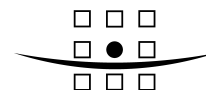


Onderzoeksprogramma Kennisleemtes
Steenbekledingen (OKS)
evaluatie & bijsturing 2003 en 2004
faserapport: evaluatie inhoud

22 april 2005
Definitief rapport
9P8623.A0






ROYAL HASKONING

HASKONING NEDERLAND BV
KUST & RIVIEREN

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

Documenttitel	Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen (OKS) evaluatie & bijsturing 2003 en 2004 faserapport: evaluatie inhoud
Verkorte documenttitel	OKS-2004- faserapport: evaluatie inhoud
Status	Definitief rapport
Datum	22 april 2005
Projectnaam	OKS-2004- faserapport: evaluatie inhoud
Projectnummer	9P8623.A0
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde mevr. Ir. S. Nurmohamed
Referentie	9P8623.A0/R005/JJF/SEP/Nijm

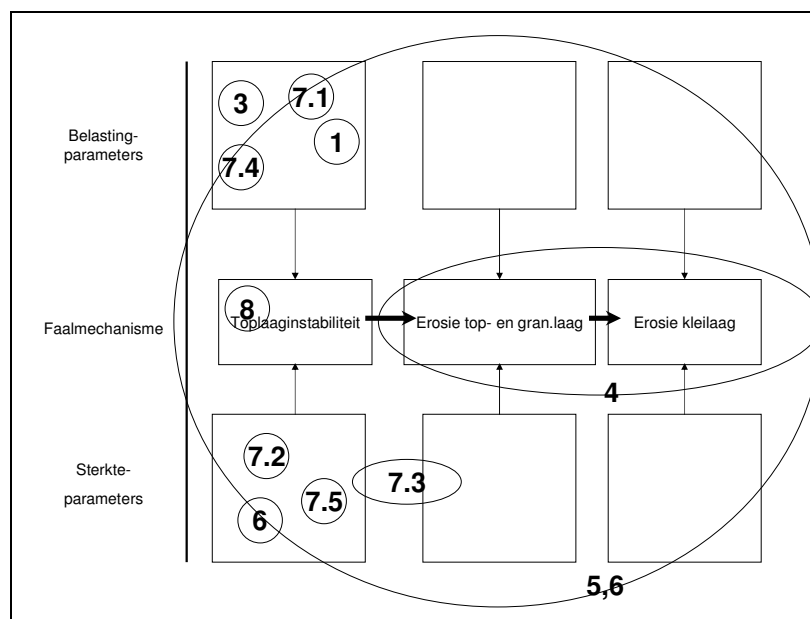
Auteur(s)	J.J. Flikweert; G.J. Akkerman
Collegiale toets	G.J. Akkerman; J.J. Flikweert
Datum/paraaf	  22 april 2005
Vrijgegeven door	G.J. Akkerman
Datum/paraaf	 22 april 2005

SAMENVATTING

Het voorliggende rapport geeft een samenvatting en totaaloverzicht van de inhoudelijke resultaten tot dusver in het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen (OKS). Het betreft fase 2 van project Evaluatie en Bijsturing OKS. Tezamen met de evaluatie van het proces in fase 1, vormt deze vastlegging van de inhoud een basis voor het komen tot een voorstel voor bijsturing van het onderzoeksprogramma in fase 3.

De hoofdmoot van de werkzaamheden heeft bestaan uit het bestuderen en samenvatten van de formele onderzoeksrapporten (in enkele gevallen is dat ook gedaan voor belangrijke conceptrapporten). Voor zover wenselijk, bijvoorbeeld ter verduidelijking van bepaalde details, is in aanvulling hierop bilateraal contact gezocht met de opdrachtbegeleiders.

De samenvattingen voor de verschillende Deelonderzoeken zijn in dit rapport in afzonderlijke hoofdstukken gepresenteerd. In het afsluitende hoofdstuk 18 is vervolgens een overzicht gemaakt van de diverse onderzoeken, inclusief hun samenhang. Een goed overzicht kan worden verkregen wanneer de onderzoeken worden ingedeeld per faalmechanisme, met daarbinnen een onderscheid tussen enerzijds het vergroten van fysisch begrip (onderzoek invloedsaspecten) en anderzijds de verwerking in rekenregels. In de navolgende figuur wordt dit zichtbaar gemaakt (overgenomen uit hoofdstuk 18).



De samenhang tussen de onderzoeken blijkt soms zeer groot (bijvoorbeeld Reststerkte en Klemming), maar andere staan op zich zelf (Afschuiving, Ingegoten bekledingen en Noorse steen).

In hoofdstuk 18 wordt ook een samenvattend overzicht gegeven van op de belangrijkste resultaten tot dusverre. Enkele deelonderzoeken zijn zover gevorderd dat er al een indruk ontstaat van de eindresultaten:

- scheve golfval: de 'zorg' vooraf over inval tussen 30° en 60° lijkt mee te vallen terwijl voor schuinere inval enige aanscherping mogelijk lijkt;

- lange golfperiode: in lijn met de verwachting lijkt enige aanscherping mogelijk voor lange periodes, vooral bij open bekledingen;
- basalt: de 'zorg' vooraf dat basalt ongunstiger is dan betonzuilen lijkt te worden bevestigd, maar het probleem zou mee kunnen vallen doordat het vooral speelt bij niet-'ingegolfde' bekledingen terwijl basalt in de praktijk meestal in vaak belaste zones ligt;
- inslibbing: de gehoopte aanscherping lijkt niet te zullen worden gerealiseerd.
- afschuiving: in lijn met de verwachting lijkt het mogelijk om aan te tonen dat het faalmechanisme voor veel bekledingen niet relevant is;
- Noorse steen: een nieuwe, scherpere toetsregel lijkt op korte termijn haalbaar. Bewezen sterkte speelt hierin een belangrijke rol.

Voor enkele andere aspecten is weliswaar al veel werk verricht, maar is binnen OKS nog meer onderzoek nodig om te kunnen inschatten in welke richting de eindresultaten zich bewegen. Het betreft de invloedsaspecten klemming (in relatie tot reststerkte), golfklappen en belastingduur, het rekenmodel ZSteen en het bekledingstype Ingegoten bekleding.

INHOUDSOPGAVE

	Blz.	
1	INLEIDING	1
	1.1 Achtergrond van dit rapport	1
	1.2 Opdracht	1
	1.3 Leeswijzer	1
2	AANPAK EN GEBRUIKTE GEGEVENS	1
	2.1 Aanpak van de inhoudelijke evaluatie	1
	2.2 Beschikbare gegevens	1
3	DEELONDERZOEK 1: HERBESCHOUWING HUIDIGE TOETSCRITERIA	1
	3.1 Inleiding	1
4	DEELONDERZOEK 2: AFSCHUIVING	1
	4.1 Inleiding	1
	4.2 Discussiebijeenkomst en discussienota	1
5	DEELONDERZOEK 3: SCHEVE GOLFINVAL	1
	5.1 Inleiding	1
	5.2 Meting van drukrandvoorwaarden bij scheve golfaanval	1
6	DEELONDERZOEK 4: ONDERZOEK RESTSTERKTE	1
	6.1 Inleiding	1
	6.2 Deltagootonderzoek Reststerkte van steenzetting met zuilen na initiële schade ('doorgolfproef')	1
7	DEELONDERZOEK 5: TOEPASSING PROBABILISTISCHE REKENMETHODE	1
	7.1 Inleiding	1
	7.2 Kapstok probabilisme (stap 1: eerste opzet)	1
8	DEELONDERZOEK 6: STUDIE NAAR BEWEZEN STERKTE	1
	8.1 Inleiding	1
	8.2 Bewezen sterkte Noorse steen	1
9	DEELONDERZOEK 7.1: INVLOED VAN LANGE GOLFPERIODES OP STABILITEIT	1
	9.1 Inleiding	1
	9.2 Plan van Aanpak 'Invloed lange golfperiodes op stabiliteit'	1
	9.3 Golfdrukken op talud ten gevolge van lange golven	1
10	DEELONDERZOEK 7.2: STABILITEIT VAN BASALT	1
	10.1 Inleiding	1
	10.2 Deltagootonderzoek naar stabiliteit van basalt, fase 1 en 2	1
11	DEELONDERZOEK 7.3: INVLOED VAN KLEMKRACHT OP STABILITEIT	1
	11.1 Inleiding	1
	11.2 Invloed klemming, statistische analyse trekproeven	1

11.3	Laboratoriumonderzoek betreffende klemming van gezette steenbekledingen	1
12	DEELONDERZOEK 7.4: INVLOED VAN GOLFKLAPPEN OP STABILITEIT	1
12.1	Inleiding	1
12.2	Invloed van golfklappen op stabiliteit, literatuurstudie	1
12.3	Software-ontwikkeling en toepassing voor kwantificering van golfklappen	1
13	DEELONDERZOEK 7.5: INVLOED VAN DICHTSLIBBING	1
13.1	Inleiding	1
13.2	Infiltratieproeven op ingeslibde bekledingen	1
14	DEELONDERZOEK 8.1: ONTWIKKELING ZSTEEN	1
14.1	Inleiding	1
14.2	Testen van Zsteen versie 1.8	1
15	DEELONDERZOEK 8.2: GOLFDRIJVEN BEPALEN MET SKYLLA	1
15.1	Inleiding	1
15.2	Bepaling golfdrukken met Skylla – Vergelijking van berekende resultaten met metingen	1
16	DEELONDERZOEK 9: ONDERZOEK NAAR MET ASFALT INGEGOTEN GEZETTE STEENBEKLEDINGEN	1
16.1	Inleiding	1
16.2	Toetsing ingegoten bekledingen, bestaande kennis en kennisleemten	1
16.3	Waterlaagje bij ingegoten steenzettingen	1
17	DEELONDERZOEK 10: ONDERZOEK NAAR NOORSE STENEN	1
17.1	Inleiding	1
17.2	Plan van aanpak Noorse steen	1
17.3	Concept-toetsmethodiek Noorse steen	1
18	TOTAALOVERZICHT	1
18.1	Samenhang van de deelonderzoeken	1
18.1.1	Inleiding	1
18.1.2	Standaard steenzettingen, toplaaginstabiliteit plus reststerkte	1
18.1.3	Overige typen / mechanismen	1
18.2	Samenvattend overzicht van de onderzoeksresultaten	1
18.2.1	Standaard steenzettingen, toplaaginstabiliteit plus reststerkte	1
18.2.2	Overige typen / mechanismen	1
19	REFERENTIES	1

1 INLEIDING

1.1 Achtergrond van dit rapport

Dit rapport is een faserapport met daarin een tussentijdse technische evaluatie voor 2003 en 2004 van het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen (OKS). Het OKS wordt uitgevoerd door Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW), in opdracht van het PBZ van Rijkswaterstaat Zeeland. In het verleden werden de werkzaamheden vastgelegd in het protocol Landelijke Onderzoek Steenbekledingen (LOS) dat jaarlijks werd bijgesteld. Vanaf 2004 is het merendeel van de projecten in het protocol LOS opgenomen in het OKS.

Het OKS is gericht op het op korte termijn oplossen van kennisleemtes ten behoeve van toetsing van steenbekledingen op de dijken langs de Nederlandse kust en estuaria, met name voor het Oosterschelde- en Westerscheldebekken. Het tijdig oplossen van de kennisleemtes is van groot belang omdat hiermee naar verwachting vele dijksecties, welke nu bij de toetsing als twijfelachtig worden beoordeeld, alsnog kunnen worden goedgekeurd. Aldus kan er naar verwachting aanzienlijk worden bespaard op verdere dijkversterkingen, zoals aangegeven in een voorafgaand verkennend onderzoek naar deze besparingen (Royal Haskoning, 2002). Momenteel bestaat de verwachting dat van de bestaande 200 km Oosterscheludedijken circa 70 tot 80 procent van de bekleding vervangen moet worden; in totaliteit gaat het, samen met de versterkingswerken langs de Westerschelde, om kosten met een ordegrrootte van 1,25 miljard euro.

Het OKS is gestart in 2003, op basis van het Onderzoeksplan (Fugro, 2003) en zal worden afgerond eind 2006. Pas wanneer alle deelonderzoeken voltooid zijn en de wisselwerking tussen deelonderzoekresultaten uitgekristalliseerd is zullen, waar van toepassing, de toetsregels aangepast worden. Overigens kan in enkele gevallen, voorafgaande aan een formele aanpassing van de toetsregels, al wél rekening worden gehouden met nieuwe inzichten: dit is het geval wanneer de nieuwe inzichten betrekking hebben op onderwerpen die meer op zichzelf staan, zoals 'Afschuiving', 'Noorse steen' en 'Ingegoten bekledingen'.

Om de voortgang van het onderzoeksprogramma te bewaken en zonodig bij te kunnen sturen zijn tussentijdse evaluaties voorzien, inclusief een voorstel tot bijsturing. In dit rapport is deze activiteit korthedshalve met 'evaluatie' aangeduid. Deze evaluatie voor 2003 en 2004 is de eerste evaluatie van het OKS en bestaat uit drie fasen:

1. evaluatie van het proces;
2. evaluatie van de inhoud;
3. voorstel tot bijsturing van het OKS.

Het voorliggende rapport is dus het tweede faserapport, gericht op de inhoud. Het rapport omvat samenvattingen van de deelonderzoeken, aangevuld met een samenhangend overzicht van de onderzoeken en hun resultaten. De samenvattingen én het totaaloverzicht vormen, tezamen met de evaluatie van het proces uit fase 1 (Royal Haskoning, 2005), de basis voor het bijsturingsvoorstel in fase 3 van dit project.

1.2 Opdracht

Royal Haskoning heeft opdracht tot de evaluatie verkregen op basis van een offerte die werd uitgebracht na een offerteaanvraag van Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde met kenmerk: AK/044623 van 19 oktober 2004. Vervolgens is op 28 oktober 2004 offerte uitgebracht met kenmerk: 9P8623.A0/L0001/GJA/IL/Nijm. Opdracht voor de werkzaamheden werd verkregen bij ontvangst van de ondertekende overeenkomst nr. DWW-2622, verplichtingnummer 3101.1969 op 23 november 2004.

1.3 Leeswijzer

In dit rapport wordt ten eerste ingegaan op de aanpak en gebruikte gegevens (hoofdstuk 2). Vervolgens wordt in afzonderlijke hoofdstukken ingegaan op elk deelonderzoek zoals geïdentificeerd in het Onderzoeksplan. Per deelonderzoek wordt kort ingegaan op het Onderzoeksplan en op de activiteiten die in werkelijkheid zijn verricht, waarna elk afgerond onderzoek wordt samengevat in afzonderlijke subparagrafen. Het afsluitende Hoofdstuk 18 bevat het totaaloverzicht, waarin de samenhang van de deelonderzoeken én van hun resultaten tot dusver wordt beschreven.

Kortheidshalve worden in dit rapport de volgende afkortingen gebruikt:

- Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen: OKS;
- Landelijk Onderzoek Steenbekledingen: LOS;
- Kernteam LOS: Kernteam;
- Projectbegeleider van het LOS en OKS, mevrouw ir. S. Nurmohamed: Projectbegeleider;
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen – Klankbordgroep Steenbekledingen – : TAW-KBS;
- Projectbureau Zeeweringen: PBZ;
- Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde: DWW;
- WL | Delft Hydraulics: WL;
- Royal Haskoning: RH.

2 AANPAK EN GEBRUIKTE GEGEVENS

2.1 Aanpak van de inhoudelijke evaluatie

De hoofdmoot van de werkzaamheden van fase 2 van de evaluatie heeft bestaan uit het bestuderen en samenvatten van de definitieve (goedgekeurde) onderzoeksrapporten. Voor zover wenselijk, bijvoorbeeld ter verduidelijking van bepaalde details, is in aanvulling hierop bilateraal contact gezocht met de verschillende opdrachtbegeleiders.

De beschikbaar gestelde rapporten (voor een overzicht zie § 2.2) zijn eerst afzonderlijk bestudeerd en ook als zodanig hier in samenvattende zin gerapporteerd in de afzonderlijke hoofdstukken. Vervolgens is in het afsluitende hoofdstuk een totaaloverzicht gegeven, waar de samenhang van de deelonderzoeken én van hun resultaten tot dusver wordt beschreven.

Opgemerkt wordt dat het voor het bijsturingsvoorstel in fase 3 belangrijk is om de laatste inhoudelijke stand van zaken mee te nemen. Dit wordt in fase 3 gedaan door actuele rapporten die nog niet zijn goedgekeurd als achtergrondinformatie mee te nemen. In het voorliggende rapport wordt deze informatie niet herhaald en beperken we ons tot de samenvattingen van de goedgekeurde rapporten. Voor enkele onderwerpen is besloten om ook conceptrapporten die ons ter beschikking stonden samen te vatten, omdat anders ook de samenhang niet goed zou zijn aan te geven. Deze betreffen de onderwerpen: reststerkte, ingeslibde bekledingen en Noorse steen. Relevante notities en memo's en dergelijke worden wel als achtergrondinformatie gebruikt bij het beschrijven van de stand van zaken, maar worden niet samengevat.

Voor een overzicht van de beschouwde rapporten en notities, wordt verwezen naar de tabel 1.

2.2 Beschikbare gegevens

De beschikbare gegevens betreffen het Onderzoeksplan (Fugro, 2003) en de goedgekeurde onderzoeksrapporten. Voor een korte samenvatting van het Onderzoeksplan wordt verwezen naar de beschrijving in het fase 1 rapport (hoofdstuk 3). Een overzicht van de uitgebreid beschouwde onderzoeksrapporten en notities (en dergelijke) is hierna in tabel 1 gegeven.

Opgemerkt wordt dat in hoofdstuk 19 een referentielijst is gegeven van alle in dit rapport vermelde referenties, in de volgorde van het rapport.

