	0.90	2.61
400	348	0.107	2.10	3.59
1000	126	0.185	3.56	4.74
1500	78	0.234	4.29	5.32
2500	18	0.309	5.27	6.12
3500	12	0.369	5.95	6.68

Tabel 4.7 Aantal overslagen bij 30 l/s per m en berekende parameters

Gesimuleerd		Berekend volgens Bosman (2007)		
Volume V l/s	Aantal in 6 uur	Laagdikte h xc=1.5 m	Snelheid u xc=1.5 m/s	Overslagtijd Tovt xc=1.5 s
400	684	0.100	1.95	3.48
700	234	0.140	2.78	4.12
1000	174	0.173	3.35	4.57
1500	138	0.217	4.05	5.13
2500	42	0.286	4.98	5.88
3500	42	0.340	5.63	6.42

Tabel 4.8 Aantal overslagen bij 50 l/s per m en berekende parameters

De simulator is ontworpen met de heersende regels voor toelaatbare overslagdebieten als leidraad. Bij een overslagdebiet van 1 l/s per m moet al een uitvoerige grastoets worden

gedaan en in vrijwel geen enkel geval wordt een overslagdebiet van 10 l/s per m aanvaardbaar geacht. Om deze reden werd aangenomen dat er waarschijnlijk bij orde 30 l/s per m aan elk grastalud wel behoorlijke schade zou ontstaan. Om deze reden is de grootte van de simulator bepaald op het goed kunnen reproduceren van een maximaal overslagdebiet van 30 l/s per m.

Er ontstond tijdens de proeven een probleem toen al snel bleek dat de goede kleidijk met een (matige) grasmat heel gemakkelijk zes uur lang een overslagdebiet van 30 l/s per m kon hebben. Er is toen besloten de simulator te "upgraden" naar 50 l/s per m. Dit bleek mogelijk, maar wel met een paar haken en ogen:

- De pomp was niet berekend op een debiet van 50 l/s per m en een grotere pomp leverde problemen met de schakelkast. Zodoende bleef het pompdebiet beperkt tot 40 l/s per m. De proef werd dan ook "vertraagd" uitgevoerd, wat betekent dat wel de volumes werden gesimuleerd die bij 50 l/s per m overslag horen, maar dat de tijd tussen de verschillende golven een factor $50/40 = 1.25$ langer was.
- Door de grote pomp was het kleinste overslagvolume 400 l per m. In feite zijn ongeveer 1500 overslagvolumes kleiner dan 500 l per m gemodelleerd door 650 volumes van 400 l per m. Dit effect zal altijd aanwezig zijn bij grote overslagdebieten.
- De maximum capaciteit van de simulator is beperkt tot 3500 l per m. Bij een overslagdebiet van 50 l/s per m komen er 15 (van de 2100) overslaande golven voor met een volume dat groter is dan 3500 l per m. Er zijn 5 golven met een volume groter dan 4500 l per m en de grootste golf geeft ongeveer 6500 l per m. Deze grote volumes konden niet worden gesimuleerd. Wel is een overmaat aan golven van 3500 l per m gesimuleerd, maar het volgen van de juiste verdeling voor deze grote volumes was niet mogelijk.

Evaluerend kan geconcludeerd worden dat eigenlijk de simulator te klein is ontworpen en dat ook het pompsysteem een te kleine capaciteit had. Om schade te veroorzaken, bleek een groter overslagdebiet nodig te zijn dan was ingeschat. Met kunst en vliegwerk is nog wel een representatief overslagdebiet van 50 l/s per m gesimuleerd, maar dit was het absolute maximum.

4.3 Werking van de golfoverslagsimulator

Het ontwerp van de simulator is in twee duidelijke stappen gedaan. Van het eerste ontwerp is een 1 m breed prototype gemaakt en hiermee zijn uitgebreid proeven gedaan. Deze methode heeft goed gewerkt. Daardoor was het relatief eenvoudig direct een goed werkende 4 m brede simulator te bouwen. Ook bleek uit de calibratieproeven dat het idee om de simulator slank en hoog te bouwen, een goede was. De snelheid van over de kruin stromend water (kinetische energie) moet gehaald worden uit potentiële energie en daarom moest de bak deze hoge vorm hebben. Bij een eventuele vergroting van de simulator of een nieuwe grotere simulator, moet dan ook extra volume in de hoogte worden gezocht en niet in de breedte. Grotere volumes gaan gepaard met grotere snelheden en deze kunnen alleen gesimuleerd worden door een grotere potentiële energie.

Ook de testdag op de dijk (20 december 2006) was een succes. Geconstateerd werd dat de pompen goed instelbaar waren en dat een constant debiet kon worden gepompt. De sturing van de simulator werd hierop aangepast, waarmee het openen en sluiten van de simulator op tijd kon gebeuren in plaats van op visueel bepaalde volumes. Bij de testdag kwam ook vast te staan dat een dijk niet mooi vlak is en dat daardoor het horizontaal neerzetten van de simulator op 6 poten bijna onmogelijk was. Vervolgens werd al snel geconcludeerd dat de draagkracht van de klei onder de poten niet voldoende was bij een volle bak (14 ton aan water). Daarop is het ontwerp van de poten aangepast. Bij de daadwerkelijke proeven op de dijk heeft deze aanpassing prima gewerkt.

De simulator heeft drie weken lang vrijwel probleemloos gewerkt. Wel is gebleken dat drie meter waterkolom bij een volle bak dusdanige drukken levert dat de waterdichte afsluiting door

de klep niet altijd mogelijk was. De afdichting van de klep is een kritiek punt van de simulator, zeker als deze een nog grotere capaciteit krijgt.

De simulator werd bediend middels hydrauliekdruk van een tractor en een joystick in de meetcabine. Dit systeem werkte goed. Het is mogelijk de bediening te automatiseren, maar het grote voordeel van handmatige bediening is dat onmiddellijk kan worden ingegrepen als iets mis gaat en dat steeds bekend is of en wanneer er grote volumes worden losgelaten. Dit laatste is handig bij het maken van foto's en video's en bij het eventueel opnemen van schade tussen twee overslagen in. Wel zou de tractor vervangen kunnen worden door een hydraulische generator. Er is dan geen tractor meer nodig en ook is het motorgeluid van deze tractor dan niet meer aanwezig.

Bij het upgraden van de simulator naar 50 l/s per m bleek dat een grotere pomp nodig was. Dit betekende ook dat de kleinere overslagdebieten met deze grote pomp veel moeilijker waren te realiseren. Als naast de kleinere debieten ook erg grote debieten gesimuleerd moeten worden, dan is het aan te bevelen twee kleinere pompen te gebruiken in plaats van een grote.

In Delfzijl is de simulator zodanig op het buitentalud van de dijk geplaatst dat de uitstroomopening halverwege de kruin stond. Omdat direct na de uitstroomopening het water nog een neerwaartse snelheid heeft, is de eerste 2 m na de opening beschermd met een tapijt. In feite betekent dit dat de kruin van de dijk zelf niet is beproefd, maar alleen het binnentalud. Als bij volgende proeven het ook gewenst is dat de kruin wordt beproefd, dan moet de simulator verder op het buitentalud staan. Hierbij moeten waarschijnlijk aanpassingen aan de simulator worden gedaan met betrekking tot fundering en uitstroomopening.

4.4 Meten van de hydraulische belasting

Zoals in paragraaf 3.2 is beschreven, zijn twee EMS-en ingezet en twee laagdiktemeters om respectievelijk watersnelheden en laagdiktes te meten. De uiteindelijke conclusie omtrent deze meetinstrumenten is dat ze beide niet goed hebben gemeten. Voor snelheden groter dan ongeveer 2,5 m/s kan de EMS de snelheden niet meer goed meten. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de grote turbulentie en ook de grote hoeveelheid lucht die in het water zit. Dit is waarschijnlijk ook de oorzaak dat de laagdiktemeter te lage waarden geeft. Er moeten dus nieuwe en betere instrumenten worden gevonden.

Wat wel goed werkt is het vaststellen van de frontnelheid van de overslaande golf. Dit geeft nog niet een volledig snelheidssignaal, maar wel het maximum van de snelheid. Een systeem van "frontnelheidsmeters" langs het talud kan goed het verloop van de maximum snelheid langs het binnentalud meten.

De snelheidsmetingen lieten zien dat de hoogte boven het talud waar wordt gemeten, invloed heeft op de snelheid. Als een goed werkende snelheidsmeter zou kunnen worden ontwikkeld, dan zou de snelheid op verschillende hoogtes boven het talud moeten worden gemeten.

Een nieuwe parameter die na de proeven is ontwikkeld (zie ook de volgende paragraaf) is de verblijftijd van water op het talud, oftewel de duur van het snelheids- of laagdiktesignaal. Met de gebruikte instrumenten kon een redelijke meting van deze verblijftijd worden gemaakt. Deze verblijftijd of duur van een overslag kwam voor grotere snelheden of overslagvolumes goed overeen met de theorie. Bij de kleine overslagvolumes was de duur iets korter dan volgens de theorie. Dit was ook voorzien en was ook gebleken bij de calibratie, omdat voor kleine volumes de simulator eigenlijk iets te ver boven het talud staat. Dit moet echter wel, omdat het water ruimte nodig heeft om te buigen naar een horizontale snelheid.

4.5 Nieuwe formuleringen

Bij het ontwerpen en calibreren van de simulator was geconcludeerd formules voor de snelheid van overslaand water wel betrouwbaar waren, maar dat er een grote discrepantie aanwezig was tussen verschillende onderzoeken met betrekking tot de laagdikte van overslaand water. De calibratie van de simulator is dan ook vooral gebeurd op de snelheid en de geschatte duur van de overslag en niet op de laagdikte.

Bosman (2007) heeft in zijn afstudeerwerk deze discrepantie opgelost door naar laboratoriummetingen van verschillende onderzoekers te kijken. Het blijkt dat bij de bepaling van zowel de snelheid als de laagdikte ook het buitentalud moet worden meegenomen. Als de golfcondities hetzelfde zijn, dan zal een 1:4 buitentalud een andere overslag geven dan een 1:6 talud. De nieuwe formuleringen voor laagdikte en snelheid op de buitenkruinlijn worden hier samengevat, omdat in het samenvattend ComCoast rapport over de golfoverslagsimulator (Van der Meer, 2007) enkele foutjes zijn geslopen.

$$h_{2\%}(x_c = 0) = 0.010/\sin^2\alpha \cdot (Ru_{2\%} - R_c) \quad (4.1)$$

$$u_{2\%}(x_c = 0) = 0.30 g^{0.5}/\sin\alpha \cdot (Ru_{2\%} - R_c)^{0.5} \quad (4.2)$$

met:

- $h_{2\%}(x_c = 0)$ = maximale laagdikte op de buitenkruinlijn die door 2% van de inkomende golven wordt overschreden (m)
- x_c = afstand op de kruin gerekend vanaf de buitenkruinlijn (m)
- α = hoek van het buitentalud ($^\circ$)
- $Ru_{2\%}$ = golfploophoogte die door 2% van de inkomende golven wordt overschreden (m)
- R_c = de vrije kruinhoogte (m)
- $u_{2\%}(x_c = 0)$ = maximale snelheid op de buitenkruinlijn die door 2% van de inkomende golven wordt overschreden (m/s)

Ook is geconstateerd dat water dat een talud opstroomt een verticale component heeft en dat op de buitenkruinlijn deze moet worden omgezet in een horizontale snelheid. Dit geeft een soort sprong in het snelheids- en laagdiktesignaal. In feite zijn direct (0,5 m tot 1 m) na de kruin de snelheid en laagdikte kleiner. Als de kruin heel breed zou zijn, dan neemt de snelheid door wrijving ook af. De laagdikte en snelheid over de kruin worden gerelateerd aan de laagdikte en snelheid op de buitenkruinlijn:

$$h_{2\%}(x_c)/h_{2\%}(x_c=0) = 0.81 \exp(-6 x_c / (\gamma_c L_{m-1,0})) \quad (4.3)$$

$$u_{2\%}(x_c)/u_{2\%}(x_c=0) = \exp(-0.042 x_c / (\gamma_c h_{2\%}(x_c))) \quad (4.4)$$

met:

- $h_{2\%}(x_c)$ = maximale laagdikte op de kruin op positie x_c die door 2% van de inkomende golven wordt overschreden (m)
- γ_c = wrijvingscoëfficiënt over de kruin (glad talud $\gamma_c = 1$) (-)
- $L_{m-1,0}$ = golflengte $gT_{m-1,0}^2/(2\pi)$ (m) met spectrale periode $T_{m-1,0}$ (s)
- $u_{2\%}(x_c)$ = maximale snelheid op de kruin op positie x_c die door 2% van de inkomende golven wordt overschreden (m/s)

Voor de overslagsimulator zou een waarde van $x_c = 1-2$ m kunnen worden gebruikt, dus een plaats 1 tot 2 m vanaf de buitenkruinlijn.

Bosman concludeerde ook dat het signaal van de overslag (snelheid of laagdikte) een driehoekig verloop heeft, wat goed gekarakteriseerd wordt door het maximum en de overslagtijd. Het maximum kan worden afgeleid uit formules 4.1-4.4 en de overslagtijd op de buitenkruinlijn uit:

$$T_{\text{ovt}, 2\%}(0)/T_{m-1,0} = 1.15 ((Ru_{2\%} - R_c) / (\gamma_f H_{m0}))^{0.5} \quad (4.5)$$

en op het de kruin uit:

$$T_{\text{ovt}, 2\%}(x_c)/T_{\text{ovt}, 2\%}(x_c=0) = 1.67 + 0.24 \ln(x_c / L_{m-1,0}) \quad (4.6)$$

met:

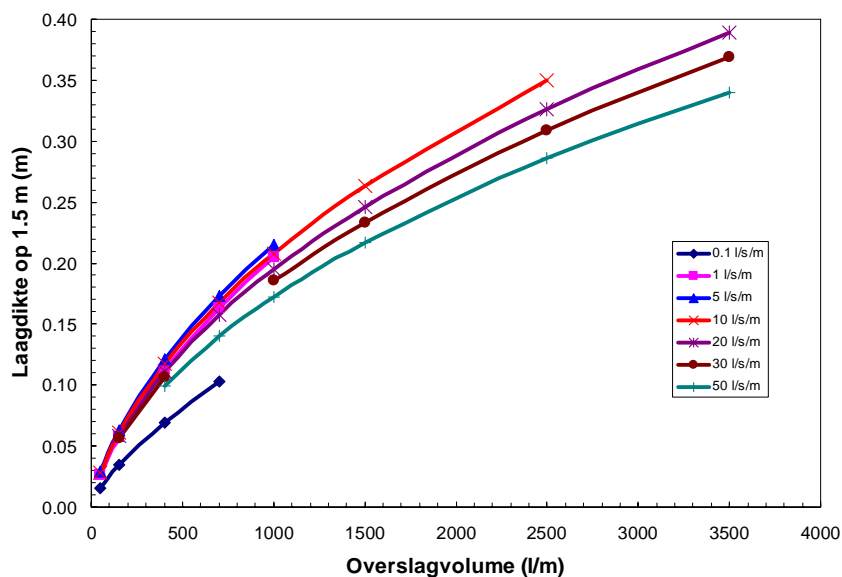
$T_{\text{ovt}, 2\%}(0)$ = overslagtijd op de buitenkruinlijn die door 2% van de inkomende golven wordt overschreden (s)

H_{m0} = significante golfhoogte bij de teen van de dijk (m)

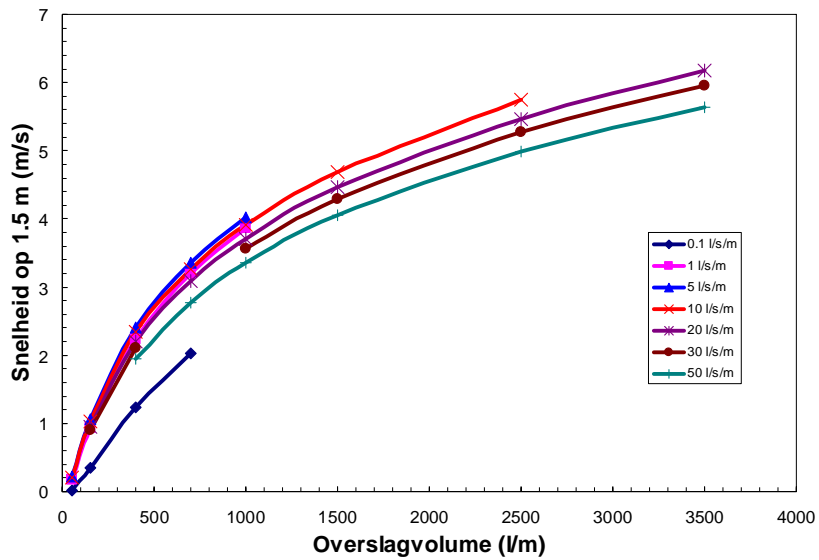
$T_{\text{ovt}, 2\%}(x_c)$ = overslagtijd op de kruin op positie x_c die door 2% van de inkomende golven wordt overschreden (s)

Het zijn bovenstaande formuleringen die kunnen worden gebruikt om na te gaan of de simulator goed heeft gewerkt. Maar daartoe moeten er natuurlijk wel instrumenten zijn die snelheid en laagdikte goed kunnen meten.

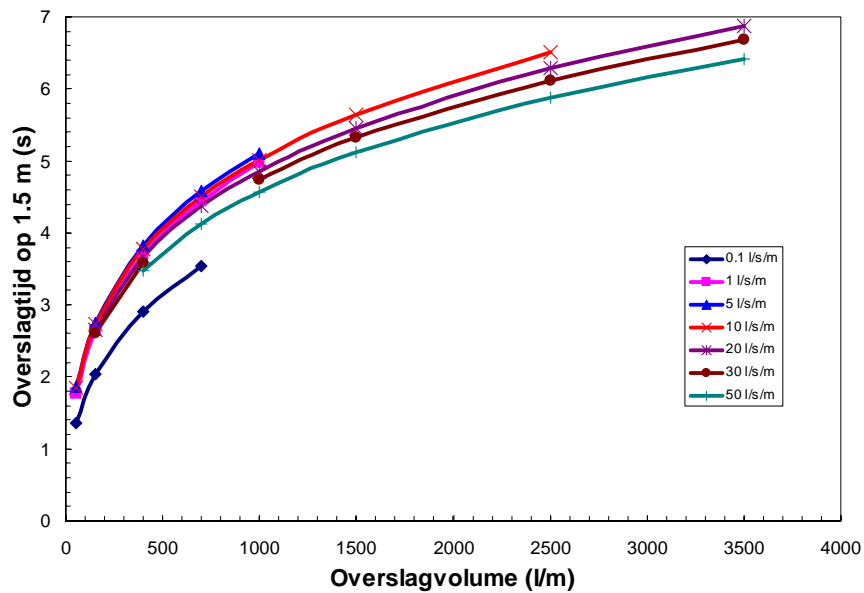
Figuren 4.2-4.4 geven de maximale laagdiktes, snelheden en de overslagtijd als functie het overslaand volume, zoals deze in de proeven bij Delfzijl zijn toegepast, en zoals berekend met formules 4.1-4.6 op een afstand van 1,5 m vanaf de buitenkruinlijn. De waarden zijn ook gegeven in tabellen 4.2-4.8. De uitgangssituatie is een golfhoogte van 2 m, een piekperiode van 5,7 s, een gemiddelde periode van 4,7 s, een buitentalud 1:4 en een stormduur van 6 uur.