Tabel 1 Overzicht van bestudeerde informatie

	Deelonderzoek	Rapport	Notitie e.d.
1	Verslag discussiebijeenkomst methodiek steenzettingen, DWW, 27 mei 2004)		+
2.1	Conclusies discussiebijeenkomst: Onderzoek afschuiving steenzetting, GeoDelft, 20 november 2003		+
2.1	Discussienota en Plan van aanpak: Afschuiving en freatische lijn, DWW, 10 oktober 2004		+

Deelonderzoek		Rapport	Notitie e.d.
3.2	Meten van drukrandvoorwaarden bij scheve golfaanval, meetrapport, WL delft hydraulics, december 2003 (H4330)	+	
4	Reststerkte van steenzetting met zuilen na initiële schade, WL delft hydraulics, H4327, conceptrapport oktober 2004	+	
5.1	Kapstok Probabilisme, stap 1: eerste opzet, Fugro, K00161, januari 2004	+	
6	Bewezen sterkte Noorse steen, Infram 04i033, conceptrapport, december 2004	+	
7.1.0	Plan van aanpak: Invloed lange golfperiodes op stabiliteit, Infram i706, november 2003	+	
7.1.1	Golfdrukken op talud ten gevolge van lange golven, WL delft hydraulics, H4329, december 2003	+	
7.2.2	Deltagootonderzoek naar stabiliteit van basalt, meetverslag, WL delft hydraulics, H4327, december 2003	+	
7.3.1	Invloed klemming: statistische analyse trekproeven, WL delft hydraulics, H4134, november 2003	+	
7.3.2	Laboratoriumonderzoek betreffende klemming van gezette steenbekledingen, Royal Haskoning, 9P0669, november 2004	+	
7.4.1	Invloed van golfklappen op de stabiliteit: literatuurstudie, WL delft hydraulics, H4134, november 2003	+	
7.4.2	Softwareontwikkeling en toepassing voor kwantificering van golfklappen, fase 2, WL delft hydraulics, H4328, december 2003	+	
7.5.1	Gedachtebepaling dichtgeslibde bekledingen, memo Werkgroep Kennis, mei 2003		+
7.5.1	Voorstudie Invloed van dichtslibbing, memo Werkgroep Kennis, december 2003		+
7.5.1	Waterdrukproeven op ingeslibde bekledingen, concept notitie, DWW, november 2004		+
8.1.1	Testen van Zsteen versie 1.8, WL delft hydraulics, H4331, december 2003	+	
8.1.1	Wat Zsteen (nog) niet kan, memo DWW, maart 2004		+
8.1.1	Onderzoeksplan m.b.t. nauwkeurigheid Zsteen bij golfklappen, WL delft hydraulics, H4134, april 2004	+	

Deelonderzoek		Rapport	Notitie e.d.
8.2.1	Bepaling golfdrukken met SKYLLA, vergelijking van berekende resultaten met metingen, WL delft hydraulics, H4424, maart 2005	+	
9	Terugmelding onderzoek ingegoten bekledingen, DWW, t.b.v. TAW-KBG, oktober 2003		+
9	Met asfalt ingegoten bekledingen, verslag deskundigen, DWW, november 2003		+
9	Waterlaagje bij ingegoten steenzettingen, DWW, juni 2004	+	
9	Toetsen ingegoten bekledingen, bestaande kennis en kennisleemten, versie 01 definitief, GeoDelft, COP-410220-0006, oktober 2003	+	
10.1	Plan van aanpak Noorse steen, Infram, i716, november 2003	+	
10.2	Concepttoetsmethodiek Noorse steen, Infram, 04i034, augustus 2004	+	

3 DEELONDERZOEK 1: HERBESCHOUWING HUIDIGE TOETSCRITERIA

3.1 Inleiding

Onderzoeksplan april 2003

Het doel van het OKS voor dit onderdeel is het vaststellen van een realistischer faalcriterium dan het huidige: de toplaag faalt als er één element uit verdwijnt, en de rekenregels voor reststerkte waarmee vervolgens mag worden gerekend zijn conservatief en / of worden in de praktijk niet gebruikt. Heroverweging van het toetscriterium is nodig om bij toetsing en ontwerp rekening te kunnen houden met sterkte-aspecten als reststerkte (deelonderzoek 4) en klemming (deelonderzoek 7.3); hieruit kunnen baten volgen. Een probabilistisch model kan een rol spelen in deze problematiek (deelonderzoek 5). Daarnaast wordt verbetering beoogd van het faalcriterium van de toplaag zelf; hier ligt een relatie met het criterium dat voor Zsteen moet worden ontwikkeld.

Het onderzoeksplan gaat in op het integrale criterium voor de gehele bekleding, maar verwijst voor de invulling van dat onderdeel naar de deelonderzoeken 4 en 7.3 voor de aspecten reststerkte en klemming, en naar deelonderzoek 5 voor de integratie. Voor het faalcriterium van de toplaag zelf noemt het Onderzoeksplan één aspect: het probabilistisch uitwerken van de invloed van het tijdsverloop van waterstand en golven, onder meer via analyse van historische stormen. Per saldo bevat het Onderzoeksplan voor dit deelonderzoek één concrete activiteit:

- kwantificeren van zone op het talud met grote hydraulische belasting via heranalyse van Scheldegootonderzoek (1.1).

Uitgevoerde activiteiten en huidige status Plan

In de praktijk zijn tot dusver de volgende activiteiten verricht:

- notitie Zone met grote golfbelasting (WL, april 2004);
- discussiebijeenkomst methodiek steenzettingen (DWW, 27 mei 2004);
- langeduurproeven Deltagoot (in uitvoering, nog geen analyse van de resultaten beschikbaar).

De notitie en de discussiebijeenkomst gingen in de praktijk niet over toetscriteria in het algemeen, maar specifiek over belasting (variërende waterstand en belastingduur). De resultaten hebben een verkennend karakter, met het oog op het onderzoek Langeduurproeven dat is gestart n.a.v. de discussiebijeenkomst. Het Onderzoeksprogramma noemde deze problematiek wel, maar bevatte geen concreet onderzoeksvoorstel op dat punt. Het onderzoek Langeduurproeven heeft nog geen definitieve status.

Het vervolg van dit deelonderzoek zal worden bepaald in het kader van de bijsturing. Specifiek voor het onderdeel Langeduurproeven hangt het vervolg sterk af van de resultaten van het lopende onderzoek.

4 DEELONDERZOEK 2: AFSCHUIVING

4.1 Inleiding

Onderzoeksplan april 2003

Het doel van het OKS voor dit onderdeel is het sluitend krijgen van de beoordelingsmethode voor afschuiving voor bekledingen op een kleilaag op een zandkern, en voor bekledingen op een kleilaag op een zandscheg. De voornaamste 'baten' zouden kunnen volgen uit het definitief vaststellen dat afschuiving voor het eerste type (zandkern) niet relevant is. Voor het tweede type (zandscheg) bestaat nog geen methode, dus het doel is de ontwikkeling van een globale / gedetailleerde methode. Het onderzoeksplan stelt drie stappen voor:

- discussie deskundigen (2.1);
- opstellen rekenmethode aan de hand van berekeningen met numerieke modellen (2.2);
- tweede discussieronde en definitief maken methode (2.3).

Uitgevoerde activiteiten en huidige status Plan

In de praktijk zijn tot dusver de volgende activiteiten verricht:

- discussiebijeenkomst november 2003 (DWW, verslag 389240.72, zie § 4.2)
- opstellen discussienota / plan van aanpak (DWW, 10 oktober 2004, zie § 4.2)
- notitie 'Toetschema grondmechanisch bezwijken bij steenzettingen op klei (concept, DWW, 15 januari 2005)

De laatste notitie is nog concept en daarom niet samengevat, maar is wel van belang als indicatie voor het beoogde vervolg van het onderzoek. De notitie geeft een voorstel voor een aangepast toetschema dat globaal de bestaande toetsstappen bevat, maar is uitgebreid met een aantal nieuwe elementen: controle van doorlatendheid van kern en berm / bovenbeloop, extra deelmechanisme opdrijven, extra maatgevende situatie bij laag buitenwater. De notitie bevat een voorstel voor vervolgonderzoek dat is aangepast ten opzichte de aanbevelingen zoals samengevat in § 4.2.

Het vervolg van dit deelonderzoek zal worden bepaald in het kader van de bijsturing.

4.2 Discussiebijeenkomst en discussienota

Omschrijving

Het werk aan dit onderwerp is gestart met een discussie over de benodigde aanpak. Op 20 november 2003 is de discussiebijeenkomst gehouden. Vervolgens is de discussienota opgesteld, die in oktober 2004 is afgerond en in december in TAW-KBS is besproken.

Doel

Volgens het Onderzoeksplan is het doel van stap 1 om consensus te verkrijgen over aanpak, schematisatie, rekenmodellen en parameters, om vervolgens in stap 2 berekeningen te maken. Als concreet doel van de discussienota wordt het verduidelijken van het faalmechanisme genoemd.

Uitvoeringswijze

Onderdeel 2.1 is uitgevoerd als een combinatie van discussie (2.1a) en bureaustudie (2.1b).

Resultaat

Het verslag van de discussiebijeenkomst beschrijft:

- een afbakening van constructietypen en hydraulische situaties;
- bestaande onduidelijkheden over faalmechanisme en parameters;
- ideeën over de gewenste onderzoeksrichting.

De discussienota behandelt:

- fysische beschrijving van de bezwijkmechanismen;
- theoretische fysische beschrijving van de geohydrologie onder en in de dijk;
- case study voor de belasting op afschuiving (stijghoogteverschil over de bekleding) voor een bekleding op een kleilaag op een zandkern (dus zonder zandscheg);
- voorstel voor vervolg.

Conclusies

De belangrijkste conclusies uit de discussiebijeenkomst zijn:

- de fysica van het mechanisme moet worden verduidelijkt,
- het onderzoek moet ten eerste leiden tot een methode voor geavanceerd toetsen van steenzettingen op een kleilaag op een zandondergrond (dus niet primair op zandschegsituaties);
- het onderzoek kan zich het beste richten op een concreet en reëel geval.

De belangrijkste conclusies van de discussienota, en dus de huidige status van het OKS-onderzoek naar Afschuiving, zijn:

- het lijkt onwaarschijnlijk dat het mechanisme Afschuiving werkelijk op kan treden;
- aan de sterktekant:
 - het mechanisme kan alleen optreden als onderaan de kritieke strook uitdrukken van kleilaag plus steenzetting plaatsvindt; dit lijkt onwaarschijnlijk gegeven de ongedraineerde schuifsterkte van klei;
 - een statische belasting zal wellicht leiden tot welvorming, maar (daardoor juist) niet tot het uitdrukken van de bekleding;
- aan de belastingkant:
 - in de doorgerekende case study, van een dijk zonder zandscheg, blijft de grondwaterstand enkele meters onder de buitenwaterstand, terwijl de bestaande rekenregel gebaseerd is op de aanname dat grondwaterstand en buitenwaterstand gelijk zijn. Bij de berekende lage maximale grondwaterstand is een opwaarts stijghoogteverschil over de bekleding alleen mogelijk bij lage buitenwaterstanden, waarbij lage maatgevende golven horen.
 - aan de belastingkant is de situatie met een zandscheg niet expliciet onderzocht, maar het staat vast dat de belasting (het stijghoogteverschil) daarvoor veel groter kan zijn.

Aanbevelingen

De discussienota beveelt aan om het onderzoek voort te zetten met enerzijds modelproeven en anderzijds een praktijkproef op een bestaande dijk, beide gericht op de situatie met zandscheg. Het doel is om na te gaan of het mechanisme voor de situatie met zandscheg al dan niet kan worden uitgesloten.

5 DEELONDERZOEK 3: SCHEVE GOLFINVAL

5.1 Inleiding

Onderzoeksplan april 2003

Met dit deelonderzoek wordt binnen het OKS beoogd om de invloed van scheve golfaanval te kwantificeren. Daarbij wordt onderkend dat er mogelijk in plaats van 'baten' er ook sprake zou kunnen zijn van 'lasten'. Uit eerder uitgevoerde berekeningen (Bezuijen en Klein Breteler, 1992 en Bezuijen, 2000), met Steen3D bleek namelijk dat bij scheef invallende golven hogere belastingen op de taludbekleding optreden dan bij loodrecht invallende golven. Dit kon echter niet op grond van globale theoretische beschouwingen worden verklaard (Van der Meer, 2003 en Van Hijum, 2004). In het Onderzoeksplan was vooralsnog alleen een discussie met deskundigen voorzien (3.1), omdat de aanpak nog niet verder was uitgewerkt.

Uitgevoerde activiteiten en huidige status Plan

De volgende activiteiten zijn thans afgerond:

- discussiebijeenkomst augustus 2003 (DWW), zoals in het Onderzoeksplan aangegeven;
- meting van drukrandvoorwaarden bij scheve golfaanval (WL, 2003, zie § 5.2), toegevoegd aan het Onderzoeksplan.

Verder is een rapport opgeleverd (WL en GeoDelft, november 2004), waarin de drukmetingen uit het modelonderzoek worden geanalyseerd en in Zsteen worden ingebracht, ter berekening van de verschildrukken. In dit kader is Zsteen tevens aangepast en is ter controle een vergelijking met het vroegere programma Steen3D gemaakt. Laatstgenoemd rapport heeft nog geen formele geaccepteerde status en is derhalve hier niet samengevat (wel wordt in § 5.2 kort ingegaan op de uitkomsten van deze analyse).

De discussiebijeenkomst heeft zich op de vraagstelling en de stand van zaken van kennis van scheve golfaanval geconcentreerd. Daarbij is geconstateerd dat hogere maxima van golfdruk en verschildruk worden waargenomen (eerdere metingen en berekeningen) bij scheve golfaanval. Bij de interpretatie van deze verschijnselen is er geen eensluidend oordeel vanwege de invloed van tijds- en ruimte-aspecten. Met name de korte duur van de drukpieken is hier een discussiepunt. Besloten is dat nader onderzoek wenselijk is (WL, 2003), zie § 5.2.

5.2 Meting van drukrandvoorwaarden bij scheve golfaanval

Omschrijving

Het modelonderzoek is in het Vinjé bassin van WL uitgevoerd in het najaar van 2003. Dit onderzoek is toegevoegd aan het Onderzoeksplan (planning Versie 3), op basis van de discussiebijeenkomst met deskundigen in augustus 2003. Voor een groot aantal variabelen is hierbij het drukverloop op een dijk gemeten in een 3-dimensionale situatie.

Doel

Doel van de proeven was om een zeer goede set aan drukmetingen te verkrijgen, waarmee na analyse een kwantitatieve uitspraak kan worden gedaan over het effect van scheve golfaanval ten opzichte van loodrechte golfaanval.

Uitvoeringswijze

De lengteschaal factor van het model was 10. In het bassin is een dijk met een talud van 1:3 ingebouwd, met daarin een meetsectie voor de drukopnemers. In het bassin is de golfrichting gevarieerd en zijn twee spectra toegepast. Bij het onderzoek zijn 38 modelproeven met minimaal 1000 golven uitgevoerd met een Pierson Moskowitz spectrum en 4 proeven met een dubbeltoppig (TMA) spectrum. Gevarieerd werden verder de golfsteilheden, kort- en langkammige golven, en de golfrichting ten opzichte van het talud.

Bij de inrichting van het onderzoek is met name aandacht gegeven aan de volgende variabelen en condities:

- onregelmatige golven;
- ook golven met lagere steilheid dan tot dusverre;
- zeer hoge bemonsteringsfrequentie;
- reflectiecompensatie bij de golfopwekking;
- een hoge dichtheid aan drukopnemers.

Bij de opwekking van scheef invallende golven is soms ook gebruik gemaakt van reflecterende wanden (die hiertoe in het model waren aangelegd).

Resultaat

In het modelonderzoek is veel aandacht gegeven aan een juiste instrumentatie en meetwijze en aan de golfschotsturing. Het realiseren van de gewenste golfcondities is uitvoerig getest en geconcludeerd kan worden dat deze als representatief zijn te beschouwen voor de beoogde condities op het meetgedeelte van het talud.

De drukmetingen zijn correct uitgevoerd. Tijdens sommige proeven werd geconstateerd dat er zeer kortstondig (enkele milliseconden) dusdanige drukpieken werden gemeten, dat deze buiten het bereik van de opnemers viel. Na filtering bleek dit echter niet van belang te zijn. Een verdere analyse van de metingen viel buiten het kader van dit modelonderzoek (zie hierna).

Conclusies

Geconcludeerd kan worden dat de beoogde metingen zijn verkregen, gebaseerd op de 'state-of-the-art' middelen, kennis en kunde van WL.

Vervolg

In 2004 zijn de metingen verder geanalyseerd in het eerder genoemde onderzoek van WL en GeoDelft (november 2004), dat thans nog in behandeling is. Opmerkelijk is dat, op basis van de drukmetingen en Zsteen berekeningen, hierin juist de conclusie naar voren komt dat scheve golfaanval gunstiger is dan loodrechte golfaanval. Deze reductie wordt zelfs voorlopig aanbevolen voor de praktijk.

Aan de analysemethodiek liggen echter nogal wat aannamen en onzekerheden ten grondslag. Een complicerende factor is bijvoorbeeld dat in het modelonderzoek bij achtereenvolgende golven een zeer sterk variërende voortplantingssnelheid van het golffront langs het talud werd geconstateerd. Ook zijn bij de selectie van maatgevende golven niet steeds de golven met de zwaarste belasting geselecteerd.

6 DEELONDERZOEK 4: ONDERZOEK RESTSTERKTE

6.1 Inleiding

Onderzoeksplan april 2003

Doel van dit deelonderzoek is het kunnen aanscherpen van de conservatieve toetsregels. Het Onderzoeksplan 2003 voorzag daartoe in een Plan van aanpak / bureaustudie (4.1), een kleinschalig modelonderzoek (4.2), Deltagootproeven (4.3) en het opstellen van een praktisch toepasbare methodiek (4.4).

Uitgevoerde activiteiten en huidige status Plan

De beoogde werkzaamheden zijn sterk vertraagd en besloten is om 4.1 uit te voeren na 5.1 (stap 2) en 7.2.2a (de zogenaamde 'doorgolfproef' betonzuilen, welke feitelijk een reststerkteproef is). Het leggen van een relatie met de Kapstok (5.1) is nog niet gelukt, en zal vooralsnog naar verwachting ook niet lukken, zodat het relatieve belang van het in rekening kunnen brengen van reststerkte niet kan worden gekwantificeerd.

Inmiddels is in deelonderzoek 7.2.2 de doorgolfproef in de Deltagoot wél uitgevoerd, bedoeld als reststerkteproef van een steenzetting. Deze proef hoort feitelijk meer thuis bij Deelonderzoek 4. De rapportage van de doorgolfproef heeft nog geen definitieve status, maar is hier vanwege de relevantie (mede met het oog op de samenhang) toch hierna samengevat.

Het reststerkte-onderzoek heeft ook relatie met de langeduurproeven in de Deltagoot, die bij Deelonderzoek 1 zijn ondergebracht, maar die feitelijk op een invloedsaspect zijn gericht (tijd).

Tot dusverre is het onderzoek sterk geconcentreerd geweest op reststerkte van de top- en granulaire laag en minder op de reststerkte van klei.

Verder hangt reststerkte sterk samen met klemming.

Het vervolg van dit deelonderzoek zal worden bepaald in het kader van de bijsturing.

6.2 Deltagootonderzoek Reststerkte van steenzetting met zuilen na initiële schade ('doorgolfproef')

Omschrijving

De 'doorgolfproef' in de Deltagoot betreft een stabiliteitsproef ter bepaling van de reststerkte van een Basalton bekleding. Het gaat hierbij om het vaststellen van de tijd die nodig is tot het moment dat de bekleding zijn afdekkende functie niet meer kan vervullen en over een relatief groot oppervlak de ondergrond bloot komt.

Doel

Doel van de proeven is het vaststellen van de tijdsduur dat de zogenaamde reststerkte van niveau 1 wordt overschreden (dit niveau betreft één of enkele elementen die her en der zijn verdwenen). Daarbij moet worden gedacht aan een inleidende ondermijning in het filter van enige meters diameter, waarna de bekleding zou kunnen instorten. Na dit laatste kan alleen nog de reststerkte van de onderlagen worden gemobiliseerd, hetgeen voor beheerders doorgaans een niet acceptabele situatie zal zijn. Daarentegen kan niveau 1 nog wel acceptabel zijn, zoals ook blijkt uit de praktijkervaring. De vraag is daarbij alleen wel, hoe lang die situatie zich in stand kan houden voordat de bekleding over een groter gebied faalt.

Uitvoeringswijze

Bij de experimenten is een nog in de goot aanwezige Basaltonglooiing beproefd, waarbij vooraf initiële schade was aangebracht. Aanvankelijk waren 2 elementen uit de glooiing weggenomen, later 3, op ver uit elkaar liggende plaatsen. Bij een laatste proef is er op elke plek 1 extra element weggenomen, zodat er initiële gaten in de bekleding zaten van 2 Basaltonelementen. Er is in afzonderlijke stappen in totaal 6 uur gegolfd, met een golfhoogte H_s van ruim 1,5 m, een T_p van circa 6,6 s en een ξ_{0p} van 1,9 volgens een Pierson Moscovitz spectrum.

Resultaat

Tijdens de eerste 1,5 uur met twee weggenomen Basaltonelementen werd geen uitspoeling waargenomen. Ook nadat een derde Basaltonzuil was weggenomen trad na 1,5 uur geen zichtbare schade op. Pas bij de laatste proef, waarbij gedurende 2 uur was gegolfd op de glooiing met de extra weggehaalde zuilen (3 paren van 2 zuilen waren daarbij initieel weggehaald), bleek kleine schade aan het inwasmateriaal zichtbaar en was er op 1 plaats sprake van enige onderspoeling tot 2,5 maal de diameter van de zuilen. Overigens was hierbij geen verzakking te constateren, omdat de zuilen door boogwerking nog voldoende ingeklemd zaten.

Vergelijking van een voorspellingsmodel voor ondermijning (WL: De Vroeg, 1992) en een vroeger Deltagootonderzoek met (niet ingewassen) Haringmanblokken uit 1984 (WL, 1984) blijkt een vergelijkbare grootte orde van ondermijning te zien te geven (WL: Klein Breteler, 1991). De uitkomsten van de voorliggende 'doorgolfproef' blijken een aanzienlijk grotere reststerkte op te leveren. Een belangrijke oorzaak hiervan kan zijn gelegen in de aanvulling door over het talud bewegend inwasmateriaal en de goede klemming van de Basaltonelementen.

Conclusies

Het moment van overschrijding van de reststerkte van niveau 1 kon bij de Basaltonglooiing niet worden geconstateerd doordat de glooiing aanzienlijk stabiel bleek dan verwacht. Daarbij lijkt het voorspellingsmodel voor ondermijning nogal conservatief te zijn door het niet meenemen van het 'self-healing effect' van inwasmateriaal.

7 DEELONDERZOEK 5: TOEPASSING PROBABILISTISCHE REKENMETHODE

7.1 Inleiding

Onderzoeksplan april 2003

Het doel van het OKS voor dit onderdeel is het opstellen van een probabilistische rekenmethode voor steenbekledingen om de gevoeligheden en onzekerheden in de beoordeling explicieter in beeld te kunnen brengen, en daarmee ook nut en noodzaak van onderzoek.

Het Onderzoeksplan gaat uit van de volgende zes stappen:

- inventarisatie eerder onderzoek (5.1);
- cases mogelijke onzekerheden (5.2);
- modelleren van onzekerheden (5.3);
- afleiden onderbouwde werkwijze (5.4);
- effecten onzekerheidsreducties (5.5);
- relatie bewezen sterkte aanpak (5.6).

Uitgevoerde activiteiten en huidige status Plan

Een gereedschap voor daadwerkelijke probabilistische beoordeling van bekledingen wordt thans hooguit op lange termijn verwacht en is daarmee binnen OKS een secundair doel. Het deelonderzoek beoogt thans dus geen expliciete 'baten' in termen van scherper toetsen en daarmee het voorkomen van verbeteringswerken; de beoogde 'baten' zijn indirect, door het verkrijgen van meer inzicht in de samenhang van faalmechanismen en aanscherping en bijsturing van de andere onderzoeken in OKS.

In de praktijk zijn de volgende activiteiten verricht:

- kapstok probabilisme – stap 1: eerste opzet (Fugro, januari 2004, zie § 7.2);
- kapstok probabilisme - stap 2: doorontwikkeling (Fugro, conceptversie afgerond in februari 2005).

Beide onderzoeken worden in de stukken aangeduid als onderdeel van deelonderzoek 5.1, dat inmiddels hernoemd is van 'Inventarisatie eerder onderzoek' tot 'Kapstok probabilisme'. Het eerste rapport beschrijft daadwerkelijk een eerste opzet van zo'n kapstok (zie § 7.2); het tweede rapport, afgaand op het beschikbare concept, is inderdaad een doorontwikkeling op basis van discussie met deskundigen, maar beschrijft ook een case en maakt een start met het modelleren van onzekerheden. Het tweede rapport is nog niet definitief en is daarom hier niet samengevat.

Het vervolg van dit deelonderzoek zal worden bepaald in het kader van de bijsturing.

7.2 Kapstok probabilisme (stap 1: eerste opzet)

Omschrijving

Het onderzoek betreft de eerste stap in het opstellen van een probabilistische rekenmethode voor steenbekledingen. Het bestaat uit een inventarisatie van eerdere studies op dit gebied, decompositie van het faalproces en opzetten van de hoofdstructuur van het model, en het verwerken daarvan in een rekensheet.

Doel

Zoals beschreven in § 7.1 is het doel van dit Deelonderzoek als geheel het verbeteren van inzicht in de gevoeligheden, en daarnaast wellicht op de lange termijn het ontwikkelen van een praktisch bruikbaar probabilistisch rekengereedschap. Het doel van deze eerste stap is het vastleggen van eerder gegenereerde kennis en het opstellen van een eerste opzet, om in een volgende stap te worden voorgelegd aan deskundigen en te worden getest met cases.

Uitvoeringswijze

Het onderzoek is uitgevoerd als een bureaustudie: literatuurstudie, analyse van faalproces, implementatie van rekensheet.

Resultaat

Het resultaat bestaat uit een rapport met een beschrijving van het uitgevoerde onderzoek, plus een eerste versie van de rekensheet. De gerapporteerde resultaten zijn een inventarisatie van beschikbare informatie, een tekstuele en grafische beschrijving van de eerste versie van de probabilistische kapstok, een overzicht van de relaties met de andere deelonderzoeken, en een set aanbevelingen voor het vervolg.

De geproduceerde probabilistische kapstok is een verzameling van alle ketens van gebeurtenissen die kunnen leiden tot de ongewenste topgebeurtenis 'falen bekleding'. De ketens bevatten stappen ten aanzien van hydraulische belasting, initiële schade toplaag, sterkte van de verschillende constructielagen, en tenslotte, als eindresultaat, de topgebeurtenis 'falen bekleding' of 'geen falen bekleding'. Bij elk van deze stappen is een eerste aanzet voor een probabilistisch rekenmodel opgenomen; het doel van deze modellen in dit stadium is slechts om de aanpak uit te proberen; de modellen zijn nog zeer eenvoudig en zijn nog niet gevalideerd. De resultaten van de berekeningen met deze eerste aanzet worden gerapporteerd in een bijlage.

Benadrukt wordt dat het onderzoeksproduct bedoeld is voor afstemming met andere betrokkenen en deskundigen, en dat het deze afstemming dus nog niet bevat.

Conclusies

Het rapport bevat geen expliciete conclusies.

Aanbevelingen

Het rapport beveelt ten eerste aan om de gemaakte opzet te beoordelen op juistheid en bruikbaarheid, in overleg met de onderzoekers. Daarbij moet ook worden gekeken of doorontwikkeling zinnig is.

Aanbevolen wordt om, bij een positief resultaat van bovengenoemde beoordeling, een vervolg in te zetten waarin in een cyclisch proces steeds de volgende elementen zullen terugkeren:

- overleg/interactie met deskundigen;
- aanpassing en uitbreiding van de methode;
- toepassing op referentiecasses.

8 DEELONDERZOEK 6: STUDIE NAAR BEWEZEN STERKTE

8.1 Inleiding

Onderzoeksplan april 2003

In het Onderzoeksplan (Fugro, 2003) zijn voor wat betreft bewezen sterkte de volgende onderzoeksstappen gedefinieerd:

- uitwerken gedachtenlijn/oplossingsrichting;
- afbakening/basisopzet methode bewezen sterkte;
- uitwerken casestudies en rapportage.

Uitgevoerde activiteiten en huidige status Plan

De beoogde voortgang van deze activiteiten is sterk vertraagd. Thans is sprake van de volgende gerealiseerde /lopende activiteiten:

- 'bewezen sterkte Noorse steen', conceptrapport (Infram, december 2004): dit onderdeel is ingevoegd ten opzichte van het Onderzoeksplan;
- spreadsheet 'Bewezen sterkte voor basalt' (hindcast en Steentoets-berekeningen door DWW, waarmee geconstateerde schade wordt gerelateerd aan de belastingen): dit onderdeel is ingevoegd en loopt.

De laatste planning Versie 5, geeft aan de stappen uit het Onderzoeksplan achtereenvolgens uit te voeren ná afronding van bovengenoemde studies. Hierover zal op korte termijn een beslissing moeten worden genomen.

Alvorens de studie samen te vatten wordt hierna kort ingegaan op het begrip Bewezen sterkte. Bewezen sterkte is een methode, waarmee op basis van 'overleefde' belastingen het bewijs geleverd wordt voor afdoende sterkte van de bekleding. Bij een vergelijking tussen opgetreden en ontwerpwaterstanden is deze methode slechts incidenteel representatief (bijvoorbeeld voormalige Zuiderzee en thans IJsselmeer). Bewezen sterkte zal zich normaliter dus niet richten op het rechtstreeks goedkeuren van een specifiek dijkvak door het nagaan van de overleefde belastingen op dat dijkvak; het kan hooguit een rol spelen bij het goedkeuren van een dijkvak waar de ontwerpbelastingen lager zijn dan die bij het dijkvak dat specifiek is onderzocht op Bewezen sterkte. Ook kan het niveau van de bekledingen een rol spelen (bijvoorbeeld onder gemiddeld hoogwater, waar de belasting minder groot is).

Vaak moet bij bewezen sterkte van bekledingen de belasting 'gehindcast' worden door middel van berekeningen.

Ten slotte kan onderscheid worden gemaakt in extreme overleefde situaties zónder schade, en die mét schade.

Het conceptrapport omtrent Bewezen sterkte voor Noorse steen wordt hierna samengevat.

8.2 Bewezen sterkte Noorse steen

Omschrijving

Bij de studie naar Bewezen sterkte Noorse steen wordt ingegaan op de ervaringen met dijkvlooiingen van Noorse steen: vaststellen van omstandigheden waarbij schade en geen schade optrad, reconstrueren van de belastingen, het opstellen van stabiliteitsgrafieken, analyseren van de betekenis van voorgaande voor specifieke locaties, en het trekken van conclusies en aanbevelingen.

Doel

Het doel is een bijdrage te leveren aan het scherper kunnen stellen van toetsregels voor Noorse steen, door het in aanmerking nemen van de ervaringen met dergelijke bekledingen uit het verleden.

Uitvoeringswijze

Het onderzoek betreft een literatuuronderzoek naar opgetreden schade aan de hand van de DWW database met schadegevallen en andere literatuur. Vervolgens zijn hindcast berekeningen uitgevoerd naar de belastingen. Dit is gedaan door op basis van windgegevens en waterstanden golfberekeningen uit te voeren met SWAN, dan wel uit de onderliggende database van HYDRA-M te herleiden. De hieruit verkregen stabiliteitsgegevens zijn vergeleken met de oude en nieuwe voorgestelde toetslijn (Infram, 2004) en worden verder geïnterpreteerd. Tenslotte wordt nog ingezoomd op de specifieke kenmerken van de verschillende locaties, rekening houdend met tussentijdse veranderingen (bijvoorbeeld de ligging van het voorland).

Resultaat

Vooraf moet worden opgemerkt dat er in het verleden nauwelijks schade is geconstateerd op glooiingen met Noorse stenen als gevolg van golfbelasting. Verder is het niet altijd duidelijk waarom op een aantal plaatsen hoger op het talud gelegen Noorse steen zijn ingegoten (bij de Groningse kust wordt aangegeven dat dit vanwege ijsbelasting is).

De studie naar bewezen sterkte heeft zich toegespitst op een viertal locaties: bij Zürich, dijkvak Enkhuizen-Hoorn, de Waddenzeekering met Noorse steen laag op het talud en met Noorse steen hoog op het talud. De resultaten blijven beperkt doordat de geringe geconstateerde schade een ondergrens aan de geconstateerde stabiliteit geeft.

Conclusies

Het voorgaande in aanmerking nemende, wordt geconcludeerd dat de opgetreden stormen niet zwaar genoeg waren om de nieuwe toetslijn van Infram te kunnen valideren. Ook is het mogelijk dat de met SWAN voorspelde golfhoogte voor de Waddenzee dijken te laag is ingeschat, omdat de bodemligging ter plaatse vroeger lager is geweest. Globaal lijkt de stabiliteit eerder rond die van een dubbele laag breuksteen te liggen dan rond de nieuwe voorgestelde lijn, maar dit kan met voornoemde beperkingen hebben te maken.

Vervolg

Voor de Waddenzeekering met Noorse steen hoog op het talud, wordt in het rapport voorgesteld een nadere studie naar de golfcondities uit te voeren, met het destijds aanwezige voorland.

9 DEELONDERZOEK 7.1: INVLOED VAN LANGE GOLFPERIODES OP STABILITEIT

9.1 Inleiding

Onderzoeksplan april 2003

Het deelonderzoek 'Invloed van lange golfperiodes op stabiliteit' dient binnen het OKS om de invloed langere golfperiodes vast te stellen. Dit is van belang omdat uit voortschrijdend inzicht blijkt dat golven onder maatgevende condities hoogstwaarschijnlijk langer, en daarmee minder steil zullen zijn, dan tot dusverre is aangenomen. Hierbij spelen drie zaken:

- de belasting (onzekerheid t.a.v. de doorwerking op het talud van de dijken);
- de sterkte (die is niet onderzocht voor de kleine steilheden bij langere golven);
- Zsteen (voorspelt de stabiliteit op basis van minder lange golven).

In het rapport 'Kennisleemtes versus uitvoering' (Royal Haskoning, 2002), is aangegeven dat het aanscherpen van rekenregels voor lange golfperiodes, naar verwachting 'baten' zal opleveren. Deze zijn overigens relatief beperkt: het gaat hier om het kleinste areaal (orde 35.000 m²) en een factor 2 op de baten.

In het Onderzoeksplan uit 2003 was een kleinschalig modelonderzoek voorzien (7.1) en een toetsing aan de hand van Deltagootonderzoek (7.2). Daaraan is later een Plan van Aanpak (7.1.0) toegevoegd.

Uitgevoerde activiteiten en huidige status Plan

Het Plan van Aanpak (7.1.0) is afgerond in november 2003 (Infram) en het modelonderzoek (zonder nadere analyse) is in december 2003 door WL gerapporteerd (7.1.1). Deze stukken hebben een formele status en worden hierna behandeld.