Figuur 4.2 Maximale laagdiktes op 1,5 m vanaf de kruinlijn als functie van het overslagvolume



Figuur 4.3 Maximale snelheden op 1,5 m vanaf de kruinlijn als functie van het overslagvolume



Figuur 4.4 Overslagtijden op 1,5 m vanaf de kruinlijn als functie van het overslagvolume

5 Predictiemodel gras- en klei-erosie

5.1 Introductie

Voorafgaand aan de proeven in Delfzijl is een predictiemodel opgesteld en op basis daarvan en beschikbare informatie over het gras en de klei-eigenschappen is een predictie gemaakt van te verwachten erosie [Infram 2007]. De evaluatie hiervan zal plaats vinden in de volgende paragrafen. Opgemerkt wordt dat in de ComCoast rapportage vooruitlopend op onderstaande evaluatie al een voorlopige analyse is gepresenteerd (Akkerman 2007).

5.2 Evaluatie predictie graserosie

De golfoverslagproeven met gras hebben geresulteerd in de volgende waarnemingen (zie ook Bijlage 2):

- Tot 50 l/s per m is geen grootschalige erosie vastgesteld; wel werd plaatselijk het wortelstelsel zichtbaar en op sommige plekken verloren de wortels deels het contact met de ondergrond.
- Bij toenemend overslagdebiet werd het wortelsysteem meer en meer zichtbaar en blootgesteld aan het overstromende water.
- Kunstmatige gaten van 10x10x10 cm en 40x40x15cm vertoonden geen erosie en bleven verder stabiel. Ook een gat van 100x100x5 cm nam door afslijping slechts toe met 5 cm. Rondom stokken en paaltjes gebeurde niets.
- Benedenstreams van de grootste kunstmatige kale plekken ontstonden door het afscheuren van graspollen geulen, zogenaamde gullies. Deze verdiepten zich 10 à 20 cm en hadden een breedte van 20 à 30 cm. De aangroeisnelheid in de lengte bedroeg ongeveer 1 m/uur.



Figuur 5.1 Na afloop van de 20 l/s per m per proef



Figuur 5.2 Na afloop van de '50' l/s per m proef bij een 1 x 1 m gat

De hoofdconclusie is dat de graszode ondanks de score 'matig' tot 'slecht' volgens de VTV voldoende bestand blijkt tegen de hydraulische belastingen tijdens stormen met overslagdebieten tot 50 l/s per m. De scores 'matig' tot 'slecht' zijn tot stand gekomen in respectievelijk juni 2006 en begin 2007. Een mogelijke verklaring voor het verschil in VTV scores zou kunnen zijn dat het gras in juli 2006 veel geleden heeft door het extreem warme en droge weer. De natte en koude augustus maand en de gematigde temperaturen in de herfst van 2006 zorgde gelukkig voor een aanvaardbare grasbedekking, dat wil zeggen dat er geen afname van de bedekkingsgraad is vastgesteld. Pas na het aanbrengen van kunstmatige schade kon erosie in de vorm van geulvorming worden vastgesteld. De verklaring is dat de grote erosiebestendigheid van de blootgekomen klei te danken is aan de wapening door de wortels en de beschutting door nog aanwezige graspollen. Opgemerkt wordt nog dat de verschillen in VTV scores tussen 2006 en 2007 duiden op aanzienlijke jaarlijkse fluctuaties, mogelijk groter dan seizoensfluctuaties.

Voorafgaand aan de proeven is een predictie opgesteld van te verwachten erosie. Daarbij is gebruik gemaakt van het EPM ontwikkeld door Van den Bos met de vergelijking (5.2.1):

$$\frac{y_m}{\lambda} = \frac{\sum (0.7\alpha U_{\max} - U_c)^2 \Delta t}{k\Delta^{1.7}} \quad (5.2.1)$$

waarin:

- y_m = ontgrondingsdiepte (m)
- λ = 0,1 m; karakteristieke lengteschaal gelijk aan maximale dikte zode (m)
- α = turbulentiefactor (-)
- U_{\max} = maximale optredende stroomsnelheid (m/s)
- U_c = kritieke stroomsnelheid (m/s)
- Δt = tijdstap (s)

k = constante (s⁻¹)
Δ = relatieve dichtheid (-)

Met deze formule is de cumulatieve erosie tijdens een storm voorspeld, daarbij uitgaande van de volgende aantallen bij Delfzijl:

q = 0,1 l/s per m:	9 golven per 6 uur
q = 1 l/s per m:	125 golven per 6 uur
q = 5 l/s per m:	407 golven per 6 uur
q = 10 l/s per m:	867 golven per 6 uur
q = 30 l/s per m:	1324 golven per 6 uur
q = 50 l/s per m:	2159 golven per 6 uur

De golven bij een bepaald overslagdebiet kennen een verschillend volume met bijbehorende verschillende maximale stroomsnelheden en tijdsduren. Enkele gebruikte karakteristieke waarden zijn (ontleend aan predictierapport; Infram, 2007):

Maximale stroomsnelheid $U_{\max} = 3$ m/s (range 1 à 5 m/s)
Waterlaagdikte $h = 0,05$ m (range 0,02 à 0,08 m)
Belastingduur $t = 3$ s (range (1 à 5 s)

Essentieel bij de voorspelling is de waarde voor de kritieke stroomsnelheid, deze kan bijvoorbeeld worden geschat met de formule van Mirtskhoulava inclusief wortelcohesie:

$$U_c = \log\left(\frac{8,8h}{d_a}\right) \sqrt{\frac{0,4}{\rho} ((\rho_s - \rho)gd + 0,6C_f + C_R)} \quad (5.2.2)$$

met: $C_f = 0,035c$

waarin:

h = waterdiepte (m)
d_a = laagdikte gelijk aan dikte kleiaggregaat (m), d_a = 0,004 m
ρ_s = dichtheid verzadigde grond (kg/m³)
ρ = dichtheid water (kg/m³)
g = zwaartekrachtversnelling (m/s²)
d = dikte beschouwde grondlaag (m)
C_R = wortelcohesie (kN/m²)
c = cohesie (kN/m²)

Aangehouden is een minimale waarde voor de kritieke stroomsnelheid van 3,0 m/s bij een veronderstelde wortelcohesie C_R van 5 kN/m². Dit heeft geleid, samen met de volgende waarden $k = 1,3 \cdot 10^6$, $\alpha = 3$ en $\rho_s = 2000$ kg/m³, tot voorspelde ontgroning in 6 uur volgens:

q = 0,1 l/s per m:	y _m = 0 m (in 6 uur)
q = 1 l/s per m:	y _m = 0 m (in 6 uur)
q = 10 l/s per m:	y _m = 0 - 0,008 m (in 6 uur)
q = 30 l/s per m:	y _m = 0 - 0,013 m (in 6 uur)
q = 50 l/s per m:	y _m = 0 - 0,022 m (in 6 uur)

Op grond van het voorgaande kan worden geconcludeerd dat de voorspellingen correct zijn geweest, want ontgroningen zijn niet waargenomen.

Wel zijn enkele kanttekeningen op zijn plaats:

- Er is gerekend met lagere stroomsnelheden dan de waargenomen stroomsnelheden van 7 m/s en kleinere laagdikten dan de gemiddeld waargenomen dikte van 0,2 m.

- De bepaling van de relevante waarde voor de kritieke stroomsnelheid is voor verbetering vatbaar. Aanbevolen wordt deze te relateren aan de graszode eigenschappen (bijvoorbeeld de wortelintensiteit en de grassterkte).
- De erosie bij 50 l/s per m is oorspronkelijk niet voorspeld, maar voor deze evaluatie toegevoegd.

Waargenomen is dat kunstmatig aangebrachte kale plekken met een oppervlak van orde 0,1x0,1 m niet verder eroderen. Een grotere kale plek is wel verdiept door afslijping. Het niet verder eroderen van relatief kleine kale plekken is ook geconstateerd tijdens eerdere laboratorium proeven met golven en aangebrachte schade (Meijer & Verheij, 1998). De veronderstelling is dat het gras een voldoende afdekkende bescherming geeft tegen erosie. Een andere verklaring is, zeker bij kleine oppervlakken, dat het water over de kale plek heen schiet en zo geen erosie kan veroorzaken.

Echter, geen erosie bij kale plekken is wel in tegenspraak met het EPM dat juist uitgaat van een kale plek als startpunt voor verdere erosie. Dit roept de vraag op of het EPM wel een geschikt model is.

Een aspect dat niet is beschouwd bij de predictie, maar wel is waargenomen, zijn de geulen benedenstrooms van de aangebrachte kale plekken. Dit erosiemechanisme wordt mogelijk veroorzaakt door het water dat als een straal de bovenstroomse zijde van een kale plek verlaat en tegen de onbeschermd benedenstroomse kant aanbotst. De zode wordt daardoor als het ware opgerold.

Het ontstaan van geulen zal nader in beschouwing moeten worden genomen, maar is wel afhankelijk van de aanwezigheid van een voldoende grote kale plek of een gat waar de straal in kan duiken.

Tenslotte zijn geen schades waargenomen nabij obstakels. Dit is opmerkelijk omdat juist rond palen altijd erosie wordt verondersteld op te treden. Deze erosie is gerelateerd aan de diameter van de palen of de waterdiepte. Mogelijk is de afdekkende werking van het gras de reden dat geen erosie is ontstaan.

Overigens is erosie rondom obstakels bij de predictie niet beschouwd.

5.3 Evaluatie predictie klei-erosie

De waarnemingen bij de proeven met kale, onbeschermd klei waren (zie ook Bijlage 3):

- Onbeschermd klei blijkt gevoelig voor erosie. Naast oppervlakte erosie zijn twee duidelijke ontgrondingskuilen ontstaan die zich verder tot kliffen ontwikkelden, waarvan de grootste met een verticale hoogte van bijna 1 m en een horizontale basis van orde 5 m.
- De erosie bij 1 l/s per m beperkte zich tot enkele zwakkere plekken; vanaf 5 l/s per m. werden deze als ontgrondingskuilen zichtbaar.
- De kliffen groeiden verder in de richting van de kruin, zgn headcut erosion, waarvan de grootste met een snelheid van circa 0,2 m/uur bij een overslagdebiet van 10 l/s per m.

In de Figuren 5.3 en 5.4 worden opnames van de ontgrondingen getoond.

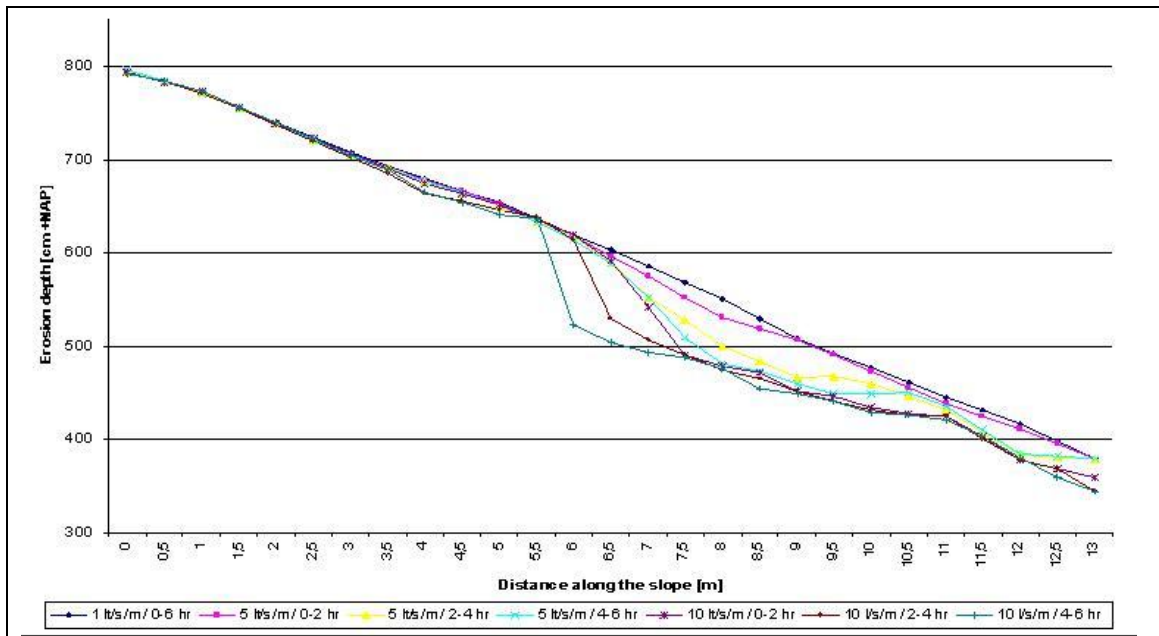


Figuur 5.3 Na 6 uur bij 5 l/s per m proef



Figuur 5.4 Na 6 uur bij 10 l/s per m proef

Figuur 5.5 geeft de grootste erosiediepten voor beide ontgrondingen in de figuren 5.3 en 5.4. In figuur 5.5 is niet expliciet het onderscheid aangegeven tussen de linker en de rechter kuil, maar de 3 gekleurde lijnen behorende bij 10 l/s per m horen bij de rechter kuil en zijn wat betreft klifvorming het meest sprekend. Overigens zijn in de linker kuil identieke processen waargenomen als bij de rechter kuil, dus: erosie, afschuiven, klifvorming, en stroomopwaarts insnijden (headcut-erosie).



Figuur 5.5 Gemeten erosiediepten langs het binnentalud

In het predictierapport is een voorspelling gemaakt met het EPM van de te verwachten erosie voor debieten van 0,1 en 1 l/s per m. Daar bij is uitgegaan van klei met een kritieke snelheid $U_c = 0,5$ m/s. Ten behoeve van dit evaluatierapport zijn ook predicties gemaakt voor 5 en 10 l/s per m. De voorspelde erosie was:

$q = 0,1$ l/s per m:	$y_m = 0$ m (in 6 uur)
$q = 1$ l/s per m:	$y_m = 0$ m (in 6 uur)
$q = 5$ l/s per m:	$y_m = 0 - 0,004$ m (in 6 uur)
$q = 10$ l/s per m:	$y_m = 0 - 0,008$ m (in 6 uur)

Op basis hiervan is geconcludeerd dat geen falen zal optreden (falen is gedefinieerd als erosie van 0,1 m). Deze voorspelling is correct wat betreft optreden van falen, maar de voorspelde erosie is dus te gering.

Iets heel anders is dat het EPM zeer waarschijnlijk geen headcut erosie voorspelt, hoewel het model wel is gebaseerd op een kale plek in de vorm van een headcut. De waargenomen kuilvorming (conform het EPM op basis van ontgroning benedenstrooms van een verdediging) en vervolgens het verplaatsen van kliffen in bovenstroomse richting is volledig conform de in de literatuur beschreven processen. Toekomstige voorspellingen van erosie van onbeschermd klei dienen dan ook volgens deze mechanismen te worden voorspeld. Deze aanpak is beschreven in het SSEA (Sites Spillway Erosion Analysis) model dat is ontwikkeld in de Stillwater Laboratories van USDA (Natural Resources Conservation Service 1997). Het SSEA is ontwikkeld voor de voorspelling van de erosie van aarden noodoverlaten van aarden dammen door overstromend water. Die noodoverlaten zijn veelal gedeeltelijk begroeid met gras of andere planten. Het model is getoetst aan de hand van enige honderden noodoverlaten. Voor een beknopte beschrijving wordt verwezen naar Knoeff & Verheij (2003).

Opgemerkt wordt dat een op basis van de formules van het SSEA model door GeoDelft ontwikkeld Excel spreadsheet waarmee headcut erosie kan worden berekend, niet is gebruikt bij de predictie omdat daarbij wordt verondersteld dat de toplaag al is verdwenen. Op het moment dat de predictie werd uitgevoerd was nog geen sprake van tests met onbeschermd klei. In [Akkerman, 2007] wordt melding gemaakt van een berekening met het door Knoeff & Verheij (2003) gebruikte spreadsheet en de uitkomsten stemmen goed overeen met de waargenomen headcut erosie.

Voor de volledigheid wordt tenslotte opgemerkt dat zowel het EPM als het SSEA model gebaseerd zijn op het erosion-rate principe. Een algemene vorm hiervan is:

$$dy / dt = k_d (\tau_0 - \tau_c) \quad (5.3.1)$$

waarin:

- y = afslag (m)
- t = tijd (m)
- k_d = f (grondeigenschappen)
- τ_0 = optredende schuifspanning (N/m^2)
- τ_c = kritieke schuifspanning (N/m^2)

Als formules zoals vgl.(5.3.1) toegepast gaan worden verdient het aanbeveling de kritieke schuifspanning te relateren aan de graszode eigenschappen (bijvoorbeeld de wortelintensiteit en de grassterkte).

6 Predictiemodel infiltratie

6.1 Introductie

Infiltratie van water in het talud heeft een negatieve invloed op de toplaagstabiliteit. Het is daarom belangrijk om te weten of de toplaag volledig verzadigd raakt binnen het tijdsbestek van een storm. Op de proeflokatie Delfzijl zijn metingen van de infiltratie uitgevoerd met behulp van tensiometers (par 3.3). Op voorhand zijn infiltratieproeven uitgevoerd [Fugro 2006] en is een predictie van de infiltratie gemaakt met behulp van het grondwaterstromingsmodel PlaxFlow [Infram 2007].