Medio 2004 is een conceptrapport m.b.t. de analyse van bovengenoemd modelonderzoek opgeleverd (WL: Klein Breteler en Coeveld, 2004). Daarin is een (gunstige) afwijking van de '6ksi-stabiliteitslijn' geconstateerd. Daarop is besloten deze lijn te verifiëren in de Deltagoot. Dit onderzoek is inmiddels afgerond; een nieuw conceptrapport is gereed (WL: Wenneker et al., 2004) en zal van commentaar worden voorzien. De eindrapportages van zowel de analyse als de Deltagootproeven zullen worden gecombineerd met het onderzoek naar de kwantificering van de golfklap op het talud (7.4.2).

9.2 Plan van Aanpak 'Invloed lange golfperiodes op stabiliteit'

Omschrijving

Het Plan van Aanpak (Infram, november 2003) geeft een overzicht van aspecten die van belang zijn bij de lange golfperiodes. Het gaat hierbij vooral om het vullen van een drukkendatabase voor Zsteen d.m.v. kleinschalig modelonderzoek en het verifiëren van Zsteen met een grote waarde van de brekerparameter ξ_{op} ($> 2,5$) in de Deltagoot.

Doel

Met het Plan van Aanpak is beoogd een stappenplan op te stellen voor de uitvoering van bovengenoemd onderzoek, met als onderwerpen:

- wat precies moet er worden gedaan;
- in welke volgorde de verschillende acties moeten worden uitgevoerd;
- in welke mate de studie bijdraagt aan het scherper stellen van de regels.

Uitvoeringswijze

Het Plan van Aanpak gaat in op de volgende onderwerpen:

- ontwikkeling van het belastingspoor in relatie tot een eerder uitgevoerde voorstudie ('Lange T' studie: Infram, 2001);
- ontwikkeling van het sterktespoor, waarbij vooral de onbekendheid van de invloed van hoge waarden van ξ_{op} op de stabiliteit meespeelt, alsmede de onbekendheid van onregelmatige golfaanval;
- ontwikkeling Zsteen, waarin op de mogelijkheden, beperkingen en betrouwbaarheid van Zsteen wordt ingegaan;
- stappenplan, waarin achtereenvolgende stappen worden uitgewerkt:
 - stap 1: probleemaafbakening, gericht op de van belang zijnde golfkarakteristieken per probleemgebied;
 - stap 2: inventarisatie kennis m.b.t. de sterkte en benoemen relevante kennisleemten;
 - stap 3: Ontwikkeling Zsteen.

Resultaat

Bovenstaande stappen worden systematisch en overzichtelijk behandeld, met vooral een technische invalshoek. Hoewel ook erg moeilijk aan te geven, wordt de vraag 'in welke mate de studie bijdraagt aan het scherper stellen van de regels' niet echt beantwoord.

Aangegeven wordt dat het toetsen van Zsteen centraal staat. Dit dient in eerste instantie te gebeuren aan de hand van oude Deltagootproeven (onregelmatige golven) en in tweede instantie actie (als Zsteen onvoldoende vertrouwenwekkend blijkt) door het uitvoeren van Deltagootproeven om de stabiliteitsrelatie te bepalen.

9.3 Golfdrukken op talud ten gevolge van lange golven

Omschrijving

Ongeveer gelijktijd met het opstellen van het Plan van Aanpak, is door WL modelonderzoek uitgevoerd ter bepaling van de drukrandvoorwaarden bij lange golven voor Zsteen. Dit onderzoek is uitgevoerd in de Scheldegoot van WL en vertoont qua opzet veel gelijkenis met het onderzoek bij scheve golfaanval dat in die periode in het Vinjé bassin werd uitgevoerd, zie § 5.2. Er zijn 2 series van 15 modelproeven uitgevoerd (minimaal 1000 golven) met het Pierson Moskowitz spectrum op taluds van 1:3 en 1:4. Een drietal proeven werden uitgevoerd op een talud van 1:4 met een dubbeltoppig spectrum. Het rapport beschrijft deze proeven en het gereedmaken van de gemeten drukken op het talud t.b.v. Zsteen.

Doel

Het doel was de bepaling van de drukrandvoorwaarden bij lange golven t.b.v. van Zsteen, met de nadruk op grote waarden van ξ_{op} en bij twee verschillende golfspectra.

Uitvoeringswijze

De uitvoeringswijze is in grote lijnen vergelijkbaar met de metingen in § , met veel aandacht voor golfopwekking, instrumentarium, bemonsteringsfrequenties en het uitvoeren van tests.

Resultaat

De proeven hebben geleid tot een compleet en (voor zover is na te gaan) representatief bestand van alle drukopnemers (Databestand 1). Omdat dit voor Zsteen een te omvangrijke databestand is, is tevens een kleiner bestand opgeleverd dat 'interessante golven' selecteert. Deze selectiemethode is door WL ontwikkeld en geeft een hanteerbare database voor Zsteen (Databestand 3).

Conclusies

Conclusies zijn niet te trekken op basis van een drukkenbestand. Wel was het Plan van Aanpak en het modelonderzoek de basis voor de verdere analyse en de toetsingsproeven in de Deltagoot. Conclusies worden getrokken in de latere concept-rapportages van de analyse van het drukken onderzoek (WL, 2004), in samenhang met de toetsing in de Deltagoot (WL, 2004).

10 DEELONDERZOEK 7.2: STABILITEIT VAN BASALT

10.1 Inleiding

Onderzoeksplan april 2003

Basaltzetwerk is een relatief open bekleding. Vroegere proeven en praktijksituaties laten een relatief lage stabiliteit zien van dit type bekleding. Een verklaring daarvoor werd gezocht in het grote effect van golfklappen bij een matige inklemming. In het Onderzoeksplan van 2003 is daarom geconstateerd dat dit nader moet worden onderzocht, omdat basaltbekledingen in Nederland relatief veel voorkomen en er thans geen goede toetsmethode is voor basaltbekledingen (de huidige lijkt een overschatting van de stabiliteit te geven). Met name de lagere stabiliteit t.o.v. bijvoorbeeld Hydroblocks en Basalton dient te worden opgehelderd.

Het Onderzoeksplan voorzag in de volgende stappen:

- bureaustudie: uitgebreide heranalyse van eerder uitgevoerde proeven;
- deltagootonderzoek: schadeproeven;
- vaststellen nieuwe toetsmethode.

Uitgevoerde activiteiten en huidige status Plan

De bureaustudie is komen te vervallen; deze is inbegrepen in de analyse van de binnen het OKS uitgevoerde proeven. Verder is er een extra onderzoek toegevoegd: de zogenaamde 'Doorgolfproef' met betonzuilen; deze proef heeft echter primair relatie met Reststerkte en is daar samengevat (zie § 6.2). Verder ligt er een relatie met Bewezen sterkte voor basalt (zie § 8.1).

Centraal staat het binnen het OKS uitgevoerde Deltagootonderzoek naar een basaltglooing in 2003 (WL: Eysink et al., 2003). Dit rapport heeft een formele status en is hierna samengevat. De analyse van deze proeven heeft tot een recent concept-rapport geleid (WL: Rudolph et al., 2005), dat thans door de TAW zal worden (of zijn) behandeld. Deze analyse wordt als achtergrondinformatie gebruikt voor het verdere verloop.

10.2 Deltagootonderzoek naar stabiliteit van basalt, fase 1 en 2

Omschrijving

De schadeproeven in de Deltagoot zijn uitgevoerd op een basaltglooing (fase 1) met een helling van 1:3,5, belast door brekende golven. Hierbij zijn een drietal golfsteelheden toegepast. Dit is tevens gedaan voor een Basaltonglooing (fase 2) voor een tweetal steelheden.

Daarnaast zijn metingen uitgevoerd naar de golfdruk op het talud en in het filter.

Doel

Het doel was het verschaffen van representatieve gegevens omtrent de stabiliteit van een basaltglooing ten opzichte van een andersoortige zuilachtige bekledingen. De analyse van deze proeven is later uitgevoerd (WL: Rudolph et al., 2005).

Uitvoeringswijze

De bij de basaltglooing toegepaste golfsteelheden waren 0,013, 0,025 en 0,035. De werkwijze hierbij was dat de golfhoogte stapsgewijs is verhoogd totdat schade ontstond (of tot de maximale haalbare golfhoogte). In totaal werden een 18-tal proeven gedaan voor de 3 series van steelheden.

Schadeproeven zijn eveneens verricht voor de Basaltonglooiing voor steilheden van 0,013 en 0,023. Hiervoor werden een 7-tal proeven uitgevoerd voor de 2 series van steilheden.

Uitgezonderd enkele proeven, heeft de proefduur circa 1000 golven omvat.

Bij de proeven was de toplaagdikte gemiddeld 0,20 m. De golfdruk op het talud werd op 26 locaties gemeten en in het filter op 8 locaties.

Resultaat

De proeven hebben zowel voor wat betreft de stabiliteit van de basaltbekleding als van de Basaltonbekleding tot bruikbare gegevens geleid, tezamen met de drukmetingen (de drukmeters hebben vrijwel 100 % gefunctioneerd). Hierbij moet worden opgemerkt dat door het bereiken van de maximale golfcondities er geen schade aan de Basaltonbekleding kon worden geconstateerd.

Conclusies

De stabiliteit van de basaltbekleding bleek minder slecht dan gevreesd: er was nog geen schade bij een golfhoogte H_s van 1,2 m. Een eerste indruk is dat de volgens ANAMOS berekende stabiliteit vrijwel (= net niet) wordt bereikt ($F = 5,5$ tot 6 t.o.v. 6 uit ANAMOS). Dit geldt overigens voor een golfsteilheid van 0,013. Voor grotere steilheden is de stabiliteit beter.

De stabiliteit van de Basaltonbekleding bleek stabiel(er) (er kon bij de in te stellen condities geen schade worden geconstateerd) en ligt boven de ANAMOS waarde ($F = > 6,8$ t.o.v. 6 uit ANAMOS). Daarbij werd ook geconstateerd dat de Basaltonglooiing minder benedenwaartse verschuiving te zien gaf dan de basaltglooiing.

Vervolg

Bij de analyse (WL: Rudolph et al., 2005) van voornoemde Deltagootproeven is de aandacht gericht op de leklengte (uit stijghoogtemetingen), de belasting op de glooiing bij het begin van schade en op de sterkte van de bekleding (klemming).

De leklengte blijkt in werkelijkheid wat kleiner (30% gunstiger) dan volgens recente berekeningsmethoden. Daarmee zijn ook de stijghoogteverschillen kleiner (ook beduidend kleiner dan bij rechthoekige blokken op hun kant met brede spleten). De klemming blijkt na reparatie (of 'zetting' van de glooiing) bij basalt zeer goed te zijn; bij eerdere proeven was hiervan geen sprake. Basalton heeft minder onregelmatigheid, zodat de kans op zuiltjes met een slechte klemming kleiner is; dit kan de betere stabiliteit van Basalton verklaren.

Een praktische conclusie is dat een basaltglooiing pas zijn grootste sterkte mobiliseert na zware golfbelasting (en mogelijk enige schade), terwijl een Basaltonglooiing al snel na aanleg de eindsterkte zal bereiken. Ook kan worden gesteld dat de sterkte van een basaltbekleding sterk afhankelijk zal zijn van de kwaliteit van het zetwerk.

11 DEELONDERZOEK 7.3: INVLOED VAN KLEMKRACHT OP STABILITEIT

11.1 Inleiding

Onderzoeksplan april 2003

Het doel van het OKS voor dit onderdeel is het vergroten van inzicht in de werking van klemming bij steenzettingen en het ontwikkelen van een eenvoudig in de praktijk te hanteren rekenmodel voor het kwantificeren van de klemming. In de huidige modellen wordt klemming niet expliciet maar wel impliciet meegenomen, maar dit gebeurt in combinatie met een bewuste onderschatting van de belasting. Het beoogde resultaat van het onderzoek zal dus niet onvoorwaardelijk leiden tot 'baten' in de zin van grotere berekende stabiliteit, maar wel tot een betere differentiatie en onderbouwing van de stabiliteit. In die gevallen dat er sprake is van extra klemming kan deze wel tot 'baten' leiden.

Het deelonderzoek richt zich op de twee onderzoekssporen die van oudsher voor klemming worden gevolgd: herleiden van klemmingsfactoren uit veldmetingen door statistische analyse van trekproeven, en ontwikkeling van rekenmodellen om het werkelijke bezwijkgedrag van een geklemde steenzetting te simuleren. In het Onderzoeksplan werden de volgende activiteiten onderscheiden:

- analyse trekproeven en bepaling klemfactoren (7.3.1);
- verbeteren numerieke mechanicamethoden (7.3.2);
- analyse Deltagootonderzoek; bekijken van oude en nieuwe proeven waarin het stijghoogteverschil bij schade nauwkeurig is gemeten en hieruit werkelijk aanwezige klemming berekenen (7.3.3);
- onderzoek bijzondere aspecten; aspecten als inwassing, invloed van bochten en tonrondte, belastingduur, etc. (7.3.4);
- praktijkgericht rekenmodel maken en testen (7.3.5).

Uitgevoerde activiteiten en huidige status Plan

In de praktijk zijn de volgende activiteiten verricht:

- invloed klemming, statistische analyse trekproeven (WL, december 2003, zie § 11.2);
- laboratoriumonderzoek betreffende klemming van gezette steenbekledingen (Royal Haskoning, november 2004, zie § 11.3).

De statistische analyse van de trekproeven is de eerste stap van onderdeel 7.3.1, terwijl het laboratoriumonderzoek de eerste stap is van onderdeel 7.3.2. Uit de stukken blijkt dat binnen beide onderdelen nog aanvullende stappen nodig zijn. De onderzoeken verlopen globaal volgens de geplande opzet, maar vragen meer tijd dan ingepland. Voor de uitwerking van het mechanicamodel (vervolg op het laboratoriumonderzoek) zijn veldonderzoek, Deltagootproeven en bureaustudies nodig. De onderdelen 7.3.3 en 7.3.4 staan nog wel in de OKS-planning bij dit onderdeel, maar met de opmerking dat ze zullen worden uitgevoerd in andere deelonderzoeken.

In het recent gestarte Specialistenteam is een aanzet gemaakt voor de ontwikkeling van praktijkgerichte rekenmodellen (zowel onderzoeksgericht als voor de toetsingspraktijk). Tot een bepaald niveau zou klemming kunnen worden verwerkt in Zsteen (zuigermechanisme via een klemfactor per blok, kattenrugmechanisme door Zsteen ook te laten rekenen naar het evenwicht van groepen blokken), te gebruiken voor geavanceerde toetsing of als onderzoeksmodel. Daarnaast zou via parameterstudie een black-boxachtig of een analytisch model kunnen worden opgesteld. Zoals hiervoor genoemd zijn ter verificatie van het mechanicamodel nog veldproeven en bureaustudies nodig.

11.2 Invloed klemming, statistische analyse trekproeven

Omschrijving

Het onderzoek betreft een statistische analyse van trekproeven die in de periode 1990 – 1999 in opdracht van DWW zijn uitgevoerd. In deze proeven is steeds een blok uit bestaande steenzettingen getrokken, waarbij het tijdsverloop van trekkracht en verplaatsing zijn gemeten. De gemeten trekkracht is een maat voor de interactie tussen de toplaagelementen, maar kan om verschillende redenen niet rechtstreeks worden toegepast in de stabiliteitsberekeningen. Een statistische analyse is nodig om de klemkracht te vinden met voldoende kleine onderschrijdingskans, rekening houdend met de grootte van de steekproeven.

Doel

Het onderzoek heeft verschillende doelen: het verkrijgen van kwantitatieve informatie over de klemfactor als functie van toplaagtype en plaats op het talud, en het verkrijgen van inzicht in de relatie tussen de klemfactor en de toelaatbare dwarskracht.

Uitvoeringswijze

Het onderzoek is een bureaustudie: uitwerken van een methodiek voor statistische analyse en uitvoeren van die analyse, en daarnaast het opstellen van een kwalitatieve beschrijving van het bezwijkgedrag van groepen toplaagelementen in relatie tot de klemkracht.

Resultaat

Het eerste resultaat is een kwalitatieve beschouwing en vergelijking van het bezwijkgedrag van steenzettingen door trekproeven en onder golfaanval. Deze beschouwing is van belang voor de interpretatie van de statistische resultaten. Er zijn verschillen in de belastingduur en in het feit dat golven een wisselende belasting opleveren, maar het belangrijkste verschil betreft het belast oppervlak, dat bij golfaanval groter is en een gecompliceerder karakter heeft. Concreet is van belang dat trekproeven alleen relevant zijn voor het “zuigermechanisme” (één element dat uit de zetting breekt), terwijl in de praktijk ook bezwijkmechanismen voor kunnen komen waarbij meerdere elementen tegelijk belast worden en in beweging komen. De beschouwing maakt aannemelijk dat het zuigermechanisme waarschijnlijk maatgevend is voor steenzettingen waarin een zeer slecht geklemd element omgeven wordt door elementen die wat beter geklemd zijn.

Het resultaat van de statistische analyse is ten eerste een overzicht van de meetcampagnes en meetresultaten. Ten tweede zijn formules afgeleid waarmee, uitgaand van steekproefgegevens, de klemfactor kan worden berekend met een gekozen betrouwbaarheid, of onderschrijdingsfrequentie.

Ten derde levert de analyse een tabel van berekende klemfactoren met een gekozen onderschrijdingsfrequentie van 0,1 %, voor verschillende combinaties van toplaagtype en ligging ten opzichte van het getij.