6.2 Evaluatie predictiemodel

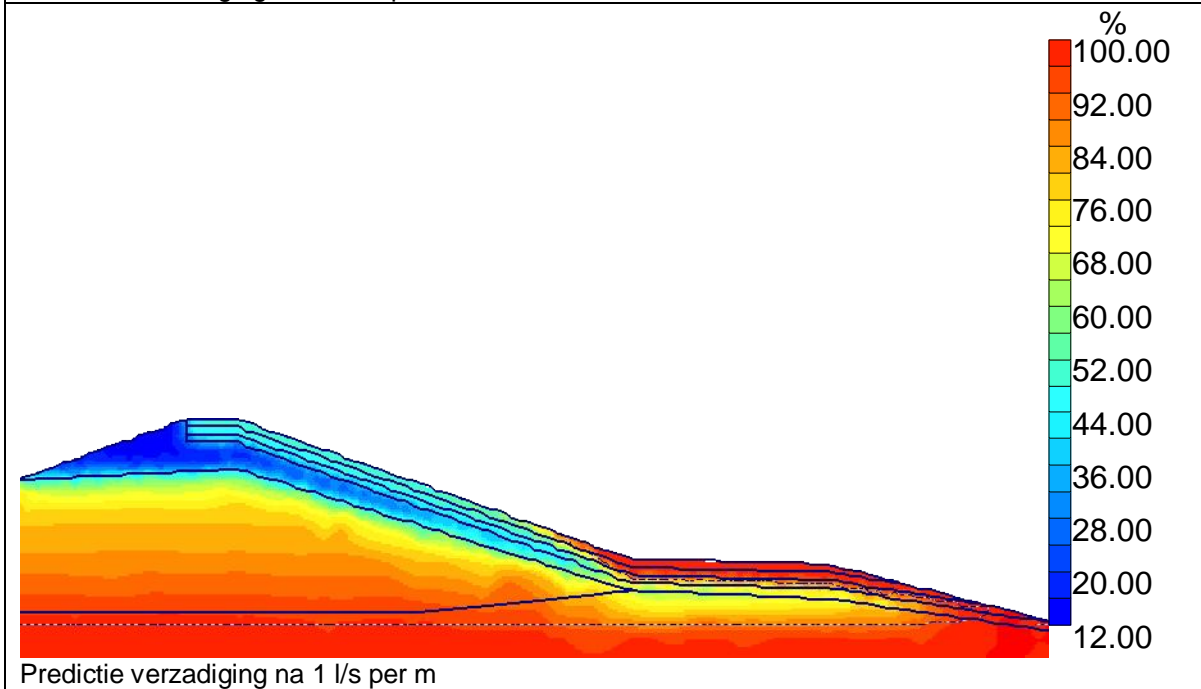
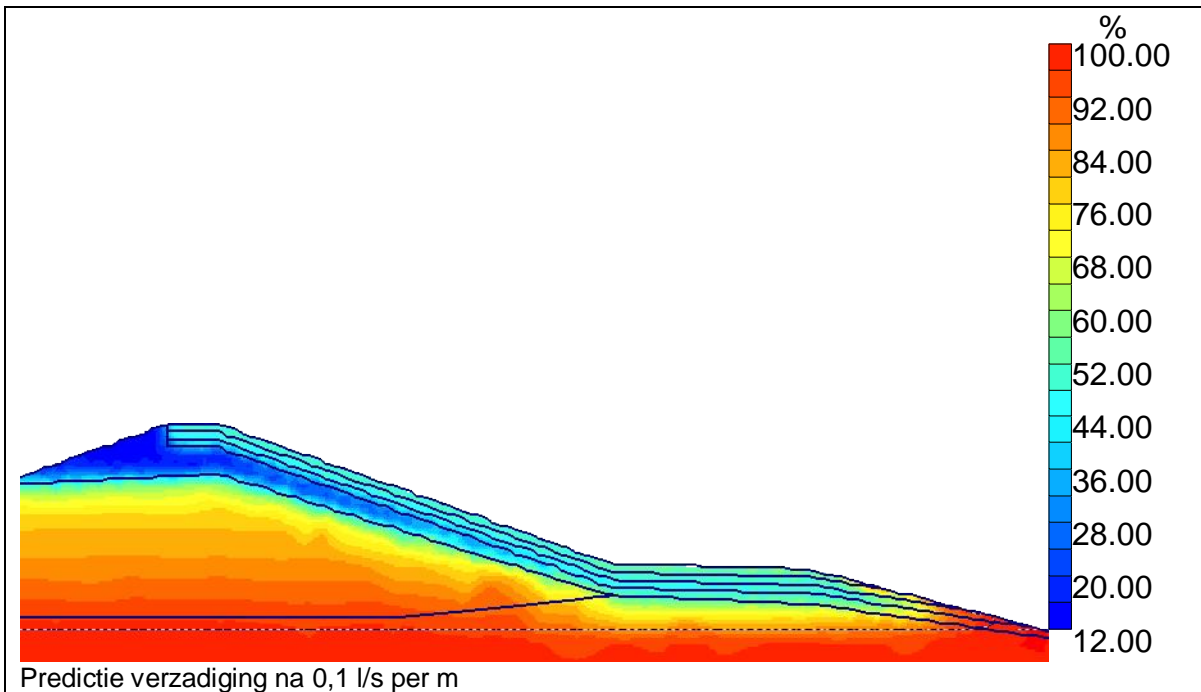
De predictie is uitgevoerd met het model PlaxFlow dat de verzadigde en onverzadigde stroming door grond modelleert. De benodigde parameters zijn geschat aan de hand van infiltratieproeven [Fugro 2007] en op basis van algemene kennis over kleidijken [TAW 1996]. De onverzadigde stromingsparameters zijn bepaald op basis van default waarden uit PlaxFlow, die afhankelijk zijn van de korrelverdeling.

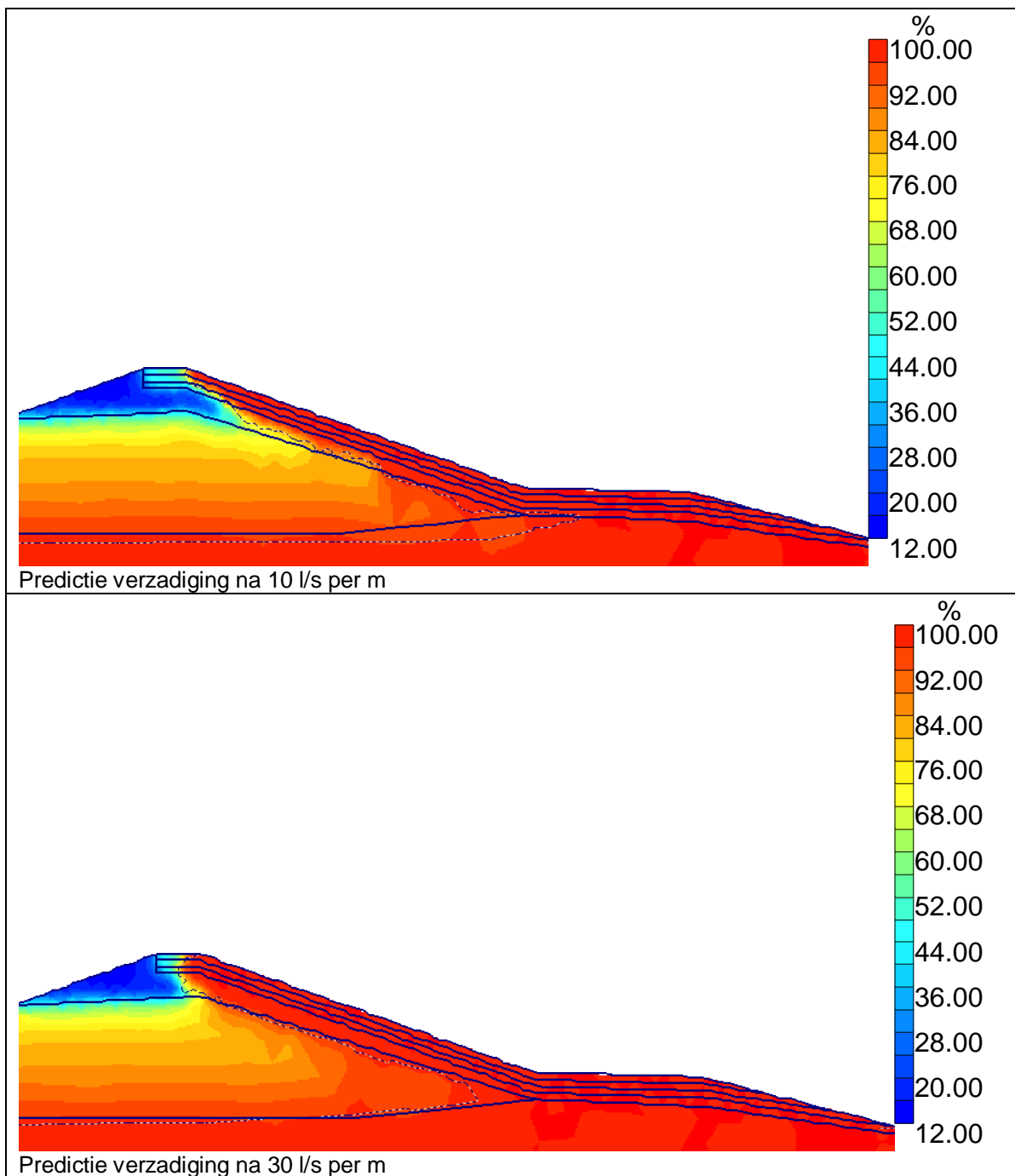
Individuele overslagvolumes zijn niet op een praktische manier in PlaxFlow te modelleren. Om de drukrandvoorwaarde op het talud te bepalen zijn het aantal en de verwachte stroomtijd van de overslagvolumes bij elkaar opgeteld en zijn deze gemodelleerd alsof ze aaneengesloten plaatsvinden. Dit betekent:

0,1 l/s per m	1 min nat talud
1 l/s per m	5 min nat talud
10 l/s per m	40 min nat talud
30 l/s per m	1:06 nat talud

Na infiltratie gedurende bovengenoemde tijd is een periode zonder infiltratie gemodelleerd tot de aanvang van de volgende proef. In die tijd zijn de waterspanningen weer afgenomen, maar er blijft een residuele waterspanning van de vorige proef achter.

De uitkomst van de predictie is weergegeven in dwarsdoorsneden met daarin aangegeven de verzadiging (Figuur 6.1). De plaatjes zijn van het moment aan het einde van de proef.





Figuur 6.1 Predictie verzadiging Delfzijl [Infram 2007]

Volgens de predictieberekeningen leidt een overslagdebiet tot en met 1 l/s per m niet tot volledige infiltratie van de toplaag van het talud. Een overslagdebiet van 10 l/s per m of meer zorgt wel voor volledige verzadiging van de bovenste 1,5 m van het talud. De predictie komt hiermee globaal gezien overeen met de metingen (par 3.3).

Op een meer gedetailleerd niveau komen de berekeningen echter niet overeen met de metingen. Volgens de berekeningen gaat het infiltratiefront vanaf het taludoppervlak naar binnen, terwijl uit de metingen blijkt dat de druk op een diepte van 1,2 m sneller oploopt dan die op 0,8 m. De mogelijke oorzaak hiervan, namelijk een afnemende doorlatendheid met de diepte, was wel in het model meegenomen.

Verder volgt uit de berekeningen dat de onderzijde van het talud eerder is verzadigd dan de bovenzijde, terwijl uit de metingen het tegenovergestelde blijkt. Anderzijds wordt wel berekend dat de verhoogde waterdruk langer aanwezig blijft onderaan het talud, wat overeenkomt met de metingen.

Het constante overslagdebiet van 0,91 l/s per m is niet gemodelleerd. De belangrijkste vraag bij het modelleren hiervan zou zijn welke drukrandvoorwaarde op het talud moet worden opgelegd. Indien 0,91 l/s per m voldoende is om het gehele talud nat te houden gedurende de proef, dan zou het talud volledig zijn verzadigd. Indien dit niet het geval is, dan is de uitkomst minder voor de hand liggend. Meer kennis hierover kan worden verkregen door bij een volgende proef te kijken hoeveel van het overslagdebiet in het talud verdwijnt en hoeveel onderaan het talud aankomt. Op een praktische manier kan dit worden getest door het overloopdebiet langzaam op te voeren, totdat er water onderaan het talud verschijnt. Overigens zou deze hoeveelheid ongeveer overeen moeten komen met de gemeten infiltratiesnelheid volgens [Fugro 2006]. Een complicerende factor is de zijdelingse afstroming van het water (Bijlage 4).

De onverzadigde stromingsparameters zijn gebaseerd op default grondsoorten die in het computerprogramma PlaxFlow zijn gedefinieerd. Voor een volgende proef wordt aanbevolen om de parameters van het materiaal in het veld of in het laboratorium te bepalen. Voor het bepalen van deze parameters wordt gebruik gemaakt van de zogenaamde verdampingsmethode. Hierbij wordt een ongeroerd grondmonster met een diameter van circa 10 cm en een hoogte van circa 8 cm volledig verzadigd en worden op verschillende hoogtes in het monster tensiometers aangebracht. Aan de bovenzijde van het monster wordt verdamping toegelaten, waardoor het monster langzaam uitdroogt. Dit proces wordt gemeten door het monster op een balans te zetten en de gewichtsafname te controleren. Op basis van de drukmetingen en de verdamping van water kunnen voor het monster de waterretentiekaracteristiek (pF-curve) en de doorlatendheidskaracteristiek (kH) worden bepaald en uitgedrukt in de Van Genuchten parameters.

7 Predictiemodel afschuiven

Voor de predictie van het afschuiven van de toplaag zijn meerdere modellen gebruikt [Infram 2007]. Voor zeer oppervlakkige afschuiving van de graszode is gebruik gemaakt van het model van Martin Young, waarin de wortelcohesie in de graszode wordt meegenomen en ook de schuifspanning van het overslaande water. Voor iets diepere afschuivingen is het model van Edelman en Joustra gebruikt, waarbij wortelcohesie en schuifspanningen door het overslaande water worden verwaarloosd. Tenslotte is een EEM berekening gemaakt met PLAXIS bij een volledig verzadigd talud.

De predictie wees uit dat afschuiven zeer onwaarschijnlijk zou zijn. Mede op basis hiervan is besloten om geen afschuifproef uit te voeren. Deze proef zou over een veel grotere breedte dan de 4 m brede teststroken voor overslag moeten plaatsvinden, in verband met randeffecten. Om randeffecten te minimaliseren is een breedte van 30 m noodzakelijk. De evaluatie van de afschuifmodellen is daarom slechts beperkt mogelijk.

Volledige verzadiging van het talud is een voorwaarde voor de gebruikte modellen van Martin Young en Edelman en Joustra. Het PLAXIS model kan rekenen met een onvolledige verzadiging, maar dat is in dit geval niet gebeurd. Uit de meting van de infiltratie blijkt dat het talud tot een diepte van minimaal 1,2 m volledig is verzadigd (par 3.3), waarmee in elk geval tot die diepte werd voldaan aan de voorwaarde van verzadiging.

Door de beperkte breedte van de teststroken wordt afschuiven minder waarschijnlijk door randeffecten, echter hoe minder diep het potentiële afschuifvlak is, hoe kleiner deze effecten worden. Op basis van de schatting van de sterkteparameters en het model van Martin Young werd een zwakke plek verwacht aan de onderzijde van de graszode op een diepte van circa 0,2 m. De grond is op deze diepte relatief los van structuur, waardoor niet kan worden gerekend op (grond)cohesie, en de worteldichtheid neemt op deze diepte sterk af. Bovendien is de schuifspanning van het overslaande water hier nog niet verwaarloosbaar. De berekende stabiliteit van een potentieel glijvlak op deze diepte was 1,17 bij een stroomsnelheid van 7,6 m/s (overslagvolume van 3500 l/m). Tijdens de proeven is een stroomsnelheid geschat van circa 7 m/s [Akkerman 2007]. Omdat er geen afschuiven van de graszode is opgetreden kan ervan worden uitgegaan dat er op een diepte van 0,2 m minimaal een cohesie van 1 kPa aanwezig was.

Bij de beoordeling van het mechanisme afschuiven van de toplaag is de bepaling van de schuifsterkte van de grond en de graszode belangrijk en moeilijk. Door de structuur van de toplaag leent het materiaal zich niet voor eenvoudige veld- of laboratoriumproeven om de sterkte te bepalen. Dezelfde structuur (scheuren/ wormgangen) zorgt er eveneens voor dat er geen cohesie kan worden toegekend. De mogelijkheid bestaat echter dat er sprake is van een schijnbare cohesie doordat de aggregaten zeer goed in elkaar passen, of een cohesie door wortels. Dit zal echter op grote schaal moeten worden getest. Aanbevolen wordt dan ook om bij volgende proeven niet alleen erosietesten uit te voeren maar ook afschuifproeven.

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

Proefproces

- De golfoverslagproeven bij Delfzijl kunnen als geslaagd worden beschouwd, zowel technisch, qua uitkomsten (unieke resultaten), als qua publiciteit.
- De proeven vormen een goede blauwdruk voor de golfoverslagproeven aan de Boonweg; vele leerpunten en aanbevelingen zijn in Hoofdstuk 2 aangegeven.
- Nieuw zijn wel de speciale infiltratieproeven, die daarmee extra aandacht behoeven.

Graserosiemeting

- Gras is zeer erosiebestendig tegen golfoverslag, zolang er niet al te grote kale plekken ontstaan. De golfoverslagsimulator had een te kleine capaciteit om falen van de grasbekleding te kunnen waarnemen.
- De proeven hebben nieuwe inzichten opgeleverd aangaande de faalmechanismen bij graserosie (geïnitieerd door kunstmatig grote kale plekken te maken): zie Bijlage 2.

Kleierosiemeting

- Kleierosie in een kleilaag, waarvan de grasbedekking is verwijderd, kan als reststerktefenomeen worden gezien. Deze reststerkte bleek nog aanzienlijk te zijn.
- Desondanks, bleek ook dat kale klei veel erosiegevoeliger te zijn dan wanneer de grasmat nog aanwezig is met de kunstmatige kale plekken. Zelfs de invloed van restanten van het wortelsysteem lijkt nog invloed te hebben: zie Bijlage 3.

Infiltratiemeting

- Infiltratie door golfoverslag of golfvoerloop gaat snel ten opzichte van een stormduur van 6 uur.
- Bij een overslagdebiet van 0,1 l/s per m wordt geen volledige verzadiging van de toplaag bereikt.
- Bij een overslagdebiet of een overloopdebiet van 1 l/s per m of meer, wordt de toplaag van het talud verzadigd.
- Het maakt voor de mate van infiltratie niet zoveel uit of het overslagdebiet 10 l/s per m is of 50 l/s per m.
- Drukfluctuaties op het talud als gevolg van de overslagvolumes dringen goed door onder het taludoppervlak tot een diepte van minimaal 1,2 m.
- De metingen duiden op een afnemende doorlatendheid met de diepte.
- Aanzienlijke neerslag van 29 mm in 2 dagen heeft een beperkte invloed op de waterdruk in het talud in vergelijking met zelfs het kleinste gesimuleerde overslagdebiet van 0,1 l/s per m.
- Geïnfiltreerd water stroomt onder het taludoppervlak ook zijdelings af.

Modellering hydraulische belasting

- Het in twee stappen maken van de simulator heeft goed gewerkt. De bouw van een 1 m breed prototype en daaraan verbonden calibratie, maakte het mogelijk direct een goed werkende 4 m brede simulator te bouwen.
- Ook de testdag op de dijk heeft waardevolle informatie opgeleverd, zoals bijvoorbeeld omtrent het pompsysteem en de fundering van de simulator.
- De gebruikte pompen waren goed instelbaar en leverden een constant debiet. Hierdoor is het mogelijk de simulator op "tijd" te sturen. Daardoor kan ook in het vervolg de werkelijke overslagverdeling worden gesimuleerd in plaats van het nu aangehouden patroon van een reeks vaste volumes. Het werken met een joystick voor het hydraulisch openen van de klep van de simulator voldeed goed.

- Het ontwerpmaximum van 30 l/s per m bleek niet groot genoeg. Met enig kunst en vliegwerk is de simulator opgewaardeerd tot 50 l/s per m, maar dit had wel enige beperkingen.
- De EMS en laagdiktemeter zijn niet in staat geweest op een goede manier te meten. Oorzaak is waarschijnlijk de turbulentie en grote luchtinsluiting.
- De portalen om instrumenten aan op te hangen hebben goed gewerkt. Instrumenten kunnen met een dunne pen in de ondergrond worden verankerd.
- Er zijn betere en nieuwe formuleringen ontwikkeld om de snelheid, laagdikte en overslagtijd bij golfoverslag op de kruin te berekenen.

Predictie gras- en klei erosie

- De waargenomen graserosie is in overeenstemming met de predictie. Gras is zeer erosiebestendig, wat waarschijnlijk te danken is aan de wortelstructuur. Een nauwkeuriger bepaling van de kritieke stroomsnelheid is echter gewenst.
- Kunstmatig aangebrachte kleine kale plekken eroderen niet verder. De afdekkende werking van de bovengrondse delen van het gras en het gegeven dat de loslatende water jet over de kale plek heen schiet zijn hiervan de reden.
- Grotere kale plekken verdiepen wel, maar belangrijker zijn de gullies die ontstaan. De duikende water jet lijkt de meest waarschijnlijke oorzaak. Dit mechanisme is niet beschouwd bij de predictie, maar is zeker van belang.
- Klei is zeer erosiegevoelig en dit kan tot aanzienlijke erosie leiden in de vorm van kliffen. Dit is conform de verwachtingen, maar strookt niet met de predictie die nauwelijks tot geen erosie voorspelde.
- De predictie van onbeschermde klei heeft zich beperkt tot kleine overslag debieten en de kliffen zijn dus ook niet voorspeld. De verwachting is overigens dat het EPM het ontstaan van kliffen ook niet zou hebben voorspeld.

8.2 Aanbevelingen

Proefproces

- Speciale aandacht is nodig voor een draaiboek, waarin ook de V&G aspecten als de interne en externe communicatie zijn uitgewerkt: kernpunt van het draaiboek is het verminderen van alle mogelijke risico's.
- Goede voorbereidingen zijn cruciaal, te beginnen met voorbereidende overleggen tijdens de contractvorming.
- Een Q&A document is wenselijk in verband met externe in interne communicatie en afstemming.
- De observaties kunnen wellicht minder intensief zijn dan bij Delfzijl, omdat de schade zeer beperkt bleek

Graserosiemeting

- Omdat schade aan de grasbekleding in de praktijk vaak voorkomt, is het aan te bevelen om ook het schadeverloop te monitoren nadat er initiële schade is aangebracht (vergelijkbaar met de proeven bij Delfzijl na afloop van de proeven op een intacte grasmat). Wellicht kan door het grotere bereik van de golfoverslagsimulator nu het verdere faaltraject beter worden vastgesteld (dit laatste geldt ook voor de situatie zonder initiële schade).
- Het is goed bij de proeven te letten op de nieuwe inzichten aangaande de mogelijke faalmechanismen bij graserosie en te proberen die aspecten te observeren die daarbij van belang zijn.

Infiltratiemetingen

- De diepere opnemers reageren eerder dan de ondiepere opnemers. Dit kan duiden op een afnemende doorlatendheid (wat wordt verwacht), maar kan ook duiden op lekkage van water langs de kabel. Om lekkage langs de kabel te kunnen uitsluiten kunnen de opnemers

beter niet in een boorgat in de teststrook zelf worden geïnstalleerd, maar van buiten de teststrook schuin of horizontaal tot onder de teststrook.

- Lekkage langs de kabel en nauwkeurigheid van plaatsing kan worden verbeterd door elke opnamer in een apart boorgat te plaatsen. Bij plaatsing van buiten de teststrook levert dit geen extra bezwaar van taludbeschadiging op.
- Om het effect van mogelijke overdruk van lucht te voorkomen (Bijlage 4), kunnen naast de tensiometers vochtmeters worden geïnstalleerd.
- De metingen moeten ook op de testlocatie uitleesbaar zijn.
- De opnamers moeten worden ingemeten om de drukhoogte ook ten opzichte van NAP te kunnen bepalen.

Modellering hydraulische belasting

- Om een overslagdebiet van 50 l/s per m of meer te simuleren is aanpassing van de simulator gewenst. Uitbreiding van het volume van de bak moet vooral in de hoogte worden gezocht en niet in de breedte. Bij een grotere bak is het kritieke punt mogelijk het waterdicht afsluiten bij de klep.
- Bij een proefopzet met grote overslagdebieten kunnen beter twee kleinere pompen worden ingezet dan een grote. De kleinere overslagdebieten kunnen namelijk beter met een kleinere pomp worden ingesteld. Ook zou de tractor door een hydraulische generator kunnen worden vervangen.
- Om ook de kruin in het onderzoek mee te kunnen nemen, moet de simulator verder op het buitentalud worden gezet. Zowel fundering als uitstroombopening zal dan moeten worden aangepast.
- Nieuwe instrumenten moeten worden ontwikkeld om de snelheid (inclusief de turbulentie) en de laagdikte goed te meten. Ze moeten in de juiste omstandigheden worden getest totdat vast staat dat ze goed werken.
- Ontwikkel een meetsysteem dat de frontnelheid over het binnentalud meet.
- Doe vooral visuele waarnemingen waar dat mogelijk is (bijvoorbeeld de maximale laagdikte).
- Meet de snelheid en de standaardafwijking daarvan (later te herleiden tot de turbulentie) op verschillende hoogtes boven de bodem of talud.

Predictie gras- en klei erosie

- Het EPM model gaat uit van kale plekken, maar uit de waarnemingen blijkt dat (kleine) kale plekken niet verder eroderen. Onderzocht dient te worden wat het effect is van afdekking door bladeren.
- Benedenstreams van kale plekken ontstaan gullies. Dit erosiemechanisme dient te worden meegenomen bij de predicties. Daarbij dient ook in beschouwing genomen te worden de mogelijke rol van een duikende straal.
- Het SSEA model lijkt geschikter voor het voorspellen van erosie en zeker voor het voorspellen van kliffen (headcut erosion).
- De bepaling van de kritieke stroomsnelheid moet nauwkeuriger.

Gras parameter

- Er werd bij dit onderzoek niet gekeken naar de zodedichtheid. Toch kan de zodedichtheid of andere graseigenschappen (wortelintensiteit, grassterkte) wel meespelen bij de mate van erosiebestendigheid. Bij grote ingrepen, of bij verschillende soorten beheer kan de zodedichtheid veel variëren. De zodedichtheid kan onderverdeeld worden in bedekking, gemiddelde grootte van openplekken en plantdichtheid. De plantdichtheid is een maat voor de verdeling van spruiten over het proefvak. Aan te raden is dan ook de zodedichtheid, de wortelintensiteit en de grassterkte als parameter in vervolg onderzoeken mee te nemen.

Referenties

Akkerman, G.J., K.A.J. van Gerven, H.A. Schaap, J.W. van der Meer 2007: Phase 3: Wave Overtopping Erosion Tests at Groningen Sea Dyke, ComCoast WP 3, September 2007

GeoDelft 2007: SBW Golfoverslagproeven Delfzijl Monitoring waterspanningen, CO-423890-0024 versie 2 definitief, mei 2007

Fugro 2006: Grondonderzoek locatie overslagproef zeedijk Delfzijl, Opdrachtnummer 1206-0044-000, 6 juni 2006

Bosman, G., 2007. Velocity and flow depth variations during wave overtopping. MSc-thesis Delft University of Technology.

Infram 2007, Golfoverslag en sterkte binnentaluds dijken, Rapport predictiespoor SBW, projectnummer 05i028, versie 2.2 Fase D, 15 maart 2007

TAW 1996, Technisch Rapport Klei voor Dijken, Delft, mei 1996

Knoeff, J.G. en H.J.Verheij, 2003. Indicatie van reststerkte na overloop/overslag Delft Cluster, rapport DC1-221-57

Meijer, D.G. en H.J. Verheij, 1998. Grasdijken, WL|Delft Hydraulics, verslag Q1878, Delft

Van der Meer, J.W., 2007. Design, construction, calibration and use of the wave overtopping simulator. ComCoast Workpackage 3: Development of Alternative Overtopping-Resistant Sea Defences, Phase 3

Bijlage 1 Onderzoek grasdijken Farmsum 2007

Onderzoek grasdijken Farmsum 2007

Uitgevoerd door Alterra (Joep Frissel, Rik Huiskes en Dick Melman), juni 2007 in opdracht van Royal Haskoning.



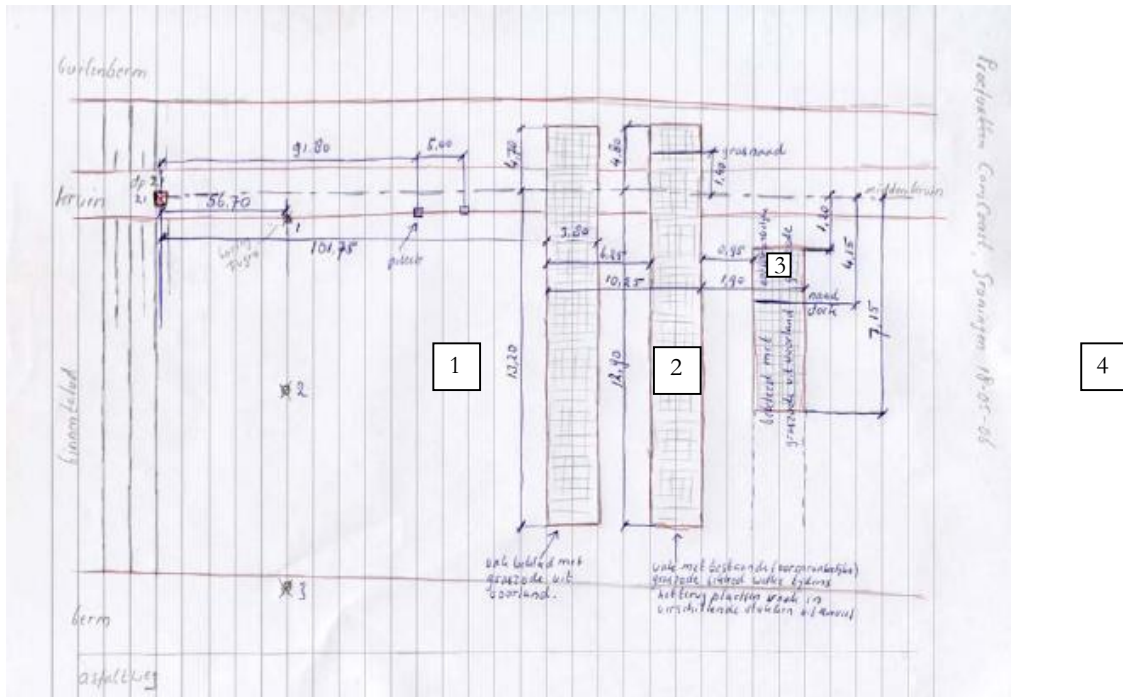
Foto 1: Proefvakken op dijk bij Farmsum.

Het doel van het grasonderzoek is om de erosiebestendigheid te vergelijken van een versterkte en een niet versterkte grasmat op een dijk bij Farmsum (Groningen). Bij de versterkte grasmat is een geogrid (kunststofraster) 5 cm onder de zode aangebracht. Het geogrid is in mei 2006 aangebracht. Om de vegetatie op deze matten goed tot ontwikkeling te laten komen, is op deze stukken extra kunstmest, en extra water gegeven. De erosiebestendigheid van de zode wordt bepaald aan de hand van de doorworteling en aan de hand van de samenstelling van de vegetatie. De doorworteling dient bepaald te worden op het tijdstip dat er een minimale hoeveelheid wortels in de bodem aanwezig is (februari/maart). De vegetatie dient opgenomen te worden op het moment dat de vegetatie goed ontwikkeld is (eind mei/ begin juni voor dijkvegetaties) (zie notitie aan J. van der Meer, februari 2007, 'Geschikte periode om de erosiebestendigheid van dijken te bepalen'; bijlage 1). Om deze reden is de opdracht in twee delen gesplitst: de bepaling van de doorworteling in februari, en het opnemen van de vegetatie in juni. Aan de hand van deze parameters is de kwaliteitsscore voor erosiebestendigheid volgens de VTV bepaald (Min V&W, 2004). De benodigde parameters zijn door Rik Huiskes en Joep Frissel van Alterra opgenomen.

Locatie en uitgevoerde werkzaamheden:

In februari 2007 zijn 5 sets doorwortelingsmonsters gestoken verdeeld over 3 proefvakken. Dit in overleg met de opdrachtgever. Elk monster bestaat uit een set van 4 wortelsteken, gelijkmatig verdeeld over het proefvak. In proefvak 1 (geen geogrid, wel behandeling)(zie figuur 1) zijn 3 sets monsters gestoken. In proefvak 2 (wel geogrid, wel behandeling) is geen monster gestoken, omdat dit proefvak intact diende te blijven voor de erosieproef. In

proefvak 3, een monitoringstrip (wel geogrid, wel behandeling) is 1 set wortelmonsters gestoken. In proefvak 4 (geen geogrid, geen behandeling), is eveneens 1 set wortelmonsters gestoken. Dit vak ligt vrij ver van de andere proefvakken verwijderd. De doorworteling is bepaald met behulp van de handmethode volgens het Voorschrift 'Toetsen op Veiligheid' (Min V&W, 2004). Eveneens is in februari een globale beschrijving van de vegetatie gemaakt.



Figuur 1: locatie van de proefvakken 1t/m 4. Zie voor status van de vlakken tabel 1.

In juni 2007 is in 2 proefvakken een vegetatieopname gemaakt (volgens Braun-Blanquet) en wel in de proefvakken 3 en 4. In proefvak 3 (monitoringstrook) is de opname slechts 1*1 meter (de volledige omvang van het vlak), eigenlijk te klein om een evenwichtig beeld van de vegetatie te kunnen krijgen. In proefvak 4 kon een opname van 'normale' grootte (4*4 meter) worden gemaakt. Het vegetatietype is bepaald volgens het cursusboek "kwaliteitsherkenning dijkgrasland"(2004). De coördinaten zijn in het midden van het proefvak bepaald, met behulp van GPS.

Tabel 1: coördinaten van de proefvakken

Proefvak	Geogrid	Behandeling	X-coördinaat	Y-coördinaat
1	geen	wel	261.664	593.065
2	wel	wel	261.660	593.055
3	wel	wel	261.662	593.061
4	geen	geen	261.687	593.046

Behandeling= extra mestgift en extra water

Algemeen:

Alle proefvakken van de dijk bij Farmsum liggen op de binnenzijde van het talud. De vakken zijn naar het zuiden gepositioneerd met een helling van 1:3. In alle vakken (en aansluitende dijkpercelen) is door ons geen muizen- of mollenactiviteit waargenomen. De vakken zijn jammer genoeg 4 juni de dag voor de vegetatieopnamen gemaaid. Determinatie van soorten leverde echter geen grote problemen op omdat de vegetatie nog zeker 10 cm lang was.

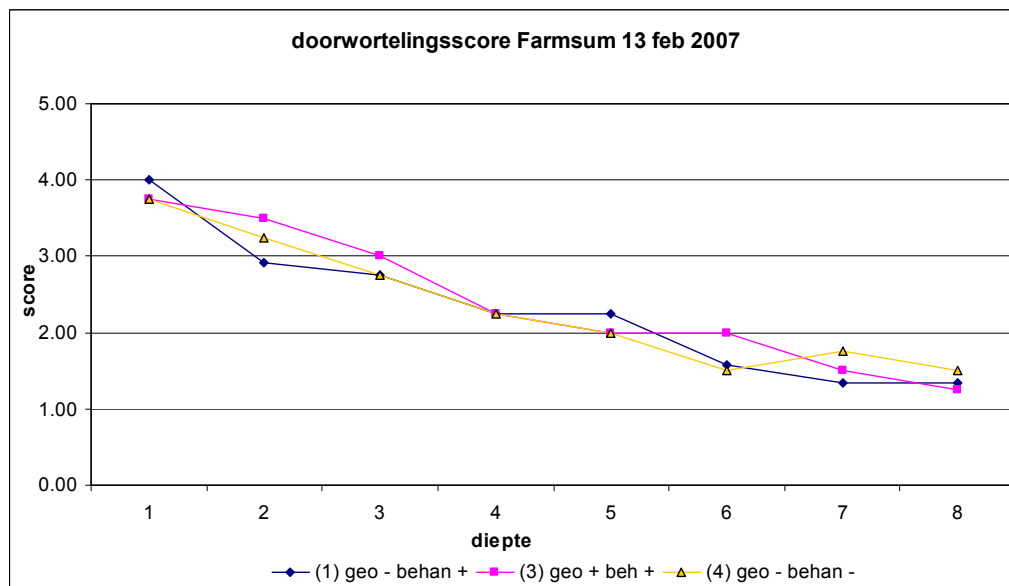
Mogelijk zijn er wel enkele 'kleine' soorten gemist, omdat er erg veel maaisel op de dijk lag¹. De vakken waren erg wisselend in samenstelling, bedekking en homogeniteit.

Beheer:

De dijk is in beheer bij het waterschap Hunze en Aa's, en wordt sinds 2000 iedere twee a drie weken geklepeld. De vegetatie blijft bij deze klepel behandeling vrij lang. Dit beheer komt min of meer overeen met een gazonbeheer gezien de hoge maaifrequentie en de voedselrijkdom (bemesting) vanwege het laten liggen van het maaisel. In beginsel is hierbij een ondiep-wortelende grasvegetatie te verwachten.

Doorworteling

Zoals aangegeven is de doorworteling bepaald in februari van dit jaar. In figuur 2 is de doorworteling van de 3 bemonsterde vakken weergegeven. Opvallend is dat het wortelpatroon van de 3 proefvakken weinig uiteenloopt. Bovenaan een redelijke doorworteling (rond klasse 4), in de diepere wortellagen een geringe doorworteling (klasse 1 à 2). In vak 2 (wel geogrid, wel behandeling), zijn in overleg met de opdrachtgever geen wortelmonsters genomen om het geogrid niet te beschadigen. In proefvak 3 (monitoringvak, wel geogrid, wel behandeling) was het wortelsteken in eerste instantie erg lastig. Alleen met een zeer scherpe wortelboor kon er door het geogrid heen gestoken worden. Overigens namen wij waar dat de wortels zonder problemen door het geogrid groeien.