Conclusies

Ten aanzien van de kwantitatieve informatie worden de volgende conclusies getrokken:

- de berekende klemfactoren variëren tussen 1,12 en 2,91. Globaal zijn verbanden zichtbaar met de ligging ten opzichte van het getij (hogere factor bij lagere ligging) en met het type toplaagelement (hogere factor bij hoekiger element), maar de resultaten lijken sterk te worden beïnvloed door de grootte van de steekproeven (grotere proeven leiden tot hogere factoren, uitgaand van de vereiste betrouwbaarheid van de factor);
- opgemerkt wordt dat de berekende factoren voldoen aan de definitie van de klemfactor, maar toch niet direct toepasbaar zijn in ANAMOS: dat kan alleen als het zuigermechanisme maatgevend is en als de klemming bij trekproeven gelijk is aan de klemming onder golfaanval.

Conclusies ten aanzien van de gehanteerde formules:

- een aantal belangrijke uitgangspunten van de methode worden gevalideerd door de resultaten (Rayleigh-verdeling voor trekkrachten, aparte formules voor proevenverzameling met waarden al dan niet boven minimum);
- de grootte van de steekproef heeft een grote invloed op de resulterende klemfactor, als gevolg van de gekozen methode met vaste betrouwbaarheid.

Conclusies ten aanzien van het bezwijkmechanisme:

- voor toplaagelementen met een relatief zwakke klemming ten opzichte van de omliggende elementen is het bezwijkmechanisme onder golfaanval vergelijkbaar met dat tijdens een trekproef.

Aanbevelingen

Het rapport doet geen aanbevelingen over vervolgstappen in het onderzoek, maar beperkt zich tot aanbevelingen over toekomstige trekproeven:

- aanbevolen wordt om in het vervolg een betere beschrijving te geven van uitvoering, interpretatie en bewerking;
- aanbevolen wordt om in het vervolg te kleine steekproeven te voorkomen door bewuster om te gaan met het kiezen van de steekproefgrootte. De minimaal vereiste grootte hangt deels af van de gevonden trekkrachten.

11.3 Laboratoriumonderzoek betreffende klemming van gezette steenbekledingen

Omschrijving

Het onderzoek betreft de uitvoering en analyse van laboratoriumproeven ter verificatie en verbetering van een eerder ontwikkeld mechanicamodel van steenzettingen. In dit model wordt de toplaag geschematiseerd als een plaat waarin een normaaldrukkracht heerst (al dan niet na enige verplaatsing van de elementen). Deze normaaldrukkracht maakt het mogelijk dat het samenstel van toplaagelementen buigende momenten en dwarskrachten kunnen opnemen.

Er zijn drie soorten laboratoriumproeven uitgevoerd:

1. Wrijvingsproeven, waarin een veld van steenzettingen wordt verschoven ten opzichte van de eronder liggende granulaire laag ter bepaling van de wrijvingscoëfficiënt. De wrijvingseigenschappen bepalen de normaalkracht in de toplaag, en daarmee de momenten en dwarskrachten die de toplaag op kan nemen.
2. Trekproeven op een voorgespannen veld van blokken op een wrijvingsloze ondergrond, om inzicht te krijgen in het bezwijkmechanisme 'doorslag'.
3. Dezelfde proeven als type 2, maar dan met een granulaire ondergrond, ter bepaling van de invloed van wrijving.

Doel

Het doel van het onderzoek is om de hypothesen in de werking van de klemming te verifiëren en relevante parameters te bepalen met proeven onder geconditioneerde omstandigheden.

Uitvoeringswijze

Het onderzoek bestaat uit laboratoriumonderzoek, voorafgegaan door het opstellen van hypothesen en gevolgd door analyse van de resultaten, conclusies en aanbevelingen voor het vervolg.

Voor proevenserie 1 (wrijvingsproeven) is een gedeelte van de toplaag van ca. $1 \times 1 \text{ m}^2$ op een horizontale granulaire laag geplaatst. Het gehele pakket is 'verplaatsingsgestuurd' verschoven door het golfschot van de Scheldebak, waarbij het tijdsverloop van de kracht en de verplaatsing zijn gemeten. Er zijn 37 proevenseries uitgevoerd, met variaties van toplaagtype, inwassing, materiaal van de onderlaag en natheid van de onderlaag. Binnen elke serie zijn verschillende verschuivingspatronen onderzocht (snelheid, richting, grootte, sequentie).

Voor proevenserie 2 (trekproeven op wrijvingsloze ondergrond) is een toplaag van orde $1 \text{ m} \times$ orde 5 m horizontaal op een wrijvingsloze ondergrond geplaatst, in het vlak voorgespannen en vervolgens verticaal belast met een trekrichting die een sinusvormige belasting simuleert. De trekbelasting is praktisch verplaatsingsgestuurd, waarbij het tijdsverloop van de kracht en de verplaatsing zijn gemeten. Er zijn 49 proevenseries uitgevoerd, met variaties van toplaagtype, inwassing, belastingsverloop en voorspanning. Binnen elke serie zijn verschillende belastingcycli onderzocht.

Proevenserie 3 heeft een vergelijkbare opzet als proevenserie 2, maar dan met een onderlaag van steenslag. Er zijn 12 proevenseries uitgevoerd, met variaties van toplaagtype, belastingverloop en voorspanning.

Resultaat

De resultaten van proevenserie 1 (wrijvingsproeven) bestaan uit een kracht-verplaatsingsdiagram en een wrijvingscoëfficiënt per proef. De bepaalde wrijvingscoëfficiënten zijn statistisch geanalyseerd, en de resultaten zijn opgesplitst voor alle beproefde vrijheidsgraden. Daarbij is tevens berekend of geconstateerde verschillen statistisch relevant zijn, uitgaand van de hoeveelheid meetdata. De belangrijkste bevindingen zijn:

- voor ingewassen Hydroblocks op grof steenslag (het meest beproefde type) is de gemiddelde wrijvingsfactor 0,58, en liggen de 5% onder- en overschrijdingswaarden 0,15 lager respectievelijk hoger;

- de wrijving neemt af bij een kleiner relatief voegoppervlakte, dus bij grotere toplaagelementen;
- de wrijving is pas volledig ontwikkeld bij verplaatsingen ter grootte van de grootste korrel van de onderlaag;
- ontbreken van inwassing leidt tot een orde 10% lagere wrijvingsfactor;
- de voorgeschiedenis van de toplaagverplaatsing beïnvloedt de wrijving. Uitgaand van het ongunstige geval leidt dit tot een wrijvingsfactor die orde 10% lager is dan de bepaalde gemiddelde waarde.

De resultaten van proevenserie 2 (trekproeven op wrijvingsloze ondergrond) bestaan uit een kracht-verplaatsingsdiagram voor elke steen per proef. Belangrijke parameters die daaruit kunnen worden afgeleid zijn de maximale trekkracht en het vervormingsgedrag. De belangrijkste bevindingen zijn dat de proefresultaten trendmatig kloppen met het mechanicamodel, waarmee de validatie van dat model geslaagd is. De waarde van de gemeten maximale trekkrachten ligt lager dan de (als bovengrens geformuleerde) predictie; deze afwijking is het grootst bij een grote voorspanning.

De resultaten van proevenserie 3 (trekproeven op granulaire ondergrond) hebben dezelfde vorm als die van proevenserie 2. De gemeten trekkrachten zijn groter dan voor identieke situaties met wrijvingsloze ondergrond, en dat bevestigt de hypothese dat wrijving leidt tot hogere trekproefbezwijkbelasting.

Conclusies

- Het wrijvingsonderzoek geeft inzicht in de relevante factoren en geeft een goede indicatie voor de grootte van de wrijvingsfactoren.
- De beide trekproevenonderzoeken vormen een goede validatie van het mechanicamodel.
- De resultaten van de trekproef op wrijvingsloze ondergrond leidt tot een verfijning van het model, waarbij de resultante van de normaalkracht wat dichterbij het midden van het element ligt, waardoor een wat kleinere dwarskracht kan worden opgenomen. Deze verfijning moet nog verder worden uitgewerkt.
- Onder ideale condities kan klemming een forse bijdrage aan de stabiliteit leveren. Het resultaat is echter te prematuur voor concrete vertaling naar toetsregels, want de betrouwbaarheid van het onderzochte systeem staat nog niet vast. De condities bepalen in welke mate de bijdrage van klemming kan worden meegenomen in de praktijk van ontwerp en toetsing.
- Het gedachtemodel voor een toekomstige bijdrage van klemming in de rekenregels zou rekening moeten houden met de invloed van de gebiedsgrootte waarop de piekbelasting werkt.

Aanbevelingen

Het rapport doet een aanbeveling over de activiteiten die nodig zijn om te komen tot toepassing van de resultaten in ontwerp en toetsing van steenzettingen:

- veldonderzoek naar normaalkracht;
- bureaustudies naar invloed golfcycli en naar initiële voorspanning door elementvorm, voegvulling en taludvorm;
- deltagootproeven naar herhaalde belasting en effect van golven op klemming;
- ontwikkelen van eenvoudige test voor betrouwbaarheid van in de praktijk aanwezige klemming;
- numeriek onderzoek naar 2D-situaties en zuilvormige elementen;
- overall probabilistische beschouwing.

12 DEELONDERZOEK 7.4: INVLOED VAN GOLFKLAPPEN OP STABILITEIT

12.1 Inleiding

Onderzoeksplan april 2003

Het doel van het OKS voor dit onderdeel is het verkrijgen van kwantitatieve kennis over het golfklapfaalmechanisme van steenzettingen en op basis daarvan het ontwikkelen van een golfbelastingsmodel, ter ondersteuning van de ontwikkeling van een rekenmodel. De ontwikkeling van het rekenmodel zelf valt buiten dit deelonderzoek; hier ligt een relatie met deelonderzoek Zsteen (zie Hoofdstuk 14). Er is ook een inhoudelijke relatie met het onderzoek naar klemming (zie Hoofdstuk 11). Het beoogde model zou kunnen leiden tot 'baten' doordat daarmee aanscherping mogelijk zal zijn ten opzichte van de nu gehanteerde empirische $6\xi_{op}$ -regel.

Het deelonderzoek richt zich op twee onderzoekssporen: kwantificering van de golfklap als functie van golfcondities en taludhelling (ook relevant voor ingegoten steenzettingen), en kwantificering van het stijghoogteverschil als gevolg van de golfklap. Het onderzoeksplan bevat in lijn daarmee de volgende onderdelen:

- literatuurstudie (7.4.1);
- kwantificering van de golfklap op het talud (7.4.2);
- theorie voor impulstransmissie en stijghoogteverschil over de toplaag (7.4.3).

Uitgevoerde activiteiten en huidige status Plan

In de praktijk zijn de volgende activiteiten verricht:

- literatuurstudie (WL, november 2003, zie § 12.2);
- software-ontwikkeling en toepassing voor kwantificering van golfklappen (WL, december 2003, zie § 12.3);
- kwantificering golfbelasting op steenbekledingen (concept-rapport, WL, oktober 2004).

Het onderzoek heeft relatie met het onderzoek naar lange golfperiodes (Hoofdstuk 9) en zal gezamenlijk in één eindrapport worden ondergebracht. Daarbij hoort bovendien een onderzoek naar de onzekerheden in de meetresultaten.

Op basis van het conceptrapport van WL uit oktober 2004 is duidelijk dat het een vervolg betreft van het onderzoek 'software-ontwikkeling'. Er zijn relaties gelegd tussen verschillende belastingparameters en het maximaal gemeten stijghoogteverschil, met hoopgevendende resultaten. Er is nog een vervolgstap nodig om de nauwkeurigheid van de meetresultaten en trends vast te stellen. Bij positief resultaat zou een volgende stap kunnen bestaan uit verwerking van een nieuw belastingmodel in Zsteen en wellicht ook in ANAMOS (rechtstreeks, of via parameterstudie met Zsteen).

Over het oorspronkelijk geplande onderdeel 7.4.3 wordt in de stukken gemeld dat vooralsnog geen onderzoek nodig is, omdat naar verwachting kan worden volstaan met de leklengtheorie.

12.2 Invloed van golfklappen op stabiliteit, literatuurstudie

Omschrijving

Inventarisatie van de kennis die internationaal beschikbaar is over golfklappen, gericht op zowel open als ingegoten steenzettingen.

Doel

Voor de verdere ontwikkeling van rekenmodellen is meer kwantitatieve kennis over golfklappen nodig, en de literatuurstudie is daarvoor een eerste aanzet.

Uitvoeringswijze

Literatuurstudie, voortbouwend op een literatuurstudie uit 1990.

Resultaat

- Beschrijving van de theorie, resulterend in overzicht van relevante parameters.
- Analyse van literatuur (10 onderzoeken/bronnen), met scherpe focus op info over de genoemde relevante parameters.
- Conclusies per kenmerkende parameter.
- Aanbevelingen over vervolg.

Conclusies

- Algemeen: in laatste 10 jaar zijn weinig publicaties publicaties verschenen over golfklappen op taluds 1:3-1:6, en nog minder met betrekking tot steenzettingen. In de literatuur zijn geen ontwikkelingen gevonden t.a.v. rekenmethoden.
- Er is relatief veel aandacht voor beschrijving van grootte en locatie van de maximale stijghoogte; er is enige aandacht voor breedte klapzone, stijgtijd golfklap en totale impuls; er is nauwelijks aandacht voor gradiënt stijghoogte en totale duur.
- De resultaten zijn in de meeste onderzoeken statistisch beschreven.

Aanbevelingen

Golfklap-gerichte uitwerking van meetresultaten van het Deltagootonderzoek van 97/98 (dit was voor dit doel voldoende geïnstrumenteerd), en wellicht ook het Deltagootonderzoek van 1991.

12.3 Software-ontwikkeling en toepassing voor kwantificering van golfklappen

Omschrijving

Golfklap-gerichte uitwerking van de meetresultaten van Deltagootonderzoek uit het verleden (zie de aanbeveling in § 12.3), bestaand uit selectie van de relevante proeven, bepalen van vertaling meetsignaal naar de parameters die karakteristiek worden geacht voor golfklap, maken van software voor die vertaling (fase 1), toepassing van software op de geselecteerde proeven (fase 2).

Doel

Creëren van een verzameling meetwaarden uit Deltagootonderzoek in een formaat dat relevant is voor golfklap. In een vervolgstap (fase 3) zullen deze meetwaarden worden geanalyseerd om conclusies te kunnen trekken over de relatie tussen golfeigenschappen en constructie-eigenschappen enerzijds en de golfklap anderzijds.

Uitvoeringswijze

Bureaustudie naar beschikbare onderzoeksresultaten en parameters, software-ontwikkeling, softwaretoepassing.

Resultaat

- Overzicht relevante proeven.
- Beschrijving en programma voor vertaling van Deltagootresultaten naar karakteristieke parameters voor golfklap.
- Verzameling meetwaarden in golfklapformaat.

Conclusies

Het rapport bevat geen conclusies.

Aanbevelingen

Het rapport bevat geen aanbevelingen.

13 DEELONDERZOEK 7.5: INVLOED VAN DICHTSLIBBING

13.1 Inleiding

Onderzoeksplan april 2003

In het Onderzoeksplan (2003) is aangegeven dat nadere studie van het effect van dichtslibbing van belang is voor dichtgeslibde (of ingezande) steenzettingen en ook voor gepenetreerde steenzettingen met een dichtgeslibde ondertafel. Daarbij moeten twee situaties worden onderkend: één waarbij geen slib uitspoelt en één waarbij wel slib uitspoelt. Belangrijk is in die situaties inzicht te krijgen in de drukken in de filter- en toplaag en in de sterkte van de toplaag (klemming).

Het nut van een beter inzicht is groot: in het rapport 'Kennisleemtes versus uitvoering' (RH, 2002) wordt aangegeven dat de baten een factor ruim 20 zouden kunnen zijn bij een areaalgrootte van ruim 100.000 m².

Het effect van dichtslibbing is een lastig onderwerp, omdat het dichtgeslibde materiaal in meerdere of mindere mate kan uitspoelen uit de toplaag en/of de filterlaag. In het Onderzoeksplan zijn een aantal sporen en ideeën aangereikt, en is een logische volgorde voor het uitvoeren van de studies aangegeven. Daaruit komen een vijftal stappen naar voren:

- voorstudie;
- infiltratieproef;
- aanzet voor modelvorming;
- onderzoek naar belasting en sterkte toplaag;
- verificatie van rekenmodel.

Uitgevoerde activiteiten en huidige status Plan

Een deel van voorgaande stappen is inmiddels uitgevoerd tot en met een aanzet voor modelvorming.

Om nut en noodzaak van het inslibbings-onderzoek beter in beeld te brengen heeft de Werkgroep Kennis als eerste stap een peiling onder beheerders laten uitvoeren (PBZ: Provoost et al., 2003). Enkele saillante uitkomsten zijn de volgende. Dichtgeslibde bekledingen worden vaak geconstateerd, maar doorgaans alleen op de lagere delen van de dijk. De indruk is dat wanneer de bekleding eenmaal is dichtgeslibd, dit ook zo blijft. De verwachtingen ten aanzien van het effect zijn wisselend, afhankelijk van de verwachting of het slib al dan niet uitspoelt onder extreme omstandigheden. Op grond van deze peiling is geconcludeerd dat opstarten van onderzoek zinvol is; hierbij dient eerst de vraag te worden beantwoord of dichtslibbing ook onder maatgevende omstandigheden aanwezig is. Indien dit zo is, dan is verdere aanscherping gewenst.

In de rapportage van de Voorstudie door de Werkgroep Kennis (PBZ: Bosters et al., 2003) is voorgaande peiling integraal opgenomen en wordt verder een korte onderbouwing van het nut van inslibbing (in het filter) gegeven, worden onderzoeksvragen geformuleerd, is een hypothese voor dichtslibbing opgesteld, wordt ingegaan op de mogelijke gevolgen en op de duurzaamheid van inslibbing, en worden tenslotte suggesties voor verder onderzoek gegeven.