Figuur 2. Worteldichtheidsscore farmsum in 3 verschillende proefvakken op 13 februari 2007.

Met: geo- behan+= geen geotextiel, wel behandeling. geo+ behan+= wel geotextiel, wel extra behandeling. geo- behan=- geen geotextiel, geen behandeling.

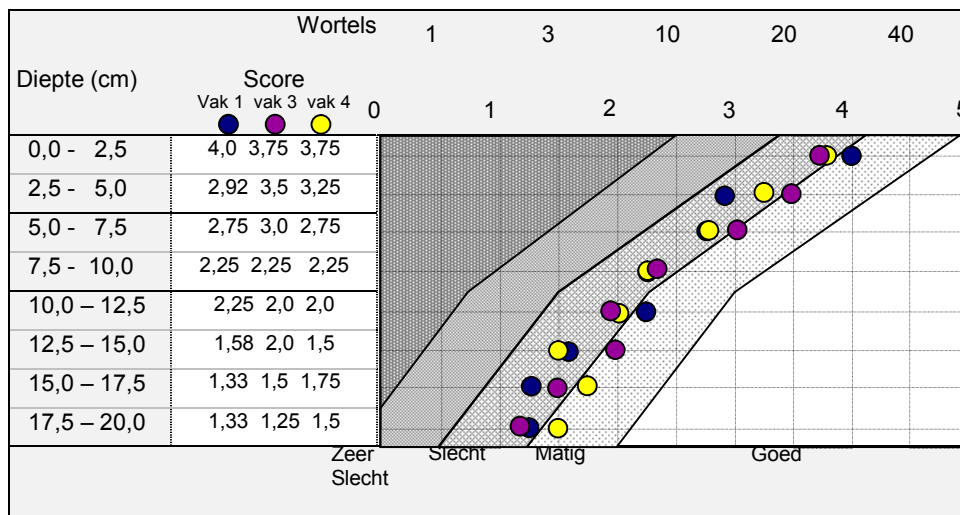
score: 0 = geen wortels aanwezig.	Diepte: 1 = 0,25 cm diep	5 = 10,0 - 12,5 cm diep
1 = zeer weinig wortels aanwezig, 1-5 wortels.	2 = 2,5 - 5,0 cm diep	6 = 12,5 - 15,0 cm diep.
2 = weinig wortels aanwezig, 6 - 10 wortels.	3 = 5,0 - 7,5 cm diep	7 = 15,0 - 17,5 cm diep.
3 = redelijk aantal wortels aanwezig, 11 - 20 wortels.	4 = 7,5 - 10,0 cm diep	8 = 17,5 - 20 cm diep.
4 = veel wortels aanwezig, 21 - 40 wortels.		
5 = zeer veel wortels, matje, >40 wortels. Diepte.		

¹ Eigenlijk zouden zulke hoeveelheden maaisel afgevoerd moeten worden. Het laten liggen werkt vervilting in de hand.



Foto 1: wortelgroei door geogrid (februari 2007)

Per vak wordt er eveneens een kwaliteitsscore van de doorworteling weergegeven in een standaard beoordelingsdiagram (figuur 3) conform het voorschrift 'Toetsen op Veiligheid' (VTV, Min V&W, 2004). Dit geeft een beeld van de doorworteling in de gehele steek (20 centimeter diepte).



Figuur 3. Worteldichtheidscore Farmsum 2007: proefvak 1, met n=12, proefvak 3, met n=4, proefvak 4, met n=4 in een beoordelingsdiagram van de VTV.

De doorworteling scoort in alle proefvakken over de gehele steek genomen 'slecht'. Proefvak 1 (geen geogrid, wel behandeling) scoort in de toplaag beter dan de andere twee vakken met een 'matig'. Proefvak 4 (geen geogrid, geen behandeling) scoort in de diepere bodemlagen (15 – 20 cm) beter dan de andere proefvakken met 'matig'.

Vegetatie

De vegetatie is in februari globaal beschreven. In juni zijn in proefvak 3, de monitoringstrip (wel geogrid, wel behandeling) en proefvak 4 (geen geogrid, geen behandeling) vegetatieopnamen gemaakt.

De vegetatie in februari laat in alle proefvakken een totale bedekking zien van 80%. Het dominerende gras is Engels raaigras (*Lolium perenne*), wat overall een minimale bedekking heeft van 75%.

In juni laat de totale bedekking van proefvak 3 en 4 een hogere bedekking zien, respectievelijk 90 en 95%. Zowel proefvak 3 (monitoringstrip met geogrid) als proefvak 4 hebben wederom een hoge bedekking (75 %) van Engels raaigras. Verder komen in beide vakken nog Fioringras (*Agrostis stolonifera*) en Ruw beemdgras (*Poa trivialis*) voor. De bedekking van de kruiden komt niet hoger dan 10%. Het aantal soorten (tabel 2) in proefvak 3 en 4 is respectievelijk 9 en 8, wat duidt op een vrij soortenarme vegetatie.

Tabel 2: soortenlijst van proefvak 3 en 4, Juni 2007.

Proefvak 3: met geogrid (monitoringstrip), met behandeling, 1*1 m

Proefvak 4: controle; geen geogrid, geen behandeling, 4*4 m.

Opnamen volgens Braun-Blanquet.

Proefvak	3	4	
<i>Bellis perennis</i>		1	Madeliefje
<i>Festuca rubra</i>		1	Rood zwenkgras s.s.
<i>Lolium perenne</i>	5	5	Engels raaigras
<i>Taraxacum species</i>	+		Paardenbloem (G)
<i>Dactylis glomerata</i>		+	Kropaar
<i>Galium aparine</i>	r		Kleefkruid
<i>Stellaria media</i>	+		Vogelmuur
<i>Agrostis stolonifera</i>	3	2a	Fioringras
<i>Glechoma hederacea</i>		2m	Hondsdrif
<i>Elytrigia repens</i>	2a		Kweek
<i>Geranium molle</i>	r	+	Zachte ooievaarsbek
<i>Poa trivialis</i>	1	1	Ruw beemdgras
<i>Plantago major</i>	r		Grote weegbree

Het vegetatietype van zowel proefvak 3 als proefvak 4 scoort volgens de VTV als Beemdgras-raaigrasweide (W1). Dit is een graslandtype met weinig soorten. Engels raaigras, Kropaar en Kweek komen in dit type voor. Dit vegetatietype staat bekend als een type met slechte erosiebestendigheid.



Foto 2: proefvak 4, geen geogrid, geen behandeling, veel maaisel

VTV beoordeling:

De beoordeling van de zodekwaliteit is gebaseerd op het standaardwerk 'De veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland' (VTV; Min V&W, 2004); bijlage 8-1 (kwaliteit graszode).

- 1. Bepaling zodekwaliteit op basis van beheertype (B1.1 bijlage 8).
Het beheer van de onderzochte locaties wordt eens per twee weken geklept. Dit beheer komt overeen met gazonbeheer met een maximale bemesting van 70 kg N/ha. Op basis hiervan scoort de kwaliteit van de graszode 'Matig' (eenvoudige methode van de cursus kwaliteitsbeoordeling dijkgrasland).
- 2. Bepaling zodekwaliteit op basis van vegetatiesamenstelling (B1.2 bijlage 8).
De vegetatiesamenstelling en de bedekking van de zode van de onderzochte locaties (3 en 4) komen overeen met de vegetatiesamenstelling W1 van de VTV. Op basis van deze vegetatiesamenstelling (W1), met een zodebedekking van >70%, scoort de kwaliteit van de graszode 'Slecht'.
- 3. Bepaling zodekwaliteit op basis van doorworteling (B1.3 bijlage 8).
De doorworteling van de onderzochte locaties (1, 3 en 4) is ingevuld in het doorwortelingsdiagram van de VTV. Op basis van dit diagram scoort de kwaliteit van de graszode 'Slecht' (gedetailleerde methode van de cursus kwaliteitsbeoordeling dijkgrasland).

Voor de eindbeoordeling van de erosiebestendigheid leidt toepassing van het voorschrift Toetsen op Veiligheid tot het volgende beeld. Aangezien de erosiebestendigheid voor 'beheertype' en 'vegetatiesamenstelling' 'Matig' en 'Slecht' scoren wordt de kwaliteitsscore bepaald door de doorworteling. De kwaliteitsscores zijn weergegeven in tabel 2.

Tabel 2: Eindbeoordeling van de grasmat voor de vakken A en B op de dijk bij Farmsum 2007, conform het Voorschrift 'Toetsen op Veiligheid'.

	Kwaliteitsscore zode op basis van beheer	Kwaliteitsscore zode op basis van vegetatiesamenstelling	Kwaliteitsscore zode op basis van doorworteling	Eindbeoordeling erosiebestendigheid van de zode
Vak 1	Matig	-	Slecht	Slecht
Vak 2	Matig	-	-	Niet mogelijk
Vak 3	Matig	Slecht	Slecht	Slecht
Vak 4	Matig	Slecht	Slecht	Slecht

Conclusie:

In de doorworteling is in deze kleine opzet geen onderscheid te vinden tussen proefvakken met of zonder geogrid, of tussen proefvakken met wel of geen behandeling. Wel is duidelijk gebleken dat de wortels van vegetatie door het geogrid heen groeien. De vegetatie van beide proefvakken zijn Beemdgras-raaigrasweide (W1). Dit is een graslandtype met weinig soorten. De erosiebestendigheid van de zode op de dijk bij Farmsum scoort in alle proefvakken 'Slecht'.

Discussie:

In april 2006 is in opdracht van de CUR hetzelfde stuk dijk bij Farmsum gemonitord. In twee proefvakken A en B zijn wortelmonsters gestoken, en is de vegetatie genoteerd. De proefvakken lagen aansluitend links (A) en rechts (B) van de proefvakken 1 t/m 4 van de erosieproef van 2007. De Beide proefvakken A en B zouden qua doorworteling en vegetatie overeen moeten komen met proefvak 4 (geen geogrid, geen behandeling) uit 2007. Dit is echter niet het geval. Zowel de vegetatie als de doorworteling scoren in 2007 minder goed dan

in 2006. De score van doorworteling is veranderd van een matig/goede doorworteling in 2006 tot een slechte doorworteling in 2007. De vegetatie is veranderd van een soortenarme Kamgrasweide (W2) in 2006, naar een Beemdgras-raaigrasweide (W1) in 2007 met weinig soorten, wat eveneens nadelig is voor de erosiebestendigheid. Mogelijk hebben de activiteiten omtrent de erosieproef op de dijk invloed uitgeoefend op het beheer, de zode en de doorworteling.

In overweging wordt gegeven de ontwikkeling komende jaren verder te volgen. De tijd die na de toepassing van het geogrid is verstreken, is immers vrij kort geweest. Voorts was de behandeling van de ondergaasde stukken niet die van regulier beheer geweest. Het huidige beeld is dus zeker geen eindbeeld.



Foto 3: vegetatie 2006



Foto 4: vegetatie 2007

Literatuur:

Alterra, 2006. Cursusboek 'kwaliteitsherkenning dijkgrasland'. Alterra, Wageningen.

Min V&W, 2004. De veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland. Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de toetsronde 2001 - 2006 (VTV). Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Delft.

Joep Frissel
Dick Melman
Alterra, Wageningen, Juli 2007

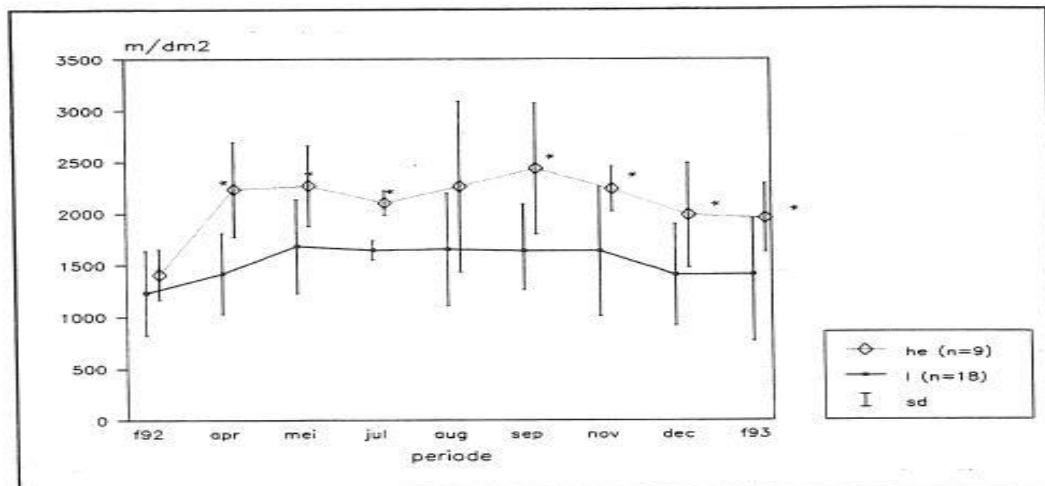


Geschikte periode om de erosiebestendigheid van dijken te bepalen

Bekend is dat aan het einde van de winterperiode, in februari, de doorworteling door kruiden en grassen, van dijken het slechts is. Deze periode is voor de erosiebestendigheid van de dijken het meest kritisch, temeer omdat ook in deze periode zware stormen voorkomen. Daarom kan het vaststellen van de doorworteling het beste in februari plaatsvinden. Het is logistiek niet altijd haalbaar om alle bepalingen in februari uit te voeren. De vraag is of er ook later in het seizoen metingen kunnen worden gedaan waarmee de situatie op het meest kritische moment –februari- geëxtrapoleerd kan worden. Een voor de hand liggend moment zou bijv kunnen zijn in het zomerseizoen, bijvoorbeeld gecombineerd met het maken van een vegetatieopname

Doorworteling:

De hoeveelheid wortels in de bodem varieert gedurende het seizoen. Sprangers (1996) geeft het verloop van de doorworteling gedurende een seizoen weer, voor zowel een bemest weiland als een niet bemest hooiland. (figuur 5.7) De totale wortellengte neemt in beide weilanden van februari tot mei toe en blijft dan min of meer op het zelfde niveau totdat in november de wortellengte weer afneemt. Het niet bemeste hooiland (he) heeft gedurende het hele seizoen een hogere totaallengte (m wortel per dm² bodem) dan het bemeste weiland (I). Op de tijdstippen april, juli en augustus is de wortelmasa van de onbemeste hooilanden significant hoger dan in het bemeste weiland. Dus als het puur gaat om het vergelijken van dijken, kun je dat wèl op alle momenten in het jaar kunt meten. Echter, deze metingen kunnen niet bijdragen voor de Toetsing (VTV).



Figuur 5.7 Seizoensvariatie in totale wortellengte (m/dm²) in het bemosterde profiel in bemest weiland (I) en onbemest hooiland (he)

Het beste moment om de doorworteling te meten is gezien de wortelmasa tussen december en februari (maart). Aangezien er gedurende de winter nog wat kleine wortels afsterven wordt voor alle grasland vegetaties de voorkeur gegeven aan februari. (het absolute minimum).

Eveneens heeft Sprangers gekeken naar het verschil in wortellengte per bodemlaagje tussen bemest weiland en niet bemest hooiland. Ook hier zijn significante verschillen gevonden tussen bemest weiland en niet bemest hooiland (tabel 5.1). Op alle tijdstippen gedurende het jaar is er een significant verschil in wortellengte tussen de bemeste weilanden en niet bemeste hooilanden op een diepte van 3 - 15 centimeter. De seizoensvariatie is hierbij ondergeschikt aan het verschil in doorworteling tussen beide graslandtypen.

Tabel 1. Significante verschillen per periode in wortellengte (WL) per laagje tussen bemest weiland en niet bemest hooiland (he); * $he > I$, $p < 0.05$; ** $he > I$, $p < 0.01$.

Diepte	feb92	apr	mei	jul	Aug	sep	nov	Dec	feb93
WL tot		**	**	**	(*)	**	*	*	**
WL 0-3 cm									
WL 3-6 cm		**		**		**	*	*	**
WL 6-10 cm	**	*	*	**	(*)	**	**		**
WL 10-15 cm	**	**	*	**		**	**	**	**
WL 15-20 cm	*	**	**	**		**			
WL 20-30 cm		**	**			**		*	
WL 30-40 cm		**	**			**	**	*	*
WL 40-50 cm		*	*			*	**		

Verder meldt Sprangers nog dat bij het bemeste weiland veranderingen in wortellengte gedurende het seizoen vooral spelen in de toplaag, terwijl bij de onbemeste hooilanden veranderingen in het wortelpakket gedurende het seizoen vooral ónder de toplaag op een diepte van 3-20 centimeter optreden. De wortelproductie in het bemeste weiland bedraagt ongeveer 6 ton droge stof per ha over de bemonsterde periode, en 8 ton per ha in het onbemeste hooiland.

Uit waarnemingen uit recente jaren is echter gebleken dat een “goed” beheer, en daarmee een verwachte “goede vegetatie” in de zomer niet altijd een goede doorworteling scoort in februari (bijv in de Alblasserwaard 2005). Eveneens geldt dat een “matig/slecht” beheer met een daarbij verwachte “matig/slechte vegetatie” in de zomer, niet altijd een slechte doorworteling scoort in februari (bijv bij Farmsum 2006). Deze waarnemingen vormen voor ons een belangrijk signaal dat de veronderstelde relatie tussen dijkbeheer /vegetatie en doorworteling/erosiebestendigheid niet altijd opgaan

Om meer zicht te krijgen op het statistische verband tussen beheer/vegetatie/doorworteling en erosiebestendigheid zijn meer gegevens nodig. Door Sprangers zijn veel van dergelijke gegevens verzameld. Op het moment is het niet mogelijk om met deze gegevens het aantal gemeten wortels op een bepaald moment terug te rekenen naar het aantal in februari. Sprangers heeft wel het hele jaar rond wortel bepalingen gedaan, maar met een reeds verouderde, wat te kostbare methode. De twee verschillende methodes zijn lastig met elkaar te vergelijken, waardoor het niet mogelijk is om deze data te gebruiken bij terugrekenen. Terugrekenen van latere metingen naar februari kan mogelijk wel, maar dan moet er gericht onderzoek gedaan worden. Op verschillende locaties zou dan jaarrond wortellengtes bepaald moeten worden. Bij wortelbepalingen later in het seizoen moet wel rekening gehouden worden met een zeer harde (droge) bodem, waardoor het steken van een wortel monster soms niet mogelijk is.

Vegetatie:

Voor het uitvoeren van vegetatiekundig onderzoek zijn bepaalde richtlijnen opgesteld. Na keuze van de proefvakken worden permanente quadraten (pq's) uitgezet, waarin in elke keer de vegetatie bepaald wordt. Het pq moet (op het oog) representatief en homogeen zijn voor het hele proefvak (dijkvak).

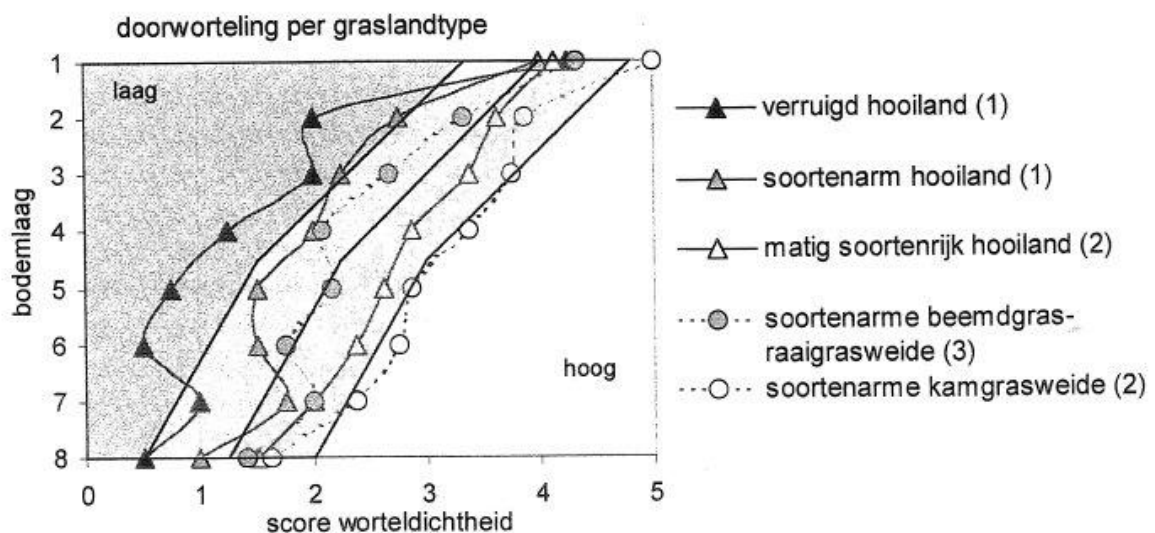
Voor dijkvegetaties is het gebruikelijk om de vegetatie opnamen eind mei, begin juni te maken, omdat slechts in deze periode dit soort vegetaties goed ontwikkeld zijn. Anders kan het zijn dat we soorten missen of dat soorten moeilijk van elkaar te onderscheiden zijn (Held & Held, 1994).

De grootte van de pq's is per vegetatietype verschillend, voor dijkgraslanden is de minimale grootte 16 m² (4 x 4m) (Sprangers 1989). Bij deze grootte zijn (bijna) alle plantensoorten die dit vegetatietype voorkomen vertegenwoordigd, terwijl het pq toch zo klein mogelijk gehouden moet worden. De pq's worden op het midden van de dijktalud uitgezet.

Voor het uiteindelijke beschrijven van de vegetatie wordt eerst de algemene aard en de gelaagdheid beschreven, vervolgens worden de plantensoorten genoteerd, en de bedekking/abundantie geschat. Voor dijkvegetaties wordt meestal de aangepaste Braun-Blanquet methode gebruikt (van der Maarel 1979). De soorten worden op naam gebracht volgens de flora van Nederland (van der Meijden et al. 2005).

Relatie vegetatie, beheer en doorworteling.

Sprangers en Arp (maart 1999) geven aan dat het effect van bemesting en beheer op de worteldichtheid duidelijk waar te nemen is (figuur 6, zij gebruikten hierbij de zogenaamde handmethode) Het verrijgde grasland geeft de laagste worteldichtheid. De hoogste scoren het matig soortenrijk hooiland en de kamgrasweide (matig soortenrijk grasland). Sprangers & Arp zeggen "deze rangorde komt geheel overeen met de uitkomsten van het zeedijken onderzoek 1999", waarbij de scan-methode werd gebruikt. Vegetatieopnamen geven dus een redelijke indicatie van de erosiebestendigheid, De dataset van de handmethode is echter zeer beperkt, ook dit geven Sprangers & Arp zelf al aan. Gezien de beperkte gegevensset zouden meer (reeds verzamelde) gegevens gebundeld moeten worden. .



figuur 6. Doorworteling van verschillende graslandtypen, gemeten volgens de handmethode. Het aantal metingen per graslandtype is tussen haakjes aangegeven in de legenda.

Conclusie:

- voor een nauwkeurige bepaling van de erosiebestendigheid als de dijk het meest kwetsbaar is, is een meting op dat moment, in februari, noodzakelijk

- het terugrekenen van latere metingen naar februari kan mogelijk wel, maar er is op dit punt geen systematisch onderzoek gedaan met de methode die op het ogenblik wordt gebruikt bij het bepalen van de doorworteling. Om de mogelijkheden voor later meten in het seizoen nader te verkennen is dus nieuw, gericht onderzoek nodig.

- De samenstelling van graslandvegetaties kan het beste in de periode mei-juni worden bepaald. Uit de samenstelling van de vegetatie kan een beeld van de doorworteling worden afgeleid dit beeld is bruikbaar voor de beoordeling van de erosiebestendigheid van dijken.

- als het puur gaat om het vergelijken van de erosiebestendigheid van dijken dan blijkt dat bij goed bemeste dijken de wortellengte op alle tijdstippen van het jaar kleiner is dan bij onbemeste dijken. Dat betekent dat je vergelijkenderwijs in beginsel wél op alle momenten in het jaar kunt meten. Het bepalen van de wortellengte op een ander tijdstip dan februari/maart kan globale erosiebestendigheds indicaties opleveren.

ENVOORTS:

- Bovenstaande conclusies geven enige spanning met de huidige VTV; De goedkeuring op basis van louter beheer (wat de VTV mogelijk maakt), kan toch samengaan met een slechte doorworteling in februari. De VTV geeft in dat geval maar beperkt betrouwbare informatie over de feitelijke erosiegevoeligheid van de dijken.

Literatuur:

Essen, H.M. van & Kruse, G.A.M. 1994. Experiments on internal erosion of grass sods from dikes.

Held, J.J. den & A.J. den Held. 1994. Beknopte handleiding voor vegetatiekundig onderzoek.

Maarel, E. van der, 1979. Transformation of cover-abundance values in photo sociology and its effects on community similarity.

Meijden, R. van der. 2005. Heukels' flora van Nederland. Drieëntwintigste druk.

Sprangers, J.T.C.M. 1989. Vegetatie van Nederlandse zeedijken. Plantengemeenschappen in relatie tot standplaatsfactoren.

Sprangers, J.T.C.M. 1996. Extensief graslandbeheer op zeedijken. Effecten op vegetatie, wortelgroei en erosiebestendigheid.

Sprangers, J.T.C.M & W.J. Arp. Maart 1999. Toetsingsparameters dijkgrasland. *Indicatorsoorten dijkgraslandtopen en worteldichtheidsbepalingen (handmethode)*. IBN-Rapport.

Joep Frissel
Dick melman
Februari 2007.

Bijlage 2 Notitie Schadeverloop grasbekleding
binnentalud zeedijk bij Delfzijl

Notitie

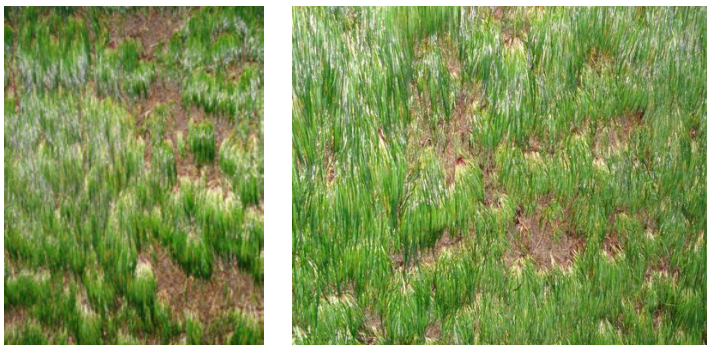
Aan : Henk Verheij, André van Hoven
Van : Koen van Gerven, Gert Jan Akkerman
Datum : 13 november 2007
Kopie :
Onze referentie : 9S8810.A0/N00001/401070/Nijm

Betreft : Schadeverloop grasbekleding binnentalud zeedijk bij Delfzijl

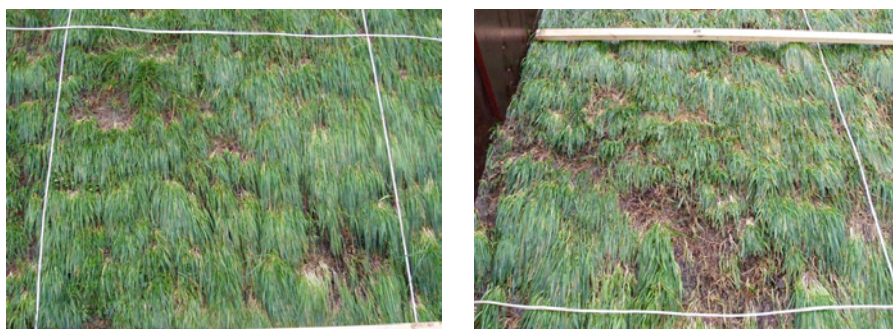
Hierna wordt ingegaan op het geconstateerde verloop van de schade aan de grasbekleding. Eerst wordt samengevat wat reeds in de formele rapportage is aangegeven; vervolgens wordt ingegaan op het detail-erosieproces, mede aan de hand van aanvullend fotomateriaal en op het schadeverloop nadat kunstmatig schade was aangebracht en worden conclusies getrokken.

1 Samenvatting resultaten rapport ¹

In het rapport is ingezoomd op details van de grasbekleding tijdens de toenemende belasting. Er wordt geen doorgaande erosie waargenomen van graspollen op het binnentalud en het rapport toont enkele detailopnamen van de situatie van het grasdek na afloop van de proeven met toenemende golfoverslag. De detailopnamen uit het rapport van het gras na de overslag van 30 l/s per m en van '50' l/s per m zijn hierna weergegeven (op overigens verschillende locaties).



Figuur 1: Gedetailleerde opnames van het grasdek na afloop van de 30 l/s per m test



Figuur 2: Gedetailleerde opnames van het grasdek na afloop van de '50' l/s per m

¹ Royal Haskoning & Infram. 2007: *Wave Overtopping Erosion Tests at Groningen Sea Dyke*, ComCoast Workpackage 3, Development of Overtopping-Resistant Sea Defences, 9R9112.B0, September 2007

Deze foto's geven weliswaar een beeld van de conditie van het gras na afloop van de proeven, maar geven geen goed beeld van de ontwikkeling ervan.

Het schadeverloop kan als volgt worden omschreven:

0,1 l/s/m

- Geen erosie.
- Kale plekken beter zichtbaar vanwege het feit dat de golven het blad van het gras plat leggen. Voorheen waren deze kale plekken ook al aanwezig, maar verborgen door het rechtopstaande blad van het gras.

1 l/s/m

- Met het blote oog geen substantiële verdergaande erosie zichtbaar.
- Het aanhechtingspunt tussen het blad van het gras en het wortelsysteem wordt beter zichtbaar vergeleken met de 0,1 l/s/m proef.

10 l/s/m

- Nog steeds geen (duidelijke) erosieplekken waar te nemen.
- Wortelsysteem wordt op sommige plekken beter zichtbaar.

20 l/s/m

- Er heeft nog steeds geen grootschalige erosie plaatsgevonden.
- Wortels van de graspollen komen meer bloot te liggen, maar nog steeds sterk verankerd aan de onderliggende kleilaag.

30 l/s/m

- Er heeft nog steeds geen grootschalige erosie plaatsgevonden.
- Over de gehele testsectie komen de wortels meer bloot te liggen maar het wegspoelen van graszoden vindt niet plaats.

'50' l/s/m

- Wortels komen nog beter bloot te liggen en verliezen op sommige plekken deels het contact met de ondergrond.
- Er vindt nog steeds geen grootschalige erosie plaats.

2 Nadere observatie

Uit het fotobestand is een overzichtssituatie geselecteerd, waarop vanuit een min of meer vaste positie naast de faciliteit het schadeverloop kan worden gevolgd. Bovendien was op deze locatie sprake van een vrij slechte grasbedekking. Deze foto's zijn hierna weergegeven (figuren 3 t/m 6).

Verder zijn enkele detailfoto's aangegeven waaruit de schade-ontwikkeling is te zien nadat kunstmatig schade was aangebracht (figuren 7 t/m 10): het gras was hierbij weggehaald over 1*1m, 0,05 m diep en op een andere locatie over 0,4*0,4 m, 0,2 m diep. Verder waren gaten gemaakt van 0,15*0,15 m, 0,1 m diep en waren enkele stokken en paaltjes aangebracht.



Figuur 3: na afloop van 1 l/s per m proef



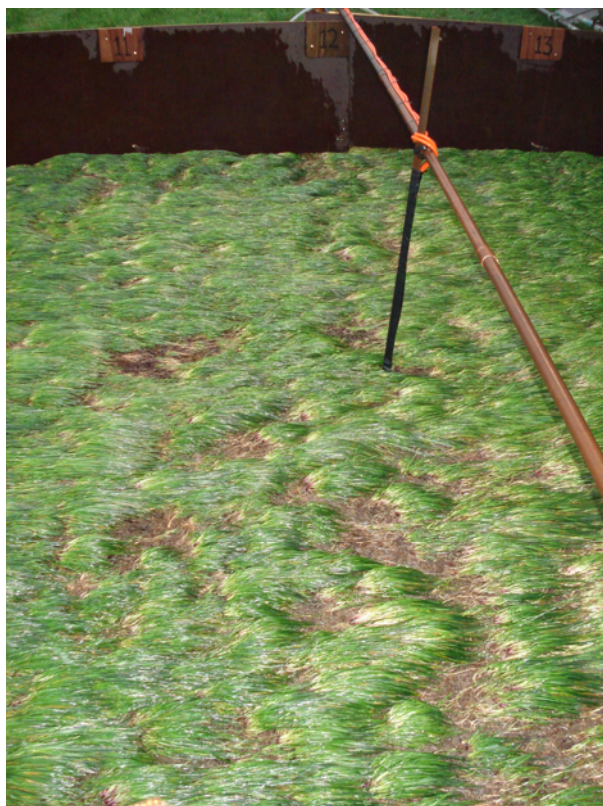
Figuur 4: na afloop van 10 l/s per m proef



Figuur 5: na afloop van 20 l/s per m proef



Figuur 5: na afloop van 30 l/s per m proef



Figuur 6: na afloop van '50' l/s per m proef



Figuur 7: na afloop van '50' l/s per m proef (detail)



Figuur 8: na afloop van '50' l/s per m proef bij 1*1 m gat



Figuur 9: na afloop van '50' l/s per m proef bij 0,4*0,4 m gat



Figuur 10: na afloop van '50' l/s per m proef: detail in geultje, waarbij de wortelresten zeer goed zichtbaar zijn

3 Analyse

3.1 Analyse op basis van de directe waarnemingen

Bij doorgaande belasting wordt slechts sporadisch een enkele graspol met de stroom meegevoerd en is hoegenaamd geen sprake van afname van de grasbedekking. Wel worden de graspollen steeds verder onderspoeld: eerst door uitspoeling van de viltlaag en vervolgens door het steeds verder uitspoelen van de kleilaag op de kale plekken (deze waren reeds in het begin aanwezig, maar niet altijd goed zichtbaar). Er treedt dus geen geconcentreerde erosie op van de kale plekken: veeleer is er sprake van geleidelijke uitspoeling van kleideeltjes op (afslijping van de kleilaag), waardoor de graswortels geleidelijk aan meer geëxposeerd komen te liggen. De reden kan zijn dat er nog zeer veel wortelresten aanwezig zijn die de klei beschutten, zie figuur 7. Met het meer geëxposeerd komen liggen van de graspollen neemt ook de ruwheid van het grasoppervlak steeds verder toe. Hierdoor zullen de stroomsnelheden aan de bodem in relatieve zin afnemen (bij de proeven namen de belastingen steeds verder toe, dus het gaat hier om een relatief effect). Voor de klei neemt de beschutting dus steeds verder toe, zolang de pollen nog aanwezig zijn. De stroomkrachten op de graspollen nemen echter wél verder toe, omdat deze meer frontaal worden aangevallen en de wortels bovendien steeds meer grip verliezen.

Een verdere doorkijk naar schadegedrag kan niet ondubbelzinnig worden afgeleid uit extrapolatie van deze observaties. Wél is het aannemelijk dat op een gegeven moment er steeds meer graspollen zullen worden meegevoerd als gevolg van de genoemde toename van de stroomaanval en vermindering van grip van de wortels. Als de resterende pollen steeds geïsoleerder komen te liggen, worden deze nog zwaarder belast en neemt de vervlechting van de wortels met de naastliggende pollen verder af. Erosie van de graspollen kan dan progressief worden. Wellicht is er een bepaalde grens, wellicht uit te drukken in een 'kritieke bedekkingsgraad', waarbij het gras het 'niet meer kan houden' en de graspollen in steeds grotere getale met de stroming zullen worden meegevoerd.

3.2 Analyse op basis van de indirecte waarnemingen

De schadeproeven, waarbij verschillende typen schade aan de grasbekleding werd aangebracht en deze werd onderworpen aan '50 l/s per m', werpen enig licht op bovenstaande veronderstellingen.

*Gras weggehaald over 0,1*0,1 m, 0,05 m diep en 0,1*0,1 m, 0,1 m diep*
Deze gaten in de grasmat waren gedurende de proef volledig stabiel.

*Gras weggehaald over 1*1 m, 0,05 m diep (N.B. wortelresten nog wel aanwezig!)*
Bij de grote kale plek vond geen geconcentreerde erosie plaats in de kleilaag, maar wel doorgaande afslijping (gemiddeld 3 cm, maximaal 5 cm). Hier was dus zeker niet sprake van falen van de kleilaag. De graspollen aan de benedenstroomse zijde echter dusdanig zwaar frontaal aangevallen dat deze werden meegevoerd en er zich een geultje vormde, die zich in de richting van de teen steeds verder uitbreidde (figuur 8).

*Gras weggehaald over 0,4 *0,4 m, 0,15 m diep (N.B. wortelresten hoegenaamd niet aanwezig!)*
Bovengenoemd verschijnsel was ook zichtbaar bij de kleinere (en diepere) kale plek; de geulvorming bleef hierbij iets achter ten opzichte van de grote kale plek (figuur 9).
Op basis van deze observaties kan tezamen met de analyse uit 3.1 het volgende worden geconcludeerd.