Samengevat wordt het volgende geconcludeerd:

- inslibbing heeft nut wanneer dit het filter betreft; omgekeerd is de situatie van een dichtgeslibde toplaag met een (nog) doorlatend filter zeer ongunstig, maar waarschijnlijk komt dit niet voor;

- onderzoek naar inslibbing kent de volgende vragen: welke factoren zijn van belang, hoe lang duurt inslibbing, is het onomkeerbaar, sedimentatie versus cementatie, samenstelling en doorlatendheid van inslibbing;
- als oorzaak van inslibbing wordt een tweetal initiërende verschijnselen genoemd: verstopping (met langzame dichtslibbing) en sedimentatie (snelle maar mogelijk minder duurzame dichtslibbing);
- gevolgen van inslibbing: onderscheid in verstopping van topaagspleten met een open filter (kans op opdrijven topaag, maar wel minder dan bij ingegoten bekledingen) en filter geheel dichtgeslibd (goede stabiliteit, echter onzeker effect van golfklap op enigszins losliggend element). Getijwerking is dan belangrijk;
- duurzaamheid inslibbing: indien inslibbing gunstig is, moet aangetoond worden dat deze duurzaam is. Mogelijk speelt de getij-amplitude mee en bij stormvloed is er sprake van sterke golfwerking en grote getij-amplitude. Omkeerbaarheid van het sedimentatieproces is discutabel;
- suggesties voor onderzoek:
 - nader gesprek met geoloog;
 - openbreken bestaande bekledingen en monitoren nieuwe bekledingen;
 - hoge druk infiltratiemetingen (in-situ);
 - uitvoeren / analyseren trekproeven;
 - duurzaamheidsindicatie en bezwijkindicatie met hogedruksput (in-situ).

Aansluitend zijn de Infiltratieproeven op ingeslibde bekledingen in 2004 uitgevoerd op een aantal proeflocaties (DWW: Bosters, 2004). De rapportage is in concept gereed. In verband met het belang voor bijsturing wordt dit concept-rapport hierna samengevat.

In het overleg met het Specialistenteam van 9 februari 2005 is aangegeven dat een verdere discussie nodig is, met als aspecten: de duurzaamheid van de inslibbing, de kanaalvorming onder de topaag, en de variatie van inslibbing over de hoogte van het talud.

13.2 Infiltratieproeven op ingeslibde bekledingen

Omschrijving

Voornoemd concept-rapport is aangeduid als 'Waterdrukproeven op ingeslibde bekledingen' (DWW: Bosters, november 2004). Op vijf locaties in Zeeland zijn deze waterdrukproeven uitgevoerd, met ingezande of ingeslibde bekledingen: basalt, Hydroblocks, koperslakblokken en een ingegoten basaltbekleding.

Doel

Doel was het verkrijgen van inzicht voor het beantwoorden van de vragen: 1) kan de bekleding een grote waterdruk weerstaan en 2) is de inslibbing bestendig of treedt erosie op.

Uitvoeringswijze

Instellen van een overdruk in het filter door een buis via een gat in de topaag. Deze overdruk kon statisch worden aangebracht (niveauverschil tussen reservoir en topaag 6 tot 8 m. Deze druk kon worden verhoogd door opvoeren tot maximaal 30 mwk. De waterdruk kon worden gemeten, alsmede verticale verplaatsing van de topaag (waterpassing). Ook de resterende inzanding/inslibbing werd door uitbreken van elementen vastgesteld.

Een indruk van de initiële waterdoorlatendheid werd verkregen door een 'falling head' proef (zakken van een vrije waterstand in de buis die uitstak boven het gat).

Resultaat

Opmerkelijk resultaat is dat de inzanding van de toplaag (proef Vlissingen) in de tijd sterk wisselde. Een andere constatering was dat toplaag en filter altijd op dezelfde wijze zijn ingeslibd. De overdruk die in het filter kon worden aangebracht, zonder dat sterke uitstroom optrad, wisselde zeer sterk: soms was er bij vrij verval al een doorbraak en soms kon de druk tot het maximum worden opgebouwd zonder dat er sterke uitstroom optrad. Bij de uitstroom konden wellen worden geconstateerd, vooral (grote) wellen aan de teen, maar soms ook kleinere door de bekleding. Het plotselinge wegvallen van de druk wordt vermoedelijk veroorzaakt doordat de bekleding begon op te drijven (orde een centimeter werd gemeten).

Bij de vertaling van deze resultaten naar de maatgevende situatie is het onduidelijk of de erosie groter dan wel kleiner is dan hier gemeten: wel lijkt erosie waarschijnlijk. Dit kan tot gevolg hebben dat het maatgevende mechanisme verandert tijdens een storm: van opdrijven + golfklap (dichte bekleding), naar golfterugtrekking (half open bekleding), of van golfterugtrekking (half open bekleding), naar golfklap (open bekleding).

Conclusies

Geconcludeerd wordt overigens ook dat het voorspellen van het erosiegedrag ondoenlijk lijkt (door de veranderlijkheid en het locale gedrag). Ook is het gedetailleerd voorspellen van inslibbing zo goed als kansloos. Vooral nog dient bij een ontwerp derhalve van mogelijke meerdere maatgevende mechanismen te worden uitgegaan.

Vervolg

In plaats van meer geavanceerde proeven, wordt gesteld dat het belangrijk is vast te stellen waar de grenzen liggen van de verschillende mechanismen in relatie tot de inslibbing, gerelateerd aan de leklengte. Als deze bekend zijn zal duidelijk worden in welke categorie ingeslibde bekledingen vallen en wordt het relevant na te gaan of inslibbing of erosie tot een ander bezwijkmechanisme kunnen leiden.

14 DEELONDERZOEK 8.1: ONTWIKKELING ZSTEEN

14.1 Inleiding

Onderzoeksplan april 2003

Het doel van het OKS voor dit onderdeel is het doorontwikkelen van Zsteen tot een volwaardig en gevalideerd toetsings- en ontwerpgereddschap. De voornaamste ‘baten’ moeten volgen uit de ontwikkeling van een rekenmethode voor de open bekledingen (het merendeel van de aanwezige bekledingen), waarvoor op dit moment alleen de black-boxachtige ‘6-ξ-regel’ geldt. Concreet richt het onderzoek zich op drie onderwerpen:

- aantonen bruikbaarheid voor open bekledingen (8.1.1);
- verbeteren van bestaande fouten en onnauwkeurigheden (8.1.2 en 8.1.3);
- vaststellen van een stabiliteitscriterium (8.1.4).

Uitgevoerde activiteiten en huidige status Plan

In de praktijk zijn de volgende activiteiten verricht:

- afronding Zsteen versie 1.8 (GD, september 2003);
- testen van Zsteen versie 1.8 (WL, december 2003, zie §14.2);
- ontwikkeling versie 1.9 en 2.0 (GD, geen verdere info beschikbaar);
- memo Wat ZSteen (nog) niet kan (DWW, maart 2004);
- onderzoek m.b.t. nauwkeurigheid Zsteen bij golfklappen (WL, onderzoek gestart begin 2005).

De vier beoogde onderzoeksstappen zijn in de praktijk niet conform het Plan lineair volgordelijk uitgevoerd, maar cyclisch–iteratief, door ontwikkeling van 3 achtereenvolgende Zsteen-versies, waarin steeds enkele verbeterpunten zijn aangepakt. De test van versie 1.8 door WL (zie samenvatting 8.a) kan worden gezien als één van de aanleidingen voor de verbeterlagen, en het memo van DWW ‘Wat ZSteen (nog) niet kan’, met een beschrijving van drie fysische verschijnselen die nog niet in ZSteen zijn opgenomen, past ook in dat kader. Stap 1 van het Onderzoeksplan (aantonen bruikbaarheid voor open bekledingen) werd in het Onderzoeksprogramma omschreven als een eerste stap met een go/no go karakter voor het verdere programma. In de praktijk heeft de nadruk in het begin gelegen op de concrete verbeterpunten en –acties, zodat pas eind 2004 het onderzoek van onderdeel 8.1.1 is gestart. Een eerste stap daarvan wordt binnenkort afgerond, maar op dat punt zullen vervolgstappen nodig zijn.

14.2 Testen van Zsteen versie 1.8

Omschrijving

Rondom de start van het OKS werd door GD een nieuwe versie van Zsteen afgerond. Deze versie 1.8 is door WL geverifieerd op de volgende punten: consistentie van drukrandvoorwaarden, overeenstemming met meetbestanden uit de Deltagoot, invloed van ingedikte databestanden op de berekende stabiliteit, en vergelijking van de berekende freatische lijn met de analytische oplossing.

Doel

Het doel van Deelonderzoek 8.1 is om van Zsteen een volwaardig en gevalideerd gereedschap te maken. Dat kan alleen als het programma aantoonbaar een aantal basisfunctionaliteiten correct uitvoert.

Uitvoeringswijze

Het onderzoek is uitgevoerd als een bureaustudie: het uitvoeren van berekeningen met Zsteen, onderlinge vergelijking van Zsteen-resultaten en vergelijking van Zsteen-resultaten met andere reken- en meetresultaten, analyse van de verschillen.

Resultaat

Het rapport geeft een uitgebreide beschrijving van de uitgevoerde berekeningen en onderlinge vergelijkingen en geeft een duidelijk beeld van het functioneren van Zsteen op de onderzochte punten, zie de conclusies hieronder. Het rapport beperkt zich tot vergelijking van rekenresultaten: het gaat niet in op de code van Zsteen, zoekt niet naar oorzaken voor de gevonden afwijkingen en geeft dus ook geen aanbevelingen voor verbeteringswerkzaamheden.

Daarnaast is binnen het onderzoek geconcludeerd dat enkele drukbestanden onvoldoende waren, en deze zijn verbeterd.

Conclusies

- Bij het testen van de consistentie van de drukrandvoorwaarden is geconstateerd dat ZSteen geen eenduidige relatie produceert tussen belasting en blokbeweging. Daaruit wordt geconcludeerd wordt dat ZSteen ernstige tekortkomingen lijkt te hebben.
- ZSteen gaat correct om met het kiezen van drukbestanden voor ontwerpen (conservatief) en voor toetsen (realistisch).
- Geconstateerd is dat kleine waterstandsverschillen grote invloed kunnen hebben op de blokbeweging. Daaruit wordt geconcludeerd dat ZSteen versie 1.8 niet bruikbaar is voor het bepalen van de stabiliteit van een steenzetting.
- Bij vergelijking tussen ZSteen en Deltagoot-meetbestanden is geconstateerd dat ZSteen in veel gevallen aanzienlijk onderschat. Daaruit wordt geconcludeerd dat ZSteen een te gunstig ontwerp of toetsresultaat oplevert, hetgeen wordt aangeduid als een ernstige tekortkoming.
- Bij vergelijking van resultaten met ingedikte en niet-ingedikte drukbestanden zijn grote verschillen gevonden in de blokbewegingen. Geconcludeerd wordt dat de ingedikte bestanden niet geschikt lijken als vervanging van de volledige bestanden.
- Bij stijghoogte zoals berekend met ZSteen komt nagenoeg overeen met de analytische oplossing. De snelheid waarmee de freatische lijn verandert is echter enkele malen groter dan de analytische oplossing.

Aanbevelingen

Het onderzoeksrapport geeft geen aanbevelingen.

15 DEELONDERZOEK 8.2: GOLFDRIJVEN BEPALEN MET SKYLLA

15.1 Inleiding

Onderzoeksplan april 2003

Het doel van het OKS voor dit onderdeel is het doorontwikkelen van Skylla tot een model waarmee drukrandvoorwaarden kunnen worden berekend. In deze zin kan Skylla praktisch invoerbesteden voor Zsteen aanleveren, als alternatief voor gemeten golfdrukbestanden. De mogelijke baten zijn indirect: ze zouden kunnen volgen uit het verbeteren van de bruikbaarheid van Zsteen (zie Hoofdstuk 14), maar dat wordt pas verwacht 'in de tweede helft van dit decennium'. Er is bewust besloten om de ontwikkeling van Skylla te ondersteunen met het oog op dit langere termijn doel. Concreet stelt het Onderzoeksplan de volgende activiteiten voor:

- vergelijken van berekende resultaten met metingen (8.2.1);
- ontwikkelen van methodiek voor golvenselectie (8.2.2);
- inhoudelijke verbeteringen voor het vergroten van de nauwkeurigheid (8.2.3);
- verificatie met behulp van metingen (8.2.4);
- koppeling aan Zsteen realiseren (8.2.5).

In het Onderzoeksplan werd ingeschat dat binnen het OKS de eerste 2 stappen en een deel van stap 8.2.3 zouden kunnen worden gerealiseerd.

Uitgevoerde activiteiten en huidige status Plan

In de praktijk is de volgende activiteit verricht:

- bepaling golfdrukken met Skylla – Vergelijking van berekende resultaten met metingen (WL, maart 2005).

Dit onderzoek komt overeen met de geplande stap 8.2.1. De actuele planning bevat nog steeds de stappen uit het Onderzoeksplan, maar in afwachting van de bijsturing is een volgende stap nog niet expliciet gepland.

15.2 Bepaling golfdrukken met Skylla – Vergelijking van berekende resultaten met metingen

Omschrijving

In het onderzoek is de bruikbaarheid van Skylla in combinatie met ZSteen getest. Ten eerste is een vergelijking gemaakt tussen rekenresultaten van Skylla en meetresultaten in de Deltagoot; hierbij is gekeken naar een aantal karakteristieke parameters die een rol spelen bij toplaaginstabiliteit van steenzettingen (zowel golfklap als golfterugtrekking). Ten tweede is een vergelijking gemaakt van de blokbewegingen die ZSteen uitrekt met enerzijds stijghoogteverschillen uit Skylla en anderzijds gemeten stijghoogteverschillen.

Doel

Het doel van het onderzoek is om op basis van de resultaten een onderbouwde beslissing te kunnen nemen om Skylla verder te ontwikkelen ten behoeve van gebruik voor steenzettingen.

Uitvoeringswijze

Bureaustudie: analyse van proefresultaten, berekeningen met Skylla en ZSteen, analyse van rekenresultaten.

Resultaat

De resultaten bestaan in de eerste plaats uit overzichten van en vergelijkingen tussen berekende en gemeten golfdrukken. Deze golfdrukken zijn omgerekend naar karakteristieke parameters, en zijn gebruikt voor berekeningen met ZSteen. Het onderzoek is sterk gericht op de parameters die een rol spelen bij golfklap. Bovendien is meer duidelijkheid ontstaan over de gevoeligheid van de resultaten voor de wrijvingscoëfficiënt in Skylla.

Conclusies

De hoofdconclusie is dat het gerechtvaardigd lijkt om de ontwikkeling van Skylla voort te zetten, alhoewel Skylla (zoals verwacht) nog niet direct toepasbaar is. De positieve hoofdconclusie wordt vooral gebaseerd op de bevinding dat de stijghoogtes uit de Skyllaberekeningen redelijk overeenkomen met gemeten waarden. Er zijn aanzienlijke verschillen tussen de blokbewegingen die ZSteen uitrekent met Skylla-golfdrukbestanden en met gemeten golfdrukken, maar deze verschillen lijken verklaarbaar.

Aanbevelingen

Het rapport doet verschillende aanbevelingen voor verbeteringen in Skylla die nodig zijn om het instrument nauwkeuriger en bruikbaar te maken:

- betere verwerking van luchtbellen (veruit het belangrijkste punt);
- verbeteren van turbulentiemodel;
- toevoeging van 2^e orde golfopwekking;
- rekenschema impulsbehoudend maken;
- verbetering methodes om parameter bodemwrijving te schatten;
- validatie;
- verbeteren van de mogelijkheden voor langere simulaties.

Het rapport bevat tevens een schatting voor de benodigde inspanning per verbeterpunt (totaal orde 18 mensmaanden voor punt 1 – 5).

16 DEELONDERZOEK 9: ONDERZOEK NAAR MET ASFALT INGEGOTEN GEZETTE STEENBEKLEDINGEN

16.1 Inleiding

Onderzoeksplan april 2003

Het doel van dit onderzoek is volgens het Onderzoeksplan (2003) het onderbouwen van het vermoeden dat de stabiliteit van met asfalt ingegoten bekledingen aanzienlijk beter is dan de toetsregel, die erg grof is en veel bekledingen afkeurt. Het gaat hierbij om goed ingegoten bekledingen (tenminste 10-15 cm diep tussen de spleten van de elementen). Dit vermoeden wordt gesterkt door de in de periode 2001 tot 2003 uitgevoerde veldproeven (infiltratieproeven) en bureaustudies.

Feitelijk wordt het faalmechanisme nog niet goed begrepen. Verondersteld wordt dat de toplaag kan worden opgedrukt, waarna er piping onder de bekleding zou kunnen optreden en/of de samenhang verloren zou kunnen gaan. Het vermoeden bestaat dat een progressief faalmechanisme echter niet zal optreden, omdat er in de praktijk al gauw een 'ventiel' (drukontlasting) kan ontstaan.

Nadere aanscherping van toetsregels is voor met name ingegoten steenbekledingen van groot belang. Het gaat hierbij om een areaal van meer dan 700.000 m² en een geschatte batenfactor van 160 (Royal Haskoning, 2002).

Uitvoering van het in het Onderzoeksplan aangegeven onderzoek moet leiden tot een goed toepasbaar rekenmodel, rekening houdend met de belasting door statische overdruk en door golfbelasting.

Het onderzoekplan geeft daartoe een 10 tal onderzoeksstappen.

Uitgevoerde activiteiten en huidige status Plan

Tot op heden is dit programma nog slechts deels uitgevoerd en is het programma gewijzigd.

Thans zijn de volgende rapporten/notities beschikbaar:

- rapport 'Toetsing ingegoten bekledingen, bestaande kennis en kennisleemten' (GeoDelft, 2003); dit rapport heeft een formele status en is hierna samengevat;
- notitie DWW van 20 november 2003, met daarin een discussie/brainstorm over de stand van zaken op dat moment;
- rapport 'Waterlaagje bij ingegoten bekledingen' (DWW, september 2003); dit rapport heeft een formele status en is hierna samengevat;
- notitie DWW van 10 oktober 2004 'Terugmelding onderzoek ingegoten bekledingen' t.b.v. de TAW-KBS.