1. Bij kleine gaten in de grasmat en bij kleine obstakels (palen etc) vindt geen extra erosie van betekenis plaats;
2. Pas bij grotere gaten treedt schade op, waarbij het gaat om geulvorming benedenstrooms ervan als gevolg van het doorgaand afscheuren van graspollen;
3. Zelfs wanneer de klei over een 1 m vierkant is blootgekomen treedt hier nog geen sterke erosie in op en is doorgaande schade gerelateerd aan genoemde geulvorming.

Conclusie is dus dat zowel bij meer gelijkmatige schade (veronderstelling) als bij lokale schade (observatie) erosie van de kleilaag niet maatgevend is bij de schade. De gedane veronderstellingen zoals bij het kale plekken model lijken dus niet gerechtvaardigd. Grotere schade aan het binnenbeloop door overtrekkende stroming manifesteert zich in eerste instantie door het meegevoerd (kunnen) worden van graspollen. Een verklaring van de goede erosiebestendigheid van de blootgekomen kleiplekken lijkt vooral te liggen in de 'wapening' en beschutting van de klei door de nog aanwezige wortelresten en in de beschuttende werking door de nog aanwezige graspollen. Als deze laatste niet meer aanwezig zijn, treedt doorgaande geulvorming op.

Bijlage 3 Notitie schadeverloop onbedekte
kleilaag binnentalud zeedijk bij Delfzijl

Notitie

Aan : André van Hoven, Henk Verheij
Van : Gert Jan Akkerman en Koen van Gerven
Datum : 22 november 2007
Kopie :
Onze referentie : 9S8810.A0/N00002/401070/Nijm

**Betreft : Schadeverloop onbedekte kleilaag binnentalud
zeedijk bij Delfzijl**

Hierna wordt ingegaan op de geconstateerde erosie van de onbedekte kleilaag. Eerst wordt samengevat wat reeds in de formele rapportage is aangegeven; vervolgens wordt ingegaan op het detail-erosieproces, mede aan de hand van aanvullend fotomateriaal en wordt het geconstateerde schadeverloop verder geanalyseerd. Tenslotte worden conclusies getrokken.

1 Samenvatting resultaten rapport ¹

Het rapport geeft een overzicht van de resultaten van de erosieproef met de kale klei en gaat in op de voorbereiding van de proef (o.a. wijze waarop de kleisectie is verkregen) en geeft foto-impresies van de erosie tijdens de 1 l/s per m, de 5 l/s per m en de 10 l/s per m proef. Opmerkelijk is dat reeds bij 0,1 l/s per m zoveel schade optrad dat deze 'ingolf-proef', welke bij alle grasproeven als voorbereidende proef is uitgevoerd, moest worden gestopt. Toch heeft de klei nog tot 10 l/s per m stand kunnen houden, waarbij overigens wel forse erosiekuilen optraden. De gemeten erosie is tevens digitaal verwerkt en gepresenteerd. Bij de analyse in het rapport zijn de volgende conclusies getrokken:

1. Erosie begint op zwakke plekken in de klei en versterkt zich vervolgens op die plaatsen;
2. De erosie geschiedt niet alleen tijdens het passeren van de overslaande golf, maar ook nog enige tijd daarna als gevolg van 'nalevering' van water naar de lokale erosieplekken;
3. Na enige tijd vormen zich steile erosiefronten aan de bovenstroomse zijde ('cliffs') waar de twee gemarkeerde erosiekuilen zich ontwikkelen;
4. De steile fronten verplaatsen zich richting de kruin ('headcut-erosion') met een snelheid van circa 0,2 m/s. Een dergelijke verplaatsing kan qua grootte-orde ook met theoretische modellen worden voorspeld, mits de parameters in bijvoorbeeld Knoeff & Verheij² iets worden aangepast.

2 Nadere observatie

Uit het fotobestand zijn nadere foto's geselecteerd die meer in detail laten zien van wat er heeft plaatsgevonden. Hierbij zijn zoveel mogelijk dié foto's geselecteerd die een drie-dimensionaal beeld van de erosie geven, dus genomen vanuit een positie schuin naast de overslagsectie. Verder zijn een paar detailfoto's opgenomen die de aanwezigheid van wortelstructuren laten zien. Ten slotte zijn enkele foto's geselecteerd waarin de stroomconcentratie, nadat enige schade is opgetreden, wordt geïllustreerd.

¹ Royal Haskoning & Infram. 2007: *Wave Overtopping Erosion Tests at Groningen Sea Dyke*, ComCoast Workpackage 3, Development of Overtopping-Resistant Sea Defences, 9R9112.B0, September 2007

² Knoeff, J.G. & H.J. Verheij. 2003: *Residual strength after initial failure by overflowing/overtopping*, Delft Cluster, Projectcode 02.02.01, July 2003.



Figuur 1: na afloop van het 'ingolven' bij 0,1 l/s per m



Figuur2: na afloop van de 1 l/s per m proef



Figuur 3: na 2 uur bij de 5 l/s per m proef



Figuur 4: na 4 uur bij de 5 l/s per m proef



Figuur 5: na 6 uur bij de 5 l/s per m proef



Figuur 6: na 2 uur bij de 10 l/s per m proef



Figuur7: na 4 uur bij de 10 l/s per m proef



Figuur 8: na 6 uur bij de 10 l/s per m proef



Figuur 9: wortelstructuren bovenstrooms van schadelocatie



Figuur 10: wortelstructuren na 2 uur bij de 5 l/s per m proef ter hoogte van de erosielocatie



Figuur 11: stroomconcentratie tussen 2 en 4 uur bij de 1 l/s per m proef



Figuur 12: stroomconcentratie tussen 2 en 4 uur bij de 10 l/s per m proef

3 Analyse

Naast de foto's wordt gebruik gemaakt van onderstaande figuur, waarin de grootste erosiediepten, gemeten over de breedte van de overslagsectie, voor de verschillende situaties zijn geplote. De analyse is vooral aanvullend op de in het rapport vermelde resultaten.

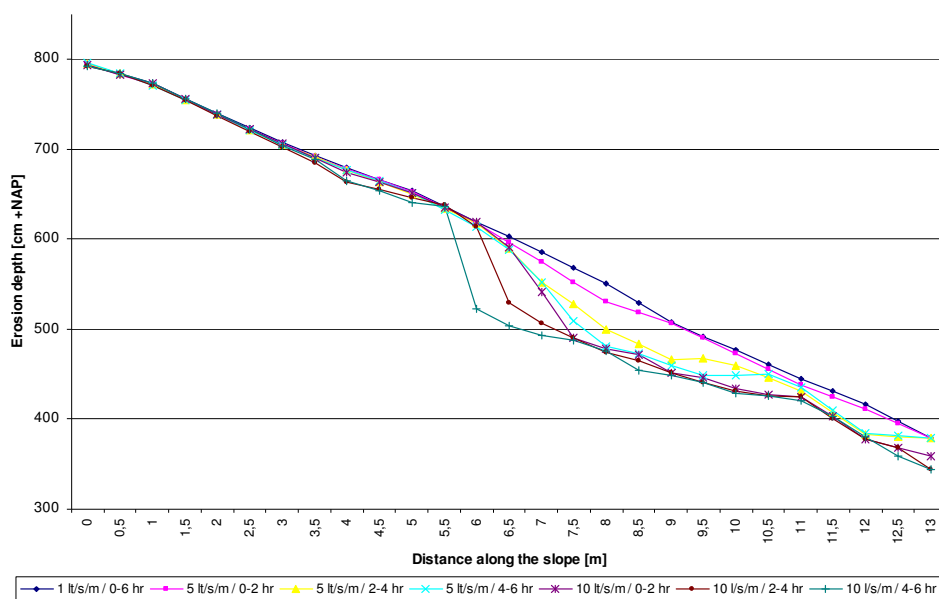


Figure 13: Gemeten erosiediepten langs het binnentalud

1. De erosie van klei lijkt á priori niet gelijkmatig te verlopen: zodra er enige erosie optreedt op een zwakke plek, dan is dit een zelfversterkend verschijnsel doordat deze schade steeds meer stroom aantrekt.
2. Opmerkelijk lijkt de rol van wortelresten te zijn. Hoger op het talud waren deze in sterke mate aanwezig, wat logisch i.v.m. de drogere ligging. Daar trad nauwelijks erosie op. Erosie begon daarentegen nabij het midden van het talud. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de lossere structuur van de klei aldaar, zoals kon worden geconstateerd tijdens de ingolfproef. Ook leken dié plaatsen waar op de erosielocaties veel wortelresten aanwezig waren tijdens doorgaande erosie minder gevoelig (zie figuur 10).
3. De erosie kenmerkt zich aanvankelijk als erosie die achter een bodemverdediging optreedt, waarbij de kuildiepte en lengte steeds verder toenemen en het insnijdingspunt op de plaats blijft (als ware daar de bodemverdediging). Vervolgens ontstaat een min of meer constante steile aanzethelling (cliff) en blijft de diepte van de kuil ook nagenoeg gelijk. Anders dan bij een bodemverdediging, snijdt de cliff vervolgens in en verplaatst naar de kruin toe (head-cut erosie) door het achtereenvolgens afschuiven van moten materiaal, welke aan de basis worden toegevoegd en door de stroming broksgewijs worden afgevoerd. Het totale erosiegebeuren is dus kenmerkend voor lokale erosie in loskorrelig materiaal tot het moment waarop head-cut erosie ontstaat; daarna treedt meer het verschijnsel op zoals ook bij cohesieve oevererosie kan worden geconstateerd.

4. De waargenomen erosie werpt licht op de aannamen die zijn gedaan voor het 'kale plekken model' van Van den Bos³: de aangenomen kale plekken zijn hierin bij lange na niet zo groot dat er ongestoorde erosie in de klei kan plaatsvinden. In figuur 13 is te zien dat hiervoor immers een lengte in stroomrichting nodig is van tenminste enige meters. Dergelijke gaten doen zich normaliter niet op een gasdijk voor. Kleine gaten van ten hoogste enkele decimeters wél en deze zullen dus altijd in sterke mate beschutting ondervinden van de aanwezige graspollen om die kale plek heen, zoals ook al bij de grasproeven is waargenomen en in de betreffende analyse is aangegeven.
5. Opgemerkt moet worden dat de erosie in de kleilaag hier onverstoord kon doorgaan tot een diepte van circa 1 m, omdat de kern van de testdijk ook uit klei bestond. Op veel dijken is echter onder de kleilaag van beperkte dikte (bijvoorbeeld 0,5 tot 1 m) een kern van zand aanwezig. Dit zand zal, nadat het is 'aangesneden', naar verwachting veel sneller eroderen door overtrekkende stroming en is bovendien gevoeliger voor uit het talud gerichte stroming. Nagegaan dient dus nog te worden in hoeverre een 'gewone' dijk ook 10 l/s per m zou kunnen verduren zonder bijvoorbeeld aantasting van de kruin van de dijk of zonder verder afschuiven van het binnentalud.
6. Hoewel de reststerkte bij de testdijk onverwacht goed bleek, kan worden gesteld dat het vroege moment van erosie (reeds bij ingolven met 0,1 l/s per m) in schril contrast staat met de erosie bij een talud waarop de grasbekleding nog wel aanwezig is. In het laatste geval is er in het geheel nog geen erosie (en ook niet bij 10 l/s per m). De aanwezigheid van gras is dus cruciaal. Nader onderzoek kan uitwijzen in welke mate een grasbedekking deze functie nog kan blijven vervullen: wellicht is er een kritische bedekkingsgraad te definiëren, als ook kritieke groottes van onbedekte klei, waarbij deze functie niet meer goed kan worden vervuld.

³ Bos, W. van den. 2006: *Erosion resistance of grass revetments during wave overtopping*, M.Sc. Thesis, 2006.

Bijlage 4 Etten, R. van 2007: notitie Analyse
tensiometingen overslagproef Delfzijl,
11 juli 2007

NOTITIE

Betreft: Analyse tensiometingen overslagproef Delfzijl.
Van: Ronald van Etten
Datum: 11-07-2007

1. Samenvatting GD-rapport.

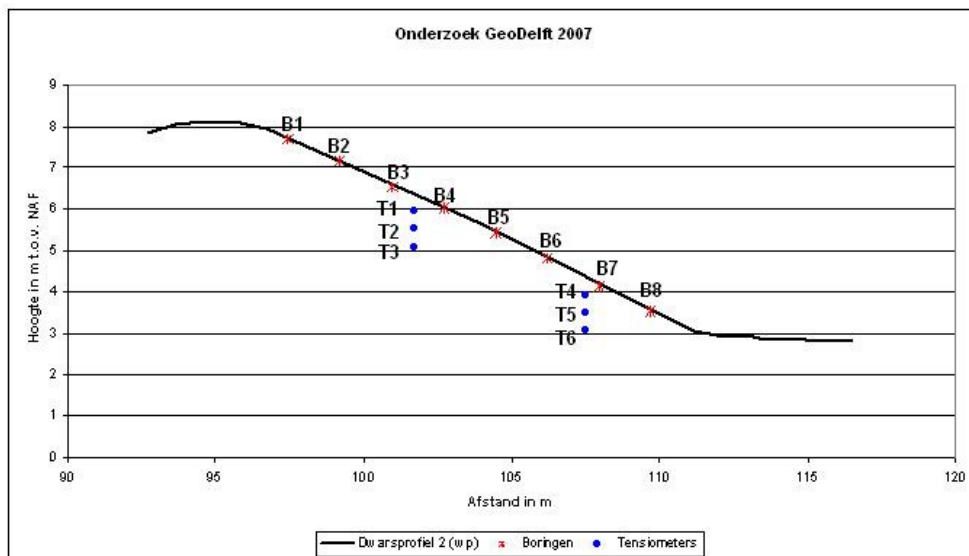
In het GD-rapport met bijbehorende digitale meetgegevens (mei 2007) wordt slechts heel summier ingegaan op de betrouwbaarheid en de resultaten van de metingen. De belangrijkste opmerkingen uit het rapport zijn:

- Op 16 februari 2007 zijn de tensiometers geplaatst en op 20 februari 2007 zijn de metingen gestart.
- Op 19 maart 2007 zijn de metingen beëindigd en op 21 maart 2007 zijn de meters door GeoDelft opgehaald.
- Vanwege het krappe tijdspad kon voorafgaand aan de plaatsing niet de nulpunten van de tensiometers worden bepaald. Dit is na de metingen alsnog uitgevoerd, waarna de meetdata is gecorrigeerd en omgerekend naar kPa.
- Geconcludeerd is dat de meters snel reageren op de proeven en dat de diepe meter (T3) sneller reageert dan de meter erboven.
- Opnemer T4 wordt als onbetrouwbaar geacht.

Opgemerkt moet worden dat de tensiometers en de meetdata in het GD-rapport niet t.o.v. NAP is weergegeven, hetgeen een belangrijk gemis is. In deze notitie is dit dan ook een eerste stap. Vervolgens zijn de metingen zowel in hun totaliteit als afzonderlijk tijdens de proeven op hun consistentie beoordeeld.

2. NAP-hoogten tensiometers.

Aan de hand van bijlage A5 uit het GD-rapport (locaties tensiometers in profielschets) en aan de hand van de eerder door GeoDelft uitgevoerde boringen (1 t/m 8) voor het geotechnisch onderzoek¹ welke wel t.o.v. NAP waren bepaald, is de plaatsingsdiepte t.o.v. NAP en de locatie in het profiel vastgesteld en in figuur 1 en tabel 1 weergegeven. Door deze bepalingwijze moet echter rekening worden gehouden met een onnauwkeurigheid van naar schatting 10 cm.



Figuur 1. Tensiometers in dwarsprofiel.

¹ SBW-golfoverslagproeven Delfzijl, Geotechnisch onderzoek. GD-rapport, mei 2007.

Plaatsingsdiepte (vert.)	MV = NAP+6,35 m	MV = NAP+4,35 m
0,42 m -MV	T1 = NAP+5,93 m	T4 = NAP+3,93 m
0,84 m -MV	T2 = NAP+5,51 m	T5 = NAP+3,51 m
1,26 m -MV	T3 = NAP+5,09 m	T6 = NAP+3,09 m

Tabel 1. Globale maaiveldhoogte en plaatsingsdiepte tensiometers.

Voor de duidelijkheid; de tensiometers zijn geplaatst in het **niet** met geogrid versterkte proefvak.

3. Eerste beoordeling meetdata.

Indien de meetdata (zie bijlagen 1A en 1B bij deze notitie) aan een kritische blik wordt onderworpen, kan het volgende worden opgemerkt:

1. Direct na plaatsing daalt **meter T1** van $-1,4$ kPa naar $-6,7$ kPa om op 23 februari binnen 2 minuten weer te stijgen naar $+3,5$ kPa. Het tijdstip waarop de stijging plaatsvond viel samen met het begin van infiltreren om 09:00 uur met constant debiet van bijna 1 l/m/s. Nagenoeg direct na deze stijging daalt de druk gedurende het verdere infiltratieproces en schommelt gedurende de rest van de metingen rond de 0 kPa, waarbij juist tijdens de overslagproeven een geringe daling van de druk wordt waargenomen om daarna weer iets op te lopen.
2. Op het moment dat op 23 februari wordt gestart met infiltreren wordt ook bij **meter T4** een daling gemeten welke gedurende de gehele infiltratieduur doorgaat. Korte tijd nadat het infiltratieproces is gestopt geeft de meter in tegenstelling tot de andere meters een stijging van de druk te zien. Dit proces herhaalt zich in meer of mindere mate bij de volgende overslagproeven.

Op basis hiervan moet worden aangenomen dat niet alleen T4 maar dat beide ondiep geplaatste tensiometers (T1 en T4) niet correct hebben gewerkt.

Verder kan worden opgemerkt dat de druk in de overige meters bij aanvang van het infiltratieproces met constant debiet en tijdens de overslagproeven zeer snel oploopt om na afloop van de proef in eerste instantie redelijk snel en daarna langzaam te dalen. Dit kan verschillende oorzaken hebben, namelijk;

- Lekkage langs boorgat of kabels naar opnemer.
- Infiltratie in de bovenste laag geeft een luchtdrukverhoging in de laag eronder.
- De toplaag is doorlatender dan de diepere lagen.