16.2 Toetsing ingegoten bekledingen, bestaande kennis en kennisleemten

Omschrijving

Analyse van in de periode 2001 tot 2003 uitgevoerde veldproeven (infiltratieproeven) en bureaustudies. Hierbij wordt ook ingegaan op de bereikte resultaten, de nog bestaande onzekerheden en mogelijke vervolgonderzoek.

Doel

Meer inzicht verkrijgen in de (mogelijke) bezwijkmechanismen bij ingegoten steenbekledingen aan de hand van analyse van reeds uitgevoerd veldonderzoek en beschikbare bureaustudies.

Uitvoeringswijze

Analyse van bovengenoemde onderzoeken, waarbij de veldproeven uitgebreid worden beschreven en geanalyseerd en de theorieën uit de eerdere bureaustudies hierop worden toegepast.

Resultaat

Algemene conclusie van het rapport van GeoDelft is dat ingegoten bekledingen sterker zijn dan de huidige toetsingsregel (statische overdruk). Bezijken van de bekleding door alleen overdruk lijkt niet waarschijnlijk. Een belangrijke bevinding is wel dat de bekleding kan gaan drijven op de waterlaagje tussen de bekleding en het filter, door een grotere opwaartse druk dan het gewicht van de bekleding. Bezijken trad daarbij echter niet op. Bij de proeven bleek dat er door (vooraf niet bekende) openingen in de bekleding en aan de teen filterwater kon ontsnappen ('ventielwerking') waardoor de overdruk niet extreem kon oplopen.

Een gevaarlijke situatie zou kunnen ontstaan door golfklappen op een opdrijvende bekleding, waarbij de bekleding op buiging en dwarskracht (deze laatste lijkt het belangrijkste) wordt belast. De bij de analyse opgestelde rekenmethode die de dwarskracht tijdens een golfklap berekent, geeft een kritische waarde die ongeveer gelijk is aan de kracht die bij trekproeven werd gevonden. Op grond hiervan wordt voorgesteld een 'waterslot' toe te passen, een ondoorlatende strook rond de GHW lijn, die toestroming naar het filter, en daarmee het ontstaan van een waterlaagje, moet voorkomen.

Conclusies

Algemene conclusie is dat ingegoten bekledingen sterker zijn dan de huidige toetsingsregel (statische overdruk). Bezijken van de bekleding door alleen overdruk lijkt niet waarschijnlijk. Wel kan opdrijven optreden. Daarbij lijkt een dichtgeslibde granulaire laag schoon te spoelen (indien dit niet het geval zou zijn zou overdruk beperkt blijven). Een gevaarlijke situatie kan zijn als de filterlaag onder de boventafel relatief open is en daaronder een afdichting aanwezig is; een waterslot lijkt dan zeker nodig. Aanbevolen wordt toetsing op te schorten totdat meer inzicht is verkregen.

Vervolg

In de notitie van DWW van 20 november 2003 wordt de conclusie getrokken dat de belangrijkste onzekerheid is gelegen in het effect van de golfklap, in combinatie met een opdrijvende toplaag. Hiertoe denkt men aan belastingsproeven bij de TUD.

In het rapport 'Waterlaagje bij ingegoten steenzettingen' (Bosters, september 2004) wordt langs analytische weg eerst verder ingegaan op het al dan niet optreden van een waterlaagje en de karakteristieken ervan, zoals hierna samengevat.

16.3 Waterlaagje bij ingegoten steenzettingen

Omschrijving

Analytische studie naar het gedrag van een waterlaagje bij een ingegoten bekleding. De daarbij uitgevoerde berekeningen sluiten goed aan bij de metingen tijdens de eerdere veldproeven. Gekeken wordt naar het stationaire en instationaire stijghoogteverloop in het filter, het ontstaan van het waterlaagje, de lengte en breedte van de spleet en het bezwijkmechanisme.

Doel

Doel is het aannemelijk maken dat zich (bij een geringe watertoevoer) geen waterlaagje zal vormen, zodat ook de situatie van golfklap bij een opdrijvende bekleding niet relevant is.

Uitvoeringswijze

Op basis van filterregels en een schematische benaderingswijze, reconstrueren en proberen te begrijpen van de gemeten stijghoogtes in het filter en het oprijfgedrag van de bekleding tijdens de veldproeven.

Resultaat

De ontwikkelde berekeningsmethodiek blijkt goed aan te sluiten bij de metingen en geeft inzicht in oorzaken van de opgetreden verschijnselen.

De maximale stijghoogte blijkt al gauw, ook onder veelvuldig voorkomende omstandigheden, het onderwatergewicht van de toplaag te kunnen overschrijden. Het ontstaan van een waterlaagje is echter afhankelijk van het toplaaggewicht en –stijfheid, de taludhelling, het al dan niet volledig dicht zijn van de bekleding en teen en de watertoevoer van bovenaf. De spreiding in doorlatendheid van het filter (die in sterke mate de stijghoogte bepaalt) zal in de werkelijkheid vrij groot zijn. Gunstig is de watertoevoer van bovenaf te beperken door een waterslot op springtijniveau. Mocht zich desondanks een waterlaagje vormen, dan zouden bij golfklappen scheurtjes in de bekleding kunnen ontstaan, waardoor de overdruk kan ontsnappen en het waterlaagje zal verdwijnen.

Conclusies

Bovenstaande resultaten leiden tot de conclusie dat enerzijds een waterslot dient te worden toegepast en dat anderzijds er nog een golfklapproef moet plaatsvinden op een bestaande bekleding.

Vervolg

In de 'Terugmelding onderzoek ingegoten bekledingen' door DWW t.b.v. de TAW-KBS van oktober 2004, wordt geconcludeerd dat bij een homogeen talud een representatieve proef ook op de ondertafel kan worden uitgevoerd (indien een waterslot op de GHW lijn is aangebracht). Verder wordt gesteld dat de ingieting tenminste 15 cm moet bedragen. In de terugmelding wordt de mogelijkheid uitgewerkt van een golfklapproef in de Deltagoot en op een bestaand talud.

17 DEELONDERZOEK 10: ONDERZOEK NAAR NOORSE STENEN

17.1 Inleiding

Onderzoeksplan april 2003

Noorse steen, grote zwerfstenen op een open granulair filter, zijn 100 tot 200 jaar geleden langs dijken van IJsselmeer, Markermeer en Waddenzee toegepast. Ze bevatten cultuurhistorische waarde, waardoor men ze liever niet wil vervangen. Verder bleek uit de studie 'Kennisleemtes versus uitvoering' (RH, 2002) dat de batenfactor van Noorse steen zeer hoog is (155), terwijl er een redelijk areaal aanwezig is (128.000 m²).

Toetsing vindt plaats met een enkellaags breuksteenmodel, met volledig losgeplaatste stenen en Noorse steen komt daarmee vaak niet door de toetsing. Het idee is dat er in de praktijk doorgaans wel enige haakweerstand zal worden gemobiliseerd; daarmee zou Noorse steen wellicht volgens een zetsteenmodel kunnen worden getoetst, wat een belangrijke aanscherping zou betekenen (voor $\xi_{op} < 2,0$ voor het gebied tussen 'twijfelachtig en 'goed').

In het Onderzoeksplan (Fugro, 2003), worden de volgende onderzoeksstappen onderkend: een herbeschouwing van het faalcriterium, inventarisatie, keuze benaderingswijze en eventueel een eenvoudig modelonderzoek en zonodig een Deltagootproef.

Uitgevoerde activiteiten en huidige status Plan

Het verloop van het onderzoek wijkt af van de stappen uit het Onderzoeksplan en de volgende stappen zijn thans gerealiseerd.

- plan van aanpak Noorse steen/inventarisatie (Infram, 2003): heeft formele status en wordt hier samengevat;
- opstellen concepttoetsmethodiek (Infram, concept 2005): heeft nog geen formele status. Dit concept-rapport is thans in behandeling bij de TAW.

Vanwege het belang van dit rapport is dit, ondanks de conceptstatus, hierna samengevat.

Opgemerkt wordt dat thans ook een definitief rapport beschikbaar is ten aanzien van de bewezen sterkte (Infram, 2004); dit rapport is in behandeling bij de TAW en wordt bij Deelonderzoek 6 samengevat.

17.2 Plan van aanpak Noorse steen

Omschrijving

Het rapport geeft een inventarisatie van Noorse steen langs de Nederlandse dijken, er wordt ingegaan op de huidige toetsmethode en er wordt een stappenplan aangegeven om tot een aangescherpte toetsmethode te komen.

Doel

Een groot deel van de huidige Nederlandse bekledingen met Noorse steen scoort 'twijfelachtig'. Het plan van aanpak en de bijgaande inventarisatie geeft een nadere invulling over de te nemen onderzoeksstappen, om de toetsmethode zo mogelijk scherper te kunnen stellen.

Uitvoeringswijze

Veldbezoek locaties met Noorse steen (Friesland en Texel) en literatuurstudie (Bouwdienst, 2000). Analyse huidige toetsmethodiek en doen van voorstellen voor verdere onderzoeksstappen.

Resultaat

Op basis van de literatuurstudie en het veldonderzoek wordt een beeld gegeven van het vóórkomen van Noorse steen op de dijken. De beheerders geven aan dat de ervaring met Noorse steen doorgaans goed is. Opvallend is dat de vorm van de Noorse steen langs de (Noord-Hollandse) IJsselmeerdijken meer afgerond is, terwijl (mogelijk mede door bijmenging met breuksteen) de Noorse steen ook hoekig kan zijn. Doordat Noorse steen niet goed gezet kan worden, zijn in de openingen tussen de stenen 'kopstukken' geslagen. Opmerkelijk is dat de Noorse steen bij de Waddenzeedijken zich (soms ver) onder de maatgevende waterstand bevindt. De uit de afmetingen geschatte nominale diameter ligt, afhankelijk van de locatie tussen circa 0,35 m en 0,60 m. Soms zijn bekledingen met Noorse steen ook gepenetreerd. De gradering kan redelijk breed zijn. De filterlaag bestaat, voor zover na te gaan, uit puin, waaronder klei of veen.

De huidige toetsmethode geldt voor 'plunging waves' ($\xi_{op} < 3,6$). De soms bredere gradaties kunnen formeel niet worden getoetst, terwijl het idee bestaat dat de bestaande regel toch geldig zou kunnen zijn. Verder blijkt dat voor $\xi_{op} < 2,0$ er winst te behalen valt wanneer Noorse steen als steenzetting kan worden getoetst (daarboven lopen beide methoden gelijk).

De volgende onderzoeksstappen worden voorgesteld:

- afronden inventarisatie, gericht op een betere vaststelling van de representatieve afmetingen en van de golfcondities (met name bandbreedte van ξ_{op});
- bewezen sterkte spoor verder uitwerken, gelet op de zwaardere belastingen die vroeger in de Zuiderzee op de dijken eromheen optraden. De uitkomst hiervan kan bepalend zijn voor het al dan niet uitvoeren van verdere stappen;
- kwalitatieve vergelijking van Noorse steen, breuksteen en een steenzetting;
- kwantificering van de stabiliteit aan de hand van de hiervoor verkregen uitkomsten.
- opstellen van een toetsformule voor Noorse steen en toepassen op een casus (net niet goedgekeurd dijkvak, waarvoor goede massaverdeling moet worden bepaald).

Conclusies

In het rapport worden conclusies niet expliciet vermeld. Deze zijn impliciet al in het voorstel voor verdere onderzoeksstappen meegenomen.

Vervolg

Volgens Versie 5 van de planning, zijn en worden bovenstaande stappen in een andere vorm uitgevoerd. Zoals in § 18.1 aangegeven, is een concept-toetsmethodiek thans in concept beschikbaar (Infram, 2005) en is ook het rapport 'Bewezen sterkte Noorse steen' opgeleverd. Thans is echter duidelijk dat de aangescherpte concepttoetsregel voor Noorse steen, vooralsnog niet door de studie 'Bewezen sterkte Noorse steen' (Infram, 2004) kan worden onderbouwd. Op de concept-toetsmethodiek wordt hierna ingegaan.

17.3 Concept-toetsmethodiek Noorse steen

Omschrijving

Het rapport volgt een aantal stappen. Daarbij wordt eerst ingegaan op het vóórkomen van Noorse steen. Vervolgens wordt de huidige toetsmethode behandeld. Het grootste deel van het rapport heeft betrekking op het beter vaststellen van de afmetingen van Noorse steen; een belangrijk onderdeel daarvan is het bepalen en testen van een methodiek voor het op het oog, aan de hand van een referentiebeeld, kunnen schatten van de mate van rondheid van de Noorse steen. Vervolgens zijn de dijkvakken met Noorse steen langs de Noordhollandse IJsselmeerkust en de Friese kust nader geïnspecteerd en is de ervaring van beheerders verzameld. Op het oog lijkt een Noorse steen bekleding veel meer op een steenzetting dan op een breuksteenverdediging. Aansluitend wordt een nieuwe toetsregel voorgesteld, op basis van theoretische achtergronden en gegevens uit eerdere onderzoeken.

Doel

De concept-toetsmethodiek beoogt een onderbouwde aanscherping te geven van de eenvoudige toetsregel voor Noorse steen en daarnaast een beter overzicht te geven van de karakteristieken van de in Nederland toegepaste Noorse steen.

Uitvoeringswijze

Ontwikkeling van inschattingmethode voor de vorm en het gewicht van Noorse steen aan de hand van diverse typen modelsteentjes. Toepassing op de in het veld aanwezige Noorse steen. Update van de literatuur m.b.t. steenstabiliteit voor Noorse steen en vergelijkbaar (Vilvoordse steen bijvoorbeeld), aan de hand waarvan een nieuwe toetsregel kan worden afgeleid.

Resultaat

De inschattingmethode voor vorm en gewicht kan succesvol worden toegepast in het veld. De eenvoudige toetsregel kon worden bijgesteld, wat vooral bij waarden van $\xi_{op} < \text{circa } 2,0$ een score 'twijfelachtig' bij de toetsing tot 'goed' zou kunnen veranderen.

Conclusies

Het verkregen resultaat leidt tot een goede toepassingsmogelijkheid voor eenvoudige toetsing voor Noorse steen. Mocht ondanks de nieuwe toetsregel daarbij de score 'twijfelachtig' worden verkregen, dan lijkt een gedetailleerde toetsing met ANAMOS gerechtvaardigd.

Vervolg

De studie 'Bewezen sterkte Noorse steen' (Infram, 2004) kan als vervolg worden gezien. Daarin bleek echter dat door de geringe gedocumenteerde schade aan Noorse steen slechts een ondergrens aan de geconstateerde stabiliteit kan worden verkregen; de stormen waren in het verleden niet zwaar genoeg om de nieuwe toetslijn van Infram te kunnen valideren. Ook is het mogelijk dat de met SWAN voorspelde golfhoogte voor de Waddenzee dijken te laag is ingeschat, omdat de bodemligging ter plaatse vroeger lager is geweest. Een betere inschatting van de golfbelasting op de Waddenzeekering met Noorse steen hoog op het talud, met het destijds aanwezige voorland, zou hier mogelijk uitsluitsel over kunnen geven.

18 TOTAALOVERZICHT

In dit totaaloverzicht wordt eerst de inhoudelijke samenhang van de kennisleemtes en deelonderzoeken beschreven. Vervolgens wordt in lijn met die samenhang een overzicht gegeven van de belangrijkste resultaten tot dusver.

18.1 Samenhang van de deelonderzoeken

18.1.1 Inleiding

De onderwerpen van de verschillende deelonderzoeken zijn divers en bestrijken verschillende dimensies van de steenzettingenproblematiek, die elkaar op steeds verschillende wijze overlappen:

- typen steenzettingen;
- faalmechanismen;
- rekenmethodes;
- fysieke invloedsaspecten.

Er zijn verschillende manieren mogelijk om het complexe geheel van de deelonderzoeken te structureren en visualiseren. In de bovengenoemde opsomming is een zekere hiërarchie aanwezig, in lijn met de praktische werkwijze bij ontwerp en toetsing: voor elk type steenzettingen geldt een aantal faalmechanismen, die elk met een aantal rekenmethodes kunnen worden afgehandeld (eenvoudig, gedetailleerd, geavanceerd), en waarbij verschillende fysieke invloedsaspecten een rol spelen.

Het merendeel van de onderzoeken in het OKS heeft te maken met:

- type Standaard steenzettingen;
- faalmechanisme Toplaaginstabiliteit plus daaropvolgende erosie. Het betreft de Deelonderzoeken 1, 3, 4, 5, 6, 7 en 8. Op dit gebied liggen de meeste verbanden en is een integrale beschouwing het meest relevant. Deze beschouwing wordt behandeld in § 18.1.2.