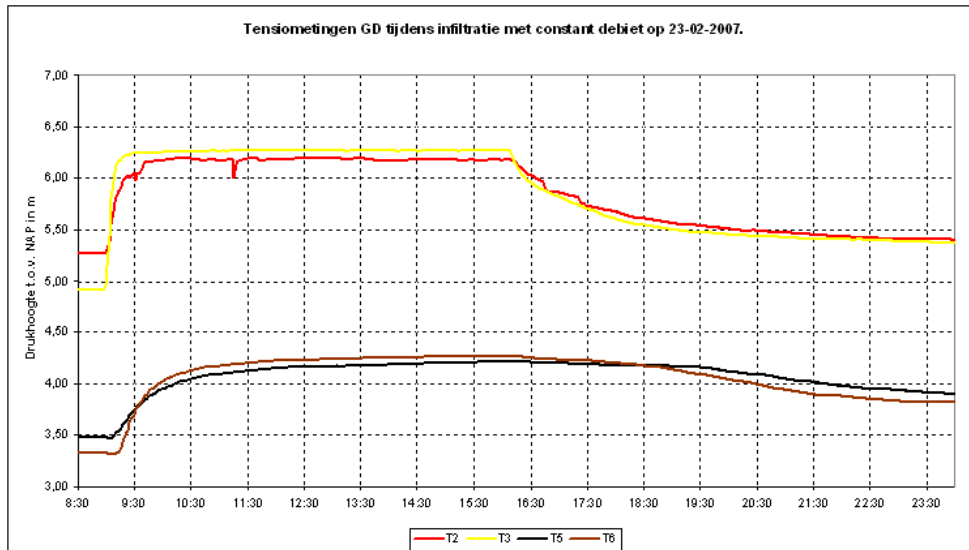
Tijdens de overslagproeven zelf geeft de meetdata een zaagtand te zien welke mogelijk overeenkomt met de golven over het binnentalud.

Een ander aspect wat opvalt is een verhoging van de druk op een aantal dagen tussen de proeven door, hetgeen volgens het GD-rapport de invloed van neerslag zou zijn.

4. Meetdata tijdens het infiltratieproces met constant debiet op 23-02-2007.

Op 23-02-2007 werd de pomp om 09:00 uur gestart en ingeregeld. Om 16:07 uur werd de pomp uitgeschakeld. Het debiet dat op verschillende tijdstippen werd gecontroleerd, was zeer constant en kwam uit op een gemiddelde van 0,91 l/m/s (zie verslag van 28-02-2007).

Na weglating van de meetdata van de meters T1 en T4, welke als onbetrouwbaar worden beschouwd, is de overige meetdata (T2, T3, T5 en T6) aan de hand van de in hoofdstuk 2 bepaalde hoogten omgerekend naar een druk t.o.v. NAP. In figuur 2 is het resultaat hiervan gedurende het infiltratieproces met constant debiet (SBW-proef op 23-02-2007) weergegeven.



Figuur 2. Metingen tijdens infiltratie met constant debiet (SBW-proef).

Uit de naar NAP omgerekende gemeten drukken valt het volgende af te leiden:

- De gemeten drukverschillen tussen de beide meters op dezelfde plek (T2/T3 en T4/T5) en omgerekend naar NAP zijn gedurende het infiltratieproces en na afloop gering. *Dit zou kunnen duiden op een gelijkmatige doorlatendheid van de grond t.p.v. de tensiometers.*
- De maximale gemeten druk t.o.v. NAP tijdens het infiltratieproces met constant debiet komt ongeveer overeen met de hoogteligging van het maaiveld t.p.v. de meters. *Dit zou kunnen duiden op een volledige verzadiging van bovenliggend grond.*
- De bovenaan het talud geplaatste meters (T2 en T3) reageren na aanvang van de proef veel directer dan de onderin geplaatste meters (T5 en T6). *Dit lijkt logisch omdat de uitstroombuis eveneens bovenaan het talud ligt.*
- Zoals eerder is opgemerkt stijgt de (water)druk na aanvang van het infiltratieproces zeer snel in tegenstelling tot de daling na afloop van de proef. *Bij deze snelle stijging van T2 en T3 behoort een doorlatendheidsfactor van de bovenliggende grond van ongeveer $2 \cdot 10^{-3}$ m/s. Uit de gemiddelde daling na afloop van het infiltratieproces wordt echter een doorlatendheid van ongeveer $1 \cdot 10^{-4}$ m/s berekend. Worden deze gegevens vergeleken met de door Fugro gemeten topaagdoorlatendheid van circa $2 \cdot 10^{-4}$ m/s, dan mag voor de snelle stijging van de (water)druk andere oorzaken zoals lekkage of luchtinsluiting niet worden uitgesloten.*
- Opmerkelijk is dat de dieper geplaatste meter bovenaan het talud (T3) na aanvang van infiltratie aanzienlijk sneller reageert dan de meter erboven (T2). *Een eerste gedachte is dat de meetkabels tijdens het installeren per ongeluk zijn omgewisseld, maar gezien het verschil in drukhoogte tussen beide meters moet dit worden uitgesloten. Rekening houdende met de door Fugro gemeten topaagdoorlatendheid zou dit eveneens door luchtinsluiting of lekkage veroorzaakt kunnen worden.*

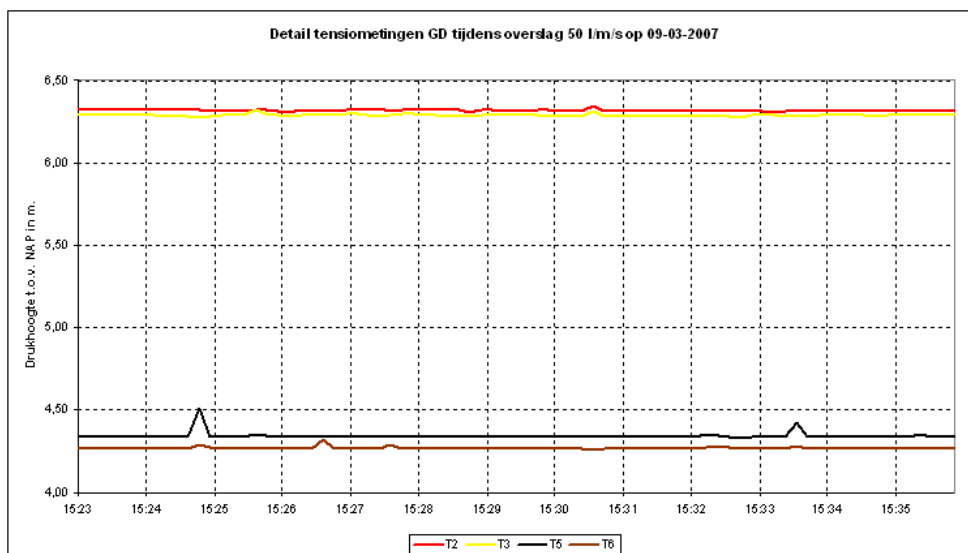
5. Meetdata tijdens golfoverslagproeven.

In de bijlagen 2A t/m 2D zijn de metingen in een drukhoogte t.o.v. NAP per overslagproef weergegeven. Hieronder wordt een korte samenvatting van de uitgevoerde proeven en een eerste analyse gegeven;

- Overslagproef met 0,1 l/m/s op 01-03-2007. Deze proef was versneld uitgevoerd hetgeen ook aan de meetdata te zien is. Volgens de meetdata heeft de proef niet meer dan 5 kwartier geduurd. Evenals bij de proef met constant debiet reageren de dieper geplaatste meters sneller dan de ondieper geplaatste meters. Gezien de fluctuaties in de metingen reageren de bovenaan het talud geplaatste meters vrij direct op de golfhoogte (overslaghoeveelheid). De lager op het talud geplaatste meters geven een gelijkmatig oplopende drukhoogte weer, welke na afloop van de proef nog circa 3 uur doorgaat. Rekening houdende met een nauwkeurigheid van 10 cm, blijft de naar NAP omgerekende drukhoogte nog altijd ruim onder het maaiveldoppervlak. Dus geen volledige verzadiging van de topaag.

- Overslagproef met 1 l/m/s op 02-03-2007. Deze proef heeft ruim 8 uur geduurd. Ook bij dit overslagdebiet zijn de verschillende golfgrootten alleen in de bovenaan het talud geplaatste meters te zien. Opmerkelijk is wel dat bij aanvang van de proef de bovenaan het talud geplaatste meters nu wel min of meer gelijk reageren en oplopen. Verder is in de metingen te zien wanneer er een onderbreking van de overslagproef heeft plaats gevonden. Dit om het talud tussentijds te inspecteren op eventuele schade.
- Overslagproef met 10 l/m/s op 03-03-2007. Evenals bij de 1 l/m/s overslagproef reageren de bovenaan het talud geplaatste meters vrijwel gelijk. Daarentegen is de fluctuaties in golfgrootte minder zichtbaar, mogelijk doordat het talud t.g.v. de grotere overslagdebieten voortdurend nat blijft. Het lijkt er ook op dat de verzadiging van de toplaag nu wel volledig is. In tegenstelling tot de vorige proef zijn nu kleine pieken in de metingen te zien welke zeer waarschijnlijk veroorzaakt zijn door enkele grotere golven. Ook zijn bij deze proef 3 onderbrekingen geweest. De reden hiervan zou aan de hand van het logboek nagegaan kunnen worden. Het was namelijk de bedoeling om gedurende de in totaal 6 uur durende proef, steeds na 2 uur golven de proef te onderbreken voor schade-inspectie.
- Overslagproef met 20 l/m/s op 05-03-2007. Het belangrijkste verschil met de vorige proef is dat hier twee duidelijke onderbrekingen zijn geweest voor schade-inspectie.
- Overslagproef met 30 l/m/s op 06-03-2007. Tijdens deze proef lijkt er een opstartprobleem te zijn geweest na de eerste schade-inspectie. De enkele grotere golven zijn gezien de pieken in de metingen nu ook duidelijk bij de lager op het talud geplaatste meters te zien.
- Overslagproef met 50 l/m/s gestart op 07-03-2007. Na ruim 1 uur golven is de proef i.v.m. een defecte pomp onderbroken geweest. 's-Middags en de volgende dag (08-07-2007) is de proef voortgezet waarin voor de tweede maal een defecte pomp voor een onderbreking heeft gezorgd. Deze onderbrekingen zijn duidelijk in de metingen te herkennen.
- Op 09-03-2007 is het laatste deel van de 50 l/m/s proef uitgevoerd waarna bewust op een aantal plaatsen schade aan de grasmat is toegebracht. Om circa 10:30 uur is de 50 l/m/s proef op deze beschadigde grasmat gestart en zonder onderbrekingen (schade-inspecties) uitgevoerd. Dit volgens de metingen, welke aan de hand van het logboek en/of video-opnamen kan worden geverifieerd.

Alhoewel de meetfrequentie van de tensiometers tijdens de proeven zelf 10 seconden bedroeg, zijn de pieken t.g.v. van de grotere golven tijdens de proeven met een overslagdebiet van > 1 l/m/s duidelijk waarneembaar. Mogelijk een toevalstreffer is een door meter T5 gemeten piek van circa 20 cm boven maaiveld om circa 15:25 uur (figuur 3).



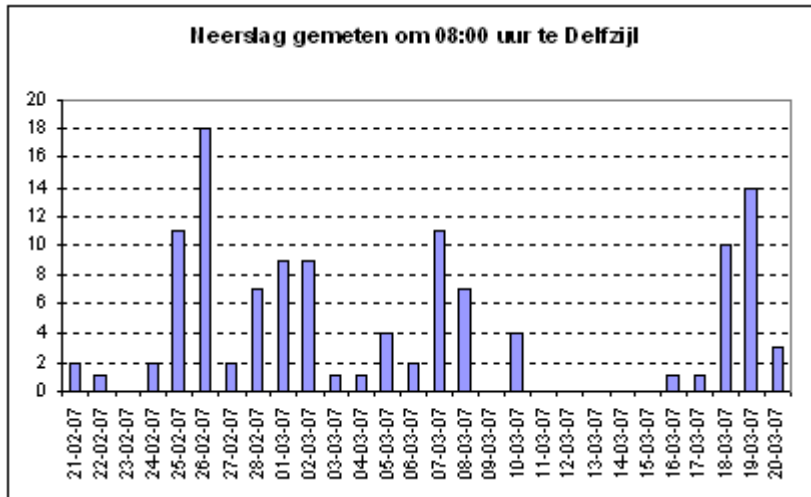
Figuur 3. Detail meting op 09-03-2007.

6. Drukverschillen tussen en na de proevenseries.

In de periode tussen de proef met constant debiet op 23-02-2007 en de eerste overslagproef met 0,1 l/m/s op 01-03-2007, maar ook na afronding van de proeven op 09-03-2007 zijn eveneens

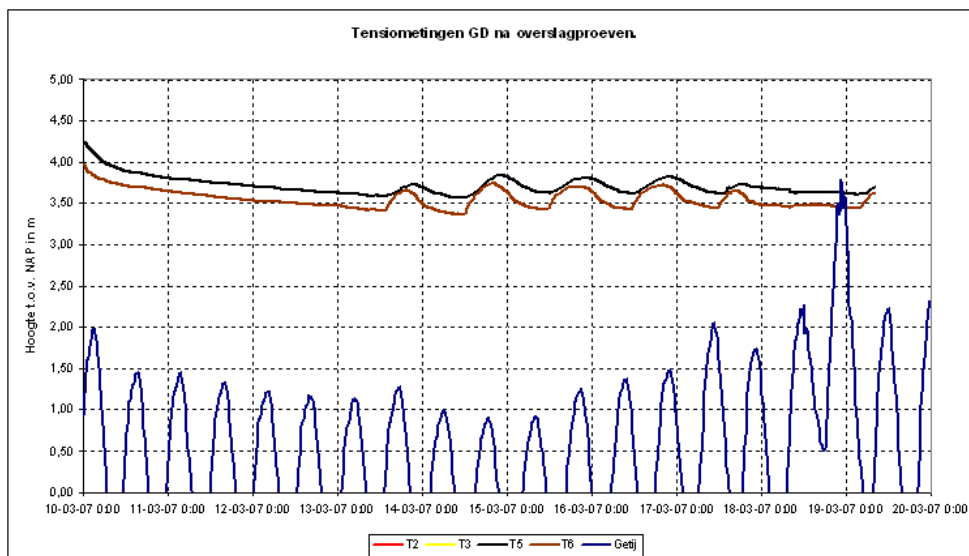
drukverschillen gemeten, zie bijlage 3A. Deze zijn in het GD-rapport toegeschreven aan neerslag, hetgeen in dit hoofdstuk wordt geverifieerd.

Volgens de gegevens van het KNMI is te Delfzijl in de periode van 21-02-2007 t/m 20-03-2007 de volgens figuur 4 gemeten hoeveelheden neerslag gevallen.



Figuur 4. Neerslag in mm.

De (water)drukverhoging van circa 25 cm gemeten in de periode van 25 t/m 28 februari 2007 kan inderdaad veroorzaakt zijn door neerslag. De (water)drukschommelingen in de periode 13 t/m 17 maart daarentegen, welke bovendien een vrij regelmatig verloop heeft, kan echter niet worden toegeschreven aan neerslag omdat in deze periode nagenoeg geen neerslag is gevallen. Opmerkelijk is ook dat met name de meters (T5 en T6) welke onderaan het talud staan, de grootste verschillen geven. Omdat het patroon veel doet lijken op een getijkromme, is deze voor Delfzijl samen met de tensiometingen in figuur 5 samengevoegd.



Figuur 5. Tensiometingen en getijkromme.

Uit figuur 5 valt duidelijk op te maken dat de getijwerking geen invloed heeft gehad op de door de tensiometers gemeten drukverschillen. Het enige wat overblijft en achteraf geheel logisch, is de invloed van de golfoverslagproeven op de versterkte grasmat welke op circa 10 m afstand ligt. Deze proeven zijn namelijk volgens onderstaand overzicht uitgevoerd.

- Op 12 maart de 0,1 en 1 l/m/s proef. Deze lijken geen invloed te hebben op de tensiometers.
- Op 13 maart de 10 l/m/s proef. Eerste drukverhoging.
- Op 14 maart de 20 l/m/s proef. Tweede drukverhoging.

- Op 15 maart de 30 l/m/s proef. Derde drukverhoging.
- Op 16 maart de 50 l/m/s proef. Vierde drukverhoging.
- Op 17 maart de 50 l/m/s proef Vijfde drukverhoging t.g.v. afronding overslagproef op versterkte grasmat met aangebrachte schade.

Duidelijk is dat de gemeten drukverschillen na de proevenserie op het onversterkte proefvak veroorzaakt zijn door de proeven op het versterkte proefvak wat circa 10 m ernaast lag. Aan de hand van deze constatering zijn de gemeten drukverhogingen op 25 en 27 februari achteraf eveneens (deels) toe te schrijven aan proefnemingen. Op 27 februari is namelijk op het naastgelegen talud de overslagmachine tijdens een demonstratie officieel in gebruik genomen.

7. Samenvatting, opmerkingen en conclusies.

De twee ondiepe tensiometers (T1 en T4) zijn als onbetrouwbaar beschouwd en niet verder in de analyse meegenomen.

In het vervolg dienen de meters alsmede de situering in het profiel nauwkeurig t.o.v. NAP te worden vastgelegd en de meetdata naar deze hoogten te worden omgerekend.

Bij een constant overslagdebiet van circa 1 l/m/s wordt de toplaag (tot 1,25 m – MV) geheel verzadigd en de doorlatendheid van deze laag is vrij uniform. De gemiddelde doorlatendheid van de toplaag zal desondanks dat deze uit goede kleilaag bestaat ongeveer $1 \text{ à } 2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ bedragen. Dit t.g.v. de vele wormgangen welke tot grote diepte voorkomen.

Gezien de zeer snelle stijging van de druk bij aanvang van de proeven mag lekkage of luchtinsluiting niet worden uitgesloten. Aanbevolen wordt, om in het vervolg lekkage uit te kunnen sluiten, de afdichting middels het omgieten met water te controleren of de meters vanaf buiten het proefvak aan te brengen (schuin wegdrücken).

Uit de metingen blijkt duidelijk dat de tensiometers die laag in het binnentalud geplaatst zijn later en trager reageren dan de hoger op het talud geplaatste meters.

Eveneens blijkt uit de metingen dat op deze locatie nauwelijks of geen drukverschillen worden gemeten op verschillende diepten.

Alhoewel uit de drukhoogte blijkt dat ook waterhoogten boven het maaiveld worden gemeten, is gezien de gering meetfrequentie hiervan geen nadere analyse mogelijk. Overwogen kan worden om bij vervolgmetingen (of een deel hiervan) de frequentie op te voeren tot tenminste 10 metingen per seconde.

Alleen zeer grote hoeveelheden neerslag geeft mogelijk een geringe drukverhoging in de toplaag. Proefnemingen in de nabijheid van het meetvak heeft een groter effect, zodat rekening gehouden moet worden met voldoende afstand. Omdat de grondwaterstroming na infiltratie min of meer onder een hoek van 45 graden naar beneden afstroomt, is het effect lager op het talud op grotere afstand merkbaar dan bovenaan het talud.

Tot slot werd het als een gemis ervaren dat de tensiometers niet op de locatie zelf konden worden uitgelezen.