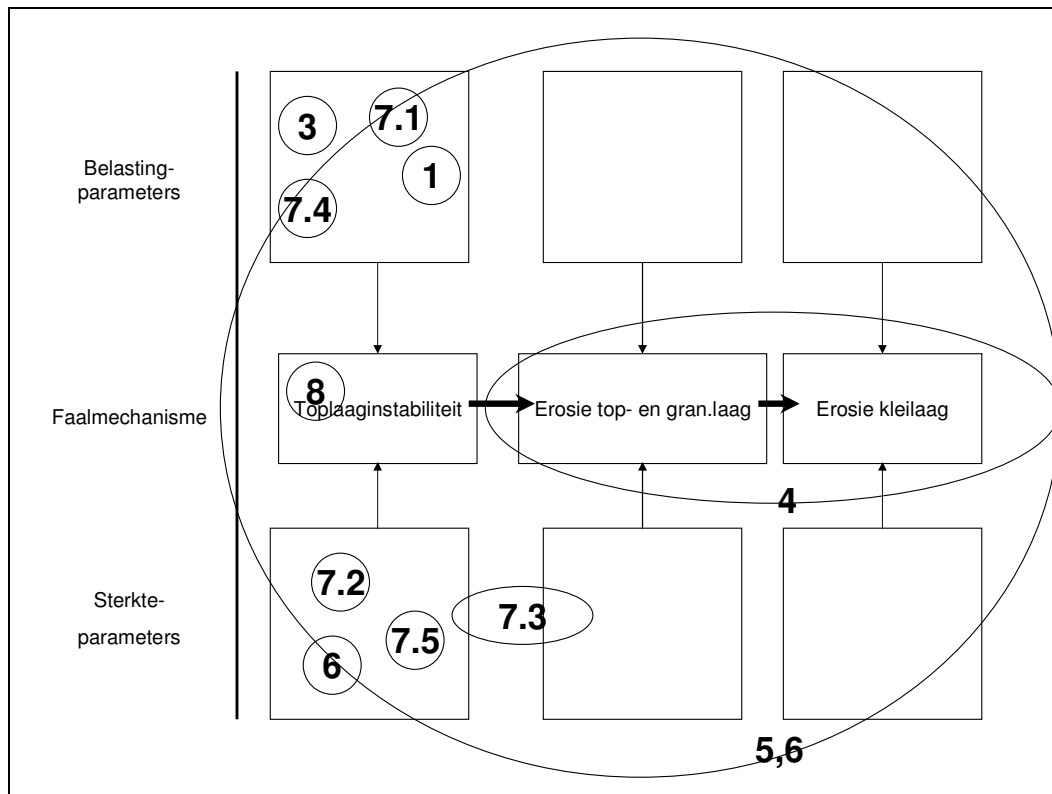
De overige kennisleemten / onderzoeken hebben wel onderlinge verbanden, en ook verbanden met de onderzoeken in § 18.1.2, maar deze verbanden zijn beperkt en eenvoudiger. Het betreft Afschuiving (2), Noorse steen (9) en Ingegoten bekledingen (10). Hierop wordt apart ingegaan in § 18.1.3.

18.1.2 Standaard steenzettingen, toplaaginstabiliteit plus reststerkte

Deze paragraaf geeft een samenhangend overzicht van de volgende deelonderzoeken:

- 1: Herbeschouwing huidige toetscriteria (incl. belastingduur)
- 3: Scheve golfinval
- 4: Onderzoek reststerkte
- 5: Toepassing probabilistische rekenmethode
- 6: Studie naar bewezen sterkte
- 7.1: Invloed van lange golfperiodes op stabiliteit
- 7.2: Stabiliteit van basalt
- 7.3: Invloed van klemkracht op stabiliteit
- 7.4: Invloed van golfklappen op stabiliteit
- 7.5: Invloed van dichtslibbing
- 8.1: Ontwikkeling Zsteen
- 8.2: Golfdrukken bepalen met Skylla

De samenhang tussen deze deelonderzoeken kan als volgt worden geschematiseerd en gevisualiseerd:



Hieruit blijkt dat de lopende deelonderzoeken kunnen worden ingedeeld in vier categorieën:

- integrale onderzoeken faalproces en toetscriteria: deel van 5 en deel van 1;
- invloedsaspecten toplaaginstabiliteit: Belastingparameters (deel van 1, 3, 7.1, 7.4), sterkteparameters (7.2, 7.3), combinatie (7.4);
- rekenmethodes: geavanceerd (8), bewezen sterkte (6), probabilistisch model (5);
- reststerkte (4).

Een herindeling van het OKS volgens deze structuur ligt voor de hand, omdat dit een overzichtelijker, eenvoudiger en eenduidiger indeling geeft; hiervoor wordt verwezen naar het bijsturingsadvies.

18.1.3 Overige typen/mechanismen

Afschuiving (Deelonderzoek 2) is praktisch onafhankelijk van de andere deelonderzoeken; het enige verband is dat een betere modellering van Afschuiving in een nieuw probabilistisch model zou kunnen worden opgenomen.

Ingegoten bekledingen (Deelonderzoek 9): deze vormen een apart type constructie, welke ook met een afzonderlijke methodiek moeten worden getoetst. Er is enig verband met het onderzoek naar Golfklap voor standaardsteenzettingen.

Noorse steen (deelonderzoek 10) heeft een link met bewezen sterkte, in relatie met literatuuronderzoek naar vergelijkbare steenbekledingen.

18.2 Samenvattend overzicht van de onderzoeksresultaten

Het globale beeld van de resultaten tot dusver wordt geschetst in de indeling zoals hierboven beschreven.

18.2.1 Standaard steenzettingen, toplaaginstabiliteit plus reststerkte

Ten aanzien van de **integrale onderzoeken** naar faalproces en toetscriteria is concreet alleen gewerkt binnen het deelonderzoek Probabilistiek. De resultaten tot dusver bestaan vooral uit een verheldering en visualisatie van de gebeurtenissenboom die leidt tot falen van standaard steenzettingen. Er is een aanzet gemaakt voor kwantificering, maar dit is nog niet zover gevorderd dat kwantitatieve uitspraken mogelijk zijn.

Het merendeel van de onderzoeken, en ook van de onderzoeksinspanningen tot dusver, betreft de **invloedsaspecten**. Dit ligt ook voor de hand: het is logisch om eerst de nadruk te leggen op deelaspecten en vervolgens een integratieslag te maken.

Voor een aantal invloedsaspecten lijken de onderzoeken praktisch afgerond en zijn naar onze indruk nog slechts beperkte inspanningen nodig alvorens de resultaten kunnen worden geïntegreerd tot nieuwe rekenmethodes; dit betreft scheve inval, lange golfperiode, basalt en dichtslibbing. De resultaten van deze deelonderzoeken geven op hoofdpunten het volgende beeld (nog te bevestigen door de interviews in fase 3):

- scheve golfinval: de 'zorg' vooraf was dat inval tussen 30° en 60° ongunstiger zou zijn dan loodrecht, terwijl inval schuiner dan 60° gunstiger zou zijn. Op dit moment wordt verwacht dat de 'zorg' meevalt, terwijl er wellicht wel enige aanscherping mogelijk is voor schuinere inval;
- lange periode: vooraf werd verwacht dat lange periodes in de bestaande rekenmethodes te ongunstig werden meegenomen. De resultaten geven aan dat dit inderdaad het geval is, met name voor open bekledingen;
- basalt: de 'zorg' vooraf dat basalt ongunstiger is dan betonzuilen lijkt te worden bevestigd, maar het probleem zou mee kunnen vallen doordat het vooral speelt bij niet-'ingegolfde' bekledingen terwijl basalt in de praktijk meestal in vaak belaste zones ligt;
- inslibbing: vooraf werd verwacht dat enige aanscherping mogelijk zou zijn mits de aanwezigheid van slib in maatgevende omstandigheden zou kunnen worden aangetoond. Aan dit laatste lijkt niet te kunnen worden voldaan, zodat de gehoopte baten op dit punt naar verwachting niet zullen worden gerealiseerd.

De invloedsaspecten klemming en golfklappen zijn complex. Voor beide aspecten wordt globaal gewerkt volgens het Onderzoeksplan, alhoewel de planning enigszins achterloopt. De resultaten zijn hoopgevend maar er zijn nadrukkelijk nog enkele stappen nodig voordat er duidelijkheid komt over de uitkomst. De potentiële aanscherping bij beide onderwerpen en het areaal relevante steenzettingen is overigens bij beide onderwerpen zeer groot, zodat deze invloedsaspecten veel aandacht verdienen.

Ten slotte is het aspect belastingduur tijdens het onderzoeksprogramma toegevoegd, op basis van de zorg dat de belastingduur wellicht te gunstig in de bestaande rekenregels is verwerkt. Er zijn nog niet genoeg resultaten om het effect hiervan op de rekenregels in te kunnen schatten.

Rekenmethodes

Bij de onderzoeken op het gebied van rekenmethodes ligt de nadruk tot dusver op ZSteen: een probabilistische rekenmethode wordt thans hooguit als een lange termijn-doel gezien, en het onderzoeksspoor Bewezen sterkte richt zich in de praktijk eerst op case studies. Het tot dusver uitgevoerde onderzoek naar ZSteen heeft verbeteringen opgeleverd, maar heeft vooral duidelijk gemaakt dat de toepasbaarheid voor open bekledingen (Golfklap) nog moet worden aangetoond en dat in dat kader een heldere go / no go beslissing nodig is. In geval van een go zijn nog significante inspanningen nodig. Bij een no go zal ZSteen overigens nog wel nodig blijven als 'onderzoeksmodel' binnen het OKS. Het onderzoek tot dusver is nog nauwelijks gericht geweest op gedetailleerde / eenvoudige rekenmethodes.

Het Bewezen sterkte spoor heeft thans veel aandacht waarbij, zoals hiervoor aangegeven, in eerste instantie twee case studies worden uitgevoerd: Noorse steen en basalt. Voor Noorse steen lijkt hieruit naar voren te komen dat Bewezen sterkte als alternatieve toetsmethode bruikbaar zou kunnen zijn. De case study naar basalt is nog in volle gang en hieromtrent kunnen nog geen conclusies worden getrokken. Beoogd wordt met Bewezen sterkte binnen het OKS tot een volwaardige rekenmethodiek te komen, die mogelijk ook voor andere typen bekledingen toepasbaar zou kunnen zijn.

Reststerkte

Binnen OKS is nog nauwelijks gericht onderzoek verricht op het gebied van reststerkte, in afwachting van meer duidelijkheid over de bijdrage aan de veiligheid vanuit het spoor Probabilistiek. Het enige nieuwe uitgevoerde onderzoek is een 'doorgolfproef' in de Deltagoot die een rol kan spelen bij de aanscherping van rekenregels voor reststerkte van de top- en granulaire laag.

18.2.2 Overige typen/mechanismen

Voor het onderwerp Afschuiving zijn nog geen grote inspanningen geleverd: ten opzichte van het Onderzoeksplan is besloten om een kleinschalige en praktijkgerichte aanpak te volgen. Er zijn nog niet veel inhoudelijke vorderingen gemaakt, maar er lijkt inmiddels wel overeenstemming te bestaan over de te volgen werkwijze. De beoogde aanscherping, met name voor de vaak voorkomende bekledingen op een kleilaag op een zandkern, lijkt nog steeds haalbaar.

Ingegoten bekledingen vormen een apart type constructie, welke met een afzonderlijke methodiek moeten worden getoetst. Ingegoten bekledingen worden in de praktijk als zeer sterk ervaren, omdat geconstateerd wordt dat er geen onderhoud nodig is. Bij de veldproeven is overigens ook geconstateerd dat deze bekledingen zouden kunnen opdrijven; dit zou in combinatie met golfklappen mogelijk gevaarlijk kunnen zijn. Een belangrijke toets is daarom een nog uit te voeren golfklapproef op een opdrijvende bekleding in de Deltagoot. Als deze gunstig verloopt, kan de sterkte mogelijk worden verzilverd.

Noorse steen (Deelonderzoek 10) heeft, zoals hiervoor vermeld, een link met bewezen sterkte, in relatie met literatuuronderzoek naar vergelijkbare steenbekledingen. De case study geeft aan dat Bewezen sterkte als alternatieve toetsmethode lijkt bruikbaar te zijn voor Noorse steen, als onderbouwing van een nieuw ontwikkelde toetslijn op basis van literatuuronderzoek. Mogelijk kan met enkele voorgestelde nadere analyses de nieuwe toetslijn afdoende worden onderbouwd.

19 REFERENTIES

Onderstaande referenties zijn weergegeven in de volgorde waarin in dit rapport wordt gerefereerd.

Royal Haskoning, 2002: *Steenbekledingen: Kennisleemtes versus uitvoering. Kostenbatenanalyse*. Royal Haskoning, in opdracht van Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde, 9M0327.A0, Oktober 2002.

Fugro, 2003: *Onderzoeksplan betreffende het oplossen van witte vlekken voor het toetsen van steenbekledingen*, in opdracht van RWS Zeeland, PBZ, april 2003.

Royal Haskoning, 2005: *OKS, Evaluatie & Bijsturing 2003 en 2004: faserapport evaluatie proces*, in opdracht van RWS DWW, 9P8623.A0, definitief 28 februari 2005.

WL|Delft Hydraulics, 2004: *Notitie Zone met grote golfbelasting*, april 2004.

RWS DWW, 2004: *Discussiebijeenkomst methodiek steenzettingen*, notitie, 27 mei 2004.

WL|Delft Hydraulics, 2004: *Langeduursterkte van steenzettingen, Voortgangsverslag Deltagootonderzoek, H4475*, november 2004.

RWS DWW, 2003: *Afschuiving: discussiebijeenkomst, conclusies bespreking 20 november 2003*, 5 december 2003.

RWS DWW, 2004: *Afschuiving en freatische lijn, Discussienotitie / plan van aanpak*, 10 oktober 2004.

RWS DWW: *Toetsschema grondmechanisch bezwijken bij steenzettingen op klei*, conceptnotitie, 15 januari 2005

RWS DWW: *Scheve golfval: discussiebijeenkomst*, notitie, 14 augustus 2003

WL|Delft Hydraulics, 2003: *Meting van drukrandvoorwaarden bij scheve golfaanval*, meetrapport, H4330, december 2003.

WL|Delft Hydraulics en GeoDelft, 2004: *Invloed scheve golfaanval op stabiliteit van steenzettingen*, H4420, november 2004.

WL|Delft Hydraulics, 2004: *Reststerkte van steenzetting met zuilen na initiële schade ('doorgolfproef')*, H4327, oktober 2004.

WL|Delft Hydraulics, 1992: *Reststerkte van dijkbekledingen, deel II, granulaire filters*, H195, juli 1992.

WL|Delft Hydraulics, 1984: *Onderzoek stabiliteit Haringmanblokken (precieze titel niet bekend)*, 1984.

WL|Delft Hydraulics, 1991: Reststerkte van dijkbekledingen, oriënterende bureaustudie, H195, verslag deel I, juni 1991.

Fugro, 2004: *Kapstok Probabilisme, stap 1: eerste opzet*, K00161000, 9 januari 2004.

Fugro, 2005: *Kapstok Probabilisme, stap 2: doorontwikkeling*, 1204-0021-000, 8 februari 2005.

Infram, 2005: *Bewezen sterkte Noorse steen*, 04i033, concept-rapport februari 2005.

Infram, 2004: *Concepttoetsmethodiek Noorse steen*, 04i034, concept-rapport augustus 2004.

Infram, 2003: *Plan van aanpak: Invloed lange golfperiodes op stabiliteit*, i706, november 2003.

WL|Delft Hydraulics, 2003: *Golfdrukken op talud ten gevolge van lange golven*, rapport fase 1 en fase 2, H4329, december 2003.

WL|Delft Hydraulics, 2004: *Invloed lange golven op stabiliteit van steenzettingen*, H4421, september 2004.

WL|Delft Hydraulics, 2004: *Verificatie van invloed van lange golven op stabiliteit van steenzettingen*, H4421, november 2004.

Infram, 2001: *Voorstudie 'Lange T'*, november 2001.

WL|Delft Hydraulics, 2003: *Deltagootonderzoek naar stabiliteit van basalt*, meetverslag H4327, december 2003.

WL|Delft Hydraulics, 2005: *Analyse van de stabiliteit van basalt*, H4422, februari 2005.

WL|Delft Hydraulics, 2003: *Invloed klemming: statische analyse trekproeven*, H4134, november 2003.

Royal Haskoning, 2004: *Laboratoriumonderzoek betreffende klemming van gezette steenbekledingen*, 9P0669, november 2004.

WL|Delft Hydraulics, 2003: *Invloed van golfklappen op stabiliteit: literatuurstudie*, H4134, november 2003.

WL|Delft Hydraulics, 2003: *Software-ontwikkeling en toepassing voor kwantificering van golfklappen, Fase 2*, H4328, december 2003.

WL|Delft Hydraulics, 2004: *Kwantificering golfbelasting op steenbekledingen*, H4419, oktober 2004.

PBZ, 2003: *Gedachtebepaling over het nut van het oplossen van de kennisleemte 'dichtgeslibde bekledingen'*, memo Werkgroep Kennis, 13 mei 2003.

PBZ, 2003: *Voorstudie Invloed van dichtslibbing*, memo Werkgroep Kennis, 18 december 2003.

RWS DWW, 2004: *Waterdrukproeven op ingeslibde bekledingen ('infiltratieproeven')*, concept-rapport, 15 november 2004.

GeoDelft, 2003: *Zsteen, gebruikershandleiding, versie 1.8*, maart 2003.

WL|Delft Hydraulics, 2003: *Testen van Zsteen versie 1.8*, H4331, december 2003.

WL|Delft Hydraulics, 2004: *Onderzoeksplan m.b.t. nauwkeurigheid Zsteen bij golfklappen*, H4134, april 2004.

WL|Delft Hydraulics, 2005: *Bepaling golfdrukken met SKYLLA, vergelijking van berekende resultaten met metingen*, H4424, maart 2005.

GeoDelft, 2003: *Toetsing ingegoten bekledingen, bestaande kennis en kennisleemten*, CO-410220-0006, 01 Definitief, oktober 2003.

RWS DWW, 2003: *Notitie bespreking n.a.v. evaluatie ingegoten bekledingen ;(geen titel)*, (geen kenmerk), 20 november 2003.

RWS DWW, 2004: *Waterlaagje bij ingegoten steenzettingen*, 10 september 2004.

RWS DWW, 2004: *Terugmelding onderzoek ingegoten bekledingen*, , memo TAW-KBS, 10 oktober 2004.

Infram, 2003: *Plan van aanpak Noorse steen*, i716, november 2003.

Infram, 2005: *Concepttoetsmethodiek Noorse steen*, 04i043, februari 2005.